

# 専門家が注目する科学技術に関するアンケート調査 (NISTEP 注目科学技術 2022)

2023 年 2 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所  
科学技術予測・政策基盤調査研究センター

【調査研究体制】

黒木 優太郎

科学技術予測・政策基盤調査研究センター

伊藤 裕子

科学技術予測・政策基盤調査研究センター

【Contributors】

KUROGI Yutaro

Center for Science and Technology Foresight and Indicators

ITO Yuko

Center for Science and Technology Foresight and Indicators

本報告書の引用を行う際には、以下を参考に出典を明記願います。

Please specify reference as the following example when citing this NISTEP RESEARCH MATERIAL.

科学技術予測・政策基盤調査研究センター, 「専門家が注目する科学技術に関するアンケート調査 (NISTEP 注目科学技術 2022)」, *NISTEP RESEARCH MATERIAL*, No.325, 文部科学省科学技術・学術政策研究所.

DOI: <https://doi.org/10.15108/rm325>

Center for S&T Foresight and Indicators, “A survey of science and technology that experts are focusing on 2022” *NISTEP RESEARCH MATERIAL*, No.325, National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo.

DOI: <https://doi.org/10.15108/rm325>

## 専門家が注目する科学技術に関するアンケート調査（NISTEP 注目科学技術 2022）

文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術予測・政策基盤調査研究センター  
動向分析・予測研究グループ

### 要旨

本調査では、次期科学技術予測調査における科学技術トピック検討に資する基礎情報を随時得るため、専門家ネットワークに対し現在注目される科学技術についてのアンケートを行った。

調査の結果、今回の注目科学技術は 395 件、兆し科学技術は 138 件であった。特に、人工知能、量子科学技術、宇宙、カーボンニュートラル、二酸化炭素技術、ビッグデータ、データ駆動科学といったキーワードが多く見られた。

今後は、今回の結果の次期科学技術予測調査への活用及び政策検討の場への積極的提供を進める他、引き続き調査設計についても検討する。なお本調査は、専門家が注目する科学技術を「注目科学技術」とし、専門家の最新の知見を毎年幅広く収集・蓄積し、得られた結果を精査・分析して公表するものである。

### Title

A survey of science and technology that experts are focusing on 2022

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT

Center for S&T Foresight and Indicators

### ABSTRACT

In this survey, to obtain basic information that will contribute to the examination of science and technology topics in the next science and technology foresight survey, we conducted a questionnaire on science and technology that experts are focusing on. This information will be provided after organizing it by field as basic information for S&T topic examination at the next science and technology foresight survey.

There were 395 emerging technologies and 138 weak signals in this survey. In particular, keywords such as AI, quantum science and technology, space, carbon neutral, carbon dioxide-related technology, big data, and data-driven science were frequently seen.

## 目次

### <概要>

1.	本調査の目的	i
2.	前回調査からの変更点	i
3.	調査概要	iii
4.	結果概要	v
4.1.	注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳	v
4.2.	実現時期	vi
4.3.	実現した際に期待される効果	vi
4.4.	キーワード	vii
5.	結果：具体事例	ix
5.1.	人工知能・機械学習・深層学習・強化学習	ix
5.2.	量子コンピュータ（量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ）・耐量子暗号（量子暗号）・量子力学（量子もつれ・量子超越性）・量子関連技術（量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサ・室温量子材料・量子光源）・量子化学	x
5.3.	宇宙（宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境（製造・計測）・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報）	xi
5.4.	カーボンニュートラル・二酸化炭素技術（回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS）	xii
6.	実現に向けて必要な要素	xiii

### <本編>

1.	はじめに	1
1.1.	調査の背景	1
1.2.	本調査の目的	3
1.3.	前回調査からの変更点	4
1.3.1.	調査設計に関する変更	4
1.3.2.	「短縮版」の作成	5
2.	方法	6
2.1.	専門家ネットワークアンケート調査	6
2.2.	第11回科学技術予測調査における分野分類への割り振り	7
3.	結果：全体概要	8
3.1.	注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳	8
3.2.	実現時期	9
3.3.	実現した際に期待される効果	9
3.4.	キーワード	11
4.	結果：具体事例	13
4.1.	人工知能・機械学習・深層学習・強化学習	13
4.2.	量子コンピュータ（量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ）・耐量子暗号（量子暗号）・量子力学（量子もつれ・量子超越性）・量子関連技術（量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサ・室温量子材料・量子光源）・量子化学	19
4.3.	宇宙（宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境（製造・計測）・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報）	22
4.4.	カーボンニュートラル・二酸化炭素技術（回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS）	25
4.5.	ビッグデータ・ビッグデータ解析・データ駆動科学	29
5.	実現に向けて必要な要素	30
6.	次回に向けて	35
付録1	短縮版一覧	38
付録2	調査協力者一覧	58
付録3	回答データ一覧	60

## 図表目次

図表 1.1-1 第 11 回科学技術予測調査構成の概要 .....	1
図表 1.3.1-1 前回からの変更点概要 .....	4
図表 2.1-1 アンケート調査概要 .....	6
図表 2.1-2 専門家ネットワークの年代・性別・所属・専門分野内訳 .....	7
図表 3.1-1 注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳 .....	8
図表 3.2-1 実現時期別の回答数 .....	9
図表 3.3-1 期待される効果別の回答数：グラフ .....	10
図表 3.3-2 分野別の期待される効果：実数及び割合 .....	10
図表 3.4-1 キーワードリスト .....	12
図表 4. 1-1 回答者の専門分野（AI 等） .....	13
図表 4. 1-2 実現時期（AI 等） .....	13
図表 4. 2-1 回答者の専門分野（量子コンピュータ等） .....	19
図表 4. 2-2 実現時期（量子コンピュータ等） .....	19
図表 4. 3-1 回答者の専門分野（宇宙） .....	22
図表 4. 3-2 実現時期（宇宙） .....	22
図表 4. 4-1 回答者の専門分野（カーボンニュートラル等） .....	25
図表 4. 4-2 実現時期（カーボンニュートラル等） .....	25

# 概要

---

## 1. 本調査の目的

---

本調査は、科学技術予測調査の実施に向けたホライズン・スキヤニング（科学技術や社会などの早期の兆しをとらえる）調査の一環であり、次期（第12回）科学技術予測調査の検討過程を補強し質と精度を向上するために実施するものである。

第11回科学技術予測調査の分野別分科会における科学技術のトピック設定においては、ホライズン・スキヤニングで得られた研究情報として、「第10回科学技術予測調査分野別科学技術予測」「サイエンスマップ2016」「研究開発の俯瞰報告書2017年度版」を提供していた。これらの情報はそれぞれが膨大な調査結果であり質の高い情報である一方で、参照に時間がかかり、科学技術予測調査の実施時期にあわせているわけではないためにタイムラグが存在していた。また、タイムラグの無い情報として、クローリングにより収集した大学等研究機関のプレスリリースから抽出（関連度の高い10件）、科学研究費助成事業データベース KAKEN から抽出（関連度の高い100件）、トップダウン型の競争的資金（文部科学省、JSPS、JST、NEDO等）に関する情報（関連度の高い件数、金額、件名例）などの情報を提供していた。これらの情報については、タイムラグは無いものの情報量が膨大で参照に時間がかかり、また、機械的情報収集であるために専門家の視点が必要であった。

これらの状況を踏まえ現在は、第12回科学技術予測調査に向けた現状のホライズン・スキヤニング体制を強化し、研究論文の被引用情報や各国・機関等が策定した規則・規定などの最新情報収集・分析ツールなどを導入し、情報量や調査範囲を拡充した。その一方で、専門家による最新の知見については更なる蓄積が求められる。

そこで本調査では、次期科学技術予測調査における科学技術トピック検討に資する基礎情報を随時得るために、現在注目される科学技術をアンケートで収集し、科学技術キーワードを抽出整理する。また、今後も毎年同様の調査によって注目科学技術及びキーワードを蓄積する。これらの情報は、次期科学技術予測調査時に、タイムラグの少ない専門家の視点として情報提供する。また、次期科学技術予測調査の目的に限らず科学技術の動向調査として活用し、結果は文部科学省における政策検討の基礎資料としても提供する。なお、本調査は専門家が注目する科学技術を「注目科学技術」とし、専門家の最新の知見を毎年幅広く収集・蓄積し、得られた結果を精査・分析して公表するものである。

---

## 2. 前回調査からの変更点

---

本調査は2020年度より開始した定常的調査であるが、調査設計については固定せずに適宜見直す。概要図表2に、前回調査（注目科学技術2020）からの変更点について示す。

まず目的について、前回調査では次期科学技術予測調査の基礎資料とすることを主目的としていたが、調査によって得られる科学技術は多岐に渡り、政策に係る情報も多いため、政策形成の場においても積極的な情報提供を行うこととした。それに伴い、より詳細な分析を行う目的で質問項目も追加または変更を加えた。特に前回は「注目科学技術」についてのみの調査であったのに対し、今回は、現時点で実現可能性や期待される効果は不明であるものの、将来的に実現すれば学術・経済・社会へ大きな変化をもたらす得る科学技術として「兆し科学技術」も調査に加えた。

概要図表1(本編図表 2-1) 前回からの変更点概要

\*変更点に太字・下線

	前回調査	今回調査
目的	次期科学技術予測調査の基礎資料	次期科学技術予測調査の基礎資料 <u>政策検討の基礎資料</u>
調査項目	注目科学技術	注目科学技術、 <u>兆し科学技術</u>
質問項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・科学技術の概要</li> <li>・実現に向けたボトルネック</li> <li>・実現時期 選択肢:10 年未満、10 年以降</li> </ul>	<p>&lt; 注目科学技術 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・科学技術の概要</li> <li>・<u>当該科学技術の研究段階</u></li> <li>・<u>当該科学技術のキーワード</u></li> <li>・<u>当該科学技術に対する専門度</u> 選択肢: <b>高、中、低</b></li> <li>・実現時期 選択肢: <u>5 年未満、5 年以降</u> 10 年未満、10 年以降</li> <li>・<u>学術的效果</u> 選択肢: <b>高、中、低</b></li> <li>・<u>経済的效果</u> 選択肢: <b>高、中、低</b></li> <li>・<u>社会的効果</u> 選択肢: <b>高、中、低</b></li> <li>・実現に向けて <u>必要な要素</u></li> </ul> <p>&lt; 兆し科学技術 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・科学技術の概要</li> <li>・科学技術のキーワード</li> <li>・科学技術に対する専門度 選択肢: <b>高、中、低</b></li> </ul>

上記のように、今回調査については質問項目を増やし、注目科学技術については「科学技術の概要」「研究段階」「実現に向けて必要な要素」のそれぞれについて回答を求めた。加えて、実現した際の各種効果についても調査したことから、本調査結果は単に科学技術についての情報だけでなく、その独創性や優位性、それらを取り巻く状況、何が課題・問題なのか、実現すればどのような影響が考えられるのか、必要な要素技術は何か、などの多様かつ重要な記述が多く含まれる。これらの記述については付録にて原則そのまま公開しており、詳細はそちらを参照頂きたい。

一方で全体としての記述量は多いということもあり、各記述の要素を盛り込みつつ本調査結果の幅広い活用を促すという観点から、本報告書の作成にあたっては「短縮版」を作成した。短縮版の作成にあたっては、回答者の意図とのずれが発生することを避けるため、一部軽微な平仄をそろえる以外には付け加え等を行わず、語順を入れ替える場合には意図が変わらないように留意した。ただし、一部の略語において、略語のみが用いられてる場合など、必要に応じ適宜補足を加えた。

また、短縮版は基本的に科学技術を単位として作成しており、ひとつの回答が「または」等で区切られているなど複数の科学技術が含まれている場合には、短縮版も複数作成した。文量是一文で統一しているため、元々の回答の長さによっては全ての要素を入れ込んでいるわけではないことに留意頂きたい。



### 3. 調査概要

アンケート調査の概要を概要図表 2 に示す。

概要図表 2(本編図表 3-1) アンケート調査概要

調査時期	2022 年 3 月 1 日～2022 年 3 月 21 日
質問項目	<p>1. 注目科学技術</p> <p>Q1. あなたの専門で現在注目している、今後実現が期待される科学技術があれば、その科学技術の概要をご説明ください</p> <p>Q2. その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワードを 3 つ以上記入してください</p> <p>Q3. その科学技術について、あなたの専門度を教えてください 選択肢：高、中、低</p> <p>Q4. その科学技術について、いつ頃の実現が想定されますか 選択肢：5 年未満、5 年以降 10 年未満、10 年以降</p> <p>Q5. その科学技術の研究段階を教えてください</p> <p>Q6. その科学技術が実現した際に期待される学術的効果<sup>(注)</sup>について教えてください</p> <p>Q7. その科学技術が実現した際に期待される経済的効果<sup>(注)</sup>について教えてください</p> <p>Q8. その科学技術が実現した際に期待される社会的効果<sup>(注)</sup>について教えてください 選択肢：(Q6～8 共に) 大、やや大、中、あまりなし、なし、不明</p> <p>Q9. その科学技術の実現に向けて必要な要素（要素技術の進展や、社会的要素など）があれば、その内容を教えてください</p> <hr/> <p>2. 兆し科学技術</p> <p>Q1. 現時点で実現可能性や期待される効果は不明であるものの、将来的に実現すれば学術・経済・社会へ大きな変化をもたらし得る科学技術（兆し科学技術）があれば、その科学技術の概要をご説明ください（自由記述）</p> <p>Q2. その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワードを 3 つ以上記入してください（自由記述）</p> <p>Q3. その科学技術について、あなたの専門度を教えてください 選択肢：高、中、低</p>
形式	オンライン（専用ウェブサイト開設）
調査対象者	NISTEP 専門家ネットワークの専門調査員 1681 名
回答者	308 名
回答数	534 件

(注)「実現した際に期待される効果」について

学術的効果：例えば、知（科学基盤・基礎科学）の創出、今後の新たな技術を生み出す、他分野へ波及効果（新分野の創出、他分野の発展加速等）をもたらすなど。

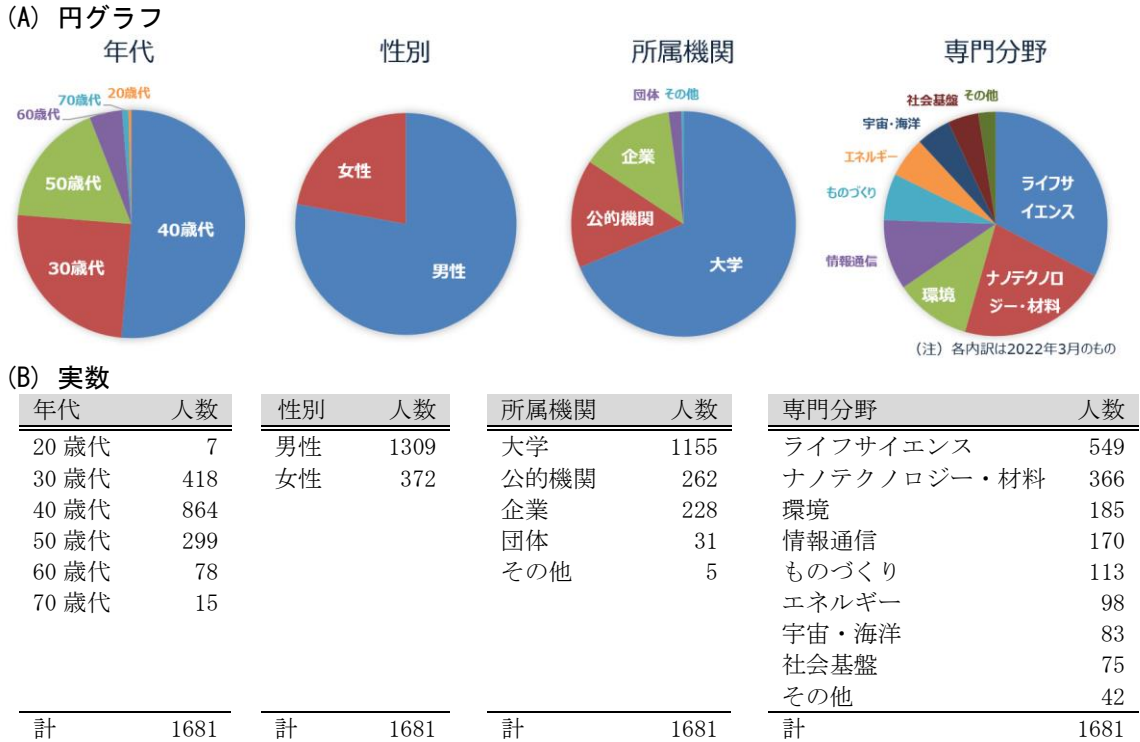
経済的効果：例えば、新たなサービス・事業・産業の創出や既存産業の発展への寄与、産業競争力を向上させる可能性、技術・素材・製品・製法等の改良、新たな雇用創出など。

社会的効果：例えば、個人・社会の安全・安心の維持・向上、個人・社会の健康・幸福度向上、くらし・ライフスタイルの改善、社会的基盤（都市・地域・交通・インフラ）の強化、地域社会への貢献、社会の福祉・公正性や不平等問題への貢献、環境・エネルギー・資源・生態系への貢献、社会的課題の解決、新しい文化創造、国際社会への貢献など。

専門家ネットワークとは、専門家の互選により構成されたネットワークで、所属機関・性別・年代・専門分野等の属性に配慮しつつ当研究所が運営している。当研究所より科学技術イノベーション政策研究に関する情報を随時提供し、また関連するアンケート調査等に協力いただいているため、専門性と併せて政策に関わる知見も持つと想定される集団である。

概要図表 3 に、調査時点での専門家ネットワークの年代・性別・所属・専門分野の内訳を示す。年代については 40 代が約 5 割ともっと多く、次いで 30 代、50 代が多い。性別は男性が約 8 割、所属については大学が約 7 割と最も多い。専門分野についてはライフサイエンスが約 3 割、ナノテクノロジー・材料が約 2 割である。

概要図表 3(本編図表 3-2) 専門家ネットワークの年代・性別・所属・専門分野内訳



その後、科学技術予測調査への活用のため、機械的分類と人間による評価を組み合わせたハイブリッド方式によって、アンケート結果を第 11 回科学技術予測調査の分野と紐づけた。まず、科学技術の自由記述に対し、第 11 回科学技術予測調査で分野毎に設定した計 702 トピックを類似度ベースで機械的に複数紐付け、次にそれらを候補として妥当と思われる分野に人間が割り付けた。ここで、自由記述と 702 トピックの間に単語そのものが重複するケースは多くない。そこで類似度の算出には分散表現を用いて、単純な単語一致よりも柔軟な算出を行った。具体的な手法や分散表現辞書は過去の文献のものを適用した。なお、最終的な割り振りについてはあくまで各分野共に第 11 回科学技術予測調査の細目の範囲内に該当するか否かで割り振ったため、この割り振りは厳密な学術分野ではなく、あくまで第 11 回科学技術予測調査の調査対象範囲である点に留意されたい。

## 4. 結果概要

### 4.1. 注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳

概要図表 4 に、注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳を示す。まず全体のうち、注目科学技術は 395 件、兆し科学技術は 138 件であった。

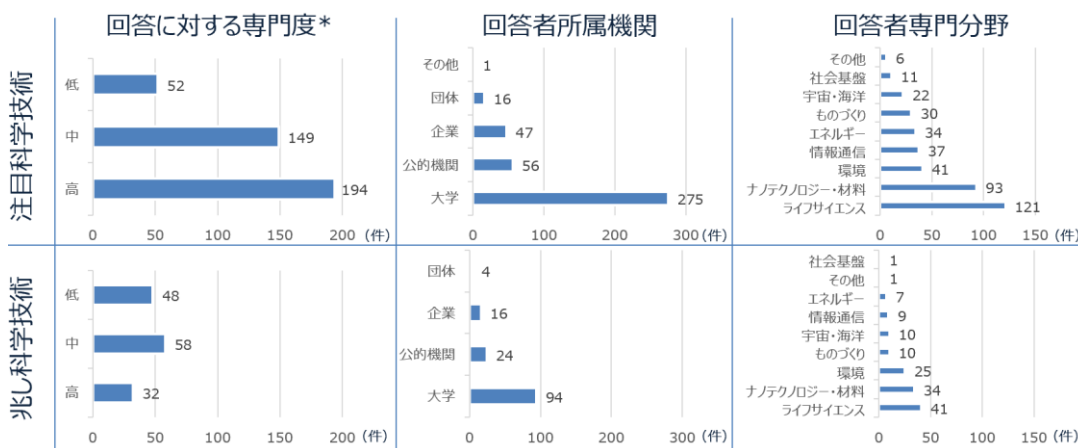
回答に対する専門度については、注目科学技術は設問を「あなたの専門で」と設定したこともあり、多い順に高、中、低となっている。対して兆し科学技術については、専門度中が最も多く、次いで低、高の順である。大まかな傾向として、注目科学技術については自身の研究又は業務に関連した回答が、兆し科学技術については自身の専門知識に関連した回答が多いことが伺える。

所属機関については、注目科学技術・兆し科学技術のいずれについても大学が約 7 割と最も多い。これについては元々の専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。回答者専門分野についても、注目科学技術・兆し科学技術のいずれについてもライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料が多く、これは所属機関と同様に専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。

従って回答に対する専門度については注目科学技術と兆し科学技術で違いがみられるが、回答者所属機関及び回答者専門分野については違いが見られない。また、回答者所属機関及び回答者専門分野の偏りは元々の専門家ネットワークの属性割合と同等であることから、いずれかの属性に偏った調査にはなっていないことが伺える。

本調査は専門家ネットワークの協力を中心とした調査であるという特性から、以降のまとめにおいて大学、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料の回答が多い傾向にあることは本調査が持つ特性としてご留意いただきたい。

概要図表 4(本編図表 4.1-1) 注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳



\*専門度について

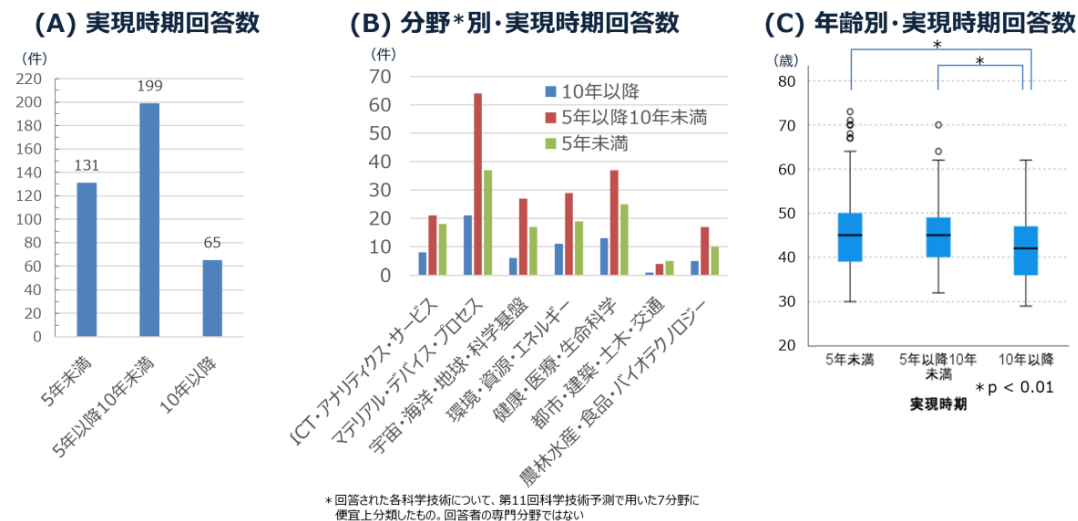
- 高：例えば、現在、当該科学技術に関連した研究又は業務に従事している（文献による調査研究を含む）等により、当該科学技術に関連した専門的知識を持っている、など。
- 中：例えば、過去に当該科学技術に関連した研究又は業務に従事したことがある。あるいは、隣接領域の研究又は業務に従事している等により、当該科学技術に関連した専門的知識をある程度持っている、など。
- 低：例えば、当該科学技術に関連した専門的な本や文献を読んだり、専門家の話を聞いたことがある、など。

## 4.2. 実現時期

注目科学技術については、当該科学技術の実現時期を「5 年未満」「5 年以降 10 年未満」「10 年以降」で調査した。概要図表 5 に、(A) 実現時期別の回答数、(B) 第 11 回科学技術予測調査分野別の実現時期回答数、(C) 年齢別の実現時期回答数を示す。結果は以下のとおり。

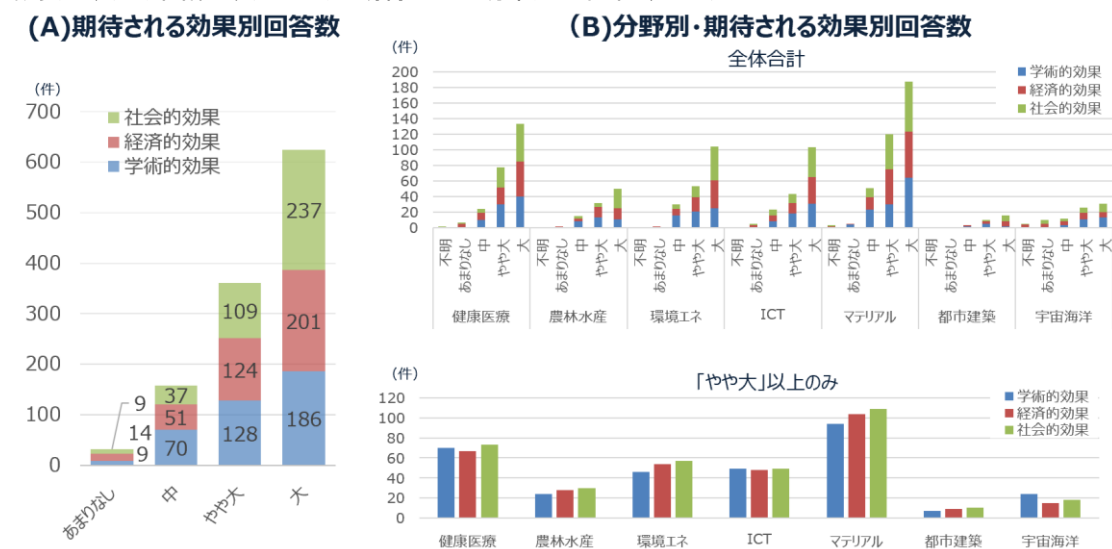
- (A) : 実現時期別の回答数では、約半数(395 件中 199 件)は「5 年以降 10 年未満」であり、次いで「5 年未満」であった。
- (B) : 実現時期回答数を第 11 回科学技術予測調査分野別にみると、傾向に(A)と大きな違いは見られないものの、中でも都市・建築・土木・交通分野は「5 年未満」の回答が最も多い。また、ICT・アナリティクス・サービス分野は、「5 年未満」と「5 年以降 10 年未満」の回答数の差が比較的小さい。
- (C) : 実現時期回答数を年齢別にみると、「10 年以降」の回答者は、他の実現時期に比べて比較的若い。

概要図表 5(本編図表 4.2-1) 実現時期別の回答数



## 4.3. 実現した際に期待される効果

概要図表 6(本編図表 4.3-1) 期待される効果別の回答数: グラフ



概要図表 7(本編図表 4.3-2) 分野別の期待される効果(やや大以上)：実数及び割合

	実数			割合		
	学術	経済	社会	学術	経済	社会
健康医療	63	62	67	32.8%	32.3%	34.9%
農林水産	24	29	31	28.6%	34.5%	36.9%
環境エネ	44	52	55	29.1%	34.4%	36.4%
ICT	39	41	42	32.0%	33.6%	34.4%
マテリアル	93	106	109	30.2%	34.4%	35.4%
社会基盤	7	9	10	26.9%	34.6%	38.5%
宇宙海洋	44	26	32	43.1%	25.5%	31.4%

(注)

①分野の正式名称と略称との対応

健康・医療・生命科学＝健康医療、農林水産・食品・バイオテクノロジー＝農水バイオ  
環境・資源・エネルギー＝環境エネ、ICT・アナリティクス・サービス＝ICT  
マテリアル・デバイス・プロセス＝マテリアル、都市・建築・土木・交通＝社会基盤  
宇宙・海洋・地球・科学基盤＝宇宙海洋地球

②各効果についての解説

学術的效果：例えば、知(科学基盤・基礎科学)の創出、今後の新たな技術を生み出す、他分野へ波及効果(新分野の創出、他分野の発展加速等)をもたらすなど。  
経済的效果：例えば、新たなサービス・事業・産業の創出や既存産業の発展への寄与、産業競争力を向上させる可能性、技術・素材・製品・製法等の改良、新たな雇用創出など。  
社会的効果：例えば、個人・社会の安全・安心の維持・向上、個人・社会の健康・幸福度向上、くらし・ライフスタイルの改善、社会的基盤(都市・地域・交通・インフラ)の強化、地域社会への貢献、社会の福祉・公正性や不平等問題への貢献、環境・エネルギー・資源・生態系への貢献、社会的課題の解決、新しい文化創造、国際社会への貢献など。

(A)(B)共に、いずれの期待される効果についても「大」が最も多く、その後「やや大」、「中」、「あまりなし」と、期待される効果が小さくなるにつれて回答数も少なくなる傾向にある。そこで「大」「やや大」に絞って集計すると、全体的に大きな差はないものの、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野のみ、経済的效果(31.4%)や社会的効果(25.5%)よりも学術的效果(43.1%)の回答割合が多い結果となった。その他の分野(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、環境・資源・エネルギー分野、ICT・アナリティクス・サービス分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、都市・建築・土木・交通分野)では、社会的効果の割合が最も多く、次いで経済的效果、学術的效果の順という傾向が見られた。健康・医療・バイオテクノロジー分野については全体的にほぼ変わらない結果となった。

#### 4.4. キーワード

本調査では、注目科学技術、兆し科学技術共に「その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワード」を収集した。概要図表 8 に、表記ゆれ(AI と人工知能等)は統一し、周辺キーワード(量子コンピュータや量子センサ等)をグループ化したうえで、6 回以上の回答があったキーワード群を示す。キーワードは最低でも 3 つを必須回答としており、重複含め 1793 件のキーワードが得られた。なお、キーワードのまとめ方は一例である。

最も多いのは、人工知能、機械学習、深層学習、強化学習等のキーワードからなる、いわゆる AI に関連したキーワード群であり、71 回であった。次いで、量子コンピュータ、量子暗号、量子力学等のキーワードからなる、量子に関連したキーワード群であり、32 回であった。以降、20 回以上の回答があったキーワード群として、宇宙、カーボンニュートラル、ビッグデータ、電池、タンパク質等が挙げられる。

概要図表 8(本編図表 4.4-1) キーワードリスト

No.	キーワード	回答数
1	人工知能・機械学習・深層学習・強化学習	71
2	量子コンピュータ (量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ)・耐量子暗号 (量子暗号)・量子力学 (量子もつれ・量子超越性)・量子関連技術 (量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサ・室温量子材料・量子光源)・量子化学	32
3	宇宙 (宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境 (製造・計測)・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報)	24
4	カーボンニュートラル・二酸化炭素技術 (回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS)	23
5	ビッグデータ・ビッグデータ解析・データ駆動科学	23
6	電池 (高密度エネルギー電池・リチウムイオン電池・太陽電池・ペロブスカイト型太陽電池・原子力電池・燃料電池・シリコン電池・微生物電池)	22
7	人工タンパク質・代替タンパク質・スーパータンパク質・タンパク質工学 (構造解析・相互作用・合成・大量生産・超複合体・解誘導薬・光受容)	21
8	イメージング技術 (リアルタイムイメージング・バイオイメージング (ライブセル・インビボ)・光イメージング・毛髪イメージング・微細領域イメージング)	17
9	再生可能エネルギー・エネルギー変換	13
10	予測・観測 (地震発生)	13
11	地球環境・水循環・環境科学技術	12
12	DNA・DNA オリガミ・DNA ナノテクノロジー・DNA 合成	12
13	分子 (分子コンピューティング・分子サイバネティクス・分子モデリング・分子夾雑・分子界面・分子生理・分子分光学)	11
14	水素製造・水素・水素エネルギー	10
15	バイオマス資源(木質バイオマス)	9
16	神経医学・精神疾患 (アルツハイマー・うつ病・神経発達障害・神経変性疾患・神経膠芽腫)	9
17	合成生物学 (人工細胞・人工細胞リアクタ・人工細胞核)	8
18	エネルギーシステム (発電・蓄電)	8
19	ロボット (海中ロボット・実験ロボット・知能ロボット・テレプレゼンスロボット)	8
20	ゲノム編集・ゲノム合成	8
21	マテリアルズ・インフォマティクス技術	8
22	環境保全・保護	8
23	健康科学・健康寿命	7
24	テラヘルツ通信技術	7
25	メタマテリアル	7
26	遺伝子治療	7
27	資源エコシステム	7
28	生物多様性・保全	7
29	細胞プリンティング・細胞再構築・細胞移植・細胞接着・細胞小器官の固定技術	6
30	遺伝子技術 (遺伝子工学操作・遺伝的アルゴリズム・遺伝的多様性・遺伝子発現)	6
31	ウイルス・細菌・細菌叢・	6
32	プラスチック (分解・削減・バイオプラスチック・マイクロプラスチック・炭素繊維強化プラスチック)	6
33	バーチャルリアリティ (VR)	6
34	がん治療・がん細胞診断	6
35	シミュレーション技術	6
36	レーザー方式・応用・加速・アブレーション・スキャナー	6
37	核融合発電・核融合エネルギー	6
38	再生医療	6
39	人工培養肉	6
40	地球温暖化	6

---

## 5. 結果：具体事例

---

ここでは、概要図表 8 のリストに挙げたうちの上位グループについて、「科学技術の概要」「研究段階」「必要な要素」「キーワード」のいずれかに検索キーワードが一度でも出現した回答について抜粋して紹介する。

### 5.1. 人工知能・機械学習・深層学習・強化学習

---

検索キーワードは「AI」「強化学習」「人工知能」「機械学習」「深層学習」。回答数は、注目科学技術が 77 件、兆し科学技術が 14 件の計 91 件。

(1) AI 等の活用に注目する場合と、(2) AI 等そのものに注目する回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

#### (1) AI 等そのものに注目する事例

- ・離散写像の極限としての微分方程式の数学的解析を通じた機械学習の理論的解析や、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替など、機械学習と数値解析の融合【25】
- ・Explainable AI 技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法【99】
- ・Attention 機構を用いた深層ニューラルネットワークだけでなく、それ以外の高性能ニューラルネットワークの学習・構築が可能な類似手法の統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術【198】
- ・対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義し、与えられた大量の教師なしデータからの当該タスクを用いた自己学習により、少量の教師情報で対象問題を精度高く解決する手法【113】
- ・データから人が理解できる形での数式化を提案できる、AI Feynman などの近年のデータサイエンス技術を取り入れたデータ関係性の Symbolic Regression (数式回帰) 手法【470】

#### (2) AI 等の活用や効果に注目する事例

- ・在宅医療、テラーメイドシミュレーションや精密医療等、医療現場での活用【9, 66, 161, 172, 185, 296, 459】
- ・インフラの維持管理。運営や防災・減災への活用【6, 68, 109, 195, 257, 284, 316, 346】
- ・新規材料開発・探索やデバイス開発、プロセス等への活用【1, 27, 62, 91, 125, 166, 211, 216, 294, 327, 343】
- ・テラヘルツ領域の活用に向け、ビルの壁や車のボディなどのメタマテリアルを人工知能技術と融合させ、スマートな動作を可能とする Intelligent Reflecting Surface【31】
- ・大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別【44】
- ・生物の同定、家畜生産への活用、野生動物のバイオリギングや介入及び制御【46, 274, 384, 440, 493】
- ・赤潮や太陽嵐等の環境変動の予測【157, 206, 332】
- ・実用的プログラムの自動合成【259】
- ・タンパク質構造予測、合成経路反応予測、薬剤開発への活用【117, 169, 273, 322, 490】
- ・消費者の嗜好性予測、意思決定支援【140, 289, 369, 372】
- ・無人船、移動体自律化【311, 377, 512】
- ・実験、研究の自動化や推進【281, 298, 474, 491, 507】

## 5.2. 量子コンピュータ（量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ）・耐量子暗号（量子暗号）・量子力学（量子もつれ・量子超越性）・量子関連技術（量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサ・室温量子材料・量子光源）・量子化学

---

検索キーワードは「量子コンピュータ」「量子アニーリング」「誤り耐性量子コンピュータ」「量子暗号」「量子力学」「量子もつれ」「量子超越性」「量子雑音限界」「量子ビーム」「量子ビット」「量子材料」「量子センサ」「量子光源」「量子化学」。回答数は、注目科学技術が15件、兆し科学技術が7件の計22件。

(1)量子コンピュータ等そのものに注目している場合と、(2)その活用法や波及効果にも注目している回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録3における通し番号を示す。

### (1) 量子コンピュータ等そのものに注目する事例

#### ①量子計算

- ・従来計算機と量子計算機による協調計算【56】

#### ②量子コンピュータ

- ・トポロジカル超伝導体に現れるマヨラナ粒子の非可換統計性の量子コンピュータへの応用【30】
- ・極低温環境を効率よく生み出す技術【147】
- ・ワイドバンドギャップ半導体を用いた室温での量子技術【147】
- ・量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発【129】
- ・計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究【129】
- ・量子コンピュータ用の暗号通信【128】
- ・量子コンピューターのための量子光源モジュール【409】
- ・量子コンピュータ向けドメイン特化型言語のコンパイラ・最適化技術やソフトウェア工学を発展させたテスト・検証技術など、量子コンピュータ向けソフトウェア開発法【413】
- ・量子コンピュータの実現【245, 388, 404, 482】

#### ③量子ビーム線源・パワーレーザー

- ・高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力(照射繰り返し率の高い)パワーレーザーの開発【337】
- ・レーザーダイオード励起、セラミック結晶を用いた次世代パワーレーザー製作コストの低減【337】

### (2) 量子コンピュータ等の活用や効果に注目する事例

#### ①量子センサ

- ・バイオセンシングと、薬剤候補の効率的な選定や疾病解明【10】

#### ②量子化学、量子材料等

- ・生物の化学感覚器が持つ分子認識能の機構解明と再現【165】
- ・原子・分子レベルで構造が制御された新たな量子特性を示すナノ材料【199】
- ・第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能な、量子暗号通信【245】

#### ③量子コンピュータ

- ・従来のコンピュータを凌駕するスピードでの信号処理演算、古典的な量子化学計算では実現できなかった高速・高精度量子化学計算【245, 435】
- ・生体高分子や合成高分子など様々な化学反応予想、試行錯誤無しの最適反応条件特定【314】

#### ④量子もつれ

- ・分光測定(レーザーを含む古典的な光を用いた測定)の検出限界を上回る測定技術【188】

#### ⑤量子ビーム線源・パワーレーザー

- ・新しい物質の創成や物質の形状変化(レーザー加工)への応用【337】
- ・宇宙や地球・惑星の内部などの極限状態の再現【337】
- ・クリーンエネルギー源の開発を目的としたレーザー核融合炉【337】
- ・レーザープラズマ加速技術を用いた小型装置での高エネルギー量子ビーム生成及び建築コストの大幅削減【494】



### 5.3. 宇宙（宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境（製造・計測）・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報）

---

検索キーワードは「宇宙」。回答数は、注目科学技術が 15 件、兆し科学技術が 7 件の計 22 件。

(1)宇宙探査や利用に関する科学技術、(2)宇宙を計測・観測、予測・予報する科学技術、(3)宇宙機等のための基盤技術に注目する回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

#### (1) 宇宙探査や利用に関する科学技術

地球資源の枯渇への対応や、人類の活動圏拡大に向けた科学技術が多い。

##### ①宇宙探査・宇宙利用、宇宙資源、宇宙エネルギー伝送、宇宙エレベーター

- ・月の水資源や小惑星の鉄・プラチナなど宇宙資源の探査・採掘及び持ち帰り技術、月面での水・酸素生成技術【73, 524】
- ・宇宙資源やエネルギーの伝送・移送【242】
- ・宇宙空間を活用した経済活動や技術開発を大きく進展させるための宇宙エレベーター【485】

#### (2) 宇宙を計測・観測、予測・予報する科学技術

活発化する太陽活動や超小型衛星の普及に伴う事故頻度の増加を見越して、人工衛星の不具合、通信障害、人体や社会インフラへの悪影響を防ぐものや、宇宙空間での活動に向けた科学技術が多い。

##### ②宇宙環境（製造・計測）、宇宙天気予報

- ・地球の気象予報レベルの宇宙天気予報、AI 技術を利用した宇宙天気予報、社会インフラへの影響予測が可能な、宇宙天気の高精度予報技術【41, 206, 276, 307】
- ・宇宙空間での低ノイズ観測のための冷凍技術【261】
- ・宇宙環境変動の 24 時間観測・リアルタイムモニタ・計測、多数の衛星を太陽の周りを周回させ常時監視する宇宙環境計測【41, 407】
- ・磁気シールドで宇宙線を防ぐ技術【501】

#### (3) 宇宙機等のための基盤技術

衛生等の材料など、宇宙利用のための基盤技術が多い。

##### ③宇宙物理等

- ・装置損傷防止、高効率燃料利用、難燃性の再生可能燃料利用などが可能な繰り返し放電による確実な点火技術【113】
- ・テラヘルツ波を利用した 100 Gbps 超の Beyond 5G/6G 向け無線伝送技術【248】
- ・燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす全電化衛星【288】
- ・宇宙分野の耐熱性材料に向けた、5 種類以上の元素からなるハイエントロピー合金、宇宙などの殊環境での製品製造が可能なオールオブティクス製造【323, 473】
- ・3K 宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光場の観測及び統計解析による宇宙の初期条件の解明【127】
- ・宇宙や地球・惑星の内部などの極限状態を再現可能な次世代パワーレーザー【337】

## 5.4. カーボンニュートラル・二酸化炭素技術（回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS）

検索キーワードは「カーボンニュートラル」「二酸化炭素」「脱炭素」「カーボンフリー」「CCU」「CO<sub>2</sub>」。回答数は、注目科学技術が 40 件、兆し科学技術が 4 件の計 44 件。

(1)CO<sub>2</sub> の資源化等に関わる科学技術、(2)資源の確保や産生、循環やリサイクルに関わる科学技術、(3)再生可能エネルギー等の産生や確保、変換に関わる科学技術(4)その他、環境保全や負荷低減に関わる科学技術に注目する事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

### (1) CO<sub>2</sub> の資源化等に関わる科学技術

- ・ガス発酵を行う微生物を用いた二酸化炭素の消費と有用物質生産【17】
- ・水素タンクに入れておくだけで多量の水素を保有できる軽量水素吸蔵・貯蔵材料【33】
- ・高濃度二酸化炭素を直接電解還元してメタノールを合成する技術及び電解セル【34】
- ・共有結合性有機構造体(covalent organic framework)による分離技術【65】
- ・沿岸生態系の CO<sub>2</sub> 吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及【131, 136】
- ・一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し有用物質生産を行う好熱性(嫌気性)微生物の育種【132】
- ・CO<sub>2</sub> 還元反応触媒や CO<sub>2</sub> 吸着材料【177】
- ・電気透析を活用して海水から CO<sub>2</sub> を回収する技術【336】
- ・CO<sub>2</sub> からの燃料や化成品の高純度合成と同時に副生水から水素を製造し、再度 CO<sub>2</sub> との反応へリサイクルするシステム【345】
- ・建築分野のライフサイクル CO<sub>2</sub> の把握・評価【353】
- ・二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として油脂発酵する技術【360】
- ・CO<sub>2</sub> の電解による有機物合成、CO<sub>2</sub> と水から界面活性剤などの化学物質を合成する触媒【360】
- ・塩基性岩石の化学風化促進による大気中 CO<sub>2</sub> の吸収と土壌改質、溶出イオンによる海洋酸性化の緩和【410】

### (2) 資源の確保や産生、循環やリサイクルに関わる科学技術

- ・海底鉱物資源、特にレアアース・コバルト・ニッケル資源の開発技術【48】
- ・日用品のプラ製品から、未使用原料からの製造と遜色ないプラ製品を再生する高度リサイクル技術【160】
- ・炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法【258】

### (3) 再生可能エネルギーや水素等の産生や確保、変換、貯蔵や利活用等に関わる科学技術

- ・鉛フリーかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池など、ペロブスカイト太陽電池【70, 197】
- ・廃水から NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(エネルギー)への変換・回収技術【71】
- ・太陽光などの再生可能エネルギーによるアンモニア製造【77】
- ・アンモニアを燃焼させて発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術、アンモニアからの水素製造【86, 118】
- ・高出力かつ高エネルギー変換効率を有した中低温作動型燃料電池【110】
- ・イオン伝導体を Li 分離膜とした Li 選択的な回収技術など、リチウムイオン電池原料循環技術【146】
- ・大量に水素を取り扱う将来を想定し、液体水素の冷熱も有効利用した電力需給調整システム【151】
- ・人工光合成に関する技術、有用物質の製造【239, 469】
- ・地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術【242】
- ・微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した電池【320】
- ・核融合発電燃料の一つである三重水素を効率的に使用するための自己増殖技術、循環および再利用技術【386】

#### （４）その他、環境保全や負荷低減に関わる科学技術

- ・動物飼育由来の食肉を代替する培養肉生産法【72】
- ・固液分散系製品における添加剤の 9 割以上削減や高温熱処理プロセスが不要になる技術【104】
- ・木質バイオマスから環境負荷の小さいリグニン抽出および有用材料・化学原料の合成【119】
- ・バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料(ウッドセラミックス)の蓄電池電極【227】
- ・燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道【253】
- ・衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース(単一発生源)の検出と定量【305】
- ・反応性窒素  $\text{Nr}$  を安価かつ容易に定量、測定する技術【315】
- ・木質バイオマス発電所で生じる木灰と食品残差を組み合わせた有機堆肥化及びその地場利用【350】

---

## 6. 実現に向けて必要な要素

---

本調査では、科学技術だけでなく、その実現に向けて必要な要素についても調査した。他方で、直近の科学技術予測調査である第 11 回科学技術予測調査においても、必要な要素のうち、政策手段については「実現に向けて必要な政策手段」として項目別に調査した。今回得られた回答のうち、それらの項目に関連した記載には概ね以下のような内容が見られた。

#### （１）人材の育成・確保

研究を発展させるためにはポストドク等の他、特定の専門家の人材育成が必要との回答が見られる他、科学技術に関する理解の浸透や社会的教育についても回答が見られる。

#### （２）研究開発費の拡充、事業補助

研究開発費の拡充そのものや、公的資金の投資対象についての意見の他、コストダウンについても回答が見られる。

#### （３）研究基盤整備、事業環境整備

高度な設備の維持や実証実験といった回答の他、関係者の科学技術についての理解の浸透、データ量や品質管理、データの利用やデータベース整備についての回答が見られる。

#### （４）国内連携、国際連携

他の項目に比べて多くの回答が見られる。異分野連携や産学官連携の必要性だけでなく、分野融合的・横断的研究拠点の整備や、学会等プラットフォームの充実についての回答が見られる。連携対象についても幅があり、異分野であっても、例えばバーチャルリアリティ（VR）やメタバースに関しては、人文社会科学や認知科学など幅広い分野との連携に基づく大きな研究コミュニティの構築が必要との意見が見られた。他方で DNA ナノテクノロジーについては生化学とバイオテクノロジー、ヘルスケア情報を取得する研究領域については医学系と情報工学系、心理系などが連携対象であった。

#### （５）法規制の整備：法令・基準の緩和・廃止又は強化・新設

指針の提示や規制の緩和の他、税制の整備や省庁が連携した政策検討が必要との回答が見られた。

#### （６）倫理的課題への対応

倫理的な議論や取り決め、倫理審査に関する回答の他、社会的合意形成に関する記載が見られた。

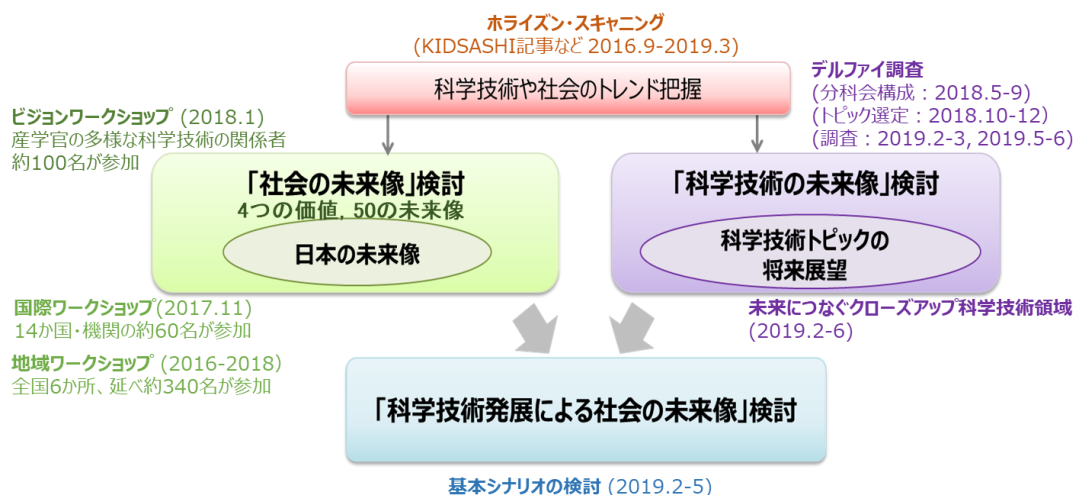
# 本編

## 1. はじめに

### 1.1. 調査の背景

科学技術・学術政策研究所では、1971 年から約 5 年毎に科学技術予測調査を実施しており、科学技術基本計画が策定されるようになって以降、その策定スケジュールに合わせて調査を実施してきた。第 11 回科学技術予測調査(以降、第 11 回科学技術予測調査)では、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画を始めとする科学技術イノベーション政策・戦略の検討に資する基礎的な情報を提供することを目的として、科学技術発展と社会の未来について検討を行った。調査の構成を図表 1.1-1 に示す。

図表 1.1-1 第 11 回科学技術予測調査構成の概要



第 11 回科学技術予測調査のうち「科学技術の未来像」検討のパートにおいては、対象分野として 7 分野\*を設定し、2050 年までを見通して実現が期待される研究開発課題を「科学技術トピック (以下、トピック)」として各分野約 100 件ずつ、計 702 件設定した。検討手順を以下に記す。

\* 健康・医療・生命科学分野、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、環境・資源・エネルギー分野、ICT・ナリティクス・サービス分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、都市・建築・土木・交通分野、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野

#### (1) 設定の基本方針

- ・ 将来の社会変化に対応する、科学技術イノベーションを創出する、共通基盤的技術である、科学技術進展に寄与する等、様々な観点から重要と考えられる科学技術を抽出する。
- ・ 科学技術の進展と関連の深い社会制度・システム、市民の意識、社会変化等、科学技術以外の事項も、必要に応じ設定可とする。
- ・ 俯瞰性を担保しつつ、今後特に注目すべき事項を入れ込む。
- ・ 2050 年までを展望しつつ、ターゲットイヤーである 2040 年頃の(前倒し)実現も意識する。

## (2) 検討手順

- ① 各分野 10 程度の細目を設定した。設定に当たっては、前回第 10 回調査の細目を踏まえつつ、今後の科学技術発展及び社会変化の可能性を考慮し、細目が今後 30 年を見越して重要と考えられる科学技術の枠組みを示すものであることを意識した。あわせて、アンケート調査であることから回答者にとってのわかりやすさにも配慮した。したがって、第 11 回科学技術予測調査における細目は、大きさや性格などを整えて俯瞰性を担保した分野分類とは本質的に異なり、また細目として設定することがメッセージを持つ場合もある。
- ② 細目ごとに科学技術トピック候補を抽出した。抽出に当たっては、「ホライズン・スキャニング<sup>1)</sup>」(パート1)で得られた細目別情報を参照した。情報の種類は以下の通りである。

第 11 回科学技術予測調査においてホライズン・スキャニング(HS)により収集した細目別情報

情報種類	HS 分類*	項目	情報源
研究情報	—	科学技術トピック	「第 10 回科学技術予測調査分野別科学技術予測」の科学技術トピック計 932 件から抽出(関連度の高い 10 件)
	将来見通し/動向	注目研究領域	「サイエンスマップ 2016」から関連領域を抽出(細目単位ではなく分野単位で抽出)
			「研究開発の俯瞰報告書 2017 年度版」(科学技術振興機構)から抽出(関連度の高い 10 件)
	兆し/動向	研究テーマ	クローリングにより収集した大学等研究機関のプレスリリースから抽出(関連度の高い 10 件)
			科学研究費助成事業データベース KAKEN から抽出(関連度の高い 100 件)
	将来見通し/目標		トップダウン型の競争的資金(文部科学省、JSPS、JST、NEDO 等)に関する情報(関連度の高い件数、金額、件名例)
政策情報	将来見通し/目標		クローリングにより収集した政府審議会等の議事録から抽出(関連度の高い 10 件)

(注)\* ホライズン・スキャニングにおいては、認知度及び方向性の観点から情報を特徴づけた。認知度については、「将来見通し(専門家・有識者間あるいは社会一般の中で一定程度の共通認識)」と「兆し(個人的あるいは一部の見解)」に分類。方向性については、「動向(価値観や願望を含まない客観的な方向性)」と「目標(目指すべき規範的な方向性)」に分類。

- ③ 科学技術トピック候補のうち、他分野との関わりが深いと考えられるトピックを抽出し、分野間で相互参照を行った。この目的は、重要な科学技術が分野の狭間に落ちてしまっていないかを確認すること、及び、同一内容の科学技術トピックを避けること(類似性の高い科学技術トピックについては、最も適切な分野に集約する、視点の違いを明確にするなどの対応をとる)である。
- ④ 他分野の設定状況も参照しつつ当該分野の科学技術トピック候補を検討し、各細目 10 件程度、分野計 100 件程度を最終的に設定した。

<sup>1</sup> ホライズン・スキャニングについては、OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) によって「新しい技術とその技術の現在の課題に対する効果に重きを置いて、潜在的な脅威や機会を体系的に調査することにより、潜在的に重要な天恵の早期的な兆しを検出する手法である」と定義されており、各国・機関の定義において多少のニュアンスは異なるが、共通して「早期の兆しをとらえる」ことが示されているホライズン・スキャニングについての詳細は以下を参照。科学技術予測センター、「兆しを捉えるための新手法～NISTEP のホライズン・スキャニング“KIDSASHI”～」, NISTEP Policy Study, No.16, 文部科学省科学技術・学術政策研究所。DOI: <http://doi.org/10.15108/ps016>

## 1.2. 本調査の目的

---

本調査は、科学技術予測調査の実施に向けたホライズン・スキヤニング（科学技術や社会などの早期の兆しをとらえる）調査の一環であり、次期（第12回）科学技術予測調査の検討過程を補強し質と精度を向上するために実施するものである。

第11回科学技術予測調査の分野別分科会における科学技術のトピック設定においては、ホライズン・スキヤニングで得られた研究情報として、「第10回科学技術予測調査分野別科学技術予測」「サイエンスマップ2016」「研究開発の俯瞰報告書2017年度版」を提供していた。これらの情報はそれぞれが膨大な調査結果であり質の高い情報である一方で、参照に時間がかかり、科学技術予測調査の実施時期にあわせているわけではないためにタイムラグが存在していた。また、タイムラグの無い情報として、クロージングにより収集した大学等研究機関のプレスリリースから抽出（関連度の高い10件）、科学研究費助成事業データベース KAKEN から抽出（関連度の高い100件）、トップダウン型の競争的資金（文部科学省、JSPS、JST、NEDO等）に関する情報（関連度の高い件数、金額、件名例）などの情報を提供していた。これらの情報については、タイムラグは無いものの情報量が膨大で参照に時間がかかり、また、機械的情報収集であるために専門家の視点が必要であった。

これらの状況を踏まえ現在は、第12回科学技術予測調査に向けた現状のホライズン・スキヤニング体制を強化し、研究論文の被引用情報や各国・機関等が策定した規則・規定などの最新情報収集・分析ツールなどを導入し、情報量や調査範囲を拡充した。その一方で、専門家による最新の知見については更なる蓄積が求められる。

そこで本調査では、次期科学技術予測調査における科学技術トピック検討に資する基礎情報を随時得るために、現在注目される科学技術をアンケートで収集し、科学技術キーワードを抽出整理する。また、今後も毎年同様の調査によって注目科学技術及びキーワードを蓄積する。これらの情報は、次期科学技術予測調査時に、タイムラグの少ない専門家の視点として情報提供する。また、次期科学技術予測調査の目的に限らず科学技術の動向調査として活用し、結果は文部科学省における政策検討の基礎資料としても提供する。なお、本調査は専門家が注目する科学技術を「注目科学技術」とし、専門家の最新の知見を毎年幅広く収集・蓄積し、得られた結果を精査・分析して公表するものである。

### 1.3. 前回調査からの変更点

#### 1.3.1. 調査設計に関する変更

本調査は2020年度より開始した定常的調査であるが、調査設計については固定せずに適宜見直す。図表 1.3.1-1 に、前回からの変更点について示す。

まず目的について、前回調査では次期科学技術予測調査の基礎資料とすることを主目的としていたが、調査によって得られる科学技術は多岐に渡り、政策に係る情報も多いため、政策形成の場においても積極的な情報提供を行うこととした。それに伴い、より詳細な分析を行う目的で質問項目も追加または変更を加えた。特に前回は「注目科学技術」についてのみの調査であったのに対し、今回は、現時点で実現可能性や期待される効果は不明であるものの、将来的に実現すれば学術・経済・社会へ大きな変化をもたらす得る科学技術として「兆し科学技術」も調査に加えた。

図表 1.3.1-1 前回からの変更点概要

\*変更点に太字・下線

	前回調査	今回調査
目的	次期科学技術予測調査の基礎資料	次期科学技術予測調査の基礎資料 <u>政策検討の基礎資料</u>
調査項目	注目科学技術	注目科学技術、 <u>兆し科学技術</u>
質問項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>科学技術の概要</li> <li>実現に向けたボトルネック</li> <li>実現時期 選択肢:10年未満、10年以降</li> </ul>	<p>&lt;注目科学技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>科学技術の概要</li> <li><u>・当該科学技術の研究段階</u></li> <li><u>・当該科学技術のキーワード</u></li> <li><u>・当該科学技術に対する専門度</u> 選択肢:高、中、低</li> <li>実現時期 選択肢:<u>5年未満、5年以降</u> 10年未満、10年以降</li> <li><u>・学術的效果</u> 選択肢:高、中、低</li> <li><u>・経済的效果</u> 選択肢:高、中、低</li> <li><u>・社会的効果</u> 選択肢:高、中、低</li> <li>実現に向けて<u>必要な要素</u></li> </ul> <p>&lt;兆し科学技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>・科学技術の概要</u></li> <li><u>・科学技術のキーワード</u></li> <li><u>・科学技術に対する専門度</u> 選択肢:高、中、低</li> </ul>



### 1.3.2. 「短縮版」の作成

上述のように、今回調査については質問項目を増やし、注目科学技術については「科学技術の概要」「研究段階」「実現に向けて必要な要素」のそれぞれについて回答を求めた。加えて、実現した際の各種効果についても調査したことから、本調査結果は単に科学技術についての情報だけでなく、その独創性や優位性、それらを取り巻く状況、何が課題・問題なのか、実現すればどのような影響が考えられるのか、必要な要素技術は何か、などの多様かつ重要な記述が多く含まれる。これらの記述については付録にて原則そのまま公開しており、詳細はそちらを参照頂きたい。

一方で全体としての記述量は多いということもあり、各記述の要素を盛り込みつつ本調査結果の幅広い活用を促すという観点から、本報告書の作成にあたっては「短縮版」を作成した。短縮版の作成にあたっては、回答者の意図とのずれが発生することを避けるため、一部表記ゆれの統一の他、軽微な平仄をそろえる以外には付け加え等を行わず、語順を入れ替える場合には意図が変わらないように留意した。ただし、一部の略語において、略語しか用いられていない場合には適宜補足を加えた。

また、短縮版は基本的に科学技術を単位として作成しており、ひとつの回答が「または」等で区切られているなど複数の科学技術が含まれている場合には、短縮版も複数作成した。文量は一文で統一しているため、元々の回答の長さによっては全ての要素を入れ込んでいるわけではないことに留意頂きたい。

## 2. 方法

### 2.1. 専門家ネットワークアンケート調査

アンケート調査の概要を図表 2.1-1 に示す。

図表 2.1-1 アンケート調査概要

調査時期	2022 年 3 月 1 日～2022 年 3 月 21 日
質問項目	<div>1. 注目科学技術 Q1. あなたの専門で現在注目している、今後実現が期待される科学技術があれば、その科学技術の概要をご説明ください Q2. その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワードを 3 つ以上記入してください Q3. その科学技術について、あなたの専門度を教えてください 選択肢：高、中、低 Q4. その科学技術について、いつ頃の実現が想定されますか 選択肢：5 年未満、5 年以降 10 年未満、10 年以降 Q5. その科学技術の研究段階を教えてください Q6. その科学技術が実現した際に期待される学術的効果<sup>(注)</sup>について教えてください Q7. その科学技術が実現した際に期待される経済的効果<sup>(注)</sup>について教えてください Q8. その科学技術が実現した際に期待される社会的効果<sup>(注)</sup>について教えてください 選択肢：(Q6～8 共に) 大、やや大、中、あまりなし、なし、不明 Q9. その科学技術の実現に向けて必要な要素（要素技術の進展や、社会的要素など）があれば、その内容を教えてください</div> <div>2. 兆し科学技術 Q1. 現時点で実現可能性や期待される効果は不明であるものの、将来的に実現すれば学術・経済・社会へ大きな変化をもたらし得る科学技術（兆し科学技術）があれば、その科学技術の概要をご説明ください（自由記述） Q2. その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワードを 3 つ以上記入してください（自由記述） Q3. その科学技術について、あなたの専門度を教えてください 選択肢：高、中、低</div>
形式	オンライン（専用ウェブサイト開設）
調査対象者	NISTEP 専門家ネットワークの専門調査員 1681 名
回答者	308 名
回答数	534 件

(注)「実現した際に期待される効果」について

学術的効果：例えば、知（科学基盤・基礎科学）の創出、今後の新たな技術を生み出す、他分野へ波及効果（新分野の創出、他分野の発展加速等）をもたらすなど。

経済的効果：例えば、新たなサービス・事業・産業の創出や既存産業の発展への寄与、産業競争力を向上させる可能性、技術・素材・製品・製法等の改良、新たな雇用創出など。

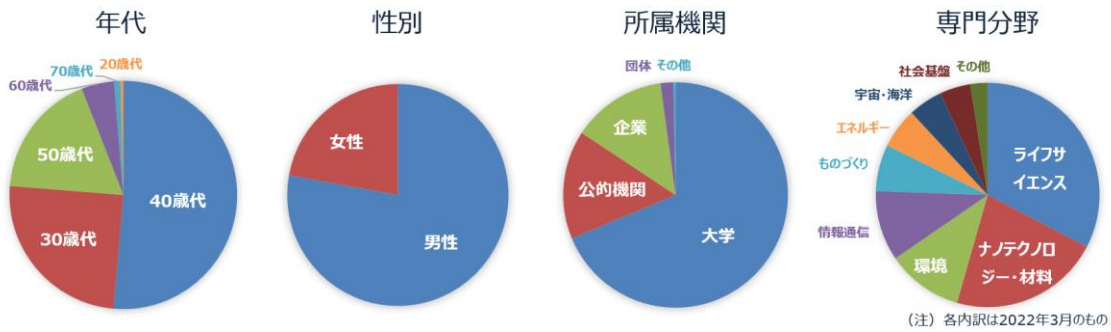
社会的効果：例えば、個人・社会の安全・安心の維持・向上、個人・社会の健康・幸福度向上、暮らし・ライフスタイルの改善、社会的基盤（都市・地域・交通・インフラ）の強化、地域社会への貢献、社会の福祉・公正性や不平等問題への貢献、環境・エネルギー・資源・生態系への貢献、社会的課題の解決、新しい文化創造、国際社会への貢献など。

専門家ネットワークとは、専門家の互選により構成されたネットワークで、所属機関・性別・年代・専門分野等の属性に配慮しつつ運営されているネットワークである。当研究所より科学技術イノベーション政策研究に関する情報を随時提供し、また関連するアンケート調査等に協力いただいているため、専門性と併せて政策に関わる知見も持つと想定される集団である。

図表 2.1-2 に、調査時点での専門家ネットワークの年代・性別・所属・専門分野の内訳を示す。年代については 40 代が約 5 割と最も多く、次いで 30 代、50 代が多い。性別は男性が約 8 割、所属については大学が約 7 割と最も多い。専門分野についてはライフサイエンスが約 3 割、ナノテクノロジー・材料が約 2 割である。

図表 2.1-2 専門家ネットワークの年代・性別・所属・専門分野内訳

(A) 円グラフ



(B) 実数

年代	人数	性別	人数	所属機関	人数	専門分野	人数
20 歳代	7	男性	1309	大学	1155	ライフサイエンス	549
30 歳代	418	女性	372	公的機関	262	ナノテクノロジー・材料	366
40 歳代	864			企業	228	環境	185
50 歳代	299			団体	31	情報通信	170
60 歳代	78			その他	5	ものづくり	113
70 歳代	15					エネルギー	98
						宇宙・海洋	83
						社会基盤	75
						その他	42
計	1681	計	1681	計	1681	計	1681

## 2.2. 第 11 回科学技術予測調査における分野分類への割り振り

科学技術予測調査への活用のため、アンケート結果を、機械的なものと人間による評価を組み合わせたハイブリッド方式で第 11 回科学技術予測調査の分野と紐づけた。まず、科学技術の自由記述に対し、第 11 回科学技術予測調査で分野ごとに設定した計 702 トピックを類似度ベースで機械的に複数紐付け、次にそれらを候補として妥当と思われる分野に人間が割り付けた。ここで、自由記述と 702 トピックの間に単語そのものが重複するケースは多くない。そこで類似度の算出には分散表現を用いて、単純な単語一致よりも柔軟な算出を行った。具体的な手法や分散表現辞書は過去の文献<sup>2</sup>のものを適用した。なお、最終的な割り振りについてはあくまで各分野共に第 11 回科学技術予測調査の細目の範囲内に該当するか否かで割り振ったため、この割り振りは厳密な学術分野ではなく、あくまで第 11 回科学技術予測調査の調査対象範囲である点に留意されたい。

<sup>2</sup> 小柴 等, 森川 想:議事録を用いた我が国における議会・行政の関係性分析手法, 人工知能学会論文誌, Vol. 34, No. 5, p. E-J47\_1-10 (2019)

### 3. 結果：全体概要

#### 3.1. 注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳

図表 3.1-1 に、注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳を示す。まず全体のうち、注目科学技術は 395 件、兆し科学技術は 138 件であった。

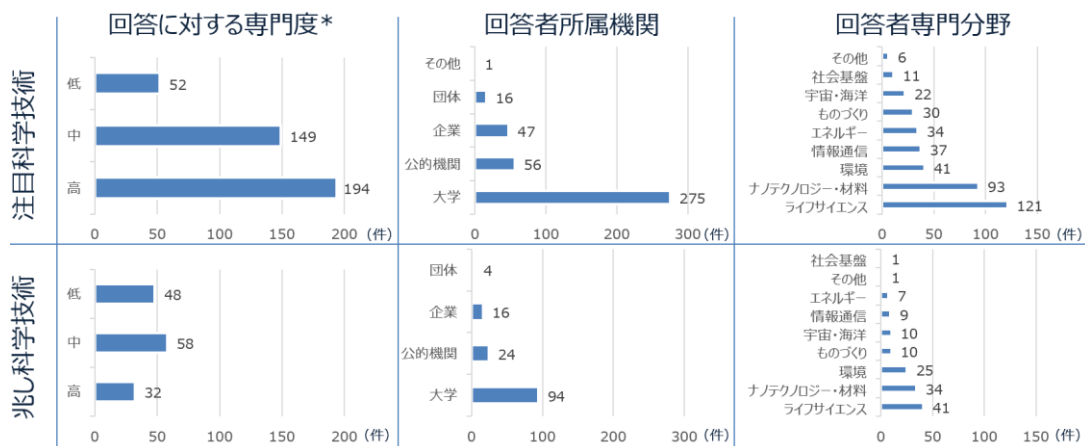
回答に対する専門度については、注目科学技術は設問を「あなたの専門で」と設定したこともあり、多い順に高、中、低となっている。対して兆し科学技術については、専門度中が最も多く、次いで低、高の順である。大まかな傾向として、注目科学技術については自身の研究又は業務に関連した回答が、兆し科学技術については自身の専門知識に関連した回答が多いことが伺える。

所属機関については、注目科学技術・兆し科学技術のいずれについても大学が約 7 割と最も多い。これについては元々の専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。回答者専門分野についても、注目科学技術・兆し科学技術のいずれについてもライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料が多く、これは所属機関と同様に専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。

従って回答に対する専門度については注目科学技術と兆し科学技術で違いがみられるが、回答者所属機関及び回答者専門分野については違いが見られない。また、回答者所属機関及び回答者専門分野の偏りは元々の専門家ネットワークの属性割合と同等であることから、いずれかの属性に偏った調査にはなっていないことが伺える。

本調査は専門家ネットワークの協力を中心とした調査であるという特性から、以降のまとめにおいて大学、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料の回答が多い傾向にあることは本調査が持つ特性としてご留意いただきたい。

図表 3.1-1 注目科学技術・兆し科学技術別の回答者属性内訳



\*専門度について

高：例えば、現在、当該科学技術に関連した研究又は業務に従事している（文献による調査研究を含む）等により、当該科学技術に関連した専門的知識を持っている、など。

中：例えば、過去に当該科学技術に関連した研究又は業務に従事したことがある。あるいは、隣接領域の研究又は業務に従事している等により、当該科学技術に関連した専門的知識をある程度持っている、など。

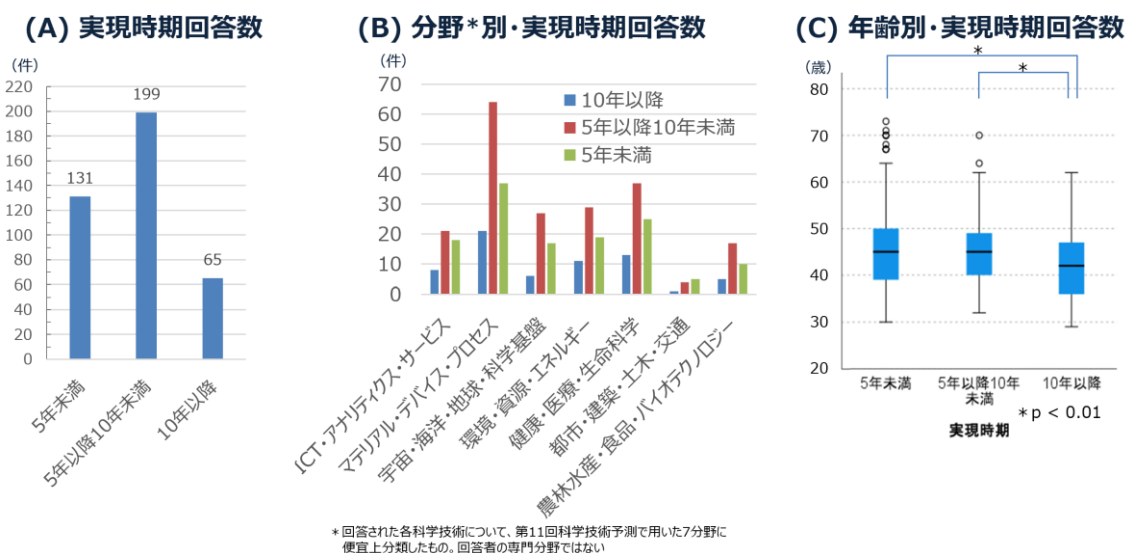
低：例えば、当該科学技術に関連した専門的な本や文献を読んだり、専門家の話を聞いたりしたことがある、など。

### 3.2. 実現時期

注目科学技術については、当該科学技術の実現時期を「5 年未満」「5 年以降 10 年未満」「10 年以降」で調査した。図表 3.2-1 に、(A) 実現時期別の回答数、(B) 第 11 回科学技術予測調査分野別の実現時期回答数、(C) 年齢別の実現時期回答数を示す。結果は以下のとおり。

- (A) : 実現時期別の回答数では、約半数(395 件中 199 件)は「5 年以降 10 年未満」であり、次いで「5 年未満」であった。
- (B) : 実現時期回答数を第 11 回科学技術予測調査分野別にみると、傾向に(A)と大きな違いは見られないものの、中でも都市・建築・土木・交通分野は「5 年未満」の回答が最も多い。また、ICT・アナリティクス・サービス分野は、「5 年未満」と「5 年以降 10 年未満」の回答数の差が比較的小さい。
- (C) : 実現時期回答数を年齢別にみると、「10 年以降」の回答者は、他の実現時期に比べて比較的若い。

図表 3.2-1 実現時期別の回答数

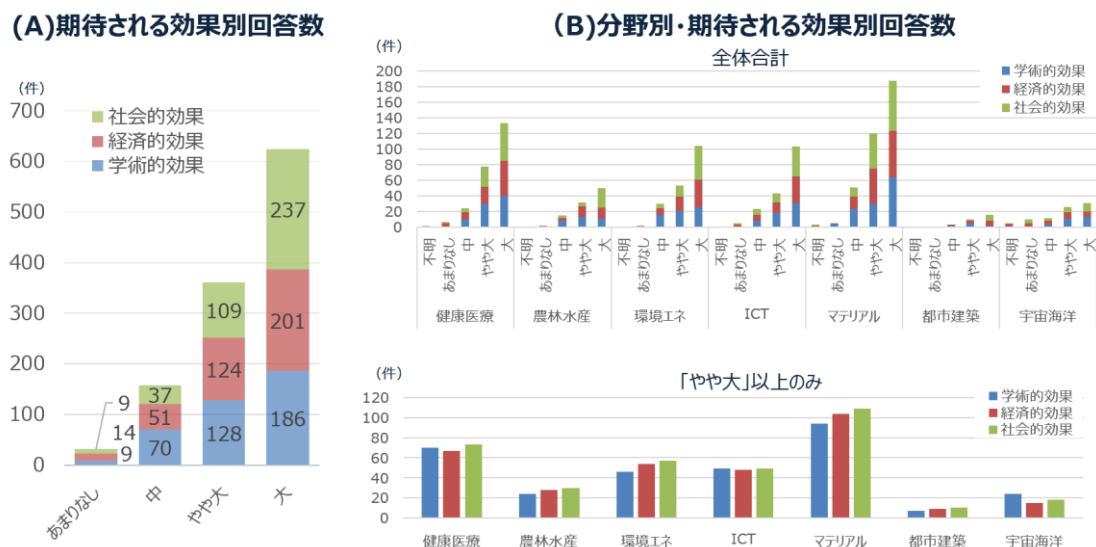


### 3.3. 実現した際に期待される効果

注目科学技術については、当該科学技術が実現した際に期待される効果を「学術的效果」「経済的效果」「社会的効果」で調査した。それぞれの効果についての具体例は以下のとおり。

図表 3.3 1 に、分野別の期待される効果回答数について、(A) 期待される効果別、(B) 分野別に示し、図表 3.3 2 にその数値及び割合を示す。

図表 3.3-1 期待される効果別の回答数：グラフ



図表 3.3-2 分野別の期待される効果（やや大以上）：実数及び割合

	実数			割合		
	学術	経済	社会	学術	経済	社会
健康医療	63	62	67	32.8%	32.3%	34.9%
農林水産	24	29	31	28.6%	34.5%	36.9%
環境エネ	44	52	55	29.1%	34.4%	36.4%
ICT	39	41	42	32.0%	33.6%	34.4%
マテリアル	93	106	109	30.2%	34.4%	35.4%
社会基盤	7	9	10	26.9%	34.6%	38.5%
宇宙海洋	44	26	32	43.1%	25.5%	31.4%

(注)

①分野の正式名称と略称との対応

健康・医療・生命科学＝健康医療、 農林水産・食品・バイオテクノロジー＝農水バイオ  
 環境・資源・エネルギー＝環境エネ、 ICT・アナリティクス・サービス＝ICT  
 マテリアル・デバイス・プロセス＝マテリアル、 都市・建築・土木・交通＝社会基盤  
 宇宙・海洋・地球・科学基盤＝宇宙海洋地球

②各効果についての解説

学術的効果：例えば、知（科学基盤・基礎科学）の創出、今後の新たな技術を生み出す、他分野へ波及効果（新分野の創出、他分野の発展加速等）をもたらすなど。

経済的効果：例えば、新たなサービス・事業・産業の創出や既存産業の発展への寄与、産業競争力を向上させる可能性、技術・素材・製品・製法等の改良、新たな雇用創出など。

社会的効果：例えば、個人・社会の安全・安心の維持・向上、個人・社会の健康・幸福度向上、くらし・ライフスタイルの改善、社会的基盤（都市・地域・交通・インフラ）の強化、地域社会への貢献、社会の福祉・公正性や不平等問題への貢献、環境・エネルギー・資源・生態系への貢献、社会的課題の解決、新しい文化創造、国際社会への貢献など。

(A)(B)共に、いずれの期待される効果についても「大」が最も多く、その後「やや大」、「中」、「あまりなし」と、期待される効果が小さくなるにつれて回答数も少なくなる傾向にある。そこで「大」「やや大」に絞って集計すると、全体的に大きな差はないものの、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野のみ、経済的效果(31.4%)や社会的効果(25.5%)よりも学術的效果(43.1%)の回答割合が多い結果となった。その他の分野(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、環境・資源・エネルギー分野、ICT・アナリティクス・サービス分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、都市・建築・土木・交通分野)では、社会的効果の割合が最も多く、次いで経済的效果、学術的效果の順という傾向が見られた。健康・医療・バイオテクノロジー分野については全体的にほぼ変わらない結果となった。

### 3.4. キーワード

---

本調査では、注目科学技術、兆し科学技術共に「その科学技術の内容をよく表していると思われるキーワード」を収集した。図表 3.4-1 に、表記ゆれ(AI と人工知能等)は統一し、周辺キーワード(量子コンピュータや量子センサ等)をグループ化したうえで、6 回以上の回答があったキーワード群を示す。キーワードは最低でも 3 つを必須回答としており、重複含め 1793 件のキーワードが得られた。なお、キーワードのまとめ方は一例である。

最も多いのは、人工知能、機械学習、深層学習、強化学習等のキーワードからなる、いわゆる AI に関連したキーワード群であり、71 回であった。次いで、量子コンピュータ、量子暗号、量子力学等のキーワードからなる、量子に関連したキーワード群であり、32 回であった。以降、20 回以上の回答があったキーワード群として、宇宙、カーボンニュートラル、ビッグデータ、電池、タンパク質等が挙げられる。

図表 3.4-1 キーワードリスト

No.	キーワード	回答数
1	人工知能・機械学習・深層学習・強化学習	71
2	量子コンピュータ（量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ）・耐量子暗号（量子暗号）・量子力学（量子もつれ・量子超越性）・量子関連技術（量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサ・室温量子材料・量子光源）・量子化学	32
3	宇宙（宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境（製造・計測）・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報）	24
4	カーボンニュートラル・二酸化炭素技術（回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS）	23
5	ビッグデータ・ビッグデータ解析・データ駆動科学	23
6	電池（高密度エネルギー電池・リチウムイオン電池・太陽電池・ペロブスカイト型太陽電池・原子力電池・燃料電池・シリコン電池・微生物電池）	22
7	人工タンパク質・代替タンパク質・スーパータンパク質・タンパク質工学（構造解析・相互作用・合成・大量生産・超複合体・解誘導薬・光受容）	21
8	イメージング技術（リアルタイムイメージング・バイオイメージング（ライブセル・インビボ）・光イメージング・毛髪イメージング・微細領域イメージング）	17
9	再生可能エネルギー・エネルギー変換	13
10	予測・観測（地震発生）	13
11	地球環境・水循環・環境科学技術	12
12	DNA・DNA オリガミ・DNA ナノテクノロジー・DNA 合成	12
13	分子（分子コンピューティング・分子サイバネティクス・分子モデリング・分子夾雑・分子界面・分子生理・分子分光学）	11
14	水素製造・水素・水素エネルギー	10
15	バイオマス資源（木質バイオマス）	9
16	神経医学・精神疾患（アルツハイマー・うつ病・神経発達障害・神経変性疾患・神経膠芽腫）	9
17	合成生物学（人工細胞・人工細胞リアクタ・人工細胞核）	8
18	エネルギーシステム（発電・蓄電）	8
19	ロボット（海中ロボット・実験ロボット・知能ロボット・テレプレゼンスロボット）	8
20	ゲノム編集・ゲノム合成	8
21	マテリアルズ・インフォマティクス技術	8
22	環境保全・保護	8
23	健康科学・健康寿命	7
24	テラヘルツ通信技術	7
25	メタマテリアル	7
26	遺伝子治療	7
27	資源エコシステム	7
28	生物多様性・保全	7
29	細胞プリンティング・細胞再構築・細胞移植・細胞接着・細胞小器官の固定技術	6
30	遺伝子技術（遺伝子工学操作・遺伝的アルゴリズム・遺伝的多様性・遺伝子発現）	6
31	ウイルス・細菌・細菌叢・	6
32	プラスチック（分解・削減・バイオプラスチック・マイクロプラスチック・炭素繊維強化プラスチック）	6
33	バーチャルリアリティ（VR）	6
34	がん治療・がん細胞診断	6
35	シミュレーション技術	6
36	レーザー方式・応用・加速・アブレーション・スキャナー	6
37	核融合発電・核融合エネルギー	6
38	再生医療	6
39	人工培養肉	6
40	地球温暖化	6



## 4. 結果：具体事例

ここでは、図表 3.4-1 キーワードリストに挙げた上位 5 グループについて、「科学技術の概要」「研究段階」「必要な要素」「キーワード」のいずれかに検索キーワードが一度でも出現した回答について抜粋し、回答者自身で設定したキーワードに基づく図表 3.4-1 に比べ、より幅広く選出して紹介する。

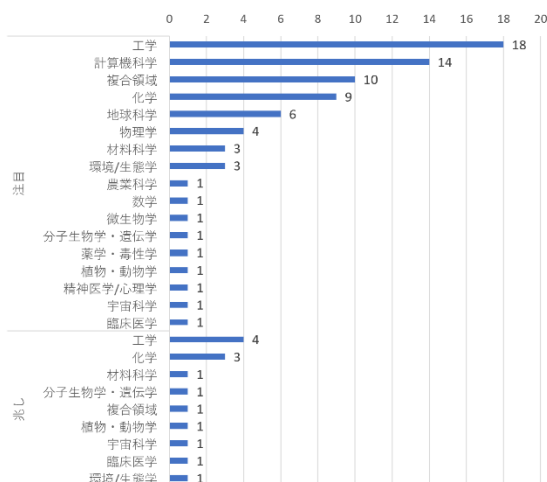
### 4.1. 人工知能・機械学習・深層学習・強化学習

検索キーワードは「AI」「強化学習」「人工知能」「機械学習」「深層学習」。回答数は、注目科学技術が 77 件、兆し科学技術が 14 件の計 91 件。

図表 4.1-1 に回答者の専門分野を示す。工学、計算機科学の専門家からの回答が多いほか、地球科学、物理学、材料科学など多様な専門家からの回答が得られた。兆し科学技術については計算機科学の専門家からの回答は無い。

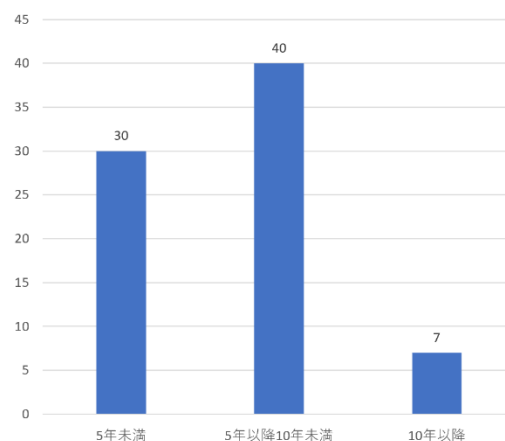
図表 4.1-2 に実現時期見通しを示す。全体的な傾向と同様に、5 年以降 10 年未満が最も多く、次いで 5 年未満、10 年以降の順に回答が多い。

図表 4.1-1 回答者の専門分野（AI 等）



(注) 横軸は回答者の件数

図表 4.1-2 実現時期（AI 等）



(注) 縦軸は回答件数

続いて各回答内容について示す。(1) AI 等の活用に注目する場合と、(2) AI 等そのものに注目す回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

#### (1) AI 等そのものに注目する事例

- ・離散写像の極限としての微分方程式の数学的解析を通じた機械学習の理論的解析や、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替など、機械学習と数値解析の融合【25】
- ・Explainable AI 技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法【99】

- ・ Attention 機構を用いた深層ニューラルネットワークだけでなく、それ以外の高性能ニューラルネットワークの学習・構築が可能な類似手法の統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術【198】
- ・ 対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義し、与えられた大量の教師なしデータからの当該タスクを用いた自己学習により、少量の教師情報で対象問題を精度高く解決する手法【113】
- ・ データから人が理解できる形での数式化を提案できる、AI Feynman などの近年のデータサイエンス技術を取り入れたデータ関係性の Symbolic Regression（数式回帰）手法【470】

## （２）AI 等の活用や効果に注目する事例

- ・在宅医療、テラーメイドシミュレーションや精密医療等、医療現場での活用【9, 66, 161, 172, 185, 296, 459】
- ・インフラの維持管理。運営や防災・減災への活用【6, 68, 109, 195, 257, 284, 316, 346】
- ・新規材料開発・探索やデバイス開発、プロセス等への活用【1, 27, 62, 91, 125, 166, 211, 216, 294, 327, 343】
- ・テラヘルツ領域の活用に向け、ビルの壁や車のボディなどのメタマテリアルを人工知能技術と融合させ、スマートな動作を可能とする Intelligent Reflecting Surface【31】
- ・大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別【44】
- ・生物の同定、家畜生産への活用、野生動物のバイオロギングや介入及び制御【46, 274, 384, 440, 493】
- ・赤潮や太陽嵐等の環境変動の予測【157, 206, 332】
- ・実用的プログラムの自動合成【259】
- ・タンパク質構造予測、合成経路反応予測、薬剤開発への活用【117, 169, 273, 322, 490】
- ・消費者の嗜好性予測、意思決定支援【140, 289, 369, 372】
- ・無人船、移動体自律化【311, 377, 512】
- ・実験、研究の自動化や推進【281, 298, 474, 491, 507】

No	短縮版
1	未知材料の探索に向けた、実験データや目的構造データなどから、材料構造形成を記述する数理モデルを推定する手法
2	単一分子レベルの吸収分光が可能な超高感度分光手法を活用した生体研究
5	超電導磁気浮上式鉄道の新たな可能性開拓に向けた、超流動ヘリウムを冷却材とした高磁場用超電導マグネット
6	AI によるインフラ構造物の維持管理の効率化
9	在宅自己管理支援アプリケーション・遠隔モニタリング・AI（行動変容）技術を活用した在宅医療の一般化
25	離散写像の極限としての微分方程式の数学的解析を通じた機械学習の理論的解析や、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替など、機械学習と数値解析の融合
26	物理モデルを模倣した AI（深層学習モデル）
27	元素戦略・ナノ構造・特異構造や原子制御による新機能材料の開発
31	テラヘルツ領域の活用に向け、ビルの壁や車のボディなどのメタマテリアルを人工知能技術と融合させ、スマートな動作を可能とする Intelligent Reflecting Surface
44	大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別
46	野生動物にロガーを装着するバイオロギング技術に人工知能を搭載し、野生動物への介入を含む細やかなロガー制御を行う技術

58	コンピューティング処理を一つのプログラミング言語や汎用型 CPU で行うのではなく特定の応用分野に着目してカスタマイズし、人間の手作業での効率をしのぐ性能・生産性を達成したドメイン特化型コンピューティング技術
62	熟年の触媒設計の技術を人工知能により設計できる、触媒インフォマティクス
66	医用画像等の診断情報を基に、その場での AI による解析を含むシミュレーションを行い、治療未実施時のリスクや治療リスクを求められるテーラーメイドシミュレーションシステム
68	震源域で起きる現象の理解促進、機械学習などを用いた観測データ解析技術の向上に伴う、地震発生を確度高く予知する技術
74	生命がもつ遺伝子プログラムの根本からの再設計により新たな生物システムを構築し、新しい薬や燃料などの高レベル生産が可能な全く新しいタイプの生命を創りあげる技術
80	辞書構築・翻訳技術や手話の CG を用いた、手話解析及び生成
91	機械学習によるアプローチとマルチスケールに及ぶシミュレーション法が融合したマテリアルズインフォマティクスにおける、新規マテリアル提案から製造プロセス開発までの一連の流れの確立
99	Explainable AI 技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法
108	時空間スケールの拡大した高精度分子シミュレーション技術による、様々な生命・材料システムの理解に基づくモノづくりの実現
109	機械学習を用いた、災害の脆弱性の高い地域の予測
110	燃料として水素やメタン、アンモニアなどを用いることで高効率発電を実現し二酸化炭素の排出もない、高出力・高エネルギー変換効率・高耐久性や劣化の抑制を実現した、実用的な中低温作動型燃料電池
111	通常研究者などが手作業で行なっているバイオ実験や、細胞治療製剤製造などを自動化・機械化する技術
113	対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義し、与えられた大量の教師なしデータからの当該タスクを用いた自己学習により、少量の教師情報で対象問題を精度高く解決する手法
117	AI によるデザインを利用した、現存する抗体・タンパク質・酵素を超える性能を持つスーパー抗体・スーパータンパク質・スーパー酵素の開発
125	①材料開発時の新物質探索における、機械学習、データ科学及び人工知能技術を活用した革新的新物質の効率的探索を実現するマテリアルズ・インフォマティクス ②ハイスループット実験データのデータ科学的分析による物質のキャラクタライゼーションの高効率化
140	消費者の生鮮食品の嗜好性を、喫食前に機械学習によって予測する技術
152	実際の研究ととの間のギャップの無い、AI を用いた機械学習やデータ解析
157	海底地形データプロダクトの得られる条件や精度の整理の進展に基づく、津波等のシミュレーションや沿岸域生態系の解析などのベースデータとなる、画像から全球の浅海域の海底地形の推定技術
161	個人個人に合わせて、ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクスなどオミクス技術を用い、個人に合った健康管理や医療を行う精密医療（Precision Medicine）
163	AI で期待する特性を持つ構造を予測し、その構造に合うように微細藻類の DNA を編集し、有用物質を多く作り出す微細藻類を作り培養する技術
166	①先端計測で得たデータが、機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法と結びつくことによる、既存計測装置の性能の飛躍的向上 ②過去データと機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法が結びつくことによる、これまで捨てられていた重要な情報の引き出し
169	AI・シミュレーション技術・ビッグデータを活用した創薬において、企業や機関を越えた人材やデータ等の共有システムの整備及び中・高分子医薬の創薬への活用
172	AI による精神疾患の判別および重症度評価
183	センシング技術の発展や低コスト化、オープンデータの進展によるデータ量増加に基づく、予知保全における予測や故障要因の機械学習による推定
185	ディープラーニングを活用した、生体情報やケアに関する経験知の形式化
195	MaaS において、交通や輸送に限定せず、人のアクティビティ全体（生活やレジャーなど）やサプライチェーン機能全般（生産や保管など）を包含したシステム形成

198	Attention 機構を用いた深層ニューラルネットワークだけでなく、それ以外の高性能ニューラルネットワークの学習・構築が可能な類似手法の統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術
206	太陽フレアを含む太陽活動現象や地球周辺宇宙環境の予測モデル進展に基づく、AI 技術を利用した宇宙天気予報
211	最先端微細デバイス開発に向けた、原子スケールの第一原理計算を機械学習等で粗視化することによる、量子スケールから巨視的スケールに繋いだ数値計算手法及び現実的デバイスシミュレーション
216	レーザー光の高い自由度ゆえに、最適パラメータの探索に多大な時間と労力を有するレーザー加工技術の課題について、AI や学術的知見を最大限活用し、実験すること無く加工対象に対する最適パラメーターを導くシミュレーター
226	例えば脳の信号を電極でデコーディングすることで、麻痺患者でも健常者と同等かそれ以上の速さと正確さでアルファベットのタイピングができるようになる、ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェース
248	テラヘルツ波を利用した 100 Gbps 超の B5G/6G 向け無線伝送技術
257	①インフラの点検結果や、前回点検からの損傷の進展の程度、どの程度の損傷に対してどのような補修を行ったかといった統計的なデータベース構築 ②インフラ点検結果で得られるビッグデータを、機械学習やスマートグラス等のウェアラブル端末と組み合わせた効率的なインフラ維持管理システム ③地方のインフラでも都市高速と同程度のモニタリングが可能となる、ドライブレコーダーの動画画像やカーナビ位置情報などを大型車から取得できる仕組み
259	実用的なプログラムの自動合成
273	AI を用いた有機合成化学反応の高精度予測と目的化合物の合成に向けた反応経路予測による、実験者のニーズにあった合成経路の提案
274	遠隔のデータ収集による生物多様性（種や遺伝的多様性等）・生理（生理的データや健康度等）・生態データの取得・解析による因果関係の推定及びモデル化
281	過去 2 億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築に向けた、人工知能を用いた広範囲の微化石の自動認識と自動分類
282	①イメージセンサを用いたセンシング、DX（デジタルトランスフォーメーション）、自動自律制御 ②センシングと AI/機械学習と 5G/6G 高速通信
284	持続可能な社会を実現するため、トラック等の輸送スペースと倉庫の保管・仕分スペースのシェアリングにより物流リソース稼働率を向上させ、より少ない台数のトラックで荷物を運ぶことにより燃料消費量を抑制、地球温暖化ガス排出量を削減する物流システム「フィジカルインターネット」
286	人工知能・人工生命分野における、オープンエンドな進化過程を万人が納得する形で実現する機構
287	ウェアラブル端末で利用者の行動履歴や生体情報を取得し、機械学習により個人の行動・感情などの予測モデルを学習する技術
289	熟練技能者の暗黙知的な経験によって決められていた意思決定をデータベース化し、それに AI 技術を活用することにより、意思決定を高精度・短時間に自動決定できる作業支援システム
292	①人間と自然なコミュニケーションができ、特定のタスクの会話に限定されず雑談も可能で臨機応変な対応ができる、大規模な言語データを使用して学習する深層学習の対話モデル  ②テキスト情報の処理だけに限定されず、画像、音声などの情報を用いたマルチモーダルな対話技術
294	基礎的な研究としてプロセスというものを抽象的にとらえて分類するというような理論的枠組みに基づき、プロセスを一般化してとらえた汎用性のあるプロセスインフォマティクス
296	医療者の行動計測及びそれらの情報に基づいた、診療業務を支援する AI（情報パートナー）
298	研究作業の自動化により研究のマンパワー不足を補う、細かな失敗も検出して対応する、人間と同等の作業が可能で安価なロボット
311	リアルタイムのセンシングデータから状況の解析やその先の行動の判断を超低遅延で実現する仕組みに基づく、ポスト 5G/6G 無線技術とクラウド仮想化の融合による移動体やロボットの高高度自律化

313	機械学習の進歩、高度身体計測技術やセンサの小型化に基づく、常時利用可能で身体と一体となるようなデバイスによるジェスチャインタフェース
314	計算・情報科学を活用し、低分子の有機合成反応だけでなく生体高分子や合成高分子など様々な化学反応を予想して、実験的な試行錯誤無しに最適な反応条件を見出すアプローチ
316	火山噴火監視において、従来の技術に加え、例えば機械学習や信号処理の技術を用いた低周波地震の特徴把握や、全方位ミュオグラフィによる火山内部のイメージング等、新しい観測技術を運用レベルまで上げて噴火前の異常にいち早く気づくための平時の観測の強化
322	AI を用いたタンパク質の高精度立体構造解析による、膜結合タンパク質、リガンド結合予測、光合成の光化学系反応中心のような多数のタンパク質の会合による超複合体の解析
327	機械学習（AI）などを用いて大幅にコストや時間を削減したシステムによる、加速的機能性材料開発及び革新的デバイス開発
332	沿岸海域で取得される各種観測データや衛星データを統合したビッグデータ構築と、プランクトン種組成の自動観測技術等の AI を用いた赤潮予測
335	AI を用いた超高速光パルスのキャラクタリゼーションや兼備計測の高解像度化および多次元計測への展開
338	ディープラーニングや AI を活用した、密度汎関数理論における基底状態の電子を正確に記述する交換相関汎関数による、普遍的な物性の高速予測
340	衛星画像から船舶、航空機、車両等の移動物体を自動検出し、高精度にモニタリングする技術
342	Web 3.0、NFT、Blockchain 技術が経済に溶け込んで XR 技術とも結びつくことによる、Digital Twin の世界との接合
343	世の中を変えるような材料の発見を目指した、データ科学を活用した物質探索
344	①複雑な化合物の合成経路を人工知能に基づいて高精度に設計し、実際に合成する技術 ②新規有機合成反応の進行を予測する技術
346	生活、産業、移動などあらゆる都市活動の IoT による観測・計測し、得られたビッグデータの活用及び AI による分析を通じ、持続可能性や強靱性をも含んだ、都市全体の効率的・最適な運営・経営
354	経済性、エネルギー変換効率と使用寿命が改善された有機薄膜太陽電池の量産及びそのアプリケーション開発
358	6G など超広帯域通信チャネルを利用した高臨場技術及び AI と組み合わせた自動制御技術
369	人間の集団的意思決定をリアルタイムに解析・可視化・フィードバックする意思決定支援システム
372	戦略的意思決定を学習するための数理的な基礎付けに基づく、企業間の価格交渉などの戦略的意思決定を行う複数人工知能エージェント
377	深層学習などの人工的なモデルによるニューロンではなく、生物の脳神経回路を模倣したニューロンモデルを用いた、移動体やロボットの高度自律化と脳レベルの低消費電力な情報処理の実現
384	AI と画像を用いた生物同定
426	小型、省エネルギー、高性能な排水からの飲料水精製技術における、AI およびビッグデータの活用による従来とは全く異なる考えに基づくブレークスルー
440	国内中の草地基盤を最大限活用した輸入飼料に過度に依存しない家畜生産実現のための、人口減少などによる労働力不足においても産業的経営を成り立たせる、AI や ICT を活用したデータ駆動型の未来技術
459	医療介護の進化に寄与する、生体情報やケア関連情報の外部化・包括的集約による永続的活用
465	AI による大規模データ解析を内包した、動的、高速、高精度な大規模最適化計算技術
470	データから人が理解できる形での数式化を提案できる、AI Feynman などの近年のデータサイエンス技術を取り入れたデータ関係性の Symbolic Regression（数式回帰）手法
472	多分野のシミュレーションにおけるブレークスルーにつながる可能性がある、最先端ナノスケールデバイスの現実的な特性予測に向けた、量子スケールと巨視的（古典）スケールを繋ぐマルチスケールに渡る粗視化の問題解決
474	研究・開発活動において、問題や仮設の設定、仮設検証のための理論構築または実験、論文や技術書の執筆、査読や論文公開、予算獲得や教育活動などの行為すべてを自動化し、それらを有機的に結びつける方法論
490	タンパク質立体構造について、X 線結晶構造と溶液構造間における違いの AI による補正
491	実験の自動化・遠隔化
493	分類学の発展や教師データの蓄積に基づく、AI を用いた写真からの高精度な野生生物同定技術

507	これまでの知見の延長上にある研究（最適化、材料を変える、組み合わせる）における、AI による研究活動の推進
511	計算機に音楽を聞かせることで、楽器ごとに分離するとともに採譜する技術
512	レアメタル等の安定確保における、深海底での採取装置（有人・無人関わらず）について、原子力電池を用いた活動限界を突破や、海中通信技術と AI を用いた無人潜航艇、無人資源輸送浮上船の活用
519	①分子レベルで食品のキー成分を同定し、分子から食品を構築することができる技術 ②動物性食品のキー成分を同定し、植物性食品から同じ成分を探し、植物性の食品のみで動物性食品と同等のものを構築する技術

## 4.2. 量子コンピュータ（量子アニーリング・誤り耐性量子コンピュータ）・耐量子暗号（量子暗号）・量子力学（量子もつれ・量子超越性）・量子関連技術（量子雑音限界・量子ビーム・半導体量子ビット技術・量子材料・量子センサー・室温量子材料・量子光源）・量子化学

検索キーワードは「量子コンピュータ」「量子アニーリング」「誤り耐性量子コンピュータ」「量子暗号」「量子力学」「量子もつれ」「量子超越性」「量子雑音限界」「量子ビーム」「量子ビット」「量子材料」「量子センサー」「量子光源」「量子化学」。回答数は、注目科学技術が 15 件、兆し科学技術が 7 件の計 22 件。

図表 4.2-1 に回答者の専門分野を示す。注目科学技術、兆し科学技術共に物理学、工学、化学などの専門家からの回答が得られた。兆し科学技術には材料科学の専門家からの回答も見られる。

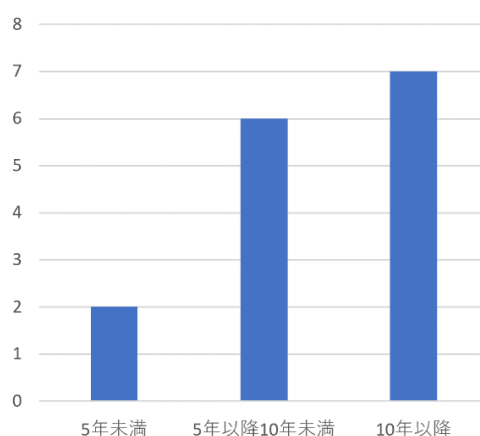
図表 4.2-2 に実現時期見通しを示す。全体的な傾向と異なり、10 年以降が最も多く、次いで 5 年以降 10 年未満、5 年未満の順に回答が多い。

図表 4.2-1 回答者の専門分野  
(量子コンピュータ等)



(注) 横軸は回答者の件数

図表 4.2-2 実現時期  
(量子コンピュータ等)



(注) 縦軸は回答件数

続いて各回答内容について示す。(1) 量子コンピュータ等そのものに注目している場合と、(2) その活用法や波及効果にも注目している回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

### (1) 量子コンピュータ等そのものに注目する事例

#### ①量子計算

- ・従来計算機と量子計算機による協調計算【56】

#### ②量子コンピュータ

- ・トポロジカル超伝導体に現れるマヨラナ粒子の非可換統計性の量子コンピュータへの応用【30】
- ・極低温環境を効率よく生み出す技術【147】
- ・ワイドバンドギャップ半導体を用いた室温での量子技術【147】
- ・量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発【129】
- ・計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究【129】
- ・量子コンピュータ用の暗号通信【128】
- ・量子コンピュータのための量子光源モジュール【409】

- ・量子コンピュータ向けドメイン特化型言語のコンパイル・最適化技術やソフトウェア工学を発展させたテスト・検証技術など、量子コンピュータ向けソフトウェア開発法【413】
- ・量子コンピュータの実現【245, 388, 404, 482】

### ③量子ビーム線源・パワーレーザー

- ・高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力(照射繰り返しの高い)パワーレーザーの開発【337】
- ・レーザーダイオード励起、セラミック結晶を用いた次世代パワーレーザー製作コストの低減【337】

## (2) 量子コンピュータ等の活用や効果に注目する事例

### ①量子センサ

- ・バイオセンシングと、薬剤候補の効率的な選定や疾病解明【10】

### ②量子化学、量子材料等

- ・生物の化学感覚器が持つ分子認識能の機構解明と再現【165】
- ・原子・分子レベルで構造が制御された新たな量子特性を示すナノ材料【199】
- ・第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能な、量子暗号通信【245】

### ③量子コンピュータ

- ・従来のコンピュータを凌駕するスピードでの信号処理演算、古典的な量子化学計算では実現できなかった高速・高精度量子化学計算【245, 435】
- ・生体高分子や合成高分子など様々な化学反応予想、試行錯誤無しの最適反応条件特定【314】

### ④量子もつれ

- ・分光測定(レーザーを含む古典的な光を用いた測定)の検出限界を上回る測定技術【188】

### ⑤量子ビーム線源・パワーレーザー

- ・新しい物質の創成や物質の形状変化(レーザー加工)への応用【337】
- ・宇宙や地球・惑星の内部などの極限状態の再現【337】
- ・クリーンエネルギー源の開発を目的としたレーザー核融合炉【337】
- ・レーザープラズマ加速技術を用いた小型装置での高エネルギー量子ビーム生成及び建築コストの大幅削減【494】

No.	短縮版
10	薬剤候補の効率的な選定や疾病解明に向けた、NV 量子センサによるバイオセンシング
30	トポロジカル超伝導体に現れるマヨラナ粒子の非可換統計性の、量子コンピュータへの応用
56	従来計算機と量子計算機による協調計算のための情報処理基盤や、その協調計算を活かした社会に資するアプリケーションの開発に基づく、従来計算機と協調した量子計算およびその連携計算
128	量子コンピュータ用の暗号技術
129	量子コンピュータ研究において、量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発及び計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究
147	極低温環境を効率よく生み出す技術か、またはワイドバンドギャップ半導体を使った室温での量子技術など、そもそも極低温環境以外での高精度な量子技術の発展に基づく、量子コンピューターを含む量子情報処理技術
165	超高感度分子センサーの核となる細胞外物質及びその超感度の実現に関わる分子モデルや物理的原理など、生物の化学感覚器が持つ、既存の質量分析器を凌駕した分子認識能の機構解明と再現
188	量子もつれ光子対を用いることで、従来の分光測定(レーザーを含む古典的な光を用いた測定)の検出限界を上回る測定技術
199	ナノ材料中の微細構造の制御・評価技術や新たな合成アプローチに基づく、原子・分子レベルで構造が制御された、新たな量子特性を示すナノ材料
235	第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能な、量子暗号通信
245	従来のコンピュータを凌駕するスピードで信号処理演算する量子コンピュータ



302	大きなサイズの高品位 2 次元物質
314	計算・情報科学を活用し、低分子の有機合成反応だけでなく生体高分子や合成高分子など様々な化学反応を予想して、実験的な試行錯誤無しに最適な反応条件を見出すアプローチ
337	①レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力(照射繰り返し率の高い)の次世代パワーレーザーによる新物質の創成 ②レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力(照射繰り返し率の高い)の次世代パワーレーザーによる物質形状の変化(レーザー加工) ③レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力(照射繰り返し率の高い)の次世代パワーレーザーによる、クリーンエネルギー源の開発を目的としたレーザー核融合炉
388	基礎技術およびアルゴリズムの発展に基づく、量子コンピュータの実用化
404	量子力学の原理に基づくコンピューター(量子コンピュータ)
409	超伝導体タイプを抜く可能性がある、量子コンピュータのための量子光源モジュールの開発
413	量子コンピュータ向けドメイン特化型言語のコンパイル・最適化技術やソフトウェア工学を発展させたテスト・検証技術など、量子コンピュータ向けソフトウェア開発法
435	量子アルゴリズム研究の進展に基づく、量子コンピュータを用いた、古典的な量子化学計算では実現できなかった高速・高精度量子化学計算
441	量子コンピュータによる汎用化
482	量子コンピュータ
494	レーザープラズマ加速技術によって局所的に高い電界を実現することで、小型装置での高いエネルギーの量子ビーム生成及び建築コストの大幅な削減

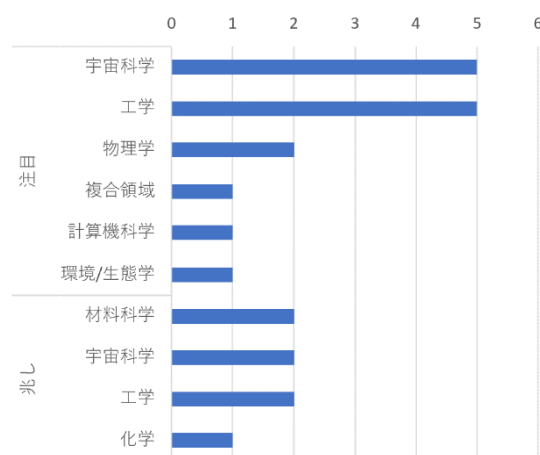
#### 4.3. 宇宙（宇宙探査・宇宙利用・宇宙環境（製造・計測）・宇宙資源・宇宙エレベーター・宇宙物理・宇宙エネルギー伝送・宇宙天気予報）

検索キーワードは「宇宙」。回答数は、注目科学技術が 15 件、兆し科学技術が 7 件の計 22 件。

図表 4.3-1 に回答者の専門分野を示す。注目科学技術、兆し科学技術共に宇宙科学、工学などの専門家からの回答が得られた。兆し科学技術には材料科学の専門家からの回答も見られる。

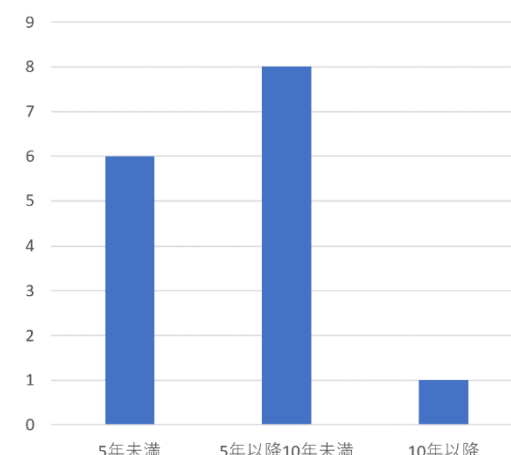
図表 4.3-2 に実現時期見通しを示す。全体的な傾向と同様に、5 年以降 10 年未満が最も多く、次いで 5 年未満、10 年以降の順に回答が多い。

図表 4.3-1 回答者の専門分野(宇宙)



(注) 横軸は回答者の件数

図表 4.3-2 実現時期（宇宙）



(注) 縦軸は回答件数

続いて各回答内容について示す。(1)宇宙探査や利用に関する科学技術、(2)宇宙を計測・観測、予測・予報する科学技術、(3)宇宙機等のための基盤技術に注目する回答事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

##### (1) 宇宙探査や利用に関する科学技術

地球資源の枯渇への対応や、人類の活動圏拡大に向けた科学技術が多い。

##### ①宇宙探査・宇宙利用、宇宙資源、宇宙エネルギー伝送、宇宙エレベーター

- ・月の水資源や小惑星の鉄・プラチナなど宇宙資源の探査・採掘及び持ち帰り技術、月面での水・酸素生成技術【73, 524】
- ・宇宙資源やエネルギーの伝送・移送【242】
- ・宇宙空間を活用した経済活動や技術開発を大きく進展させるための宇宙エレベーター【485】

##### (2) 宇宙を計測・観測、予測・予報する科学技術

活発化する太陽活動や超小型衛星の普及に伴う事故頻度の増加を見越して、人工衛星の不具合、通信障害、人体や社会インフラへの悪影響を防ぐものや、宇宙空間での活動に向けた科学技術が多い。

##### ②宇宙環境（製造・計測）、宇宙天気予報

- ・地球の気象予報レベルの宇宙天気予報、AI 技術を利用した宇宙天気予報、社会インフラへの影響予測が可能、宇宙天気の高精度予報技術【41, 206, 276, 307】

- ・宇宙空間での低ノイズ観測のための冷凍技術【261】
- ・宇宙環境変動の 24 時間観測・リアルタイムモニタ・計測、多数の衛星を太陽の周りを周回させ常時監視する宇宙環境計測【41, 407】
- ・磁気シールドで宇宙線を防ぐ技術【501】

### (3) 宇宙機等のための基盤技術

衛星等の材料など、宇宙利用のための基盤技術が多い。

#### ③宇宙物理等

- ・装置損傷防止、高効率燃料利用、難燃性の再生可能燃料利用などが可能な繰り返し放電による確実な点火技術【113】
- ・テラヘルツ波を利用した 100 Gbps 超の Beyond 5G/6G 向け無線伝送技術【248】
- ・燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす全電化衛星【288】
- ・宇宙分野の耐熱性材料に向けた、5 種類以上の元素からなるハイエントロピー合金、宇宙などの特種環境での製品製造が可能なオールオプティクス製造【323, 473】
- ・3K 宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光場の観測及び統計解析による宇宙の初期条件の解明【127】
- ・宇宙や地球・惑星の内部などの極限状態を再現可能な次世代パワーレーザー【337】

No.	短縮版
41	地上の多地点で太陽風を観測することで 24 時間観測を実現する観測網など、天気予報の業務として使えるレベルの安定性・信頼性・継続性がある、宇宙環境変動のリアルタイムモニタ・計測技術
73	地球で枯渇する必須資源を宇宙（月の水資源、小惑星の鉄やプラチナ）から得たり、人類の生活圏を宇宙に拡張させることを目指す、資源探索・採掘及び地球への持ち帰り技術
112	装置損傷を防ぎつつ高効率な燃料利用及び難燃性の再生可能燃料などへの適用が可能な、燃焼希薄かつ高乱流条件下での繰り返し放電による確実な点火技術
127	宇宙衛星観測実験プロジェクト“LiteBIRD”による 3K 宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の B モード偏光場の観測及び統計解析による、「宇宙の初期条件」の解明
206	太陽フレアを含む太陽活動現象や地球周辺宇宙環境の予測モデル進展に基づく、AI 技術を利用した宇宙天気予報
242	地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術
248	テラヘルツ波を利用した 100 Gbps 超の Beyond 5G/6G 向け無線伝送技術
261	宇宙空間での液体ヘリウムハンドリング技術、液体ヘリウムフリーの冷却技術等にもとづく、宇宙空間での低ノイズ観測に必要である冷凍機技術
276	宇宙天気現象発生の物理メカニズムの解明に基づく、社会インフラへの影響予測が可能な、宇宙天気の高精度予報技術
280	プラズマの複雑流動現象の解明・予測のための、多次元・多成分・多スケール・大域的なダイナミクスを扱う超並列大規模シミュレーション
288	推進システムを電気推進へ置き換えることで燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす全電化衛星のための、高信頼性・高性能な電気推進システム
307	気象予報のように、データ同化や大規模数値シミュレーションの技術を用いた宇宙環境計測データの同化によって予報精度を向上し、宇宙環境にある人や飛行体に対応を取れる程度のリードタイムで予報を出す、宇宙環境変動予測技術
311	リアルタイムのセンシングデータから状況の解析やその先の行動の判断を超低遅延で実現する仕組みに基づく、ポスト 5G/6G 無線技術とクラウド仮想化の融合による移動体やロボットの高度自律化
323	5 種類以上の元素からなるハイエントロピー合金の、マテリアルズインフォマティクス技術を用いた、目的に応じた自在設計・合成技術

337	①レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返し率の高い）の次世代パワーレーザーによる新物質の創成 ②レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返し率の高い）の次世代パワーレーザーによる物質形状の変化（レーザー加工） ③レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返し率の高い）の次世代パワーレーザーによる、クリーンエネルギー源の開発を目的としたレーザー核融合炉
407	多数の衛星を太陽の周りを周回させ、常に監視し続けることによる究極の宇宙環境計測
442	安定的な黒潮によってベースロード電源として期待でき、大消費地である東京に比較的近く電力輸送の点でも有利な、小型の発電機による海流発電
473	これまで困難であった製品の加工や、宇宙などの特殊環境での製品製造なども実現できる、オールオプティクスによる製造技術
485	安価で低エネルギーな運搬手段の確立に伴う、宇宙空間を活用した経済活動や技術開発を大きく進展させるための宇宙エレベーター
501	地球磁気圏外での有人活動時に、宇宙線が荷電粒子である特徴を利用して、磁場や電場により宇宙線を防ぐ技術
512	レアメタル等の安定確保における、深海底での採取装置（有人・無人関わらず）について、原子力電池を用いた活動限界を突破や、海中通信技術と AI を用いた無人潜航艇、無人資源輸送浮上船の活用
524	月面での安定した生活や月資源だけでの独立ライフライン維持のための、月面での水・酸素生成技術

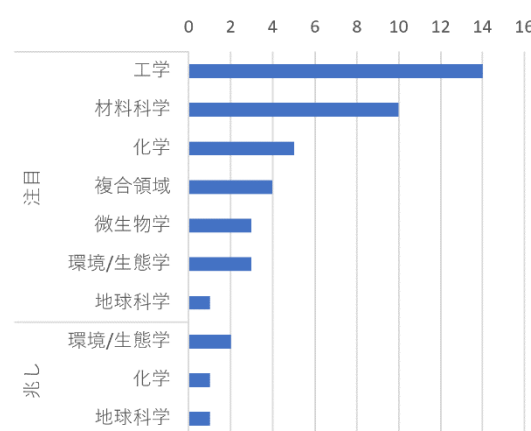
#### 4. 4. カーボンニュートラル・二酸化炭素技術（回収・吸収・利用・資源化・電解・固定・還元反応触媒・隔離・燃料合成・フリー・CCUS）

検索キーワードは「カーボンニュートラル」「二酸化炭素」「脱炭素」「カーボンフリー」「CCU」「CO<sub>2</sub>」。回答数は、注目科学技術が 40 件、兆し科学技術が 4 件の計 44 件。

図表 4. 4-1 に回答者の専門分野を示す。注目科学技術は工学、材料科学の専門家からの回答が多く得られ、兆し科学技術は環境/生態学、化学、地球科学の専門家からの回答が得られた。

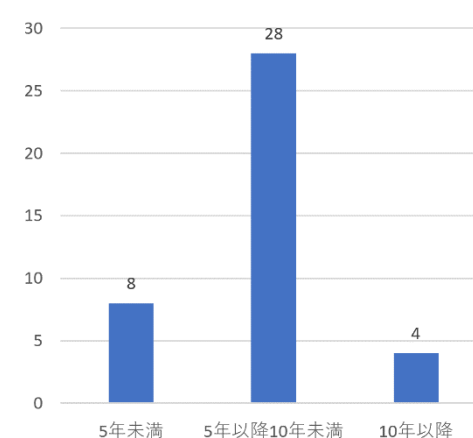
図表 4. 4-2 に実現時期見通しを示す。全体的な傾向とほぼ同様であり、5 年以降 10 年未満が最も多く、次いで 5 年未満、10 年以降の順に回答が多い。

図表 4. 4-1 回答者の専門分野  
(カーボンニュートラル等)



(注) 横軸は回答者の件数

図表 4. 4-2 実現時期(カーボンニュートラル等)



(注) 縦軸は回答件数

続いて各回答内容について示す。(1)CO<sub>2</sub>の資源化等に関わる科学技術、(2)資源の確保や産生、循環やリサイクルに関わる科学技術、(3)再生可能エネルギー等の産生や確保、変換に関わる科学技術(4)その他、環境保全や負荷低減に関わる科学技術に注目する事例が複数みられる。事例を以下に複数抜粋する。括弧内の数字は付録 3 における通し番号を示す。

##### (1) CO<sub>2</sub>の資源化等に関わる科学技術

- ・ガス発酵を行う微生物を用いた二酸化炭素の消費と有用物質生産【17】
- ・水素タンクに入れておくだけで多量の水素を保有できる軽量水素吸蔵・貯蔵材料【33】
- ・高濃度二酸化炭素を直接電解還元してメタノールを合成する技術及び電解セル【34】
- ・共有結合性有機構造体(covalent organic framework)による分離技術【65】
- ・沿岸生態系の CO<sub>2</sub> 吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及【131, 136】
- ・一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し有用物質生産を行う好熱性(嫌気性)微生物の育種【132】
- ・CO<sub>2</sub>還元反応触媒や CO<sub>2</sub>吸着材料【177】
- ・電気透析を活用して海水から CO<sub>2</sub>を回収する技術【336】
- ・CO<sub>2</sub>からの燃料や化成品の高純度合成と同時に副生水から水素を製造し、再度 CO<sub>2</sub>との反応へリサイクルするシステム【345】
- ・建築分野のライフサイクル CO<sub>2</sub>の把握・評価【353】

- ・二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として油脂発酵する技術【360】
- ・CO<sub>2</sub> の電解による有機物合成、CO<sub>2</sub> と水から界面活性剤などの化学物質を合成する触媒【360】
- ・塩基性岩石の化学風化促進による大気中 CO<sub>2</sub> の吸収と土壌改質、溶出イオンによる海洋酸性化の緩和【410】

## （２）資源の確保や産生、循環やリサイクルに関わる科学技術

- ・海底鉱物資源、特にレアアース・コバルト・ニッケル資源の開発技術【48】
- ・日用品のプラ製品から、未使用原料からの製造と遜色ないプラ製品を再生する高度リサイクル技術【160】
- ・炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法【258】

## （３）再生可能エネルギーや水素等の産生や確保、変換、貯蔵や利活用等に関わる科学技術

- ・鉛フリーかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池など、ペロブスカイト太陽電池【70、197】
- ・廃水から NH<sub>4</sub><sup>+</sup>（エネルギー）への変換・回収技術【71】
- ・太陽光などの再生可能エネルギーによるアンモニア製造【77】
- ・アンモニアを燃焼させて発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術、アンモニアからの水素製造【86、118】
- ・高出力かつ高エネルギー変換効率を有した中低温作動型燃料電池【110】
- ・イオン伝導体を Li 分離膜とした Li 選択的な回収技術など、リチウムイオン電池原料循環技術【146】
- ・大量に水素を取り扱う将来を想定し、液体水素の冷熱も有効利用した電力需給調整システム【151】
- ・人工光合成に関する技術、有用物質の製造【239、469】
- ・地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術【242】
- ・微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した電池【320】
- ・核融合発電燃料の一つである三重水素を効率的に使用するための自己増殖技術、循環および再利用技術【386】

## （４）その他、環境保全や負荷低減に関わる科学技術

- ・動物飼育由来の食肉を代替する培養肉生産法【72】
- ・固液分散系製品における添加剤の 9 割以上削減や高温熱処理プロセスが不要になる技術【104】
- ・木質バイオマスから環境負荷の小さいリグニン抽出および有用材料・化学原料の合成【119】
- ・バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料（ウッドセラミックス）の蓄電池電極【227】
- ・燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道【253】
- ・衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース（単一発生源）の検出と定量【305】
- ・反応性窒素 Nr を安価かつ容易に定量、測定する技術【315】
- ・木質バイオマス発電所で生じる木灰と食品残差を組み合わせた有機堆肥化及びその地場利用【350】

No.	短縮版
16	再生可能エネルギー導入と電力安定供給の両立に向けた、パワーエレクトロニクス機器に擬似的な慣性を具備することで電力系統の安定化を図る技術
17	ガス発酵を行う微生物を用いた、二酸化炭素の消費とそれに伴う大スケールの有用物質生産技術

28	カーボンニュートラルのための創エネルギー技術
33	水素タンクに入れておくだけで、入れない場合に比べて同圧力で多量の水素を保有できる軽量水素吸蔵・貯蔵材料
34	高濃度の二酸化炭素を直接電解還元することで、メタノールを合成する技術及び電解セル
48	海底鉱物資源、特にレアアース・コバルト・ニッケル資源開発のための各要素技術のシステム設計及び商業化
65	膜状の共有結合性有機構造体(covalent organic framework)を活用した、特にCO <sub>2</sub> を対象とする分離技術
70	鉛フリーかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池の開発及び低コスト生産
71	化学（膜、触媒等）、物理（燃焼、計算等）、微生物（複合微生物によるNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> への変換等）の要素技術進展及び産学官連携に基づく、廃水からNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> （エネルギー）への変換・回収技術
72	生産スケールアップや安定的製造などの技術に基づく、動物由来の食肉と同等あるいはそれを上回る品質かつ目的に合致した任意の構造の培養肉生産法
77	二酸化炭素排出量減少に向けた、再生可能エネルギーによるアンモニア製造及び従来の燃料の100%アンモニアへの置き換え
86	脱炭素社会に向けた、NO <sub>x</sub> 浄化装置が必要な点や燃焼速度が遅い点を解決した、アンモニアを燃焼させて発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術
104	①セラミックス、各種電池電極、化粧品などの固液分散系製品において、必須とされてきた大量の添加剤が9割以上削減可能、高温の熱処理プロセスが不要になるなどの二酸化炭素排出量削減に大きく貢献する技術 ②脆性材料とされてきた各種無機材料にフレキシビリティを容易に付与できる技術
110	燃料として水素やメタン、アンモニアなどを用いることで高効率発電を実現し二酸化炭素の排出もない、高出力・高エネルギー変換効率・高耐久性や劣化の抑制を実現した、実用的な中低温作動型燃料電池
118	低炭素かつ水素社会の実現に向け、合成効率化・大規模化・コスト減・安定供給性・NO <sub>x</sub> の有効利用などの課題をクリアした、アンモニアからの水素製造
119	木質バイオマスのうち、環境負荷の小さいリグニン抽出およびリグニンを有用材料・化学原料の合成による高付加価値化
131	①沿岸生態系（藻場、湿地、マングローブ等）のCO <sub>2</sub> 吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術 ②沿岸生態系の保全・再生・造成によってCO <sub>2</sub> 吸収源を拡大する技術
132	一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し直接有用物質生産を行う好熱性（嫌気性）微生物における、微生物培養技術と生化学・分子生物学の融合に基づく、これまでと異なる微生物の育種及び多様な物質生産への応用
136	藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及
146	イオン伝導体をLi分離膜とし、Liのみを選択的に回収する技術（Li Separation Method by Ionic Conductor ; LiSMIC）など、新たなLIB原料循環に関する研究及び実プラント整備に必要なスケールアップ技術
151	①核融合炉における液体水素冷却超伝導コイル ②液体水素で超伝導体を冷却する技術に基づく、長期安定利用と制御が可能な超伝導モータによる航空機の電動化 ③大量に水素を取り扱う将来を想定し、液体水素の冷熱も有効利用した電力需給調整システムの実証研究
160	日用品のプラ製品から、未使用原料からの製造と遜色ないプラ製品を再生する高度リサイクル技術
177	CO <sub>2</sub> 還元反応触媒やCO <sub>2</sub> 吸着材料など、二酸化炭素の資源化に関する科学技術（Carbon Capture and Utilization (CCU)）
197	脱炭素社会の実現に不可欠な、塗布プロセスを用いて安価な材料から作製してもシリコン太陽電池に匹敵する光電変換効率を得られるペロブスカイト太陽電池
227	環境イノベーションを目指した、バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料（ウッドセラミックス）の蓄電池電極としての活用
239	エネルギー効率と経済性を改善した人工光合成技術
242	地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術
253	燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道

258	脱炭素社会を支える環境計測基盤技術となる、炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法
305	大気汚染物質発生源対策や将来予測の精緻化に向けた、衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース（単一発生源）の検出と定量
315	窒素循環の課題解決のため、反応性窒素 $\text{Nr}$ を安価かつ容易に定量、測定する技術
320	微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した高効率電池
336	電気透析の技術を活用し、海水から $\text{CO}_2$ を低コストで回収する技術
345	$\text{CO}_2$ からの燃料や化成品を高純度で合成しつつ、同時に副生水を分離回収して水電解で水素を製造し、再度 $\text{CO}_2$ との反応へリサイクルするシステム
350	循環型社会構築を目指し、食品残差の安定的回収・分別システム構築に基づき、木質バイオマス発電所で生じる木灰と食品残差を組み合わせた有機堆肥化及びその地場利用
353	BIM の材料データへのライフサイクルの $\text{CO}_2$ 排出量組み込み等による、建築分野のライフサイクル $\text{CO}_2$ 排出量の把握及び評価
360	二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として高効率で油脂発酵する技術
367	カーボンニュートラルを実現するための技術として、 $\text{CO}_2$ を電気的に還元し、有機物を生成する技術
382	水電解、水蒸気電解、バイオマスによる高効率かつ安価な水素やアンモニアなどの燃料製造技術開発およびインフラ構築
386	自国で真のカーボンニュートラル達成、発電燃料の十分な確保、世界に先駆けての技術構築に向けた、三重水素の効率的使用のための自己増殖技術、循環および再利用技術等による核融合発電
410	塩基性岩石の化学風化促進による大気中 $\text{CO}_2$ の吸収と土壌改質、溶出イオンによる海洋酸性化の緩和
425	経済・社会に大きな利益をもたらす、地球温暖化の防止
447	カーボンネガティブな生産技術として、 $\text{CO}_2$ と水から界面活性剤などの化学物質を合成する触媒
469	人工合成による有効物質の製造



## 4.5. ビッグデータ・ビックデータ解析・データ駆動科学

検索キーワード「ビッグデータ」「データ駆動」。全件が「4.1 人工知能・機械学習・深層学習」と重複するため、詳細はそちらを参照いただきたい。

No.	短縮版
99	Explainable AI 技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法
109	機械学習を用いた、災害の脆弱性の高い地域の予測
166	①先端計測で得たデータが、機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法と結びつくことによる、既存計測装置の性能の飛躍的向上 ②過去データと機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法が結びつくことによる、これまで捨てられていた重要な情報の引き出し
169	AI・シミュレーション技術・ビッグデータを活用した創薬において、企業や機関を越えた人材やデータ等の共有システムの整備及び中・高分子医薬の創薬への活用
183	センシング技術の発展や低コスト化、オープンデータの進展によるデータ量増加に基づく、予知保全における予測や故障要因の機械学習による推定
192	データサイエンスの環境分野への応用
216	レーザー光の高い自由度ゆえに、最適パラメータの探索に多大な時間と労力を有するレーザー加工技術の課題について、AI や学術的知見を最大限活用し、実験すること無く加工対象に対する最適パラメーターを導くシミュレーター
226	例えば脳の信号を電極でデコーディングすることで、麻痺患者でも健常者と同等かそれ以上の速さと正確さでアルファベットのタイピングができるようになる、ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェース
237	データに基づく政策決定手法やブロックチェーンなどを利用した、都市に関わる様々なオープンデータを個人情報に配慮しながら連携するプラットフォーム・仕組み
257	①インフラの点検結果や、前回点検からの損傷の進展の程度、どの程度の損傷に対してどのような補修を行ったかといった統計的なデータベース構築 ②インフラ点検結果で得られるビッグデータを、機械学習やスマートグラス等のウェアラブル端末と組み合わせた効率的なインフラ維持管理システム ③地方のインフラでも都市高速と同程度のモニタリングが可能となる、ドライブレコーダーの動画像やカーナビ位置情報などを大型車から取得できる仕組み
278	ビッグデータ解析
281	過去2億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築に向けた、人工知能を用いた広範囲の微化石の自動認識と自動分類
332	沿岸海域で取得される各種観測データや衛星データを統合したビッグデータ構築と、プランクトン種組成の自動観測技術等の AI を用いた赤潮予測
344	①複雑な化合物の合成経路を人工知能に基づいて高精度に設計し、実際に合成する技術 ②新規有機合成反応の進行を予測する技術
346	生活、産業、移動などあらゆる都市活動の IoT による観測・計測し、得られたビッグデータの活用及び AI による分析を通じ、持続可能性や強靱性をも含んだ、都市全体の効率的・最適な運営・経営
426	小型、省エネルギー、高性能な排水からの飲料水精製技術における、AI およびビッグデータの活用による従来とは全く異なる考えに基づくブレークスルー
440	国内中の草地基盤を最大限活用した輸入飼料に過度に依存しない家畜生産実現のための、人口減少などによる労働力不足においても産業的経営を成り立たせる、AI や ICT を活用したデータ駆動型の未来技術
465	AI による大規模データ解析を内包した、動的、高速、高精度な大規模最適化計算技術
470	データから人が理解できる形での数式化を提案できる、AI Feynman などの近年のデータサイエンス技術を取り入れたデータ関係性の Symbolic Regression（数式回帰）手法
507	これまでの知見の延長上にある研究（最適化、材料を変える、組み合わせる）における、AI による研究活動の推進
516	ロボット化学合成

## 5. 実現に向けて必要な要素

本調査では、科学技術だけでなく、その実現に向けて必要な要素についても調査した。他方で、直近の科学技術予測調査である第11回科学技術予測調査においても、必要な要素のうち、政策手段については「実現に向けて必要な政策手段」として項目別に調査した。ここでは特にそれらの項目に準じ、一部個別の回答について抜粋する。「,」を「、」に統一する等、記載は一部改変しているが、原則として原文を掲載する。

### (1) 人材の育成・確保

研究を発展させるためにはポストク等の他、特定の専門家の人材育成が必要との回答が見られる他、理解の浸透や社会的教育についても回答が見られる。

No. : 短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
2：単一分子レベルの吸収分光が可能な超高感度分光手法を活用した生体研究	基礎研究推進費、特にポストクなどの人材を雇用してブーストするための費用
3：各要素技術の融合による防災設備のIoT化	大学含むMajority主体やトップダウン方式ではアイディアも限られ、斬新な研究はできない。基礎知識に軸を置いた社会的な教育が必要
57：粗肥料のみでのウシ飼育に向けた、反すう動物の第一胃（ルーメン）内発酵を人為的に制御する技術	全国レベルでの特殊な発酵パターンを有するウシの大規模な調査や研究チームが必要となるため、大規模な人材と資金の投入が必要
73：地球で枯渇する必須資源を宇宙（月の水資源、小惑星の鉄やプラチナ）から得たり、人類の生活圏を宇宙に拡張させることを目指す、資源探索・採掘及び地球への持ち帰り技術	宇宙資源の利用に關しての法体系の構築も、各種国際関連法が成立しているが主要国が署名していないなど、普遍的なルールに基づく法制度化には今後世界各国との調整が必要となり、我が国でも専門家の育成が重要
108：時空間スケールの拡大した高精度分子シミュレーション技術による、様々な生命・材料システムの理解に基づくモノづくりの実現	シミュレーション人材の育成が間に合っていないので、適切な支援が必要
171：環境耐性や収量に着目した、ゲノム編集による優良形質（人口増加に対応した高収量、促成性の高い作物など単位面積あたりのカロリーや栄養素が高い等）を持つ作物の育種	ゲノム編集に關しては心情的に社会が受容しにくい風潮があるため、情報公開や社会への周知・教育が必要である
248：テラヘルツ波を利用した100 Gbps超のB5G/6G向け無線伝送技術	デバイス分野、無線通信分野の人材育成が急務、現状ではAI人材の拡充が叫ばれているものの、上記の人材育成も非常に重要である
303：時間領域シミュレーションにおける、ユーザーが下のレイヤーを意識せずとも超高速計算を可能するソフトウェアを活用したマルチフィジックス大規模数値計算技術	他分野の知恵を統合しまとめあげられるような人材の育成、および、継続的にこうした開発をサポートするための体制の確立が必要とされている

### (2) 研究開発費の拡充、事業補助

研究開発費の拡充そのものや、公的資金の投資対象についての意見の他、コストダウンについても回答が見られる。

No. : 短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
14：次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術	結晶成長技術、ウェハの面積化、低コスト化、伝導性制御、界面制御については、まだ大きな課題がある
35：陽子線治療において、がん細胞へのエネルギー物質の配置と陽子線照射を組み合わせること	治療が必要となるので、パートナー企業との連携が必要と考えられる。また研究開発に関わるコス

により、より効率的に低コストでがん細胞を破壊する技術	トが膨大となる可能性がある
72：生産スケールアップや安定的製造などの技術に基づく、動物由来の食肉と同等あるいはそれを上回る品質かつ目的に合致した任意の構造の培養肉生産法	現時点では培養肉を生産するためのコストが著しく高いため、現在の食肉の消費量を置き換えるには程遠い状況にある
87：高信頼性や繰り返し自己修復能を有する、低コスト自己修復材料	自己修復機能を付与するための付加的な要素の大小・コストなど。コストが高くなったとしても、使用寿命が延びることからゴミを生み出さないと、環境効率性を重視する社会に進んでいくかどうかに関係していると考え
93：超低価格かつフレキシブルなシート状太陽電池	ペロブスカイト型太陽電池は鉛フリー化が達成されなければ、特にわが国では受け入れられないがその用途はたっていない。社会実装に向けた研究開発においては、公的資金の投資に際して「受け入れられる技術か否か」という観点に基づく評価を重視すべきであると考えられる

### (3) 研究基盤整備、事業環境整備

高度な設備の維持や実証実験といった回答の他、関係者の理解の浸透、データ量や品質管理、データの利用やデータベース整備についての回答が見られる。

No.：短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
41：地上の多地点で太陽風を観測することで24時間観測を実現する観測網など、天気予報の業務として使えるレベルの安定性・信頼性・継続性がある、宇宙環境変動のリアルタイムモニタ・計測技術	宇宙環境計測は宇宙に人類が進出する上で必須の技術であることは宇宙産業に携わる官庁や企業でも理解していないことが多い。本技術の発展には関係者への理解の浸透など社会的要素も必要となる
96：電子や熱エネルギーの伝搬経路を知った上での物質設計に向けた、物質中の電子の動きや、それにより引き起こされる原子核の動きを実時間でとらえる技術	超短パルスレーザーや超短パルス電子線技術、高度な光源を維持できる設備・機関
119：木質バイオマスのうち、環境負荷の小さいリグニン抽出およびリグニンを有用材料・化学原料の合成による高付加価値化	有望技術が見出されれば、実用化にむけて実証試験が今後必要
125：材料開発時の新物質探索における、機械学習、データ科学及び人工知能技術を活用した革新的新物質の効率的探索を実現するマテリアルズ・インフォマティクス	計算・実験データともに、データの品質は計算・実験条件に強く依存するため、単にデータ量が増加するだけではなく、「品質管理」されたデータ蓄積が重要な課題であると考えられる。データの品質はその後の機械学習モデルの予測性能を決める重要な因子であり、データ量に加えて、データの品質管理が今後の課題であると考えている
150：がん細胞の進化という考え方及びそれに基づいた新規治療戦略	得られたデータをデータベース化し、医師だけでなくバイオインフォマティクスなど様々な分野の研究者がデータを利用できるようにする
240：コヒーレントラマン分光イメージングによる細胞内モルフォロジーの可視化を活用した、細胞の状態の非侵襲・非染色評価	ターゲットとなるメディカルへの活用には、低額化、メンテナンスフリーなシステム、結果表示アプリの開発など、大学と企業とでビジネスが成り立つ共同開発、かつ、医療分野での実証実験が必要だが、そのようなプロジェクトはなかなか発生していないため、その部分が必要
281：過去2億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築に向けた、人工知能を用いた広範囲の微化石の自動認識と自動分	人工知能を搭載したコンピュータやアプリケーションの能力の向上とともに、それらの技術が安く提供されることが必要。加えて、多くの研究者を

類	結ぶネットワーク、効率的に画像データを収集するデータベースシステムの改善が必要。
311：リアルタイムのセンシングデータから状況の解析やその先の行動の判断を超低遅延で実現する仕組みに基づく、ポスト 5G/6G 無線技術とクラウド仮想化の融合による移動体やロボットの高度自律化	個々の技術は昔から個別に研究開発してきた分野なので、革新的なグランドデザインとシステム最適化を追求する意味でも研究拠点を整備し、強固に連携しながら研究できる体制が必要とを感じる

#### (4) 国内連携、国際連携

他の項目に比べて多くの回答が見られる。異分野連携や産学官連携の必要性だけでなく、分野融合的・横断的研究拠点の整備や、学会等プラットフォームの充実についての回答が見られる。連携対象についても幅があり、異分野であっても、例えばバーチャルリアリティ（VR）やメタバースに関しては、人文社会科学や認知科学など幅広い分野との連携に基づく大きな研究コミュニティの構築が必要との意見が見られた。他方で DNA ナノテクノロジーについては生化学とバイオテクノロジー、ヘルスケア情報を取得する研究領域については医学系と情報工学系、心理系などが連携対象であった。

No.：短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
24：電池を置き換える発電素子としての、身の回りにある光や熱や振動から電気エネルギーを得る環境発電技術	電池の置き換える発電素子であるため、応用範囲が極めて広い、ただ広いがゆえに、何を駆動するための発電素子とするのか、ターゲットが絞り切れていない、産学連携で議論し、具体的な出口を絞るべき段階
71：化学（膜、触媒等）、物理（燃焼、計算等）、微生物（複合微生物による $\text{NH}_4^+$ への変換等）の要素技術進展及び産学官連携に基づく、廃水から $\text{NH}_4^+$ （エネルギー）への変換・回収技術	産学官の連携が不可欠であり、産業界が本格的に参入する意識を高められるよう、学・官での要素技術の研究進展の推進が求められる
79：分子間の非共有結合を駆動力に秩序だった構造体を創生する超分子化学の技術を活用した、共有結合では実現できない機能材料	日本における超分子化学の研究レベルは非常に高いが、その研究者が共通して所属する学会はなく、十分な情報共有がなされていない。近い将来に必ず出現する産業化へのブレイクスルーに備え、産学官の超分子化学の研究者が広く集うことの出来る学会プラットフォームの整備が必要
129：量子コンピュータ研究において、量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発及び計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究	社会的要素としては量子コンピュータの研究の先の長さを広く認知してもらう必要があり、また産業界にも辛抱強く見守る必要がある。学術的にはちょうど境界領域にあり、専門学会の充実と分野の融合が大事だとも思います
132：一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し直接有用物質生産を行う好熱性（嫌気性）微生物における、微生物培養技術と生化学・分子生物学の融合に基づく、これまでと異なる微生物の育種及び多様な物質生産への応用	微生物に関連する分野を超えた連携が必要な育種であり、基礎、応用、等々、細分化された日本の研究体制での実現は相当程度に困難であることが予想される。逆に、そのような体制を構築できれば、国内においても実現可能性があるのではなかろうか
311：リアルタイムのセンシングデータから状況の解析やその先の行動の判断を超低遅延で実現する仕組みに基づく、ポスト 5G/6G 無線技術とクラウド仮想化の融合による移動体やロボットの高度自律化	分野横断的な研究テーマとなるので、研究拠点を整備し、最終的な技術の展開という出口を意識しながら要素技術を研究開発するべきと思われる
348：従来のナノテクノロジーと比べて、超微細形状を持つ DNA 構造体を高精度、簡便かつ大量に分子材料を合成する「DNA ナノテクノロジー」を用いた、実用的 DNA 構造体	DNA ナノテクノロジーの要素技術は成熟しつつあるものの、関連技術との連携が進んでいない状況にあると言えます。今後は「生化学」や「バイオテクノロジー」などの関連分野と協調できる枠組

	<p>みを積極的に作っていく必要があると考えられます。また、研究者が必ずしも世間のニーズや経済的な損益を考えて研究しているわけではないため、産業界との結びつきを持つ機会も必要になってくると思います。</p>
<p>351：発生生物学と神経科学の融合による、神経発生発達障害の根本原因である発生異常のメカニズムの徹底的解析に基づく、対処療法以外のアプローチ</p>	<p>社会問題ともなっている自閉症や統合失調症などの神経発生発達障害については、発生生物学および分子細胞生物学的な基礎的理解が追いついていないことから、社会実装までの先は長いであろう。日本の強みであるこれらの分野を神経回路研究や疾患研究と融合させられるかどうか、今後の展開を大きく左右すると思われる。よって、現在は学会レベルでもバラバラである神経科学、発生生物学、細胞生物学、生化学、精神疾患（生物学的精神医学など）を融合できるような領域型研究を推進するための研究班を構築することなどが効果的ではないかと考える。</p>
<p>355：医学系と情報工学系・心理系等の共同研究と、心理・ストレス状態の確実な取得がわかる実証実験系に基づき、汎用カメラを用いて顔画像からストレスや心理状態を遠隔評価する技術</p>	<p>画像などからヘルスケア情報を取得する研究領域において最も重要なのは、1：医学系と情報工学系・心理系などとの共同研究、2：心理状態やストレス状態を確実に取得していることがわかる実証実験の系、の2つに限る、2については倫理の問題でなかなかクリアなデータを取得することがむずかしいため、単独の共同研究では実効がむずかしい医学連携は、大きなプロジェクト手動で、医学と情報工学や心理との共同プロジェクトがあると良いのではないかとと思う</p>
<p>378：①人々が自然と仮想空間（メタバース）に参加し、アバタを操作する技術 ②アバタを通じてメタバースを感じるような入出力デバイスとインタフェース・インタラクション技術 ④ユーザ自身の思想や思考などのデジタル再現するための技術 ⑤ユーザの意図通りにアバタ・エージェントを操作するための技術 ⑥仮想空間（メタバース）でのインタラクションやコミュニケーションを五感を使って体験できるようにする技術 など</p>	<p>「心理学はバーチャルリアリティにおける物理学である」と言われるように、仮想空間内でアバタやエージェントによって人間を再現するためには、人間の理解に基づく技術開発が必要となる。人文社会科学、認知科学など、幅広い分野との連携に基づく大きな研究コミュニティの構築も必要である。本科学技術の本当の価値は「人間を再現する」ことであり、このためには既存の多くの学術分野（医学を含む）からプレイヤーを集め、研究を推進することが必要となる。</p>
<p>385：組成が分布する勾配試料と局所的な特性を評価できる手法を組み合わせた効率的な材料データ取得による、これまでにない規模の材料データベースの構築</p>	<p>評価装置メーカーと材料研究者の連携が不可欠。ここを考慮したプロジェクトがあると加速できる。</p>
<p>477：水中ドローン、飛空艇、AUV を組み合わせた高速・広範囲深海底調査</p>	<p>地球科学者・航空工学者・技術者などが連携して、工学的要素を積み上げていく必要がある。また、長期的視点に立った海洋科学者の人材育成が継続的に必要</p>

#### （５）法規制の整備：法令・基準の緩和・廃止又は強化・新設

指針の提示や規制の緩和の他、税制の整備や省庁が連携した政策検討が必要との回答が見られた。

No. : 短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
15：哺乳類卵子の人口培養系を用いて老化等による卵質の悪化を改善する手法と人工子宮の技術開発の融合による個体作成技術	主な受益者が患者であることを考えると、まずは安全性や高い成功率を確保するとともに、特に1つの卵子＝1つの生命という考え方が浸透したところがある我が国において、卵子研究に関する明確な指針も提示されるべきだろう。ただ、いたずらに知的好奇心を訴えるのではなく、高齢化社会と高齢出産社会が重なった現在の我が国において、高齢でも臨んだ時期に出産に至れるという希望的な側面をアピールすることが重要と思う。
21：遺伝性・後天性に関わらず、難聴の治療薬開発	規制の緩和や承認の迅速化。
100：木質バイオマス燃料の効率的利用による、小規模熱供給事業の汎用化	環境教育の広がり、電力小売の自由化、金融関連の規制緩和（地域に根ざしたマイクロクレジットの育成支援）、炭素税など。
130：海洋における温室効果ガス吸収源（ブルーカーボン）の拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術	海面使用に係る法律等、海洋政策面の更新が必須。
315：窒素循環の課題解決のため、反応性窒素 Nr の定量を安価かつ容易に測定する技術	窒素汚染を引き起こしている人間の活動が 農業、畜産、化石燃料の消費、食品廃棄や生活排水など多岐に渡るため、関連する省庁が連携した政策を検討し、場合によってはトレードオフするような制度設計が必要

## （6）倫理的課題への対応

倫理的な議論や取り決め、倫理審査に関する回答の他、社会的合意形成に関する記載が見られた。

No. : 短縮版	必要な事項（一部改変の上抜粋*）
8：光による生命機能の制御・操作	様々な特許化がなされており、遺伝子治療を含めた臨床適用の段階にある。ただし、微生物などヒト以外の遺伝子を導入する倫理的・社会的な問題存在する。
53：ウイルスベクターによる遺伝子改変を利用して細胞の性質を変容し、細胞自体を医薬品として応用する技術	要素技術自体は完成されているが、製造プロセスとして統合し最適化する必要がある。また、他家細胞医薬品の使用に関しては、倫理的な取り決めも必要となろう。
77：二酸化炭素排出量減少に向けた、再生可能エネルギーによるアンモニア製造及び従来の燃料の100%アンモニアへの置き換え	発電におけるエネルギーミックスの中にアンモニア燃焼が取り入れられるような、社会的な合意形成が必要と思われる。
167：精神疾患や神経損傷による感覚・運動能力喪失後のリハビリなどへの貢献のための、神経回路の編成に対して操作的に介入する技術 など	ハイスループットな操作的・測定法のためのさらなる技術進展と、ヒトに対して技術応用するための倫理規定の制定が必要となってくると考えられる。
228：携帯式DNAシーケンサーを用いた、検査室レベルでの病原体ゲノム DNA の完全長解読と、病原体早期検出への応用	本邦では臨床材料を用いた研究を実施するために、必要以上に厳しい倫理審査手続き等を要するため、評価試験を実施しづらい環境にある。
257：地方のインフラでも都市高速と同程度のモニタリングが可能となる、ドライブレコーダーの動画像やカーナビ位置情報などを大型車から取得	IoT を搭載した大型車によるインフラの常時モニタリングでは、動画像や GPS 等の個人情報を使用するため、プライバシー保護の観点から社会的コ

できる仕組み など	ンセンサスが必要となる。
379：流産防止や合目的な繁殖につながる、RNA やタンパク質の蛍光プローブを用いた特定の染色体や代謝状態などのライブセルイメージングによる、受精卵の評価技術	ヒト胚や家畜胚での検討 倫理的議論の必要性

## 6. 次回に向けて

本調査では専門家が現在注目する科学技術をアンケートで収集し、今後も毎年同様の調査によって情報を蓄積する。これらの情報は、次期科学技術予測調査時に活用するとともに、政策検討の基礎資料としても提供する。なお、本調査は専門家が注目する科学技術を「注目科学技術」とし、専門家の最新の知見を毎年幅広く収集・蓄積し、得られた結果を精査・分析して公表するものである。

今回調査についてまとめると、今回の注目科学技術は 395 件、兆し科学技術は 138 件であった。回答に対する専門度については、注目科学技術では多い順に高、中、低となっている。対して兆し科学技術については、専門度中が最も多く、次いで低、高の順である。

回答者属性については、所属機関は注目科学技術・兆し科学技術のいずれも大学が 7 割と最も多く、回答者専門分野はライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料が多い。これについては元々の専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。回答者専門分野についても、注目科学技術・兆し科学技術のいずれについてもライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料が多く、これは所属機関と同様に専門家ネットワークの属性割合と同等であり、それが反映されていると考えられる。従って、回答に対する専門度については注目科学技術と兆し科学技術で違いがみられるが、回答者所属機関及び回答者専門分野については違いが見られない。

実現時期については、「5 年未満」「5 年以降 10 年未満」「10 年以降」で調査した。その結果、約半数（395 件中 199 件）は「5 年以降 10 年未満」であり、次いで「5 年未満」であった。これを第 11 回予測調査の分野別にみても、大きな違いは見られない。実現時期回答数を年齢別にみると、「10 年以降」の回答者は、他の実現時期に比べて比較的若い。

実現した際に期待される効果については、いずれの期待される効果についても「大」が最も多かった。そこで「大」「やや大」に絞って集計すると、全体的に大きな差はないものの、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野のみ、経済的效果（31.4%）や社会的効果（25.5%）よりも学術的效果（43.1%）の回答割合が多い結果となった。

キーワードについては次のようなキーワード群が多く見られ、特に、人工知能、量子科学技術、宇宙、カーボンニュートラル、二酸化炭素技術、ビッグデータ、データ駆動科学といったキーワードは多く見られた。

今後は、今回の結果の次期科学技術予測調査への活用及び政策検討の場への積極的提供を進める他、引き続き調査設計についても検討する。

## 調査研究体制

### 〔調査担当〕

黒木優太郎 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 研究官

伊藤裕子 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ長

### 〔協力〕

岡村麻子 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 主任研究官

小倉康弘 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 主任研究官

鎌田久美 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 研究員

蒲生秀典 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 特別研究員

横尾淑子 科学技術予測・政策基盤調査研究センター 動向分析・予測研究グループ 専門職



# 付録

## 付録 1 短縮版一覧

1	未知材料の探索に向けた、実験データや目的構造データなどから、材料構造形成を記述する数理モデルを推定する手法
2	単一分子レベルの吸収分光が可能な超高感度分光手法を活用した生体研究
3	各要素技術の融合による防災設備のIoT化
4	modRNA と LNP を用いた遺伝子治療
5	超電導磁気浮上式鉄道の新たな可能性開拓に向けた、超流動ヘリウムを冷却材とした高磁場用超電導マグネット
6	AI によるインフラ構造物の維持管理の効率化
7	抑制性サイトカインを用いた歯周炎治療およびコントロール
8	光による生命機能の制御・操作
9	在宅自己管理支援アプリケーション・遠隔モニタリング・AI（行動変容）技術を活用した在宅医療の一般化
10	薬剤候補の効率的な選定や疾病解明に向けた、NV 量子センサによるバイオセンシング
11	半導体材料としてシリコンを凌ぐ物性を持つ次世代半導体の材料・プロセス技術
12	試験管内で長鎖 DNA を合成・編集する技術の、基礎研究及び臨床応用研究への適応
13	①センサー搭載小型衛星・航空機による海洋の常時観測、海中を自動昇降する小型ブイによる海洋内部構造の高頻度観測を統合した、津波や波浪などの防災・減災技術 ②センサー搭載小型衛星・航空機による海洋の常時観測、海中を自動昇降する小型ブイによる海洋内部構造の高頻度観測を統合した、海洋ゴミや生物多様性の追跡・予報を行う技術
14	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術
15	哺乳類卵子の人口培養系を用いて老化等による卵質の悪化を改善する手法と人工子宮の技術開発の融合による個体作成技術
16	再生可能エネルギー導入と電力安定供給の両立に向けた、パワーエレクトロニクス機器に擬似的な慣性を具備することで電力系統の安定化を図る技術
17	ガス発酵を行う微生物を用いた、二酸化炭素の消費とそれに伴う大スケールの有用物質生産技術
18	脂質分子の詳細な構造を網羅的に解析できる技術
19	食べるワクチンによる、誰でも気軽に免疫を賦与できるワクチン生産およびその抗体産生応答の評価システム
20	DNA origami / RNA origami 技術を用いたワクチンアジュバント
21	遺伝性・後天性に関わらず、難聴の治療薬開発
22	診療科の垣根を超えた予防・先制医療に向けた、精神疾患や脳機能老化を能動的に防ぎ回復を促す抵抗性（レジリエンス）を増強し、幅広い精神・神経疾患や脳機能老化を防ぐ技術
23	磁気スキルミオン、電気双極子スキルミオンのトポロジカル欠陥のデバイス利用
24	電池を置き換えうる発電素子としての、身の回りにある光や熱や振動から電気エネルギーを得る環境発電技術
25	離散写像の極限としての微分方程式の数学的解析を通じた機械学習の理論的解析や、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替など、機械学習と数値解析の融合
26	物理モデルを模倣した AI（深層学習モデル
27	元素戦略・ナノ構造・特異構造や原子制御による新機能材料の開発
28	カーボンニュートラルのための創エネルギー技術
29	基礎研究及び遺伝子治療に向けた、特異的な反応を行う酵素や特異的な会合を行うレセプタータンパク質などの開発
30	トポロジカル超伝導体に現れるマヨラナ粒子の非可換統計性の、量子コンピュータへの応用
31	テラヘルツ領域の活用に向け、ビルの壁や車のボディなどのメタマテリアルを人工知能技

	術と融合させ、スマートな動作を可能とする Intelligent Reflecting Surface
32	老化制御因子の多数同定による、健康寿命延伸技術の開発
33	水素タンクに入れておくだけで、入れない場合に比べて同圧力で多量の水素を保有できる軽量水素吸蔵・貯蔵材料
34	高濃度の二酸化炭素を直接電解還元することで、メタノールを合成する技術及び電解セル
35	陽子線治療において、がん細胞へのエネルギー性物質の配置と陽子線照射を組み合わせることにより、より効率的に低コストでがん細胞を破壊する技術
36	飼育動物の健康管理にも応用可能な、小型で省電力かつ耐圧防水性に優れた改良型バイオセンサを用いた、野生動物の行動を記録するバイオリギング技術
37	小型計測器を用いた大気環境計測を活用した、大気汚染による健康被害低減
38	アフターGIGA スクールにける、効果的ソフトやシステム及び確かな教育効果や教育システムの構築
39	超小型／小型衛星が地球周回軌道から離脱し惑星探査する際の、高軌道変換能力を有し長時間動作する、推力制御可能なキックモータの開発
40	全ての廃棄物を省コスト省エネルギーで再利用できる技術
41	地上の多地点で太陽風を観測することで24時間観測を実現する観測網など、天気予報の業務として使えるレベルの安定性・信頼性・継続性がある、宇宙環境変動のリアルタイムモニタ・計測技術
42	一細胞レベルの遺伝子発現解析、臓器や組織における位置情報解析に加え、時系列を伴った高解像度解析
43	建設材料や工業製品材料において、複合材料にまで適応可能な応力可視化技術
44	大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別
45	ネオジウムや白金などの希少元素を含有せず、高い飽和磁化や保磁力を有する機能性永久磁石材料を設計・製造する技術
46	野生動物にロガーを装着するバイオリギング技術に人工知能を搭載し、野生動物への介入を含む細やかなロガー制御を行う技術
47	PCR や抗体・抗原検査とは異なる、新しいウィルス等の検査技術
48	海底鉱物資源、特にレアアース・コバルト・ニッケル資源開発のための各要素技術のシステム設計及び商業化
49	光・磁気・音波による生命現象の操作技術 (optogenetics、magnetogenetics、sonogenetics)
50	高解像度気候モデル及び気候変動から生物の応答を予測する海洋物理・生物結合モデル
51	ゲノム編集やゲノム育種により昆虫を高速に家畜化・改良し、風味の良いタンパク質資源として大量飼育して用いる技術
52	バイオものづくりより制御が安易かつ安定的に有機物生産が可能な、増殖する人工分子システムの無生物材料のみでの構築
53	統合データとシミュレーションの融合及びこれらを下支えするシステム設計に基づく、防災研空におけるデジタルツイン
54	トポロジカル半金属における、ディラック電子の持つ巨大移動度により巨大電気伝導度を得ることができることによる熱電変換効率の飛躍的向上等、トポロジカル物性を利用した熱電変換材料
55	カーボンナノチューブを電流改善材料として活用し、コストと性能を満たしたりチウムイオン電池
56	従来計算機と量子計算機による協調計算のための情報処理基盤や、その協調計算を活かした社会に資するアプリケーションの開発に基づく、従来計算機と協調した量子計算およびその連携計算
57	粗肥料のみでのウシ飼育に向けた、反すう動物の第一胃（ルーメン）内発酵を人為的に制御する技術
58	コンピューティング処理を一つのプログラミング言語や汎用型 CPU で行うのではなく特定の応用分野に着目してカスタマイズし、人間の手作業での効率をしのぐ性能・生産性を達成したドメイン特化型コンピューティング技術
59	細胞内液液相分離に特化した分析方法・技術に基づく、細胞内液液相分離現象の理解と制御

60	火災発生の判定精度の向上や誤検知低減技術の確立に基づく、火災発生から消防隊の到着までの現在のリーディングタイム（約7分）をさらに短縮する迅速な火災検知・通知システム
61	マウス操作と同等速度かつエラー率や使用負荷も低い、タッチ操作に変わる実用的視線インタフェース
62	熟年の触媒設計の技術を人工知能により設計できる、触媒インフォマティクス
63	ウイルスベクターによる遺伝子改変を利用して細胞の性質を変容し、細胞自体を医薬品として応用する技術
64	①植物プランクトンを活用したブルーカーボン等、多岐に渡るブルーカーボンの小型で安価な高精度計測装置 ②ICTによる漁場の予測及び養殖のスマート化
65	膜状の共有結合性有機構造体(covalent organic framework)を活用した、特にCO <sub>2</sub> を対象とする分離技術
66	医用画像等の診断情報を基に、その場でのAIによる解析を含むシミュレーションを行い、治療未実施時のリスクや治療リスクを求められるテーラーメイドシミュレーションシステム
67	高齢化社会によって急増する疾患等を対象とする、力の関わる疾患のメカニズムの解明に基づいた医療（メカノメディスン）
68	震源域で起きる現象の理解促進、機械学習などを用いた観測データ解析技術の向上に伴う、地震発生を確度高く予知する技術
69	安価で高容量な硫黄を正極、ケイ素を負極とした蓄電池
70	鉛フリーかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池の開発及び低コスト生産
71	化学（膜、触媒等）、物理（燃焼、計算等）、微生物（複合微生物によるNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> への変換等）の要素技術進展及び産学官連携に基づく、廃水からNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> （エネルギー）への変換・回収技術
72	生産スケールアップや安定的製造などの技術に基づく、動物由来の食肉と同等あるいはそれを上回る品質かつ目的に合致した任意の構造の培養肉生産法
73	地球で枯渇する必須資源を宇宙（月の水資源、小惑星の鉄やプラチナ）から得たり、人類の生活圏を宇宙に拡張させることを目指す、資源探索・採掘及び地球への持ち帰り技術
74	生命がもつ遺伝子プログラムの根本からの再設計により新たな生物システムを構築し、新しい薬や燃料などの高レベル生産が可能な全く新しいタイプの生命を創りあげる技術
75	α線を用いて病変患部にピンポイントで薬物を届ける技術の安定的運用、入手可能な核種の拡大、抗体薬物複合体技術の活用による、高効果かつ低副作用薬物
76	遺伝子発現制御にかかわるヌクレオソーム上の化学修飾を自由に導入し、その物性や細胞導入による機能解析
77	二酸化炭素排出量減少に向けた、再生可能エネルギーによるアンモニア製造及び従来の燃料の100%アンモニアへの置き換え
78	氾濫域も含め流域全体で水害を軽減させる流域治水の技術
79	分子間の非共有結合を駆動力に秩序だった構造体を創生する超分子化学の技術を活用した、共有結合では実現できない機能材料
80	辞書構築・翻訳技術や手話のCGを用いた、手話解析及び生成
81	従来法である「視線入力」に限らず、どこに注目をしているのかを表す「視線共有」による、参加者の注意や興味といった雰囲気についての共有
82	電気自動車やスマートシティなどに活用可能な、リチウムイオン電池を大幅に上回る容量の金属-空気電池
83	ゲノム編集の応用によって狙った遺伝子領域のエピジェネティクス状態を生きたまま変更し、自由な細胞分化の促進やがんなどの病気を抑制する技術
84	植物において、遺伝子組換えを経ない遺伝子操作技術
85	細胞内相分離現象と疾患の分子メカニズムの解明に基づく、細胞内相分離の制御による細胞内の生命現象制御
86	脱炭素社会に向けた、NO <sub>x</sub> 浄化装置が必要な点や燃焼速度が遅い点を解決した、アンモニアを燃焼させて発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術

87	高信頼性や繰り返し自己修復能を有する、低コスト自己修復材料
88	動物細胞だけでなく、植物や菌体由来のものも含めた、細胞外小胞(Extracellular vesicle)の大量精製方法に基づく、その機能や活用方法に関する研究
89	自然免疫を刺激するペプチドグリカンミミックな化合物を活用した、自然免疫を制御し感染症を予防する薬剤
90	高活性・高耐久性の触媒、高導電率・高耐久性の触媒担体、効率的電解セルおよびフローシステムなどを活用した、高効率な大スケール低コスト水電解システム
91	機械学習によるアプローチとマルチスケールに及ぶシミュレーション法が融合したマテリアルズインフォマティクスにおける、新規マテリアル提案から製造プロセス開発までの一連の流れの確立
92	セラミックス粉体を、固相合成ではなく液相合成と超音波エネルギーを組み合わせることで達成される、ソノケミストリーを用いた材料合成
93	テラヘルツ光、テラヘルツリモートセンシング技術
94	①高性能な2次元ナノ物質の大量合成方法の確立及びナノ空間制御技術 ②マテリアルインフォマティクスを利用した新規物質の開発
95	ゲノム編集を応用した、難病などの遺伝子治療技術
96	電子や熱エネルギーの伝搬経路を知った上での物質設計に向けた、物質中の電子の動きや、それにより引き起こされる原子核の動きを実時間でとらえる技術
97	難治性うつ病の治療に繋がる、セロトニン作動性幻覚薬における抗うつ作用・抗不安作用のメカニズム解明
98	タバコを穂木とした異科接木あるいはタンパク質の利用（遺伝子導入等）による、環境要因等で栽培しにくい植物の接ぎ木による栽培や、植物の損傷修復等
99	Explainable AI 技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法
100	木質バイオマス燃料の効率的利用による、小規模熱供給事業の汎用化
101	①エネルギー自給率の向上のため、地球環境保持のため送電を経ない小規模その場発電技術 ②燃料電池のコンパクト化 ③高容量電池の開発と小型軽量化
102	iPS 細胞あるいは組織幹細胞の移植による臓器再生医療
103	イメージングへ展開可能な増強基板デザインに基づく、光散乱（ラマン散乱）の表面増強効果を用いた微量生体分子の非標識定量・イメージング技術
104	①セラミックス、各種電池電極、化粧品などの固液分散系製品において、必須とされてきた大量の添加剤が9割以上削減可能、高温の熱処理プロセスが不要になるなどの二酸化炭素排出量削減に大きく貢献する技術 ②脆性材料とされてきた各種無機材料にフレキシビリティを容易に付与できる技術
105	金属積層造形（3D printing）の現象解明に基づく、特定の金属の造形に特化した低コスト金属積層造形技術
106	ヒト嗅覚受容体を発現させた細胞をアレイ化し、ヒトが感じる匂い物質をデジタルデータ化するシステム
107	ngVLA (next generation Very Large Array: 次世代大型電波干渉計)計画によ次世代電波望遠鏡の整備に基づく、原始惑星系円盤（惑星系が誕生する場）の1天文単位以下の空間分解能での観測
108	時空間スケールの拡大した高精度分子シミュレーション技術による、様々な生命・材料システムの理解に基づくモノづくりの実現
109	機械学習を用いた、災害の脆弱性の高い地域の予測
110	燃料として水素やメタン、アンモニアなどを用いることで高効率発電を実現し二酸化炭素の排出もない、高出力・高エネルギー変換効率・高耐久性や劣化の抑制を実現した、実用的な中低温作動型燃料電池
111	通常研究者などが手作業で行なっているバイオ実験や、細胞治療製剤製造などを自動化・機械化する技術
112	装置損傷を防ぎつつ高効率な燃料利用及び難燃性の再生可能燃料などへの適用が可能な、燃焼希薄かつ高乱流条件下での繰り返し放電による確実な点火技術
113	対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義し、与えられた

	大量の教師なしデータからの当該タスクを用いた自己学習により、少量の教師情報で対象問題を精度高く可決する手法
114	小型モジュール炉（SMR）の開発や原子力発電と再生可能エネルギーの連動構築など、原子力分野や原子力発電におけるイノベーション技術
115	液液相分離の物性評価プローブの開発及び液液相分離の制御技術の開発
116	従来の地熱発電のための掘削より深い深度で存在する高温・高圧の超臨界水を利用して発電する、耐酸性の超臨界地熱発電技術
117	AI によるデザインを利用した、現存する抗体・タンパク質・酵素を超える性能を持つスーパー抗体・スーパータンパク質・スーパー酵素の開発
118	低炭素かつ水素社会の実現に向け、合成効率化・大規模化・コスト減・安定供給性・NOx の有効利用などの課題をクリアした、アンモニアからの水素製造
119	木質バイオマスのうち、環境負荷の小さいリグニン抽出およびリグニンをを用いた有用材料・化学原料の合成による高付加価値化
120	不完全情報を考慮した解析技術の高度化に伴う、スマートフォンや自動車などの市民生活に密着するデバイスからの情報収集・通信・処理技術
121	養殖餌や物質生産への利用など、食料以外も含めた昆虫資源の利用に向けた高機能化、未利用昆虫の探索、さらに安価で安全な大量生産技術
122	①霊長類の脳深部など、生体内深部を生きたまま可視化する光バイオイメージング ②免疫に配慮して動物にヒトの臓器を作らせ、ヒトへ戻す技術
123	地域や気候に左右されず一定のエネルギー収集が可能な、環境や周囲の微小エネルギー、特に摩擦エネルギーや静電気などを再生可能エネルギーとして収集する技術
124	フィールドでの効率的調査やアクセス困難な場所での高度な調査等により、研究成果を大幅に向上させる、地質・岩石に関わる加速器等の分析装置の小型化
125	①材料開発時の新物質探索における、機械学習、データ科学及び人工知能技術を活用した革新的新物質の効率的探索を実現するマテリアルズ・インフォマティクス ②ハイスループット実験データのデータ科学的分析による物質のキャラクタライゼーションの効率化
126	純粋理論分野における計算機を援用した定理の証明や理論構築の汎用化に基づく、数学の難問解決等に対する計算機を援用したアプローチ
127	宇宙衛星観測実験プロジェクト“LiteBIRD”による 3K 宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の B モード偏光場の観測及び統計解析による、「宇宙の初期条件」の解明
128	量子コンピュータ用の暗号技術
129	量子コンピュータ研究において、量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発及び計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究
130	海洋における温室効果ガス吸収源（ブルーカーボン）の拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術
131	①沿岸生態系（藻場、湿地、マングローブ等）の CO2 吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術 ②沿岸生態系の保全・再生・造成によって CO2 吸収源を拡大する技術
132	一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し直接有用物質生産を行う好熱性（嫌気性）微生物における、微生物培養技術と生化学・分子生物学の融合に基づく、これまでと異なる微生物の育種及び多様な物質生産への応用
133	①社会的課題に効果的かつ適応的に対処し、人間の福利と生物多様性の利益を同時に提供する、自然または改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための、自然を基盤とした解決策 ②陸域生態系・生物多様性プロセスモデルの高度化と気候システムや社会システムとの相互関係性を含めた、包括的な気候変動影響のメカニズムの理解
134	ブルーカーボンの拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術
135	土や空中を含めた陸域における環境 DNA 分析の高精度利用技術
136	藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及
137	クロマグロ資源回復のため、クロマグロを通常よりも早期に産卵させ、冬季までに耐冷が高い 2kg 以上の個体にまで成長させる技術

138	生物資源の超低温保存に用いる新規凍結保護剤としての、細胞毒性が低く効果の高いイオン液体
139	ソフトウェア開発の進展に基づく、農畜産物の3Dセマンティックセグメンテーション
140	消費者の生鮮食品の嗜好性を、喫食前に機械学習によって予測する技術
141	ウシのルーメン発酵におけるメタン産生に関わる重要な菌叢や、それらの働きを抑制できる飼料素材等に基づく、家畜生産からの温室効果ガス排出削減と生産性向上の両立
142	可視光を当てると紫外光を発する物質など、エネルギーの低い光をエネルギーの高い光にする技術における、コストや耐久性等で実用に値する材料開発
143	熱や光などの外部刺激で微視構造を変化させることによってメタマテリアルの機能を変化させる材料
144	超高温(1200℃以上)での反応ガス環境下での材料の組織観察など、透過型電子顕微鏡(TEM)におけるオペランド(実働環境)計測技術
145	アト秒時間スケールおよびサブオングストロームの空間で誘起される物質内の電子分布の変化から、マイクロ秒時間スケールおよびサブマイクロメートルの空間で誘起される分子集合体における構造変化までを統一的に理解するための計測技術
146	イオン伝導体をLi分離膜とし、Liのみを選択的に回収する技術(Li Separation Method by Ionic Conductor; LiSMIC)など、新たなLIB原料循環に関する研究及び実プラント整備に必要なスケールアップ技術
147	極低温環境を効率よく生み出す技術か、またはワイドバンドギャップ半導体を使った室温での量子技術など、そもそも極低温環境以外での高精度な量子技術の発展に基づく、量子コンピューターを含む量子情報処理技術
148	①電子のレーザープラズマについて、ステージング技術の進展、レーザーやターゲットの高繰り返し化に基づく加速器の小型化及び自由電子レーザーへの応用、さらには超高速電子顕微鏡への応用 ②イオンのレーザープラズマ加速の小型粒子線治療装置への応用
149	明確なメカニズム解明に基づく、非侵襲的で短時間に治療が完了する放射線治療の、脳機能疾患や心疾患など非がん疾患への適用拡大
150	がん細胞の進化という考え方及びそれに基づいた新規治療戦略
151	①核融合炉における液体水素冷却超伝導コイル ②液体水素で超伝導体を冷却する技術に基づく、長期安定利用と制御が可能な超伝導モータによる航空機の電動化 ③大量に水素を取り扱う将来を想定し、液体水素の冷熱も有効利用した電力需給調整システムの実証研究
152	実際の研究との間のギャップの無い、AIを用いた機械学習やデータ解析
153	高融点材料(特にタングステン)における積層造形(3Dプリント)
154	酸化物系デバイスのキラー欠陥低減とウェハ大口径化の技術革新、さらにはp型半導体(酸化ガリウム半導体もしくは異なる材料)との接合技術に基づく、酸化物半導体による実用的パワーデバイス
155	NGS解析の低コスト化や洗練された計算アルゴリズムに基づく、次世代型シーケンサーを用いた環境等試料の網羅的DNA解析による、菌叢を構成する全細菌の生育速度の高速推定
156	画素ピッチ1μm以下で、5インチスマートフォンサイズ(60K×120K、72億画素)やA4タブレットサイズ(200K×300K、600億画素)の超多画素の空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)に基づく、通信、放送、医療用3D映像技術におけるフルカラー電子ホログラフィーの実現
157	海底地形データプロダクトの得られる条件や精度の整理の進展に基づく、津波等のシミュレーションや沿岸域生態系の解析などのベースデータとなる、画像から全球の浅海域の海底地形の推定技術
158	太陽光や積雪及び浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギー(地中熱)等の自然エネルギーを有効活用する技術
159	モデリングや地上での大気電場の直接観測・放射線計測により、放電のきっかけ(地球外からの高エネルギー粒子が必要か否か等)の理解が進むことによる、雷の発生や衰退の正確な予測
160	日用品のプラ製品から、未使用原料からの製造と遜色ないプラ製品を再生する高度リサイクル技術

161	個人個人に合わせて、ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクスなどオミクス技術を用い、個人に合った健康管理や医療を行う精密医療（Precision Medicine）
162	臓器延命ではなく健康寿命の長期維持として、各臓器における機能低下を防止もしくは機能を維持し続ける技術
163	AI で期待する特性を持つ構造を予測し、その構造に合うように微細藻類の DNA を編集し、有用物質を多く作り出す微細藻類を作り培養する技術
164	長鎖 DNA/RNA の安価、迅速、正確な合成技術と精密な配列解析技術の進展に基づく、合成生物学、生命科学、医療、情報、環境分野への応用展開
165	超高感度分子センサーの核となる細胞外物質及びその超感度の実現に関わる分子モデルや物理的原理など、生物の化学感覚器が持つ、既存の質量分析器を凌駕した分子認識能の機構解明と再現
166	①先端計測で得たデータが、機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法と結びつくことによる、既存計測装置の性能の飛躍的向上 ②過去データと機械学習・深層学習・AI 技術の数値解析手法が結びつくことによる、これまで捨てられていた重要な情報の引き出し
167	①精神疾患や神経損傷による感覚・運動能力喪失後のリハビリなどへの貢献のための、神経回路の編成に対して操作的に介入する技術  ②脳神経回路改編関連分子の分子的解析と、脳内の光遺伝学・コネクトノーム解析の架橋のための、少数のサンプルから高精度で情報を取得可能な電気生理と網羅的機能解析に適したイメージング技術の融合
168	高分子溶液系の depletion effect（枯渇効果）によるマイクロ相分離を活用した、自己創生する細胞様の構造と機能の解析に基づく、任意のタンパク質を合成し機能化する技術
169	AI・シミュレーション技術・ビッグデータを活用した創薬において、企業や機関を越えた人材やデータ等の共有システムの整備及び中・高分子医薬の創薬への活用
170	洋上風力発電を中心とする海洋再生可能エネルギーの有効利用に関する研究及び洋上での送電技術
171	環境耐性や収量に着目した、ゲノム編集による優良形質（人口増加に対応した高収量、促成性の高い作物など単位面積あたりのカロリーや栄養素が高い等）を持つ作物の育種
172	AI による精神疾患の判別および重症度評価
173	層状物質やナノシートを含む二次元材料
174	iPS や ES 細胞等を用いたオーダーメイド型の再生医療
175	対象の臓器に蛍光プローブを噴霧するだけで即時に発がん部位が発光し、肉眼で見えづらい微小がんを発見できる即時がん診断医薬品
176	孤発性アルツハイマー病の病態形成におけるオリゴマー状の構造物とミクログリアとの関連及び調節機構の解明に基づく、難治性疾患に対する治療薬開発
177	CO <sub>2</sub> 還元反応触媒や CO <sub>2</sub> 吸着材料など、二酸化炭素の資源化に関する科学技術（Carbon Capture and Utilization (CCU)）
178	低分子の変換としての光や電気化学を駆使したラジカルケミストリーによる、ポリエチレンやポリプロピレンなどの難分解性ポリマーの分解技術
179	mRNA 利用のための薬物送達技術(Drug Delivery System)
180	遺伝子治療
181	新しい物質の開発による、希少元素の代替技術
182	入院患者に適した食事や、食物アレルギーや各種疾病の治療へも貢献可能な、人工培養肉を 3D プリントで成型して代用肉として供給する技術
183	センシング技術の発展や低コスト化、オープンデータの進展によるデータ量増加に基づく、予知保全における予測や故障要因の機械学習による推定
184	EIA 法を基盤とした手法などにより、脂質メディエーター産生をライブ観察する手法
185	ディープラーニングを活用した、生体情報やケアに関する経験知の形式化
186	がん細胞にだけ選択的に結合する抗体と赤外線感受性物質（IR700）を用いて、がん細胞だけを幅広く選択的に駆除する技術
187	乱流の計測と数値シミュレーション・データモデルの融合による、限られた計測データから流れの状態を正確に推定する技術



188	量子もつれ光子対を用いることで、従来の分光測定（レーザーを含む古典的な光を用いた測定）の検出限界を上回る測定技術
189	微生物を活用した都市鉱山からの貴金属・レアメタルのリサイクル技術
190	設計データと異なる可能性のある現物の形状を、非破壊に内部まで3次元的に取得することにより、デジタルツインをはじめとするDxものづくりに不可欠な形状データを取得、X線CTスキャンによる現物ベースものづくり
191	①骨格筋幹細胞を生体外で培養し移植することで筋の再生に応用する技術 ②骨格筋から分泌されるホルモンを解明し、健康寿命の延伸に活かす研究
192	データサイエンスの環境分野への応用
193	超低価格かつフレキシブルなシート状太陽電池
194	低コスト再生可能エネルギーを用いた、水電解による大規模水素製造及び同水素と空気中の窒素を用いて合成したアンモニアや水素の、日本への輸送システム及び利用方法（混焼、専焼、分解）に関する要素技術
195	MaaSにおいて、交通や輸送に限定せず、人のアクティビティ全体（生活やレジャーなど）やサプライチェーン機能全般（生産や保管など）を包含したシステム形成
196	正極集電体にカーボン材料を用いることにより鉛蓄電池の過放電脆弱性を克服し、安価、安全性などの長所を維持しつつもリチウムイオン二次電池に相当する容量、深充放電サイクル寿命を実現する鉛蓄電池
197	脱炭素社会の実現に不可欠な、塗布プロセスを用いて安価な材料から作製してもシリコン太陽電池に匹敵する光電変換効率が得られるペロブスカイト太陽電池
198	Attention機構を用いた深層ニューラルネットワークだけでなく、それ以外の高性能ニューラルネットワークの学習・構築が可能な類似手法の統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術
199	ナノ材料中の微細構造の制御・評価技術や新たな合成アプローチに基づく、原子・分子レベルで構造が制御された、新たな量子特性を示すナノ材料
200	低発電だがコスト的な許容が期待される浮体型洋上風力発電などの、洋上風力発電
201	家畜生産からの温室効果ガス排出削減と生産性向上の両立
202	エネルギーと水問題を同時に解決し得る、温海水と冷海水の温度差を利用した海洋温度差発電とスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化を組み合わせたハイブリッドサイクル
203	金属イオンと架橋性の有機配位子からなる結晶性の多孔性高分子の知見に基づく、ガス貯蔵・分離材料等として実用可能な多孔性高分子
204	次世代の分子標的治療薬（抗体医薬）としての、免疫系を利用したハイブリドーマテクノロジーに基づく立体構造特異的モノクローナル抗体
205	再生可能エネルギー
206	太陽フレアを含む太陽活動現象や地球周辺宇宙環境の予測モデル進展に基づく、AI技術を利用した宇宙天気予報
207	繰り返し充放電の耐性を持ち劣化に強いスーパーキャパシタと、有機太陽電池とを統合したフレキシブル光充電システム
208	嚥下機能検査のバーチャルリアリティ技術
209	生活用水あるいは理想的には海水や汚水など、真に水を電子源とし製造コストをペイできる、光エネルギーを化学エネルギーに変換する人工光合成系
210	①自己組織化などメゾ構造創成技術の高度化に伴う、メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルに関する材料開発  ②メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルにおける、対象材料に応じた構造安定解析技術（材料・構造の安定性、健全性、製造効率性などを解析する技術）  ③メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルにおける、ミクロスケールで制御して目的の微細構造を高効率に作製する技術
211	最先端微細デバイス開発に向けた、原子スケールの第一原理計算を機械学習等で粗視化することによる、量子スケールから巨視的スケールに繋いだ数値計算手法及び現実的デバイスシミュレーション

212	食利用を目的とした菌類バイオマス生産技術に基づく、微生物による代替食品生産
213	データサイエンスの中でも時系列データ、例えば新型コロナウイルス感染症の死亡者数推定など、背景のモデルが変化している現象の解析技術
214	光を用いた微小物体のマニピュレーションを大気中（空気中）で実施する技術
215	地下水に関する数値シミュレーションの標準的な不確実性評価手法の確立に基づく、地下水学において天気予報のように確率的将来予測を行う技術
216	レーザー光の高い自由度ゆえに、最適パラメータの探索に多大な時間と労力を有するレーザー加工技術の課題について、AI や学術的知見を最大限活用し、実験すること無く加工対象に対する最適パラメーターを導くシミュレーター
217	次世代大型電波干渉計 ngVLA（next generation Very Large Array）の稼働
218	電動自動車技術
219	周りの環境情報をもとに必要な場所・タイミングで適切な量の薬剤を放出するなど、知的振る舞いをする分子デバイス
220	種同定や遺伝子型同定に必要なデータベースの構築に基づく、全種（遺伝子型）同定可能な環境 DNA 技術
221	生体部位内部の可視化、食品の品質評価、気象・天体観測などの様々な物理現象に応用が可能な、散乱光を用いたイメージング技術や分光法
222	メタマテリアルの商用レベルの微細加工技術や、メタマテリアルの汎用設計ソフトウェア開発に基づく、高効率レンズ、イメージング、アンテナ等へ応用可能なメタサーフェス
223	海底鉱物資源の成因研究実開発や向けた揚鉱技術の開発、これらに伴う環境影響評価
224	市民科学を用いた生物の分布モデルの作成
225	自然界に見られるシステム及び人工的に作られたシステムのように、ネットワーク構造と非線形ダイナミクスによって様々な挙動を示すシステムの構造の、大量の時系列データに基づく高精度推定及び性質評価
226	例えば脳の信号を電極でデコーディングすることで、麻痺患者でも健常者と同等かそれ以上の速さと正確さでアルファベットのタイピングができるようになる、ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェース
227	環境イノベーションを目指した、バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料（ウッドセラミックス）の蓄電池電極としての活用
228	携帯式 DNA シークエンサーを用いた、検査室レベルでの病原体ゲノム DNA の完全長解読と、病原体早期検出への応用
229	「成熟から老化までの生命の時間軸に沿って」「組織や個体の中で」細胞内構造体の動的変化と制御機構の解明を目指した研究
230	緊急時の液体燃料最適配給システムの最適化における、AI も活用した想定外に臨機応変に対策出来る簡易システム
231	1 細胞からの極微量タンパク質を損失なく分析できる高回収率な前処理技術や、改良型油中液滴法を活用した、1 細胞レベルの空間プロテオミクス技術
232	CRSPR/Cas9 を用いたゲノム編集技術の医療や農業などの、様々な分野における応用
233	具体的地域の課題に対応した水循環・物質循環解析事例の蓄積に基づき、世界各国における水問題解決のため、水循環の全体像を数値解析により分析・評価する技術
234	①LiDAR 技術 ②メタマテリアルを用いた、耐熱性・耐光性に優れた長寿命反射板
235	第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能な、量子暗号通信
236	レアメタルを用いない誘電性や透磁率の制御を可能とする材料としての、電磁相互作用を利用したメタマテリアル
237	データに基づく政策決定手法やブロックチェーンなどを利用した、都市に関わる様々なオープンデータを個人情報に配慮しながら連携するプラットフォーム・仕組み
238	新興感染症、特にウイルス性感染症に対する、mRNA 型に限らず従来から存在するワクチンや DNA 型などの新技術や、安全性と効果を両立させるアジュバントの開発
239	エネルギー効率と経済性を改善した人工光合成技術
240	コヒーレントラマン分光イメージングによる細胞内モルフォロジーの可視化を活用した、細胞の状態の非侵襲・非染色評価
241	通信機能を搭載した携帯可能な小型バイオセンサー（IoT バイオセンサー）の低コスト生

	産
242	地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術
243	例えば藻類が産生する有機化合物や高分子物質、細菌や微生物の自己組織化を利用した微細構造材料など、微生物による有価物産生
244	生体分子の恒常性維持機構の積極的利用を、中分子サイズの bivalent な化合物によって実現する技術
245	従来のコンピュータを凌駕するスピードで信号処理演算する量子コンピュータ
246	単一の結合導波路レーザを用いながらも、二つのデバイス端面においてレーザ光の出射空間モードが変わる、例外点を用いたモード制御技術
247	1本の光ファイバ内に複数の空間モードを多重する大容量光伝送技術
248	テラヘルツ波を利用した 100 Gbps 超の B5G/6G 向け無線伝送技術
249	バイオリアクターと培養細胞を使い、実際の肉を模倣して脂肪や血管の組織を作るなどして細胞形成の場を形成することで、積極的に組織を分化させた、食肉としての大きさの培養肉の低コスト作製
250	アフリカで導入可能な、ストライガやオロバンキといった寄生植物を防除する新素材
251	既存の半導体に加えて新たな材料の開発・使いこなし技術、特にトポロジカル物性に基づくテラヘルツ領域の電波・光制御技術の開発
252	人工光合成で副生したギ酸を酢酸に変換するなどして、微生物により油脂等の物質を生産する技術
253	燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道
254	タンパク質と金属イオンの特異的相互作用理解のため、ドメイン構造置換技術に基づく、赤外分光では特異的同位体ラベル法、ラマン分光では表面増強ラマン分光による解析
255	ポリマー材料のモノマーへの分解プロセス創出に基づく循環利用型ポリマーの開発
256	3D メガネやヘッドフォンなどを観察者に装着することなく、360 度どこからでも自然な立体映像・音響を普段の生活の中で体験できる、サイバー・フィジカル社会に向けたリアルで効果的な映像・音響（視覚・聴覚）再現技術
257	①インフラの点検結果や、前回点検からの損傷の進展の程度、どの程度の損傷に対してどのような補修を行ったかといった統計的なデータベース構築 ②インフラ点検結果で得られるビッグデータを、機械学習やスマートグラス等のウェアラブル端末と組み合わせた効率的なインフラ維持管理システム ③地方のインフラでも都市高速と同程度のモニタリングが可能となる、ドライブレコーダーの動画像やカーナビ位置情報などを大型車から取得できる仕組み
258	脱炭素社会を支える環境計測基盤技術となる、炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法
259	実用的なプログラムの自動合成
260	データセンターに応用することで計算の効率化や消費電力を削減する、CPU にデータを転送せずにメモリモジュールの近くやメモリ素子の近くで計算を行う技術の実用
261	宇宙空間での液体ヘリウムハンドリング技術、液体ヘリウムフリーの冷却技術等にもとづく、宇宙空間での低ノイズ観測に必要である冷凍機技術
262	nano-particle assisted laser desorption ionization (ナノ微粒子支援レーザー脱離イオン化法) を用いた数 nm オーダーのイメージング質量分析による、微小・微量物質の可視化
263	ゲノムやトランスクリプトーム解析にだけでなく、エピゲノムやプロテオーム情報を統合した、シングルセルレベルのマルチオミクス解析に基づく細胞分化過程の理解
264	高安定で知られる PSU などのスーパーエンジニアリングプラスチック、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂、ゴムなどを穏和な条件下、低資源、低エネルギーでモノマーに分解できるケミカルリサイクル法
265	①リン資源循環技術の結集による、輸入肥料使用量の着実な節減、リン鉱石資源の国際的供給不安のリスク低減、資源枯渇問題に対するリン鉱石の耐用年数延長 ②持続的なリン資源循環利用社会の実現に向けた、土壌や水圏といった環境中へのリン排出の負荷削減によって、赤潮や海洋酸素欠乏の発生など、プラネタリー・バウンダリーに示されているリン循環の高リスク評価の回避 ③廃棄物からの粗リン酸溶液の製造や高付加価値のリン化合物への変換技術開発、さらに高機能性リン化合物の原料として重要な黄リンを粗リン酸から省電力で製造できる技術

	④リン化成品製造の原料化や化成品（例えばリン酸エステルなど）の直接的合成
266	環状 DNA の結び目構造を見ることで遺伝子組み換え酵素の働きを見る、結び目理論による DNA 研究
267	洋上風力発電（特に浮体式）、潮流発電、海流発電、海洋温度差発電などの海洋再生可能エネルギー技術
268	生活習慣病にも関わる着靴による痛みの軽減が期待できる、容易に運動中の足部変形を計測できる技術
269	Museomics において、生存時の情報に容易にアプローチするため、生物標本から遺伝子や同位体などの分子情報を安価かつ簡易に得られる手法及びその応用科学的活用
270	原子炉由来の中性子源しか活用できない状況状況の改善によって各病院で利用可能な、加速器を用いたホウ素中性子捕捉療法（Boron Neutron Capture Therapy ; BNCT）
271	インターネット上の仮想現実空間を利用した、メタバースによる購入体験
272	現在廃棄されているバイオマスを活用した環境適合型高分子の実用化
273	AI を用いた有機合成化学反応の高精度予測と目的化合物の合成に向けた反応経路予測による、実験者のニーズにあった合成経路の提案
274	遠隔のデータ収集による生物多様性（種や遺伝的多様性等）・生理（生理的データや健康度等）・生態データの取得・解析による因果関係の推定及びモデル化
275	ビッグデータを扱う上でセンシティブ情報を漏らさず統計的な結果や予測を導き出すのに必要な、プログラムのサブルーチンとなる関数を回路にせず効率の良い大規模な秘密計算
276	宇宙天気現象発生の物理メカニズムの解明に基づく、社会インフラへの影響予測が可能な、宇宙天気の高精度予報技術
277	生態系の機能を人間社会の infrastructure として活用し、自然環境の保全のみならず、防災・減災や地域振興に役立てていく技術（グリーンインフラ、Ecosystem-based Disaster Risk Reduction ; Eco-DRR）
278	ビッグデータ解析
279	生物群集の現状把握における調査効率の大幅向上に向けた、海洋、湖沼、河川等の環境水中に含まれる低濃度環境 DNA 分析技術と、それを活用した発生源の生物の生息密度や現存量を推定する方法
280	プラズマの複雑流動現象の解明・予測のための、多次元・多成分・多スケール・大域的なダイナミクスを扱う超並列大規模シミュレーション
281	過去 2 億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築に向けた、人工知能を用いた広範囲の微化石の自動認識と自動分類
282	①イメージセンサを用いたセンシング、DX（デジタルトランスフォーメーション）、自動自律制御 ②センシングと AI/機械学習と 5G/6G 高速通信
283	純水を必要とせずに定常状態の水電解を実施できるアルカリ水電解と、高い変動応答性で生成された水素を加圧できる PEM 水電解の両方のメリットを兼ね備える、アルカリ膜型水電解システム
284	持続可能な社会を実現するため、トラック等の輸送スペースと倉庫の保管・仕分スペースのシェアリングにより物流リソース稼働率を向上させ、より少ない台数のトラックで荷物を運ぶことにより燃料消費量を抑制、地球温暖化ガス排出量を削減する物流システム「フィジカルインターネット」
285	水素燃料電池・蓄電池などの、ポストリチウムイオン電池開発及び大容量化・量産化・低コスト化
286	人工知能・人工生命分野における、オープンエンドな進化過程を万人が納得する形で実現する実現する機構
287	ウェアラブル端末で利用者の行動履歴や生体情報を取得し、機械学習により個人の行動・感情などの予測モデルを学習する技術
288	推進システムを電気推進へ置き換えることで燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす全電化衛星のための、高信頼性・高性能な電気推進システム
289	熟練技能者の暗黙知的な経験によって決められていた意思決定をデータベース化し、それに AI 技術を活用することにより、意思決定を高精度・短時間に自動決定できる作業支援システム

290	光ファイバーケーブルを利用した分散型音響センシング（DAS：Distributed Acoustic Sensing）による地震・空振観測
291	化石資源に由来する材料を代替するものの一つとして、木質バイオマス由来の材料の量産や大規模な普及
292	①人間と自然なコミュニケーションができ、特定のタスクの会話に限定されず雑談も可能で臨機応変な対応ができる、大規模な言語データを使用して学習する深層学習の対話モデル  ②テキスト情報の処理だけに限定されず、画像、音声などの情報を用いたマルチモーダルな対話技術
293	自然言語処理などにおいて、あらかじめ特定のタスクを想定せずに、基礎モデルをデータから学習しておいて後続のタスクに利用する技術
294	基礎的な研究としてプロセスというものを抽象的にとらえて分類するというような理論的枠組みに基づき、プロセスを一般化してとらえた汎用性のあるプロセスインフォマティクス
295	歯周炎リスク因子としての脂質代謝産物に着目した歯周病の栄養療法
296	医療者の行動計測及びそれらの情報に基づいた、診療業務を支援する AI（情報パートナー）
297	車載時に振動等で割れない等、信頼性の高い酸化ガリウム 6 インチウェハの量産化
298	研究作業の自動化により研究のマンパワー不足を補う、細かな失敗も検出して対応する、人間と同等の作業が可能で安価なロボット
299	ワクチン副反応（特にアナフィラキシー）の予防及び治療薬、すなわち免疫調節薬の開発
300	最も悪性度の高い脳腫瘍、神経膠芽腫に対する治療薬
301	第 4 のフェロイック物質と考えられるフェロアキシシャル物質の物性研究
302	大きなサイズの高品位 2 次元物質
303	時間領域シミュレーションにおける、ユーザーが下のレイヤーを意識せずとも超高速計算を可能するソフトウェアを活用したマルチフィジックス大規模数値計算技術
304	隣接細胞が正常細胞を感知する機構（細胞競合）における特異的制御因子や活性化薬の同定に基づく、不良細胞の感知・排除メカニズムを生かした疾患発症以前の疾患細胞の除去技術及び超早期マーカー開発
305	大気汚染物質発生源対策や将来予測の精緻化に向けた、衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース（単一発生源）の検出と定量
306	微生物の働きの解明に加え、環境、経済、社会の側面からの研究を通した有機農業の一般化
307	気象予報のように、データ同化や大規模数値シミュレーションの技術を用いた宇宙環境計測データの同化によって予報精度を向上し、宇宙環境にある人や飛翔体が対応を取れる程度のリードタイムで予報を出す、宇宙環境変動予測技術
308	モニタリングや維持管理が困難な施設の超長期的予測にも貢献する、セメント系複合材料におけるセメント水和組織の変質と力学機能とを一貫して関連づける力学モデルの開発に基づく、供用期間中の構造物の材料的・力学的状態の評価
309	細胞内構造生物学における、クライオ電子線トモグラフィー（cryo-ET）を用いたタンパク質構造解析の発展に基づく、細胞内タンパク質の振る舞いの高分解能直接観測
310	超高詳細モデルと稠密観測をスーパーコンピュータ上で融合することで、従来よりも高い分解能で断層の活動を評価する、地震活動度評価のための地下イメージング技術
311	リアルタイムのセンシングデータから状況の解析やその先の行動の判断を超低遅延で実現する仕組みに基づく、ポスト 5G/6G 無線技術とクラウド仮想化の融合による移動体やロボットの高度自律化
312	大気圧プラズマの医療応用（プラズマ医療応用）
313	機械学習の進歩、高度身体計測技術やセンサの小型化に基づく、常時利用可能で身体と一体となるようなデバイスによるジェスチャインタフェース
314	計算・情報科学を活用し、低分子の有機合成反応だけでなく生体高分子や合成高分子など様々な化学反応を予想して、実験的な試行錯誤無しに最適な反応条件を見出すアプローチ
315	窒素循環の課題解決のため、反応性窒素 Nr を安価かつ容易に定量、測定する技術

316	火山噴火監視において、従来の技術に加え、例えば機械学習や信号処理の技術を用いた低周波地震の特徴把握や、全方位ミュオグラフィによる火山内部のイメージング等、新しい観測技術を運用レベルまで上げて噴火前の異常にいち早く気づくための平時の観測の強化
317	これまで経験則のみで過剰なエネルギーをかけて管理していた廃水処理を、科学的根拠に基づき人為制御安定で効率的に実施するための、複合微生物の制御・動態予測技術
318	低分子ータンパク質間相互作用およびタンパク質ータンパク質間相互作用の定量的解析方法の深化に基づく、タンパク質分解誘導薬（PROTAC）の論理的デザイン
319	細胞内・体内での機能評価に容易に展開可能な、人工的な環状ペプチドによって遺伝子発現を解析する技術
320	微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した高効率電池
321	成功率が向上し、安全性が示された哺乳動物卵子の体外作製技術
322	AIを用いたタンパク質の高精度立体構造解析による、膜結合タンパク質、リガンド結合予測、光合成の光化学系反応中心のような多数のタンパク質の会合による超複合体の解析
323	5種類以上の元素からなるハイエントロピー合金の、マテリアルズインフォマティクス技術を用いた、目的に応じた自在設計・合成技術
324	何をいつ食べるかによって生活習慣病を予防するなど、健康に良い食事の時間に向けた時間栄養学
325	スマートフォンをかざすだけで樹木の体積が分かるような簡単な仕組みによる、レーザスキャナを用いた測樹および測量
326	金属／非金属間の直接接合技術の確立に伴う、異種材料の直接接合技術及び各種新規開発材料への適用
327	機械学習（AI）などを用いて大幅にコストや時間を削減したシステムによる、加速的機能性材料開発及び革新的デバイス開発
328	超解像蛍光顕微鏡によるナノイメージングを活用した生命現象の解明と、再生医療・創薬への応用
329	環境負荷の小さい原料を用いた高耐久性の材料開発等に基づく、太陽光の紫外光より長波長側の光を短波長に変換するアップコンバージョン技術の実用化
330	2分子界面を利用し、1.5Vでスマートフォンディスプレイ相当の明るさを実現する超低駆動有機EL
331	衛星画像やドローン等、リモートセンシング技術を用いた生物多様性や生物種の動態把握
332	沿岸海域で取得される各種観測データや衛星データを統合したビッグデータ構築と、プランクトン種組成の自動観測技術等のAIを用いた赤潮予測
333	畜産からの温室効果ガスの排出抑制技術
334	計算機上に原料から部品までのプロセス、材料状態を表現し、計算機上での試行錯誤で材料・プロセス・部品を設計する技術
335	AIを用いた超高速光パルスのキャラクタリゼーションや兼備計測の高解像度化および多次元計測への展開
336	電気透析の技術を活用し、海水からCO <sub>2</sub> を低コストで回収する技術
337	①レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返しの高い）の次世代パワーレーザーによる新物質の創成 ②レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返しの高い）の次世代パワーレーザーによる物質形状の変化（レーザー加工） ③レーザーダイオード励起やセラミック結晶を用いた、高エネルギー、高ピークパワー、高平均出力（照射繰り返しの高い）の次世代パワーレーザーによる、クリーンエネルギー源の開発を目的としたレーザー核融合炉
338	ディープラーニングやAIを活用した、密度汎関数理論における基底状態の電子を正確に記述する交換相関汎関数による、普遍的な物性の高速予測
339	シングルセルゲノム解析やシングルセルRNA解析などの1細胞を解析対象とした技術
340	衛星画像から船舶、航空機、車両等の移動物体を自動検出し、高精度にモニタリングする技術
341	複雑な組成中の微量の目的成分を選択的・高感度・低コストで分析する技術に基づく、健康状態を診断するバイオマーカーの探索及び分析

342	Web 3.0、NFT、Blockchain 技術が経済に溶け込んで XR 技術とも結びつくことによる、Digital Twin の世界との接合
343	世の中を変えるような材料の発見を目指した、データ科学を活用した物質探索
344	①複雑な化合物の合成経路を人工知能に基づいて高精度に設計し、実際に合成する技術 ②新規有機合成反応の進行を予測する技術
345	CO <sub>2</sub> からの燃料や化成品を高純度で合成しつつ、同時に副生水を分離回収して水電解で水素を製造し、再度 CO <sub>2</sub> との反応へリサイクルするシステム
346	生活、産業、移動などあらゆる都市活動の IoT による観測・計測し、得られたビッグデータの活用及び AI による分析を通じ、持続可能性や強靱性をも含んだ、都市全体の効率的・最適な運営・経営
347	動的な構造変化も含めて自在にタンパク質を設計する技術を活用した、あらゆる有機合成を革新する人工酵素
348	従来のナノテクノロジーと比べて、超微細形状を持つ DNA 構造体を高精度、簡便かつ大量に分子材料を合成する「DNA ナノテクノロジー」を用いた、実用的 DNA 構造体
349	脳の動作原理としての知覚の自由エネルギーや、意識の定量化としての統合情報理論における、実際の脳での計測や実証研究に基づく脳の動作原理及び意識に関する理論の構築
350	循環型社会構築を目指し、食品残差の安定的回収・分別システム構築に基づき、木質バイオマス発電所で生じる木灰と食品残差を組み合わせた有機堆肥化及びその地場利用
351	発生生物学と神経科学の融合による、神経発生発達障害の根本原因である発生異常のメカニズムの徹底的解析に基づく、対処療法以外のアプローチ
352	原子力船「むつ」の様な移動用の小型原子力設備
353	BIM の材料データへのライフサイクルの CO <sub>2</sub> 排出量組み込み等による、建築分野のライフサイクル CO <sub>2</sub> 排出量の把握及び評価
354	経済性、エネルギー変換効率と使用寿命が改善された有機薄膜太陽電池の量産及びそのアプリケーション開発
355	医学系と情報工学系・心理系等の共同研究と、心理・ストレス状態の確実な取得がわかる実証実験系に基づき、汎用カメラを用いて顔画像からストレスや心理状態を遠隔評価する技術
356	フォノン信号処理における 100GHz 超の高周波化による、熱流を熱電変換技術や信号処理デバイスの情報担体として利用するフォノンエンジニアリング
357	音響波センシング及び検出量とイベントの相関付けによる、光通信ケーブルを活用した環境モニタリング
358	6G など超広帯域通信チャネルを利用した高臨場技術及び AI と組み合わせた自動制御技術
359	100%植物由来で、ガスバリア性やシール性などを持つ高機能生分解性の、低コストプラスチック
360	二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として高効率で油脂発酵する技術
361	正しさが証明されたソフトウェア
362	犯罪捜査において、侵入経路や現場での動き等以外にも、犯人の年齢、性別、歩き方の癖も推測できる足跡鑑定技術
363	味や栄養価に影響を及ぼさず食感をコントロールできる材料を活用した、様々なとろみ、かたさを有する食品(ゲル状食品)の汎用化
364	自在な酵素設計や合成設計によるオンデマンド型酵素反応を活用した、有用生物活性物質の簡便合成
365	環境 DNA からの生物多様性評価や、全ゲノム配列決定などを野外でできるようになる、次世代シーケンサーなどの大型機械を必要とせずに大量の配列データを得る技術
366	細胞や細胞小器官の解剖学またはイメージングにおいて、野外採取した試料を速やかに観察あるいは速やかに固定後に時間をかけて高解像度観察することで、培養できない分類群に対してもその生理・生体に迫る技術
367	カーボンニュートラルを実現するための技術として、CO <sub>2</sub> を電気的に還元し、有機物を生成する技術
368	物量がなくてもリサイクルのコストバランスを確保する技術、電池の内部状態までの劣化診断・スクリーニング技術の確立に基づく、蓄電池のリユース・リサイクル
369	人間の集団的意思決定をリアルタイムに解析・可視化・フィードバックする意思決定支援

	システム
370	国内林業の高効率化のための、林業の各過程（林道開設、造林、除草・下刈り、間伐、伐倒・枝払い、集材・搬出等）の既存技術の改良・高性能化と普及
371	部屋に設置されたマイクなどを用い、専門用語や流行語なども含めて人間同等の音声認識をし、子供や高齢者、ネイティブではない話者も聞き分けて会議の議事録などを簡単に作る技術
372	戦略的意思決定を学習するための数理的な基礎付けに基づく、企業間の価格交渉などの戦略的意思決定を行う複数人工知能エージェント
373	超短波を用いた呼吸・脈拍計測等の非接触計測技術及び臨床適用によるエビデンス構築
374	トポロジと波の局在化現象との関連の解明に基づく、電波や光、音波などの波動伝搬制御における、従来に比べ損失が少ない波動伝搬
375	半導体の高集積化や省電力化に伴う、安価・小型・省電力で汎用的なフェーズドアレイ装置
376	G タンパク質共役受容体が活性化する複数のシグナル経路のうち、特定のシグナル経路のみを強く活性化、あるいは不活性化するリガンド（バイアスリガンド）の理論設計
377	深層学習などの人工的なモデルによるニューロンではなく、生物の脳神経回路を模倣したニューロンモデルを用いた、移動体やロボットの高度自律化と脳レベルの低消費電力な情報処理の実現
378	①人々が自然と仮想空間（メタバース）に参加し、アバターを操作する技術 ②アバターを通じてメタバースを感じるような入出力デバイスとインタフェース・インタラクション技術 ④ユーザ自身の思想や思考などのデジタル再現するための技術 ⑤ユーザの意図通りにアバター・エージェントを操作するための技術 ⑥仮想空間（メタバース）でのインタラクションやコミュニケーションを五感を使って体験できるようにする技術 ⑦ヒューマンエージェントインタラクションやバーチャルリアリティ分野と、人文社会科学、認知科学や医学などの幅広い分野との連携に基づく人間の理解による、仮想空間内におけるアバターやエージェントによる「人間の再現」
379	流産防止や合目的な繁殖につながる、RNA やタンパク質の蛍光プローブを用いた特定の染色体や代謝状態などのライブセルイメージングによる、受精卵の評価技術
380	光遺伝学を活用した脳機能イメージングなどの発展による、病気のあたらしい治療法・治療薬の開発
381	羊を使った除草・耕作放棄地管理
382	水電解、水蒸気電解、バイオマスによる高効率かつ安価な水素やアンモニアなどの燃料製造技術開発およびインフラ構築
383	微細藻類を宿主とした新しい遺伝子組換え系などによる利用方法の確立に基づく、海洋微細藻類による炭酸ガス固定および物質生産の応用と地球環境の維持
384	AI と画像を用いた生物同定
385	組成が分布する勾配試料と局所的な特性を評価できる手法を組み合わせた効率的な材料データ取得による、これまでにない規模の材料データベースの構築
386	自国で真のカーボンニュートラル達成、発電燃料の十分な確保、世界に先駆けての技術構築に向けた、三重水素の効率的使用のための自己増殖技術、循環および再利用技術等による核融合発電
387	高集束クラスターイオンビームや高速・高感度・高質量分解能質量分析計の開発に基づく、質量分析による高空間分解能組成イメージング
388	基礎技術およびアルゴリズムの発展に基づく、量子コンピュータの実用化
389	身体機能だけでなく、認知症に代表されるような脳機能の衰え・障害に対する対策も含めた、健康寿命の延伸
390	有機材料による二次電池
391	牛肉以外の肉や魚の培養肉
392	吸熱反応と発熱反応の熱バランスの確保、高付加価値物質の多品種・少量生産、機能性材料（合金、複合材料）の創製や対象物質の分離回収などが可能な、マイクロチャンネルリアクター
393	安価なセルロース抽出法や安価な加工粉碎装置などによる、バイオマス資源のナノセルロ



	ースファイバーを活用したバイオプラスチックの低コスト開発
394	現役世代の家事負担・介護負担を減らし、子供達や非介助者と向き合う時間を長くすることで余裕と温かみが戻る、子育て・介護支援用の家事自動化システム
395	ペプチド残基を効率的に連結するライゲーション技術の向上に基づく、数百残基のペプチド連結によるタンパク質の人工合成
396	4次元構造まで含めた人工タンパク質の設計・合成技術
397	iPS細胞による臓器再生医療
398	究極の半導体であるダイヤモンドを用いたパワーエレクトロニクス
399	人工衛星や海中ロボットを多用した海底地形や洋上重力の詳細マッピング及び海底地下資源推算と、洋上の海象・気象予報に基づく海底資源算出計画
400	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術
401	アンチエイジングのその先の個人ならびに社会のあり方を探索する研究
402	発光タンパク質
403	室温超伝導の実現
404	量子力学の原理に基づくコンピューター(量子コンピュータ)
405	植物の生理状態や系統に応じて異なる生理活性物質の蓄積状況を明らかにするメタボロームプロファイリング
406	常温超電導
407	多数の衛星を太陽の周りを周回させ、常に監視し続けることによる究極の宇宙環境計測
408	老化細胞を消去後に副作用のような症状が全く出ない、老化細胞を標的とした抗老化治療法
409	超伝導体タイプを抜く可能性がある、量子コンピューターのための量子光源モジュールの開発
410	塩基性岩石の化学風化促進による大気中CO <sub>2</sub> の吸収と土壌改質、溶出イオンによる海洋酸性化の緩和
411	タンパク質の自由設計技術
412	望みの代謝機構をもつような生物を設計できると期待され、生物改変のプラットフォームとなり得る、最小ゲノム(200-300遺伝子)生物の探索あるいは作出
413	量子コンピュータ向けドメイン特化型言語のコンパイル・最適化技術やソフトウェア工学を発展させたテスト・検証技術など、量子コンピュータ向けソフトウェア開発法
414	マイクロフローリアクターの高度化と新規材料合成法の確立
415	核融合による発電
416	津波到来前の早期避難・津波応急対応の基礎情報を提供する一体化したシステムが地域ごとに運用され、地域の誰一人取り残さないことを目標にする防災インフラとなる、地震発生・即時津波統合予測システム
417	これまで経験則のみで過剰なエネルギーをかけて管理していた廃水処理を、科学的根拠に基づき人為制御安定で効率的に実施するための、複合微生物の制御・動態予測技術
418	神経変性疾患等の難治性疾患の治療に向けて、細胞内の異常な相分離現象に介入するための薬剤を開発する相分離創薬
419	生体内でラベルフリー、リアルタイム、高感度で投与した物質の変化を追跡できるドラッグデリバリーシステム
420	①火災における煙や一酸化炭素の流れを精度良く予測するシミュレーション技術 ②火災における煙の流れや一酸化炭素の流れを視覚的に把握・可視化する技術を活用したバーチャル空間での避難訓練
421	低コストで簡便な海水・塩水の淡水化
422	目元情報の読み取りや書き込みを活用した、口元を覆ったままのコミュニケーションを可能とする、言語文化を超えた新しい感情共有の通信技術
423	絶滅動物を復活させたり、目的の動物を作製したりする技術につながる可能性のある、人工DNAのみで多細胞生物、さらには哺乳動物を作り出す技術
424	未知の抗菌治療薬群の見出が期待される、宿主と微生物の相互作用を利用して宿主環境下に最適化された、耐性菌が出現しにくい抗菌治療薬の実用化
425	経済・社会に大きな利益をもたらす、地球温暖化の防止
426	小型、省エネルギー、高性能な排水からの飲料水精製技術における、AIおよびビッグデー

	タの活用による従来とは全く異なる考えに基づくブレークスルー
427	熱可塑性樹脂を利用した炭素繊維強化プラスチック（CFRP）リサイクル技術よりも低エネルギーでリサイクル可能な、体内反応（グルタチオン）を利用して CFRP を加熱なしで炭素繊維と樹脂に分離するリサイクル技術
428	①はやぶさ 2 の技術をさらに発展させた、彗星など揮発性物質（水・有機物）を多量に含む天体などの地球外天体からの低温での試料回収  ②はやぶさ 2 の技術をさらに発展させた、E 型小惑星など金属鉄を多量に含む天体からの低酸素分圧下、低外部磁場下での試料回収  ③回収した試料を地球上で分配したり保管したりする際に同様の環境を維持する技術
429	①観察者が直感的に理解できるようにすることを目的として、VR 技術による分子構造の可視化 ②非平衡シミュレーションの応用で、分子を変形・移動させることによる、インタラクティブな分子モデリング技術の開拓
430	燃料電池材料中のイオンの動きの THz 分光を用いた検出等、THz 分光を用いたイオン伝導体材料分析
431	水環境における酸化還元状態の評価技術の開発
432	遠隔操作で高い精度の動作が可能となるロボット
433	アルツハイマー病の原因物質であるアミロイド $\beta$ たんぱく質の凝集を防ぐ機能をもつ食品及び食と脳機能の相関の解明
434	微小転移癌の可視化や微小疾患の可視化による病巣等の早期発見につながる、ヒトに適する発光標識材料の有機合成及びヒトの一細胞イメージング技術
435	量子アルゴリズム研究の進展に基づく、量子コンピュータを用いた、古典的な量子化学計算では実現できなかった高速・高精度量子化学計算
436	太平洋沿岸の温暖化による海洋生物相変化に社会が順応的に適応するために有用な、温暖化による生態系の変動予測シミュレーション
437	十分な信頼性を確保した生態系・生物多様性の予測モデルのための、気候システム—陸域生態系・フィードバックモデルを利用して、生物多様性を明示的に含めた統合モデル
438	未知のウイルス感染症ワクチン開発技術
439	リモートセンシング技術を用いた生物多様性や生物種の動態把握
440	国内中の草地基盤を最大限活用した輸入飼料に過度に依存しない家畜生産実現のための、人口減少などによる労働力不足においても産業的経営を成り立たせる、AI や ICT を活用したデータ駆動型の未来技術
441	量子コンピュータによる汎用化
442	安定的な黒潮によってベースロード電源として期待でき、大消費地である東京に比較的近く電力輸送の点でも有利な、小型の発電機による海流発電
443	全ゲノム合成と、合成生物学による細胞の再構築系の開発
444	核融合による発電実証
445	熱源と接触させる従来型と異なり、水に浮かせて温度差を取る、IoT 自立電源として気化熱を利用した熱電デバイス
446	太陽光や積雪及び浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギー（地中熱）等の自然エネルギーを有効活用する技術
447	カーボンネガティブな生産技術として、CO <sub>2</sub> と水から界面活性剤などの化学物質を合成する触媒
448	遺伝子の検出技術に加えて、操作する技術を用いる事で、医療や農業、畜産に多大な影響を与える遺伝子治療技術
449	代替食品を超え、健康寿命を延長できるようなレベルでの人工食物による食料増産
450	核融合
451	海洋中に散らばったマイクロプラスチックの回収・処理方法の手がかりが得られる可能性がある、環境中のマイクロプラスチックがどのように劣化・破碎していくのかの解析
452	脳がいかにして驚異的なエネルギー効率で高度な情報処理を行っているのかの解明に向けた、生体外からのインプット、活動電位パターン、生体からのアウトプットの関連性を明

	らかにし、生体的エンドーディング・デコーディングについての理解
453	水田環境のセンシング及び気象条件に応じた水管理自動化に伴う、稲栽培における灌漑の断続的な実施（間断灌漑）により水田土壌環境が強度に還元的になることを防ぎ、メタンの発生を抑制する技術
454	認知症の治療薬の開発
455	水素燃料エンジン
456	生物由来物質などを利用した完全に再生可能なエネルギーデバイスに基づく、本当に環境負荷を生じさせない再生可能エネルギー
457	光の特性により、結合開裂が難しい化合物も容易に切断できるため、新たな化合物ライブラリー構築が期待される、光触媒を利用した有機合成反応
458	細胞死が生じる直前の細胞を回収し、RNA シーケンスに持っていく技術
459	医療介護の進化に寄与する、生体情報やケア関連情報の外部化・包括的集約による永続的活用
460	1 か月程度先までの正確な天気予報
461	超低環境負荷型の環境技術となる、空気が疎水性である性質を利用してバブルに汚れを付着させ除去するノンケミカル洗浄
462	天然変性タンパク質領域において構造確認ではなしえないシードの最適化による、タンパク質発現量制御、生体高分子などの分解性制御やマテリアルとしての大量生産
463	自己修復材料や自己修復デバイスなど新たな技術への転用につながる、試験管内での進化の実現に伴う、進化する物質デバイス群の登場
464	多様で全身に及ぶ運動効果の機序を科学的に証明し薬にする、エクササイズビルの開発
465	AI による大規模データ解析を内包した、動的、高速、高精度な大規模最適化計算技術
466	分子やナノ材料の自己組織化を利用した高度複合機能システムの構築
467	深海底での資源開発・生産
468	合成した全ゲノムに対してエピゲノム操作を加える「エピゲノム合成」による、全ゲノムスケールでの合成的機能アノテーション
469	人工合成による有効物質の製造
470	データから人が理解できる形での数式化を提案できる、AI Feynman などの近年のデータサイエンス技術を取り入れたデータ関係性の Symbolic Regression（数式回帰）手法
471	光マニピュレーション技術をサイズや形状の精緻な制御を伴う作製手法が確立されていないナノ物質に適用した、ナノ物質の個別特性の選別や配列構造の作製
472	多分野のシミュレーションにおけるブレイクスルーにつながる可能性がある、最先端ナノスケールデバイスの現実的な特性予測に向けた、量子スケールと巨視的（古典）スケールを繋ぐマルチスケールに渡る粗視化の問題解決
473	これまで困難であった製品の加工や、宇宙などの特殊環境での製品製造なども実現できる、オールオプティクスによる製造技術
474	研究・開発活動において、問題や仮説の設定、仮説検証のための理論構築または実験、論文や技術書の執筆、査読や論文公開、予算獲得や教育活動などの行為すべてを自動化し、それらを有機的に結びつける方法論
475	シリカガラスにフェムト秒レーザーを用いて情報を書き込むことで最大 1000℃の熱安定性を持ち、CD サイズに約 500TB データを保存可能な、空間を示す 3 次元情報に加えてレーザー強度と偏光情報を書き込む「5 次元光ストレージ」
476	光のトポロジカルな性質を用いて、様々な応用を模索するトポロジカルフォトンクス
477	水中ドローン、飛空艇、AUV を組み合わせた高速・広範囲深海底調査
478	生態系サービスの地図化アプリの開発
479	Empirical Dynamic Modeling と呼ばれる一連のモデルフリーな時系列データ解析によって、複雑なシステム（農業生態系や森林生態系など）における因果を明らかにすることによる、システムの操作・制御
480	患者負担の少ない診断技術の普及が見込まれる、呼気、尿、糞便等を用いた診断技術
481	ヒトに近い心血管系疾患イベントを再現可能なモデル生物の確立
482	量子コンピュータ
483	再生医療技術を用いた創薬において、対象とする疾患や発症部位が想定より実際の人体に近い環境での評価により、実臨床での効果を予め推定できるようなシステム

484	悪性新生物（がん）を、細胞の遺伝子操作により完全に治療または予防する技術
485	安価で低エネルギーな運搬手段の確立に伴う、宇宙空間を活用した経済活動や技術開発を大きく進展させるための宇宙エレベーター
486	光ファイバ中もしくは光デバイス内における光信号処理の実現
487	雲中の微小な水蒸気や氷塊の高分解能な検出によって災害事前予測の精度改善に貢献できる可能性がある、数 100 GHz 以上の未開拓周波数帯を活用した地球大気観測および気象予測技術
488	人工細胞リアクタへの展開が期待される、分子夾雑が引き起こす生命システム動態転移の構成的な理解の進展に伴う、分子夾雑による細胞内生命化学の制御メカニズムの解明
489	プラスチックに生分解性を付与する添加剤
490	タンパク質立体構造について、X 線結晶構造と溶液構造間における違いの AI による補正
491	実験の自動化・遠隔化
492	環状 DNA の結び目構造を見ることで遺伝子組み換え酵素の働きを見る、結び目理論による DNA 研究
493	分類学の発展や教師データの蓄積に基づく、AI を用いた写真からの高精度な野生生物同定技術
494	レーザープラズマ加速技術によって局所的に高い電界を実現する、小型装置での高いエネルギーの量子ビーム生成及び建築コストの大幅な削減
495	木材からの炭素源回収のための、遷移金属などを利用したこれまでに無いアプローチでの高分子化合物の分解
496	空気の定期的な自動サンプリングおよびそこに含まれる DNA、RNA の分析により、その場所の生物の種、遺伝的多様性や生理状態情報の取得
497	市民科学
498	太陽をも凌ぐ超高温プラズマを生成して、それを媒体とした核融合反応からエネルギー生成を行う核融合エネルギーの、核融合発電炉としての実現
499	多様な生物が形を作る仕組みの解明と、産業への応用
500	6G 又はさらに次世代の無線通信環境改善のため、通信経路上の物体表面（例えば建物の表面）に RIS (Reconfigurable Intelligent Surface) を設置し、人工的に電波を反射させたり、透過させたりすることで、高周波数電波の高速通信を可能にする技術
501	地球磁気圏外での有人活動時に、宇宙線が荷電粒子である特徴を利用して、磁場や電場により宇宙線を防ぐ技術
502	ウェアラブル (wearable) からウィーバブル (weavable=織り込める) への学術変革に基づくヒト環境センシング衣料など、生地特性を活かしつつ衣類への影響も抑え、デザインも最適化された織物デバイス及びそれによる従来未取得の生体・環境情報の検出
503	①超微量レア物質の分光分析技術を活用した、有機合成反応において低生成効率でも有用な物性を持つ物質の同定 ②超微量レア物質の分光分析技術を活用した、岩石中に含まれるサンプル純度の低い物質の、より複雑な分子の解析
504	差分プライバシー技術の医療データ分析への適用
505	5G を超えるよりブロードバンドでカバー率の高い通信技術
506	任意の細胞への遺伝子・タンパク質デリバリー技術の確立
507	これまでの知見の延長上にある研究（最適化、材料を変える、組み合わせる）における、AI による研究活動の推進
508	医学、材料、食品など広い範囲へ展開可能な、構造解析や化学合成技術を基盤としたグライコサイエンスの展開
509	地下水中の窒素化合物を除去し資源化する技術
510	DNA バーコードリーダー
511	計算機に音楽を聞かせることで、楽器ごとに分離するとともに採譜する技術
512	レアメタル等の安定確保における、深海底での採取装置（有人・無人関わらず）について、原子力電池を用いた活動限界を突破や、海中通信技術と AI を用いた無人潜航艇、無人資源輸送浮上船の活用
513	工場などの排水中に含まれるレアメタルを細菌に回収させて、それを精製することで再利用が可能となる技術

514	超電導技術によるエネルギーロス送電システム
515	①木材からエネルギーを燃やす以外の方法で取得し、気候変動・地球温暖化などにも考慮しながら、サステイナブルな地球を維持する技術 ②バイオマス技術とその発展
516	ロボット化学合成
517	極微小の溝で1分子や1細胞をトラップするナノ流体デバイスを用いた、例えば1エクソソームレベルなどの1分子診断技術
518	mRNA ワクチンによる、感染症対策ワクチンの開発及び HIV、デング熱、マラリア、インフルエンザ等への応用
519	①分子レベルで食品のキー成分を同定し、分子から食品を構築することができる技術 ②動物性食品のキー成分を同定し、植物性食品から同じ成分を探し、植物性の食品のみで動物性食品と同等のものを構築する技術
520	生物種ごとに異なる DNA 配列を認識し、複数の生物種を一度に同定する「DNA メタバーコーディング」を見据えた、全生物種の DNA バーコーディングの構築及びデータベースとしての運用
521	①農作物の花を訪れる昆虫に微生物を運ばせて、できた実・種子の微生物叢を操作し、病気に強い種子や植物、栄養価の高い農産物をつくる技術  ②農作物の花を訪れる昆虫に微生物を運ばせて、親植物に望ましい微生物を感染させる技術
522	科学技術を効果的に伝える仕組み、的確に理解する能力の醸成
523	脳計測情報のマーケティング等の社会活動への利用
524	月面での安定した生活や月資源だけでの独立ライフライン維持のための、月面での水・酸素生成技術
525	意識を司る神経回路の解明
526	高度なロボット技術（小型センサー、マイクロチップなど）を利用（特に装着）して、人間の身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張する技術
527	非接触で連続的に河川の水質をモニタリングする技術
528	長距離長時間稼働可能な UAV による生物サンプル採取
529	国内航空機製造技術
530	充電操作が不要な携帯端末を実現するため、距離が離れていてもコードレスで充電できるシステム
531	*欠番*
532	運動とアルツハイマー病の関連性
533	微生物の共進化を維持する仕組みを農地や生態系のいろいろな場所に作っておき、潜在的に病気など甚大な影響を起こす微生物が進化してもすぐにそれを抑える微生物が生じるような共進化が急速に進んで大きな被害に至らない仕組み

## 付録 2 調査協力者一覧

（注）敬称略、氏名のみ掲載。

阿部真人，愛知正温，芦川直子，芦田昌明，安江健一，安川智之，安川和孝，安中さやか，伊藤良一，依田憲，衣斐大祐，井岡聖一郎，井芹寧，井手一郎，井上栄壮，一柳満久，稲垣昭子，宇都卓也，鶴川始陽，永縄友規，奥山勇治，奥村直士，奥本健二，横山啓太，横田紘子，岡伸人，岡部敏弘，岡本潤，岡本昌幸，沖野友哉，荻本泰史，加藤英明，加藤節，梶川昌孝，叶直樹，鎌田英一郎，間宮純一，関崎真也，岩井一正，岩瀬英治，喜岡新，鬼塚剛，亀井真之介，義永那津人，吉川研一，吉田一朗，吉田健一，吉田秀謙，吉田洋之，吉野浩教，久米一規，宮崎裕明，宮田健，京極大助，恐神貴行，橋口晶子，桐谷乃輔，錦慎之助，近江靖則，近藤剛弘，近藤剛史，近藤徹，栗田弘史，軽尾友紀子，建石寿枝，見市（三田村）文香，原聡，古屋敷智之，古屋理香子，古市泰郎，古川陽，古澤毅，戸塚裕一，後藤聡，工藤剛史，江川麻里子，降旗大介，高屋智久，高田英明，高田健太，黒崎健，黒田悦史，黒田知宏，佐久間哲史，佐山弘樹，佐川龍之，佐藤幸紀，佐藤幸治，佐藤根大士，佐藤文俊，佐藤裕公，佐野伸行，坂本綾子，坂本大介，三井正，三浦泰人，三好純矢，三谷章雄，山浦悠一，山下健一郎，山岸健一，山根正明，山中正道，山中大輔，山田尚之，山田忠史，山内豊明，山本哲矢，山縣一夫，市橋伯一，市川香，市村強，氏原嘉洋，児玉紘幸，寺尾豊，鹿野仁美，篠原慶規，酒井章子，秋山吉寛，舟木剛，住田弘祐，住友洋介，緒明佑哉，小粥康充，小熊博，小阪田泰子，小松一彦，小西邦昭，小川法子，小川祐紀雄，小野崎徹，小柳香奈子，小林芳成，小林優佳，庄司靖，松岡常吉，松山誠，松川哲也，松村太陽，松島敏則，松本翼，沼田真也，上山健彦，城野理佳子，常松佳恵，新見康洋，森川岳生，森貞真太郎，森本勝大，須藤雄気，水口将輝，水瀬賢太，水谷武臣，水谷麻美，水野谷剛，水野洋輔，杉田修啓，瀬島吉裕，星野毅，清家美帆，清水かほり，清水優，西川剛，西村佳壽子，西村邦裕，西野恒，青柳智，青柳里果，石橋仁，石川春人，石川尚人，石谷太，石田紗恵子，占部大介，川井貴裕，川原浩一，川崎昌紀，川内健史，川又生吹，泉桂子，浅井華子，叢悠悠，増山雄太，村瀬良朗，多田和也，太田優一，大塩裕哉，大屋瑤子，大城佳奈子，大島一夫，大洞光司，大野ゆかり，滝久智，滝本裕則，谷村あゆみ，谷田部然治，竹内やよい，中吉嗣，中根茂行，中山智喜，中新信彦，中村乙水，中村芳明，中塚祐子，中田陽介，中島和秀，中本圭一，中濱直之，仲田資季，長井超慧，長岡弘太郎，長濱祐美，辻村恭憲，堤卓也，田原優樹，田上英明，田谷昭仁，田中克，田中大介，田中展，田中都，田中有弥，田潤豊，渡辺謙太，渡邊育夢，渡邊源哉，渡邊恭子，島田敏宏，藤井宏之，藤原英樹，藤枝伸宇，藤谷涉，藤野直明，藤澤剛，藤崎英一郎，道畑正岐，奈良雅之，南安規，楠見敏則，楠城一嘉，能登裕之，馬場暁，馬場彩，萩原大祐，柏木才助，白井孝治，白石希典，白川善幸，白木智丈，迫田憲治，畑中大樹，八尾健，飯森俊文，飯泉佳子，飯田真一，飯田佑輔，飯島美夏，尾崎省吾，浜本洋，富田英生，富田峻介，富田昌弘，布浦拓郎，武藤慶，福泉麗佳，平井義和，米内俊祐，片岡研介，片宗優貴，峰松翼，芳賀聡，豊泉太郎，北沢桃子，牧昌次郎，堀江正信，堀正和，堀田純一，本橋輝樹，本郷研太，本山三知代，妹尾博，末武勲，木村真晃，木内隆史，野崎達生，野村俊之，矢ヶ崎朋樹，余田佳子，与那嶺雄介，緑川光春，林郁子，林慶，林潤，鈴木祐麻，鈴木亮，脇田和美，濱口豪，濱武英，眞鍋康

子，眞鍋史乃，齋藤めぐみ，齋藤誠二，齋藤理一郎，饒村修，高橋啓介，高橋正之，高須賀明典，高木聡

以上 308 名

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
1	マテリアル・デバイス・プロセス	未知材料の探索に向けた、実験データや目的構造データなどから、材料構造形成を記述する数理モデルを推定する手法	材料科学において材料構造形成を記述する数理モデルを構築することは非常に困難である。特に階層構造を持つ材料では、よく知られた方程式だけでは現象を記述することはできないので、問題に応じて過去の研究の知見からモデルを構築するという作業が行われてきた。この作業には多くの時間が費やされる。そこで、 <b>実験データや目的となる構造データなどから数理モデルを推定する手法</b> が期待されている。これは、 <b>材料を記述する支配方程式をデータから推定し、未知の材料の予測に使用</b> するというものである。内挿的な従来のマテリアルズインフォマティクスに対して、いったんモデルを構築すればパラメーターの値を変えるなどすることで未知の材料の探索にも利用できると期待でき外挿的な予測が可能になるのではないかと考えられている。	現在では、比較的単純な方程式、例えば拡散方程式やバーガース方程式などで、モデルから生成したデータを使用して元のモデルを当てるという研究がいくつか行われ成功を取めている。しかし、材料科学で利用されるような複雑な方程式に対してこれらの手法がうまくいくかどうかは未解明である。さらに、現実の問題では、データを完全に記述するような正解となるモデルは存在しない。どんなモデルでもある程度の不完全さを持っているので、正解がある問題だけでなく、正解がない問題に対してどのようにして「よい」数理モデルを推定できるのかということについて今後研究が進んでいくのだと考えられる。	基礎的な技術や理論の開発がまず必要である。その次の段階としてソフトウェアなどの汎用化によって、企業などでも広く使えるような環境を整備する必要がある。例えば、現在有限要素の数値計算ソフトは商用・非商用のものがいくつか知られている。商用のものは、空力の計算や流体中の物体の運動など様々な開発の現場で仮想実験の場として用いられている。この場合は支配方程式は既知のものを利用して、その方程式の中のパラメーターを現実の材料の値を用いて計算する。問題に応じて支配方程式は異なるので、流体のこの問題はこのパッケージ、弾性体のこの問題の場合は別のパッケージというように、パッケージを細分化させることで個別の用途に対応させている。当然支配方程式がまだ未知である問題に対しては、不完全さを許容して既知の方程式で代用するなどするしか方法がなかった。支配方程式の推定が自動化できるようになれば、データや目標値から支配方程式を推定し、その方程式を解析して結果を得るという一連の作業を一つのパッケージで行えるようになり開発が加速することが期待できる。	機械学習, モデル推定, ベイズ推定, 支配方程式推定, governing equation discovery, model discovery	高	5年以降10年未満	大	大	大
2	マテリアル・デバイス・プロセス	単一分子レベルの吸収分光が可能な超高感度分光手法を活用した生体研究	<b>【単一分子レベルの吸収分光が可能な超高感度分光手法および生体応用技術】</b> 生体機能のコアとなるのはタンパク質に埋め込まれた機能分子であり、安定状態（平衡状態）からずれた非平衡状態で機能を発揮する。そのため、この非平衡状態を調べることこそ、生体機能の分子メカニズムの理解にとって本質的に重要である。 これまでは、実験のやり易さから、レーザーなどの外部刺激で反応の開始時間を制御できる反応系が調べられてきた。しかし、多くの生体反応（酵素反応や酸化還元反応など）は分子同士の物理接触や溶液条件の変動などによってトリガーされるため、実験で制御するのが難しく、研究が遅れている。 そこで、単一分子を観察し、確率的に生じる生体反応を検出する実験手法が望まれる。 ここで分光解析まで行えば、エネルギーレベルなどの物理的な情報を含めた詳細な議論が可能となる。ここ30年の間に単一分子の蛍光分光法が開発され、生体応用が進んできたが、単一分子の吸収検出に成功した例は皆無に等しい。多くの生体機能分子は吸収特性を示すものの、無蛍光性である場合がほとんどであり、単一分子吸収分光の実現によって開拓できる研究領域は大きい。	分子の吸収熱を利用した顕微測定法は報告されている。[Gaiduk, A., et al. (2010) Science 330, 353] [Heylman, K.D., et al. (2016) Nat. Photonics 10, 788] また、1分子レベルの吸収顕微についてもいくつかのデモ実験が報告されている。[Chong, S., et al. (2010) J. Phys. Chem. Lett. 1, 3316] [Kukura, P., et al. (2010) J. Phys. Chem. Lett. 1, 3323] [Celebrano, M., et al. (2011) Nat. Photonics 5, 95] しかし、生体研究へ応用されるまでには今のところ至っていない。	基礎研究推進費、特にポストドクなどの人材を雇用してプーストするための費用	分光計測, 生物物理, 顕微分光	高	5年以降10年未満	大	中	中



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
3	都市・建築・土木・交通	各要素技術の融合による防 災設備のIoT化	防災設備のIoT化	技術は進んでいるが、融合が進んでいない	縦割りや専門での区別がなくなればすぐに解決でき ると思うが、大学含むMajority主体やトップダウン 方式ではアイディアも限られ、斬新な研究はできな い。（Majority特有の群れが見られ、研究科や専門 の名前が変わっただけで、中身は全く変わらな い。）基礎知識に軸を置いた社会的な教育が必要で ある。 （改革という言葉にとらわれすぎて、社会全体が麻 痺しているように見える。事務作業等含め、役割分 担を明確にし、研究者が腰を据えて、じっくりと研 究できる環境が必要。）	防災、感性工学、IoT	中	5年未満	やや大	大	大
4	健康・医療・生命科学	modRNAとLNPを用いた 遺伝子治療	modRNAとLNPを用いた遺伝子治療技術	疾患によっては治療が行われている。	modRNAの作製には多額の費用が必要になるので、 各研究室レベルで作製が可能になる技術の開発。組 織特異的に分布するLNPの開発	modRNA, LNP, CRISPR	中	5年未満	大	大	大
5	マテリアル・デバイス・プ ロセス	超電導磁気浮上式鉄道の新 たな可能性開拓に向けた、 超流動ヘリウムを冷却材と した高磁場用超電導マグ ネット	<b>超流動ヘリウムを冷却材とした高磁場用超電導マグ ネット</b> はフロンティア技術として重要であり、 超電導磁気浮上式鉄道の新たな可能性を切り開く。	超電導マグネット技術はかなり前から継続して発展 中。クエンチを避けるための研究などあり。	工学での技術開発だけでなく超流動系や超伝導系に おける基礎研究がどれほど貢献できるか。最近の研 究分野としては、量子流体構造において渦を持つ系 とその乱流状態への遷移に関するものがあり、物理 モデルの数理的基礎研究と深層学習の活用により研 究進展可能。	超流動, 超伝導, 超低温物理学	中	5年未満	大	大	大
6	都市・建築・土木・交通	AIによるインフラ構造物の 維持管理の効率化	AIによるインフラ構造物の維持管理の効率化	研究としては、多くの適用例が挙げられ始めている。 、	維持管理は最終的な実装において、行政を含む手続 きの側面を含む。そのため、自治体において、広 く用いられるにはまだ時間がかかることが予想され る。一方、高速道路・鉄道などの自前で構造物を有 している企業は熱心に参画しており、実装という面 ではこれらの方が早いことが予想される。	インフラ構造物, AI, 維持管理	低	10年以降	あまりなし	やや大	やや大
7	健康・医療・生命科学	抑制性サイトカインを用いた 歯周炎治療およびコント ロール	抑制性サイトカインを用いた歯周炎治療およびコント ロール	歯周炎の進行におけるIL-35の関与については、基礎 研究を積み上げている段階である。		IL-35, 歯槽骨吸収抑制, IL-17	高	10年以降	大	やや大	やや大
8	健康・医療・生命科学	光による生命機能の制御・ 操作	光による生命機能の制御・操作	光観察にノーベル賞が授与されたこと（2008 年）は記憶に新しい。その前後に、観察にとどまら ず生命機能を光で制御・操作する技術が確立し（2 006年）、膜電位の制御・操作への応用から、脳 神経科学研究者を中心に利用されている。現在で は、細胞死や細胞内情報伝達など多様な生命現象に 拡大している。このような手法は総称して光遺伝学 と呼ばれており、この手法にノーベル賞が授与され る可能性が高まるなど注目されている。実際にノー ベル賞の前哨戦と呼ばれるガードナー国際賞が2018 年に授与されている。	様々な特許化がなされており、遺伝子治療を含めた 臨床適用の段階にある。ただし、微生物などヒト以 外の遺伝子を導入する倫理的・社会的な問題存在す る。	光遺伝学, 光受容タンパク質, 遺伝子治療	高	5年以降10 年未満	大	大	大
9	健康・医療・生命科学	在宅自己管理支援アプリ ケーション・遠隔モニタリ ング・AI（行動変容）技術 を活用した在宅医療の一般 化	<b>在宅自己管理支援アプリケーション・遠隔モニタリ ング・AI（行動変容）技術を活用した在宅医療の推 進</b> 。モニタリングについては、SaMDや在宅IoTと組 みあわせて遠隔モニタリングの薬事承認かを目指し た非劣勢試験が複数始まる様相を見せている。この 診療行為が一般的になれば、医療データが蓄積さ れ、以前から言われている医療AIを用いた自己管理 への基礎となるデータ蓄積が進むものと考えられ る。これを支える個人情報管理等の技術やELSIの推 進が重要な役割を果たす。	基本的な自己管理アプリケーションや、モニタリ ングについては、多くが臨床適用評価段階に入ってい る。一方で、行動変容などのAI技術は、まだ緒に着 いたばかりの状態にあり、研究を開始する前段階で あるデータ蓄積が必要な状況にある。	現時点では、社会の受容が最も重要な要素となる。 いずれにしても、現在進んでいる現実の診療へのイ ンプリメンテーションが、一にでも早く行われるこ とが重要。出なければ、データの蓄積において他国 の後塵を拝し、結局学術分野においても前に出られ なくなってしまう。	スマートデバイス, 診療情報, ELSI	高	5年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
10	マテリアル・デバイス・プロセス	薬剤候補の効率的な選定や 疾病解明に向けた、NV量 子センサによるバイオセン シング	NV量子センサによるバイオセンシング	量子センシングに関わる研究が注目されているな か、その応用先の1つとして組織チップとの融合が 新展開として考えられる。これまでは、細胞内にNV ダイヤを埋め込んだ生体センシングが行われている が、今後はヒト体内の仕組みを模倣する「組織チッ プ」と融合することで、薬剤候補の効率的な選定や 疾病解明に展開できる。現在、双方の技術は個別に 進んではいるものの、今後は融合型研究によるブ レークスルーが期待される。		量子センサ, NVセンター, 組織チップ	中	5年以降10 年未満	大	やや大	やや大
11	マテリアル・デバイス・プロセス	半導体材料としてシリコン を凌ぐ物性を持つ次世代半 導体の材料・プロセス技術	<b>半導体材料としてシリコンを凌ぐ物性を持つ炭化シリ コン、窒化ガリウム、酸化ガリウム、ダイヤモンド など「次世代半導体の材料・プロセス技術」</b> の実 現が期待される。電力変換素子に注目すると、依然 としてシリコンが主流であるものの、低・中・高耐 圧用シリコンとそれぞれ置き換わる形で少しずつで あるが実装されてきている。近年、多種多様なもの の電動化が進められており、電気自動車を例にとる と駆動用や給電用などの電力変換技術の発展は急務 となっており高性能化・高効率化のための次世代半 導体の材料・プロセス技術は極めて重要な研究分野 である。ポストシリコンとして複数の半導体材料の 研究開発が進められているため、耐圧や周波数など 各材料の得意とする領域での材料や素子構造の最適 化による応用分野で住み分ける形で展開していくと 考えられる。	炭化シリコンは高耐圧分野向けの電車のインバータ に利用され、加工性の悪さや歩留りの低さのほか低 コスト化が課題になっているが、近年、低コスト化 のためのウエハの大口径化が積極的に行われてお り、電気自動車などへの実装が期待される。窒化ガ リウムについて、身近なところでは携帯電話やPC用 のACアダプターが挙げられ、既存の高価であるが小 型・高効率の利点から普及し始めている。これは LEDなどでの量産化による恩恵を受けたためと考え られ、ACアダプター100-200Vの比較的低耐圧で数 量が出るところから展開されている。そのほか後発 の酸化ガリウムに関しては低コストの利点を掲げ て、研究開発が盛んにおこなわれている。ダイヤモ ンドについては、理論予測で高い半導体性能が示さ れているものの、他材料と比べてウエハの高品質化 や大口径化がなかなか進んでおらず研究開発段階と なっている。これら次世代材料がもつ物性のほか製 造工程やコストなどの特徴を生かした製品群への展 開が進んでいくと考えらえる。近年では、SiCとGaN を組み合わせたハイブリット型デバイスの提案・動 作実証が報告されており、次世代パワー半導体材料 の科学技術の今後の発展は非常に興味深い。	この分野では国内企業が奮闘しており、国外企業に 負けないような研究開発への支援が重要。	ワイドバンドギャップ半導体, 炭化シリコン, 窒化 ガリウム, 酸化ガリウム, ダイヤモンド	中	5年以降10 年未満	中	中	やや大
12	健康・医療・生命科学	試験管内で長鎖DNAを合 成・編集する技術の、基礎 研究及び臨床応用研究への 適応	<b>試験管内で長鎖DNAを合成・編集する技術</b> に注目し ています。細胞を使わずに遺伝子を改変・増幅する ことは遺伝子工学操作の効率化を加速する技術基盤 です。細菌のDNA複製酵素やウィルスを利用した長 鎖DNA合成技術は、CRISPRなどの遺伝子編集と組 み合わせることで、基礎研究と臨床応用研究の両方 に影響を与えることが強く期待されます。	すでに方法論が確立されており、ここ1-2年の間に世 に浸透すると思われます。	ユーザー側の意識改革は必要と思います。古典的な 遺伝子工学（PCR-制限酵素-DNA連結-大腸菌体内で recombinant増幅など）礼賛し、無細胞系の遺伝子 工学を行うことに抵抗を持つユーザーの意識がかわ れば、より研究者コミュニティに浸透しやすいと思 われます。	遺伝子工学操作の効率化, 遺伝子治療, 長鎖DNA合 成	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
13	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	①センサー搭載小型衛星・ 航空機による海洋の常時観 測、海中を自動昇降する小 型パイによる海洋内部構造 の高頻度観測を統合した、 津波や波浪などの防災・減 災技術 ②センサー搭載小型衛星・ 航空機による海洋の常時観 測、海中を自動昇降する小 型パイによる海洋内部構造 の高頻度観測を統合した、 海洋ゴミや生物多様性の追 跡・予報を行う技術	<b>多数の小型衛星や航空機にセンサーを搭載し、上空 から海洋の常時観測</b> を行う。また、 <b>アルゴフロート のように海中を自動昇降する小型パイを多数配置す ることで、海洋の内部構造の高頻度観測</b> を行う。これ らの観測を統合することで、 <b>津波や波浪などの防 災・減災や、海洋ゴミや生物多様性の追跡・予報を 行う技術</b> を確立する。	観測モニタリング技術、理論化、データ同化技術等 の各々はかなり充実しているが、統合化はできてい ない。	実利用化するには小型衛星観測や航空機観測等に関 する経済的・法制的な整備が必要。 なお、学術的・経済的・社会的な効果は、近視眼的 な評価よりも長期的な影響を考慮した評価をするほ ど大きな効果を持つ。 一般に、長期的に不可逆的な影響を及ぼすような地 球環境関連は、十年程度の短期的な効果で評価をす ると過小評価されてしまう。	リモートセンシング, 小型衛星, 航空機観測, 自動 昇降アルゴフロート, データ同化, 津波予報, 波浪 予報, マイクロプラスチック, 生物多様性	中	5年以降10 年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
14	マテリアル・デバイス・プロセス	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術	単純な構造のデバイスについては、研究室レベルでは良好な特性を示している。 結晶成長技術、ウェハの表面積化、低コスト化、伝導性制御、界面制御については、まだ大きな課題がある。	結晶成長技術、ウェハの表面積化、低コスト化、伝導性制御、界面制御については、まだ大きな課題がある。	パワーデバイス、酸化ガリウム、Ga2O3	高	10年以降	やや大	大	大
15	健康・医療・生命科学	哺乳類卵子の人口培養系を用いて老化等による卵質の悪化を改善する手法と人工子宮の技術開発の融合による個体作成技術	我が国を中心に飛躍的に発展しつつある <b>哺乳類卵子の人口培養系を用いて老化等による卵質の悪化を改善する手法</b> の開発、およびそれらと国内・海外で発展しつつある <b>人工子宮の技術開発の融合による個体作成技術の開発</b> 。	現在、卵子の作成はマウス等実験動物のES細胞を原材料とした卵子への人工誘導に限られている部分がある。今後この技術は、ヒトにおいての応用や、iPS細胞を原材料とする安定的な技術へと発展していくことが予想される。しかし、本来これらの技術をより安全に人への医療に応用することを考えると、加齢患者の体内にある卵巣内の細胞を材料とした技術への志向に切り替わっていくことが期待される。今後は、加齢患者の体内における卵子の老化が現象として発露する時期、そしてそれらが発露するメカニズムの解析を進めるとともに、それらの発露の前にもとなる細胞を取り出し、それらの要因を排除して質の高い卵子を得る方法を模索することも望まれる。	要素技術については上述した通りだが、主な受益者が患者であることを考えると、まずは安全性や高い成功率を確保するとともに、特に1つの卵子＝1つの生命という考え方が浸透したところがある我が国において、卵子研究に関する明確な指針も提示されるべきだろう。ただ、いたずらに知的好奇心を訴えるのではなく、高齢化社会と高齢出産社会が重なった現在の我が国において、高齢でも臨んだ時期に出産に至れるという希望的な側面をアピールすることが重要と思う。	生殖細胞、生殖医療、人工子宮	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
16	環境・資源・エネルギー	再生可能エネルギー導入と電力安定供給の両立に向けた、パワーエレクトロニクス機器に擬似的な慣性を具備することで電力システムの安定化を図る技術	再生可能エネルギーの大量導入による回転型の同期発電機の減少に伴い生じる電力システムの慣性低下が引き起こす種々の問題に対し、 <b>パワーエレクトロニクス機器に擬似的な慣性を具備することで、電力システムの安定化を図る技術</b> が世界中で開発されている。カーボンニュートラルを目指す日本においては、再生可能エネルギーの導入と、電力の安定供給を両立するため、この技術の確立と普及は極めて重要である。	基礎的な技術開発については様々なプロジェクトや企業・大学において広く検討がされている状態である。現在の研究段階は、普及によってどの程度電力システムが安定化されるかの実証や、普及に要するコストの低減といった、実用化に向けた検討の段階である。		電力システム安定化、再生可能エネルギー、電力システム	高	5年以降10年未満	中	大	大
17	農林水産・食品・バイオ	ガス発酵を行う微生物を用いた、二酸化炭素の消費とそれに伴う有用物質生産技術	ガス発酵を行う微生物を用いた、二酸化炭素の消費とそれに伴う有用物質生産技術	現在は研究室スケールでの培養が主流です。今後、実現化に向けてさらに大きなスケールでの培養試験が行われることが望まれます。また、基質となるガス（二酸化炭素や水素など）をどう準備するかも課題です。	実現化に向けてラボよりも大きなスケールでの培養試験が行われることが望まれます。また、基質となるガス（二酸化炭素や水素など）をどう準備するかも課題です。	CO2固定、微生物育種、醗酵工学	中	5年以降10年未満	大	大	大
18	マテリアル・デバイス・プロセス	脂質分子の詳細な構造を網羅的に解析できる技術	脂質分子の詳細な構造を網羅的に解析できる技術	一分子の構造を決定する方法は既に存在、網羅的に短時間で感度よく解析することを目指している。		リビドミクス解析、構造解析、網羅解析	中	5年未満	大	大	大
19	健康・医療・生命科学	食べるワクチンによる、誰でも気軽に免疫を賦与できるワクチン生産およびその抗体産生応答の評価システム	食べるワクチンによる、誰でも気軽に免疫を賦与できるワクチン生産およびその抗体産生応答の評価システム	動物実験段階までは実証中なので、実際に社会に展開するときの形状、容量などの開発にすむべき段階にいていると思っています。	効果はわかっているが、実際にどうのように効果があるのかの詳細なメカニズムを明らかにする必要があると思っています。またワクチンに対する社会的な受け入れがこの現状の世界でどう考えるかもあわせて考える必要があります。	ワクチン、感染症、食べる	高	5年以降10年未満	大	大	大
20	健康・医療・生命科学	DNA origami / RNA origami 技術を用いたワクチンアジュバント	DNA origami / RNA origami 技術を用いたワクチンアジュバント	萌芽的な研究を経て、in vitroの基礎研究レベルで進捗が見られる	ワクチン（アジュバントを含む）の社会実装に向けた臨床試験の迅速化と国民の協力と理解の涵養、	DNA origami, RNA origami, ワクチンアジュバント	高	5年以降10年未満	中	やや大	やや大
21	健康・医療・生命科学	遺伝性・後天性に関わらず、難聴の治療薬開発	<b>難聴の治療薬開発</b> 。 ここ2-3年の間で、難聴患者からのiPS細胞やiPS細胞由来オルガノイドを用いて、希少疾患ではあるが、遺伝性の感音難聴に対する治療薬の開発が進んできている。 また、後天性感音難聴については、内耳蝸牛で産生される活性酸素の産生制御が、有力な治療標的であるとの報告が散見されるようになってきている。この点からすれば、日本で先行している（欧米では懐疑的な）水素療法などが有効なのかもしれない。	論文での報告が散見。 一部は、試験の第1相？	資金的援助。 規制の緩和や承認の迅速化。	難聴、活性酸素、iPS技術	高	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
22	健康・医療・生命科学	診療科の垣根を超えた予防・先制医療に向けた、精神疾患や脳機能老化を能動的に防ぎ回復を促す抵抗性（レジリエンス）を増強し、幅広い精神・神経疾患や脳機能老化を防ぐ技術	精神・神経疾患の疫学・遺伝学的研究やモデル動物での基礎脳科学研究から、精神疾患や脳機能老化の病態とは別に、精神疾患や脳機能老化を能動的に防ぎ回復を促す抵抗性（レジリエンス）の存在が提唱されている。モデル動物での基礎研究を中心にそのメカニズムの一端が分子・細胞・神経回路レベルで明らかにされつつある。このメカニズムを解明して操作技術を開発するとともに、ヒトの脳科学研究と対応づけることで、 <b>レジリエンスを増強し、幅広い精神・神経疾患や脳機能老化を防ぐ技術</b> を開発することが可能となる。この科学技術は疾患別の病態とは別に健康を増進することから、その発見・開発は疾患横断的に適応可能である。さらに疾患に至るまでの健常者に適応可能である。従って診療科の垣根を超えた予防・先制医療の実現を目指すもので、医療費の削減に大きく貢献する。	レジリエンスは元々ヒトの疫学・遺伝学的研究から提唱されてきたが、主に心理学的考察に留まってきた。その生物学的機序に関する研究はモデル動物の研究で先行し、レジリエンスを司る分子・細胞・神経回路メカニズムの一端で明らかにされつつあるが、実態はほぼ不明である。	モデル動物を用いてレジリエンスの生物学的メカニズムの全貌を、一細胞解析を含むマルチオミクス解析、全脳神経活動計測、コネクトームなど解析技術、オプトジェネティクスなど操作技術を活用して解明する必要がある。また得られた多階層データを統合して数理モデルを構築することで、レジリエンスを可視化し予測する技術の開発が求められる。またモデル動物で得られた知見を手掛かりとし、大規模患者レジストリーに対しfMRIによる脳活動計測や生理学的計測、マルチオミクス解析などを適応し、ヒトのレジリエンスのメカニズムを解明するとともに、その心理学的意義を理解する必要がある。さらにニューロ・バイオフィードバックや食品中の機能性成分によりレジリエンスを操作する技術を開発する必要がある。そのためには、モデル動物のデータをヒトに適応するため、基礎・臨床・数理・心理学研究者が緊密に連携した研究体制の構築が重要である。	メンタルヘルス、ブレインテック、レジリエンス	高	5年以降10年未満	大	大	大
23	マテリアル・デバイス・プロセス	磁気スキルミオン、電気双極子スキルミオンのトポロジカル欠陥のデバイス利用	トポロジカル欠陥のデバイス利用	磁気スキルミオンに関しては磁場や電場で生成・制御が可能なステージにきている。  電気双極子スキルミオンに関しては基礎実験が始まった段階であるが、トポロジカル欠陥に関しては多くの基礎研究がなされている。	材料系の開拓  観察・制御する実験手法の確立	トポロジー、スキルミオン、欠陥	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
24	環境・資源・エネルギー	電池を置き換える発電素子としての、身の回りにある光や熱や振動から電気エネルギーを得る環境発電技術	<b>環境発電技術</b> です。身の回りにある光や熱、振動から電力（電気エネルギー）を得る発電技術の一種である光や熱や振動から電気エネルギーを得る環境発電技術です。使用後に有害なゴミになる電池を置き換えるための発電素子として注目されています。	ここ数年で発電電力は飛躍的に向上している。今後は産業連携で開発を進めるべき段階。	電池の置き換える発電素子であるため、応用範囲が極めて広い。ただ広いがゆえに、何を駆動するための発電素子とするのか、ターゲットが絞り切れない、産業連携で議論し、具体的な出口を絞るべき段階。	エネルギーはベスティング、振動発電、エレクトレット	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
25	ICT・アナリティクス・サービス	離散画像の極限としての微分方程式の数学的解析を通じた機械学習の理論的解析や、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替など、機械学習と数値解析の融合	<b>機械学習と数値解析の融合</b> ： 近年大変に機械学習、特に深層学習は注目を浴びているが、数学的には離散画像を主とした構造であり、その理論的解析は困難なものである、そのためその基礎理論を構成して理論面から設計を行うことについては今なお大変に弱い面があるとみなさざるを得ない。 この状況に対し、離散画像の極限として微分方程式を考え、その数学的解析を通じて数値解析の分野から機械学習を理論的に解析する試みや、逆に数値解析の手法を機械学習で一部代替する試みなどが研究テーマとしてあがりつつあり、この両分野において大きな寄与をする可能性があると推測している。	現在はこの方向性の研究が始まって数年という状況であり、模索を主とする黎明期と考えられる。	技術的な発展は主に応用数学の理論面から行われるであろうと推測されるため、当分野、すなわち応用数学者の層の厚みをもっとも大きく寄与する要素であると考え、 次に、ある程度機械学習等を目的とし、Julia等の近代プログラミングを用いて自由に扱える大規模計算機等の存在が必要であるだろう。	深層学習、画像、数値解析	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	中
26	ICT・アナリティクス・サービス	物理モデルを模倣したAI（深層学習モデル）	<b>物理モデルを模倣したAI（深層学習モデル）</b>	すでに一部の技術は商用化され始めている Matlantis <a href="https://matlantis.com/ja/">https://matlantis.com/ja/</a>		深層学習、物理シミュレーション、Physics-Informed Machine Learning	中	5年未満	大	大	大
27	マテリアル・デバイス・プロセス	元素戦略・ナノ構造・特異構造や原子制御による新機能材料の開発	元素戦略・ナノ構造・特異構造による新機能材料の開発	社会の発展を支える新・高機能はそれらの特徴を有する新材料の開発によるところが大きい。現在、元素戦略を機械学習と合わせて取り組まれているが、元素戦略に加えて、構造や原子の制御によってこれらに挑戦されている。だが、まだ、研究の初級会であり、まだまだ今後精力的に取り組んでいく必要がある。	要素技術や基礎学理の確立が必要。	ナノ構造物理、革新的機能材料、ユビキタス元素材料	高	5年以降10年未満	大	大	やや大
28	環境・資源・エネルギー	カーボンニュートラルのための創エネルギー技術	カーボンニュートラルのための創エネルギー技術	再生エネルギー技術自体は開発されているが、実際に設備として導入する段階で問題がある	デメリットもあるので、その社会的受容が必要	再生可能エネルギー、洋上風力発電、直流送電	中	10年以降	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
29	健康・医療・生命科学	基礎研究及び遺伝子治療に向けた、特異的な反応を行う酵素や特異的な会合を行うレセプタータンパク質などの開発	現在人工タンパク質開発技術については、ある程度の自在な構造を構築するレベルに近づいている。しかし特定の機能を付与する、つまり <b>特異的な反応を行う酵素や特異的な会合を行うレセプタータンパク質などの開発</b> は発展段階である。自在な構造だけでなく機能を付与することが可能となれば、基礎研究だけでなく遺伝子治療などへの発展も期待できる。	人工タンパク質設計研究は既存の天然タンパク質の改変からスタートし、現在では完全に人工的なアミノ酸配列から構造を構築する段階へ到達しつつある。しかし、特異的な基質への結合を設計することは未だ難しく、さらに酵素活性を付与することは更に困難である。遺伝子工学技術と計算科学の発展により、10年以内を目処に完全な人工酵素設計技術の基礎が確立されたと考えている。	計算科学のさらなる発展と、既存の天然タンパク質をライブラリーとした構造予測技術、また実際に設計・作成した人工タンパク質を評価する技術が必要だと考えられる。	人工タンパク質、遺伝子治療、計算科学	中	5年以降10年未満	やや大	中	あまりなし
30	マテリアル・デバイス・プロセス	トポロジカル超伝導体に現れるマヨラナ粒子の非可換統計性の、量子コンピュータへの応用	<b>トポロジカルな電子状態と超伝導の面方の性質を持つトポロジカル超伝導体</b> では、 <b>非可換統計性という性質を持つ「マヨラナ粒子」が現れる</b> と考えられている。非可換統計性とは、同じ粒子同士を2回入れ替えた場合に元の状態に戻らず、別の状態に移るという性質であり、粒子交換によって演算を行うことができるため、量子コンピュータへの応用として注目されている。	しかしながら、トポロジカル超伝導体に現れる非可換粒子の制御は難しく、非可換統計性の実証の実験すら行われていないというのが実情である。そのため、非可換粒子を用いた量子計算の実現には時間がかかると思われる。一方で、この原理に基づく量子計算は非可換性があるため外部擾乱に強いという特性があり、実現すればより信頼度の高い量子計算が可能となるため、大きなインパクトを与えることができる。		トポロジカル物質、マヨラナ粒子、量子計算	高	10年以降	大	大	大
31	マテリアル・デバイス・プロセス	テラヘルツ領域の活用に向け、ビルの壁や車のボディなどのメタマテリアルを人工知能技術と融合させ、スマートな動作を可能とするIntelligent Reflecting Surface	第5世代(5G)の通信技術が通信会社から提供がはじまったことは記憶に新しいが、その性能をさらに上げるための第6世代技術の研究開発が進められている。6G技術では従来に比べ広大な帯域を利用できるテラヘルツ領域の活用が検討される。しかしながら、テラヘルツ帯域では波の回折が小さく、通信効率の低下が懸念されている。このため、このために <b>ビルの壁や車のボディなどに通信を高効率化するための人工材料(メタマテリアル)を導入し、自由に電磁波を取り回す手法</b> が注目されている。メタマテリアルは金属パターンなどで構成され、望みの方向に電磁波を回折させることができ、通信効率を大幅に増強できる。さらに、こうしたメタマテリアルに人工知能技術を融合させ、よりスマートな動作が可能なIntelligent Reflecting Surfaceの実現が期待されている。	すでに特定方向に電磁波を高効率に回折できるメタ表面は実現されている。こうしたメタ表面の大量生産技術を確立する必要がある。また、Intelligent Reflecting Surfaceのためにメタ表面を高変調・高効率に動的化する技術の開発も求められている。	世界的に着目されているメタマテリアル技術であるが、日本ではアカデミックの研究コミュニティの規模が大きくない。一方、〇〇、〇〇、〇〇、〇〇、〇〇などの企業を中心にメタマテリアル技術の活用が進んできている。メタマテリアル技術のアカデミックな研究の弱みが応用上の障害にもなっているため、アカデミックの裾野も拡大していく必要がある。	Intelligent Reflecting Surface, 6G, メタマテリアル, メタ表面, ホイヘンズメタ表面, テラヘル	高	5年未満	大	大	大
32	健康・医療・生命科学	老化制御因子の多数同定による、健康寿命延伸技術の開発	健康寿命の延伸技術の開発。あるいはそのシーズの多数同定。	マウスやサルなどをモデルとして個体老化、加齢による機能低下を導く機序が徐々に明らかになりつつある。一方で、ヒトの長寿者などのデータも取得され、長寿に関わる候補因子も見つかりつつある。NMMなど老化を抑制しうする物質も見つかりつつある。しかし、多くの老化制御因子はあくまでいまだに候補段階であり、動物を用いた検証が必要である。まだ、老化制御因子候補の数も限定的であり、老化制御技術を開発するにはタネ不足である。しかし、新たな老化モデル動物や解析技術の開発も進んでおり、この10年で大きく研究が進むうと考えられる。Nature誌も姉妹誌としてNature metabolism、Nature Agingが創刊され、それらに関連研究が次々報告されている。	多様な技術を持つ研究者の連携、企業との連携、若手の育成	健康寿命, 老化制御, モデル動物	高	5年以降10年未満	大	大	大
33	マテリアル・デバイス・プロセス	水素タンクに入れておくだけで、入れない場合に比べて同圧力で多量の水素を保有できる軽量水素吸蔵・貯蔵材料	水素吸蔵材料 水素貯蔵材料	軽元素で構成された新しい水素吸蔵材料が出てきています。従来の水素吸蔵合金と違い、水素タンクに入れておくだけでも、入れない場合に比べて同じ圧力でも沢山水素を保有でき軽い物質です。こういった物質をより性能を上げるような開発が重要です。	材料に関する基礎研究から実際の実用に向けた課題までを含めたプロジェクトサポートがあると良いですが、すそ野の広い研究を実現するために大学の運営費交付金の削減をやめることが重要と思います。	水素運搬・貯蔵, 水素貯蔵タンクの先進材料, 二次元材料, CO2からの燃料合成, 水素製造・貯蔵・利用・燃料電池・電極触媒	高	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
34	マテリアル・デバイス・プロセス	高濃度の二酸化炭素を直接電解還元することで、メタノールを合成する技術及び電解セル	<b>カーボンニュートラル技術</b> は、二酸化炭素排出量の収支をゼロ以下にするために必要である。物理的固定化、化学的固定化など様々なアプローチがされており、カーボンプライシングなどに絡め、今後重要な技術になると考える。	高濃度の二酸化炭素を直接電解還元することで、メタノールを合成する技術	高濃度の二酸化炭素源は既に存在しているため、それを取り込んでうまく電解合成に使用できる電解セルの開発が重要である。その電解セルには様々な課題があり、研究室レベルの域を出ない基礎研究である。そのため、基礎研究を早く完了させ、カーボンニュートラルの節目である2030年に向けて、次のステップへ移行する必要がある。	物理的固定化技術, 化学的固定化技術, メタネーション, カーボンリサイク	中	5年以降10年未満	中	大	大
35	健康・医療・生命科学	陽子線治療において、がん細胞へのエネルギー性物質の配置と陽子線照射を組み合わせることで、より効率的に低コストでがん細胞を破壊する技術	<b>陽子線治療</b> はがん治療効果が高いといわれているが、そのための装置は比較的多く有するといわれる日本国内においても十分でないのが現状であり、またコストも高い。日本における死因は依然としてがんが最も多く、より安価で高精度な治療法の確立が必要となっている。こういった状況において、例えば <b>がん細胞へのエネルギー性物質の配置と陽子線照射を組み合わせることで、より効率的にがん細胞を破壊するなど、身体への負担が少ない、低コストな技術</b> が期待される。	現在、細胞レベルまでの実験は実施されている。	治療が必要となるので、パートナー企業との連携が必要と考えられる。また研究開発に関わるコストが膨大となる可能性がある。	がん細胞, 陽子線治療, 先端医療	低	5年以降10年未満	大	大	大
36	農林水産・食品・バイオ	飼育動物の健康管理にも応用可能な、小型で省電力かつ耐圧防水性に優れた改良型バイオセンサを用いた、野生動物の行動を記録するバイオロギング技術	通常、測器のセンサは物理的な反応を電気信号に変換し、それを記録することで物理現象を観測することができる。 <b>バイオセンサ</b> はセンサ部分に酵素反応など生体由来の反応を電気信号に変換し、それを記録することで生理現象の観測や複雑な物質の検出を行うことができる。医療分野、食品分野など多くの分野に応用されているが、 <b>野生動物の行動を記録するバイオロギング技術</b> に適用することができれば生理状態の連続記録が可能となり動物の生態における内的要因を調べるといった新たな道が拓ける。 <b>非侵襲的な動物の生理状態の常時モニタリング</b> は、飼育動物の健康管理にも応用することができる。	バイオセンサの技術は既に医療分野、食品分野など多くの分野に応用されているが、野生動物へ適応するためには小型化、省電力化、耐圧防水性などの改良が必要である。		バイオセンサ, バイオロギング, データロガー	中	5年未満	大	中	中
37	環境・資源・エネルギー	小型計測器を用いた大気環境計測を活用した、大気汚染による健康被害低減	小型計測器を用いた大気環境計測	性能評価や実地観測への応用が進められている	大気汚染による健康被害の低減に貢献すると期待される	小型センサ, PM2.5, 大気汚染	高	5年未満	大	やや大	大
38	ICT・アナリティクス・サービス	アフターGIGAスクールにける、効果的ソフトやシステム及び確かな教育効果や教育システムの構築	アフターGIGAスクール構想	学校教育においてGIGAスクール構想により一人一台端末が実現した。一方で、その端末を利用して何をするかその教育効果や教育システムが構築されていない。ハード面はすぐに整ってはいはいるが、ソフトが追いついていない。また効果的なソフトやシステムの構築ができていない。PCを活用することはできるが、PCを使って児童・生徒に何を指せるか、何ができるようになるかまでは明確な研究成果が見られない。	ハードを整えてしまえばそれでおしまいという楽観的な考えを改め、その先（アフターGIGAスクール構想）でどのようなことができるか、どのようなシステムやソフトを整えるかが非常に重要である。学校教育で行うため、システムやソフトは使いやすく、安価なものが求められ、さらに確かな教育効果も考えなければならない。現場の先生方の願いや思いを実現できるソフト面での支援が重要になる。	GIGAスクール, 一人一台端末, 遠隔	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
39	マテリアル・デバイス・プロセス	超小型／小型衛星が地球周回軌道から離脱し惑星探査の際の、高軌道変換能力を有し長時間動作する、推力制御可能なキックモータの開発	超小型／小型衛星用の高軌道変換能力を有するキックモータの開発	民間企業や大学の研究室レベルで超小型／小型衛星を打ち上げられるようになり、軌道上での技術実証や観測などに利用されている。今後、それら小型衛星が地球周回軌道から離脱して惑星探査を行うことも考えられ、それには軌道変更を行うためのキックモータが必要となる。従来のキックモータは、ガスを噴射するものやプラズマなどの電気推進を利用したものが一般的であった。しかし、それらは軌道変更するのに必要となる速度まで加速するのに時間が掛かるなどの欠点があった。そのため、瞬間的に大推力を発生するような高軌道変換能力を有するキックモータが求められ、その研究開発が現在行われている。	瞬間的に大推力を発生するには燃焼を利用した化学推進の適用が考えられるが、推力制御（スロットリング）の難しさや比推力（燃費）が低いため長時間動作できないなどの課題がある。そのため、実現には上記を含めた課題を解決するようなブレイクスルーが必要となる。	キックモータ, 小型衛星, 化学推進	中	5年以降10年未満	中	やや大	中
40	環境・資源・エネルギー	全ての廃棄物を省コスト省エネルギーで再利用できる技術	全ての廃棄物が再利用できる技術	コストとエネルギー、手間をかければ現在でも可能であるが、実用化段階ではない。	資源枯渇問題も解決する。	木質バイオマスによるゼロエミッション化, 非可食バイオマスからの化学品合成, 資源循環	中	10年以降	やや大	大	大
41	宇宙・海洋・地球・科学基盤	地上の多地点で太陽風を観測することで24時間観測を実現する観測網など、天気予報の業務として使えるレベルの安定性・信頼性・継続性がある、宇宙環境変動のリアルタイムモニタ・計測技術	<b>宇宙環境変動の計測技術：</b> 日本も月・火星を含む宇宙開発に参入するようになり、官民あげて有人・無人の宇宙開発が進んでいる。宇宙空間には地球のような高密度な大気や磁場が存在しないため、常に太陽から放射される太陽風や太陽放射線の影響にさらされている。これらは時に人工衛星の不具合、通信障害、人体への被曝など人類の社会生活に深刻な影響を与える。2022年2月にはSpaceX社のStarlink衛星打ち上げ時に太陽嵐が到来し、打ち上げた49機中40機が喪失するという衝撃的被害が出た。今後、超小型衛星の普及に伴いこのような事故の頻度も上がるだろう。このような <b>宇宙環境変動をリアルタイムでモニタする計測技術</b> は非常に重要であり、高精度な計測技術の実現が期待される。具体的には、 <b>太陽活動を宇宙空間で常に計測する太陽版気象衛星、地上の多地点で太陽風を観測することで24時間観測を実現する観測網</b> など、信頼性と継続性の高い技術がより必要とされる。	宇宙環境計測技術は研究室で行う基礎研究としての計測原理は確立されつつある。一方、地球の気象観測のように天気予報の業務として使えるレベルの安定性・信頼性・継続性のある技術には達していない。製品として安定したモノづくりができるノウハウを持つ企業との共同研究を積極的に進めるべき段階にある。	宇宙環境計測は宇宙に人類が進出する上で必須の技術であることは宇宙産業に携わる官庁や企業でも理解していないことが多い。本技術の発展には関係者への理解の浸透など社会的要素も必要となる。	宇宙環境計測, 宇宙利用, 有人探査	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
42	健康・医療・生命科学	一細胞レベルの遺伝子発現解析、臓器や組織における位置情報解析に加え、時系列を伴った高解像度解析	既に、一部では検討され始めているようだが、 <b>一細胞解析の4次元化、一細胞レベルの遺伝子発現解析、臓器や組織における位置情報解析に加え、時系列を伴った解析</b> ができれば、疾患の成因をより深く理解でき、治療法の開発に貢献できる。	現在、研究会レベルでは、4次元化に取り組んでいる報告はあるが、同一細胞を経時的に追っている訳ではないため、どこまで解像度を深くすることができるのかは、今後の課題かと思われる。		1細胞解析, 細胞治療, 時空間的解析	中	5年未満	やや大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
43	マテリアル・デバイス・プロセス	建設材料や工業製品材料において、複合材料にまで応用可能な応力可視化技術	建設材料や工業製品に用いられる材料では、それぞれの用途に対して弾性領域内で応答する材料が使用されるのが一般的である。したがって、ひび割れなど塑性挙動がいつどこで生じるかということが最も重要な評価対象となる。XCT、画像解析、センシング技術の発達によって、外力の作用を受けたときに材料表面・内部の変形挙動を可視化することができ、材料の破壊プロセスのメカニズムの議論が飛躍的に進んでいる。これらは基本的に2次元、3次元のひずみ分布として可視化される。しかしながら、一般的な材料は非線形性を有することから、ひずみ情報だけではその領域に応力伝達が発生しているのか、材料内での応力伝達経路がどのように形成されているのかは評価できない。これは、特に複合材料の分野では、材料の破壊に至るまでのプロセスを把握する際にしばしば問題になる。 そこで、今後実現が期待される技術として応力の可視化技術である、単一材料の微小領域における応力の可視化技術は3DXRD法などが開発されているが、このような <b>応力可視化技術が複合材料にまで発展</b> することを期待する。	単一材料の微小領域における応力の可視化技術は、3DXRD法による結晶粒の方位から応力を推定する方法が2019年に提案されている。複合材料への適用性についても検討されているという話を聞いたが、この手法でどこまで網羅できるかは議論の段階であるとのこと。		応力可視化, 計測技術, 複合材料	中	10年以降	大	中	中
44	ICT・アナリティクス・サービス	大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別	<b>大量の実データの機械学習に基づくメディア生成の真贋判別</b>	メディア生成技術は、既に実データとの真贋の区別がつかない水準に達しているため、その真贋判定は極めて重要である。しかし、生成技術の急速な発展に伴い、年々真贋判定が技術的に困難になっている。	おそらく技術的な対策だけでなく、メディアの扱い（例：司法における扱いなど）自体が変わらざるを得ず、従来我々が真実と疑わなかったメディアを疑わざるを得なくなると思われる。	GAN（敵対的生成ネットワーク）、機械学習、ディープフェイク	中	5年未満	大	大	大
45	マテリアル・デバイス・プロセス	ネオジムや白金などの希少元素を含有せず、高い飽和磁化や保磁力を有する機能性永久磁石材料を設計・製造する技術	<b>希少元素を利用しない高強度永久磁石材料の開発。ネオジムや白金などの希少元素を含有せず、高い飽和磁化や保磁力を有する機能性永久磁石材料を設計・製造する技術。</b> 元素戦略や他国との資源競争の観点からも極めて注目される研究分野であると言える。	理論的側面から、様々な新規永久磁石材料が提案され、材料のスクリーニングや実際にそれらを作製するプロセスの最適化段階にあると言える。		新規永久磁石, 元素戦略, 機能性永久磁石	高	5年未満	大	やや大	やや大
46	農林水産・食品・バイオ	野生動物にロガーを装着するバイオリギング技術に人工知能を搭載し、野生動物への介入を含む細やかなロガー制御を行う技術	<b>野生動物にロガーを装着するバイオリギング技術に、人工知能を搭載し、こまやかなロガー制御を行う技術</b> が注目されている。	・AIによる記録の制御 ・AIによる野生動物への介入（未）	介入機能の搭載。	バイオリギング, 野生動物, 介入	高	5年未満	やや大	中	やや大
47	健康・医療・生命科学	PCRや抗体・抗原検査とは異なる、新しいウィルス等の検査技術	<b>PCR、抗体・抗原検査とは異なる新しいウィルス等の検査技術</b> の研究開発。	検査方法の感度を上げている段階	原理からインターフェースまで一気通貫による検査キットの刷新。大量生産技術。大規模テスト環境の構築。	ウィルス, 検査キット, リガンドバインディングドメイン	高	5年未満	やや大	大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
48	環境・資源・エネルギー	海底鉱物資源、特にレア アース・コバルト・ニッケ ル資源開発のための各要素 技術のシステム設計及び商 業化	<b>海底鉱物資源、特にレアアース・コバルト・ニッケ ル資源の開発技術</b> 。具体的には南鳥島沖のレアア ース泥やマンガノジュールを対象とする。カーボン ニュートラルに向けた動きが国際的に加速する中、 最も重要となるのは磁石と電池の原料となる資源の 長期安定的確保である。磁石はEVのモーターや風力 発電の発電機等に用いられるレアアース(ネオジム) 磁石が産業上は不可欠であり、ネオジム・ジスプロ シウム確保が必須である。電池はリチウムイオン 電池やニッケル水素電池に用いられるコバルト(LIB の正極材)やニッケルが必須のマテリアルとなる。こ れらはいずれも、少数の資源国(中国、インドネシ ア、フィリピン、中国が鉱山権益の大半を確保して いるアフリカ諸国等)により世界生産の大部分が賅わ れるリスクの高いレアメタルである。新規供給源と して海底鉱物資源が有望視されており、実際に南鳥 島周辺等では経済性が期待できる品位の資源(レア アース泥・マンガノジュール)が確認されている。 その開発技術の早期確立が急務である。	SIPおよび〇〇【独立行政法人名】による要素技術 の開発が進行中。ただし商業化に適したシステム設 計は未達成。想定対象海域における技術実証試験も 未定。	大水深海底で採鉱を行うための機器と制御システ ム、海面まで連続的に揚鉱するシステム、および効 率的な選鉱・製錬技術。開発時の環境影響モニタリ ング手法の体系化と技術開発を含む。	海底鉱物資源活用、レアメタル、深海対応の採鉱機 器、6m級リフトシステム、深海での遠隔操作技術、 深海環境モニタリング、多種類金属酸化物の効率 的製錬技術、海底資源探査技	高	5年以降10 年未満	大	大	大
49	健康・医療・生命科学	光・磁気・音波による生命 現象の操作技術 (optogenetics、 magnetogenetics、 sonogenetics)	光・磁気・音波による生命現象の操作技術	optogeneticsは既に実用段階にあり、今は臨床応用 への開発が進んでいる状況である。その一方で、 magnetogeneticsやsonogeneticsは基礎研究分野に おける技術確立も未だ達成されているとは言え難 く、これからの発展が見込まれる分野である。		optogenetics, magnetogenetics, sonogenetics	高	5年未満	大	やや大	やや大
50	環境・資源・エネルギー	高解像度気候モデル及び気 候変動から生物の応答を予 測する海洋物理・生物結合 モデル	<b>高解像度気候モデル、海洋物理・生物結合モデル</b> 。 地球温暖化や数十年スケールでの気候変動が進む 中、海洋生態系にどのような影響があるか、そし て、海洋生物資源がどのような変動をするかを把握 することは急務である。高解像度気候モデル、そし て、気候変動から生物の応答を予測する海洋物理・ 生物結合モデルは、現在も開発が進んでいるが、今 後もその重要性を増すと考えられる。これらの数理 モデルの出力の精度は、様々な生態系応答の研究の 妥当性に直結するため、影響力も大きい。	高解像度気候モデル、そして、気候変動から生物の 応答を予測する海洋物理・生物結合モデルは、現在 も開発が進んでいるが、今後もその重要性を増すと 考えられる。これらの数理モデルの出力の精度は、 様々な生態系応答の研究の妥当性に直結するため、 影響力も大きい。	数理モデル自体の発展に加えて、そのベースとなる 現場観測データやモニタリングデータの充実が求め られる。海洋観測・モニタリングは膨大な資金を必 要とするため、効率面から予算削減の対象となるこ とが多い。しかしながら、ベースの情報として、極 めて根幹的なものである。	地球温暖化、気候変動予測、生態系変動予測	中	5年未満	やや大	中	やや大
51	農林水産・食品・バイオ	ゲノム編集やゲノム育種に より昆虫を高速に家畜化・ 改良し、風味の良いタンパ ク質資源として大量飼育し て用いる技術	<b>ゲノム編集あるいはゲノム育種により昆虫を高速に 家畜化あるいは改良し、タンパク質資源として用い る技術</b> 。たとえば、カイコ、コオロギ、ミルワ ーム、イエバエ、ミズアブなどが考えられる。昆虫は 優れたタンパク質資源でありかつ大量飼育による環 境負荷も小さいことから、人口増加による食料危機 問題を解決する有望な未利用資源である。しかし、 これら昆虫には独特の風味等があり、広く普及させ るためには改善が求められる。また、生産コストを 削減するために大量飼育が必要となるが、昆虫種に よっては個体密度増加によるストレスや共食い等の 性質がこれを拒む要因となりうる。そこで、ゲノム 編集あるいはゲノム育種により、昆虫を高速に家畜 化・品種改良する技術が望まれている。	各昆虫におけるゲノム編集技術に関しては、SDN-1 については実用段階にあるかそれに近いと考えら れ、SDN-2やSDN-3については実現できていないあ るいは効率や汎用性が低い等の課題を残す。植物に おけるゲノム育種についてはいくつもの報告がある 一方、昆虫においては取り組みが始められつつある 段階である。また、改変すべき形質にかかわる遺伝 子やQTLはまだ同定されていないものがほとんどで ある。	昆虫食あるいは昆虫そのものに対する嫌悪感が、そ の重要性やメリットの認知により抑制される必要が ある。加えて、ゲノム編集技術についての正しい理 解が社会に浸透し、容認される必要がある。	昆虫資源、ゲノム編集による育種短縮化、ゲノム改 変技術、昆虫の行動制御、ゲノム育種	中	5年以降10 年未満	やや大	やや大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
52	健康・医療・生命科学	バイオものづくりより制御 が安易かつ安定的に有機物 生産が可能な、増殖する人 工分子システムの無生物材 料のみでの構築	<b>増殖する人工分子システム</b> に注目しています。現 在、この世界で増殖するものは生物のみです。しか し、現在無細胞合成生物学が急速に発展してきてお り、タンパク質や核酸といった無生物材料のみから 増殖する分子システムをつくることが可能になって きています。もしそのようなものが達成できれば、 生物に代わる食料やバイオ医薬品などの生産に使う ことができます。人工生命システムを使うことによ り、生物を使ったものづくりよりも制御しやすく安 定な有機物生産が可能となると期待されます。	現状では世界中の複数の研究室で開発が進められて いる段階です。	生物の増殖する仕組みの根本にあるのがセントラル ドグマです。増殖する分子システムをつくるために はまずこのセントラルドグマを無生物で実現する必 要があります。現在のボトルネックは翻訳反応の非 効率性と、リボソームの再構成ができていないこと にあります。ただ、これは人員と研究費をかければ 解決する問題ではありません。  必要な社会的要素としては、人工分子システムで 作った有機物を消費者が受け入れるかという問題が あります。人工甘味料のように忌避反応を起こす人 はいるかもしれません。	合成生物学, 人工細胞, 人工生命	高	10年以降	やや大	大	大
53	都市・建築・土木・交通	統合データとシミュレー ションの融合及びこれらを 下支えるシステム設計に 基づく、防災研究における デジタルツイン	<b>防災研究におけるデジタルツイン</b> 。観測から予測ま でを統合する土台となり、防災能力をさらに引き上 げることに寄与すると期待される、。	防災研究においてひな型になりうるものはいくつか あるが、いわゆるデジタルツインの域に達している ものはまだない。	データの統合及びシミュレーションとの融合、これ らを下支えるシステム設計。	デジタルツイン, 防災研究, 予測	高	5年以降10 年未満	大	大	大
54	マテリアル・デバイス・プ ロセス	トポロジカル半金属におけ る、ディラック電子の持つ 巨大移動度により巨大電気 伝導度を得ることができる ことによる熱電変換効率の 飛躍的向上等、トポロジカ ル物性を利用した熱電変換 材料	<b>トポロジカル物性を利用した熱電変換材料</b> の開発。 熱電変換材料として古くから知られているBi2Te3が トポロジカル絶縁体であることが明らかになって以 来、それ以外のトポロジカル絶縁体やトポロジカル 半金属の探索が進められている。特に後者のトポロ ジカル半金属では、ディラック電子のもつ巨大移動 度により巨大電気伝導度を得ることができ、熱電変 換効率の飛躍的な向上が見込める。熱電材料は、排 熱から電気エネルギーを得ることができるクリーン な熱電発電を可能とすることから、ゼロエミッシ ョン社会の実現に大きく貢献するものと期待される。	トポロジカル絶縁体はBi2Te3以外にもいくつか見つ かっているが、トポロジカル半金属はまだまだ数が 少ない。まずは、理論計算でトポロジカル絶縁体と トポロジカル半金属の候補をスクリーニングするこ とが必要である。候補が見つかったら、それが実際 にトポロジカル物質であることを実験的に示すこと (光電子分光などをを用いる)、そして熱電特性(ゼー ベック係数、電気伝導度、熱伝導度)などを実際に測 定して、トポロジカル半金属の可能性を実証してい くことが必要である。	・トポロジカル物質のスクリーニングに向けた理論 計算のコスト改善 ・トポロジカル物質の合成法および物性測定法の開 発 ・当該研究に対する資金的な援助 ・当該研究を社会実装するための政治的支援	熱電変換, トポロジカル物質, ディラック電子	高	5年以降10 年未満	やや大	やや大	やや大
55	マテリアル・デバイス・プ ロセス	カーボンナノチューブを電 流改善材料として活用し、 コストと性能を満たしたり チウムイオン電池	<b>Li ion 電池の電流改善材料としてカーボンナノ チューブを用いる</b> という技術が注目を浴びていて、 中国、韓国、日本とナノチューブを生産する企業の 増産の計画が発表されている。これは主に電気自動 車の電池材料開発である。	Liイオン電池の性能を決めるものとしてPower densityがある。Power densityは、一度にどれぐら いの電力を消費するかというもので電流の値が大き い方が有利である。電池の内部抵抗を決めているの は、電極とセパレーターの部分であり、そこにカー ボンナノチューブを混ぜることで電気伝導性能を向 上させるというものである。コストと性能をともに 満たすのであれば、かなりの需要を賄う可能性が あり、大きな産業につながると考えられる。	需要と供給のバランス、技術水準の向上とナノ チューブ試料の品質、価格と性能のバランスが、要 素になる。	カーボンナノチューブ, 電気自動車, Liイオン電池	中	5年未満	やや大	大	大
56	マテリアル・デバイス・プ ロセス	従来計算機と量子計算機に よる協調計算のための情報 処理基盤や、その協調計算 を活かした社会に資するア プリケーションの開発に基 づく、従来計算機と協調し た量子計算およびその連携 計算	半導体の微細化による計算機の性能向上が難しいと 言われる中、新たな計算記述として量子計算が注目 されており、量子計算と従来計算の協調が今後の重 要な科学技術になると考えられ、 <b>量子計算およびそ の連携計算</b> について、今後実現を期待している。	現在の量子計算機は、量子ゲート方式と量子アニー リング方式の2つが提唱されている。量子ゲート方 式での計算は現在数ビット程度しか扱うことができな い現状で、通常の計算に利用できるまでにはまだ時 間がかかるかと想定される。現在は、ビット数を増や す段階で、デバイスや量子ゲートでの計算方式につ いての研究段階である。また、量子ゲート方式を従 来計算機で再現し計算する研究も進んでおり、その 上でのアルゴリズム開発等が研究されている。量子 アニーリング方式は、量子ゲート方式に比べ実用化 が進んでおり、現在アプリケーションの実装などの 研究がなされている。	すぐに従来計算機がなくなることは考えにくく、量 子計算機との協調が重要になると考える。従来計算 機と量子計算機による協調計算のための情報処理基 盤や、その協調計算を活かした社会に資するアプリ ケーションの開発が必要である。	量子計算, 高性能計算, 量子アニーリング	中	10年以降	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
57	農林水産・食品・バイオ	粗肥料のみでのウシ飼育に向けた、反すう動物の第一胃（ルーメン）内発酵を人為的に制御する技術	<b>反すう動物の第一胃（ルーメン）内発酵を人為的に制御する技術</b> の開発により、無機窒素化合物から効率的にタンパク質を合成することが可能になり、また、プロピオン酸などの特定の揮発性脂肪酸の生成量を増加させることが可能になる。これらの発酵制御技術が実現できれば、ウシに濃厚飼料（穀物など）を与えずに粗飼料（乾草などの繊維質飼料）のみを与えることで肥育ができるようになり、また、筋肉内交雑脂肪を増やすことができるようになる。現在、粗飼料および濃厚飼料の自給率は、それぞれ、約8割および2割であるため、この技術開発により我が国の自給率は大幅に向上することになる。	現在、同一飼料を与えた場合に、他個体とは第一胃内発酵パターンが明らかに異なる個体が少数見つかっている。このような個体では、第一胃内におけるタンパク質合成量が多く、また、生成される揮発性脂肪酸比が他個体と異なる。現在は、この発酵パターンの違いの原因・仕組みの調査が開始されたばかりで、また、大きな成果は得られていない。	他国ではこのような事例はあまり注目されていないため、世界に先駆けて研究を進める必要がある。従って、全国レベルでの特殊な発酵パターンを有するウシの大規模な調査や研究チームが必要となるため、大規模な人材と資金の投入が必要になる。	第一胃（ルーメン）内発酵制御、非タンパク態窒素化合物、タンパク質合成、浮遊菌、付着菌、揮発性脂肪	中	10年以降	やや大	大	大
58	ICT・アナリティクス・サービス	コンピューティング処理を一つのプログラミング言語や汎用型CPUで行うのではなく特定の応用分野に着目し、処理の大幅な効率化・高性能化と生産性の向上を狙う。ドメイン特化型においては、処理を記述するプログラミング言語の抽象度から、実際の演算を行う回路の構成方式まで幅広くカスタマイズし、無駄なものをそぎ落とし、超高並列な処理が可能となるように工夫を重ねていく。産業界においては、AI分野向けに特化したチップやプログラミングフレームワークの開発が盛んにおこなわれている。開発のための生産性を向上させ、AI分野に限らず、社会的なニーズがある多様な分野への適応が望まれている。	<b>ドメイン特化型コンピューティング技術</b> 。すべてのコンピューティング処理を一つのプログラミング言語や汎用型CPUで行うのではなく、特定の応用分野に着目し、処理の大幅な効率化・高性能化と生産性の向上を狙う。ドメイン特化型においては、処理を記述するプログラミング言語の抽象度から、実際の演算を行う回路の構成方式まで幅広くカスタマイズし、無駄なものをそぎ落とし、超高並列な処理が可能となるように工夫を重ねていく。産業界においては、AI分野向けに特化したチップやプログラミングフレームワークの開発が盛んにおこなわれている。開発のための生産性を向上させ、AI分野に限らず、社会的なニーズがある多様な分野への適応が望まれている。	ドメイン特化型のハードウェアアクセラレータは、産業界においていくつか実用化の事例が見られる。一方、ドメイン特化型のプログラミング言語から処理効率が高い実行可能コードを生成するためにはソフトウェアのレイヤにおける変換技術の高度化が必要であるが、現状では、人間が手作業で変換したほうが性能効率が高いコードが生成される場合が多い。人工知能技術や数理最適化技術を駆使して、人間の手作業での変換をしのぐ性能効率を達成するというブレークスルーが必要である。また、スパコンにおいてどのようにドメイン特化を進めるかというのも重要な研究である。スパコンのハードウェアやソフトウェア開発環境はある程度の汎用性が求められているのが現状であり、どのようにドメイン特化型の考え方を取り入れていくかは、システムデザインの考え方の面でブレークスルーが必要と感じる。	昨今の半導体への関心の高まりもあり、ハードウェアの開発に関しては、IoTや組込み向け、クラウド向けなど民生品に応用できるような製品開発は今後進むと思われるが、個別の応用が成功するかどうかは目的とする性能を達成するソフトウェアの開発が低コスト且つ短期間でスムーズに進められるかという要素も大きい。また、ソフトウェアの面の研究も重要である。同様に、処理のプラットフォームとして、スパコンのインフラは年々重要になっているが、スパコンの利用に関してはまだ一部の専門家が占有的に使っているのが実状であるため、技術普及や利用の民主化を進め、多様なブレークスルーを引き金となるべきである。ドメイン特化型を可能とする現実的に使いやすいハードウェアの開発とその共同利用の方式の面でもブレークスルーが必要であろう。	低消費電力な情報処理、ドメイン特化型コンピューティング技術、スーパーコンピュータ	高	5年以降10年未満	大	大	大
59	マテリアル・デバイス・プロセス	細胞内液体相分離に特化した分析方法・技術に基づく、細胞内液体相分離現象の理解と制御	細胞内液体相分離現象の理解と制御	現象の理解と制御法の確立は基礎研究から医学まで広く重要であるが、細胞内液体相分離に特化した分析方法・技術はまだ十分に確立されておらず、体系的な理解・応用にはほど遠い。	基礎科学研究への手厚いサポート	液液相分離、相分離、細胞内相分離	低	5年以降10年未満	大	不明	不明
60	都市・建築・土木・交通	火災発生の判定精度の向上や誤検知低減技術の確立に基づく、火災発生から消防隊の到着までの現在のリーディングタイム（約7分）がある。火災発生を検知すること自体は検知感度ををさらに短縮する迅速な火災検知・通知システム	<b>迅速な火災検知・通知システム</b> 。火災発生から消防隊の到着までは約7分かかると言われているが、火災による被害、特にそれによる死亡者を減らすためには、このリーディングタイムをさらに短縮する必要がある。火災発生を検知すること自体は検知感度を高めることで可能であるが、現状の技術では誤検知が増大するため検知感度を高めることができない、誤検知を回避しつつ、感度を高めることで、火災発生を迅速に検知し、当事者と消防隊にそれを通知するシステムの実現が期待される。	火災が発生したかどうかを判定する技術は確立されているが、現状のセンサでは誤検知を防ぐため判定感度を高めることができていない。	火災発生の判定精度の向上や誤検知低減技術の確立などの要素技術の進展が必要である。	火災、社会安全、誤検知低減	中	5年以降10年未満	中	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
61	ICT・アナリティクス・サービス	マウス操作と同等速度かつエラー率や使用負荷も低い、タッチ操作に変わる実用的視線インタフェース	<b>視線計測技術</b> は人がどこを見ているのかをカメラなどによって計測する技術である。視線計測はこれまでも行動科学分野で活用されてきているが、一方でそれは「人を理解する手段」の一つであった。2010年代になり、視線計測装置の低価格化やオープンソースでの視線計測装置などの登場により、視線計測は人を理解する手段の一つから、コンピュータの操作インタフェースの一つとして注目されるようになってきた。2017年には〇〇社がWindows 10において視線計測装置を標準でサポートするようになり、視線インタフェースはコンピュータの利用手段として定着した。2020年代になり、バーチャルリアリティ (VR) 用のヘッドマウントディスプレイ (HMD) に視線計測装置が搭載されるようになり普及が始まった。通常のコンピュータ利用の場面においても、視線インタフェースの活用事例が増えてきており、同時に視線インタフェースの技術開発に関する研究が急速に発展してきている。ユーザインタフェースの研究領域であるヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) においては、 <b>視線インタフェース</b> に関する研究発表の件数が日本国内だけでなく、世界的に増えてきている。	視線インタフェースは手足を使わずにコンピュータを操作することができるため、歴史的に身体の不自由な人のための技術であると考えられてきたが、一方で視線インタフェースの低価格化およびバーチャルリアリティでの利用活用により、健康者においても広く普及の兆しがでてきた。一方で、現代の視線インタフェースはタッチ操作やマウス操作よりも低速であり、エラー率が高く、使用負荷が高いことが知られている。このため、これらの弱点を克服するべく、数多くの視線インタフェースが提案されてきている。視線インタフェースは、将来タッチ操作に変わるインタフェースであると考えられており、その技術開発に関する研究は多くなく、特にタッチ操作インタフェースで世界をリードした日本であるが、視線インタフェースはそのような状況にはなっていない。	日本国内においては、視線インタフェースは研究領域としてまだ認知されておらず、まだ個々の研究者が細々と研究開発を行っている段階である。企業においては全くといって良いほど注目されておらず、学术界がリードして研究を進める必要がある分野である。また、視線計測技術は、実用的なインタフェースとなるための壁がまだ数多く残されており、要素技術の開発についても進展が必要である。視線計測技術とインタフェースの社会的な普及の実現に向けては、研究コミュニティの創成、実用的なインタフェース技術の開発、企業による普及に向けた製品開発など、数多くの必要な要素が残されている。	視線インタフェース、バーチャルリアリティ、視線計測技術、ユーザインタフェース、ヒューマンコンピュータインタラクション	高	5年以降10年未満	大	大	大
62	マテリアル・デバイス・プロセス	熟年の触媒設計の技術を人工知能により設計できる、触媒インフォマティクス	触媒インフォマティクス	データが出揃い熟年の触媒設計の技術が人工知能により設計できるかという段階。		機械学習, データベース, 自動化	高	5年以降10年未満	大	大	大
63	健康・医療・生命科学	ウイルスベクターによる遺伝子改変を利用して細胞の性質を容容し、細胞自体を医薬品として応用する技術	<b>細胞自体を医薬品として使う技術。ウイルスベクターによる遺伝子改変を利用して、細胞の性質を容容し医薬品として応用する技術。</b>  現在すでに（限定的ではあるが）実用化されている。具体的には、がん患者から免疫細胞（T細胞）を取り出し、がん細胞の抗原を認識するように改変し、再び患者の体内に戻してがん治療を行う手法。今後、iPS細胞やナチュラルキラー細胞などの利用も盛んになり、また、他人の細胞（他家細胞）由来の細胞医薬品も、広く用いられるようになると思われる。	現在すでに（限定的ではあるが）実用化されている。がん患者から免疫細胞（T細胞）を取り出し、がん細胞の抗原を認識するように改変し、再び患者の体内に戻してがん治療を行う手法。	要素技術自体は完成されているが、製造プロセスとして統合し最適化する必要がある。また、他家細胞医薬品の使用に関しては、倫理的な取り決めも必要となる。	細胞医薬品, CAR-T細胞療法, 遺伝子操作を加えた免疫細胞, がん細胞療	中	5年未満	やや大	大	大
64	農林水産・食品・バイオ	①植物プランクトンを活用したブルーカーボン等、多岐に渡るブルーカーボンの小型で安価な高精度計測装置 ②ICTによる漁場の予測及び養殖のスマート化	<b>スマート水産業とブルーカーボンオフセット。ICTによる漁場の予測や養殖のスマート化だけではなく、海洋資源や環境の管理・予測技術</b> についても開発が急務である。また近年注目を浴びているブルーカーボンについても、海藻だけではなく広義のブルーカーボン（植物プランクトンなどを含む）を計測する技術のみならず、国際協力、制度設計も同時に進める必要がある。	特に海中においては技術的なハードルが高く、水圧、塩分、附着物、通信の難易度の高さなどの問題から、網羅的なデータの取得が困難。ブルーカーボンは海藻だけではなくプランクトンや海生生物によっても固定化されるが、正確な資源量を把握することが難しい。衛生やドローンなどを用いて予測が行われているが、誤差が大きい（6割程度）。国際的にも海洋国である日本がイニシアティブを取るべき分野であると考ええる。	多岐に渡るブルーカーボン計測技術の精度の向上 ブルーカーボン オフセットに関して、科学的根拠に基づく法整備と国際協調。  海中における通信技術 海水の塩分、酸素、温度、pHなどを測定できる技術はあるが、研究用途であり、事業者等での普及が進まない。安価で小型な測定装置が必要と考える	スマート水産業, ブルーカーボン, 資源管理, 国際協力, 制度設計, ブルーエコノミ	低	5年以降10年未満	大	大	大
65	環境・資源・エネルギー	膜状の共有結合性有機構造体(covalent organic framework)を活用した、特にCO2を対象とする分離技術	<b>共有結合性有機構造体(covalent organic framework)による分離技術。</b> 特に、CO2等	粉体のみで、膜が作れなかったが、最近作る技術が発展している。	要素技術の進展	共有結合性有機構造体, 膜分離, 二酸化炭素	高	5年以降10年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
66	健康・医療・生命科学	医用画像等の診断情報に基づき、その場でのAIによる解析を含むシミュレーションを行い、治療未実施時のリスクや治療リスクを求められるテラーメイドシミュレーションシステム	<u>テラーメイドシミュレーション</u> 。 <u>医用画像等の診断情報に基づき、その場でのAIによる解析を含むシミュレーションを行い、治療未実施時のリスクや治療リスクを求められるシステム</u> 。既に工学者が研究レベルとして実施してはいる。しかし、計算に時間を要すること、計算には工学的な専門知識が必要なこと、そもそも研究量も多くなく、得られた計算結果に十分な信頼がないこと、研究にはよくてもメーカー側に利益があるような点が見いだせないこと、等から実用化に至っていないと思われる。計算機機能の向上と、ソフトウェアの向上、医工学の発展により、実現は可能になると信じている。	研究レベルであり、技術的にはほぼ可能だが、データ数の不足と導入へのバイタリティ不足があると思われる。	計算機機能の向上と、ソフトウェアの向上、医工学の発展、必要性の共感によるデータ量の向上により、実現は可能になると信じている。	テラーメイドシミュレーション、移行連携、人工知能	中	10年以降	あまりなし	中	やや大
67	健康・医療・生命科学	高齢化社会によって急増する疾患等を対象とする、力の関わる疾患のメカニズムの解明に基づいた医療（メカノメディスン）	<u>力の関わる疾患のメカニズムを解明し、それに基づいた医療（メカノメディスン）</u> に注目している。生体は常に何らかの力に曝されており、その受容が生体の恒常性維持に重要であることが古くから知られている。過大または持続的な力の負荷や需要機構の破綻は、心疾患や筋萎縮などの疾患と深く結びついている。疾患の発症メカニズムを明らかにし、得られた知見に基づいた疾患の診断や予防、治療は、従来の医療とは一線を画すものになることが期待されている。メカノメディスンの対象となりうる疾患は、高齢化社会によって急増しており、今後重要性がさらに増すと予想される。	メカノメディスンの基礎分野となるメカノバイオリジー分野は、革新的先端研究開発支援事業（メカノバイオリジー機構の解明による革新的医療機器及び医療技術の創出）に採択されるなど、その発展は目覚ましい。力を感知するメカニズムについては、分子の同定が進んでいるものの、得られた知見を医療に応用する研究成果は今だ不十分である。		メカノメディスン、メカノバイオリジー、エクササイズビル、バイオマテリアル、再生医療	中	10年以降	大	やや大	やや大
68	宇宙・海洋・地球・科学基盤	震源域で起きる現象の理解促進、機械学習などを用いた観測データ解析技術の向上に伴う、地震発生を確度高く予知する技術	地震発生予測の技術	地震発生を確度高く予知する事は困難であるが、地震発生に先立ついつもと違う異常は捉えることができそうであることが分かってきた。北海道沖と南海トラフで起きる巨大地震は国難と考えられ、震源域の直上で海域観測がより進む。そのことにより、震源域で起きる現象の理解が進み、さらに、機械学習などを用いた観測データを解析する技術が向上して、異常を捉える可能性を上げる研究が進む。		スロー地震、南海トラフ地震、海域観測	高	5年以降10年未満	大	大	大
69	マテリアル・デバイス・プロセス	安価で高容量な硫黄を正極、ケイ素を負極とした蓄電池	安価で高容量な硫黄を正極、ケイ素を負極とした蓄電池	実証に向けたデモタイプでの試作電池が世界的にプレスリリースされている。日本でも日経エレクトロニクスで取り上げられている	実電池に向けた工場設計	高容量蓄電池、硫黄電池、シリコン電池	高	5年未満	やや大	大	やや大
70	マテリアル・デバイス・プロセス	鉛フリーでかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池の開発及び低コスト生産	2050年のカーボンニュートラルの実現にむけて、グリーンイノベーション基金事業の一環として <u>ペロブスカイト太陽電池の開発</u> が検討されている。当該太陽電池はシリコンよりも軽量化が可能であり、ビル壁面などのこれまでにない利用方法ができると注目されている。また、その製造は塗布技術で行えるため、生産の簡便さも期待されている。将来的なエネルギー問題の解決には再生可能エネルギー利用が不可欠であるが、日本では太陽光パネルを設置できる平地面積がすでに飽和状態にあり、太陽電池の新たな利用方法を開拓することが求められている。ペロブスカイト太陽電池は軽量でフレキシブルのため、様々な新規応用が可能であると考えられる。	ペロブスカイト太陽電池は近年世界的にも精力的に研究されている。実用化にむけた課題は耐久性であり、光に性能が劣化するという太陽電池においては致命的な問題を抱えている。既存のシリコン太陽電池は20～30年程度の耐久性があるが、ペロブスカイト太陽電池の場合は長くても数年程度である。また、現状では発電効率の高いペロブスカイト太陽電池で耐久性の長いものはあまり報告されていない。また、高効率を得るためには鉛を用いることも問題視されており、環境配慮に向けて鉛フリーでかつ高効率・長期信頼性を有するペロブスカイト太陽電池を開発することが研究テーマとなっている。	将来的にペロブスカイト太陽電池を生産するうえで中国との競争になることが考えられる。シリコン太陽電池の歴史を辿ると、かつては日本国内のメーカーが世界シェアをリードしていたが、やがて価格面で中国企業に対抗できなくなり、日本国内では価格競争に敗れた多くの製造メーカーが太陽電池の生産から撤退した。ペロブスカイト太陽電池も同様のことが起きると懸念されており、シリコン太陽電池の歴史を繰り返さないための対抗策を備える必要がある。	ペロブスカイト、太陽電池、カーボンニュートラル、再生可能エネルギー	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
71	環境・資源・エネルギー	化学（膜、触媒等）、物理（燃焼、計算等）、微生物（複合微生物によるNH4+への変換等）の要素技術進展及び産学官連携に基づく、廃水からNH4+（エネルギー）への変換・回収技術	廃水からNH4+（エネルギー）への変換・回収技術	化学（膜、触媒等）、物理（燃焼、計算等）、微生物（複合微生物によるNH4+への変換等）の分野を中心として、要素技術の開発が続けられている。	産学官の連携が不可欠であり、産業界が本格的に参入する意識を高められるよう、学・官での要素技術の研究進展の推進が求められる。	NH4変換, 反応性窒素, CO2削減	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
72	農林水産・食品・バイオ	生産スケールアップや安定の製造などの技術に基づく、動物由来の食肉と同等あるいはそれを上回る品質かつ目的に合致した任意の構造の培養肉生産法	<b>動物飼育由来の食肉を代替する培養肉生産法の確立。</b> 食用肉の消費において、倫理的な問題に加え、動物の飼育に伴う多量の二酸化炭素排出が与える環境負荷が問題視されている。近年、動物の可食部分の細胞を人工的に培養することで、動物由来の食肉の代替品を作り出そうとする試みが活発に進められている。2022年時点で培養肉を利用した商品開発に取り組むスタートアップ企業が世界で数十社以上存在し、既に調理可能なサイズの培養肉の生産を実現している。細胞の由来を選択することで、多種多様な動物の培養肉を製造することができると、将来的に人が消費する食肉を広く置換することが期待されている。	これまでは、細胞を均一に培養して積層した、いわゆるミンチ状の肉が主に生産されていたが、最近になって、細胞の3Dプリンティング技術を駆使することで、筋組織の配向制御や脂肪・血管などの組み込みにより、サシの入った和牛様の複雑な構造を再現する技術が報告された（Nature Communications, 2021, 12, 5059）。このように、組織工学の最先端技術を利用することで目的に合致した任意の構造の食肉を生産できるようになりつつある。その結果、質の高い食肉を得るために、動物や環境に高い負荷をかけて品種改良や飼育をする必要がなくなることが期待されている。	培養肉を加工した食品を実際に目にしたり食したりすることが可能な機会が増えつつあり、同時に昨今の持続可能な社会に対する関心の高まりから、従来の食肉の代替として培養肉を受け入れる素地が世界的にできつつある。しかしながら、現時点では培養肉を生産するためのコストが著しく高いため、現在の食肉の消費量を置き換えるには程遠い状況にある。培養肉商品が社会に広がるためには、培養肉生産をスケールアップするための技術開発に加え、動物由来の食肉と同等、あるいはそれを上回る品質の食肉を安定的に製造するための技術開発が必須である。	細胞プリンティング, 環境負荷低減の生産, 培養肉製造	中	5年以降10年未満	中	大	大
73	宇宙・海洋・地球・科学基盤	地球で枯渇する必須資源を宇宙（月の水資源、小惑星の鉄やプラチナ）から得たり、人類の生活圏を宇宙に拡張させることを目指す、資源探索・採掘及び地球への持ち帰り技術	人間活動にともない、地球上の生活可能域、生活に必要な各種資源が枯渇してきている。その危機は現在でも表面化しており、人類存続にかかわるレベルの危機も数十年～百数十年後に近づいている。これらの問題に対応する形で、 <b>宇宙資源学及びその技術は、地球で枯渇する必須資源を宇宙から得たり、人類の生活圏を宇宙に拡張させることを目指す科学技術</b> である。ビジネス的にも数兆円の規模と推察されている。 <b>日本が展開可能な例1：月に60億トン近く眠っているとされる「水資源」の利用。</b> 宇宙船や人工衛星のエネルギーを月から供給することが可能となりさらに、月面で人が暮らすための飲料水や燃料電池としての活用にも期待できる。また、月では建材として利用できる灰長石、鉄などの鉱物も利用出来る可能性が評価されている。 <b>例2：鉄やプラチナを含む小惑星の利用。例3：探査衛星を利用した探査技術。</b> 探掘技術は不可欠であり、日本は世界でもトップクラスの技術を有している。	人間活動及び地球環境の維持に必要な資源が探査活動により、宇宙の小惑星などに存在することが明らかになっている。彗星等の探査で日本も貢献している分野である。また、各種望遠鏡を利用した資源探査技術が確立されている。しかしながら、資源利用を可能とする、採掘技術、地球へ持ち帰る技術の開発はスタート段階である。日本は、Robot技術は世界トップレベルであるので、宇宙資源開発に舵を切ることで、これらの基本、応用技術を活用し、一気に実用段階に展開可能と推察される。さらに、宇宙の水利用また燃料電池への展開は、採取技術が完成すれば、自動車分野の日本が世界トップクラスの既往技術の適用が可能となる。	宇宙資源の利用についての法体系の構築も、各種国際関連法が成立しているが、主要国が署名していないなど、普遍的なルールに基づく法制化には今後世界各国との調整が必要となり、我が国でも専門家の育成が重要である。日本は、衛星の打ち上げ、小Sampleの回収技術はトップクラスであるが、惑星上で活動するローバー技術に関しては実用化に至っていない。今後、発展させるべき要素技術であり、日本のRobot技術を体系化すれば対応可能と考えられる。このほか、日本は地熱や海底探査技術、資源の有効利用加工技術などに関して先進的な技術を要しており、それらの宇宙資源探索へ目をむけ、それらの体系化を行うことで、すみやかな実現化が可能である。	宇宙資源, 資源枯渇, 人類存続	低	5年以降10年未満	大	大	大
74	マテリアル・デバイス・プロセス	生命がもつ遺伝子プログラムの根本からの再設計により新たな生物システムを構築し、新しい薬や燃料などの高レベル生産が可能な全く新しいタイプの生命を創り上げる技術	<b>生物の遺伝子プログラムの書き換え技術</b> 生命がもつ遺伝子プログラムを根本から再設計することにより、新たな生物システムを構築して、全く新しいタイプの生命を創りあげる技術。再設計された動植物や微生物を利用して、新しいタイプの薬、燃料などを生産する。	既に科学研究費学術変革領域Aとして採択されているが、有機合成化学者が満足するようなレベルでの実現には一層の試行錯誤が必要である。	これまでの有機合成化学の「匠の技」的な知見や方法を、如何に人工知能で解析可能なデータに落とし込むかは必須要素である。	デジタル有機合成, 人工知能, 実験科学と情報科学の融合	中	5年以降10年未満	大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
75	健康・医療・生命科学	α線をういて病変患部にピンポイントで薬物を届ける技術の安定的運用、入手可能な核種の拡大、抗体薬物複合体技術の活用による、高効果かつ低副作用薬物	<b>核医学、特に効果が大きいα線を病変患部にピンポイントで薬物を届ける技術。</b> α線は強力な効果を持つ一方、飛程距離が短いため、適切な患部への送達が必要である。 211Atに代表されるアルファ線放出核種製造拠点が整備されつつある。 製造拠点が整備され、今後医療への展開が期待される。 また、より半減期の長い核種への展開も必要であろう。  例えば、抗体薬物複合体技術は現在、成果を上げつつあるが、抗体薬物複合体技術の手法を核医学に展開することができる。 診断に用いられているγ線と統合することで、核種を変換することで診断と治療の両方を行うことも可能である。 今後新しい概念を導入することにより、より効果の高く、副作用の少ない薬物が開発されるであろう。	α線核種製造拠点が整備された段階。 今後医療への展開が期待される。 安定的運用、入手可能な核種の拡大とともに、医療応用に向けた研究が開始されている。	社会的にはラジオアイントープ（核）に対する不安を取り除くなどの社会的要因を醸成すること。 原子力発電所を利用するなどしてRI製造のコストダウンをおこなうこと。 核医学推進のためのレギュレーションと法的整備を整えること。 法的根拠に基づいて、機器、設備を開発すること。	DDS (Drug Delivery System), リアルタイムイメージング, radio isotope 治療, アルファ線, 抗体医薬品, 加速器, 原子核	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
76	健康・医療・生命科学	遺伝子発現制御にかかわるヌクレオソーム上の化学修飾を自由に導入し、その物性や細胞導入による機能解析	遺伝子発現制御にかかわるヌクレオソーム上の化学修飾を自由に導入し、その物性、並びに細胞導入により機能解析を進めようとしている <b>化学修飾を導入したたんばく質の合成、並びにそれをもちいた機能解析</b> が進んでいる。 具体的には、遺伝子発現制御にかかわるヌクレオソーム上の化学修飾を自由に導入し、その物性、並びに細胞導入により機能解析を進めようとしている	化学合成法は、完成している。 細胞内導入系を、検討しているところである。 また、物性の評価システムも検討しているところである	私たちの体には、様々な外的、内的因子により制御されている。 特に、遺伝子発現制御は、疾患の基盤ともなることから、大きな社会的影響力がある。  外国が手が付けていない領域に攻め込み、研究だけでなく、パテントの確保も狙うため、非常に多様な組み合わせがあることから、多くの人材・資金を導入して速やかに、プロジェクトを形成して展開する必要がある。	histone, lipid mofication, gene expression	高	5年未満	大	大	大
77	環境・資源・エネルギー	二酸化炭素排出量減少に向けた、再生可能エネルギーによるアンモニア製造及び従来の燃料の100%アンモニアへの置き換え	アンモニアを燃料としたガスタービンなどの発電装置は、稼働時に二酸化炭素を排出しない、現在は、燃焼を安定させるために従来の燃料にアンモニアを混ぜて燃焼させることで、二酸化炭素の排出量を減少させることが可能となっている。 <b>太陽光などの再生可能エネルギーによってアンモニアの製造</b> が可能になれば、二酸化炭素の排出量を大幅に減少させることが可能となる。さらに、従来の燃料を100%アンモニアに置き換えることができる。ば、アンモニアはカーボンフリーの燃料になることができる。	アンモニアの混焼技術は企業で開発が行われている。 今後、アンモニアの直接燃焼は、研究所で実現されている。 再生可能エネルギーによるアンモニアの製造技術は、研究途上である。	発電におけるエネルギーミックスの中にアンモニア燃焼が取り入れられるような、社会的な合意形成が必要と思われる。	アンモニア直接燃焼・混焼技術, 再生可能エネルギーによる水素・アンモニア合成, 余剰電力による燃料合成 (e-Fuel)	中	5年以降10年未満	大	やや大	大
78	都市・建築・土木・交通	氾濫域も含め流域全体で水害を軽減させる流域治水の技術	<b>氾濫域も含め流域全体で水害を軽減させる流域治水の技術。</b>	多方面から研究が行われ、社会実装も進んでいる。		Eco-DRR, グリーンインフラ, 気候変動×防災	中	5年未満	やや大	大	大
79	マテリアル・デバイス・プロセス	分子間の非共有結合を駆動力に秩序だった構造体を創生する超分子化学の技術を活用した、共有結合では実現できない機能材料	<b>超分子化学：分子間の非共有結合を駆動力に、秩序だった構造体を創生する技術。</b> 20世紀後半にクラウンエーテルの発見とともに誕生した学問領域で、基礎科学として発展を遂げてきた。構造的な美しさなど学術的な興味に留まらず、共有結合では実現できない機能材料への展開がなされている	近年、超分子化学の学理が十分に発展し、分子レベルのデザインを巨視的な材料の性質に反映させることも可能になりつつある。	日本にける超分子化学の研究レベルは非常に高いが、その研究者が共通して所属する学会はなく、十分な情報共有がなされていない。近い将来に必ず出現する産業化へのプレイクスルーに備え、産学官の超分子化学の研究者が広く集うことの出来る学会プラットフォームの整備が必要。	自己集合, 自己組織化, 超分子	高	5年以降10年未満	大	大	大
80	ICT・アナリティクス・サービス	辞書構築・翻訳技術や手話のCGを用いた、手話解析及び生成	手話解析、生成	手話のCG	辞書構築、手話は多言語なので翻訳技術が必要	手話, 人工知能, 辞書	低	5年未満	中	中	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
81	ICT・アナリティクス・サービス	従来法である「視線入力」に限らず、どこに注目をしているのかを表す「視線共有」による、参加者の注意や興味といった雰囲気についての共有	コロナ禍の中、様々な業務においてデジタル化が進められ、オンラインでのコミュニケーションが通常となりつつある。オンラインに最適化された業務形態に移行しつつも、実際には対面を求めている傾向にある。これは、現在の科学技術は、人間が対面で接している情報共有に到達しておらず、科学技術にかけるコストよりも対面の方がはるかに安価で高品質であると考えられる。本来、人間同士は、同じ空間で視線や表情といった言葉以外の情報で信頼関係を構築していることから、その科学技術が対面とほぼ等価となって初めてオンラインでも満足できると考えられる。したがって、 <b>人間が知覚しうる存在感や視線といった高品質な情報通信技術の確立</b> が必要であると考えられる。中でも、視線については、情報共有や意思統一を行う上で、重要な役割を果たすことから、従来法である「視線入力」に限らず、どこに注目をしているのかを表す「 <b>視線共有</b> 」が <b>オンラインでのコミュニケーションにおいて必要な技術</b> となりうると予想される。この「視線共有」によって、参加者の注意や興味といった雰囲気についても共有できると考えられる。	視線計測を行うための基礎的要素技術については確立されているものの、存在感を表現するロボットや、視線共有を行うための仕組みについては、様々なアプローチが検討され始めた段階で、どのように設計すればよいのかを模索している段階である。	視線計測によって得られた情報をどのようにロボットへ反映させるのか等、人の意図や欲求を推定したモデリングが必要である。	テレプレゼンスロボット、視線インタフェース、雰囲気	高	5年以降10年未満	大	やや大	大
82	マテリアル・デバイス・プロセス	電気自動車やスマートシティなどに活用可能な、リチウムイオン電池を大幅に上回る容量の金属-空気電池	<b>金属-空気電池</b> 現行のリチウムイオン電池を大幅に上回る容量が期待される。電気自動車やスマートシティなどに不可欠の技術となると考えられる。	現段階ではリチウムイオン電池で実現しているほどの繰り返し充電・放電や、高速充電・放電には至っていない。		電池、燃料電池、発電・蓄電	高	5年以降10年未満	やや大	大	やや大
83	健康・医療・生命科学	ゲノム編集の応用によって狙った遺伝子領域のエピジェネティクス状態を生きたまま変更し、自由な細胞分化の促進やがんなどの病気を抑制する技術	<b>ゲノム編集を応用した方法により、狙った遺伝子領域のエピジェネティクス状態を生きたまま変更する技術</b> の開発が進められている。 すでに培養細胞や受精卵でも成功例が報告されており、細胞の運命を制御できるようになってきた。今後さらに精度が上がれば、自由に細胞を分化させたり、ガンなどの病気を抑えたりできるようになるかもしれない。	上述の通り	遺伝子領域の特異性向上 オフターゲットの減弱 エピジェネティック修飾酵素の活性制御 細胞内での発現制御 などの技術向上が必要	エピジェネティクス、ゲノム編集、x x	高	5年以降10年未満	大	大	大
84	農林水産・食品・バイオ	植物において、遺伝子組換えを経ない遺伝子操作技術	<b>植物において、遺伝子組換えを経ない遺伝子操作技術</b> 。ゲノム編集をタンパク質、ガイドRNAの導入により行う方法、またゲノム形質転換後に交配によりヌルセグリガント化する方法も単離までに時間はかかるが非遺伝子組換えとなる。RNAやタンパク質を細胞内に送り込む方法も複数開発されている。例えば細胞透過性ペプチドCPPを基盤とした導入技術は「スプレーで植物を改変」としてプレスリリースされている。〇〇【国立研究開発法人URL】 これを用いればmicroRNAやsiRNAを用いた非遺伝子組換えによる一過的な遺伝子サイレンシングも可能。	〇〇社の高GABAトマトなどのように既に上市されたものを含め、実証事例が蓄積しつつある。		非遺伝子組換え、ヌルセグリガント、ゲノム編集	高	5年未満	大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
85	健康・医療・生命科学	細胞内相分離現象と疾患の分子メカニズムの解明に基づく、細胞内相分離の制御による細胞内の生命現象制御	細胞で相分離により形成される液滴は、神経変性疾患の細胞毒性を示す凝集体に形成に関わる。また、液滴は転写・翻訳反応やタンパク質会合反応を制御し、重要な役割をもつ。つまり、 <b>細胞内の相分離を制御</b> できれば、細胞内の生命現象を制御できる可能性がある。相分離現象はNature誌やScience誌においてBreakthroughとして選出され、創薬、材料化学等の広い分野から世界的に注目されている。	相分離と疾患の分子メカニズムが解明されつつある。これまで、相分離形成はペプチドやタンパク質が重要な含有物であると考えられてきたが、近年の研究によって、相分離形成には核酸（特にRNA）が重要であることが見出された。またRNAの構造変化（ヘアピンから四重らせんの変化）によって相分離が制御されていることが見出され、核酸構造を制御する人工核酸などのよって相分離が制御される試みが行われている。	相分離を作り出すタンパク質と相互作用する合成高分子や核酸などによって、相分離現象を人為的に制御できる技術の開発。しかし、未だ相分離現象の詳細なメカニズムは不明な点がおおいため、メカニズム解明のための基礎研究が重要である。	相分離、遺伝子発現、核酸、神経変性疾患、がん、ペプチ	高	5年以降10年未満	大	やや大	やや大
86	環境・資源・エネルギー	脱炭素社会に向けた、NOx浄化装置が必要な点や燃焼速度が遅い点を解決した、アンモニアを燃焼させて発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術	脱炭素社会に向けて、 <b>アンモニアを燃焼させて、発電所や内燃機関の熱エネルギーとして利用する技術</b> が注目されています。	大学で研究されている専門家の多くは、基礎燃焼に注目されて研究されている方が多いです。最近では、発電所もしくは内燃機関に搭載することを念頭に、研究を行っている大学も増えてきました。	燃焼速度が遅い点を解決すること、CO2を排出しない代わりに、多量のNOxを排出するため、NOxを浄化する装置が必要になること。	アンモニア、燃焼、脱炭素	高	5年以降10年未満	大	やや大	大
87	マテリアル・デバイス・プロセス	高信頼性や繰り返し自己修復能を有する、低コスト自己修復材料	<b>自己修復する材料</b> 金属、セラミックス、ガラス、ポリマー、エラストマなど様々な材料に関して、“自己修復”の研究がなされている。 現状に関しては〇〇【企業名】の以下のレポートがそれなりに良くまとまっている。 〇〇【企業URL】 一方で、「自己修復」というワード自体がまだ成熟しきっておらず、いろいろな意味で使われる場合がある。一番大きな点としては、「分子構造として元に戻る」のか「機能が元に戻る」のかというところである。 「分子構造として元に戻る」場合には、機能も元に戻っていることが考えられ、「完全な自己修復」とも言えるが、場合によっては「機能が元に戻る」だけでも非常に有用である。例えば、電気配線においては、金属の結晶構造が完全に戻らずとも電気伝導性だけが戻れば充分であるし、光学的な透明パネルであれば、分子構造が完全に戻らずとも透過率だけ戻れば充分である。 このように、言葉も成熟しきっていないが、将来的には実現が期待される科学技術であると言える。	様々な分野で研究が行われているが、研究段階であるものが多い。信頼性や繰り返し自己修復能の他、自己修復機能を付与するための付加的な要素の大小・コストなどが実用化への課題である。	己修復機能を付与するための付加的な要素の大小・コストなど、コストが高くなったとしても、使用寿命が延びることからゴミを生み出さないとといった、環境効率性を重視する社会に進んでいくかどうかとも関係していると考える。	自己修復材料、自己組織化材料、自己治癒	高	5年以降10年未満	大	大	大
88	健康・医療・生命科学	動物細胞だけでなく、植物や菌体由来のものも含めた、細胞外小胞(Extracellular vesicle)の大量精製方法に基づく、その機能や活用方法に関する研究	動物細胞の培養上清に <b>細胞外小胞(Extracellular vesicle)</b> が存在していて、様々な機能を有していることが明らかとなっている。最近では、植物をすり潰したジュースにある小胞や菌体の培養上清など、多くのものから細胞外小胞が見つかっており、その <b>機能やその活用方法に関する研究</b> が進められている。	植物や菌体由来の細胞外小胞の存在が明らかになって、様々な研究が進んできており、基礎研究から応用研究に進んでいる段階ではないかと考えられる。	実用化に向けて大量精製方法の確立が必要である。	Extracellular vesicles (EVs)、植物、菌	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
89	健康・医療・生命科学	自然免疫を刺激するペプチドグリカンミミックな化合物を活用した、自然免疫を制御し感染症を予防する薬剤	自然免疫を制御し感染症を予防する薬剤の開発	自然免疫を刺激するペプチドグリカンミミックな化合物が発見され、細菌感染を予防できることがわかった。そのメカニズムについて明らかになりつつある。	これまでの抗菌薬の臨床試験とは異なる評価を行う必要があるため、そのための評価方法などの整備が必要である。	自然免疫、宿主と微生物の相互作用、感染予防	高	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
90	マテリアル・デバイス・プロセス	高活性・高耐久性の触媒、高導電率・高耐久性の触媒担体、効率的電解セルおよびフローシステムなどを活用した、高効率な大スケール低コスト水電解システム	<b>高効率な水電解システム</b> クリーンな燃料である水素を獲得する技術として、水の電気分解による水素製造が着目されている。一般に水の電気分解には大きな過電圧を要するが、電極触媒を開発することにより過電圧を軽減し、エネルギー効率を高めることができる。高活性かつ耐久性の高い触媒の開発、高導電率かつ耐久性の高い触媒担体、効率的な電解セルおよびフローシステムなどの技術があいまって、高効率な水電解システムが実現されることが期待される。	高効率な水電解システムを実現するための各要素の研究が進んでいる。これらを組み合わせた研究の発展が期待される。	各要素技術（触媒開発、電極開発、電解セル・システムの開発）のさらなる進展に加えて、スケールアップおよび低コスト化技術の開発、大規模実証実験等が必要になると考えられる。	電気化学, 材料化学, 化学工学	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
91	マテリアル・デバイス・プロセス	機械学習によるアプローチとマルチスケールに及ぶシミュレーション法が融合したマテリアルズインフォマティクスにおける、新規マテリアル提案から製造プロセス開発までの一連の流れの確立	<b>データサイエンスを基に構築されるマテリアルズインフォマティクス</b> 。ケモインフォマティクス、プロセスインフォマティクスとしてすでに学会でも研究部会が発足し、方法論について議論されている。また、企業でも取り上げられ一部商品化しているが、新物質の合成や医薬品開発において新薬の創出に大きく寄与する段階ではなく、そのためにはいくつか越えなければならないハードルがある。このハードルを乗り越えるために、機械学習によるアプローチとマルチスケールに及ぶシミュレーション法との融合を進める研究が多く試みられている。	企業との共同研究が進められている段階である。新規マテリアルの提案からそれを製造するプロセス開発まで一連の流れを確立する必要がある。そのために、研究者間、研究者－企業、企業間の連携とそれを統括しながら指揮する体制を構築する段階に進むべきかと思う。	国としてのマテリアル戦略にも掲げられており、全体として注目され、要素技術は既に大きく発展していると思われる。各応用によって異なるデータマイニングを分野を超えて情報共有し、他国に先駆けた方法論を確立できるよう、公的、社会的支援を進めるべき。	マテリアルズ・インフォマティクス, シミュレーション, マルチスケール	高	5年以降10年未満	大	大	大
92	マテリアル・デバイス・プロセス	セラミックス粉末を、固相合成ではなく液相合成と超音波エネルギーを組み合わせることで達成される、ソノケミストリーを用いた材料合成	<b>ソノケミストリーを用いた材料合成</b> 。セラミックス粉末を固相合成ではなく、液相合成と超音波エネルギーを組み合わせることで達成される科学技術	合成できる材料や系は発見されているが、反応エネルギーとしての超音波照射エネルギーの数値化（可視化）が達成されていない	周波数、出力、ホモジナイザーの口径、といったカスタムの幅が狭い。	ソノケミストリー, ホットスポット, ナノ粒子	高	10年以降	大	やや大	やや大
93	マテリアル・デバイス・プロセス	テラヘルツ光、テラヘルツリモートセンシング技術	テラヘルツ光、テラヘルツリモートセンシング技術	研究が継続されており、民間企業は普及段階・アプリケーションを模索している段階です。		THz-TDS, テラヘルツエレクトロニクス, テラヘルツ波, テラヘルツフォトンクス, テラヘルツ通信	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
94	マテリアル・デバイス・プロセス	①高性能な2次元ナノ物質の大量合成方法の確立及びナノ空間制御技術 ②マテリアルインフォマティクスを利用した新規物質の開発	<b>2次元ナノ物質、層状物質の合成法やナノ空間制御技術</b> の開発。 ナノ無機固体物質の多孔化により、高い比表面積と大きな細孔容積を利用して、エネルギーの貯蔵と変換がされる燃料電池、水分解技術、二次電池などの分野において重要な材料となりうるため、その材料開発は極めて重要となる。	国の戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」に基づき、すでに多くの研究がスタートしている。中でも〇〇【国立研究開発法人名】の〇〇先生が令和2年度からERATOプロジェクトを開始するなど、急速に注目を集めており、層状間や物質中のナノ空間を利用した機能創発を目指した研究が行われている。高性能の燃料電池や水素触媒などの実現が期待される。	高性能な2次元ナノ物質の大量合成方法の確立やマテリアルインフォマティクスを利用した新規物質の開発。 新規物質の実際の応用例。	2次元ナノ物質, 多孔体, ナノ空間	中	5年未満	大	大	大
95	健康・医療・生命科学	ゲノム編集を応用した、難病などの遺伝子治療技術	実験室レベルでの <b>ゲノム編集</b> があたりまえの技術となっていることから、今後は <b>難病などの治療として遺伝子治療の技術発達</b> に注目している。	多くの研究機関でさまざまな取り組みが行われていると考えている。		遺伝子治療, ゲノム編集, 再生医療	低	5年以降10年未満	やや大	中	やや大
96	マテリアル・デバイス・プロセス	電子や熱エネルギーの伝搬経路を知った上での物質設計に向けた、物質中の電子の動きや、それにより引き起こされる原子核の動きを実時間でとらえる技術	<b>物質中の電子の動きや、それによって引き起こされる原子核の動きを実時間でとらえる技術</b> 。 とくに、電子や（熱）エネルギーの伝搬経路を知り、その上で物質設計に活かすことにつながると期待できる。	孤立分子や固体での電子の動きが実時間追跡できつつある。原子核の動きまで含めて、総合的に動画像を観測できた例は稀であろう。	超短パルスレーザーや超短パルス電子線技術、高度な光源を維持できる設備・機関	分子動画, アト秒化学, 自由電子レーザー, 超短パルスレーザー, フェムト秒化学	高	5年以降10年未満	大	中	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
97	健康・医療・生命科学	難治性うつ病の治療に繋がる、セロトニン作動性幻覚薬における抗うつ作用・抗不安作用のメカニズム解明	米国食品医薬品局は、セロトニン作動性幻覚薬が難治性うつ病の革新的治療薬になると宣言した。現在、世界では <b>セロトニン作動性幻覚薬における抗うつ作用・抗不安作用のメカニズム解明</b> 研究が進められている。そのメカニズムが解明されれば、難治性うつ病の治療に繋がると期待される。	臨床研究では世界的に幻覚薬が、うつ病患者に治療効果を示すことが多数報告されている。また基礎研究からは幻覚薬投与がマウスの大脳皮質のシナプスリモデリングを正に制御すること、数週間にわたり抗うつ様作用を示すことが明らかになっている。	基礎研究者と臨床医との懸け橋が必要であり、基礎研究者と臨床医のマッチングシステムがあると思う。基礎研究と臨床研究を繋ぎながら臨床で活用できる方法を探る必要がある	幻覚薬, セロトニン5-HT2A受容体, うつ病	高	5年以降10年未満	大	大	大
98	農林水産・食品・バイオ	タバコを穂木とした異科接木あるいはタンパク質の利用（遺伝子導入等）による、環境要因等で栽培しにくい植物の接ぎ木による栽培や、植物の損傷修復等	<b>環境要因等で栽培しにくい植物を、接ぎ木により栽培する方法</b> がある。農業的には接ぎ木する植物の組み合わせが決まっていたが、近年タバコが多くの植物と接ぎ木のマッチングに合っていることがわかった。また接ぎ木に関わるタンパク質（ $\beta$ -1,4-グルカナーゼ）の同定もされており、 <b>タバコ自体の農業における接ぎ木技術への利用、あるいはタンパク質自身の利用（遺伝子導入等）</b> により、農業分野への貢献が見込まれる。またこの発見は接木ばかりでなく植物の損傷からの修復においても有効利用できる。	タバコを穂木として異科接木した際、非常に多くの種と接木ができることがわかっていて。これらにはタバコ属と同じ双子葉草本植物だけではなく、単子葉植物や木本植物に対しても接木できる。接木に関わる酵素（ $\beta$ -1,4-グルカナーゼ）も同定されており、ベンチャーも立ち上がっている。	農業との連携、人材確保	接ぎ木, カルス, タバコ	中	5年未満	大	大	大
99	ICT・アナリティクス・サービス	Explainable AI技術及び可視化された注視領域を効果的に理解する方法	2012年以降、深層学習に基づくConvolutional Neural Network (CNN)は特に画像認識分野において様々なタスクで高い性能を達成している。深層学習モデルがタスクに対して高い性能を実現可能である理由のひとつとして、大量のデータを用いたデータ駆動型アプローチにより、形式知だけではなく暗黙知をモデル化可能であることが挙げられる。しかし、高精度な認識・識別が可能な深層モデルは一般に非常に複雑な構造をしており、どのような基準で判断が下されているかを人がうかがい知ることは困難である。この深層モデルのブラックボックス性を緩和し説明性を高めるため、視覚的な説明性を向上させる技術、いわゆる <b>Explainable AI技術</b> の開発が進められている。AIモデルを理解する取り組みは年々注目度を増しており、様々な判断根拠の可視化技術が提案されており、様々な判断根拠の可視化技術が提案されている。本技術を用いて、工業製品の異常検知などといった比較的人が理解しやすい対象での暗黙知の表出化に向けた取り組みはいくつか報告されている。本技術を足がかりに、人間社会に自然に溶け込むAIの研究開発が加速することが期待される。	これまでに、画像認識タスクに関する視覚的説明の手法はいくつか提案されている。しかし、一般的な視覚的説明の手法は深層学習の注視領域を視覚化することに主眼を置いており、タスクの精度向上に全く貢献していなかった。〇〇大学 〇〇研究室が提案したAttention Branch Network (ABN)は、視覚的説明で得られる注視領域をAttention機構へ応用することで、視覚的説明による注視領域の可視化と精度向上を同時に実現した画期的な手法である。可視化された注視領域をどのように理解するかについてはタスク依存であるため効果的な方法は今提案されていない。	Explainable AI技術による深層学習モデルの説明は高精度なモデルの存在が前提である。高精度なモデルを構築するためには、大量のデータをモデルの学習に用いる必要がある。大量のデータをどのようにして効率的に収集するかについてインフラや法整備を含めて社会全体で検討する必要があると考えている。	説明可能なAI, 判断根拠の可視化, 深層学習	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	中
100	環境・資源・エネルギー	木質バイオマス燃料の効率的利用による、小規模熱供給事業の汎用化	木質バイオマス燃料の効率的な利用、それによる小規模熱供給事業の汎用化	すでにヨーロッパを中心に小型発電機やボイラーの製品化はされ、地域で意欲的に取り組む事例が見られる。しかし、発電機やボイラーの国産メーカーが育っていない、加えて設計施工やメンテナンスのノウハウが不足している。法整備も不十分であり、排気や燃料残渣（灰分）等の適正処理や有効活用の方針が立っていない。燃料となる木質バイオマスのサプライチェーンが途切れ途切れで供給のシステムが確立していない。地域電力会社やそれへの投資を呼び込めるような金融（マイクロクレジットのような）面での制度の整備も必要である。現在の再生可能エネルギー事業は都会の資本が地域から利潤を吸い上げるような構造となっていることが多い。	環境教育の広がり、電力小売の自由化、金融関連の規制緩和（地域に根ざしたマイクロクレジットの育成支援）、炭素税など。	木質バイオマス, 熱電併給, 地域熱供給	低	5年以降10年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
101	環境・資源・エネルギー	①エネルギー自給率の向上のため、地球環境保持のため送電を経ない小規模その場発電技術 ②燃料電池のコンパクト化 ③高容量電池の開発と小型軽量化	1. エネルギー自給率の向上のため、 <b>地球環境保持のため送電を経ない小規模その場発電技術</b> 2. <b>燃料電池のコンパクト化</b> 3. <b>高容量電池の開発と小型軽量化</b>	現在アカデミックではエネルギー利用に関する研究は基礎研究レベルから実装実験に展開されていると思われる。一方企業では社会の要請に応じた省エネルギー化などの改良への努力が続けられていると思われる。地球環境を維持させる必要性は日に日に緊急性を帯びていることは明らかであり、研究者の関心は高いものの、その急な社会要請の変化に研究は追いついていない。	実現に向けて緊急性の高い技術であるものの、大きなプロジェクトにのみ予算を投入するのでは新しい技術が芽生えないために、実用に近い段階も含め、応用、基礎研究とバランスよく研究予算を投じ、関連の基礎化学から土台を作る。 一方で、国内外の連携、共同プロジェクトはその技術の発展に効果的であることから、産学や大学間など多様な連携を強めるように促す。	水素エネルギー、高効率な太陽光エネルギー利用、脱化石燃料	中	5年未満	中	大	大
102	健康・医療・生命科学	iPS細胞あるいは組織幹細胞の移植による臓器再生医療	iPS細胞あるいは組織幹細胞の移植による臓器再生医療	ヒト臨床研究が開始された		細胞移植, 再生医療, 幹細胞	中	10年以降	大	やや大	大
103	マテリアル・デバイス・プロセス	イメージングへ展開可能な増強基板デザインに基づく、光散乱(ラマン散乱)の表面増強効果を用いた微量生体分子の非標識定量・イメージング技術	<b>光散乱(ラマン散乱)の表面増強効果による、微量生体分子の非標識定量・イメージング技術の開発</b>	再現性の高い表面増強ラマン分光計測は可能となりつつあるが、イメージングへ展開するための増強基板デザインはまだこれからの課題である。		光散乱イメージング, 表面増強ラマン散乱, レーザー応用	高	5年以降10年未満	中	中	中
104	マテリアル・デバイス・プロセス	①セラミックス、各種電池電極、化粧品などの固液分散系製品において、必須とされてきた大量の添加剤が9割以上削減可能、高温の熱処理プロセスが不要になるなどの二酸化炭素排出量削減に大きく貢献する技術 ②脆性材料とされてきた各種無機材料にフレキシビリティを容易に付与できる技術	セラミックス、各種電池電極、化粧品などの <b>固液分散系製品において</b> ブレイクスルー技術が提案され、これまで必須とされてきた <b>大量の添加剤が9割以上削減可能、高温の熱処理プロセスが不要になるなどの、二酸化炭素排出量削減に大きく貢献する技術</b> が開発されている。また、 <b>脆性材料とされてきた各種無機材料にフレキシビリティを容易に付与できる技術</b> も開発されている。	まだ技術そのものが提案された段階ではあるが、基礎的な技術は国内で多くの蓄積があり、10年以内には実用化されると考えられる。	既存の技術との共存がある程度は可能なものの、入れ替えに伴う不信心は新規技術にはつきものである、幅広い情報公開が不可欠。	温室効果ガス, 可塑性無機材料, 自己組織化材料	高	5年以降10年未満	大	大	大
105	マテリアル・デバイス・プロセス	金属積層造形(3D printing)の現象解明に基づく、特定の金属の造形に特化した低コスト金属積層造形技術	金属積層造形(3D printing)技術	・清掃造形技術自体、まだまだ十分な現象解明が来ていないため、その解明が必要な点。 ・現在、装置が高コストであるために、簡便に利用しにくいため、コストダウンした装置が作製できるかと言う点。 ・汎用装置ではなく、特定の金属の造形に特化しているなどの装置開発が必要と思われる点。		積層造形, 3Dプリンター, 金属造形	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
106	健康・医療・生命科学	ヒト嗅覚受容体を発現させた細胞をアレイ化し、ヒトが感じる匂い物質をデジタルデータ化するシステム	<b>ヒト嗅覚受容体を発現させた細胞をアレイ化し、ヒトが感じる匂い物質をデジタルデータ化するシステム</b> に注目している。ヒトの嗅覚受容体群は、全部で388種類であり、これらの受容体を発現させた細胞アレイを作製し、単純臭および複合臭に対する応答からデジタルデータ化を行い、匂い情報の記録、保存、複製、伝搬および再生を達成する研究である。	388種類の嗅覚受容体群を発現させた細胞アレイの構築、匂いに対する応答のデータが蓄積されている。現在、〇〇先生(〇〇大学 〇〇研究所 教授)がベンチャー企業(株式会社〇〇)により、人香料の合成、消臭剤の開発等が行われている。	現在、嗅覚受容体発現細胞の匂いに対する応答もとに匂いマトリックスを作成する際に、細胞内カルシウムイオン濃度の変化に伴う蛍光を可視化している。細胞アレイの領域を一括で画像取得しなければならぬので、匂い物質に対する応答を細胞膜電位に基づく電気化学的に変換すること。	生命科学基盤技術, 細胞アレイ, 受容体	中	5年未満	中	やや大	やや大
107	宇宙・海洋・地球・科学基盤	ngVLA (next generation Very Large Array: 次世代大型電波干渉計)計画による次世代電波望遠鏡の整備に基づく、原始惑星系円盤(惑星系が誕生する場)の1天文単位以下の空間分解能での観測	<b>ngVLA (next generation Very Large Array: 次世代大型電波干渉計)計画</b> 。北米に多数のアンテナを配置し、巨大な口径をもつ電波望遠鏡として観測を行う次世代電波望遠鏡プロジェクト。これまでより格段に高感度かつ高分解能での観測が可能となり、例えば、原始惑星系円盤(惑星系が誕生する場)を1天文単位以下の空間分解能で観測し、その構造や物質の分布などが明らかになると期待できる。	2024年頃に建設を開始し、2030年代中盤に本格的な運用を目指している。アメリカ国立〇〇を中心に計画が進められており、日本の〇〇【大学共同利用機関名】も本計画への参画を模索している。		電波望遠鏡, 原始惑星系円盤, 星間分子雲, 系外惑	低	5年以降10年未満	大	あまりなし	あまりなし

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
108	マテリアル・デバイス・プロセス	時空間スケールの拡大した高精度分子シミュレーション技術による、様々な生命・材料システムの理解に基づくモノづくりの実現	「 <b>分子シミュレーション技術による、様々な生命・材料システムの理解に基づくモノづくりの実現</b> 」 計算機の性能向上だけでなく、理論や方法論の開発が盛んな計算化学分野を軸にした技術であり、分子シミュレーションの予測に基づいて、新規な医薬品や材料の開発に展開することが実現しつつある。 また、GGPUなどの技術を背景として、スーパーコンピュータのユーザーでなくとも、計算が容易となったことも注目したい。 AIの場合と同様、どのように使っていくかが鍵となるが、10年以内にブレイクスルーが期待される。	時空間スケールの拡大や計算精度の向上が図られている段階である。	今後、適用事例を蓄積しながらも、解析アプローチの開発が必要不可欠となる。 シミュレーション人材の育成が間に合っていないので、適切な支援が必要である。	分子シミュレーション、マテリアルズインフォマティクス、バイオインフォマティクス	高	5年以降10年未満	大	大	大
109	都市・建築・土木・交通	機械学習を用いた、災害の脆弱性の高い地域の予測	機械学習を用いた災害の脆弱性の高い地域の予測	特定の地域において、様々な手法が比較検討され、最も有効的な手法の模索が行われている。	機械学習を用いるためにはビッグデータの活用が有効的である。そのようなデータが取得されるか、また公開されるかが重要であると考えられる。	ハザードマップの高度化、災害の脆弱性把握、土砂災害	高	5年以降10年未満	やや大	中	大
110	マテリアル・デバイス・プロセス	燃料として水素やメタン、アンモニアなどを用いることで高効率発電を実現し二酸化炭素の排出もない、高出力・高エネルギー変換効率・高耐久性や劣化の抑制を実現した、実用的な中低温作動型燃料電池	<b>高出力かつ高エネルギー変換効率を有した中低温作動型燃料電池の実用化</b> が期待されている。700～400°Cで作動可能なプロトン伝導性セラミックスを電解質として燃料電池の実用化に向けた研究が国内外で盛んにおこなわれており、非常に高い出力を示す電池の開発に成功している。燃料として水素もしくはメタン、アンモニアなどを用いることで高効率な発電を実現するとともに二酸化炭素の排出がないことから二酸化炭素排出実質ゼロを目指す日本において画期的なデバイスとなると注目されている。	現在、〇〇【国立研究開発法人名】のプロジェクトにおいて耐久性、劣化機構の解明などを実用化に向けた課題抽出と対策の検討が行われている。また、〇〇【国立研究開発法人名】のプロジェクトでもAIを活用した電解質の開発や構造の異なる燃料電池の検討がなされており実用化に向けて国内での開発が活発になっている。海外でもヨーロッパや米国でもプロジェクトが立ち上がっており電池のスタック化など実用化に向けて進んでいるようである。	〇〇【国立研究開発法人名】のプロジェクトで課題となっているように耐久性や劣化の抑制が最重要課題である。	燃料電池, 水素, 発電	高	5年以降10年未満	大	大	大
111	ICT・アナリティクス・サービス	通常研究者などが手作業で行なっているバイオ実験や、細胞治療製剤製造などを自動化・機械化する技術	通常研究者などが手作業で行なっている <b>バイオ実験などを機械化する技術</b> 。	まほろなどを使った自動化の実験が行われている。同時に産業界においても細胞治療製剤製造のための自動化の研究開発が行われ、実機のプロトタイプなどが作成されている。		自動化, AI, 機械学習	中	5年未満	やや大	やや大	大
112	環境・資源・エネルギー	装置損傷を防ぎつつ高効率な燃料利用及び難燃性の再生可能燃料などへの適用が可能な、燃焼希薄かつ高乱流条件下での繰り返し放電による確実な点火技術	・ <b>繰り返し放電による点火技術</b> 高効率な燃料利用を考えた際には、燃焼希薄、かつ高乱流条件において確実に点火を行う必要があります。従来技術の延長で安定な点火を行うためには、投入するエネルギー量を増加させる必要がありますが、その場合は装置の損耗が生じます。繰り返し放電による点火技術は、欧米において中心的に研究が行われてきた技術であり、日本においても徐々に注目を集めつつあります。エネルギー供給を時間的に分割することで、装置の損耗が防げるとともに、繰り返し放電を行うことで流動を強化し、確実な点火につながる火炎の成長を促すことが可能です。航空宇宙を皮切りに、発電用の往復式内燃機関などに適用されることが期待されます。 また、グリーンイノベーションに資する燃料（難燃性の再生可能燃料）や合成燃料などにも適用が可能であることも期待を集める要因の一つです。	基礎的なデータは収集が終わっている、より実用機器に対するモデリングの実行および実証データの収集が必要な状況です。また、アンモニアなどの混焼条件に対する実験、解析データの取得が望まれます。		アンモニア直接燃焼・混焼技術、強力点火技術、グリーン燃料利用	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	中

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
113	ICT・アナリティクス・サービス	対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義し、与えられた大量の教師なしデータからの当該タスクを用いた自己学習により、少量の教師情報で対象問題を精度高く可決する手法	自己学習。特に深層学習を用いた統計的機械学習において、教師データを与えずとも、対象問題を解決するために役立つ情報を獲得するためのタスクを別途定義することにより、与えられた <b>大量の教師なしデータからそのタスクを用いて自己学習することに より教師情報を少量用いるだけで、対象問題を精度高く可決する手法</b> 。BERTのMasked Learning等を代表として、今後の人工知能技術の発展の鍵となる。	さまざまな分野、特に自然言語処理、コンピュータビジョン、音声認識などの知覚情報処理分野において、新たな手法が数々提案される黎明期であり、今後爆発的に研究が進むと考えられる。	対象課題に役立つ情報の自己学習による抽出を、教師なしデータから獲得するためのタスクの設定に関する体系だった学問的整理と追究が最も必要である。	自己学習, 機械学習, 知能情報処理	中	5年未満	大	大	大
114	環境・資源・エネルギー	小型モジュール炉 (SMR) の開発や原子力発電と再生可能エネルギーの連動構築など、原子力分野や原子力発電におけるイノベーション技術	原子力分野 (原子力発電技術) におけるイノベーション技術、例えば、 <b>小型モジュール炉 (SMR) の開発や原子力発電と再生可能エネルギーの連動構築</b> など。	ケースバイケースで一言で言えないが、それぞれの要素技術について技術成熟度を一つの指標として、産学官が連携して研究開発が進められている。	技術的な課題解決はもちろんではあるが、社会的観点からの課題解決も重要となる。すなわち、社会に受け入れられる魅力的な原子力をどうつくっていくか、ということが、実現に向けての重要要素となる。	原子力, エネルギー, 発電	高	5年以降10年未満	大	大	大
115	マテリアル・デバイス・プロセス	液液相分離の物性評価プローブの開発及び液液相分離の制御技術の開発	<b>液液相分離の物性評価プローブの開発及び液液相分離の制御技術の開発</b> 。	現在は標的タンパク質への蛍光標識により液液相分離が評価されているが、相分離解析のための研究ツール (特に物性を評価できるツール) は発展途上であり、それらの開発促進が必要である。		液液相分離, 天然変性領域, 創薬	中	5年以降10年未満	大	やや大	やや大
116	環境・資源・エネルギー	従来の地熱発電のための掘削より深い深度で存在する高温・高圧の超臨界水を利用して発電する、耐酸性の超臨界地熱発電技術	<b>超臨界地熱発電技術</b> です。従来の地熱発電のための掘削より深い深度で存在する高温・高圧の超臨界水を利用して発電する技術です。	まだ、調査試掘が実施されていないので、超臨界水が実在するのかどうかの検証が必要です。	高温・高圧の超臨界水は強酸性であると考えられることから、耐酸性の技術開発も必要であると同時に、大深度掘削により環境影響評価・予測技術も必要であると考えます。	超臨界, 火山地帯, 大深度掘削	低	5年以降10年未満	大	大	大
117	健康・医療・生命科学	AIによるデザインを利用した、現存する抗体・タンパク質・酵素を超える性能を持つスーパー抗体・スーパー抗体・スーパー酵素の開発	<b>「人工知能によるデザインを利用した現存する抗体・タンパク質・酵素を超える性能を持つスーパー抗体・スーパータンパク質・スーパー酵素の開発」</b> 現在、人工知能が様々な分野で利用されて始めている。抗体、タンパク質、酵素などの生体分子の設計においても、その利用が始まっている。その中でも、現存する抗体、タンパク質や酵素の性能遙かに超えるスーパー抗体、スーパータンパク質、スーパー酵素の開発は、例えば、抗体については抗原に多少の変異に関わらない作用、広く使われているタンパク質の代表例である蛍光タンパク質については高精度・高分解能の測定、酵素についてはより少ない資源量での反応等の可能性を持ち、SDGsを実現するために役に立つことが期待される。	人工知能による蛍光タンパク質の開発が、現存の性能を超えるものではないが既に行われている。その他の抗体、酵素についても開発が行われつつある段階である。	人工知能の学習には、機械学習、深層学習 (ディープラーニング) が用いられるが、学習データを越える性能を持つスーパー抗体、スーパータンパク質、スーパー酵素を設計するために必要な学習をどのように行うかという課題がある。また、学習データに用いる抗体、タンパク質、酵素などの情報を人工知能が使いやすい形で整備する必要がある。さらに、より多くの学習データを収集するために日本及びその近海に生息する生物資源を積極的に解析することが必要である。	人工知能, スーパー抗体, スーパータンパク質, スーパー酵素, 生体分子の設計	中	5年以降10年未満	大	大	大
118	環境・資源・エネルギー	低炭素かつ水素社会の実現に向け、合成効率化・大規模化・コスト減・安定供給性・NOxの有効利用などの課題をクリアした、アンモニアからの水素製造	低炭素かつ水素社会の実現に向けたアンモニアからの水素製造	水素含有率の高いアンモニアボラン等を出発原料とした水素合成に対する基礎的研究段階。	合成効率化、大規模化、コスト減、安定供給性、NOxの有効利用、などの課題をクリアすること。	アンモニア利用, 水素製造, CO2フリー	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
119	環境・資源・エネルギー	木質バイオマスのうち、環境負荷の小さいリグニン抽出およびリグニンをを用いた有用材料・化学原料の合成による高付加価値化	木質バイオマスのうちリグニンは燃料としての利用にとどまっている。今後 <b>環境負荷の小さいリグニン抽出、およびリグニンをもちいた有用材料・化学原料の合成による高付加価値化</b> が期待される。	世界的に研究が活性化しており、論文数が急増している。	有望技術が見出されれば、実用化にむけて実証試験が今後必要。	木質バイオマスによるゼロエミッション化, CO2資源化, バイオマス資源を用いた資源型処理技術	中	5年以降10年未満	中	やや大	やや大



(注) 一部組織名は伏字

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
120	ICT・アナリティクス・サービス	不完全情報を考慮した解析技術の高度化に伴う、スマートフォンや自動車などの市民生活に密着するデバイスからの情報収集・通信・処理技術	道路交通網などの社会基盤の維持費削減とサービス向上に向けて、5Gなど的高性能モバイルネットワークの整備に伴い、一般市民の持つスマートフォンや自動車のセンサーなどの活用が進む。 <b><u>スマートフォンや自動車などの市民生活に密着するデバイスからの情報収集と情報処理技術</u></b> に関して、セキュリティやプライバシーの保全技術が向上し、偽情報、曖昧な情報、部分的な情報といった <b><u>不完全な情報を考慮した解析技術が高度化するに従い、実用化段階へと進展</u></b> する。	スマートフォンが広く市民に浸透していることから、すでに、ニュース報道における視聴者撮影動画画像の利用、位置情報を利用した街区の混雑度算出などで実用段階に進みつつあるである。研究では、交通システムにおける交通状況モニタリングや道路面の異常検知、都市計画における道路の騒音や振動、駐車場などの利用状況などのモニタリング、災害対策における地震や台風時の大雨、洪水、暴風などのモニタリング、医療における健康状態モニタリングや感染症の感染経路解析などから、実現可能性の検証が実施されつつある。	〇〇や〇〇などの学会ではデータの(1)収集、(2)通信、(3)解析の各面から継続的に以下の課題に関する発表が行われている。(1：データ収集) 利用者のセキュリティやプライバシーを維持しながら、一定量・品質のデータを確保するために、市民に適切なインセンティブを与えたり、確率的な振る舞いをモデル化した統計的に要件を満たせるようにする。(2：データ通信) 災害時などネットワークが一時的に利用できなくなる場合にもデータを確保する。(3：データ解析) 一般市民の収集情報は、データ品質が保たれているわけではないため、そのような不完全なデータから有意な情報を取り出す。	クラウドソーシング、クラウドセンシング、スマートシティ	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
121	農林水産・食品・バイオ	養殖餌や物質生産への利用など、食料以外にも含めた昆虫資源の利用に向けた高機能化、未利用昆虫の探索、さらに安価で安全な大量生産技術	近未来に問題となるであろう食料不足への対策や持続可能な社会の実現には、昆虫資源の利用は不可欠であると思われる。そのためには昆虫の大量継代飼育が安価で持続可能なものとならねばならない。昆虫食そのものは、食に対し保守的な日本においては、普及には時間がかかると考えるが、環境意識の強い欧米においてはすでに現実になろうとしている様に思われる。また直接的な食料として以外にも、養殖餌や物質生産への利用など昆虫資源は様々な利用が見込まれる。 <b><u>昆虫利用に関しては、さらなる高機能化、未利用昆虫の探索、さらに安価で安全な大量生産技術の開発</u></b> が問題点として挙げられる。	現在、大量飼育可能な昆虫種は幾つか存在するが、食料や医療目的を考えた場合にはコストや安全性の点でいまだ課題が残っている。これは昆虫の利用目的がこれまでと大きく転換するため、そのような視点での研究や技術開発、コスト	技術的には、さらに低コストで安全な飼育方法の確立、未利用昆虫の探索等が大きな課題としてあげられる。社会的には近年特に日本において顕著な昆虫離れ、昆虫嫌いが大きな壁になると考えている。	昆虫資源利用、タンパク質生産、高機能性食品	中	5年以降10年未満	中	やや大	大
122	マテリアル・デバイス・プロセス	①霊長類の脳深部など、生体内深部を生きたまま可視化する光バイオイメージング ②免疫に配慮して動物にヒトの臓器を作らせ、ヒトへ戻す技術	<b><u>光バイオイメージング</u></b>  生体内を可視化する技術。以前は、長波長の材料が無く、「精密だが深部可視化には不適」とされていたが、長波長発光材料ができてからは、霊長類の脳深部を生きたまま可視化することに成功している。  また、米国では、免疫に配慮して動物にヒトの臓器を作らせて、ヒトへ戻す技術の試みがニューヨーク大学のチームで実現している。  このように、SFのような技術が現実になろうとしている。	既に、ヒトへの応用の試みが米国で行われている。しかし、一般化するためには、生体内深部可視化技術の進歩と、数多くの動物実験が必要となろう。免疫不全ブタや免疫不全羊のような実験動物の作成も必要になるかもしれない。  iPS細胞を利用して、動物体内でヒトの臓器を作る試みも、米国で行われているが、ホスト動物の細胞がほとんどであり、技術として十分ではない。	まず、日本では倫理規定があり、このような動物にヒトの臓器を作らせる実験はできない。実際に研究提案しても、採択されない。そのような環境を直ちに改善すべきである。  臓器移植のために、米国へ行く富裕層が出てくるのが無いようにすべきである。	バイオイメージング、移植・再生医療、生物発光	高	5年未満	大	大	大
123	環境・資源・エネルギー	地域や気候に左右されず一定のエネルギー収集が可能な、環境や周囲の微小エネルギー、特に摩擦エネルギーや静電気などを再生可能エネルギーとして収集する技術	<b><u>再生可能エネルギーとして環境や周囲の微小エネルギーを収集する技術、とくに摩擦エネルギーや静電気などを収集する技術</u></b> 。これらは太陽光や風力とことなり、地域や気候に左右されず一定のエネルギー収集が可能である。雨や雪を用いた発電は太陽光が使えない地域でも可能なので、注目される。	論文ベースでは2019年に100V程度の発電とLEDの駆動デモが実施されている。また摩擦帯電のメカニズムは2020に大きく解明に向かい前進する論文が発表された。	微小エネルギーの活用に関しては産業界含め理解が乏しいのが現状に見受けられる。既存電力産業と微小エネルギー発電の発電量は4桁程度異なる事に起因しており、大規模発電産業界からは冷ややかな目で見られていると感じる。この点を経産省はじめ、社会全体の訴求として進める事で、産業界の見識転換を図る必要がある。	エナジーハーベスト、摩擦帯電型ナノ発電機、水滴発電、環境発電、再生可能エネルギー	中	5年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
124	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	フィールドでの効率的調査 やアクセス困難な場所での 高度な調査等により、研究 成果を大幅に向上させる、 地質・岩石に関わる加速器 等の分析装置の小型化	<b>地質・岩石に関わる分析装置の小型化</b> が実現すること で、フィールドでの迅速な分析が可能となり、効 率的な調査と成果の大幅な向上が期待される。 フィールド調査と室内試験は、繰り返すことでより 成果が得られることが多いが、フィールドで分析で きるにより、その場で確認や評価、そして次の ステップへと進むことが可能となる。PDCAを短期 間で回すことが可能となり、大幅に成果を向上させ ることが可能と考えられる。また、アクセスが困難 な場所での高度な調査にもつながると期待される。 特に地質や岩石の形成年代が、その場でわかるよう になれば、。	各種装置が小型化に進んでいる。XRF分析計はハン ディタイプのものが既にある。加速器も小型化が進 んでおり、炭素の年代測定においては朗報である。 他の岩石分析装置も含めてより小型化がのぞまれる。	技術の開発に加えて、法的な整備も必要な装置があ ると考えられる。	地質調査、年代測定、岩石鉱物分析	低	5年以降10 年未満	やや大	中	あまりな し
125	マテリアル・デバイス・プ ロセス	①材料開発時の新物質探索 における、機械学習、デー タ科学及び人工知能技術を 活用した革新的新物質の効 率的探索を実現するマテリ アルズ・インフォマティク ス ②ハイスループット実験 データのデータ科学的分析 による物質のキャラクタ ライゼーションの高効率化	マテリアルズ・インフォマティクス： <b>材料開発にお ける新物質探索において、機械学習、データ科学、 及び、人工知能技術を活用して、革新的新物質の効 率的探索</b> を実現する。また、 <b>ハイスループット実験 データのデータ科学的分析により物質のキャラクタ ライゼーションの高効率化</b> を実現する。	人工知能・データ科学と物質・材料科学の融合展開 であるマテリアルズ・インフォマティクス研究がこ の5・6年で大きく進展し、方法論開発などの基礎 研究の段階を終え、実際に新奇物質が報告されるな ど、実用段階に達している。今後も、人工知能技術 の進展に伴い、新しい方法論の適用なども予想され るが、DX化の潮流で物質・材料データの整備・拡張 に伴い、様々な新奇機能材料が発見・報告されるも のと期待される。	我が国でも〇〇【国立研究開発法人名】を中心に材 料データベースの拡充が進展しているし、世界的に も大規模な理論計算・実験データベースが整備さ れ、材料データの蓄積が進展している。DX化の流れ で、データ蓄積の効率化が図られると予想される。 また、対象物性（特性）も多様化し、研究対象とな る機能も多様化していくと予想される。ただし、計 算・実験データともに、データの品質は計算・実験 条件に強く依存するため、単にデータ量が増加する だけではなく、「品質管理」されたデータ蓄積が重 要な課題であると考えられる。データの品質はその 後の機械学習モデルの予測性能を決める重要な因子 であり、データ量に加えて、データの品質管理が今 後の課題であると考えている。	機械学習、深層学習、ベイズ統計、人工知能、進化論 的計算、遺伝的アルゴリズム、DX、シミュレーショ	高	5年未満	大	大	大
126	ICT・アナリティクス・ サービス	純粋理論分野における計算 機を援用した定理の証明や 理論構築の汎用化に基づ く、数学の難問解決等に対 する計算機を援用したアプ ローチ	数学、理論計算機科学等の <b>純粋理論分野における計 算機を援用した定理の証明や理論構築</b> がより <b>汎用的 な方法</b> で可能となる。	計算機科学において定理の自動証明などを研究する 分野では、既に数学の既知の(時には難解な)定理に 対し、その証明の正しさを計算機により検証した り、再証明すると言ったことが行われてきている。 一方で、数学者が汎用的に利用可能なツールとして 定理の証明に計算機を使うことはまだ一般的ではな い。しかし、海外などでは、例えば純粋数学の中 でも数理論理学分野の定理の証明に具体的に計算機 での検証ツールを援用する手法が徐々に取り入れられ るようになってきている。これらが発展すること で、数学の難問の解決等のために、計算機を援用し てアプローチすることが可能となることが期待され る。		定理の自動証明、プログラム検証、証明論	中	5年以降10 年未満	やや大	あまりな し	中
127	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	宇宙衛星観測実験プロジェ クト"LiteBIRD"による3K 宇宙マイクロ波背景放射 (CMB)のBモード偏光場の 観測及び統計解析による、 「宇宙の初期条件」の解明	〇〇【国立研究開発法人名】の主導する宇宙衛星観 測実験プロジェクト" <b>LiteBIRD</b> "による <b>3K宇宙マイ クロ波背景放射(CMB)のBモード偏光場の観測</b> 。B モード偏光場は宇宙誕生時に生成された重力波の名 残であるため、その検出と統計解析に成功すれば、 「宇宙の初期条件」が世界で初めて明らかになる。 成功すれば関連研究者がノーベル物理学賞を確実に 受賞するプロジェクトと言われている。	実験サイド: 種々の観測機器の開発、銀河系内のダスト などを起源とする前景放射(CMBに対してノイズと して振る舞う)の除去法の開発、観測機器のEMC対策 理論サイド: LiteBIRDでどのようなサイエンス成果が 得られるかの理論予測、それらをまとめたサイエン スブックの出版	マンパワー 研究費 携わる全ての研究者が長期間研究に専念できる環境 (優秀な任期つきポストクの任期なし常勤ポストへの 採用、大学常勤教員の教育義務免除[= サバティカル 制度]などを充実させる必要がある)	CMB, 重力波, インフレーション, Bモード偏光, LiteBIRD	高	10年以降	大	不明	大
128	ICT・アナリティクス・ サービス	量子コンピュータ用の暗号 技術	<b>量子コンピュータ用の暗号技術</b> については、かなり注 目しています	活発に研究されており、評価のPhaseにあると思 います。 ただし、どの方式が決定的であるのかは、まだわかっ ていないと認識しています。		耐量子暗号, 量子コンピュータ, 標準化	高	5年未満	大	大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
129	ICT・アナリティクス・サービス	量子コンピュータ研究において、量子コンピュータをシステムとして取り組むアーキテクチャの開発及び計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究	<b>量子コンピュータ</b> の研究	量子ビットの物理系に関する研究は数十年なされているが、計算機科学のインターセクションとなる融合・境界領域の研究ははじまったばかり。	社会的要素としては量子コンピュータの研究の先の長さを広く認知してもらう必要があり、また産業界にも辛抱強く見守る必要がある。学術的にはちょうど境界領域にあり、専門学会の充実と分野の融合が大事だとも思います。	誤り訂正符号, 誤り訂正符号復号器, 量子コンピュータアーキテクチャ	中	10年以降	やや大	やや大	やや大
130	農林水産・食品・バイオ	海洋における温室効果ガス吸収源（ブルーカーボン）の拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術	<b>海洋における温室効果ガス吸収源（ブルーカーボン）の拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術。</b>	ゲノム・バイオ技術による種苗生産技術の構築⇒次世代テクノロジー等を用いた海面養殖の安定化・大規模化⇒沖合での海面養殖拠点となる海面プラットフォームの構築⇒沖合大規模バイオマス生産拠点化	海面使用に係る法律等、海洋政策面の更新が必須。	資源エコシステム, バイオマス, 地球温暖化	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
131	環境・資源・エネルギー	①沿岸生態系（藻場、湿地、マングロープ等）のCO2吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術 ②沿岸生態系の保全・再生・造成によってCO2吸収源を拡大する技術	ブルーカーボンという言葉とともに知られるようになった <b>沿岸生態系（藻場、湿地、マングロープ等）のCO2吸収・隔離機能を活用したネガティブエミッション技術</b> 。沿岸生態系の保全・再生・造成によってCO2吸収源を拡大する技術が注目されている。	沿岸生態系の保全・造成・再生に関する基盤技術はいくつか開発されているが、温暖化に伴う磯焼け等の問題もあり、効果的に吸収源を拡大する技術の確立には至っていない。気候変動に対して適応的な技術の開発が進められている。		沿岸生態系, CO2隔離, ブルーカーボン	高	5年以降10年未満	やや大	中	やや大
132	農林水産・食品・バイオ	一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し直接有用物質生産を行う好熱性（嫌気性）微生物における、微生物培養技術と生化学・分子生物学の融合に基づく、これまでと異なる微生物の育種及び多様な物質生産への応用	<b>一酸化炭素あるいは二酸化炭素を固定し、直接有用物質生産を行う好熱性（嫌気性）微生物の育種</b> 。○○社が好熱性一酸化炭素資化性菌を育種すること、極めて効率的に一酸化炭素からアセトン等の基盤的な化合物を高効率に生産することを発表した。従来の微生物を用いて二酸化炭素固定を行う生物の育種は光合成細菌や、大腸菌等に二酸化炭素固定能を与えるような育種が行われていたが、本事例は、従来、取扱が困難とされてきた嫌気性好熱菌を対象とした育種であり、従来の概念と大きく異なる。	トップランナーである○○社においては、ブランドレベルの実証を行っている。日本においても○○【企業名】が導入し、ゴミからの物質生産としてプレスリリースを行った。鉄鋼所等での活用も可能である。今後、異なる微生物の育種及び多様な物質生産への応用等が、極めて競争的に起きることが予想される。微生物培養技術と生化学・分子生物学の融合が必要であり、国内は大きく立ち後れている。	微生物に関連する分野を超えた連携が必要な育種であり、基礎、応用、等々、細分化された日本の研究体制での実現は相当程度に困難であることが予想される。逆に、そのような体制を構築できれば、国内においても実現可能性があるのでなかろうか。	低炭素化, 物質生産, 嫌気性	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
133	環境・資源・エネルギー	①社会的課題に効果的かつ適応的に対処し、人間の福利と生物多様性の利益を同時に提供する、自然または改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための、自然を基盤とした解決策 ②陸域生態系・生物多様性プロセスモデルの高度化と気候システムや社会システムとの相互関係性を含めた、包括的な気候変動影響のメカニズムの理解	<b>自然を基盤とした解決策</b> <b>社会的課題に効果的かつ適応的に対処し、人間の福利と生物多様性の利益を同時に提供する、自然または改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動</b> のこと。このアプローチの狙いは生態系保全や再生によって、水源涵養、土壌侵食や斜面崩壊の防止、洪水等の自然災害などに対する社会のレジリエンスの向上に貢献する様々な生態系機能を増大させることや、生物多様性を保全すること、気候変動の進行を減速させることに加えて、人間の幸福・健康の増進、持続可能な産業産業や企業活動など、これまで環境を制限要因として捉えてきた経済活動も含めた幅広い社会ニーズを包含している。気候変動枠組条約や生物多様性条約でも議論されている。	ヨーロッパでは、Horizon2020などのプロジェクトと連動して仕組みの整備・技術開発・社会的な浸透が進んでいる。日本ではほばない。	陸域生態系・生物多様性プロセスモデルの高度化と気候システムや社会システムとの相互関係性を含めた包括的な気候変動影響のメカニズムの理解 社会変革への道筋の検討 企業活動の気候や自然資本に対するリスク及び機会の情報を開示する動き(気候関連財務情報開示タスクフォース(Task Force on Climate-Related Financial Disclosures: TCFD)、自然関連財務情報開示タスクフォース(Task Force for Nature-Related Financial Disclosure：TNFD)など)の社会的浸透	気候変動適応, 気候中立, 生物多様性	中	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
134	農林水産・食品・バイオ	ブルーカーボンの拡大に関する技術開発、特に沖合での大規模海面養殖システム・海洋プラットフォームの構築に係る技術	森林の適切な管理・施業による健全な水循環の維持・向上に関わる科学技術	森林の間伐による短期的な効果については成果がまとまっている。他方、その効果がどの程度持続するのかはデータが存在しない。	森林施業の重要性の認知向上、国産木材の利用促進、健全な水循環の重要性の認知向上	森林施業, 水循環, 水資源	高	5年以降10年未満	やや大	あまりなし	中
135	環境・資源・エネルギー	土や空中を含めた陸域における環境DNA分析の高精度利用技術	陸域における環境DNA分析研究	水域ではかなりすすんだ研究が報告されている一方で、土や空中を含めた陸域での利用技術開発は遅れており、その精度も低い。まだ着手し始めた段階。	本課題に限ったことではないが、成功事例は論文や特許となり人々が知ることになるが、失敗研究事例を許容および共有する社会状況の進展。	資源エコシステム, 環境保全, 観測・予測	低	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
136	環境・資源・エネルギー	藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及	藻類等の海洋生物による二酸化炭素の隔離・貯留の定量化と普及	藻類ごとの貯留量・時間の定量化が行われている。	学術的な裏付け、経済的価値の評価、民間企業の参入	ブルーカーボン, 二酸化炭素, 温暖化	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
137	農林水産・食品・バイオ	クロマグロ資源回復のため、クロマグロを通常よりも早期に産卵させ、冬季までに耐冷が高い2kg以上の個体にまで成長させる技術	<b>クロマグロの早期産卵誘導</b> ：クロマグロ資源の減少は、主に需要の増加とそれに伴う漁獲圧の増加によって起こったと考えられている。漁労を管理し、漁獲量を減少させる漁業管理は、最も有効な資源回復の方法と考えられるが、漁業者に与える経済的な負担等が大きい。資源回復に寄与できると考えられていたもうひとつの方法が完全養殖である。この開発により、日本でのクロマグロの海面養殖施設は飽和状態となった。環境収容力等の観点もあり増数の許可は下りない程である。しかし、その生産量は漁獲量に比べると大幅に低い。生産効率の悪い現在の完全養殖では、資源回復に寄与できない。生産のボトルネックは、冬季の冷水による若齢個体の死滅と考えられている。その解決策のひとつとして、 <b>クロマグロを通常よりも早期に産卵させ、冬季までに耐冷が高い2kg以上の個体にまで成長させる</b> ことがあげられる。海上生簀での産卵は4-5月であるが、水温等の管理ができる陸上水槽で2-3月に産卵させ、成長させれば、その後は海上生簀でも養殖できるようになる。クロマグロの早期産卵誘導の確立は、資源回復の寄与を世界に先駆け可能にした科学技術の一例となるだろう。	陸上水槽においてクロマグロの早期産卵効率の向上に努めている。クロマグロの完全養殖の親魚集団に対応した親子判別用遺伝子マーカーを開発し、産卵間と親魚や産卵間隔など産卵特性を解明した。		サステイナブル デベロップメント, 資源管理, 食料問題	中	5年未満	中	やや大	大
138	マテリアル・デバイス・プロセス	生物資源の超低温保存に用いる新規凍結保護剤としての、細胞毒性が低く効果の高いイオン液体	<b>生物資源の超低温保存に用いる新規凍結保護剤としてイオン液体</b> が注目されている。	超低温保存において細胞の生存を可能にするメカニズムである「ガラス化」がしやすいイオン液体は、以前から凍結保護剤として着目されているが、実際には細胞毒性が高く、絵に描いた餅であった。しかし、最近、国内研究者の卓越した研究により、合成された細胞毒性の低いイオン液体が開発された。現在、その作用機序の解明と効果の高いイオン液体合成研究が進められている。超低温保存いがいにも多様な使い道のあるイオン液体研究は学術的に価値が高い。		イオン液体, 超低温保存, ポリマー	中	5年未満	中	中	やや大
139	ICT・アナリティクス・サービス	ソフトウェア開発の進展に基づく、農畜産物の3Dセマンティックセグメンテーション	農畜産物の3Dセマンティックセグメンテーション	セマンティックセグメンテーションの3Dデータへの応用はこれからとの認識	要素技術の進展：セマンティックセグメンテーションの3Dへの利用を容易にするソフトウェアなどの開発が待たれる	セマンティックセグメンテーション, 3D, コンピュータグラフィックス	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
140	農林水産・食品・バイオ	消費者の生鮮食品の嗜好性を、喫食前に機械学習によって予測する技術	<b>機械学習による消費者嗜好予測</b> 。生鮮食品の嗜好性を、喫食前に予測する。	機械学習アルゴリズムの適応例や、予測に必要なパラメータが一部の食品群で検討され始めている。		機械学習, 非破壊分析, 嗜好性	高	5年以降10年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
141	農林水産・食品・バイオ	ウシのルーメン発酵におけるメタン産生に関わる重要な菌叢や、それらの働きを抑制できる飼料素材等に基づく、家畜生産からの温室効果ガス排出削減と生産性向上の両立	家畜生産からの温室効果ガス排出削減と生産性向上の両立	すでにメタンをモニタリングする技術が大きく進んでいる。ウシのルーメン発酵におけるメタン産生に関わる重要な菌叢や、それらの働きを抑制できる飼料素材が発見されている。		メタン、ウシ、ルーメン	中	5年以降10年未満	大	大	大
142	マテリアル・デバイス・プロセス	可視光を当てると紫外光を発する物質など、エネルギーの低い光をエネルギーの高い光にする技術における、コストや耐久性等で実用に値する材料開発	<b>エネルギーの低い光をエネルギーの高い光にする技術</b> がある。従来、光のエネルギーを活用する技術は、高いエネルギーの光を原質にして、それより低いエネルギーを利用するものだった。これに対して、エネルギーの低い光を使ってエネルギーの高い光に変換する技術が、近年めざましく進化している。例えば、可視光の光を得るためには、紫外光などの高エネルギーな光源が必要であったが、ここ数年、可視光を当てると紫外光を発する物質に関する研究成果が多数報告されている。これらの技術は、エネルギーの利活用を重視する今世紀のキーテクノロジーとして有意義である。	有望な研究成果は多数報告されており、実用化に向けた取り組みも行われている。技術として製品として普及するのにどの程度かかるかは微妙なところだが、5年くらいあれば、蛍光体や光触媒などの分野で少しずつ存在感を出していくのではないかと考えている。	コストや耐久性等で実用に値する材料開発が進むかどうかが注目されることである。	アップコンバージョン (UC)、三重項→三重項消滅 (TTA)、蛍光体、光触媒	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
143	マテリアル・デバイス・プロセス	熱や光などの外部刺激で微視構造を変化させることによってマタマテリアルの機能を変化させる材料	マタマテリアルは微視構造によって自然では発現しない機能を付与する材料であり、 <b>熱や光などの外部刺激によって、微視構造を変化させることによって、マタマテリアルの機能を変化させる新しい発想の材料。</b>	形状記憶効果と計算機支援によるマタマテリアル設計を組み合わせることによって、プログラマブルマタマテリアルの設計は可能。学術論文レベルでは報告がある。医療応用などの想定用途はあるが、実際に何に使えるか、使うかはこれからという状況。	ニーズ開拓。	プログラマブルマタマテリアル、微視構造制御、計算機支援設計	高	5年未満	やや大	中	中
144	マテリアル・デバイス・プロセス	超高温(1200℃以上)での反応ガス環境下での材料の組織観察など、透過型電子顕微鏡(TEM)におけるオペランド(実働環境)計測技術	<b>透過型電子顕微鏡(TEM)におけるオペランド(実働環境)計測技術。</b> 具体的には超高温(1200℃以上)での反応ガス環境下での材料の組織観察。出口技術としては、水素社会に対応するため(豪州で生産された水素を使った)発電用超効率水素ガスタービン材料の耐久性向上を目指した組織観察、等。現在、TEMホルダーの作製を専門とする業者数社が1200℃までのホルダーを作っているが、それ以上の温度については材質的(コスト的)な問題から実用化していない。しかしながら、社会実装としては喫緊の課題であり、技術的ベースは既にあるため、開発プロジェクトが立ち上がればスムーズに実現できると考えられる。	技術的ベースは、25年前に既に〇〇大学の〇〇教授(日本〇〇学会会長)により実現している(まてりあVol36pp511)。しかしながら、操作性と耐久性にやや難しいところがあり、一般に普及しておらず、製品化もされていない。せっかく〇〇【国立研究開発法人】の委託プロジェクト下で取得した特許も2011年に切れてしまった。25年の技術進歩も援用して、より使いやすく、一般に普及しやすい装置の開発が待たれる。具体的には、プロトチップ社などの、より共通化、標準化した試料(MEMSチップ)などを用いることで、課題がクリアできると考えられる。		実働環境計測技術、透過型電子顕微鏡、オペランド	高	5年未満	中	やや大	大
145	マテリアル・デバイス・プロセス	アト秒時間スケールおよびサブオングストロームの空間で誘起される物質内の電子分布の変化から、マイクロ秒時間スケールおよびサブマイクロメートルの空間で誘起される分子集合体における構造変化までを統一的に理解するための計測技術	<b>アト秒時間スケールおよびサブオングストロームの空間で誘起される物質内の電子分布の変化から、マイクロ秒時間スケールおよびサブマイクロメートルの空間で誘起される分子集合体における構造変化までを統一的に理解するための計測技術。</b>	近年、アト秒パルスおよび高強度フェムト秒パルスを用いた計測により、物質内の電子分布の変化を実時間で追跡することが可能となりつつある。しかし、その一方で、電子分布の変化がどのように化学結合の組み換えや切断につながっているかを理解するには十分とはいえない状況になる。光源については、高安定および高繰り返し光源の開発が進められており、計測データの品質の更なる向上が見込まれるが、計測手法(分光手法および計測機器)については、マルチスケールな物質ダイナミクスを計測するには、新規手法の開発が望まれている。	微弱な信号量変化のみを選択的に計測することができるとは、物質内の電子分布の変化を実時間で追跡することが可能となりつつある。例えば、100%の検出効率を有する荷電粒子(イオンおよび電子)が開発できれば、主信号に埋もれることなく、レアイベントの計測が可能となる。	超高速計測、マルチスケール、ダイナミックレンジ	高	10年以降	大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
146	環境・資源・エネルギー	イオン伝導体をLi分離膜とし、Liのみを選択的に回収する技術 (Li Separation Method by Ionic Conductor；LISMIC) など、新たなLIB原料循環に関する研究及び実プラント整備に必要なスケールアップ技術	日本はリチウム等のLIB原料を完全に輸入に頼ることから常に需給リスクを抱えており、カーボンニュートラル達成には、LIB原料を自給自足する手段の確立が不可欠である。しかしながら、既存技術を用いたLIBリサイクルは高コストであり、特にリチウムのリサイクルはコスト面から極めて困難な状況にある。この問題を解決するため、 <b>新たなLIB原料循環に関する研究開発</b> が必要である。	国立研究開発法人〇〇は、LISMICによる使用済リチウムイオン電池(LIB)からのリチウム回収コストを評価し、輸入価格(1287円/kg)の半分以下の製造原価で、輸入品より付加価値を有する超高純度リチウムが製造できることを明らかにした。 <b>実プラント整備に必要なスケールアップ技術開発として、1)使用済LIBの前処理技術開発、2)分離膜であるイオン伝導体の大型化、3)ベンチプラント規模での技術実証</b> が必要な研究段階にある。本研究を進めることで、LIB原料であるリチウム等が安定的・経済的に供給されることになり、ガソリン車からEVへの転換が円滑に進むだけでなく、省資源・循環型社会の実現に貢献する。		リチウムイオン電池リサイクル、リチウム資源循環、サーキュラーエコノミー	高	5年未満	大	大	大
147	ICT・アナリティクス・サービス	極低温環境を効率よく生み出す技術か、またはワイドバンドギャップ半導体を使った室温での量子技術など、そもそも極低温環境以外での高精度な量子技術の発展に基づく、量子コンピュータを含む量子情報処理技術	<b>量子コンピュータを含む量子情報処理技術</b> 。量子性を活かしたスーパーコンピュータをはるかに上回る計算性能を持つ計算などが可能となる。	近年、超伝導量子ビットを始めとした、量子デバイスの発展により、従来達成が困難であった高い精度での量子操作、量子もつれ生成、そして、量子エラー訂正が可能となってきた。現在は、トランジスタの初期のような状況であるが、基本的な技術や量子技術の理解が進んできている。	必要な要素技術としては、極低温環境を効率よく生み出す技術を作るか、そもそも極低温環境以外での高精度な量子技術の発展が必要である。現在最も進んでいる量子系の1つである超伝導量子ビット系は、希釈冷凍機を必要としており、量子コンピュータを作るために必要な量子ビット数を達成するためには、かなりの数もしくは大きな希釈冷凍機が必要である。 この課題への解決策の1つとして、従来の半導体量子ビット技術と異なるアプローチで、ワイドバンドギャップ半導体を使った室温での量子技術などが登場しており、これらの技術からブレイクスルーが生まれることで、量子情報処理技術は一層発展していくと思われる。	量子コンピュータ、誤り耐性量子コンピュータ、半導体量子ビット技術	高	10年以降	大	大	大
148	宇宙・海洋・地球・科学基盤	①電子のレーザープラズマについて、ステージング技術の進展、レーザーターゲットの高繰り返し化に基づく加速器の小型化及び自由電子レーザーへの応用、さらには超高速電子顕微鏡への応用 ②イオンのレーザープラズマ加速の小型粒子線治療装置への応用	<b>レーザープラズマ加速</b> は高強度レーザーをガスや固体等の標的に照射し、高エネルギーの電子やイオンを非常に短い距離で発生する技術で小型加速器実現に向け現在世界各国で研究開発が進められている。 <b>電子については</b> ガス中でプラズマ波を生成し、その電場で電子を加速する。加速勾配としては従来技術の3桁を超える能力を持っているため、 <b>加速器の小型化が見込まれ、自由電子レーザーへの応用</b> が期待されている。さらにプラズマ波の波長の短さから、非常に短い時間幅の電子が発生可能なため、これを利用した <b>超高速電子顕微鏡への応用</b> も期待されている。 一方、 <b>イオンについては</b> 、固体標的からレーザーで加速された電子が放出される際にできるシース場を利用して加速され放出される。こちらは <b>小型の粒子線治療装置への応用</b> が期待されている。	レーザー電子加速に関しては、加速原理提唱から数十年間で数+cmの距離でエネルギー8GeVを超える電子ビームや数f sの電子パンチの生成が報告されてきた。プラズマを使用しているため開発当初は非常に不安定なビームで利用できるものではなく、期待も薄かったが、地道な研究開発努力によって、高強度レーザーの安定化と高品質化、ターゲットの改良などにより電子ビームの安定性も向上し、ビーム品質の良いビームが得られてきている。ここ数年ではレーザー加速器の5Hz、24時間運転に実現や、アンジュレータを使った自由電子レーザーの発振の報告がされており、非常に目覚ましい進展があり、実用できるレベルまであと一歩のところまで来ている。	現在、数100MeVクラスの電子ビームであれば比較的安定して発生することができていて、それを利用した装置であれば近い将来実現する可能性が高いと考えている。一方で、ILCなど、さらなる高エネルギーを必要とする場合、レーザー加速を何回も行うステージング技術の進展が不可欠で、また、電子の総数を必要とする場合は、レーザーやターゲットの高繰り返し化が必要であり、そこにも技術進展が必要である。	レーザー加速、自由電子レーザー、粒子線治療装置	高	5年以降10年未満	やや大	あまりなし	やや大
149	健康・医療・生命科学	明確なメカニズム解明に基づく、非侵襲的で短時間に治療が完了する放射線治療の、脳機能疾患や心疾患など非がん疾患への適用拡大	<b>放射線治療の非がん疾患への適用拡大</b> 放射線治療は腫瘍疾患への適用が主であったが、 <b>脳機能疾患や心疾患を対象</b> とした臨床研究が行われている。 <b>臨床研究を継続すると共に、メカニズムについて解明</b> されることが期待される。  放射線治療は非侵襲的で短時間に治療が完了することから、現役世代から高齢者まで多くの年代で治療のメリットがある。	アメリカ〇〇大学では2017年より、難治性致死性心室不整脈（心室頻拍）、に対して放射線治療を実施した。 本邦でも東海大学において、2019年に国内初となる体外放射線照射による難治性致死性心室不整脈（心室頻拍）の治療が行われ、合併症は認められず良好な経過であると、2021年に学術雑誌に報告された。 しかしながら、メカニズムは明確ではなく未だ議論中である。	臨床試験に加え、装置の開発・高度化（専用装置）も社会実装に向けた大きな研究要素である。	放射線治療、心疾患、医療機器開発	中	5年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
150	健康・医療・生命科学	がん細胞の進化という考え 方及びそれに基づいた新規 治療戦略	がん細胞の進化という考え方、及びそれに基づいた 新規治療戦略	がん細胞集団の遺伝子の経時変化を次世代シークエ ンサーなどで解析し、特定の変異を持つ細胞集団が 抗がん剤の投与の仕方に変化するかどうかを解析し た論文が複数報告されている。	ヒトを含めた様々な生物のがん細胞におけるゲノム の変化を解析する。また、得られたデータをデータ ベース化し、医師だけでなくバイオインフォマティ シャンなど様々な分野の研究者がデータを利用でき るようにする。	がんゲノミクス、クローン進化、変異シグネチャー	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
151	マテリアル・デバイス・プ ロセス	①核融合炉における液体水 素冷却超伝導コイル ②液体水素で超伝導体を冷 却する技術に基づく、長期 安定利用と制御が可能な超 伝導モータによる航空機の 電動化 ③大量に水素を取り扱う将 来を想定し、液体水素の冷 熱も有効利用した電力需給 調整システムの実証研究	<b>高温超伝導材料の研究開発</b> では <b>液体水素による超伝 導体を冷却する技術</b> の研究が進められている。液体 ヘリウム大量入手は困難で、水素化社会では太陽光 や風力発電の余剰電力による水素製造も計画される ため、水素を液化することで高密度エネルギー貯 蔵、液体水素の冷熱を寒剤として利用、高温超伝導 応用の社会実装加速は、持続可能社会に向けて重要 である。高温超伝導技術の利用は多岐にわたり、医 療用加速器やMRI、NMRへの適用や、核融合炉の超 電導コイルの研究開発等が進められているが、併せて 着目されているのは <b>超伝導モータによる航空機の 電動化</b> である。航空機の電動化は、推進システムの ターボファンエンジン部分に高出力密度の超伝導 モータや発電機、電力変換器を必要とする一方、発 電電力の送電系統最適化、フライトコントロール部 分における電気機械式アクチュエータや液体水素燃 料の使用検討が進められている。ジェットエンジンの 水素燃料化では、軽量化とともに飛行時CO2排出 ゼロのため、カーボンニュートラルを目指す社会で 有力である。また、水素燃料の利用が図れば超伝 導技術と親和性があり、強力な推進力の得られる超 伝導モータの適用も視野に入る。	液体水素冷却超伝導コイルについては、MgB2 やReBCOなどの高温超伝導線材を用いた小型コイル を液体水素で直接、又は間接に冷却し、コイルの通 電性能や冷却安定性を調べる基礎研究が行われてい る段階である。これらの実績を踏まえ、今後、例え ば電力貯蔵用のシステムを構築し、実証試験が行わ れると思われる。  電動航空機用超伝導推進モータについては、 小型モータの試作や電磁的、熱的な解析研究が行わ れている段階であり、その成果を踏まえて実機レベ ルに近い推進モータの開発研究に移行するものと思 われる。  水素による電力需給調整技術においては、すでに ガス状態の水素をタンクに貯蔵し、燃料電池と水電 解を組合せた電力需給調整システムの実証研究や、 そのシステムに水素吸蔵合金を取り入れたり、高速 の電力需給調整に対応するための電気二重層キャパ シタと組み合わせたシステムなどの実証研究が行わ れている。一方で、大量に水素を取り扱う将来を想 定した液体水素を中心においた電力需給調整システ ム研究は、まだ概念検討や要素研究の段階であり、 今後、液体水素の冷熱も有効利用した電力需給調整 システムの実証研究が展開されると思われる。	水素冷却による超伝導モータでは、極低温で液体水 素を安定して維持冷却する技術開発と、その信頼性 実証が不可欠である。水素ガスを長期保管する技術 は確立されているものの、液体水素では温度制御の 損失は気化につながり、またヘリウム冷却とは異な り水素は可燃性であるが故の細心の注意が必要であ る。これら要素技術は確立されているが、長期安定 利用と制御という点での技術開発が必要である。  また、液体水素を利用する環境下に対する材料の低 温脆性や水素透過による脆性による強度への影響な どの基礎データの集積と、軽量化とのトレードオフ となる対策、対応が必要と考えられる。合わせて、 航空機の電動化に伴い、軽量で大容量の電力貯蔵技 術の開発も不可欠であり、この電力貯蔵も含めた航 空機全体のエネルギーシステムの最適化検討の取り 組みも必要である。  加えて、水素を取り扱うことが危険であるという イメージを払しょくするための、社会受容性の構築 を図る取り組みや、水素を安全に取り扱うための技 術基準の整備も必要と思われる。	液体水素冷却超伝導コイル、電動航空機用超伝導 推進モータ、水素による電力需給調整技術	中	5年以降10 年未満	大	大	大
152	ICT・アナリティクス・ サービス	実際の研究との間のギャッ プの無い、AIを用いた機械 学習やデータ解析	<b>AIを用いた機械学習やデータ解析</b> 。	AIや機械学習、ディープラーニングによるデータの 解析や理論予測等が利用され始めており、その有効 性が示されているものの、実データとの乖離や、教 師データへの依存度などの点から、実際の研究との 間のギャップが未だ大きいと思われる。	データの管理、プライバシーの保護、一般のみなら ず、情報科学以外の研究分野の研究者のリテラシー 不足。これらを、同時に補って行くことが、実際に 技術を使いこなすことに必要不可欠となる。	AI、深層学習、機械学習	低	5年以降10 年未満	大	大	大
153	マテリアル・デバイス・プ ロセス	高融点材料（特にタングス テン）における積層造形 （3Dプリント）	高融点材料における積層造形（3Dプリント）	高融点（特にタングステン）における3Dプリント 技術は高いニーズがあり、欧州で優秀な装置が開発 されている。日本でもその技術力が向上することが 見込まれる。		金属加工、高融点金属、タングステン	中	5年以降10 年未満	中	大	大
154	マテリアル・デバイス・プ ロセス	酸化物系デバイスのキラ ー欠陥低減とウェハ大口径 化の技術革新、さらにはp型 半導体（酸化ガリウム半導 体もしくは異なる材料）と の接合技術に基づく、酸化 物半導体による実用的パ ワーデバイス	<b>酸化物半導体によるパワーデバイスの実用化</b> 。 酸化ガリウムの100 mmエピウェハーが開発されたこ とで、GaNやSiCをコストパフォーマンスで凌ぐパ ワーデバイスの市場投入が期待できる。	基礎研究から応用研究に本格的に移行し、量産化の 研究開発段階になっていると見られる。 デバイスの試作は既に完了しており、あとはウェハ サイズの大口径化と欠陥の低減を推進している状態 であると推察している。	酸化物系デバイスのキラーク欠陥低減とウェハ大口径 化の技術革新。 またさらなる進展のためにはp型半導体（酸化ガリウ ム半導体もしくは異なる材料）との接合も重要と なってくる。 大口径化の道筋は見えているが、p型化は依然として 困難な課題である。	パワーデバイス、ショットキーバリアダイオード、 酸化ガリウム	中	5年未満	中	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
155	環境・資源・エネルギー	NGS解析の低コスト化や洗練された計算アルゴリズムに基づく、次世代型シーケンサーを用いた環境等試料の網羅的DNA解析による、菌叢を構成する全細菌の生育速度の高速推定	近年 <b>菌叢解析技術</b> が発達し、環境等試料中の菌叢は極めて複雑であることが明らかとなってきた。一方、菌叢を構成する細菌がお互いにどのような影響を及ぼし合っているか、環境変化にどのように影響を受け、また、環境にどのような影響を与えているのかについては研究が進んでいない。菌叢を構成する各細菌群が、環境中で増殖しているのか、また、どの程度早く生育するのかなど生育挙動に関する情報は、その環境中において細菌同士の相互作用や各細菌の環境全体への寄与度を推定する上で非常に役立つ。しかしながら、これまでの技術では生育の遅い微生物や培養ができない部生物などの生育挙動の解析は困難であった。近年、 <b>環境等試料から抽出したDNAを網羅的に次世代型シーケンサーで解析を行い、各細菌の生育速度をDNA配列解析データに基づき推定する技術</b> が開発されてきている。これらの技術は培養可能かどうかを問わず、菌叢を構成するすべての細菌を対象として生育速度を推定することを可能とし、腸内細菌叢の詳細な理解や各種環境中の細菌動態の理解と予測など細菌研究上の重要な基盤技術となりうると考えられる。	これまでに開発されている方法は、演算量が多いことから必要なマシンパワーに制限があり、また、NGS解析のコスト面からも気軽に行える状況とはなっていない。今後、NGS解析の低コスト化に加え、より洗練された計算アルゴリズムの開発により、低コスト化、高速化が進むことを期待している。		エコシステム, 細菌叢, リアルタイムモニタリング	中	5年以降10年未満	やや大	あまりなし	中
156	マテリアル・デバイス・プロセス	画素ピッチ1μm以下で、5インチスマートフォンサイズ(60K×120K、72億画素)やA4タブレットサイズ(200K×300K、600億画素)の超多画素の空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)に基づく、通信、放送、医療用3D映像技術におけるフルカラー電子ホログラフィーの実現	<b>電子ホログラフィー</b>  <b>通信や放送、医療用3D映像技術において、フルカラーの電子ホログラフィーの実現</b> が期待されている。現在のAR(拡張現実: Augmented Reality)・VR(仮想現実: Virtual Reality)技術や医療応用の分野では、ゴーグルを使いたいいわゆる2眼立体方式が主流である。複数の観測者が同時に3D映像をフルカラーで観察するためには、ゴーグルの不要な電子ホログラフィーの実現が期待されている。電子ホログラフィーにおいて、再現される3D映像の視域角30°以上を確保するためには、位相の揃った光の干渉効果を利用する原理的な要請から、1μm以下の画素ピッチからなる空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)の開発が不可欠となる。さらに、1μmの画素ピッチのSLMが開発された場合であっても、現在実用化されている8K(3,300万画素)ディスプレイの画素数では、高々8mm×4mm程度の小さいSLMしか実現できない。そこで、実用的な電子ホログラフィーの実現のためには、5インチのスマホサイズの60K×120K(72億画素)、A4タブレットサイズの200K×300K(600億画素)の超多画素の画素数を持つSLMを実現する必要がある。	現在は、原理検証・基礎実験の段階である。計算機生成ホログラムCGH(Computer-Generated Hologram)や光伝搬シミュレーション技術とSLMを組み合わせた基礎的検討が行われている。SLMの種類としては、シリコンバックプレーン上に形成した液晶デバイスの研究が主流となっているが、磁性体を使ったスピン注入デバイスや磁壁移動型スピン光変調デバイスの研究が日本国内で行われている。さらに、光の制御性を確保するため、アンテナ技術で活用されているフェーズドアレイの技術で応用したビームステアリング(Beam-Steering)の開発も重要である。この分野では日本国内ばかりでなく、○○など欧米の大学が先行しているが、韓国の○○【企業名】などでも研究を進めている。	現状3μmピッチの画素ピッチである液晶SLMを1μm以下の画素ピッチにする必要がある。また、SLMの超多画素化、SLMの高速駆動技術、映像圧縮伝送技術、信号処理技術の開発のほか、ミリ波などアンテナ技術で活用されているフェーズドアレイの技術を光に応用したビームステアリング(Beam-Steering)の技術開発も進める必要がある。	AR・VR, ホログラフィー, SLM	中	5年未満	中	中	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
157	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	海底地形データプロダクト の得られる条件や精度の整 理の進展に基づく、津波等 のシミュレーションや沿岸 域生態系の解析などのベ ースデータとなる、画像から 全球の浅海域の海底地形の 推定技術	<b>衛星画像から全球の浅海域の海底地形を推定する技術</b> 。同技術は近年研究開発が進んでいるものの、い まだ全球で利用可能な浅海域の海底地形データはな い。これまで局所的に作成してきた海底地形データ を全球に広げるには、膨大な衛星データを短時間で 処理する開発環境と衛星画像から海底地形を推定す る汎用的なモデルが不可欠であるが、開発環境は Googleやアマゾンなどの民間業者がクラウド上での 高速解析環境サービスを提供しており、海底地形を 推定する汎用的なモデルは深層学習などの人工知能 により実現されつつあるため、近い将来全球の浅海 域の海底地形データが整備され、利用可能となる可 能性がある。浅海域の海底地形データは津波、高 波、高潮シミュレーションや沿岸域の生態系解析な どのベースとなるデータとして重要であり、これら の分野も合わせて進展する可能性がある。	衛星画像から海底地形を推定するためのアルゴリ ズムや実際に解析するための開発環境は整いつつあ る。課題としては海底地形データプロダクトの得ら れる条件や精度の整理であるが、世界中の水路機関 が注目して協力する枠組みも整っているため、近い 将来に実利用できるレベルのプロダクトができると 考えられる。		SDB, 衛星画像, 深層学習	高	5年未満	大	不明	やや大
158	環境・資源・エネルギー	太陽光や積雪及び浅い地盤 中に存在する低温の熱エネ ルギー（地中熱）等の自然 エネルギーを有効活用する 技術	太陽光や積雪及び浅い地盤中に存在する低温の熱エ ネルギー（地中熱）等の自然エネルギーを有効活用 する技術	研究開発は進んでいるが、社会実装は遅れていると 考えられる。		地中熱ヒートポンプシステム, 地中熱利用システ ム, 家庭内空調・給湯システム	低	5年未満	大	大	大
159	環境・資源・エネルギー	モデリングや地上での大気 電場の直接観測・放射線計 測により、放電のきっかけ （地球外からの高エネル ギー粒子が必要か否か等） の理解が進むことによる、 雷の発生や衰退の正確な予 測	<b>雷の発生や衰退を正確に予測</b> することは、人命保護 や安定した経済活動をすすめるうえで重要である が、現状の気象条件を基にした短時間予測では曖昧 さや誤判定が多く、十分であるとはいえない。雷放 電のきっかけは解明されておらず、地球外からの高 エネルギー粒子が起因する説が考えられており、放 電機構を明らかにするため、 <b>モデリングや地上での 大気電場観測・放射線計測</b> による研究が進められて いる。	地上での大気電場強度の計測、ガンマ線等の高エネ ルギー放射線の観測によって、雷放電の過程で放出 される高エネルギー粒子について理解が進んでい る。しかし、雷放電のきっかけが雲と大地間だけで 完結するのか、地球外からの高エネルギー粒子を必 要とするのかについては、未解明である。雲の中の 電場や高エネルギー粒子の入力、発生を直接観測で きる手段が限られており、モデルの検証が出来な い。超小型の電場センサの開発が進んでおり、セン サが開発されれば、バルーンなどで雷雲内の電場を 直接観測できるようになる。		雷放電のトリガー解明, 災害状況の正確な把握や 予測に関する科学技術, 高精度気候変動予測	中	5年以降10 年未満	やや大	やや大	やや大
160	環境・資源・エネルギー	未使用原料から製造したもの と遜色のないプラスチック 製品を、日用のプラス チック製品から再生する高 度リサイクル技術	日用品のプラ製品（包装容器、ボトル、パウチ、袋 など）から、未使用原料から製造したものと遜色 のないプラ製品を再生する高度リサイクル技術	研究室で開発している段階	ブラゴミから必要な成分を生成する技術。ブラゴミ を安価に回収するための社会システム。	プラスチック, リサイクル, カーボンニュートラル	低	5年以降10 年未満	中	大	大
161	健康・医療・生命科学	個人個人に合わせて、ゲノ ミクス、プロテオミクス、 メタゲロミクスなどオミク ス技術を用い、個人に合っ た健康管理や医療を行う精 密医療（Precision Medicine）	<b>精密医療（Precision Medicine）</b> 。 <b>個人個人に合わ せて、ゲノミクス、プロテオミクス、メタゲロミク スなどオミクス技術を用い、個人に合った健康管 理、医療を行う事ができるもの</b> 。センシング技術が 進み、可能となっている。	がんのゲノム医療は既に開始され、今後は、さらに オミクス情報や臨床情報を用いたより高度な医療に 転換していく。	健康寿命が延び、医療費の適正化とともに、働く期 間の向上から経済的發展に繋がる。	医療機器開発, 生命科学基盤技術, データサイエン ス・AI, 医薬	高	5年以降10 年未満	大	大	大
162	健康・医療・生命科学	臓器延命ではなく健康寿命 の長期維持として、各臓器 における機能低下を防止も しくは機能を維持し続ける 技術	生体の機能低下を老化と考えたとき、 <b>各臓器におけ る機能低下を防止、もしくは機能を維持し続ける技 術</b> 。臓器延命ではなく、健康寿命の長期維持が求め られる。そのため、予防医学、未病医学、健康医学 が重要となる	現在研究と実践を繰り返しながら進化し続けている 段階。なので、もう一部は実現しているともいえる し、まだまだ進化の余地は大きいともいえる。よっ て実現時期は大変むずかしい。		抗老化, 健康寿命, 予防医学, 未病医学, 健康医学	中	5年以降10 年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
163	農林水産・食品・バイオ	AIで期待する特性を持つ構造を予測し、その構造に合うように微細藻類のDNAを編集し、有用物質を多く作り出す微細藻類を作り培養する技術	微細藻類のDNAを編集し、有用な物質を多く作り出すものを作り、培養する。	微細藻類のDNA編集については、さまざまな方法で取り組まれているが、従来のものはDNAを適当に傷つけて突然変異で偶然目的に合う形に変化したものを見つけていた。 近年はAIで期待する特性を持つ構造を予測し、その構造に合うよう狙い通りにDNAを編集する技術ができてつつある。 ベンチャー企業が本格的な研究を始めたところである。		次世代バイオテクノロジー、バイオマス、エネルギー変換	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
164	健康・医療・生命科学	長鎖DNA/RNAの安価、迅速、正確な合成技術と精密な配列解析技術の進展に基づく、合成生物学、生命科学、医療、情報、環境分野への応用展開	長鎖DNA/RNA合成技術の進展と合成生物学、生命科学、医療、情報、環境分野への応用展開	DNA合成技術は短鎖については、既に確立されており、さまざまな生命科学に必須の技術である。また、創薬・医療分野においても、診断、創薬ツールだけでなく、核酸医薬品(人工・修飾核酸を含む)として社会実装がなされている。遺伝子配列を読むDNA解析技術のそのまじい発展と応用展開と比較すると、DNA合成(遺伝子を書く)技術は、コスト、スピード、鎖長の面で、まだまだ研究開発の余地がある。	DNAモノマーの安価な合成技術 長鎖DNA合成技術(安価、迅速、正確) 長鎖DNAの精密な配列解析技術 人工長鎖DNAの合成技術 長鎖DNAの応用分野の拡張	DNA合成, 合成生物学, 生命科学	中	5年未満	やや大	大	大
165	マテリアル・デバイス・プロセス	超高感度分子センサーの核となる細胞外物質及びその超感度の実現に関わる分子モデルや物理的原理など、生物の化学感覚器を持つ、既存の質量分析器を凌駕した分子認識能の機構解明と再現	生物の化学感覚器を持つ、既存の質量分析器を凌駕した分子認識能の機構解明と再現	超高感度分子センサーはすでに様々なプロジェクトで開発が進められているが、ハードウェア、デバイス開発を中心としており、その基礎となる分子基盤の解明は全く進んでいない。以前よりその核となる細胞外物質の探索が試みられているが、成果は上がっていない。また仮に関連分子が見つかったとしても、なぜ超高感度が実現できるのか、その分子モデルに関わる物理的原理は未解明でありまた、その機構には量子化学的機構が関与することも推察されている。このように社会実装が大きく期待されている分野ではあるが、その実現のための基礎的知見が不足しており、その解明には新規研究分野の開拓が必要であり、今後のブレイクスルーが期待される研究分野である。	現在のハードウェアに重きを置いた戦略課題設定では、その開発に必要な基礎的知見の探求が軽視されている。確かに廃れた研究分野ではあるが、今一度、課題選定の基準を検討すべき。	超高感度センサー, 嗅覚, バイオミメティクス	高	5年以降10年未満	大	やや大	大
166	ICT・アナリティクス・サービス	①先端計測で得たデータが、機械学習・深層学習・AI技術の数値解析手法と結びつくことによる、既存計測装置の性能の飛躍的向上 ②過去データと機械学習・深層学習・AI技術の数値解析手法が結びつくことによる、これまで捨てられていた重要な情報の引き出し	<b>データ駆動型の計測法</b> <b>先端計測から得られる計測データ</b> は包括する情報が非常に豊富かつ複雑で、多くの場合はその一部分の情報しか活用されていない。こうした情報を最大限に引き出し、適切に解釈するためにはデータの数値解析が不可欠である。近年様々な分野で発達している <b>機械学習・深層学習・AI技術と重われる数値解析手法と結びつくことによって、既存の計測装置の性能が結果的に飛躍的に高まる</b> ことが期待できる。また <b>過去のデータも改めて解析することにより、これまで捨てられていた重要な情報を引き出せる</b> 可能性がある。 ハードとしての装置開発と並んで、ソフトとしての装置開発とも言える科学技術である。	ある程度はすでに成果が出ているが、現状では研究者個人の研究業績にとどまっている。重要な成果を上げている研究者や研究チームが散在していて、お互いがあまり認識されていない。多くの人が利用できる技術となるためには、複数分野の人材が協力した開発、産官学の連携や関連する学会など通した大規模な情報発信などが必要である。	実現には計測法に精通した上での数値解析の応用が必要である。 計測法の原理、計測対象の物質の物性、適切な数値解析法の選択、数値モデルの設計、こうしたことを統括して実施する必要がある。従って、個々の分野の専門家と、全体を理解するゼネラリストの協力が重要である。	データ駆動科学, 計測 X データ科学, 深層学習	高	5年以降10年未満	大	大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
167	健康・医療・生命科学	①精神疾患や神経損傷による感覚・運動能力喪失後のリハビリなどへの貢献のための、神経回路の編成に対して操作的に介入する技術  ②脳神経回路改編関連分子の分子解析と、脳内の光遺伝学・コネクトノーム解析の架橋のための、少数のサンプルから高精度で情報を取得可能な電気生理と網羅的機能解析に適したイメージング技術の融合	脳神経回路は神経細胞自身の新生能力の低さからいったん完成されると大規模な改編は難しいとされてきたが、神経・四肢・感覚損傷や、長期間にわたる特殊な訓練を経験するような状況下においては比較的、大規模な神経回路改編が生じることも分かっている。正常状態における幼若期の「柔らかい」神経回路から成熟期の「固い」神経回路に移行する際にどのような変化が生じているのか、また、病的・特殊条件下で成熟後の神経回路が変化するためには何が起きているのか、を機能・分子の両面から明らかにすることによって、操作的手法による神経回路の改編への手がかりをつかむことが可能であると考ええる。 <b>神経回路の編成に対して操作的に介入する</b> ことが可能になれば、数々の精神疾患や神経損傷による感覚・運動能力喪失後のリハビリなどに対して絶大な貢献をもたらすことが期待できる。	分子の手法の発展により、関連分子が次々と明らかになっている。また、光遺伝学・コネクトノームによって脳内の複雑な配線様式も分かってきている。今後両者を架橋するために、少数のサンプルから高精度で情報を取得可能な電気生理と網羅的機能解析に適したイメージング技術の融合が重要な段階になっている。	ハイスループットな操作的・測定法のためのさらなる技術進展と、ヒトに対して技術応用するための倫理規定の制定が必要となると考えられる。	神経生理, 分子生理, 神経回路再編	高	10年以降	大	大	大
168	マテリアル・デバイス・プロセス	高分子溶液系のdepletion effect (枯渇効果) にるミクロ相分離を活用した、自己創生する細胞様の構造と機能の解析に基づく、任意のタンパク質を合成し機能化する技術	<b>自己創生する細胞様の構造と機能：生体関連の高分子や低分子の混合系を、混ぜると、細胞様の構造が自発的に生成</b> することが最近見出されている。今後このような研究を発展させると、生命の起源の謎にせまるといった基礎学問的な意義や、 <b>任意のタンパク質を合成し機能化</b> するような新しい技術の創出につながる可能性が高いと思われる	高分子溶液は、depletion effect (枯渇効果) により、ミクロ相分離を引き起こすことは良く知られている。この高分子溶液系の特質を活用すると、細胞様構造が自己生成し、タンパク合成や自己運動をおこなうことなどが明らかになりつつある。	基礎的な立場での研究をまずは進めていくことが重要となっている。また、この研究課題は、海外の研究の後追いではなく、我が国が世界を先導している研究であることに注目していただきたい。このようなタイミングで、研究助成を行うことは、我が国の国際的な立場を高める意味もある。	人工細胞, 生命の起源, 非平衡開放系の自己組織化	高	5年未満	大	大	大
169	健康・医療・生命科学	AI・シミュレーション技術・ビッグデータを活用した創薬において、企業や機関を越えた人材やデータ等の共有システムの整備及び中・高分子医薬の創薬への活用	<b>「人工知能 (AI) ・シミュレーション技術・ビッグデータを活用した創薬」</b> に着目している。 新薬の候補化合物の探索から非臨床試験、臨床試験へと続く医薬品開発では、膨大な実験と実験データの精査を繰り返す必要がある。したがって、新薬の開発には長い年月と多額の費用が必要とされてきた。AIとシミュレーション技術、ビッグデータを創薬に応用することで、効率化と生産性の向上が期待される。	特に低分子化合物を主薬とする医薬品開発において、すでに多くの国内外の企業・研究機関がAIと実験を組み合わせて創薬を行っており、成果が報告されてきている。低分子医薬以外の抗体医薬などバイオ医薬品の開発においても、AIとシミュレーション技術、ビッグデータを活用した創薬研究事例が少しずつ報告され始めている。今後、低分子医薬のみならず中・高分子医薬の創薬においても、AIとシミュレーション技術、ビッグデータを活用した創薬研究が進み、創薬にかかる期間・費用の削減が実現されることが期待される。	創薬へのAI利用の実現化には企業や機関を越えた人材やデータ等の共有システムの整備が必要である。また、創薬に利用できるAIのさらなる開発が望まれる。	人工知能, シミュレーション技術, ビッグデータ	中	5年未満	やや大	大	やや大
170	環境・資源・エネルギー	洋上風力発電を中心とする海洋再生可能エネルギーの有効利用に関する研究及び洋上での送電技術	<b>洋上風力発電を中心とする海洋再生可能エネルギーの有効利用に関する研究及び洋上での送電技術</b> に注目している。広大な排他的経済水域を有する我が国において、海洋再生可能エネルギーの利用は持続可能な社会の構築に必要な不可欠であると考ええる。法整備においても「再エネ海域利用法」が整備されるなど、有効利用の環境が整いつつある。洋上風力発電においては単機容量が14MWに到達しており、波力発電や海流発電の研究開発も欧州を中心に盛んにおこなわれている。	洋上風力については世界各国ですでに実用化・商用化が始まっており、日本においても本格的な動きが始めている。波力発電や海流発電においては欧州を中心に運用が始まっているが、日本においてははまだ研究段階のものが多く、一部実証実験が行われている程度である。	洋上風力, 波力発電, 海流発電	高	5年未満	やや大	大	大	

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
171	農林水産・食品・バイオ	環境耐性や収量に着目した、ゲノム編集による優良形質（人口増加に対応した高収量、促成性の高い作物など単位面積あたりのカロリーや栄養素が高い等）を持つ作物の育種	<b>ゲノム編集による優良形質をもった作物の育種</b> に注目している。 すでにゲノム編集を用いた植物はいくつか生産されているが、環境耐性や収量に着目した育種はあまり行われていない。人口増加に対応した高収量、促成性の高い作物など単位面積あたりのカロリーや栄養素が高い作物の作出が期待される。	植物のゲノム編集技術は概ね確立されており、植物種の違いによる最適化は必要ではあるものの、技術的な困難は少ない。一方で、植物のゲノムに関しては説明されていない部分が多く、編集すべきターゲットを選定するための基礎的な知見は必ずしも充実していない。各種オミクス解析を通して植物ゲノムの機能解析を進める必要がある。	実現に向けた技術は概ね確立されているが、植物の遺伝子解析などの基礎的な知見の蓄積が必要である。しかし、植物の基礎学術的な研究は現在、研究費の補助も少ないことから研究が滞っている印象を受ける。また、短期的な成果を求めるため、モデル植物以外の研究があまり進んでいないのが現状である。もう少し基礎学術的な植物学、植物生理学への助成を進め、研究領域の活性化が必要である。また、 <i>ゲノム編集</i> に関しては心情的に社会が受容しにくい風潮があるため、情報公開や社会への周知・教育が必要である。	ゲノム編集食品、高収量作物、耐環境作物	高	5年以降10年未満	やや大	大	大
172	健康・医療・生命科学	AIによる精神疾患の判別および重症度評価	AIによる精神疾患の判別および重症度評価	臨床試験や一部治療も進んでいる。臨床応用されるまでにはもう少し時間がかかりそう。	診療報酬制度との兼ね合い	機械学習、精神疾患、重症度判評価	中	5年未満	やや大	中	中
173	マテリアル・デバイス・プロセス	層状物質やナノシートを含む二次元材料	層状物質やナノシートを含む二次元材料	現在、世界中で「2D materials」として注目され、盛んに研究がおこなわれている。学術的な基礎研究の域を出て、応用・実用的な成果が期待されているところである。		二次元材料、層状物質、ナノシート	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
174	健康・医療・生命科学	iPSやES細胞を用いたオーダーメイド型の再生医療	<b>iPSやES細胞等を用いたオーダーメイド型の再生医療</b> の実現。	すでに基礎的な段階の研究はかなり進んでおり、特定の分野においては臨床段階の研究や治療にも応用されている。		再生医療、iPS細胞、ES細胞	中	5年未満	大	大	大
175	健康・医療・生命科学	対象の臓器に蛍光プローブを噴霧するだけで即時に発がん部位が発光し、肉眼で見えづらい微小がんを発見できる即時がん診断医薬品	<b>蛍光物質を利用した即時がん診断医薬品</b> 。 術中の発がん部位の確認法として、対象とする臓器に蛍光プローブを噴霧するだけで、即時に発がん部位が発光し、肉眼で見えづらい微小がんを発見できるため、手術において、腫瘍摘出術が容易になるというものの。	既に、いくつかのがんについて、特定のプローブが開発されている。 in vitro及びin vivoでも効果があることが分かっている。		光イメージング技術、がん診断、蛍光プローブ	中	5年未満	中	大	大
176	健康・医療・生命科学	孤発性アルツハイマー病の病態形成におけるオリゴマー状の構造物とミクログリアとの関連及び調節機構の解明に基づく、難治性疾患に対する治療薬開発	最近のGWAS解析より、孤発性アルツハイマー病の病態形成には、脳の免疫担当細胞であるミクログリアが密接に関わることが明らかにされた。また、ミクログリアの異常な活性化は、統合失調症や自殺念慮にも深く関わる事が明らかとなっている。しかしながら、ミクログリアが如何にして認知症や精神疾患に関与するかは不明である。 <b>ミクログリアの調節機構</b> が明らかとなれば、その <b>科学知識を応用して難治性疾患に対する治療薬開発</b> が可能となり、社会的なインパクトも大きい。	最近のGWAS解析より、孤発性アルツハイマー病（AD）の病態の悪化には、脳の免疫担当細胞（ミクログリア）が寄与する。しかしながら、ADの原因であるオリゴマー状の構造物とミクログリアとの関連は不明である。ミクログリアがどのようにして、これらの分子を認識し細胞応答を引き起こすのかが明らかとなれば、その科学知識を応用して治療薬開発が可能となり、弄便行為などへの対応に追われている介護者も助けられる。		ミクログリア、認知症、精神疾患	高	5年以降10年未満	大	大	大
177	環境・資源・エネルギー	CO2還元反応触媒やCO2吸着材料など、二酸化炭素の資源化に関する科学技術（Carbon Capture and Utilization (CCU) ）」	Carbon Capture and Utilization (CCU) 二酸化炭素の資源化に関する科学技術	キーマテリアルであるCO2還元反応触媒やCO2吸着材料について、ラポレベルでは有望候補が見出されつつあるが、実用化には長期的な研究が必要であろう。		CO2還元反応触媒、CO2吸着材料、環境保護	低	5年未満	中	大	大
178	マテリアル・デバイス・プロセス	低分子の変換としての光や電気化学を駆使したラジカルケミストリーによる、ポリエチレンやポリプロピレンなどの難分解性ポリマーの分解技術	<b>難分解性ポリマーの分解</b> ポリエチレンやポリプロピレンなどの難分解性ポリマーの分解技術への注目が高まっている。SDGsが国際的に叫ばれる昨今、今後爆発的に多くの研究者が本技術の開発に参画し、20-30年の間には社会実装される可能性もある。	近年、低分子の変換として光や電気化学を駆使したラジカルケミストリーが再興し、低反応性炭化水素のC-H活性化・変換反応が可能となりつつある。いまはこの現象を起点とした結合形成(官能基化)が主な使用方法となっている。いずれもいまだ変換効率は低いものの、低反応性だった化合物の変換を可能にした点で多くの化学者の興味を引いているものと考えている。 今後はこのC-H活性化・変換を起点とし、ポリマーの主鎖を形成するC-C結合切断への展開が予想される。	難分解性ポリマーのC-C結合切断を可能にする新たな反応体系の確立	資源循環、難分解性ポリマー分解、再生可能資源	中	10年以降	大	やや大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
179	健康・医療・生命科学	mRNA利用のための薬物送達技術(Drug Delivery System)	mRNA利用のための薬物送達技術(Drug Delivery System)	コロナ禍での緊急使用により、遺伝子治療の規制が緩くなっているのではないかと。技術はあるので、いつ使用拡大がなされるかの段階	緊急措置のワクチンではないので、臨床使用に関しては慎重であるべきだが、意識は変わっていると思うので、進捗は早いと思われる。	mRNA, Drug Delivery System, 担体	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
180	健康・医療・生命科学	遺伝子治療	遺伝子治療	一部で臨床応用		遺伝子治療, 遺伝子送達技術, ワクチン	高	5年未満	大	大	大
181	環境・資源・エネルギー	新しい物質の開発による、希少元素の代替技術	<b>希少元素の代替技術</b> 有用な材料にはまだ希少な元素が不可欠であるものがたくさんある。希少元素の回収・再利用の技術も重要であるが、根本的な元素の代替技術の開発が必要である。	元素の置き換えは新しい物質の開発による。物質の用途は多岐に渡り、研究進捗状況も様々である。		金属資源・非金属資源, 資源効率, 資源循環	低	5年以降10年未満	大	大	やや大
182	健康・医療・生命科学	入院患者に適した食事や、食物アレルギーや各種疾病の治療へも貢献可能な、人工培養肉を3Dプリントで成型して代用肉として供給する技術	<b>人工培養肉を3Dプリントによって成型し、代用肉として供給する技術</b> 。従来の植物由来フェイクミートを3Dプリンタで作製する代替肉とは異なり、実際に動物性の細胞からステーキ肉も調整できる。食感を調整することで、高齢者など入院患者にも適した食事の開発が期待できる。	イスラエルの食品企業などで代用肉の開発が進められており、いずれも2022年頃の実用化を目指している。国内でも〇〇大学などのチームで開発が続けられている。これらの技術で得られる代用肉は食品として長期的に摂取することが可能なものであるため、今後は遺伝子組換え技術等を利用して、食物アレルギーや各種疾病の治療への貢献に期待している。		人工培養肉, 3Dプリント, 代用肉	低	5年未満	やや大	大	やや大
183	環境・資源・エネルギー	センシング技術の発展や低コスト化、オープンデータの進展によるデータ量増加に基づく、予知保全における予測や故障要因の機械学習による推定	保全技術は事後保全や予防保全から予知保全へと変化しています。センシング技術の発展や低コスト化により、リアルタイムに得られるデータは増えていきます。オープンデータ化されるという機運があります。予知保全は、故障が発生する前までに何がどのような状態であったかを知ることが重要です。そこで <b>機械学習により、予知保全における予測や故障要因の推定を行う</b> ことが期待されます。	センサの数が5程度、簡単な因果関係の故障要因であれば見つけられています。	公的機関や公共性の高い企業等などによるオープンデータの公開が進めば、研究者らは適用範囲を広げられると思います。	説明可能なAI, 深層学習, ビッグデータ	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
184	健康・医療・生命科学	EIA法を基盤とした手法などにより、脂質メディエーター産生をライブ観察する手法	<b>脂質メディエーター産生をライブで観察する手法</b> 。サイトカインなどは可能になっているが、基本的にはサンドイッチELISAが基盤と原理となっている。しかしながら脂質メディエーターなどの低分子化合物はサンドイッチできないためにEIA法が用いられている。EIA法は一種の抗体（捕捉抗体）のみで検出を行うため、現在行われているサンドイッチELISA法を応用したイメージング法ではライブでの観察ができない。	前述したように、現在行われている方法はサンドイッチELISA法を応用したライブイメージングである。EIA法を基盤としたものはいまだに開発されていない。	低分子化合物を簡単標識できる技術。	イメージング, ライブイメージング, サイトカイン, 脂質メディエータ	低	10年以降	やや大	やや大	やや大
185	ICT・アナリティクス・サービス	ディープラーニングを活用した、生体情報やケアに関する経験知の形式化	<b>ディープラーニングを活用することで生体情報やケアに関する経験知を形式化</b> していく。	開拓的な研究が取り組まれつつある		フィジカルアセスメント, 深層学習, AI	高	5年以降10年未満	大	大	大
186	健康・医療・生命科学	がん細胞にだけ選択的に結合する抗体と赤外線感受性物質（IR700）を用いて、がん細胞だけを幅広く選択的に駆除する技術	<b>がんに対する光免疫療法</b> <b>がん細胞にだけ選択的に結合する抗体と赤外線感受性物質（IR700）を用いて、がん細胞だけを選択的に駆除する技術。</b>	技術的には確立されており、一部の癌に対して、有効性を示している。ただ、コストがかなり高いことと、全てのタイプの癌に効くわけではないこと、などが現段階での問題だと理解している。		IR7, 抗体, 赤外線	低	5年未満	大	大	大
187	環境・資源・エネルギー	乱流の計測と数値シミュレーション・データモデルの融合による、限られた計測データから流れの状態を正確に推定する技術	乱流の計測と数値シミュレーション・データモデルの融合による、限られた計測データから流れの状態を正確に推定する技術	数値シミュレーションデータを用いた基礎的な性能検証が行われている。ノイズの無い環境で、相関のある状況での状態推定がある程度うまくいくことが確かめられている。		乱流計測, データ同化, 状態推定	高	5年未満	大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
188	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	量子もつれ光子対を用いる ことで、従来の分光測定 (レーザーを含む古典的な 光を用いた測定)の検出限 界を上回る測定技術	<b>量子もつれ光子対を用いることで、従来の分光測定 (レーザーを含む古典的な光を用いた測定)の検出 限界を上回る測定技術の開発</b> が期待される。	現段階では量子もつれ光子対を用いた赤外分光(振 動分光)がいくつかのグループから報告されてい る。一方、可視光から紫外光領域の分光測定につい ては、ほとんど報告がない。また、量子もつれ光子 対を用いて本格的な分光測定を行うには、広い領域 にわたって波長掃引できる光源の開発も必要である が、これについては実用段階にない。		量子もつれ、量子雑音限界、エンタングルメント	中	5年以降10 年未満	大	不明	不明
189	環境・資源・エネルギー	微生物を活用した都市鉱山 からの貴金属・レアメタル のリサイクル技術	<b>微生物を活用した都市鉱山からの貴金属・レアメタ ルのリサイクル技術</b> 都市鉱山に含まれる貴金属やレアメタルは、薄く広 く偏在しているため、経済性の観点から従来の金属 リサイクル技術では対応が困難である。微生物は、 常温・常圧下で希薄な金属溶液から細胞内に高速か つ高効率に貴金属を分離濃縮して粒子化することが できる。このため、小型反応器による操業が可能と なり、地域分散型リサイクルが可能な技術として期 待されている。	嫌気的環境であれば、多くの微生物が白金族元素を 還元できることは明らかになっている。しかし、都 市鉱山の処理廃液が強酸性であること、また細胞内 に蓄積された元素の分離回収が課題となっている。	バイオ還元能を有した好酸性微生物の発見、細胞内 からの安価な元素回収技術	微生物、バイオ還元、レアメタル	高	10年以降	中	中	中
190	マテリアル・デバイス・プ ロセス	設計データと異なる可能性 のある現物の形状を、非破 壊に内部まで3次元的に取 得することにより、デジタ ルツインをはじめとする Dxものづくりに不可欠な 形状データを得る、X線CT スキャンによる現物ベース ものづくり	<b>X線CTスキャンによる現物ベースものづくり</b> 。設計 データと異なる可能性のある現物の形状を、非破壊 に内部まで3次元的に取得することにより、デジタ ルツインをはじめとするDxものづくりに不可欠な形状 データを提供できると期待される。しかしそれには スキャンデータの高精度化・高画質化、X線CTス キャンと相性の悪い箇所で生じるアーチファクトへ の対応・計測とデータ処理時間の短縮・大規模デー タへの対応等、解決すべき課題が多くある。	X線CTスキャンを用いたものづくりが製造業界に浸 透しはじめ、それに伴い、新たな課題が多数発掘さ れている状況。実用化に最低限必要なレベルの技術 は提供されているものの、Dxに活用するにはより多 くの研究がなされる必要がある。		X線CT, 3次元ポリウムデータ, 非破壊検査	高	5年以降10 年未満	やや大	大	大
191	健康・医療・生命科学	①骨格筋幹細胞を生体外で 培養し移植することで筋の 再生に応用する技術  ②骨格筋から分泌されるホル モンを解明し、健康寿命 の延伸に活かす研究	<b>骨格筋幹細胞を生体外で培養し移植することで筋の 再生に応用しようとする技術</b>  <b>骨格筋から分泌されるホルモンを解明し、健康寿命 の延伸に活かそうとする研究</b>	幹細胞の研究に関してはiPSがすすんでいるが、体性 幹細胞としての筋サテライト細胞の研究はより骨格 筋にフォーカスした研究となる。まだ治療段階まで はいかないが、筋幹細胞の研究者が増えて、幹細胞 の維持が筋の質や量に重要であること、移植によっ て生着することが動物実験レベルで明らかにされつ つある。  マイオカインは複数発見されているがまだ、医薬品 として開発するレベルに至るものは少ない。マイオ カインが筋幹細胞を制御しているとの報告も複数あ り、2つ挙げた内容が互いに関係しあっている。	資金や研究環境につきる。基礎研究から応用研究を 行うには複数の研究者が力を組み合わさって研究す る必要がある。応用につながる医学系ばかりに研究 費の配分では、進展が遅い。	サテライト細胞、マイオカイン、骨格筋	高	10年以降	やや大	大	不明
192	環境・資源・エネルギー	データサイエンスの環境分 野への応用	データサイエンスの環境分野への応用	多くの取り組みがなされている	日本においては研究開発力の向上(研究開発に注力 できる環境の整備)。	気候変動・生物多様性の 統合的評価、データ駆動 科学、地球環境・資源・自然災害・農作モニタリ ング	中	5年未満	中	中	中
193	マテリアル・デバイス・プ ロセス	超低価格かつフレキシブル なシート状太陽電池	超低価格かつフレキシブルなシート状太陽電池	有機薄膜太陽電池のパワー変換効率が足踏みする 中、ペロブスカイト型太陽電池に注目が集まってい た。その流れにより〇〇【国立研究開発法人名】な どの公的資金による実用化に向けた研究が推進され ている。	ペロブスカイト型太陽電池は鉛フリー化が達成され なければ、特にわが国では受け入れられないがその 目途はたっていない。社会実装に向けた研究開発に おいては、公的資金の投資に際して「受け入れられ る技術か否か」という観点に基づく評価を重視すべ きであると考えられる。	有機薄膜太陽電池、ペロブスカイト型太陽電池、室 内光発電	高	5年以降10 年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
194	環境・資源・エネルギー	低コスト再生可能エネルギーを用いた、水電解による大規模水素製造及び同水素と空気中の窒素を用いて合成したアンモニアや水素の、日本への輸送システム及び利用方法（混焼、専焼、分解）に関する要素技術	<b>低コストの再生可能エネルギーを用いて電気を製造し、水電解による大規模な水素製造、および同水素と空気中の窒素を用いたアンモニア合成、さらに製造したアンモニア（や水素）を日本まで海上運搬するエネルギー輸送システムの構築と、日本へ運搬したアンモニアの利用方法（混焼、専焼、分解）に関する要素技術の開発と実装化</b> に注目している。日本では、再生エネルギーを利用した発電はコスト的に絶対ペイしないので、海外からエネルギーキャリアを運搬するしかないが、ルート開発と海外への技術移転などの諸問題をどのように解決するのか、そして社会実装するのかに最も興味がある。	水電解技術、アンモニア合成技術が既存技術でも構わないが、より効率的に製造できる技術の開発は必要。アンモニア運搬用タンカーなどのインフラは既存技術を用いれば良いので、技術開発というよりも、いかにして再生可能エネルギーに富む国との関係を強めるのか、現地へ技術移転し、製造したアンモニア（ないし水素）を日本まで運搬するルートを確保するのかに主題があると考ええる。	いかにして再生可能エネルギーに富む国との関係を強めるのか、現地へ技術移転し、製造したアンモニア（ないし水素）を日本まで運搬するルートを確保するのかに主題があると考ええる。	再生可能エネルギーによる水素・アンモニア合成、水電解による大規模水素製造、アンモニア直接燃焼・混焼技術、グリーンアンモニア合成地から日本へ輸送ルートの開発、現地への技術移転（水電解、アンモニア合成）	高	5年未満	中	大	大
195	都市・建築・土木・交通	MaaSにおいて、交通や輸送に限定せず、人のアクティビティ全体（生活やレジャーなど）やサプライチェーン機能全般（生産や保管など）を包含したシステム形成	「 <b>デジタルトランスフォーメーション時代の交通・輸送システム ～MaaS～</b> 」  IoTやクラウド（あるいは、ブロックチェーンなども）などのデジタル技術とAIを活用して、人流や物流を円滑化・効率化・最適化するとともに、持続可能性を向上させる。平常時における、新しいビジネスモデルや交通・輸送マネジメントの手段として活用できるだけでなく、災害時の交通・輸送ネットワークの確保においても有効に機能することが望まれる。また、自動運転車や空飛ぶクルマなどの新しい交通手段も、移動・輸送の選択肢の一つとして、システムに包含される。	人流に焦点を当てたシステム、平常時のビジネスモデルとしてのシステムは、世界的に見て、行政主導もしくはIT企業主導で構築されつつある。 ただし、「実現に向けて必要な要素」で記したような、包括的なシステムはまだ無い。また、持続可能な都市形成や災害時の強靱性に焦点を当てたシステムも、まだ見られない。	・交通や輸送に限定しない包括的なシステム形成が有用である。すなわち、人流の場合は、移動だけに限定せず、人のアクティビティ全体（生活やレジャーなど）を包含すること、物流の場合は、輸送だけに限定せず、生産や保管などのサプライチェーン機能全般を包含することが望まれる。 ・様々な移動・輸送手段、アクティビティ、サプライチェーン機能が包含されるため、それらが透過的にシステムに含まれるように、汎用性及普及性の高いデジタル技術やAIの開発・適用が望まれる。 ・個々人や個々の企業の時々刻々の高精度な最適解が、大規模計算を通じて求解される必要があるもので、高精度で高速の大規模最適化計算技術（ハード面だけでなく、アルゴリズムのソフト面でも）の開発・適用が望まれる。 ・自動運転車や空飛ぶクルマも、持続可能な交通・輸送システム形成に包含されることから、新しい交通・輸送手段の開発も必要である。	移動支援、輸送システム、効率化・高速化、交通情	高	5年未満	大	大	大
196	マテリアル・デバイス・プロセス	正極集電体にカーボン材料を用いることにより鉛蓄電池の過放電脆弱性を克服し、安価、安全性などの長所を維持しつつもリチウムイオン二次電池に相当する容量、深充放電サイクル寿命を実現する鉛蓄電池	鉛蓄電池の過放電脆弱性が、正極集電体と正極活物質の局部電池反応によることが、最近理論的に明らかにされた。 <b>正極集電体にカーボン材料を用いることにより、過放電脆弱性が克服</b> できる。詳しい解析により、正極活物質である二酸化鉛と正極集電体の鉛の間の局部電池反応が過放電脆弱性の原因であり、正極集電体をカーボン材料に変えることにより、この局部電池反応が阻止され、過放電脆弱性が解消されることが明らかにされている。さらに、正極集電体にカーボン材料を用いて、従来の鉛蓄電池では1回も可能ではなかった、2ボルトと0ボルトの間の深充放電の繰り返し、1000回以上継続することも示されている。従来の鉛蓄電池が持つ、安価、安全性などの長所を維持しながら、 <b>リチウムイオン二次電池に相当する容量、深充放電サイクル寿命を實現</b> できる。さらに、鉛蓄電池は、そのリサイクルがほぼ100%であり、完全に鉛が環境に出ないシステムが確立されている。SDG'sの観点からも、使用が推奨される。電気自動車のバッテリーとして、リチウムイオン二次電池に変わる可能性を持っている。また、太陽光発電のオフグリッド発電システムの蓄電にも大きな需要が見込まれる。	学術的研究段階をすでに終了し、実際の使用を目指す段階にある。	鉛蓄電池が、すでに確立された技術で、技術進歩ポテンシャルが高くない（蓄電池戦略、経済産業省蓄電池戦略プロジェクトチーム、(2012)）というような固定観念があり、社会実装の障害になっている。機能を客観的に評価すると、電気自動車分野で、リチウムイオン二次電池に替り得るポテンシャルを持っていることがわかる。社会の固定観念の払しょくが、最も必要である。	過放電脆弱性を克服した鉛蓄電池、リチウム電池に相当する深充放電サイクル寿命、電気自動車用バッテリー、リサイクルがほぼ1%、安全性大、安価、太陽光発電のオフグリッド発電システムの蓄電	高	5年未満	あまりなし	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
197	マテリアル・デバイス・プロセス	脱炭素社会の実現に不可欠な、塗布プロセスを用いて安価な材料から作製してもシリコン太陽電池に匹敵する光電変換効率を得られるペロブスカイト太陽電池	<b>ペロブスカイト太陽電池</b> に注目しています。日本発の技術です。塗布プロセスを用いて安価な材料から作製してもシリコン太陽電池に匹敵する光電変換効率を得られます。世界中で研究開発が活発に行われています。無尽蔵な太陽光から電気エネルギーを取り出せる太陽電池は脱炭素社会の実現に不可欠です。	基礎的な検討から、企業を中心とした実用化研究まで幅広く行われています。		ハロゲン化金属ペロブスカイト, 太陽電池, 脱炭素	高	5年以降10年未満	中	大	大
198	ICT・アナリティクス・サービス	Attention機構を用いた深層ニューラルネットワークだけでなく、それ以外の高性能ニューラルネットワークの学習・構築が可能な類似手法の統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術	Transformerの登場によりAttention機構を用いた <b>深層ニューラルネットワーク</b> が着目を浴びているが、Attention機構以外でも <b>類似の計算手法でも高性能なニューラルネットワークの学習・構築が可能</b> であることが報告されており、 <b>Attention機構を含めたそれらの統一的な構築方法・設計方法にまつわる科学技術全般</b>	当該分野のトップカンファレンスで報告されている段階		深層学習, Transformer, MetaFormer	中	5年未満	やや大	中	あまりなし
199	マテリアル・デバイス・プロセス	ナノ材料中の微細構造の制御・評価技術や新たな合成アプローチに基づく、原子・分子レベルで構造が制御された、新たな量子特性を示すナノ材料	原子・分子レベルで構造が制御された量子材料の開発	新たな量子特性を示すナノ材料の合成技術や物性制御アプローチが報告されつつある。	ナノ材料中における微細な構造を制御・評価できる技術の進展や新たな合成アプローチの開拓	量子材料, 欠陥, ダイヤモンドNVセンター, カーボンナノチューブ, 遷移金属ジカルコゲナイド	高	10年以降	大	大	大
200	環境・資源・エネルギー	低発電だがコスト的な許容が期待される浮体型洋上風力発電などの、洋上風力発電	洋上風力発電	洋上風力発電の研究自体は様々な視点から実施されているが実現段階の点ではコストの壁が大きいものと考えられる。大型のものではなく、低発電だがコスト的に許容されることが期待される浮体型のものから徐々に実現段階に進めていく研究段階に進むものと考えられる		洋上風力, 洋上大容量高速通信, グリーンインフラ	中	10年以降	やや大	やや大	やや大
201	農林水産・食品・バイオ	家畜生産からの温室効果ガス排出削減と生産性向上の両立	<b>生物の遺伝子プログラムの書き換え技術</b> 生命がもつ遺伝子プログラムを根本から再設計することにより、新たな生物システムを構築して、全く新しいタイプの生命を創りあげる技術。再設計された動植物や微生物を利用して、新しいタイプの薬、燃料などを生産する。	研究室で開発している段階		遺伝子工学, 合成生物学, システムバイオロジー	中	5年以降10年未満	大	大	大
202	環境・資源・エネルギー	エネルギーと水問題を同時に解決し得る、温海水と冷海水の温度差を利用した海洋温度差発電とスプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化を組み合わせたハイブリッドサイクル	海洋温度差発電は、表層の温海水と深層の冷海水の温度差を利用して発電を行う。 また、スプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化は海洋温度差発電と組み合わせて淡水を生成する手法として注目されている。 <b>スプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化と海洋温度差発電を組み合わせたハイブリッドサイクル</b> は、発電時に温室効果ガス等の排出がなくクリーンな再生可能エネルギーであり、エネルギー源も持続的に利用することができ、かつ、同時に淡水を生成することができるため、エネルギーと水問題を同時に解決し得る。海洋国家である日本に適したシステムであり、その実用化が期待される。	ハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の基礎特性が求められ、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)において実証装置を用いた研究が実施されている。	海洋資源, 再生可能エネルギー, 海水の飲料水化	高	5年未満	中	やや大	やや大	



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
203	マテリアル・デバイス・プロセス	金属イオンと架橋性の有機配位子からなる結晶性の多孔性高分子の知見に基づく、ガス貯蔵・分離材料等として実用可能な多孔性高分子	<b>金属イオンと架橋性の有機配位子からなる結晶性の多孔性高分子(多孔性配位高分子(PCP)または有機金属構造体(MOF))</b> は、外部気相圧力に応じてその結晶骨格に構造転移が生じることで特異な吸着挙動を示す。そのため、ガス貯蔵・分離のための有望な新規な材料として注目され、この十数年、精力的に新たなPCP/MOFの開発と、その機能の評価が行われてきた。今後はこれまでに蓄積されてきた膨大なPCP/MOFに関する知見を基に、 <b>それらを実社会に生かすための研究</b> の重要性が増すと考えられる。	金属イオンと配位子の組み合わせを変えることで新たなPCP/MOFに関する研究は現在も盛んに行われている。しかし、近年はその実用化を目指して多くのベンチャー企業が立ち上げられている。それらの中から実用化に成功するものが5年程度の間に現れることが、この分野の研究が今後も盛んに盛んに行われるかの分岐点になると個人的には考えている。		多孔性配位高分子, 有機金属構造体, ガス分離	低	5年未満	不明	やや大	やや大
204	健康・医療・生命科学	次世代の分子標的治療薬(抗体医薬)としての、免疫系を利用したハイブリドーマテクノロジーに基づく立体構造特異的モノクローナル抗体	次世代の分子標的治療薬(抗体医薬)として利用できる「 <b>立体構造特異的モノクローナル抗体</b> 」に注目している。その理由は、生体内の標的抗原はそれぞれ独自の2次構造、3次構造を有しており、その高次構造を特異的に認識する抗体は、治療薬として理に適っている。現在の抗体医薬の殆どすべては、生体内の標的抗原の1次構造を認識する特徴がある。その認識部位でも、ある一定の効果は期待できるが、高次構造認識抗体はその特異性および親和性において、従来の抗体医薬と比べて極めて高いことが予測され、格段の治療効果が期待できる。	「立体構造特異的モノクローナル抗体」の作製には、免疫動物の免疫系を利用したハイブリドーマテクノロジーが最も優れていると思われる。その目的のためには、3つのポイントが考えられる。 1. DNA免疫法などを用いて、立体構造を保持した状態で標的抗原を免疫動物内で発現させ、免疫系に認識させる必要がある。それによって、標的抗原によって感作された立体構造特異的抗体産生B細胞が活性化される。 2. 感作された目的のB細胞の数が少ないため、標的抗原によって予め選択する必要がある。そのためには、立体構造を保持した標的抗原発現ミエローマ細胞の利用が考えられる。B細胞表面上の受容体(抗体)を利用した抗原抗体反応に基づき、目的の立体構造特異抗体産生B細胞を選択、濃縮することができる。 3. 最後に目的のB細胞－ミエローマ細胞複合体を電気パルスによって融合し、目的の立体構造特異的モノクローナル抗体産生ハイブリドーマを効率的に取得することができる。 上記技術はほぼ完成しており、すでに論文発表されている。コロナ対応も鑑み、早急な実用化が必要と考えられる。	1. ヒト抗体産生トランスジェニックマウスを用いることができれば、抗体産生ハイブリドーマの作製と同時に高次構造特異的ヒトモノクローナル抗体を取得できる。 2. 目的のB細胞とミエローマ細胞複合体を電気パルス融合するとき、B細胞－ミエローマ細胞複合体の配向を電極に対して垂直にコントロールできれば、より効率的に目的の高次構造特異的モノクローナル抗体産生ハイブリドーマを作製することができる。 3. 標的抗原発現ミエローマ細胞を液体窒素ストックした後、標的抗原の発現効率が低下する場合がある。その点が改善できれば、さらに効率的な立体構造特異的モノクローナル抗体の作製が期待できる。 4. Gタンパク質共役受容体(GPCR)などの膜結合型のタンパク質のみならず疾病関連可溶性タンパク質にも応用できれば、全ての種類(膜結合型および非膜結合型)のタンパク質への応用が可能になる。	分子標的治療薬, モノクローナル抗体, 高次構造認識	高	5年未満	大	大	大
205	環境・資源・エネルギー	再生可能エネルギー	再生可能エネルギー	木質バイオマス発電については、バイオマスの調達が可能かどうか分からない。 塩分濃度差発電については、膜の目詰まりが克服できない。		木質バイオマス発電, 塩分濃度差発電, 太陽光発電	中	5年以降10年未満	やや大	大	大
206	宇宙・海洋・地球・科学基盤	太陽フレアを含む太陽活動現象や地球周辺宇宙環境の予測モデル進展に基づく、AI技術を利用した宇宙天気予報	AI技術を利用した宇宙天気予報	日本においては〇〇【国立研究開発法人名】、欧米等においては複数の研究機関において、宇宙転機の代表的問題である太陽フレアの実予測システムが実装され、webサイトベースで公開されている。一方で、他の太陽活動現象や地球周辺宇宙環境についても予測モデル開発が進んでおり、5年程度で宇宙天気予報分野の社会実装は大きく進むと考えられる。		宇宙環境, 太陽活動, 人工知能	高	5年未満	中	中	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
207	マテリアル・デバイス・プロセス	繰り返し充放電の耐性を持ち劣化に強いスーパーキャパシタと、有機太陽電池とを統合したフレキシブル光充電システム	<b>有機太陽電池とスーパーキャパシタを統合したフレキシブルな光充電システム</b> は、今後ウェアラブルデバイスやバイオデバイスにおいて、自己給電可能な独立電源として期待される技術です。有機太陽電池から直接充電すると電池の充放電が頻繁に生じるため、リチウムイオン電池や鉛蓄電池等の蓄電池では蓄電池が短時間で劣化してしまう欠点がありますが、スーパーキャパシタは繰り返し充放電に対して耐性があるため、今後需要が増していくと考えられます。	有機太陽電池は近年、新たな材料開発により効率が飛躍的に高まっており、実用化段階ですが、太陽光が弱かったり夜間の給電のために蓄電池との統合が期待されています。しかしながら、有機太陽電池から直接充電すると電池の充放電が頻繁に生じるため、リチウムイオン電池や鉛蓄電池等の蓄電池では蓄電池が短時間で劣化してしまう欠点があります。そこで、近年期待されているのが有機太陽電池とスーパーキャパシタとの統合型システムです。このシステムは、ここ数年で有力な論文誌にも研究成果が発表され始めてきており、これから基礎研究から応用研究へと移行していく段階である状況です。		光充電, フレキシブル, 自己給電	高	5年以降10年未満	大	やや大	大
208	健康・医療・生命科学	嚥下機能検査のバーチャルリアリティ技術	嚥下機能検査のバーチャルリアリティ技術利用	データ採取、構築を行っている		嚥下, バーチャルリアリティ, CT	中	5年未満	大	あまりなし	大
209	環境・資源・エネルギー	生活用水あるいは理想的には海水や汚水など、真に水を電子源とし製造コストをベイできる、光エネルギーを化学エネルギーに変換する人工光合成系	<b>製造コストをベイできる光エネルギーを化学エネルギーに変換する人工光合成系</b> の開発。	まだ革新的な基本科学技術が確立される前の芽生え期	人工光合成の研究は多数行われているが、あくまで一部を達成しているものが多く、真に水を電子源として、光エネルギーを化学エネルギーにしている系はない。またここで示す水も重要で、夾雑物のない綺麗な水では意味がなく、生活用水あるいは理想的には海水や汚水などから電子を取ることが必要である。これを実現するための基盤技術は未だ確立されていない。	人工光合成, エネルギー, 水素	中	10年以降	大	大	大
210	マテリアル・デバイス・プロセス	①自己組織化などメゾ構造創成技術の高度化に伴う、メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルに関する材料開発  ②メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルにおける、対象材料に応じた構造安定解析技術（材料・構造の安定性、健全性、製造効率などを解析する技術）  ③メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルにおける、ミクロスケールで制御して目的の微細構造を高効率に作製する技術	近年、 <b>自己組織化などメゾ構造創成技術の高度化に伴い、メタマテリアル・メタサーフェイス・アーキテクテッドマテリアルに関する材料開発</b> の発展は注目に値する。これらの材料は、力・振動・光・化学物質などの作用に対して多彩な物理応答を示す多機能性・高機能性に特徴があり、材料開発から産業応用までの横断的で組織的な研究支援体制が必要とされる。特に、その力学機能は強い非線形性を示す傾向にあり、産業応用化を見据えると、対象材料に応じた構造安定解析技術（材料・構造の安定性、健全性、製造効率性などを解析する技術）の構築が必要不可欠である。	学問全体として考えると基礎研究の段階にあるが、対象とする機能（例えば、負の屈折率）によっては、それを発現する材料や構造は既に実現されているものもある。産業応用化に向けた研究・開発を進めていく必要がある。	ミクロスケールで制御して目的の微細構造を高効率に作製する要素技術が進展すれば、急速な産業応用化が期待される。	メタマテリアル, メタサーフェイス, アーキテクテッドマテリアル	高	5年以降10年未満	中	大	大
211	マテリアル・デバイス・プロセス	最先端微細デバイス開発に向けた、原子スケールの第一原理計算を機械学習等で粗視化することによる、量子スケールから巨視的スケールに繋いだ数値計算手法及び現実的デバイスシミュレーション	<b>最先端微細デバイス開発に向けた現実的なデバイスシミュレーション開発</b> 。原子スケールの第一原理計算を粗視化することで量子スケールから巨視的スケールに繋いだ数値計算手法の開発が求められている。その為の手法として機械学習の活用が期待されている。	デバイスシミュレーション等への機械学習（深層学習）の応用はすでにいくつか報告があるが、まだ初期的な段階にある。一方、最先端ナノスケールデバイスの現実的な特性予測に向けての最大の懸念事項が、量子スケールと巨視的（古典）スケールを繋ぐマルチスケールに渡る粗視化の問題である。粗視化に対して確率的な機械学習（深層学習）を応用するという指摘があるものの、まだ具体的な研究成果は出てきていない。	機械学習のための統計を中心とした高度な応用数学とデバイスシミュレータの基礎となる基礎物理（非平衡統計力学と物性理論）の両方に習熟していることが必須であるが、そのような人材が日本では欧米に比べて極端に少ない。	機械学習, デバイスシミュレーション, 粗視化	高	5年未満	大	大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
212	農林水産・食品・バイオ	食利用を目的とした菌類・バイオマス生産技術に基づく、微生物による代替食品生産	<b>微生物による代替食品生産</b> は、海外でもスタートアップによる開発が盛況となっている。 微生物による代替食品には、 <b>精密発酵</b> と <b>バイオマス生産</b> に大別され、前者はいわゆる食品関連タンパク質の組換え生産であると言える（日本では、社会実装にハードルが高いかもしれない）。一方で、後者の場合は菌類などの培養生産により、実食可能なバイオマス生産技術であり、従来ではきのこなどしか着目されていなかった。そこに新たに注目されているのが、 <b>菌類を液体培養などで効率的に生産する技術</b> である。代替肉の研究界限では、培養肉が注目を集めているが、それよりも生産性が高いと考えられ、また注目すべきは、安全性や生産プラットフォームがある程度整っていることから、いち早く実装可能な代替食品の生産技術であることが指摘できる。植物肉に続く代替タンパク源として、培養肉や昆虫食よりも、より社会実装へのハードルが低く波及性が高いため、注目すべき技術と言える。	食利用を目的とした菌類バイオマス生産技術は、海外ではすでにスタートアップ企業が存在しており、開発から実装段階にある。国内では立ち遅れており、国内企業が水面下で開発している段階にあると思われる。一方で、アカデミアでの参画についてほとんど情報がなく、発酵微生物関連の研究者の参入が期待されるが、これの受け皿となる事業領域が設定されていない状況である。日本は微生物の培養技術に関しては、優れた技術知見の蓄えがあることから、これらの研究領域が顕在化することで、より加速的に発展すると期待できるが、まだ産学官での共同体制は構築できていないと考える。	本研究領域が、新たなバイオ食品、バイオマテリアルの創生を目指すものであることから、広い分野へのインパクトを含むと考えられ、環境負荷の低減など、社会的な要請も大きなものである。したがって、開発人材が集まるような仕掛けは効果が得られやすいと期待でき、直接的な研究への投資が非常に有効ではないかと考える。具体的には、研究分野を指定した助成である。	代替タンパク質、菌類、発酵	高	5年未満	中	大	大
213	ICT・アナリティクス・サービス	データサイエンスの中でも時系列データ、例えば新型コロナウイルス感染症の死亡者数推定など、背景のモデルが変化している現象の解析技術	<b>データサイエンスの中でも時系列データ、特に背景にあるモデルが変化している現象の解析技術</b> が重要になるのではないかと考える。 例えばコロナの死亡者数推定は医療技術の進歩やオミクロン株など新種の発生などにより背景にあるモデルが変化しつつしており、解析技術の改善が必要である。 近年、社会の変化が速くなっており、社会科学全般への応用範囲も広がると考える。	比較的古くからあるテーマにも思えるが、近年重要性が増したと考える。	データ解析技術だけでなくアルゴリズムの計算量などの素養を供えた人材の育成が必要。	時系列データ、Concept Drift、背景モデルの変化	高	5年未満	中	中	中
214	マテリアル・デバイス・プロセス	光を用いた微小物体のマニピュレーションを大気中（空気で）で実施する技術	<b>光を用いた微小物体のマニピュレーションを大気中（空気で）で実施する技術</b> 。液中では、多く行われているが、大気中では実現例は少ない。大気中で実現ができると、研究用途だけではなく多くの用途が開ける可能性が高い。	現在は、空中で物体を捕捉する技術が色々と提案されている段階。これらの技術がもう少し成熟し、アプリケーションが増えてくると、捕捉用のシステムが実用化（商用化）され始めると考えられる。そうになると、ますますその用途の広がりが見られると考えられる。		大気中光ピンセット、オプティカルトラッピング、光圧	高	5年以降10年未満	やや大	中	大
215	環境・資源・エネルギー	地下水に関する数値シミュレーションの標準的な不確実性評価手法の確立に基づく、地下水学において天気予報のように確率的将来予測を行う技術	地下水を含めた水循環やそれに伴う物質輸送、地下水利用に伴う地盤沈下などの数値モデリングにおいて、将来予測の不確実性評価を行うとともに、それに基づいて天気予報のように確率的将来予測を行う技術。	地下水に関する数値シミュレーションの不確実性評価を行う手法は、さまざまなものが研究レベルで提案されているが、それぞれ一長一短であり、業界標準と呼べるものは、まだ確立していない段階である。しかしながら、これらの技術について、下記の確率的将来予測手法との相性や組み合わせの可能性などが整理されれば、実用的な手法が構築可能であると考えられる。 確率的将来予測手法は天気予報の分野で標準的な手法が確立しているが、地下水学の分野では適用されていないという段階である。	スーパーコンピュータの計算能力の進展は重要な要素である。また、確率的将来予測が得られたとして、水資源管理の意思決定プロセスへの反映をどのようにするか、合意形成プロセスの構築が重要である。	不確実性解析、地下水、地盤沈下、物質輸送、数値解析、水循環、確率的将来予測	高	5年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
216	マテリアル・デバイス・プロセス	レーザー光の高い自由度ゆえに、最適パラメータの探索に多大な時間と労力を有するレーザー加工技術の課題について、AIや学術的知見を最大限活用し、実験すること無く加工対象に対する最適パラメータを導くシミュレーター	レーザー加工技術は、今後の産業基盤技術として、Society5.0を実現するためにも不可欠なものとなっている。このレーザー加工技術の最大の課題は、 <b>レーザー光</b> の自由度が高いゆえに、その最適パラメータの探索に非常に大きな時間と労力を有することである。これを解決するために、 <b>AIや学術的知見を最大限活用して、実験を行わなくても加工対象に対する最適パラメータを導きだしてくれるシミュレーターの実現</b> が、世界的に望まれており、国際的な競争が進められている。我が国が世界的に強みを有する先端レーザー技術、物性物理学、材料工学等の知を結集して、この課題に対して世界にさがけて答えを導き、この分野のリーダーシップを獲得することが、日本の産業技術力向上に直結する。	現在、AIを用いたレーザー加工シミュレーションが可能であることが明らかになりつつある。同時に、膨大なパラメーター空間を人の手を介さずに自動で実験を行うシステムの稼働が始まっている。すなわち、AIとビッグデータの両方を獲得可能なシステムが稼働を始めた段階であり、今後この分野の急速な発展が期待される。これらで得られた知見に基づいて、レーザー加工の学理の深化が加速し、10年以内にAIと学理の融合した最高精度のレーザー加工シミュレーターが実現することが期待される。	現在の半導体産業や通信技術(Beyond5G)でのイニシアチブ獲得に向けても、レーザー加工技術の果たす役割は極めて大きく、本研究の進展は国家的な産業競争力獲得に直結している。 この7、8年で複数の国家プロジェクトが本テーマに関して推進されてきたおかげで、日本の研究レベルこの分野においては世界トップレベルであると考えられ、さらなる研究開発の加速によって真の産業競争力の獲得につながることは間違いない。	レーザー加工, AI, レーザーアブレーション, 超短パルスレーザ	高	5年以降10年未満	大	大	大
217	宇宙・海洋・地球・科学基盤	次世代大型電波干渉計ngVLA (next generation Very Large Array) の稼働	<b>次世代大型電波干渉計ngVLA (next generation Very Large Array) の稼働。</b>	2024年頃から建設開始予定であり、現在は科学検討を重ねている段階。	大型望遠鏡の建設には人手・費用ともに莫大なコストを要するため、アメリカが主導しているが、国際的な協力が不可欠。	電波天文学, 惑星形成, 銀河形成, ブラックホール	中	10年以降	大	あまりなし	中
218	ICT・アナリティクス・サービス	電動自動車技術	電動自動車技術	実証実験が進んでいる		安全 技術, 自動化・無人化, MaaS	低	5年以降10年未満	中	大	大
219	マテリアル・デバイス・プロセス	周りの環境情報をもとに必要な場所・タイミングで適切な量の薬剤を放出するなど、知的振る舞いをする分子デバイス	日本語が世界に先駆けて研究を推進している「 <b>分子ロボット</b> 」という研究分野に注目しています。DNAなどの生体分子を材料に、超微小なナノスケールのロボットを開発する研究分野です。特に、 <b>知的な振る舞いをする分子デバイスを作製する研究</b> は、従来の単なる分子材料とは質的に異なり、非常に新しい研究分野であると言えます。例えば、薬剤を内包したカプセル型分子デバイスが、周りの環境情報をもとに知的な判断を下し、必要な場所・タイミングにおいて適切な量の薬剤を放出する、というような分子デバイスの作製を目指す研究があります。そのような分子薬剤デバイスの作製は、従来の方法論で作製された単一機能の薬剤分子とは全く異なり、プログラムを書き換えるだけで機能を変更可能な、革新的かつ画期的な方法論に基づいています。また、分子による知的な情報処理の側面にフォーカスして、「 <b>分子サイバネティクス</b> 」、「 <b>分子コンピューティング</b> 」などと研究分野が呼ばれる場合もあります。	論理ゲートのような単純な情報処理を行う素子を、分子レベルで作製することは比較的に容易に実現可能な状況です。現在は、素子どうしを組み合わせ、規模の大きい分子システムを設計する方法論の開発に挑戦している段階にあるといえます。また、環境分子のセンサーや、薬剤分子のような個別の分子もすでに存在しているため、将来的には、すべての素子をインテグレーションし、複雑なシステムを組み上げることが重要になると考えられます。	現在は比較的小さい予算で研究が進められている状況で、様々な課題に直面しています。例えば、人的な資源を確保できない、大型・精密・ハイスループットな測定装置などを使用できない、成果主義によって時間のかかる重要な研究にとりかかれないうといった課題があります。また、「生物」「化学」「物理」「情報」「工学」などの、横断的な知識が必要な研究分野であるものの、そのどれにも分類されない新しい研究分野であり、その結果、世間的な認知度が低い状況にあります。学生へのアピールの場が限られるだけでなく、世間から漠然とした忌避感のようなものを持たれる場合もあります。今後は認知度をあげ、研究を志す人が出てくると良いかと思います。そのためには、学際的な研究分野が重要であるというメッセージを継続して発信していく必要があります。	分子ロボット, 分子ロボティクス, 分子サイバネティクス, 分子コンピューティング, 分子プログラミング, 分子計	高	10年以降	大	大	大
220	農林水産・食品・バイオ	種同定や遺伝子型同定に必要なデータベースの構築に基づく、全種（遺伝子型）同定可能な環境DNA技術	全種（遺伝子型）同定可能な環境DNA技術	環境DNAは、環境中に存在する生物の細胞や粘液から放出されるDNAである。 環境DNAは水から収集されやすいが、土壌や空気中からも収集できる。 収集したDNAをPCRで増やし、解析することで、生物の種を同定できる。 魚では、ほとんどの種が同定可能で、遺伝子型を特定する研究も進んでいる。 他の生物の環境DNA研究も進んでいる。	まずは種同定や遺伝子型同定に必要なデータベースの構築が不可欠なので、環境DNA関連の研究を数多く支援することが必要である。	eDNA, PCR, Database	低	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
221	マテリアル・デバイス・プロセス	生体部位内部の可視化、食品の品質評価、気象・天体観測などの様々な物理現象に応用が可能な、散乱光を用いたイメージング技術や分光法	<b>散乱光を用いたイメージング技術や分光法</b> 光を用いたイメージング技術や分光法は用途に合わせて様々なものが開発されている。しかし、対象物内部をイメージングや分光は難しく、その要因は光が散乱され、方向を変えてしまうためである。 <b>光の散乱現象を理解し、補正する技術（光伝播モデルによる逆解析法、補償光学など）</b> が近年開発されている。散乱光を用いたイメージング技術や分光法は、生体部位内部の可視化、農産物や食品の品質評価、気象観測、天体観測など、様々な物理現象に応用が可能であり、その汎用性や有用性は極めて高い。	近年、散乱光を用いたイメージング技術や分光法の発展はめざましく、ゴーストイメージング、補償光学、光伝播モデルによる逆解析法など、様々な手法が開発、提案されている。また、学術変革領域研究(A)に「散乱・揺らぎ場の包括的理解と透視の科学（散乱透視学）、令和2年度～令和6年度」が創設されており、更なる発展が期待される。	散乱光を用いたイメージング技術や分光は、散乱光の特性に基づいているため、光の散乱そして揺らぎを理解することが必要不可欠である。	散乱光, 光伝播モデルによる逆解析法, 補償光学	中	5年以降10年未満	大	大	大
222	マテリアル・デバイス・プロセス	メタマテリアルの商用レベルの微細加工技術や、メタマテリアルの汎用設計ソフトウェア開発に基づく、高効率レンズ、イメージング、アンテナ等へ応用可能なメタサーフェス	<b>平面基板上にメタマテリアルの周期構造を作製し、レンズや、光の空間状態の変換に用いる「メタサーフェス」</b> と呼ばれる研究が活発化している。メタサーフェスによる、高効率レンズ、イメージング、アンテナ等への応用が盛んに議論されている。	様々な応用が期待される中で一部は、スタートアップカンパニーがすでに設立されている。それ以外の応用についても、実現を見据えた研究が行われている。	メタマテリアルを作製するための、商用レベルの微細加工技術の発展 メタマテリアル設計のための汎用設計ソフトウェアの開発 様々な応用に対する社会的需要は高いと思われる	メタサーフェス, メタマテリアル, フォトニック結晶	中	5年未満	中	やや大	やや大
223	宇宙・海洋・地球・科学基盤	海底鉱物資源の成因研究実開発に向けた揚鉱技術の開発、これらに伴う環境影響評価	海底鉱物資源の成因研究 実開発に向けた揚鉱技術の開発 上記に伴う環境影響評価	成因研究はある程度進んでいるが、まだまだ試料やデータが限られているので、さらなる調査が必要。揚鉱技術も小規模の物で、世界に先駆けた実験例があるが、将来の大規模開発に向けたより規模の大きな実証実験が必要。環境影響評価は、世界に比べると研究がやや遅れている状況である。	国からの予算的バックアップ データが限られているので、さらなる調査が必要。長期の視点に立った人材育成	海底鉱物資源, 鉱床学, 地球科学	高	10年以降	やや大	大	大
224	農林水産・食品・バイオ	市民科学を用いた生物の分布モデルの作成	市民科学を用いた生物の分布モデルの作成	欧米主導で世界的に進展している。		分布, 市民科学, 統計	高	5年以降10年未満	中	中	中
225	ICT・アナリティクス・サービス	自然界に見られるシステム及び人工的に作られたシステムのように、ネットワーク構造と非線形ダイナミクスによって様々な挙動を示すシステムの構造の、大量の時系列データに基づく高精度推定及び性質評価	自然界に見られる様々なシステム及び人工的に作られたシステムは、そのネットワーク構造と非線形ダイナミクスの性質から様々な挙動を示す。 <b>大量の時系列データにもとづいて、このようなシステムの構造の推定とその性質を評価</b> することは基礎及び応用において重要な課題である。これを実現する <b>時系列データの解析手法</b> が近年発展しつつあるが、まだ途上である。	時系列データから因果ネットワークを推定する手法は提案されており、さらに最近、システムを記述する方程式を抽出する手法が登場しつつある。しかし、その推定精度はあまり高くないため、今後、精度の高い手法の提案が期待される。	データサイエンス, 複雑システム, 時系列解析	高	5年未満	大	中	大	
226	ICT・アナリティクス・サービス	例えば脳の信号を電極でデコーディングすることで、麻痺患者でも健常者と同等かそれ以上の速さと正確さでアルファベットのタイピングができるようになる、ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェース	<b>ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェース</b> は脳とコンピューターや機械をつなぐ技術である。最先端の多くの分野（脳科学、AI、ロボティクス、ソフトロボティクス、ニューロモフィックコンピューティング）に関連し、それらの応用の場として最適である。工学技術の発展につながるものはもちろんのこと、社会性・コミュニケーション・脳科学の理解など広範囲の学問に重要な影響を及ぼすことが期待される。	ブレイン・コンピューター（マシン）・インターフェースは従来から注目されてきた技術であるが、近年の脳計測・AI・ロボティクス技術の進歩によって学術段階ではあるものの高い性能が。例えば、脳の信号を電極でデコーディングすることで、麻痺患者でも健常者と同等かそれ以上の速さと正確さでアルファベットのタイピングできる。今後、この技術が実用化の段階に至ると、医学的に有効だけでなく、社会システムや科学にも大きな進歩をもたらすと予想される。	複数の最先端分野の統合が必要であり、将来は行動のビッグデータと融合されるべきである。社会政策にも重要な影響を及ぼすと考えられる。	ブレインテック, 身体動作を拡張するテクノロジー技術, ニューロモルフィックコンピューティング	中	5年以降10年未満	大	大	大
227	マテリアル・デバイス・プロセス	環境イノベーションを目指した、バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料（ウッドセラミックス）の蓄電池電極としての活用	<b>バイオマス資源を活用した多孔質炭素材料を蓄電池の電極として活用</b> することが、環境イノベーションとしても強く求められています。	ウッドセラミックスは、バイオマス材料に石油由来のフェノール樹脂を混合して、焼成して作る多孔質炭素材料です。カシューナッツの殻から抽出するカシューオイルを石油由来のフェノール樹脂に置き換えて、ゼロエミッションに成功して、特許も取得しました。	カーボンニュートラルの取り組みで、蓄電池の取り組んでいる企業に繋がれば、具体的に普及されると思います。	ウッドセラミックス, 多孔質炭素材料, エコマテリアル	高	5年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
228	健康・医療・生命科学	携帯式DNAシークエン サーを用いた、検査室レベ ルでの病原体ゲノムDNAの 完全長解読と、病原体早期 検出への応用	<b>携帯式DNAシークエンサーを用いた完全長ゲノム解 読技術と病原体検出への応用</b> 。〇〇社2021年後半よ り、一塩基あたりの読み取り精度が99%と従来より も10倍向上したロングリードシークエンス関連製品 を販売開始した。コレラの製品を用いることによ り、検査室レベルで、病原体ゲノムDNAの完全長解 読が可能になり、病原体の早期検出、薬剤感受性予 測、病原性の解、等への応用が期待される。また、 本技術は病原体だけでなく、ヒトゲノム解読への応 用も期待されるため、ゲノム診断の普及も期待でき る。	次世代型のナノポアシークエンサー関連試薬の販売 が開始されており、現在、評価が進んでいる。	本邦では臨床材料を用いた研究を実施するために、 必要以上に厳しい倫理審査手続き等を要するため、 評価試験を実施しづらい環境にある。	ナノポアシーケンサー、病原体ゲノム検出、ロング リードシークエンサー	高	5年未満	大	中	大
229	健康・医療・生命科学	「成熟から老化までの生命 の時間軸に沿って」「組織 や個体の中で」細胞内構造 体の動的変化と制御機構の 解明を目指した研究	オルガネラ、液-液相分離した液滴、細胞接着装置な どの細胞内構造体は、互いに協調しながらダイナ ミックに形態や機能を変換することで、個体の成熟 や老化に大きな影響を与える。オートファジーやミ トコンドリアは神経変性や老化に重要であり、細胞 間および細胞外基質との接着や細胞外小胞は個体内 の臓器間のコミュニケーションに必須である。これ らは、細胞レベルでの解析は多く行われてきたが、 組織や個体の中での解析は遅れており、特に生命の 時間軸に沿った変化を細胞レベルで捉えることは困 難であったが、近年の技術革新により少しずつ重要 な課題が見えつつある。そこで、日本は細胞生物学 分野に強いという利点を生かし、「 <b>成熟から老化ま での生命の時間軸に沿って」「組織や個体の中で」「 細胞内構造体の動的変化と制御機構の解明を目指し た研究</b> 」を推進することを提案する。この研究分野を 推進することにより、発達障害・老化・神経変性疾 患など多くの疾患の治療戦略の土台を構築すること ができると考える。	細胞内構造体の研究は、オートファジー（ノーベル 賞など）や細胞接着（ガードナー国際賞など）を始 めとして国内研究者が著名な国際賞を受賞するな ど、日本が世界をリードしている分野である。しか し、これらの研究を組織個体レベルに引き上げる仕 事は少なく、生命の時間軸という見方を取り入れた 研究も少ない。国内では、老化研究の大型プロジェ クトが動いたが、主に代謝研究に偏っており、メカ ニズムまで踏み込むような細胞レベルの解析は少な かった。しかし、学会レベルでは個体の成熟や老化 を取り入れた研究発表が増えてきており、脂質や糖 鎖などタンパク質以外の生体高分子を扱う〇〇学会 や、細胞内構造体を研究する〇〇学会では、発達障 害・老化・神経変性疾患などに向かう研究報告も増 えている。	この研究動向は、極めて未熟な段階であるため、基 礎研究の積み重ねが必要な段階である。〇〇先生の 酵母の研究がノーベル賞につながり、現在ではオート ファジーは個体老化の主要な原因の1つと考えら れるところまで発展していることを鑑みると、オル ガネラやオルガネラ間のコンタクト、細胞膜ラフト などの膜ドメイン、液-液相分離などの基礎研究を強 力に推進することは将来の社会実装の基礎となると 考えられる。さらに、これらの細胞内構造体の形態 と機能をまずは個体レベルに昇華させ、さらに老化 や疾患との関連につなげていくような領域型研究を 打ち出すことにより、ともすれば重箱の隅になりが ちな生化学や細胞生物学を個体の生理現象とその破 綻の研究へとつなげていく努力が必要な要素と考える。	オルガネラ、細胞膜ラフト、細胞接着、老化、細胞老 化、成熟、恒常性維持、発生、発達障害	高	10年以降	大	やや大	大
230	都市・建築・土木・交通	緊急時の液体燃料最適配給 システムの最適化におけ る、A Iも活用した想定外 に臨機応変に対策出来る簡 易システム	各地の大地震・津波被災時には、暖房・炊き・人 物移動用用の液体燃料と、照明用電力と飲料水が必 要です。特に、暖房油・輸送用燃料の不足は、災害 関連死を大きく増加させます。これは、現在のウク ライナ情勢を觀ても、酷寒の地で暖房油不足は大問 題です。災害や紛争や大規模テロ発生時には、電力 は漸弱ですから、容器に入れて移動が容易な液体燃 料に依存するしかありません。市民の安全・安心の 為、 <b>緊急時の液体燃料最適配給システムの最適化</b> が 必須と思います。 首都直下地震・富士山噴火・南海トラフ地震など、 複合発生も懸念されるので、 <b>A Iも活用して、想定 外に臨機応変に対策出来る簡易システム</b> が期待され ると思います。（人命・安全・安心）	個別に技術開発は行われています。又、原子力発電 所近傍のオフサイトセンターなどでの定期訓練は実 施されています。しかし、福島第一原発被災時など は、定期訓練の成果は発揮されなかった点残念で す。 複合災害うという不都合な緊急時にも、人命救助・ 暖房・医療介護・水食糧の配給や携帯電話充電な ど、先ず液体燃料が必須です。理想型社会システム に関する研究は進んでいます、理想型社会が破壊 された時に備える統合型最適システムの研究は、進 んでいるとは思えません。災害現場では、液体燃料 がスタートです。	理想追及は明確に進められますが、市民の命・生活 を守るには、要素技術の統合・連携が必須です。こ の為には、市民の命・生活を最大限守るという、強 いリーダーシップと広いサポートが必要です。個別 技術は、社会システム・インフラ制御技術を有する 大手製造業等に、開発を委託することが人材継続確 保面でも現実的と思います。	液体燃料最適配給、人命・安全・安心、災害・紛争 など緊急事態対応	高	5年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
231	健康・医療・生命科学	1細胞からの極微量タンパク質を損失なく分析できる高回収率な前処理技術や、改良型油中液滴法を活用した、1細胞レベルの空間プロテオミクス技術	<b>【1細胞レベルの空間プロテオミクス技術】</b> 1細胞オミクスの主な分析対象は遺伝子とその転写産物であり、タンパク質を対象とした1細胞プロテオミクス研究は大きく出遅れている。これは、タンパク質が核酸のように増幅できないことが大きな原因である。そのため、 <b>1細胞から得られた極微量のタンパク質を損失することなく分析できる高回収率な前処理技術</b> が1細胞プロテオミクスには求められる。また、細胞個々の特徴を捉えるには、1つの細胞だけを観察するのではなく、複数の1細胞を比較する必要がある。世界的にいくつかの1細胞プロテオミクス技術が既に報告されているが、回収率、汎用性、スループット性のいずれかの点に課題が残されていた。しかし近年、3点を全て満たした1細胞プロテオミクス技術として、 <b>「油中液滴法(Water-in-oil digestion, WinO)」を用いた1細胞プロテオミクス技術</b> が開発された。さらにこの技術を発展させることで、1細胞レベルの空間プロテオミクス技術の開発が現在進んでおり、次世代分析技術として注目を集めている。	油中液滴法については特許が成立しており、〇〇大学〇〇研究部の研究室で更なる技術開発が進められている。	技術的にはかなり習熟している。技術利用に基づく成功事例（疾患関連分子を同定したなど）と、研究に対する支援体制が必要と考える。	油中液滴法, 1細胞プロテオミクス, 空間プロテオミクス	中	10年以降	大	大	大
232	農林水産・食品・バイオ	CRSPR/Cas9を用いたゲノム編集技術の医療や農業などの、様々な分野における応用	CRSPR/Cas9を用いたゲノム編集技術と様々な分野における応用	ゲノム編集技術は、基本的な技術は体系化されている。今後、医療や農業などの応用へのステージになる。	倫理的・社会的なコンセンサス	ゲノム編集, CRSPR/Cas9, 遺伝子工学	高	5年未満	大	大	大
233	環境・資源・エネルギー	具体的地域の課題に対応した水循環・物質循環解析事例の蓄積に基づき、世界各国における水問題解決のため、水循環の全体像を数値解析により分析・評価する技術	水は、社会基盤を支える必須の資源であるとともに、自然災害、自然環境、物質循環など様々な側面から社会構造、地球環境に影響を及ぼす、その動態を水循環の全体像として捉えて、水を的確に保全、活用し、災害リスクを軽減していくことは、喫緊の課題となっている。 <b>水循環の全体像を数値解析により分析・評価する技術</b> は、わが国が最先端を進んでおり、表流水・地下水を一体としてその動態を把握することが可能になってきている。この技術では、水循環に伴って生じる物質循環も分析・評価することが可能である。この技術を活用して、世界各国で直面している様々な局面的水問題を、水循環の全体像を分析・評価することにより、地域ごとの水問題解決のための施策提案を行っていくことが期待される。	基本的な解析技術は開発済である。 具体的な地域での課題に対応した水循環・物質循環解析事例の蓄積を飛躍的に伸ばし、多様な課題に対する解析のアプローチ手法を詰めていく段階にある。 解析の基礎となる現状観測データの蓄積手法、衛星データの活用手法など、効率的な現状観測体系の研究が必要である。 社会実装を進展させていくために、多様な課題ごとに具体的な地域でモデル的な分析・評価の取り組みを進めていく段階にある。	研究開発・社会実装を進めていくための資金の確保 世界各国への技術の紹介・浸透 多様な課題ごとの、具体的な地域でのモデル的な分析・評価の取り組み	水循環, 物質循環, 数値解析, 自然災害, 地球環境, 水資源, 気候変動	高	5年未満	大	大	大
234	マテリアル・デバイス・プロセス	①LiDAR技術 ②メタマテリアルを用いた、耐熱性・耐光性に優れた長寿命反射板	LiDAR技術 メタマテリアルを用いた反射板	液晶を用いた動的平面反射板の開発はbeyond 5 Gに向けて企業が進めている案件である。	液晶の耐熱性、耐光性。長寿命化が課題。	LiDAR, メタマテリアル, 液晶	中	5年未満	中	やや大	やや大
235	ICT・アナリティクス・サービス	第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能な、量子暗号通信	<b>量子暗号通信</b> 暗号鍵を光子に乗せて伝送、 <b>光子が何かに触れると、必ず状態が変化するという量子力学的な性質を利用して、第三者による鍵の盗聴を確実に検知することが可能。</b>	企業の研究開発が進んでいる		量子暗号, 通信, 秘密通信	低	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
236	マテリアル・デバイス・プロセス	レアメタルを用いない誘電性や透磁率の制御を可能とする材料としての、電磁相互作用を利用したメタマテリアル	<b>電磁相互作用を利用したメタマテリアル</b> 。以前研究が進んで一回落ち着いた感があるが、半導体加工に伴う微細加工技術のブレークスルーと資源問題の深刻化で、 <b>レアメタルを用いない誘電性や透磁率の制御を可能とする材料研究</b> が重要となっている。	〇〇【国立研究開発法人名】でプロジェクトを一度完遂しており、基盤技術はできている。資源問題に対する深刻さやデジタルマニュファクチャリングの成熟度と同期がとれていなかったため、応用先が少なく発展していないと考える。	ナノレベル精度の加工を低コストで量産化する技術	メタマテリアル, デジタルマニュファクチャリング, テラヘルツ技術	中	5年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
237	ICT・アナリティクス・サービス	データに基づく政策決定手法やブロックチェーンなどを利用した、都市に関わる様々なオープンデータを個人情報に配慮しながら連携するプラットフォーム・仕組み	都市に関わるさまざまなオープンデータを個人情報に配慮しながら連携するプラットフォーム・仕組み	企業コンソーシアムや自治体主導での取り組みが行われている。	データに基づく政策決定手法、ブロックチェーンなどを利用した分散管理型オープンデータ活用、人材育成	デジタルトランスフォーメーション、ビッグデータ、市民によるデータのクラウドソーシング	中	5年未満	大	大	大
238	健康・医療・生命科学	新興感染症、特にウイルス性感染症に対する、mRNA型に限らず従来から存在するワクチンやDNA型などの新技術や、安全性と効果を両立させるアジュバントの開発	<b>新興感染症、特にウイルス性感染症に対するワクチン</b> は、mRNA型の実用化において従来に比べ開発期間を大幅に短縮できた。一方、今回のCovid-19に用いられたワクチンにおいては心筋症などの報告もあり、また、倦怠感、発熱と言う副反応を経験した接種者は、追加接種を忌避する傾向もあるため、これから副反応を抑制しつつ、十分な効果が期待出来るワクチンの開発が望まれる。その観点からは <b>mRNA型に限らず従来から存在するワクチンやDNA型など新技術、さらに、アジュバントの開発</b> などは不可欠であると考えられる。	医薬基盤研を中心としたワクチン、アジュバントの開発は以前より勢力的に進められており、安全性と効果を両立させる様々な材料が検討されている。そのなかで、例えばアジュバントであれば従来のアルミニウム化合物（アラム）から置き換え出来る様な無機塩、微粒子など候補が絞り込まれ、それら共通項は、粒子のサイズであるなど、設計時に具現化すべきアジュバントが備えるべきスペックが予め想像出来るようになってきている。		ワクチン、アジュバント、新興・再興感染症	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
239	環境・資源・エネルギー	エネルギー効率と経済性を改善した人工光合成技術	<b>人工光合成技術。二酸化炭素を還元して、有用な有機化合物に変換する技術。</b> 一般に太陽光のエネルギーを利用して水から水素を得て、水素を二酸化炭素と反応させる。 太陽光のエネルギーを利用して水から水素を得る段階において、光触媒が重要である。	エネルギー効率と経済性を無視すれば、現状でも人工光合成を実現することはできる。 普及のためには、エネルギー効率と経済性の改善が必要である。 エネルギー効率の改善のためには、光触媒の開発などがキーとなる。 経済性の改善のためには、二酸化炭素を還元して得られる化合物として、付加価値が高い化合物を得る必要がある。 また、社会全体としての効率や経済性を考えると、社会実装の方法も重要である。	光触媒の開発 二酸化炭素還元触媒の開発 人工光合成システム開発 人工光合成の社会実装の手法開発	Artificial photosynthesis, water-splitting, H2 evolution	中	5年未満	大	大	大
240	マテリアル・デバイス・プロセス	コヒーレントラマン分光イメージングによる細胞内モルフォロジーの可視化を活用した、細胞の状態の非侵襲・非染色評価	<b>コヒーレントラマン分光イメージングによる細胞内モルフォロジーの可視化。</b> ラマン分光法は官能基特異的なラマン散乱光を検出する分光法である。その中で、古典的な自発ラマン分光法には、測定時間がかかるというデメリットがあった、それを解決したのが、近年のレーザー技術の発展にともない進化したコヒーレントラマン分光イメージングである。顕微システムとの融合により、細胞内モルフォロジーを官能基特異的なイメージとして取得できるため、たとえば、細胞の分化の状態・ガン細胞との判別・ガン細胞の迅速診断（非染色）、など、 <b>細胞内の成分分布の違いによりクラスタライズできる細胞の状態を非侵襲・非染色で評価</b> できる。 現時点で、市販できるレベルの機器ではないが、その理由は高額なレーザーが必要であるため、一般の分野での活用が進まないためである。レーザーの低額化が先か、技術のニーズが先か、というよくある問題が発生していると思われる。 また、レーザーの強度がもう少し下げられれば、ヒトをそのままはかることも可能になる（手術中の臓器・不妊治療の細胞・iPS細胞など直接検査などにも活用が想定される）	研究レベルでは、多くのアプリケーションが報告されている（細胞、組織、ヒトそのまま）が、ビジネスとしてなりたつような金額構造でないことから大学の研究がほとんどである。	ターゲットとなるメディカルへの活用には、低額化、メンテナンスフリーなシステム、結果表示アプリの開発など、大学と企業とでビジネスが成り立つ共同開発、かつ、医療分野での実証実験が必要だが、そのようなプロジェクトはなかなか発生していないため、その部分が必要。 また検出する光の効率をあげて、もう少し弱いレーザー照射でも測定できるようになれば、より臨床現場への活用の可能性が高くなると考えられる。	非線形ラマン散乱, 先端計測・解析手法, 光イメージング技術, 1細胞解	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
241	マテリアル・デバイス・プロセス	通信機能を搭載した携帯可能な小型バイオセンサー (IoTバイオセンサー) の低コスト生産	通信機能を搭載した携帯可能な小型バイオセンサー (IoTバイオセンサー)	実用化前段階	低コスト生産。	IoTバイオセンサー, IoT, 小型センサー	中	5年以降10年未満	あまりなし	やや大	やや大
242	環境・資源・エネルギー	地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術	地球周回軌道上の太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波送電により地上に送る技術	原理実証レベル	脱炭素化に向けた投資意欲の高まり	無線電力伝送, 宇宙エネルギー伝送, 宇宙太陽光発電	低	5年以降10年未満	中	大	大
243	マテリアル・デバイス・プロセス	例えば藻類が産生する有機化合物や高分子物質、細菌や微生物の自己組織化を利用した微細構造材料など、微生物による有価物産生	<b>微生物由来材料</b> 。石化由来材料からバイオ由来材料への転換が進みつつあるが、効率化や収率の観点から、微生物由来材料への期待が高まっている。 例えば藻類が産生する有機化合物や高分子物質、細菌や微生物の自己組織化を利用した微細構造材料の産業応用が期待される。	大学や国研での研究が進んでいる。 民間でも微生物による有価物産生の産業化の検討が行われ始めている。		スマートセルインダストリー, 生分解性高分子, 藻類バイオエネルギー, 自己修復材料, バイオマテリアル	中	5年以降10年未満	中	大	大
244	健康・医療・生命科学	生体分子の恒常性維持機構の積極的利用を、中分子サイズのbivalentな化合物によって実現する技術	<b>生体分子の恒常性維持機構を積極的に利用すること</b> <b>を中分子サイズのbivalentな化合物によって実現する技術</b> である。以前より非臨床で研究が進んでおり、現在では臨床試験での検証も多く行われている。多くは米国バイオテックが手動して進めている技術である。	PROTACに代表されるBivalentな分子によりタンパク質や他の生体分子の分解を制御する。多くの臨床開発品が検証されているが、今後E3 ligaseの種類や別の生体制御機構を中分子サイズの化合物によって制御する治療法開発がますます進むと考えられる。	大手製薬企業でも検討されている技術ではベンチャー企業が主体となって臨床開発を進めている技術であるが、米国の企業が多い。日本アカデミアでも研究されているが、社会実装に向けたベンチャー企業が多く立ち上がる様子はなく、アカデミア研究者への知財のサポートが非常に重要だと考える。	Degrader, Bivalent molecule, 中分し	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
245	マテリアル・デバイス・プロセス	従来のコンピュータを凌駕するスピードで信号処理演算する量子コンピュータ	<b>量子コンピュータ</b> 。物質のナノの世界で現れる現象を活用することで、従来のコンピュータを凌駕するスピードで信号処理演算が可能となる。	数十の量子ビットでの演算の実証。基礎研究から応用研究へフェーズが移ったところ。		量子力学, 超電導Qubit, 重ね合わせ	低	10年以降	大	大	大
246	マテリアル・デバイス・プロセス	単一の結合導波路レーザを用いながらも、二つのデバイス端面上においてレーザ光の出射空間モードが変わる、例外点を用いたモード制御技術	<b>例外点を用いたモード制御技術</b> [Science 375, 884 (2022)] 利得・損失を持つ結合導波路レーザでは、例外点 (Exceptional point: EP) と呼ばれるエネルギーが保存しない過程に基づく系 (非エルミート系) に特有のモード縮退が現れる。このような系の利得・損失の空間分布を制御することで、系の断面である結合導波路の固有モード周波数は位置ごとに変化し、例外点の周りを周回することが可能である。利得・損失の空間分布が急峻な場合、固有モード間の動的なジャンプが起き、終状態が入力方向によらず一定になるという、光デバイスでは実現しづらい非相干な特性を示す。本文献では、 <b>単一の結合導波路レーザを用いているにもかかわらず、例外点周回によるモード制御により、二つのデバイス端面上において、レーザ光の出射空間モードが変わるという、従来に無いモード制御</b> を行っている。	紹介した通り、実験室レベルでの実験実証が報告されており、当該技術を用いた有用なデバイスの提案があるか、また実用デバイスの開発が行われるかどうかにかかっている。	非エルミートフォトリニクスの研究分野では、レーザや導波路などの基本的な光デバイスのみを用いるにもかかわらず、従来に無い多様な光制御・現象が可能であることが報告されている。その中で、特に高いインパクトを持った何等かの成果が実用化される可能性が高いと考える。本文献はその一例であり、この技術単体の社会的効果が大きいわけではないが、オンチップ光通信・光計算・信号処理への応用を目指し、着々と成果を挙げ、また現在も広がりを見せる研究分野である。さらなる新原理・新現象の開拓や要素技術の進展が望まれる。	非エルミートフォトリニクス, トポロジカルフォトリニクス, オンチップレーザ技術	高	5年以降10年未満	中	中	中
247	マテリアル・デバイス・プロセス	1本の光ファイバ内に複数の空間モードを多重する大容量光伝送技術	1本の光ファイバ内に複数の空間モードを多重する光伝送技術	空間モード多重用光ファイバ、およびMIMO信号処理による大容量光通信の可能性が確認されたフェーズ。今後更に、基盤技術を確立すると同時に、周辺技術を含む要素技術の確立・実装に向けた検討が必要。		光通信技術, IOWN, 結合型マルチコア光ファイバ	高	10年以降	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
248	マテリアル・デバイス・プロセス	テラヘルツ波を利用した100 Gbps超のB5G/6G向け無線伝送技術	<b>テラヘルツ波を利用した100 Gbps超のB5G/6G向け無線伝送技術。</b>	現在デモンストレーションのフェーズではあるものの、数年内にフィージビリティの研究にシフトすると考えられる。 5G技術の次世代技術として各国の研究開発競争は非常に熾烈。 宇宙応用とも関わる部分でもあるため、早期の弾込め、投資、国家的な戦略による研究遂行が必要である。	デバイス分野、無線通信分野の人材育成が急務。 現状ではAI人材の拡充が叫ばれているものの、上記の人材育成も非常に重要である。  また、半導体分野への投資も言わずもがな重要である。 本邦はSi半導体の分野でかつてほどの勢いを失っているが、材料・分析技術では世界トップクラスの技術力をいまだ保有している。  化合物半導体などの材料系基礎に対するモノづくりの土壌をはぐくみ、 6G、もしくはさらに次世代の通信技術開発（あるいは宇宙開発、国防技術開発）競争になった際に日本がイニシアティブをとり、新興国と将来も互角以上に戦うために、戦略的な技術投資といざというときのカードを増やすことが、今後10・20年でますます重要になる。	Beyond 5G / 6G, テラヘルツ, 化合物半導体	高	5年以降10年未満	大	大	大
249	健康・医療・生命科学	バイオリアクターと培養細胞を使い、実際の肉を模倣して脂肪や血管の組織を作るなどして細胞形成の場を形成することで、積極的に組織を分化させた、食肉としての大きさの培養肉の低コスト作製	<b>バイオリアクターと培養細胞を使い、実際の肉を模倣して脂肪や血管の組織を作るなどして細胞形成の場を形成することで、積極的に組織を分化させて培養肉をつくる。</b>	様々は要素研究はなされているが、食肉としての大きさになるまで肉として培養することは、現時点では時間的、経済的な不利であり、培養肉として実用段階に至っていない。	細胞形成の場を形成すること、およびそのための因子の解析が欧米で行われている。植物工場では、露地栽培では発見されていなかった成長プロセスを実現しており、植物がもつ成長の可能性を引き出せている。培養肉の分野においても、肉の細胞がもつ性質を十二分に引き出すことによって、産業化への糸口が見つかるはずである。	バイオリアクター, 培養細胞, 培養肉	中	5年以降10年未満	中	大	大
250	農林水産・食品・バイオ	アフリカで導入可能な、ストライガやオロバンキといった寄生植物を防除する新素材	<b>寄生植物の防除。</b> アフリカ、欧州ではストライガやオロバンキといった寄生植物の被害が起きている。	寄生植物を防除するために新素材の探索が行われているが実用化に至っていない。（〇〇大学や〇〇【企業名】等で農業を目指した化合物探索が行われていると理解している）	最も被害の大きい地域はアフリカであるが、アフリカで新素材を導入する場合にはコスト面で課題がある。企業が新素材を開発・販売をしようと思っても、収益が見込めるか疑問である。それを打破するためには政府の補助や国をあげての取組みが必要かもしれない。	寄生植物, ストライガ, オロバンキ	中	5年未満	大	やや大	大
251	マテリアル・デバイス・プロセス	既存の半導体に加えて新たな材料の開発・使いこなし技術、特にトポロジカル物性に基づくテラヘルツ領域の電波・光制御技術の開発	<b>トポロジカル物性に基づくテラヘルツ領域の電波・光制御技術の開発：</b> 5G以降の通信技術とそれを支える物質・デバイス技術はチャイナリスクとも相俟って戦略的なものとなり後手を引くことは許されない状況にある。通信の広帯域化はとどまることを知らず既に6Gの規格が提案されており、今後テラヘルツ領域がポスト6Gの主戦場になると想定する。イニシアチブを握るには競争力には欠ける既存の <b>半導体に加えて新たな材料の開発・使いこなし技術</b> が求められるが、室温での機能発現が可能でありテラヘルツ領域でのキーマテリアルになり得るトポロジカル物性・物質の技術確立に期待する。	トポロジカル物性やテラヘルツ領域の光物性は我が国でも精力的に研究されているものの、中国、米国、等諸外国での研究開発の物量には押されている感が否めない。先にも述べたように通信のメインストリームとなる技術の開発は米国からの意向もあり戦略的な扱いを受けると想定されるため米、独等の西側諸国との連携が有効と想定される。既に5Gでは後塵を拝しており、6Gの研究開発は国家戦略と位置付けるとアナウンスされているもののこの世代での技術開発で圧倒的な優位に立てるといった楽観的な見込みは廃すべきであろう。したがって6GのみならずBeyond 6Gも見据えてデバイス・システム技術としての開発要件を共有できる企業との連携がサイエンスのみならず技術的ブレークスルーを成し遂げる上で有効と考える。		ポスト6G, テラヘルツ, トポロジカル物性	低	10年以降	大	大	大
252	マテリアル・デバイス・プロセス	人工光合成で副生したギ酸を酢酸に変換するなどして、微生物により油脂等の物質を生産する技術	<b>人工光合成で副生したギ酸から、微生物により物質生産する技術</b> です。ただし、ギ酸は炭素が1つで効率が悪く、pKaも高いため、ギ酸を酢酸への変換をかせめる必要があるかもしれません。	酢酸から微生物により油脂等を生成する研究は論文で目にしたことがあります。ギ酸→酢酸がわりと難儀なようです。	ハイスループットのスクリーニング技術（装置）。	人工光合成, ギ酸変換, 発酵	中	5年以降10年未満	大	やや大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
253	マテリアル・デバイス・プロセス	燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道	<b>燃料電池システムを活用したバス・トラック・鉄道</b> 。 CO2排出原単位のさらなる縮小と過疎地域における人員輸送手段確保のため、必要な科学技術と考えられます。 燃料を水素にするのか、アンモニアにするのか、燃料の製造方法や入手性、保管、燃料電池の進化が必要です。 最適な燃料電池システムの構築が必要と考えます。	実証試験段階で〇〇【企業名】と〇〇【企業名】、〇〇【企業名】によって実行されている。	燃料を水素にするのか、アンモニアにするのか、燃料の製造方法や入手性、保管、燃料電池の進化が必要。 最適な燃料電池システムの構築についても必要。 公共交通システムへのCO2削減に対する資金援助も必要になる（インフラ整備も含めて）。	燃料電池、商用車、自動車	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
254	健康・医療・生命科学	タンパク質と金属イオンの特異的相互作用理解のため、ドメイン構造置換技術に基づく、赤外分光では特異的同位体ラベル法、ラマン分光では表面増強ラマン分光による解析	タンパク質の構造と機能の相関を研究する上で、金属イオンとの特異的な相互作用を理解することは重要である。金属イオンとの結合部位のアミノ酸置換は、時には生命現象に致命的な影響を与えることもある。タンパク質のドメイン構造のアミノ酸配列は、生物種でかなりのアミノ酸置換があり、一部のアミノ酸が置換を受けても機能面で維持されることを意味する。タンパク質の構造機能相関を理解するためには、ドメイン構造でのアミノ酸置換の影響を系統的に研究することは意義がある。金属結合にアミノ酸側鎖が関わる場合に、赤外分光やラマン分光はX線結晶構造解析では得られない結合情報が期待できる。 <b>ドメイン構造となるペプチドをアミノ酸置換する技術</b> の技術があれば、金属結合ドメインに関する詳細な情報が得られる。さらにはアミン酸を置換することにより、異なる金属イオンと特異的な結合する新規な機能を持ったドメイン構造の構築につながる。タンパク質やペプチドは分光学的手法を用いても、シグナルが弱いために情報を抽出することが難しいという現実がある。その打開策として、 <b>赤外分光では特異的同位体ラベル法、ラマン分光では表面増強ラマン分光</b> に期待したい。	カルシウム結合タンパク質の金属結合ドメインのペプチド合成、アミノ酸置換はすでに取り組んでおり、あるタンパク質では赤外分光について研究報告が出ている。一方、ラマン分光によるカルシウム結合タンパク質の研究は、スペクトルの強度が弱く、スペクトルの解釈が難しいこともあり、最近はまだほとんど報告されていない。しかし、表面増強ラマン分光によるシグナル増強が現実的になれば、今後発展することが期待できる状況である。	分子分光学の研究者人口が減っている状況で、生体関連分子にどれだけ関心を持つかが鍵である。 近年の学生の博士への関心が下がっている状況で、博士号取得後の就職先の確保が喫緊の課題である。	新規な機能を持つペプチド、金属イオンとの特異的相互作用、分子分光学	高	5年以降10年未満	やや大	あまりなし	中
255	マテリアル・デバイス・プロセス	ポリマー材料のモノマーへの分解プロセス創出に基づく循環利用型ポリマーの開発	ポリマー材料のモノマーへの分解プロセス創出に基づく循環利用型ポリマーの開発	ラボスケールではポリマーからモノマーへの分解を行う技術がいくつか報告されているものの、社会実装の上では効率の面で多くの課題が存在する。	汎用ポリマー材料の分解過程について、基礎的な知見が不足している。また、分解プロセスの導入を前提として全く新しい分子設計が求められる。	解重合、天井温度、主鎖開裂	中	10年以降	大	大	大
256	ICT・アナリティクス・サービス	3Dメガネやヘッドフォンなどを観察者に装着することなく、360度どこからでも自然な立体映像・音響を普段の生活の中で体験できる、サイバー・フィジカル社会に向けたリアルで効果的な映像・音響（視覚・聴覚）再現技術	<b>サイバー・フィジカル社会に向けたリアルで効果的な映像・音響（視覚・聴覚）再現技術。3Dメガネやヘッドフォンなどを観察者に装着することなく、360度どこからでも自然な立体映像・音響を普段の生活の中で体験</b> できる。	装置構成が大掛かりであり、まだ、研究室レベルのものがほとんどである。	現在は、この分野においてはエンタメ分野としての注目が高いが、今後、サイバー・フィジカルが融合した新しい生活様式の中では、医療やヘルスケア、その他、社会生活におけるさまざまなところで生活の一部として利用されていくと考える。また、ホログラフィなどデバイスの微細化技術の進化によっても実現が加速化されるため、電子・光学分野によるディスプレイデバイス技術の研究開発とも密接に関係する。	3Dディスプレイ、立体ディスプレイ、3D音響、立体音響、裸眼3D、ホログラフィ、音響ホログラフィ	高	10年以降	大	やや大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
257	都市・建築・土木・交通	①インフラの点検結果や、前回点検からの損傷の進展の程度、どの程度の損傷に対してどのような補修を行ったかといった統計的なデータベース構築 ②インフラ点検結果で得られるビッグデータを、機械学習やスマートグラス等のウェアラブル端末と組み合わせた効率的なインフラ維持管理システム ③地方のインフラでも都市高速と同程度のモニタリングが可能となる、ドライブレコーダーの動画像やカーナビ位置情報などを大型車から取得できる仕組み	・ <u>機械学習を用いたインフラの効率的な維持管理システムの社会実装</u> ・ <u>IoTを搭載した大型車によるインフラの常時モニタリング</u> わが国ではインフラの老齢化が進行しており、劣化した構造物を効率よく検査、点検、修繕していくシステムを構築することは喫緊の課題と考えられる。 <u>橋梁やトンネルでは多額のコストをかけて点検</u> を行っているが、現状ではそれらをアナログな調書の形式で管理しているケースが多く、 <u>ビックデータとして有用に活用</u> できていない、これらのデータを機械学習やスマートグラス等のウェアラブル端末と組み合わせることで強力な支援ツールになると考えられる。一旦システムが構築されれば、援用期間が長くなるほど診断の精度が向上するため、諸外国に市場を独占される前に開発することが望まれる。また、橋梁では大型車の通過に起因する疲労損傷が顕在化している。一方で、 <u>ドライブレコーダーの動画像やカーナビの位置情報など、垂れ流しにして破棄している有用なデータ</u> は非常に多い、社会的コンセンサスが必要となるが、 <u>大型車から取得できる仕組みがあれば地方のインフラであっても都市内高速と同様なレベルでモニタリングが可能になる</u> と考え	インフラの非破壊検査手法や、劣化・損傷が生じた場合の残存性能の評価手法や、損傷の程度に応じた恒久的・応急的な補修技術など、それぞれ個別の研究は充実しつつある。しかし、点検結果や、前回点検からの損傷の進展の程度、どの程度の損傷に対してどのような補修を行ったかといった統計的なデータベースはない、これらのデータベースが構築されれば、補修方法の選定等の支援となるため、非常に有用と考えられる。	機械学習によるインフラの劣化・損傷の判別システムの構築にあたっては、教師データとなるサンプルの作成、画像解析およびソフトウェアの開発が必要となるため、土木系の研究者とITエンジニアとの協力が必要不可欠となる。また、IoTを搭載した大型車によるインフラの常時モニタリングでは、動画像やGPS等の個人情報を使用するため、プライバシー保護の観点から社会的コンセンサスが必要となる。	インフラ, 維持管理, モニタリング, IoT, AI, 深層学	中	5年未満	中	大	大
258	マテリアル・デバイス・プロセス	脱炭素社会を支える環境計測基盤技術となる、炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法	<u>脱炭素社会を支える有機資源の循環システム</u> を実現するには、 <u>有機資源の由来や炭素の動態を把握するための計測手法</u> が必要である。 <u>炭素を含む同位体分子を高精度かつ高感度に分析可能なレーザー分光に基づく分析法</u> は、脱炭素社会を支える環境計測基盤技術となりうる。例えば、化石燃料とバイオ由来燃料で異なる放射性炭素存在比を測定してバイオマス度を評価する手法や、炭素の動態の解明に有用な多重置換同位体分子の分析などに応用できると可能性がある。	国内外の研究機関にて研究開発が進められている。	要素技術や分析システムの研究開発のみならず、新たな分析法を標準化する取り組みが不可欠である。	カーボンニュートラル, バイオマス資源, 多重置換同位体分子	高	10年以降	やや大	やや大	やや大
259	ICT・アナリティクス・サービス	実用的なプログラムの自動合成	実用的なプログラムの自動合成	現状では小さいプログラムの合成しか実現できていない。		プログラム合成, programming experience, 人工知能	中	10年以降	大	やや大	やや大
260	ICT・アナリティクス・サービス	データセンターに应用することで計算の効率化や消費電力を削減する、CPUにデータを転送せずにメモリモジュールの近くやメモリ素子の近くで計算を行う技術の実用	現在の計算機はデータをメインメモリに保存する、演算の際にはメインメモリからCPUにデータを転送し、演算結果はメインメモリに転送して保存する。この方式は、メインメモリとCPUの間のデータ転送がボトルネックとなり、性能が頭打ちになるうえ、データ転送で多くのエネルギーが消費される。そこで、 <u>CPUにデータを転送せず、メモリモジュールの近くやメモリ素子の近くで計算を行う、near memory computingやprocessing in memoryという技術</u> が開発されている。この技術をデータセンターに应用することで、 <u>計算の効率化や消費電力の削減</u> が期待できる。	既に様々な方式が模索され試験実装されているが、実用には至っていない。ハードウェアの研究はある程度行われているが、それを利用するソフトウェアの研究は少ない。 <a href="https://arxiv.org/pdf/2012.03112.pdf">https://arxiv.org/pdf/2012.03112.pdf</a>	適したアプリケーション領域の解明ソフトウェアの開発環境の整備	低消費電力な情報処理, PIM (processing in memory), near memory computing	高	5年未満	あまりなし	中	中
261	宇宙・海洋・地球・科学基盤	宇宙空間での液体ヘリウムハンドリング技術、液体ヘリウムフリーの冷却技術等にもとづく、宇宙空間での低ノイズ観測に必要な冷凍機技術	<u>宇宙利用の冷凍機技術</u> 。 宇宙空間での低ノイズ観測には冷凍技術が必要であり、電波からガンマ線、重力波観測でも必須となっている。現在日本は宇宙利用の冷凍機技術で一步抜kindでているため、これを強化することは非常に重要である。	既に一部は宇宙空間で実用化されている。一方まだその技術は衛星ごとの個別生産であり、一般化には時間がかかる。	宇宙空間での液体ヘリウムハンドリング技術、液体ヘリウムフリーの冷却技術など。	宇宙観測技術, 超低温技術, 液体ヘリウム技術	中	5年未満	大	あまりなし	あまりなし

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
262	マテリアル・デバイス・プロセス	nano-particle assisted laser desorption ionization (ナノ微粒子支援レーザー脱離イオン化法)を用いた数nmオーダーのイメージング質量分析による、微小・微量物質の可視化	<u>nano-particle assisted laser desorption ionization (ナノ微粒子支援レーザー脱離イオン化法)によるイメージング質量分析</u> 、 <u>MALDIの有機マトリックスに替わり、ナノ微粒子を用いて質量分析イメージング</u> をすることで、より精細なイメージングを行うことが可能。従来の有機マトリックスは形成するマトリックス結晶が最小20μm程度に対し、ナノ微粒子は数nmであるため、支援剤の大きさの影響を限りなく小さくすることができる。また、ナノ微粒子自体はイオン化されないため、マトリックス由来のマススペクトルによるサブレーションを無くすることが可能である。この技術によって、従来では成し得なかった <u>微小、微量な物質を質量分析イメージングにて可視化</u> することが可能になった。	質量分析による検出の技術はおおむね完成しているが、微量なターゲットを検出するためにより検出効率を上げる研究を進めているところである		ナノ微粒子支援レーザー脱離イオン化法, イメージング質量分析, 毛髪イメージング	高	5年未満	大	大	大
263	マテリアル・デバイス・プロセス	ゲノムやトランスクリプトーム解析だけでなく、エピゲノムやプロテオーム情報を統合した、シングルセルレベルのマルチオミクス解析に基づく細胞分化過程の理解	<u>シングルセルレベルのマルチオミクス解析に基づく細胞分化過程の理解</u> シングルセルレベルの発現情報解析に基づくtrajectory解析に、ゲノム編集による細胞系譜解析を組み合わせることで、細胞の分裂・分化の過程が明らかになりつつある。今後はそれらに加えてエピゲノムやプロテオーム情報が統合されることで、さらなる理解が進むことが期待される。	ゲノムやトランスクリプトームについては実験的手法が確立され、研究成果が蓄積されてきている。それに対して、エピゲノムやプロテオームのシングルセル解析はまだデータ量の問題が解決できていない。	大規模なデータをいかに解析し、人間が理解できるような形に落とし込むか、情報科学的方法論の進展が必須である。	シングルセル解析, マルチモーダル, DNAイベントレコーダー	高	5年以降10年未満	大	やや大	中
264	環境・資源・エネルギー	高安定で知られるPSUなどのスーパーエンジニアリングプラスチック、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂、ゴムなどを穏和な条件下、低資源、低エネルギーでモノマーに分解できるケミカルリサイクル法	1950年から2015年のプラスチックの総製造量は78億トンに達する。驚くべきことに、そのうち約半分は過去13年間に生産された。このままでは、いずれ資源の枯渇に直面する。この現状の解決に向けて、現行の廃プラスチックの処理方法(2018年度、廃棄と熱リサイクルで計73%)を改め、 <u>あらゆるプラスチック廃棄物から原料へと再生産する資源循環法</u> が求められる。この実現に向けて、製品から有機原料に分解するケミカルリサイクルの役割が今後重要となる。実際に、PSやPMMAなどの汎用プラスチック、ナイロンやPETなどいくつかのエンジニアリングプラスチックのケミカルリサイクルの研究開発が進められていて、より穏和な条件下で解重合できる技術に向けて、今後の発展が期待できる。一方、 <u>高安定で知られるPSUなどのスーパーエンジニアリングプラスチック、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂、ゴムは、モノマーへの精密解重合が極めて難しく、これらをモノマーに分解できる革新的な方法論</u> が求められる。	プラスチックのケミカルリサイクルは、高温下で実施するガス化分解が最も研究開発が進められ、実際に商業化されている。一方、モノマーへの精密分解は、概要にもしめしたとおり、PSやPMMAなどの汎用プラスチック、PUやPET、PAなどのいくつかのエンジニアリングプラスチックのケミカルリサイクルは精力的に研究が進められていて、工業化やその前段階に至る技術など、多くある。PEやPPはマテリアルリサイクルに関する研究が盛んに進められている。一方、高機能、高安定で知られるスーパーエンジニアリングプラスチック、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂、ゴムは、高い安定性ゆえモノマーへの変換は極めて困難である。事実、スーパーエンブラの化学分解に関して、現状、PPS、ポリエーテルスルホン(PESU)を対象とする数例しかない。 プラスチックの種類にもよるが、現状はある程度エネルギーを要しても原料有機物に戻す方法が採用されているが、今後のエネルギー効率を考えると、より穏和な方法で実施できる技術が求められる。	要素は、先にも述べた通り、穏和な条件下、低資源、低エネルギーで実施できるケミカルリサイクル法の開発である。さらに言えば、一種類、または類似した数種類のプラスチックに選択的に実施できる方法、または広範なプラスチックに対応できる汎用的な技術が求められる。 プラスチックのケミカルリサイクルは技術のみが発展しても達成しえない、これを後押しする金融政策、簡便なごみ分別システムなどの社会工学の発展がともに求められる。	ケミカルリサイクル, 樹脂分解, モノマー化	中	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
265	環境・資源・エネルギー	①リン資源循環技術の結集による、輸入肥料使用量の着実な節減、リン鉱石資源の国際的供給不安のリスク低減、資源枯渇問題に対するリン鉱石の耐用年数延長 ②持続的なリン資源循環利用社会の実現に向けた、土壌や水圏といった環境中へのリン排出の負荷削減によって、赤潮や海洋酸素欠乏の発生など、プラネタリー・バウンダリーに示されているリン循環の高リスク評価の回避 ③廃棄物からの粗リン酸溶液の製造や高付加価値のリン化合物への変換技術開発、さらに高機能性リン化合物の原料として重要な黄リンを粗リン酸から省電力で製造できる技術 ④リン化成品製造の原料化	リンは生体に必須の元素で、食料生産のための肥料や飼料にも不可欠である。また、広範な工業分野でも必要となる重要な元素である。日本は世界でもトップクラスのリン消費大国であるが、国内にリン鉱石資源をほぼ持たないため、リン資源は全量を海外からの輸入に頼っている。リン鉱石に限られた国々に偏在する資源であり、世界的な人口増加に伴う海外需要の拡大も確実であること、また鉱石の品位低下（リン含有率低下や重金属含有）も見込まれ、限られた資源であることと今後の供給不安のリスクがある。 <u>リン資源循環技術を結集することによって、輸入肥料使用量の節減を着実に実現し、リン鉱石資源の国際的な供給不安のリスクを低減することと、資源枯渇問題に対してリン鉱石の耐用年数を延ばすことに寄与できる。また、土壌や水圏といった環境中へのリン排出の負荷を削減することによって、赤潮や海洋酸素欠乏の発生など、プラネタリー・バウンダリーに示されているリン循環の高リスク評価の回避につなげ、持続的なリン資源循環利用社会の実現</u> が達成できる。	リン資源回収の対象として有望な食飼料由来のリン含有廃棄物として、下水汚泥は2016年時点の見積で年間に約4.2万トン-P、畜産副産物は年間に約6.8万トン-P排出されており、こうした廃棄物を効率的にリサイクルして肥料原料化することでリン鉱石の消費を節減できる。廃棄物の肥料としての利用では、食品廃棄物のように堆肥として農地に直接施用する方法のほか、下水処理場やし尿処理過程において薬剤調整によりリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP法）やヒドロキシアパタイト（HAP法）として沈殿させ、回収して利用する方法が確立されている。また肥料原料としてだけでなく、廃棄物からの粗リン酸溶液の製造や高付加価値のリン化合物への変換技術開発、さらに高機能性リン化合物の出発原料として重要な黄リンを粗リン酸から省電力で製造できるイノベーション技術を確立できれば、リン化成品製造の原料化や化成品（例えば、リン酸エステルなど）の直接的合成が可能となり、リン化成品の国内自給体制の構築に向けた基盤形成ができるが、いずれもまだ基礎研究レベルである。		リン資源循環、リン回収、プラネタリー・バウンダリー、黄リン、MAP法、HAP法、リン資源化	高	10年以降	大	大	大
266	健康・医療・生命科学	環状DNAの結び目構造を見ることで遺伝子組み換え酵素の働きを見る、結び目理論によるDNA研究	<u>結び目理論によるDNAの研究</u>  結び目理論によるDNAの研究は、DANの結び目構造を見ることで行われる。  例えば、遺伝子組み換え酵素の働きを実際に観察することは、現在の技術では、高性能顕微鏡を用いても不可能である。 そこで、 <u>環状DNAの結び目構造を見ることで、遺伝子組み換え酵素の働きを見る。</u> 結び目構造の変化を見るには、結び目理論で研究されている様々は結び目不変量を用いる必要があり、結び	現在も、結び目理論を用いたDNAの研究は一部研究者により行われてはいるが、まだまだ研究の初期段階である。	私自身は、此方の技術については、専門度が低いためどのような要素が必要かは分からないのですが、生物の技術と共に発展していく必要があるように感じます。	結び目構造、DNA、遺伝子組み換え酵素	低	5年以降10年未満	大	不明	大
267	環境・資源・エネルギー	洋上風力発電（特に浮体式）、潮流発電、海流発電、海洋温度差発電などの海洋再生可能エネルギー技術	洋上風力発電（特に浮体式）、潮流発電、海流発電、海洋温度差発電などの海洋再生可能エネルギー	洋上風力発電は研究段階は終わっている。	国レベルおよび地方公共団体レベルのそれぞれで海洋空間計画を作成する取り組み。特に国レベルで排他的経済水域や大陸棚における海洋空間計画を策定し、保全すべき空間や洋上風力発電などの開発すべき空間などを明確に示す必要がある。	洋上風力、浮体式、海洋再生可能エネルギー	低	5年未満	中	大	大
268	健康・医療・生命科学	生活習慣病にも関わる着靴による痛みの軽減が期待できる、容易に運動中の足部変形を計測できる技術	<u>容易に運動中の足部変形を計測できる技術</u>  着靴による痛みの悩みは一向に変わらない。その理由の1つは、靴の作製はかなり昔から現在に至るまで、静止立位時の足部形状を基本として、ラストを作成して靴形状が決定していることにあると考えている。一方で、様々な身体の動きを計測できる技術は発展しているが、足部形状を容易に計測できる技術はない。容易に計測できる技術があれば、靴開発だけでなく、店舗での靴選びの助けになり、 <u>着靴による痛み軽減が期待できる</u> 。着靴による痛みは、外出を控える、運動を控えるなど、生活習慣病にも関わるため、本技術の発展は社会問題の1つの解決につながる可能性がある。	既存の技術で歩行中の足部変形を検討中。また、計測できる技術を検討中。		足部変形、靴開発、足部の痛み	高	5年以降10年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
269	健康・医療・生命科学	Museomicsにおいて、生 存時の情報に容易にアプ ローチするため、生物標本 から遺伝子や同位体などの 分子情報を安価かつ簡単に 得られる手法及びその応用 科学的活用	自然史博物館などに <b>収蔵されている生物標本から 遺伝子や同位体などの分子情報を得ることで、その 生物が生存していた過去の情報に容易にアプローチ できる「Museomics」</b> が近年注目されている。 過去に採集された生物標本は新鮮なサンプルと比 べ遺伝子などが劣化している。そのためこれまでの 従来型のシーケンサーでは、遺伝解析が困難であっ た。しかし、2010年代からハイスループットシーケ ンサーの利用が盛んになると、生物標本からの遺伝 解析も(依然としてコストや手間はかかるものの)比 較的に解析できるようになってきた。 本分野はまだ国内で研究例が少ないものの、 非常に多岐にわたる分野に貢献すると考えられ、そ のポテンシャルは極めて大きい。例えば、生物多様 性保全である。過去の情報を保持している生物標本 から遺伝情報などを取り出すことで、過去の遺伝的 多様性や個体数、また遺伝子の働きなどを知ること ができる。これらの情報から生物多様性の時間的な 変化を知ることができ、減少要因や保全対策の提 言、また将来予測などが可能となる。	現時点では、博物館標本における分子情報の利用 として、近年のハイスループットシーケンサーの発 達に伴い、標本からの効率的な遺伝解析解析手法が 複数開発されている。また、標本上のDNAを長期間 保持する保存手法や、標本を破壊しないDNA抽出手 法なども、日本発の技術として近年開発された。新 鮮なサンプルと比較してまだ依然として解析費用は 高いものの、今後の解析手法の発達により、より安 価かつ簡単に生物標本から分子情報が利用できるよ うになると期待される。 また、こうしたMuseomicsによる研究成果として は、分子系統解析のほか生物多様性保全に主に活用 されている。分子系統解析ではニホンカワウソなど 絶滅した種の系統樹を解明しているほか、種の保存 法で国内希少野生動物植物種に指定された絶滅危惧種 について、過去の情報が明らかにされるなど、これ までほぼ不可能であったまったく新しいアプローチ が可能となっている。	生物標本からの解析手法について、現状の解析手 法にとどまらず、より過去の生物標本からの安価か つ簡単にできる解析手法を開発していく必要がある。 また、本研究分野は保全生態学や基礎科学(分類 学、分子系統学、集団遺伝学など)での利用が多い一 方で、応用科学(育種学、疫学、植物保護学など)的 な利用はほとんどないのが現状である。今後、様々 な分野の研究者と協働していくことにより、本研究 分野が持つポテンシャルを引き出す必要がある。具 体的には、絶滅した栽培品種やその近縁種の標本か らの、有効成分やそれに関連する遺伝情報の抽出(育 種学的利用)、動物標本からの過去の感染症の有無の 検証(疫学的利用)、雑草や害虫の薬剤抵抗性獲得時 期の解明(植物保護学的利用)などが例として挙げら れる。 最後に、生物標本を収蔵する博物館の問題であ る。多くの博物館は近年、新たな生物標本を受け入 れられないほど収蔵庫の容量がいっぱいとなっている 。しかし、財政的な問題により、新規の収蔵庫の 増設が難しい。今後こうした生物標本への新たな価 値の付与により標本の重要性が認知されることで、 より多くの生物標本が研究材料として収蔵される必	標本DNA, 生物多様性保全, ハイスループットシー ケンサー	高	5年以降10 年未満	大	大	大
270	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	原子炉由来の中性子源しか 活用できない状況状況の改 善によって各病院で利用可 能な、加速器を用いたホウ 素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy ; BNCT)	<b>加速器を用いたホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)。</b> 加速器で生成される中性子を利用し、腫瘍細胞に標 識されたホウ素との核反応により発生する飛程の短 いアルファ線やリチウム粒子線を用いることで、直 接腫瘍細胞だけを選択的に破壊する放射線治療法。 加速器による中性子の活用を可能とすることで、従 来原子炉由来の中性子源しか活用できなかった状況 を改善し、各病院で利用可能となり広い普及が期待 される技術。	茨城県のプロジェクトを含む各所で臨床研究が行わ れている。「切除不能な局所進行又は局所再発の頭 頸部癌」のBNCT治療に対しては保険適用 (2020年 時点)。		放射線, 加速器, 中性子, がん治	低	5年以降10 年未満	中	中	やや大
271	ICT・アナリティクス・ サービス	インターネット上の仮想現 実空間を利用した、メタ バースによる購入体験	<b>インターネット上の仮想現実空間を利用した、メタ バースによる購入体験</b> に注目しています。	技術に関しては知見がありません。		VR, AR, 5G, D	低	5年未満	中	大	やや大
272	マテリアル・デバイス・プ ロセス	現在廃棄されているバイオ マスを活用した環境適合型 高分子の実用化	<b>現在廃棄されているバイオマスを活用した環境適合 型高分子の実用化。</b> SDGs達成のために、本技術の 実用化が急務になると考えられる。	研究段階では多くの研究者に取り組まれているが、 製造設備や材料物性等の関係で、大規模実用化には 至っていない状態である。		バイオマス, 環境適合型高分子, 環境	高	5年未満	大	大	大
273	マテリアル・デバイス・プ ロセス	AIを用いた有機合成化学反 応の高精度予測と目的化合 物の合成に向けた反応経路 予測による、実験者のニー ズにあった合成経路の提案	<b>AIを用いた有機合成化学反応の高精度予測と目的化 合物の合成に向けた反応経路予測。</b> Sci Findrなどに 代表される反応検索システムでは既に導入されてい る。過去の膨大な化学反応に関する文献から、構造 パターンなどをAIによって認識し、目的化合物の合 成経路予測が提案される。	現段階では、予測される合成経路の精度は高くな く、実験者のニーズに合った合成経路が提案される ことはまれであるが、基盤技術が確立されており、 今後、より精度が向上すると期待できる。実験化学 者の試行錯誤を省略することができれば、有用化合 物を利用した創薬研究、生物学的研究が促進され る。	実験化学者から情報化学者へのフィードバックによ る、システム向上が有効であろう。実験化学の経験 的な要素を取り入れたアルゴリズム開発が必要であ る。	AI, 有機合成化学, 予測	高	5年以降10 年未満	大	やや大	やや大
274	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	遠隔のデータ収集による生 物多様性 (種や遺伝的多様 性等) ・生理 (生理的デー タや健康度等) ・生態デー タの取得・解析による因果 関係の推定及びモデル化	インターネット上の写真、ドローンによる映像、衛 星画像など、遠隔のデータ収集による生物多様性 (たとえば種や遺伝的多様性) ・生理 (生理的デー タや健康度など) ・生態データ (成長) の取得・解 析、その解析による因果関係の推定、モデル化	徐々に開発が進んでいる。たとえば、衛星画像によ る植物の大雑把な同定 (針葉樹か、広葉樹か) は条 件により可能であるが、多様性の高い種レベルの同 定となると困難である。AIの利用により進歩可能だ が、教師データのほうが律速になるであろう。今 後、生物多様性へのインパクトの評価の社会・経済 の重要性が高まれば、急速に進む可能性がある。	教師データ (たとえば専門家などによって同定され た生物のサンプル) の量が律速になるのではない か。	リモートセンシング, 時系列解析, 画像解析	中	5年以降10 年未満	やや大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
275	ICT・アナリティクス・サービス	ビックデータを扱う上でセンシティブ情報を漏らさず統計的な結果や予測を導き出すに必要な、プログラムのサブルーチンとなる関数を回路にせず効率の良い大規模な秘密計算	<b>大規模な秘密計算。ビックデータを扱う上でセンシティブ情報を漏らさず統計的な結果や予測を導き出すに必要な技術</b> である。	任意の回路に対してこのような秘密計算が可能なのは知られているが、プログラムを回路に変換して行うのはあまりに効率が悪い。プログラムのサブルーチンとなる関数を回路にせず、一つ一つをより効率の良い方法に置き換えることが地道に提案されている段階。また非線形関数をどのように扱うかも大きな問題である。	暗号研究への研究予算の増額による若手研究者人員の増加。大学と企業の連携。	秘密分散、完全準同型暗号、暗号理論	高	5年以降10年未満	大	大	大
276	宇宙・海洋・地球・科学基盤	宇宙天気現象発生の物理メカニズムの解明に基づく、社会インフラへの影響予測が可能な、宇宙天気の高精度予報技術	<b>宇宙天気の予報技術</b> について、予報精度を上げることが期待されています。これから5年間は太陽の活動期に入るため、社会インフラに影響が出るような宇宙天気現象が数多く発生すると予想されます。これらの宇宙天気現象の予報モデルが〇〇【国立研究開発法人名】などにおいて構築されていますが、現在、その <b>予報精度の高度化を目指しています。このためには、宇宙天気現象発生の物理メカニズムの解明が欠かせません。</b>	現在使われている宇宙天気予報のモデルは、基本的には宇宙天気現象の物理メカニズムを考慮したものです。が、実際に観測されている現象と合致していない点が多々見受けられます。特に宇宙天気の社会インフラへの影響の予測は重要な要素なので、現在使われているモデルの観測データによる更新が必要だと思っています。		宇宙天気予報、宇宙天気の社会インフラへの影響、宇宙天気現象の物理メカニズムの解明	高	5年未満	大	大	大
277	環境・資源・エネルギー	生態系の機能を人間社会のinfrastructureとして活用し、自然環境の保全のみならず、防災・減災や地域振興に役立てていく技術（グリーンインフラ、Ecosystem-based Disaster Risk Reduction；Eco-DRR）	<b>生態系の機能を人間社会のinfrastructureとして活用し、自然環境の保全のみならず、防災・減災や地域振興に役立てていく技術。グリーンインフラ（＝Eco-DRR）。</b>	省庁や大手ゼネコンなどが取り組み、本や指針書などが出版されていると聞いています。 ただ、アイディアとしては良いのですが、実際の効果や効果的な施工についてはまだ課題が多いと認識しています。 実際に施工してから、順応的に管理していくことになるのではないかとと思っています。	重要度、有効度に対する啓発と社会的認知の向上が必要になると思います。	生態系活用、流域管理、温暖化対策	低	5年未満	大	やや大	やや大
278	ICT・アナリティクス・サービス	ビックデータ解析	ビックデータ解析	様々な手法が試されている段階	論理的思考の養成、確率論的解釈を受け入れる土壌	ビックデータ、データ解析、データ駆動型研究	高	10年以降	大	大	大
279	環境・資源・エネルギー	生物群集の現状把握における調査効率の大幅向上に向けた、海洋、湖沼、河川等の環境水中に含まれる低濃度環境DNA分析技術と、それを活用した発生源の生物の生息密度や現存量を推定する方法	<b>「環境DNA」分析技術。海洋、湖沼、河川等の環境水中に含まれるDNA断片の塩基配列から、その発生源となった生物の存在を直接採取することなく知る方法。</b> 生物群集の現状把握において、調査効率が大幅に向上する可能性がある。	特に魚類では優れた汎用プライマーが開発され、すでに実用化、民間企業においても分析業務を請け負うなど、活用されている。他の生物分類群でもプライマーが開発されているが、底生生物等では環境水中のDNA濃度が低いためか、現時点では検出力が低い模様。また、DNA濃度と生息密度や現存量の相関関係が低く、現時点では特定の生物の存在確認以上の用途には難がある。	「環境DNA」を高度に活用するための周辺技術として、環境水中の低濃度DNA断片の濃縮技術、環境DNA濃度から発生源の生物の生息密度や現存量を推定する方法が必要。	環境DNA、生物群集、モニタリング	中	10年以降	やや大	中	中
280	宇宙・海洋・地球・科学基盤	プラズマの複雑流動現象の解明・予測のための、多次元・多成分・多スケール・大域的なダイナミクスを扱う超並列大規模シミュレーション	天体・宇宙の進化や核融合炉の開発などでかかせない <b>プラズマの複雑流動現象の解明・予測</b> のためには、 <b>多次元・多成分・多スケール・大域的なダイナミクスを扱う超並列大規模シミュレーション</b> が不可欠なる。富岳やプラズマシミュレータ雷神などを活用したシミュレーション研究では、場と結合した複雑多体系であるプラズマに発達する乱流現象などが詳細に調べられており、その計算モデル・アルゴリズム・並列化手法・解析手法などは他の学問分野に大きなインパクトを与えるものとして発展している。今後さらなる発展が期待される。	マルチスケールシミュレーション自体は古くから研究されている。プラズマのダイナミクスは通常の流体とはことなり、3次元より高次元の方程式を数値的に解く必要がしばしばある。そのような中で10の5乗を超えるスケール差を含むようなマルチスケールシミュレーションが可能になってきている。富岳やプラズマシミュレータなどの最新鋭の計算機を駆使しながら、さらなる開拓に取り組まれている。	よりスケラブルな計算を実現する演算アルゴリズムや通信アルゴリズム自体の要素技術の向上に加え、そのような大規模な計算データから物理的理解にとって重要な情報を抽出・分析する方法論の開拓も極めて重要となる。この点については最先端の数理・情報科学的手法を積極的に組み入れて行く必要があろう。	マルチスケールシミュレーション、計算科学、連成シミュレーション	高	5年未満	やや大	やや大	中

(注) 一部組織名は伏字

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
281	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	過去2億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築に向けた、人工知能を用いた広範囲の微化石の自動認識と自動分類	<b>人工知能を用いた微化石の自動認識と自動分類</b> 。微化石とは1mmにも満たない小さな化石の総称であり、これらの多くは海洋プランクトンの遺骸である。そのため、海底で堆積した地層中に多数含まれている。これを示準化石として地層の新旧を判別したり、その地質年代を推定するために用いられてきた。また海洋環境を示す示相化石としても役立てられてきた。従来は熟練の研究者による鑑定が必要であったが、多大な労力と時間がかかることが課題であった。人工知能を用いてこの課題を解決し、 <b>過去2億年間の全球的な海洋プランクトンの多様性変動ビッグデータの構築</b> など、さらなる課題への挑戦が期待される。	この技術は試験段階に入っている。限られた対象に適用された結果において、自動認識、自動分類の両面で十分な精度を示している。今後は、それをより広範囲（すなわちたくさんの標本資料）に適用するための技術やシステムの構築が必要である。	人工知能を搭載したコンピュータやアプリケーションの能力の向上とともに、それらの技術が安く提供されることが必要。加えて、多くの研究者を結ぶネットワーク、効率的に画像データを収集するデータベースシステムの改善が必要。	人工知能、ビッグデータ、生物多様性	高	5年以降10年未満	大	あまりなし	中
282	ICT・アナリティクス・サービス	①イメージセンサを用いたセンシング、DX（デジタルトランスフォーメーション）、自動自律制御 ②センシングとAI/機械学習と5G/6G高速通信	<b>イメージセンサを用いたセンシング、DX（デジタルトランスフォーメーション）、自動自律制御</b> 。 センシングとAI/機械学習と5G/6G高速通信。	すでに事業化検討が行われているが、技術、制御方式、データ処理手法は検討中。	遅延のない大容量高速通信。 ロバスト性の高いセンシング。	イメージセンサ, AI, 5G	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
283	マテリアル・デバイス・プロセス	純水が必要とせずに定常状態の水電解を実施できるアルカリ水電解と、高い変動応答性で生成された水素を加圧できるPEM水電解の両方のメリットを兼ね備える、アルカリ膜型水電解システム	<b>アルカリ膜型水電解システム</b> 現在、PtGの入り口として注目されている水電解には、大きく分けると <b>アルカリ水電解</b> 、 <b>PEM形水電解</b> 、 <b>SOEC</b> の3種類がある。 <b>アルカリ水電解は純水を必要とせずに定常状態の水電解を実施できる</b> 可能性があるものの、変動応答性が乏しく、生成された水素の加圧をしにくいとされている。一方、 <b>PEM水電解は変動応答性が高く、生成された水素を加圧できる</b> 点がメリットであるものの、純水を製造しなければならぬために、オペレーションコストがかかる。アルカリ膜型水電解は、 <b>いずれのメリットも兼ね備える</b> 可能性があるため、実現が望まれる。 現在、NEDOのプロジェクトで〇〇大学・〇〇【企業名】などが検討しているとともに、〇〇【企業名】が商品を販売している。	原理は明らかになっており、実現可能性のある材料およびシステムの開発を実施している	電解質膜とシステム設計	水電解による水素製造, 電解質膜, 再生可能エネルギー	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
284	ICT・アナリティクス・サービス	持続可能な社会を実現するため、トラック等の輸送スペースと倉庫の保管・仕分スペースのシェアリングにより物流リソース稼働率を向上させ、より少ない台数のトラックで荷物を運ぶことにより燃料消費量を抑制、地球温暖化ガス排出量を削減する物流システム「フィジカルインターネット」	<b>フィジカルインターネット：フィジカルインターネットとは、トラック等が持つ輸送スペースと倉庫が持つ保管・仕分スペースのシェアリングによってそれら物流リソースの稼働率を向上させ、より少ない台数のトラックで荷物を運ぶことで燃料消費量を抑制し地球温暖化ガス排出量を削減することを通じて、持続可能な社会を実現するための革新的な物流システムの</b> コンセプトです。 「インターネット」のバケット交換の仕組みを物流に適用して、「フィジカル」なモノの輸送・仕分・保管を変革することから、フィジカルインターネットと呼ばれています。	要素技術研究はほぼ終了している。 社会システムとして、荷主産業・物流産業間、異業種の荷主産業間での容器サイズや通信プロトコル、メッセージセマンティックス、共通APIなどの開発や、計画市場のプラットフォームの台頭などが、今後10年から20年で期待される。 経済産業省商務情報政策局で、ロードマップが2021年度作成された他、2020年代の総合物流施策大綱にも記載された。 単に、輸送だけではなく、物流・ロジスティックス、サプライチェーンマネジメント、商取引の再設計など、ソサエティ5.0の流通・物流領域での社会システムとしてのイノベーションの中心的概念である。	経済産業省の「フィジカルインターネット実現推進会議報告書」に詳しいが、概ね下記。 ①要素技術：極めて多数の荷主や物流事業者、輸送事業者などから構成される流通・物流業務プロセス群を、システムとして一体的に捉え、計画市場やスポット市場などの複雑できめ細かな調整業務を行う、いわば物流市場における“デリバティブ市場”を設計し、機能させること。このためには、参加プレイヤーの計画系AIとプラットフォームが提供するマシン2マシンの高速のコーディネートメカニズムの設計が必要となる。 ②社会的要素：輸送容器の形状の複数パターンでの標準化、企業間コミュニケーションプロトコル（メッセージフォーマット、API、事業書コード等）の標準化が必要	交通システム, ロジスティックス, ソサエティ5., サプライチェーンマネジメント, オペレーションズマネジメント, デジタルトランスフォーメーション	高	5年以降10年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
285	マテリアル・デバイス・プロセス	水素燃料電池・蓄電池などの、ポストリチウムイオン電池開発及び大容量化・量産化・低コスト化	<b>ポストリチウムイオン電池技術</b> エネルギーの有効利用として蓄電システムは重要な技術となり、エネルギーの運搬を考えると <b>水素燃料電池・蓄電池</b> は特に注目すべき技術だと考えます。資源確保の点からよりチウム代替材料の開発は重要になると考えられます。	ポストリチウムイオン電池に関しては、各国で開発がおこなわれており、実験室レベルでの材料選定が進められている。大容量化・量産化・低コスト化には5年以上の時間がかかると思われる		高密度エネルギー電池の材料開発, 安全性確保, 高効率	中	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
286	ICT・アナリティクス・サービス	人工知能・人工生命分野における、オープンエンドな進化過程を万人が納得する形で実現する実現する機構	人工知能・人工生命分野における、オープンエンドな進化過程を実現する機構	現在さまざまな手法が考案されているが、真にオープンエンドな進化過程を万人が納得する形で実現することはまだ達成されていない。しかし、GPU など計算機資源の拡充と Deep Learning や Novelty Search 等の AI 手法の充実とともに、近い将来に目標が達成されることが予想される。		人工生命, オープンエンドな進化, クリエイティビティ	高	5年以降10年未満	大	中	中
287	ICT・アナリティクス・サービス	ウェアラブル端末で利用者の行動履歴や生体情報を取得し、機械学習により個人の行動・感情などの予測モデルを学習する技術	<b>ウェアラブル端末で利用者の行動履歴や生体情報を取得し、機械学習により個人の行動・感情などの予測モデルを学習する技術</b> 。得られたモデルは利用者の健康管理や、マーケティング広告のほか、複数人のモデルの統計的分析にも応用が期待される。センサから得られたデータをクラウドにアップロードすることでサイバーフィジカルシステムを構築し、デジタル空間での計算により様々な予測をすることもできる一方で、個人のプライバシーを含むデータをサーバに集約しない技術にも注目が集まっている。例えばフェデレーテッドラーニングでは個人データをデバイス内にとどめたまま、サーバでは利用者全体のデータを使って学習したものと同等の学習モデルを獲得できるよう研究が進められている。	多くのタスクにおいてシミュレーション・実験含めて研究が盛んに行われており、技術的には実用化は目前である。 一方で、利用者に取ってわかりやすい形でメリットを提示できるアプリケーションがない、サービス提供する企業にとって利益の出るビジネスモデル構築が困難などの理由でキラーアプリが登場せず、実用的には普及していない。	個々の用途については技術的な難易度はそれほど高くなく、キラーアプリの存在が普及への障壁となる。 一方で学術的には、異なる種類のウェアラブル端末間の連携、学習モデル同士を組み合わせで新しいシステムを構築するところに技術的課題がある。	ウェアラブルセンサ, 機械学習, サイバーフィジカルシステム, フェデレーテッドラーニング	高	5年未満	中	大	大
288	宇宙・海洋・地球・科学基盤	推進システムを電気推進へ置き換えることで燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす全電化衛星のための、高信頼性・高性能な電気推進システム	既存の衛星は軌道遷移や軌道維持に化学推進を用いており、搭載燃料により寿命が制限されている。 <b>全電化衛星は推進システムを電気推進へ置き換えることで、燃料使用量を大幅に低減し、衛星の寿命を大幅に伸ばす</b> ことが期待される。そのためには、信頼性の高かつ高性能な電気推進システムが必要であり、現在国産での実現のため研究開発が進められている。	現在、〇〇【国立研究開発法人名】にて全電化衛星の技術試験衛星の開発が進められており、現状23年度に打ち上げ予定となっている。この衛星では主に海外から購入した電気推進システムが利用されているが、国産での実現可能なシステムの研究開発も進められている。今後、技術試験衛星で得られたノウハウを基に、商業利用や純国産機へと進んでいくと考えられる。	衛星の長寿命化に対応する、長時間動作可能なシステムの信頼性の向上が重要である。	宇宙, 全電化衛星, 電気推進	中	5年未満	中	中	中
289	ICT・アナリティクス・サービス	熟練技能者の暗黙的な経験によって決められていた意思決定をデータベース化し、それにAI技術を活用することにより、意思決定を高精度・短時間に自動決定できる作業者支援システム	<b>AI技術を活用したもののづくり分野における意思決定支援システム</b> の開発 これまでに熟練技能者の暗黙的な経験によって決められていた意思決定について、データベース化を行う。 構築されたデータベースに対して、AI技術を活用することにより、意思決定を高い精度で自動決定できるような作業者支援システムを構築する。	〇〇【企業名】などは既に関連する科学技術を応用したシステムを開発し、販売している例もある。今後は、より高精度かつ短時間に解析を行うための開発や、開発拠点間でデータのやり取りを円滑に行うためのシステム開発が必要となる。		AI, データマイニング, 切削加工, 研削加工, 研磨加工	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
290	宇宙・海洋・地球・科学基盤	光ファイバークーブルを利用した分散型音響センシング（DAS：Distributed Acoustic Sensing）による地震・空振観測	DASという光ファイバークーブルを利用した地震・空振観測	すでに研究には実用化されて来ているが、海底地震計などとして用いることができるか、火山などでも常時観測に使えるか、などはまだまだ検証が必要な段階だと思う。	装置が未だに高いので、装置の値段が下がることが課題だろうと思います。また、精度は高いけど、広範囲に引くには光ファイバークーブルを敷設することがひつようなので、国交省などに頑張ってもらえるとありがたいな思っております。	光ファイバー, 地震, 空振	低	5年未満	不明	中	あまりなし



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
291	マテリアル・デバイス・プロセス	化石資源に由来する材料を代替するものの一つとして、木質バイオマス由来の材料の量産や大規模な普及	<b>木質バイオマスに由来する各種材料技術</b> 。現在では一般に工業製品・家庭向け製品いずれの材料でも化石資源由来のプラスチックや鉄鋼その他金属等がきわめて多く用いられていますが、それらを代替していくような植物バイオマスに由来する材料の開発を注目して見ております。従来からある木材や繊維板等の木質材料、紙等のより高度な利用とともに、セルロースナノファイバーを用いた新しい材料の開発などが含まれます。こうした材料をめぐる技術開発は、すでに民間・公的研究機関双方で進められていますが、量産や大規模な普及にはいまだ至っていません。しかし、ここ数年で環境保護の観点から化石資源の採掘に対する批判が一段と強くなっており、今後採掘が減少していくことが予想されるため、プラスチック等の <b>化石資源に由来する材料を代替するものの一つとして、木質バイオマス由来の材料の量産や大規模な普及</b> の必要性が小さくないと考えています。また、セルロースナノファイバー等、金属材料よりも軽量かつ強い材料の開発が進んでおり、やはり環境対策の観点から金属材料を代替していくことが期待されます。	最も基礎となる技術の開発はすでに進んでいるものの、それを製品に利用する場合に求められる個別的な特性の付与や、量産化および製造費用の低減のための技術が研究されているのではないのでしょうか。		木質バイオマス、材料科学、化石資源代替、量産・普	低	5年以降10年未満	あまりなし	中	大
292	ICT・アナリティクス・サービス	①人間と自然なコミュニケーションができ、特定のタスクの会話に限定されず雑談も可能で臨機応変な対応ができる、大規模な言語データを使用して学習する深層学習の対話モデル  ②テキスト情報の処理だけに限定されず、画像、音声などの情報を用いたマルチモーダルな対話技術	<b>大規模な言語データを使用して学習する深層学習の対話モデル</b> 。人間と自然なコミュニケーションを行うことができ、特定のタスクの会話に限定されず、雑談も対応可能で、臨機応変な対応ができる。テキスト情報の処理だけに限定されず、画像、音声などの情報を用いたマルチモーダルな対話技術。	海外では〇〇【企業名】、〇〇【企業名】、〇〇【企業名】などが英語の対話モデルを構築し、公開している。英語は話者が多く、学習用のデータが集まりやすく構築しやすい。一方で日本語の対話モデルに関しては〇〇【企業名】が〇〇【企業名】のモデルをベースに構築したものが公開されているだけで、英語の対話技術に比べると遅れていると思われる。	書き言葉のデータはウェブ上から収集可能であり、従来の自然言語処理技術でも利用されているが、書き言葉で学習したモデルは話し言葉には適用しにくいということが最近の研究で報告されている。話し言葉を正しく解析するためには話し言葉のデータが大量に必要である。しかし、話し言葉を収集するためには音声を収録し、人間がそれを聞いてテキストに変換する必要がある。音声は個人情報を含むので、監視カメラと同様に設置が制限されている。また、会話の内容がわかるほど明瞭な音声を取得するためには話者の近くにマイクを設置する必要がある。監視カメラと同等の位置からでは収集することができない。また、収集した音声を書き起こすには人手が必要で、個人情報も含むため、低コストでアウトソーシングすることが難しい。そのため話し言葉を大規模に収集する仕組みが現状ではなく、各企業が社内で収集したり、被験者実験によって疑似的なデータを収集するにとどまっている。	ヒトと違和感なく会話できる対話技術、深層学習モデルによる自然言語処理、マルチモーダルな対話技術	高	5年未満	大	大	大
293	ICT・アナリティクス・サービス	自然言語処理などにおいて、あらかじめ特定のタスクを想定せずに、基礎モデルをデータから学習しておいて後続のタスクに利用する技術	<b>自然言語処理などにおいて、あらかじめ特定のタスクを想定せずに、基礎モデルをデータから学習しておき、後続のタスクに利用する技術</b> が発展してきている。今後、自然言語処理に限らず、CRMなど様々な分野でそのような基礎モデルの学習や応用が進んでいく。	自然言語処理を中心に技術が発展してきている。	基礎モデルを学習する技術、学習に用いるデータ、大量のデータを用いて学習する処理基盤。データの共有など。	Foundation model, Transformer, Representation learning	中	5年以降10年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
294	マテリアル・デバイス・プロセス	基礎的な研究としてプロセスというものを抽象的にとらえて分類するというような理論的枠組みに基づき、プロセスを一般化してとらえた汎用性のあるプロセスインフォマティクス	材料形成のプロセスを制御してよりよい材料を作ることとは実際の材料開発で重要である。材料の構造などが完全に理解できたとしても、その構造がいかに形成されるのか、またどうすれば効率よく、また大規模にその構造を作ることができるのかということは別の問題として残っている。そこで、材料形成プロセスをデザインしてよい性能をもつ材料を作るという試みが考えられ、 <u>プロセスインフォマティクス</u> などと呼ばれ注目されている。しかし、個別の問題に対してプロセスを制御するということは従来から行われてきたものの、 <u>無数に考えることができるプロセスというものをどのようにして一般化してとらえて、汎用性のあるプロセスインフォマティクスを実現する</u> のかは大きな課題である。	個別の問題に対する制御の枠組みは広く研究が行われているものの、どの程度一般性があるのかは大きな課題である。例えば、ある材料の形成プロセスで、プロセスAを変えた時にどのような結果が得られて、逆によい結果を得るためにどのような制御が必要か、という研究は一般的に行われている。しかし、別のプロセスBを変えた時にどうなるのか、というは全く未知の問題になってしまい、結局やってみないと分からないというのが現状である。そこで、基礎的な研究としてプロセスというものを抽象的にとらえて分類するというような理論的枠組みが今後必要になってくるのではないかと考えている。		プロセスインフォマティクス、機械学習、制御、材料構造形成、非平衡	高	10年以降	大	大	大
295	健康・医療・生命科学	歯周炎リスク因子としての脂質代謝産物に着目した歯周病の栄養療法	<u>歯周炎リスク因子としての脂質代謝産物に着目した歯周病の栄養療法</u> の開発	センテナリアン時代に対応すべく、〇〇大学〇〇学部客員教授であり〇〇【大学名】の非常勤講師でもある〇〇先生との共同研究としてスフィンゴ脂質代謝産物に着目した歯周病研究を開始したばかりである。		スフィンゴ脂質代謝産物、センテナリアン、上皮細胞	中	10年以降	大	大	大
296	ICT・アナリティクス・サービス	医療者の行動計画及びそれらの情報に基づいた、診療業務を支援するAI（情報パートナー）	<u>臨床現場における業務ナビゲーション</u> 。特にIoTを利用した診療医療業務支援、医療者の行動計画、及び、それらの情報に基づいたAI等による診療業務の支援。	現在は患者のデータ計測に基づいた「診断するAI」と「治療するAI」に研究が集中しており、「業務を支援するAI（情報パートナー）」の研究は下火な状態にある。患者情報のIoT計測が進んだことと、医師の働き方改革等に対する社会的プレッシャーを受け、漸く現行技術を用いた「計測」が現実味を帯びた段階で、未だ「分析」に辿り着いている事例は少ない。数少ない事例は、〇〇大が行っているSCOT研究を通じた「手術計測・分析」であるが、対象が術野で行われている業務に限られており、広く臨床現場全体をスコープにしている状況にない。	現時点では「計測と分析」に取り組んでいる基礎段階にある。国際的にも注目を集めている分野では井一方、我が国は医療現場・介護現場のITかが（社会の理解では宋でも無いが）国際的にも進んでいる部類に入るため、少し加速すれば先頭に出られる可能性がある。	スマートデバイス、音声認識、行動認識、人工知	高	5年以降10年未満	大	大	大
297	マテリアル・デバイス・プロセス	車載時に振動等で割れない等、信頼性の高い酸化ガリウム6インチウエハの量産化	<u>Ga2O3の6インチウエハの作製</u> が可能になったこと。	詳細は不明であるが、大型ウエハができたことから量産化の可能性も見えてきたと考えています。	熱に弱いことから、実装したときに耐えられるかどうか、極薄膜にすることで車載したときに振動等で割れないかどうか、信頼性を高める必要があると考えています。	Ga2O3, 大面積、パワーデバイス	中	5年未満	中	中	中
298	ICT・アナリティクス・サービス	研究作業の自動化により研究のマンパワー不足を補う、細かな失敗も検出して対応する、人間と同等の作業が可能で安価なロボット	ロボットによる研究作業の自動化	特定の作業（分注やプレートの移動）についてはすでにロボットが構築されているようです。しかし、ロボットアームのサイズと干渉する機会の操作、細かな失敗の検出とその対応については課題が多く、人間と同等の作業を実現するのはできていません。	ロボットが作業を失敗したときにその失敗を認識できないのは、失敗の理由が多岐にわたるせいだと思います。作業ロボットに学習機能をつけさせ対応させることができるといいのかもしれません。日本では研究室に配属される学生の数も少なくなってきたおり、ポストドクを雇用できるような大型助成金を取れる人は限られています。つまり、研究者にアイデアがあっても実現できるだけのマンパワーがありません。こういった課題を作業の全自動化により解決できるのではないかと思います。しかし、こういったロボットが高額であると前述の問題と同じ状況であるため、安価に提供できるような状況を生み出す必要があります（つまりニーズが多くなる）。	高精度ロボット制御技術, AI, 機械学習	低	5年以降10年未満	大	あまりなし	あまりなし
299	健康・医療・生命科学	ワクチン副反応（特にアナフィラキシー）の予防及び治療薬、すなわち免疫調節薬の開発	<u>ワクチン副反応（特にアナフィラキシー）の予防／治療薬</u> の開発研究。すなわち、免疫調節薬の開発研究。	萌芽的な研究を経て、in vitroの基礎研究レベルで進捗が見られる。回答者の実験グループでも候補化合物の1次スクリーニングが進んでいる。	感染症ならびにワクチン研究への裾野を拡げた研究費の配分、特定ラボへのグラント優遇審査とグラント一極集中の禁止。	アナフィラキシーの予防・治療薬、ワクチン副反応の予防・治療薬、免疫調節薬	高	10年以降	中	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
300	健康・医療・生命科学	最も悪性度の高い脳腫瘍、 神経膠芽腫に対する治療薬	<b>最も悪性度の高い脳腫瘍、神経膠芽腫に対する治療薬</b> 開発。	別の疾患の治療薬（血液癌）として開発が進んでおり、一部は、治験の第1相。	資金の援助。 規制の緩和や承認の迅速化。	悪性脳腫瘍, 治療薬, 神経膠芽腫	高	5年以降10 年未満	やや大	大	大
301	マテリアル・デバイス・プロセス	第4のフェロイック物質と考えられるフェロアキシアル物質の物性研究	<b>第4のフェロイック物質と考えられるフェロアキシアル物質の物性</b> 研究	理論的に予測はされていたが、実験的な研究が始まったのはここ数年以内。まだ基礎研究の段階	共役な外場の解明 実験手法、解析手法の確立	フェロアキシアル, 時間反転対称性, 空間反転対称性	低	10年以降	大	中	中
302	マテリアル・デバイス・プロセス	大きなサイズの高品位2次元物質	2004年のグラフェンの発見以来、2次元材料の研究が急進展している。 <b>2次元物質</b> の利点は、 <b>電界を印加することで、伝導度を自由に制御できるだけでなく、異なる2次元物質同士を重ね合わせることで、元の2次元物質とは全く異なる性質の特性を示すなど、新しい物質作製方法</b> として近年注目を集めている。	現在、グラフェンを中心とした研究が主であるが、今後様々な特性をもつ材料に応用可能である。一方で、実際の科学技術の実現に関して、得られる2次元材料がマイクロメートルサイズの小さなものに留まっている。大きなサイズの2次元膜も可能ではあるが、実際には結晶のクオリティが、スコッチテープを用いた手法に比べると圧倒的に劣っており、その部分の改善ができれば、今後大きなインパクトを与えることが期待される。		二次元材料, 室温量子材料, ハイブリッド材料	高	5年以降10 年未満	やや大	やや大	やや大
303	ICT・アナリティクス・サービス	時間領域シミュレーションにおける、ユーザーが下のレイヤーを意識せずとも超高速計算を可能するソフトウェアを活用したマルチフィジックス大規模数値計算技術	<b>マルチフィジックス大規模数値計算技術</b> 。計算機を用いたシミュレーションにより科学技術開発は爆発的な進化を遂げた。しかしながら計算機性能の進化は頭打ちになってきている。このため、CPUそのものの性能をあげるのではなく、並列化による対応が進められてきている。しかしながら、有限要素法のような周波数領域での行列ベースの手法では並列化が困難でスケールアップができない。一方、 <b>時間領域シミュレーション</b> では並列化が可能であるもののその実装は実務者には極めて難しい。近年、後者に関して、 <b>ユーザーが下のレイヤーを意識せずとも超高速の計算を可能にできるソフトウェア</b> の技術開発が進められている。こうした技術開発が進めば、従来解析が困難だったようなマルチスケールの現象の解析が可能になり、基礎科学・工学の両方で爆発的な発展が期待できる。	数値計算の手法については基礎的側面はある程度確立されている。それらを統合しユーザーが意識せずに扱えるようなソフトウェアプラットフォームの開発が必要とされている。	他分野の知恵を統合しまとめあげられるような人材の育成、および、継続的にこうした開発をサポートするための体制の確立が必要とされている。	マルチフィジックスシミュレーション, マルチスケール, 並列計算	低	5年未満	大	大	大
304	健康・医療・生命科学	隣接細胞が正常細胞を感知する機構（細胞競合）における特異的制御因子や活性化薬の同定に基づく、不良細胞の感知・排除メカニズムを生かした疾患発症以前の疾患細胞の除去技術及び超早期マーカー開発	<b>細胞競合による不良細胞の感知・排除技術を生かした疾患細胞の除去、疾患予防技術</b> の開発。	近年、組織に生じた異常細胞、不良細胞を隣接正常細胞が感知して、排除する現象、細胞競合の研究が急速に進んでいる。細胞競合が多様な不良細胞を排除し、がん抑制や老化抑制に関わることなどが明らかになり、また不良細胞排除のメカニズムも明らかになってきた。しかし、隣接細胞が正常細胞を感知する機構は不明である。また特異的な制御因子の同定もまだである。関連して、これを特異的に制御する薬も開発されていない。もしこの現象を特異的に活性化する薬が同定できれば、疾患発症以前の疾患細胞の除去、すなわち疾患予防が可能になる。また、特異的マーカーを同定できれば、疾患の超早期マーカーとしても使えるだろう。	多様な技術を持つ研究者の連携、企業との連携、若手の育成	細胞競合, 細胞間コミュニケーション, 自己最適化	高	10年以降	大	大	大
305	宇宙・海洋・地球・科学基盤	大気汚染物質発生源対策や将来予測の精緻化に向けた、衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース（単一発生源）の検出と定量	衛星観測による温室効果気体や大気汚染物質のポイントソース（単一発生源）の検出と定量	欧米を中心にすでにいくつかの研究報告がなされている。	温室効果気体や大気汚染物質の発生源の解明により、発生源対策や将来予測の精緻化が実現できると期待される。	地球温暖化, 二酸化炭素, 二酸化窒素	中	5年未満	やや大	やや大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
306	農林水産・食品・バイオ	微生物の働き の解明に加え、環境、経済、社会の側面からの研究を通じた有機農業の一般化	<b>有機農業の促進、微生物の働きや有機農業の仕組みをさらに解明</b> していき、生産、政策に活かす基礎的知見を増やしていくことが重要。	有機農業についての研究は進んでいるが、消費者の意識、価格、流通といった点でまだ一般化されているとは言いにくい。みどりの食料システム戦略が策定され、今後は有機農業が注目されていく。また持続可能な開発を維持していくためには有機農業の促進が欠かせない。  みどりの食料システム戦略に掲げられていることが実現できるようにするためには、栽培分野において有機農法の確立及び普及が必要である。また、消費行動や流通に置いても、システムの構築や意識改革など経済的側面からの研究が求められる。これら意識改革が起これば、生産および消費に係るパラダイムシフトが起こる可能性がある。  例えば、学校給食において有機農産物を取り入れる取り組みが行われているが、その取り組みを推し進め、生産者、消費者、流通等の意識の変容し、持続可能な経済及び食料生産システムとなるよう、環境、経済、社会それぞれの側面からの研究成果が求められるとともに、政策への反映が期待される。	有機農業をさらに進展させるためには有機農業に係る学術研究及び研究成果の蓄積が欠かせない。しかし、有機農業は微生物といった非常に分析が困難である要素を多分に含んでいる。どのような微生物が土壌や作物へどのように影響を及ぼしているか明らかにすることができれば、有機農業のさらなる発展とともに科学的根拠をもった理解へとつながり、普及の速度がさらに促進されるものと考えられる。また、有機農産物の流通システムが確立されるまでは経済的支援が重要と考えられるため、政策面や経済面の研究も必要となるであろう。	有機農業、微生物、みどりの食料システム戦略	低	10年以降	あまりなし	やや大	大
307	宇宙・海洋・地球・科学基盤	気象予報のように、データ同化や大規模数値シミュレーションの技術を用いた宇宙環境計測データの同化によって予報精度を向上し、宇宙環境にある人や飛翔体が対応を取れる程度のリードタイムで予報を出す、宇宙環境変動予測技術	<b>宇宙環境変動の予測技術</b> ：人類の宇宙進出に伴い、宇宙環境変動の正確な予測が必要になってきた。宇宙観測計測技術の重要性は近年の発展によって、実用化されつつあるものも出てきた。一方、そのような計測データから未来の宇宙環境を予測する技術はまだ開発段階である。例えば、〇〇【政府機関名】や〇〇【政府機関名】の出す太陽嵐の地球への到達の24時間前予測には約10時間もの誤差がある。地球の気象予報のように、 <b>データ同化や大規模数値シミュレーションの技術を用いて、宇宙環境計測データを同化し、予報精度を向上し、宇宙環境にある人や飛翔体が対応を取れる程度のリードタイムで予報を出す技術</b> が必要とされている。	基礎的なモデルを研究室で開発段階にある。既に運用に使われているモデルもあるが、精度が低く実用性に乏しい。まずは宇宙環境計測データから原理を理解し、データ同化・数値シミュレーション等の先端的ICT技術も応用しつつモデルを開発すべき段階にある。また、地球の防災技術で得られた知見を応用することも必要になる。	宇宙環境の予測シミュレーションは専門性が高いキーワードに見えるが、実際は一般的なICT技術や地球の防災技術の応用である。その理解が普及すれば、企業との共同研究がもっとやりやすくなると考えられる。特に防災大国として多くの防災関連企業を有する日本が宇宙開発でリードできる分野として期待されるので、普及活動も重要と考えられる。	データ同化、数理モデリング、自然災害、宇宙環	高	5年以降10年未満	大	やや大	大
308	マテリアル・デバイス・プロセス	モニタリングや維持管理が困難な施設の超長期的予測にも貢献する。セメント系複合材料におけるセメント水和組織の変質と力学機能とを一貫して関連づける力学モデルの開発に基づく、供用期間中の構造物の材料的・力学的状態の評価	建設材料として世界中で使用されている <b>セメント系複合材料</b> は、陸上、地中、海中、寒冷地、温泉地など様々な環境に適用されるため様々な化学的作用が生じ、それに伴い力学機能が変化する。化学的作用により、セメント硬化体がポーラスになったり新たな析出物を生成したりするように、セメント水和組織が変質する。この <b>水和組織の変質と力学機能を関連づける力学モデルが開発</b> されると、材料安定性の予測技術に構造安定性の情報を組み込むことができるため、 <b>供用期間中の構造物の材料的・力学的状態の評価</b> が可能となる。地中・海中構造物などモニタリングや維持管理が困難な場合や、放射性廃棄物処理施設の超長期的な予測に貢献する。	セメント系複合材料の材料安定性および構造安定性に関する数値解析を駆使した予測技術はそれぞれ個別に発展しているが、両者を紐付ける解析システムは未だ確立されているとは言えない。課題となるのは、セメント水和組織の変質と力学機能との一貫した関連性を評価されていないことが原因である。これが解決できれば、この分野は飛躍的に発展すると考えられる。	材料劣化、力学モデル、セメント系複合材料	材料劣化、力学モデル、セメント系複合材料	高	5年以降10年未満	大	中	大
309	健康・医療・生命科学	細胞内構造生物学における、クライオ電子線トモグラフィー(cryo-ET)を用いたタンパク質構造解析の発展に基づく、細胞内タンパク質の振る舞いの高分解能直接観測	cryo-ETの発展による細胞内構造生物学	cryo-ETによるタンパク質構造解析は現在非常に技術革新が進んでいる分野である。今後5年程度のタイムスパンで大きく技術が進歩し、細胞内におけるタンパク質の振る舞いを高い分解能で直接観測することが可能になると思われる。	構造生物学、cryo-ET、細胞内	構造生物学、cryo-ET、細胞内	高	5年以降10年未満	大	中	中

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
310	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	超高詳細モデルと稠密観測 をスーパーコンピュータ上 で融合することで、従来よ りも高い分解能で断層の活 動を評価する、地震活動度 評価のための地下イメージ ング技術	<b>地震活動度評価のための地下イメージング技術、超 高詳細モデルと稠密観測をスーパーコンピュータ上 で融合することで、従来よりも高い分解能で、断層 の活動を評価する。</b>	ひな型になりうるものは徐々にできつつある、	富岳などでの地震に関する大規模解析技術の開発	スーパーコンピュータ, 地震, 大規模シミュレ ーション	高	5年以降10 年未満	大	大	大
311	ICT・アナリティクス・ サービス	リアルタイムのセンシング データから状況の解析やそ の先の行動の判断を超低遅 延で実現する仕組みに基づ く、ポスト5G/6G無線技 術とクラウド仮想化の融合 による移動体やロボットの 高度自律化	<b>ポスト5G/6G無線技術とクラウド仮想化の融合によ る移動体やロボットの高度自律化。</b> ポスト5G/6G無 線技術において実現される超低遅延・高信頼通信 (URLLC) と、無線ネットワーク網の基地局におい てクラウド仮想化を活用することによる局所性の活 用により、ワイヤレスネットワークを通してつなが る様々な機器や構造物の上で動作する様々なアプリ ケーションに対して超低遅延かつ高スループットな 処理が実現されることが期待されている。このよう な状況に対して、特に、 <b>移動体やロボットの高度な 自律化を目指すうえで最重要となるリアルタイムの センシングデータから状況の解析やその先の行動の 判断を超低遅延で実現する仕組み</b> の研究をクラウド 仮想化技術と自動運転・ロボット技術の面から取り 組むことは急務である。	自動車の自動運転の事例は産業界で開発が進んでい るようであるが、自動車に限らず、航空機、船舶、 宇宙機、プラントなど多くの機械的な構造物やロ ボットに対しても処理の自律化は適応可能であると 考えられる。現在盛んに研究されているAI技術の画 像や音声、テキスト処理以外の応用として、ワイヤ レスネットワークを通してつながる様々な機器や構 造物の自律化は重要な研究テーマであるが、分野横 断的にならざるを得ないため、現状では世界的に見 ても研究拠点を整備して一丸となり取り組んでいる 事例はないと思われる。	分野横断的な研究テーマとなるので、研究拠点を整 備し、最終的な技術の展開という出口を意識しなが ら要素技術を研究開発するべきと思われる。また、 日本の産業構造（通信、ロボット、自動車、機械、 コンピュータ、ソフトウェア）においても、日本の 大学で取り組んできた研究においても、個々の技術 は昔から個別に研究開発してきた分野なので、革新 的なグランドデザインとシステム最適化を探索する 意味でも研究拠点を整備し、強固に連携しながら研 究できる体制が必要と感じる。	サイバーフィジカルシステム, 知能ロボット技術, ドメイン特化型コンピューティング技術	高	5年以降10 年未満	大	大	大
312	マテリアル・デバイス・ブ ロセス	大気圧プラズマの医療応用 (プラズマ医療応用)	大気圧プラズマの医療応用(プラズマ医療応用)	欧米では実用化に近いが、日本は大きく遅れをとっ ている。		大気圧プラズマ, プラズマ医療, プラズマ生物応用	高	5年以降10 年未満	やや大	やや大	やや大
313	ICT・アナリティクス・ サービス	機械学習の進歩、高度身体 計測技術やセンサの小型化 に基づく、常時利用可能で 身体と一体となるようなデ バイスによるジェスチャー インタフェース	<b>ジェスチャインタフェース</b> は身体を使用してコン ピュータやスマートフォンなどのデバイスを操作す るためのインタフェースである。近年はバーチャル リアリティ（VR）やオーグメンテッドリアリティ （AR）の普及により、マウスやキーボード、タッチ 操作に変わるインタフェースの模索が続いており、 この有力な候補としてジェスチャインタフェースが ある。ジェスチャインタフェースは、身体動作の計 測と、機械学習による認識技術によって実現されて いる。現代においては、カメラや簡単なウェアラプ ルセンサによるジェスチャインタフェースが多い が、今後は <b>常時利用可能な身体と一体となるような デバイスによるジェスチャインタフェースの登場 と、その普及</b> が期待される。	人の身体動作のバリエーションは無限といって良い ほど多く、このため現在は実用的に利用可能なインタ フェースの提案に関する研究や、様々なセンサを 用いた人の身体動作の計測技術の研究が行われてき ている。身体動作の認識は機械学習器を用いること が多く、このため、機械学習等の人工知能（AI）技 術の応用に関する研究の進展とともに発展してきた 研究分野であると言える。現在は、日本においては 研究領域として確立されておらず、各研究者が細々 と研究を推進しているが、○○【企業名】や○○ 【企業名】はスマートフォンやスマートウォッチな どの小型のデバイスのインタフェースとしてジェス チャインタフェースを採用し始めており、今後より 高度な身体計測技術の登場と共に、急速に普及する 可能性があるため、そのための基礎研究が重要な段 階である。	身体計測技術の進歩が、ジェスチャインタフェース の実現に向けて必要な要素である。特に、身体計測 を行うセンサの小型化はインタフェースのユーザビ リティに直接関係する。また、機械学習に関する技 術の進歩も重要である。ジェスチャインタフェース は身体を利用するという観点で、人が常に少し大き く動き続ける必要がある。これに関する社会的な受 容についても良く検討される必要がある。	ジェスチャインタフェース, ユーザインタフェ ース, ヒューマンコンピュータインタラクション, 機 械学習, 身体動作	高	10年以降	やや大	大	やや大
314	マテリアル・デバイス・ブ ロセス	計算・情報科学を活用し、 低分子の有機合成反応だけ でなく生体高分子や合成高 分子など様々な化学反応を 予想して、実験的な試行錯 誤無しに最適な反応条件を 見出すアプローチ	<b>計算・情報科学（コンピューターシミュレーショ ン）を利用して、様々な化学反応（有機合成反応、 光反応、微粒子触媒、不均一触媒、相転移反応な ど）を予想して、実験的な試行錯誤無しに、最適な 反応条件を見出すアプローチ。</b>	学術研究では、一つの潮流（研究集団・プロジェク ト）が形成されてきた（○○大・○○など）。ま た、製薬会社では独自に技術を進めていると思われ る。今後、AI技術や量子コンピュータとの融合により、 さらなる進展が見込まれる。	有機化合物などの低分子では、計算のファクターが 比較的小さいため、シミュレーションの精度が高め ていけるが、生体高分子や合成高分子（マテリア ル）などに適用する際には要素が莫大となり、また 不確定要素も入ってくるため、近似化やモデル化、 あるいはコンピュータの情報処理能力を上げるな ど、技術的ブレイクスルーが必要と考えられる。	マテリアルズ・インフォマティクス, シミュレ ーション, 化学反応予測	低	5年未満	中	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
315	環境・資源・エネルギー	窒素循環の課題解決のため、反応性窒素Nrの定量を安価かつ容易に測定する技術	現在、二酸化炭素排出量や固定化については注目をされ、技術開発も進められているが、窒素循環についても同様に重要な課題であり、議論すべき問題である。 窒素は空気中にある窒素分子N2は非常に安定であるが、 <b>「反応性窒素Nr」</b> は様々な状態で河川、海、土壤、大気の中に存在しており、偏在することによって環境や生態に影響を及ぼすリスクがある。しかしながら、窒素は多様な人間活動によって生産、または排出され、様々な環境下に存在するため、政策を一本化することが困難であること、またNrを簡便に測定する技術も無いことから分析に時間とコストを要することも、窒素循環の健全化を困難なものとしている。	国連環境計画フロンティア2018/19において、新たに懸念すべき環境問題として取り上げられている。反応性窒素Nrは様々な形態で河川、海洋、土壤、大気などに存在しており、定量には複数の測定方法で算出し合算するなど、時間とコストがかかる。例えば農地における窒素循環を測定するには、年単位でのon site分析を複数箇所で行う必要があり、安価で容易に行えるような技術開発が望まれる。	窒素汚染を引き起こしている人間の活動が 農業、畜産、化石燃料の消費、食品廃棄や生活排水など多岐に渡るため、関連する省庁が連携した政策を検討し、場合によってはトレードオフするような制度設計が必要	窒素循環, 環境, 分析技術	低	5年以降10年未満	大	やや大	大
316	宇宙・海洋・地球・科学基盤	火山噴火監視において、従来の技術に加え、例えば機械学習や信号処理の技術を用いた低周波地震の特徴把握や、全方位ミュオグラフィによる火山内部のイメージング等、新しい観測技術を運用レベルまで上げて噴火前の異常にいち早く気づくための平時の観測の強化	火山噴火監視の技術	火山直下にあるマグマ活動を推定する従来の技術に加え、火山学分野以外の技術の応用が見えてきている。例えば、機械学習や信号処理の技術を用いたマグマ活動に関連すると考えられている低周波地震の特徴把握する技術や、全方位ミュオグラフィによる火山内部のイメージング技術が代表例で、更なる観測と実証が進んでいる。新しい観測技術を運用レベルまで上げて、噴火前の異常時にいち早く気づくための、平時の観測の強化が期待される。		低周波地震, ピックデータ解析, 多種目観測	高	5年以降10年未満	やや大	大	大
317	環境・資源・エネルギー	これまで経験則のみで過剰なエネルギーをかけて管理していた廃水処理を、科学的根拠に基づき人為制御安定で効率的に実施するための、複合微生物の制御・動態予測技術	<b>複合微生物の制御・動態予測</b> これまで過剰なエネルギー（電力、人手、設備等）をかけた経験則のみで管理していた廃水処理技術を、 <b>科学的根拠に基づく人為制御安定で効率的な廃水処理を実現するための技術</b>	これまで経験則のみで管理していた廃水処理技術を、科学的根拠に基づく人為制御安定で効率的な廃水処理を実現するため、各種要素技術の開発を行っている。各種産業廃水処理プラント内・都市下水処理設備の年間微生物データ、化学分析データ、物理化学パラメータの取得、ラボスケール廃水処理実験を実施し、膨大なデータベースの構築を進めている。	微生物生理生態（機能/環境中での役割）の同定や特定の微生物をリアルタイムで高度に検知する技術開発が必要。また負荷の大きな廃水を出すような企業の協力が必要不可欠。	複合微生物, 予測, 制御	中	10年以降	大	やや大	大
318	健康・医療・生命科学	低分子ータンパク質間相互作用およびタンパク質ータンパク質間相互作用の定量的解析方法の深化に基づく、タンパク質分解誘導薬（PROTAC）の論理的デザイン	<b>タンパク質分解誘導薬（PROTAC）の論理的デザイン</b>	タンパク質分解誘導薬は、最近20年の間に大きく進歩を遂げた、薬の新しいモダリティであり、臨床試験が行われる化合物も少しずつ出てきたが、その分子設計は未だトライアンドエラーに頼っている。	低分子ータンパク質間相互作用およびタンパク質ータンパク質間相互作用の定量的解析方法の深化、特に、アロステリック相互作用の解析がまだ難しいタンパク質分解誘導薬が誘導するタンパク質分解機構の更なる解析	タンパク質分解誘導薬, ユビキチンープロテアソーム系, PROTAC	高	5年以降10年未満	大	やや大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
319	健康・医療・生命科学	細胞内・体内での機能評価に容易に展開可能な、人工的な環状ペプチドによって遺伝子発現を解析する技術	これまで、 <b>遺伝子発現の解析</b> をするためには、 <b>抗体を用いた研究</b> であった。 それを <b>人工的な環状ペプチドに切り替えようとする技術</b> である。  環状ペプチドには、SS結合が含まれていないため、これまでの還元剤使用などの束縛がなく、その分子量が小さいために、連結させることで、近傍に存在する修飾を同時に検出可能である。 さらに、環状ペプチドは動物に依存しないため、愛護の点からも、研究推進は重要である。  環状ペプチドは、合成するため、光学異性体を用いると体内での半減期が伸びたりすることから、細胞内・体内での機能評価に展開することが容易である。	すでに、環状ペプチドの合成法は、完成している。 現在、いったん結合・認識したターゲットを効率よく離すため、容易に開環するようなシステムを構築しているところである。  また、環状ペプチド ライブラリーの合成を終えていることから、特異的に結合するペプチドを濃縮・精製後、配列の決定をするシステムの構築を行っている。 配列が決定できると、完全合成により、大量に用意することができる。  これらは、基礎研究だけでなく、抗体に置き換わる産業を作り出すことになると考えられ、重要である。	この実験系の構築は、少人数で進めることが可能である。  実際に産業に結び付けるとなると、人材・関連する企業のサポートが必要である。  まず、実験系の確立のため、研究費の獲得が必要である。 さらには他国に情報が漏れない形で、企業の情報のやり取りが必要である。 企業との連携にあたり、サポートしてくださる企業の探索などの支援が必要である。	peptide, histone, modification	高	5年未満	大	大	やや大
320	農林水産・食品・バイオ	微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した高効率電池	微生物による土壌・水質浄化と微生物電池 <b>微生物が土壌や水質を浄化する過程で発生する電子を有効活用した電池</b> が研究されている。	現段階では研究室レベルのようだが、カーボンニュートラルを実現するためのひとつの技術として注目している。 また微生物電池の研究を通して、土壌中の特定の金属を回収するなど副次的な興味深い研究が出ている。ただし取り出せる電力は大きくない、つまり効率があまり高くないため、今後の進展が期待される。		微生物電池, 土壌浄化, 水質浄化	低	10年以降	やや大	やや大	大
321	健康・医療・生命科学	成功率が向上し、安全性が示された哺乳動物卵子の体外作製技術	<b>哺乳動物卵子の体外作製技術</b> ○○大学の○○【個人名】や○○大学（現○○大学）の○○博士が世界をリードする技術 すでに完全に体外培養で作製できることが示されている。 今後、その成功率が向上し、さらに安全性が示されれば、体細胞から卵子を作り、そこから産仔を得ることが可能になるかもしれない。 生殖補助医療や家畜繁殖分野に与える影響は計り知れない。	上述	成功率の向上 安全性の検討やその確保 倫理的な議論の必要性	卵子, 体外培養, x x	高	10年以降	大	大	大
322	健康・医療・生命科学	AIを用いたタンパク質の高精度立体構造解析による、膜結合タンパク質、リガンド結合予測、光合成の光化学系反応中心のような多数のタンパク質の会合による超複合体の解析	AIを用いたタンパク質の立体構造解析：既にAlfaFold 2 が利用可能となっている。さらに膜結合タンパク質、リガンド結合予測、光合成の光化学系反応中心のような多数のタンパク質の会合による超複合体の解析にまで適合範囲が拡大することが期待される。	既にモノマー可溶性タンパク質の高精度な立体構造解析予測が可能となり、ウェットな研究課題の策定に多大な貢献をし始めている。今後、クライオ電子顕微鏡や結晶構造解析による実証データを蓄積し、フィードバックさせることで、より高精度に、適合範囲を拡張可能と期待される。	医薬産業への応用、新薬の創薬、タンパク質や抗体の分子デザインなど応用範囲は広範囲にわたる。AIの活用実証例として自動翻訳のDeepLと並んで革命的である。	高精度のタンパク質立体構造解析, AlfaFold2, タンパク質超複合体	中	5年以降10年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
323	マテリアル・デバイス・プロセス	5種類以上の元素からなるハイエントロピー合金の、マテリアルズインフォマティクス技術を用いた、目的に応じた自在設計・合成技術	<b>ハイエントロピー合金のマテリアルズインフォマティクス技術を用いた開発。</b> 通常の物質合成は2-3種類の合成を、経験的に行っていたが、マテリアルズインフォマティクス技術の導入に伴い、開発速度が飛躍的に高速化することが期待されている。 中でも <b>5種類以上の元素からなるハイエントロピー合金</b> は、ドーピングとは異なり、5種類以上の元素が等量の組成でできている合金であるため、これまでの経験則的な方法で作るには困難が伴う。 また、ハイエントロピー合金では相乗効果による極めて高い触媒反応を示す、高い高温耐性を示す、高強度材料となるなど、通常の合金よりも優れた特徴を持つ可能性がある。	平成30年から新学術領域研究「ハイエントロピー合金」がスタートしている。 生体用インプラントや航空・宇宙分野の耐熱性材料に向けたチタン系ハイエントロピー合金の開発などが報告されており、今後もマテリアルズインフォマティクスの活用により、これまでわからなかったハイエントロピー合金が生み出されていくものと期待している。	目的に応じたハイエントロピー合金の自在設計・合成技術の開発。 具体的な応用・改善例。	ハイエントロピー合金, マテリアルズインフォマティクス技術, 触媒材料	中	5年以降10年未満	大	やや大	やや大
324	健康・医療・生命科学	何をいつ食べるかによって生活習慣病を予防するなど、健康に良い食事の時間に向けた時間栄養学	<b>時間栄養学</b> に注目しています。医食同源といわれる様に「食」は健康に重要ですが、 <b>何をいつ食べるかによって生活習慣病</b> の予防になることがわかってきていますので、今後この時間栄養学が発展して健康に良い食事の時間を社会に広めてほしいと思っています。	本も出版されており、研究としてはかなりすすんでいると思います。		健康の科学, 時間生物学, 時間栄養学	低	5年以降10年未満	中	中	中
325	宇宙・海洋・地球・科学基盤	スマートフォンをかざすだけで樹木の体積が分かるような簡単な仕組みによる、レーザスキャナを用いた測樹および測量	レーザスキャナによる測樹および測量	すでに実用化はしているが、スキャナが高額であること、また取得データそのものの利用は難しく、取得データを加工しないと樹木の様子を知ることができない	ソフトウェアの開発、スマホをかざすだけで樹木の体積が分かるような、簡単な仕組みであれば社会的にも大きなインパクトとなる。	レーザスキャナ, 画像処理, 測樹	低	5年以降10年未満	やや大	やや大	あまりなし
326	マテリアル・デバイス・プロセス	金属／非金属間の直接接合技術の確立に伴う、異種材料の直接接合技術及び各種新規開発材料への適用	異種材料の直接接合技術	・新規に開発される各種材料への直接接合技術の適用。 ・金属／非金属間の直接接合技術の確立		異種材継手, 直接接合, マルチマテリアル	高	5年以降10年未満	中	中	中
327	マテリアル・デバイス・プロセス	機械学習 (AI) などを用いて大幅にコストや時間を削減したシステムによる、加速的機能性材料開発及び革新的デバイス開発	<b>機械学習などを用いた加速的 material 開発、デバイス開発技術</b> に注目が集まっている。従来の機能性材料の開発は時間とコストを有するが機械学習 (AI) を活用することで大幅なコスト、時間を削減可能である。既に〇〇【国立研究開発法人名】や〇〇【国立研究開発法人名】などのプロジェクトでも開発が進んでいるとともに一般企業でも開発が進んでいる。今後、開発されたシステムを用いて多くの機能性材料や革新的なデバイス開発が実施されるものと考えられる。	機械学習により材料開発ツールが国内外のプロジェクトにより続々と開発されてきている。材料については新規材料が発見されているがデバイス化には大きな壁があるようである。デバイス開発できる製造プロセス推薦システムなどの開発が望まれている。	機械学習の予測では1)データベース、2)記述子、3)学習モデルの3つの要素が重要である。1)のデータベースについては国内外のデータを整理し管理するようなシステム構築や信頼度の高いデータを集めることが重要である。2)については実験的に得られる知見が重要であり国内の研究環境を整備し研究者の学術レベルをさらに高めるようにすることが重要であると考えられる。	マテリアルズインフォマティクス, 機械学習, 材料探索	高	5年未満	大	大	大
328	マテリアル・デバイス・プロセス	超解像蛍光顕微鏡によるナノイメージングを活用した生命現象の解明と、再生医療・創薬への応用	<b>「超解像蛍光顕微鏡による生命現象の解明と再生医療・創薬への応用」</b> 超解像蛍光顕微鏡が実用化されたことにより、生きた細胞や化学反応が進行する様子をナノメートルの空間分解能で観察することが可能となってきた。近年、超解像蛍光顕微鏡で利用可能な蛍光色素・蛍光蛋白質・蛍光性金属ナノクラスターの開発が活発化し、様々な生体試料の観察が行われている。また、も可能となっており、再生医療、創薬、微生物学の分野における超解像蛍光顕微鏡を利用した超高分解能観察に関する研究は注目に値する。	超解像蛍光顕微鏡によるナノイメージングを活用しようという動きは、2014年のノーベル化学賞受賞以来高まっている。従来の蛍光顕微鏡手法と比較して10倍の空間分解能を実現可能であるために、細胞への薬剤の影響の初期過程、微細な変化を観測することが可能であり、創薬・再生医療の分野での診断に活用可能であることが示されつつある。	超解像蛍光顕微鏡システムにおける装置開発は既に成熟して市販の測定装置もある。しかしながら、測定対象と測定条件を適切に設定するのが難しいために、あまり普及していない。COVID-19のようなウイルスによるパンデミックは、微細な構造を観察するニーズが増加するという点で、本技術の実現を加速する可能ディがある。	超解像, 蛍光プローブ, 金属ナノクラスター, 再生医療・創薬, 微生物, ウイル	高	5年以降10年未満	大	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
329	マテリアル・デバイス・プロセス	環境負荷の小さい原料を用いた高耐久性の材料開発等に基づく、太陽光の紫外光より長波長側の光を短波長に変換するアップコンバージョン技術の実用化	<b>太陽光の紫外光より長波長側の光</b> は太陽電池および人工光合成では未利用、もしくは利用効率の向上が課題である。これらの波長の光を <b>短波長に変換するアップコンバージョン技術</b> の実用化。	基礎研究はすでに深化しており、企業との共同開発ステージにあるものもある。	環境負荷の小さい原料をもちいた高耐久性の材料開発。	アップコンバージョン材料, 太陽電池, エネルギーハーベスティング	高	5年以降10年未満	あまりなし	中	やや大
330	マテリアル・デバイス・プロセス	2分子界面を利用し、1.5Vでスマートフォンドisplay相当の明るさを実現する超低駆動有機EL	<b>2分子界面を利用した超低駆動有機EL</b> 従来は正孔と電子の輸送材料、発光材料をそれぞれ専門的に選択し、最適化してきた。本技術は発光するときに2分子間でのエネルギー移動を利用することで大幅な駆動電圧の低下を実現している。	従来スマホディスプレイ相当の明るさを実現するためには3.5V程度が必要であったが、本技術では1.5Vすなわち乾電池1本で実現できている。これは電圧低下という利点だけでなく、消費電力低下や長い駆動寿命といった利点も生じる。昨今はTVやスマホだけでなく、照明などにも有機ELが採用されてきており低電力化は経済・産業界として大きな訴求にあたる。論文ベースでは赤色発光が実現しているが、その他の色が未達であるため、今後の展開に期待。	有機EL関連は国内大学の研究レベルは世界的にも高い傾向にあるが、民間企業はほとんどが撤退しておりシリーズを実現できる会社がない。多くの研究室は他国企業（韓国サムスン、LGなど）と連携することで存続しているが、それも中国企業へ置き換わっている。しかし、政治情勢の影響を受け、中国企業との連携が非常に困難になっていることから、当該研究分野は先細りが心配されている。研究開発を政治理由により妨げる事の無いよう、調整いただきたい。	有機EL, アップコンバージョン, 電荷移動錯体, 2分子界面, 三重項三重項消滅, 超低電圧駆	高	5年未満	大	大	大
331	環境・資源・エネルギー	衛星画像やドローン等、リモートセンシング技術を用いた生物多様性や生物種の動態把握	<b>リモートセンシング技術を用いた生物多様性や生物種の動態把握</b> 。	衛星画像の精度はあがっており、ドローンなどの利用もすすんできている。しかしながら、動植物レベルの生物ですら、画像による種判別はまだ難しい。	高精度衛星の開発、ドローンの普及などがすすんだ上、グランドデータの取得を許容する研究環境。	資源エコシステム, 環境保全, 観測・予測	低	10年以降	大	中	大
332	ICT・アナリティクス・サービス	沿岸海域で取得される各種観測データや衛星データを統合したビッグデータ構築と、プランクトン種組成の自動観測技術等のAIを用いた赤潮予測	海洋ビッグデータとAIによる赤潮予測	沿岸海域で取得される各種観測データや衛星データを統合したビッグデータ構築、ディープラーニングや機械学習等による赤潮発生予測の試みが行われている。	プランクトン種組成の自動観測技術、沿岸海域での観測データの充実	ビッグデータ, AI, 赤潮	中	5年以降10年未満	大	大	大
333	農林水産・食品・バイオ	畜産からの温室効果ガスの排出抑制技術	畜産からの温室効果ガスの排出抑制技術	さまざまな要素技術の開発が社会ニーズを受けておこなわれており、基礎研究段階のものから実用化研究段階のものまでであるという認識。	SDGs達成への貢献度がより強く求められるようになってきており、社会的要素が大きい。畜産からのGHG排出抑制は、世界的にニーズが高い。	畜産, 温室効果ガス, GHG	低	5年未満	中	やや大	大
334	マテリアル・デバイス・プロセス	計算機上に原料から部品までのプロセス、材料状態を表現し、計算機上での試行錯誤で材料・プロセス・部品を設計する技術	<b>計算機上に原料から部品までのプロセス、材料状態を表現し、計算機上での試行錯誤で材料・プロセス・部品を設計する</b> 。	手法やコンセプト自体は10年以上前に提案された。内閣府事業などで加速され、実用的な問題での実証が進んでいる。	計算機主導は飛躍的効率化がのぞめるが、実験中心のアプローチから計算機主導へのパラダイムシフトには産業界の意識改革が必要。	計算機主導材料設計, プロセッサ材料-製品協調設計, マルチスケールモデリング	高	5年未満	中	やや大	やや大
335	マテリアル・デバイス・プロセス	AIを用いた超高速光パルスのキャラクタリゼーションや兼備計測の高解像度化および多次元計測への展開	AI技術を駆使した超高速計測手法の革新	近年、著しいAI技術の進展により、AIを用いた超高速光パルスのキャラクタリゼーションや兼備計測が可能になりつつある。既に、従来手法よりも高い精度での計測ができることが実証されている例もある。今後、AI技術を支えるハードウェアの性能向上により、高解像度化および多次元計測への展開が期待される。	近年、イメージセンサーの性能向上（微細化、画素数の増大、読み出し速度の向上）および、記憶デバイスの高速・大容量化によって、あらゆる研究分野において高分解能計測および多次元計測が可能になりつつある。しかし、その一方で、データ量が膨大となることが不可避であるため、情報爆発に至ることを避け、真に必要な情報をどのように抽出するかは、研究者を悩ませる問題となりつつある。AIを用いた情報圧縮計測の実現や、インテリジェンスを有した計測手法の確立が求められる。	機械学習, 超高速計測, 光計測	高	5年以降10年未満	大	やや大	やや大
336	環境・資源・エネルギー	電気透析の技術を活用し、海水からCO2を低コストで回収する技術	地球温暖化の原因の一つであるCO2を海水から回収する技術	地球温暖化の原因の一つであるCO2を電気透析の技術を活用して回収する技術開発を〇〇【国立研究開発法人名】が開発している。現在は要素技術開発の段階であるが、実現すれば地球温暖化問題を解決する画期的な研究となる。	海水からCO2を電気透析を活用して回収する際のコスト面が課題である。	地球温暖化, 海水CO2回収, 電気透析	中	5年以降10年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
337	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	①レーザーダイオード励起 やセラミック結晶を用い た、高エネルギー、高ピー クパワー、高平均出力（照 射繰り返しの高い）の次世 代パワーレーザーによる新 物質の創成 ②レーザーダイオード励起 やセラミック結晶を用い た、高エネルギー、高ピー クパワー、高平均出力（照 射繰り返しの高い）の次世 代パワーレーザーによる物 質形状の変化（レーザー加 工） ③レーザーダイオード励起 やセラミック結晶を用い た、高エネルギー、高ピー クパワー、高平均出力（照 射繰り返しの高い）の次世 代パワーレーザーによる、 クリーンエネルギー源の開 発を目的としたレーザー核	<b>パワーレーザー</b> を物質に照射すると、極めて高いエ ネルギー密度（高密度、高温度）の状態を得ること ができる。この高エネルギー密度状態下では、その 物質が相転移を起こして別の結晶構造になったり、 融解して更にプラズマ化するなど、様々な状態に変 化させることができる。すなわち <b>新しい物質の創成 や物質の形状変化（レーザー加工）などに応用</b> する ことが可能である。このような高いエネルギー状態 は、宇宙や地球・惑星の内部などの極限状態を再現 するために有効なツールとなることから、様々な分 野に亘る展開がなされている。また、この極限状態 の一つとして、核融合反応を起こすような条件を得 ることで、 <b>クリーンエネルギー源の開発を目的 としたレーザー核融合炉</b> も進展している。	項目によって異なる。	パワーレーザーの応用という観点では、パワーレー ザーそのものの開発が必須である。高エネルギー、 高ピークパワーに加え、高平均出力（照射繰り返し の高い）パワーレーザーの開発が活発に行われている。 とりわけレーザーダイオード励起、セラミック 結晶を用いた次世代のパワーレーザー開発が主であ り、この製作コストの低減がこの分野の進展のカギ を握っている。	高エネルギー密度、新物質創成、宇宙デブリ除去、 量子ビーム線源、水素製造、レーザー加工、真空の 物理、核融合、宇宙物理、惑星科学、粒子加速	中	5年以降10 年未満	大	やや大	大
338	マテリアル・デバイス・プ ロセス	ディープラーニングやAIを 活用した、密度汎関数理論 における基底状態の電子を 正確に記述する交換相関汎 関数による、普遍的な物性 の高速予測	<b>ディープラーニングやAIによる交換相関汎関数の開 発</b> 。 密度汎関数理論は既に多くの研究で採用されている シミュレーションツールとなっている。 しかしながら、 <b>基底状態の電子を正確に記述する汎 関数</b> は数値的に求めるしかなく、これまで様々な思 想による開発が続けられてきた。 この汎関数の問題は物性値の予測に直接影響を及ぼ すうえ、計算時間も精度を上げると増加する傾向に あり一つの根源的な問題となっていると考えてい る。 しかし、昨今は機械学習を始めとするAIの力で、 <b>ユニ バーサルな汎関数の提案</b> が可能となってきた。 これは今まで計算のパラメータ化していた汎関数の 問題を一気に解決する可能性を秘めている。	今は特定の物質群に対して電子構造を比較的精度よく 予測できる段階である（デモンストレーション段 階）。したがって、真にユニバーサルな汎関数を見 出すにはまだまだ時間を要するであろう。また、い わゆるAIがだしてきたその汎関数を人間が理解でき るかなどの問題もある。しかし、シミュレーション によって物性を高速に予測するという目的ベースで あればブラックボックス化して進めてしまっても良 いかかもしれない。いずれにせ、現段階では汎関数の 普遍化への道筋は見えていないと思われる。	やはり実験的なデータベースの整備や計算結果を検 証する強力な実験家との協業が重要となると 思われる。  残念ながら計算結果を検証するだけの実験を十分に 行っていないケースがほとんどであり、 また比較データが古い文献に依存しているなどの問 題もあると思われる。  このような背景から国プロなどで実際のシミュレ ーションの予測がどの程度実験と整合するのかを検証 するような、特別なチームを作ってこの分野の知見 を蓄積していく必要があると思われる。	密度汎関数理論、第一原理計算、機械学習、AI、マテ リアルズ・インフォマティクス	中	5年以降10 年未満	大	やや大	やや大
339	健康・医療・生命科学	シングルセルゲノム解析や シングルセルRNA解析など の1細胞を解析対象とした 技術	シングルセルゲノム解析やシングルセルRNA解析な どの1細胞を解析対象とした技術	細胞や細菌など様々な試料を対象としたシングルセ ル解析技術が開発・実用化されている。		1細胞解析、機能予測、シングルセル	中	5年未満	中	あまりな し	中
340	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	衛星画像から船舶、航空 機、車両等の移動物体を自 動検出し、高精度にモニタ リングする技術	衛星画像から船舶、航空機、車両等の移動物体を自 動検出し、モニタリングする技術。	既に複数の研究機関が実用化に向けて取り組んでい る。モデル構築や検証のためのデータ収集やその品 質の確保が重要であるが、 プロトタイプは早晩実現し、数年かけてより高精度 なモデルが登場することが期待される。		深層学習、画像処理、物体検出	中	5年未満	やや大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
341	健康・医療・生命科学	複雑な組成中の微量の目的成分を選択的・高感度・低コストで分析する技術に基づく、健康状態を診断するバイオマーカーの探索及び分析	健康状態を診断するバイオマーカーの探索とその分析技術	研究室で研究している段階	バイオマーカーを発見するための臨床研究の実施。複雑な組成の中に存在する微量の目的成分を選択的・高感度（＋低コスト）で分析する技術。	バイオマーカー、分析、診断	低	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
342	ICT・アナリティクス・サービス	Web 3.0、NFT、Blockchain技術が経済に溶け込んでXR技術とも結びつくことによる、Digital Twinの世界との接合	<b>Web 3.0、NFT、Blockchain技術</b> 。単体では効果がないものの、分散型のタイムスタンプ、認証付きデータ保管の方法としては、今後の発展が期待できる。現在は、実証段階のレベルであるが、経済にうまく溶け込むことができれば大きな発展が期待できる。また、 <b><u>XR技術とも結びつくことで、Digital Twinの世界とも繋がり、社会的にも拡大の余地が大きい</u></b>	Blockchain技術は確立しており、NFT、Web3.0は企業も生まれてきており、世界的に注目が集まってきたりしている段階。XR技術は実用化が進んで来ている段階。	よりセキュアな取引（銀行の取引のようなものや商取引）が、より民主化され、世界がフラットになりつつ可能となる世界が実現する。そのためには技術の理解度と社会経済の許容度が必要となる。ある意味、国境を越えてしまうので、社会の考え方の修正が必要となるが、世界中がマーケットに参加できる点では大きな変化となる。	データサイエンス・AI、セキュリティ、プライバシー、コンピュータシステム、ネットワーク・インフラ、未来社会デザイン、インタラクショ	中	5年以降10年未満	中	中	中
343	マテリアル・デバイス・プロセス	世の中を変えるような材料の発見を目指した、データ科学を活用した物質探索	データ科学を活用した物質探索	マテリアルズインフォマティクスは注目されているものの、世の中を変えるような材料の発見に至っていない。2020年頃を最盛期として、少し下火になりつつあるが、まだ各研究者がやりやすい系で行っているにすぎず、本格的な社会実装はこれからの段階である。	継続的な投資と産学連携が必要。短期的な成果を求める傾向が強いが、より普遍的なプラットフォーム技術を築くために、長期的な研究開発ができるファンドや枠組みが必要である。	マテリアルズインフォマティクス、機械学習、物質探索	高	5年以降10年未満	大	大	大
344	マテリアル・デバイス・プロセス	①複雑な化合物の合成経路を人工知能に基づいて高精度に設計し、実際に合成する技術 ②新規有機合成反応の進行を予測する技術	<b>AIと有機合成</b> <b><u>複雑な化合物の合成を人工知能に基づいて合成経路を設計し、実際に合成する技術、並びに、新規有機合成反応の進行を予測する技術</u></b>	ケモインフォマティクスの原点は古くから物理有機化学分野で調べられてきた。現在、特定の有機合成反応における立体化学選択性の発現を左右する分子触媒の物理有機パラメーターを網羅的に回帰分析し、高選択的な触媒の設計が可能になりつつある。これは、特定の高難度分子変換反応の解析にとどまるものである。これに対して、いくつかの反応データベース(SciFinder、Reaxys)などが多段階の合成経路を提案するソフトウェアを公開しているが、精度に課題がある、合成が困難な分子の合成へは適用できない。今後、これらの技術が高まれば、より複雑な分子合成のトライアンドエラーが低減するはずである。	データベースへの登録数の増加と、分子の構造を正確に、かつ効率的に表すことができる記述子の開発	データ駆動化学、AI有機合成、ケモインフォマティクス	中	10年以降	やや大	大	大
345	環境・資源・エネルギー	CO2からの燃料や化成品を高純度で合成しつつ、同時に副生水を分離回収して水電解で水素を製造し、再度CO2との反応へリサイクルするシステム	二酸化炭素の大幅削減に貢献するであろう <b><u>CO2からの燃料、化成品の合成と、その際に生じる副生水を分離回収し、水電解で水素を製造し、再度CO2との反応へリサイクルするシステム</u></b> の構築に注目しています。	各反応を進行させるための触媒の開発は順調に進んでいるが、例えば反応・分離を同時に行う膜反応器を用いることで、高純度の目的物を得ながら、副生水を回収する技術はまだ研究段階である。一方、回収した水から電解で水素を製造する技術は既存でも構わないが、より高効率に製造できる電解技術が開発されれば、それに越したことはない。	システム設計はそれほど難しい、一番の難点は反応・分離を同時に行い、高純度の目的物を得ながら、副生水を回収する技術の開発かと思われる。	CO2回収・利用、低コスト・低エネルギーCO2固定化、化石資源由来製品代替化	高	5年以降10年未満	大	大	大
346	都市・建築・土木・交通	生活、産業、移動などあらゆる都市活動のIoTによる観測・計測し、得られたビッグデータの活用及びAIによる分析を通じ、持続可能性や強靭性をも含んだ、都市全体の効率的・最適な運営・経営	「 <b><u>都市のDX へスマートシティ、スーパーシティへ</u></b> 」 <b><u>生活、産業、移動などのあらゆる都市活動をIoTで観測・計測し、そのビッグデータを活用して（かつ、AIによるデータ分析を通じて）、持続可能性や強靭性をも含んだ、都市の効率的・最適な運営・経営を図る。</u></b>	部分的なスマートシティ・スーパーシティの形成は進みつつある。また、〇〇【企業名】の〇〇のような実験的都市も登場しつつある。	・様々な都市機能や都市活動が包含されるため、それらが透過的に円滑に結合されるような、汎用性や普及性の高いデジタル技術やAIの開発・適用が望まれる。 ・多様な主体の多様な内容についての計算結果が、動的で大規模な計算を通じて導出される必要があるので、高精度で高速の計算技術（ハードとソフトの双方）の開発・適用が望まれる。	都市計画、AI、効率化・高速化、コンパクトシテ	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
347	マテリアル・デバイス・プロセス	動的な構造変化も含めて自在にタンパク質を設計する技術を活用した、あらゆる有機合成を革新する人工酵素	<b><u>有機合成を革新する人工酵素</u></b> の開発	非常に限定的な化学反応にしか使えない人工酵素しか作られておらず、また設計に関してもブラックボックスが多くできておらず、技術革新の必要な芽生え期。	動的な構造変化も含めて自在にタンパク質を設計する必要がある、これをあらゆる化学反応に適応するのは非常に難しい。	酵素、タンパク質、オンデマンド有機合成	高	10年以降	やや大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
348	マテリアル・デバイス・プロセス	従来のナノテクノロジーと比べて、超微細形状を持つDNA構造体を高精度、簡便かつ大量に分子材料を合成する「DNAナノテクノロジー」を用いた、実用的DNA構造体	「 <b>DNAナノテクノロジー</b> 」という研究分野を非常に注目しています。 <b>DNA分子を材料に、超微細な形状を持った構造を作製する</b> 研究分野です。従来のナノテクノロジーと比べ、 <b>高精度に・簡単に・大量に分子材料を合成</b> できる点が画期的と言えます。高精度になる理由は、DNA分子が2ナノメートル程度の分子材料であることに由来し、従来のUVや電子ビームリソグラフィの物理限界（13.5～195ナノメートル）より高い性能を持ちます。作製手順が簡単であることも重要なファクターです。DNA分子が水溶液中に混ざると、自己集合と呼ばれる現象により、自発的に形状が構成されます。従来のナノテクノロジーとは異なり、大型の装置などは必要がなく、事前に設計したDNA分子を単に混ぜるだけです。また、材料は分子ですので、一度の操作で1000億個程度の構造を大量に合成することが可能です。	すでに、100ナノメートル程度の単一のDNA構造体を作製する方法論「DNAオリガミ」が確立しています。また、DNAの構造体を機能化させ、薬剤分子との結合、構造体の変形、構造体同士の結合、なども実現されています。しかしながら、現時点ではあまり実用的な応用例が存在してない状況です。今後は、様々なアプローチにより、実用的な機能を持ったDNA構造体の作製に研究が進むと考えられます。例えば、超精密な実験を行う分子プラットフォーム、薬剤分子の放出を制御するスマート分子ドラッグ、従来のナノテクノロジーと融合させた超超微細可能技術、などが考えられます。それらを実現するためには、他の分野との連携方法などを調べる基礎研究が必要になってくると考えられます。	DNAナノテクノロジーの要素技術は成熟しつつあるものの、関連技術との連携が進んでいない状況にあると言えます。今後は「生化学」や「バイオテクノロジー」などの関連分野と協調できる枠組みを積極的に作っていく必要があると考えられます。また、研究者が必ずしも世間のニーズや経済的な損益を考えて研究しているわけではないため、産業界との結びつきを持つ機会も必要になってくると思います。	DNAナノテクノロジー、DNAデバイス、DNAオリガミ、DNAタイル、DNAナノ構造、DNA origam	高	5年以降10年未満	大	大	大
349	ICT・アナリティクス・サービス	脳の動作原理としての知覚の自由エネルギーや、意識の定量化としての統合情報理論における、実際の脳での計測や実証研究に基づく脳の動作原理及び意識に関する理論の構築	<b>脳の動作原理及び、意識に関する理論の構築</b> 。いまだに脳がどのようにして我々の思考や意識を生成しているのか明らかになっていない。近年、 <b>脳の動作原理として知覚の自由エネルギーが提案され、意識の定量化として統合情報理論が提案</b> されている。これらの脳の理論が完成すれば、精神疾患に対してメカニズムに基づいた治療法の開発や、健康者の能力のエンパワーメント、さらにロボット等の人工物への実装によって人に近い知性を持つエージェントを構築することが可能になる。	脳の動作原理として知覚の自由エネルギーが提案され、意識の定量化として統合情報理論が提案されているものの、実際の脳での計測や実証研究は、計測技術の問題や計算コスト等によって現段階では容易ではない。		理論神経科学、統合情報理論、脳の自由エネルギー原理	中	10年以降	大	大	大
350	環境・資源・エネルギー	循環型社会構築を目指し、食品残差の安定的回収・分別システム構築に基づき、木質バイオマス発電所で生じる木灰と食品残差を組み合わせた有機堆肥化及びその地場利用	世界が脱炭素社会に向けた取り組みを強化していく中、わが国でも政府が2050年に温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする方向を打ち出しました。その実現のためには循環型社会の形成が不可欠であり、 <b>環境負荷をかけない材料やエネルギーをもとにした製品づくりや資源循環利用の仕組みを確立することが急務であり、そのための技術開発を促進していくことが求められています</b> 。循環型社会構築に向け循環型社会は、できる限り地球資源を大切に使い、廃棄物を出さないように、さらに出した廃棄物もできる限り再利用しようとする環境と調和・共生する社会です。エコものづくり研究会は、次の4つの理念に基づき、環境と調和・共生する先進的で世界的競争力のあるものづくり産業を目指すことを目的として研究開発です。	木質バイオマス発電所で生じる木灰を、育苗や育林の肥料として地場利用することは、木灰の有効利用及び地域における資源循環の観点から望ましい。しかし木灰は粉体であり、飛散しやすく扱いにくい上、植物の成長にとって有用な窒素に乏しい。そこで我々は、木灰に食品残渣と組み合わせる堆肥化の検討を進めて、環境農業に向けて、ゼロエミッションを目指しています。	木質バイオマス発電所で生じる木灰を利用して、食品残差と組み合わせた有機堆肥を作るには、安定した食品残差の回収システムと分別システムが、必要な課題です。国が、J-クレジット制度を作ったので、バイオ炭との組み合わせた有機栽培に活用されることが、ポイントです。	エコモノづくり、ゼロエミッション、循環型社会の構築	高	5年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
351	健康・医療・生命科学	発生生物学と神経科学の融合による、神経発生発達障害の根本原因である発生異常のメカニズムの徹底的解析に基づく、対処療法以外のアプローチ	脳機能は複雑かつ精緻な神経回路の活動によって実行される。近年、米国や欧州が <b>脳神経回路の全容を理解するためのコネクトーム解析を進めており、日本も革新脳プロジェクトが動いている</b> 。一方、神経発生とその異常による神経発生発達障害の研究も広がっているが、近年の神経科学研究は、神経回路形成などの異常の結果である最終的なシナプス機能の研究に偏っていることから、対処療法的な治療法しか実用化されていないのが現状である。そこで、日本の強みである <b>発生生物学を神経科学と融合させることにより、神経発生発達障害の根本原因である発生異常のメカニズムを徹底的に解析する研究</b> の強力な推進を提案する。社会問題となっている自閉症、統合失調症、双極性障害などは、神経発達障害と位置付けられていることから、神経回路の構築・作動原理の研究推進は、神経発生発達障害の治療への応用が期待される。	米国や欧州が脳神経回路の全容を理解するためのコネクトーム解析を進めている。日本もマーマセットを用いた革新脳プロジェクトが動いている。また、光遺伝学を用いた行動解析なども、海外が先導している状態ではあるが、日本国内でもCRESTなどで光操作を用いた技術開発を戦略的に進めている。日本は、マーマセットなど一定の独自性を打ち出しているものの、神経科学全体の潮流としては、米国や欧州よりやや遅れ気味である。その反面、発生生物学や細胞生物学は日本の強みであり、これらの分野は国際的にも日本が先導しており、ノーベル賞・ラスカー賞・ガードナー国際賞などの受賞者も複数おられるが、近年基礎研究費の削減に伴い、日本では発生生物学や細胞生物学分野への研究費は大きく減っている。その結果、土台のない研究が増えており、対処療法以外のアプローチとして神経発生発達障害に立ち向かう研究が生まれてくる土壌は乏しいのが現状である。	神経回路（コネクトーム）の全容については、国際的なプロジェクトにより近い将来明らかにになるであろう。しかし、ゲノムプロジェクトと同様に、膨大なコネクトームのデータを社会実装につなげるには、さらなる努力が必要である。海外では、ブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）などへの応用も進んでおり、脳や脊髄を損傷した患者が多く救われる可能性が期待される。日本でもBMIに大きな研究費がおりていることから、一定の成果が期待される。しかし、社会問題ともなっている自閉症や統合失調症などの神経発生発達障害については、発生生物学のおよび分子細胞生物学的な基礎的理解が追いついていないことから、社会実装までの先は長いであろう。日本の強みであるこれらの分野を神経回路研究や疾患研究と融合させられるかどうか、今後の展開を大きく左右すると思われる。よって、現在は学会レベルでもバラバラである神経科学、発生生物学、細胞生物学、生化学、精神疾患（生物学的精神医学など）を融合できるような領域型研究を推進するための研究班を構築することなどが効果的ではないかと考える。	神経発生、神経発達、神経発達障害、自閉症、統合失調症	高	10年以降	大	大	大
352	環境・資源・エネルギー	原子力船「むつ」の様な移動用の小型原子力設備	<b>移動用の小型原子力設備</b> 。以前開発が進められた <b>原子力船「むつ」の様なもの</b> 。	基礎的知見は、過去の記録から得られると思いますので、あとは搭載船に適した実装と運用だと思います。	「むつ」開発当時と比べ、現在は米軍の原子力空母や原子力潜水艦は動力に原子力推進を用いていることは、殆どの日本国民は理解していると思います。石油は便利ですが、無尽蔵ではない点、国民の多くは理解できると思います。	原子力推進機関、発電と船舶の原子炉の統合管理、邦人原子力技術者の育成・維持	中	5年以降10年未満	大	大	大
353	環境・資源・エネルギー	BIMの材料データへのライフサイクルのCO2排出量組み込み等による、建築分野のライフサイクルCO2排出量の把握及び評価	ライフサイクルCO2の把握・評価	建築分野のライフサイクルCO2排出量は、全体の4割程度を占める。この計算を行う手法は整備されているが、新しい材料のデータがない、実務での対応が煩雑などの課題がある。これに対して〇〇学会などが問題点の把握を行っている。	BIMの材料データにライフサイクルのCO2排出量を組み込むことが必要。また新しい材料が出現した場合のデータの評価・登録の仕組みが必要。	カーボンニュートラル、建築、環境	中	5年未満	中	やや大	大
354	マテリアル・デバイス・プロセス	経済性、エネルギー変換効率と使用寿命が改善された有機薄膜太陽電池の量産及びそのアプリケーション開発	<b>有機薄膜太陽電池</b> 。 <b>有機半導体と呼ばれる有機材料を光変換層に用いる太陽電池技術</b> 。 太陽電池デバイスが軽量で機械的柔軟性に優れる特長があるため、建物の窓、壁や曲面部分などへの設置自由度が高い。 また、塗布工程で製造できるので、低コスト化やトータルエネルギー効率に優れる可能性を秘めている。	経済性を度外視すれば、有機薄膜太陽電池を実用化することは現状でも可能である。 有機薄膜太陽電池の普及のためには、経済性の改善が必要であり、エネルギー変換効率と使用寿命の改善が必要である。 現在、エネルギー変換効率と使用寿命の改善の研究開発が進展している。	・有機薄膜太陽電池用の有機半導体材料の開発 ・有機薄膜太陽電池の製造装置（量産技術）の開発 ・有機薄膜太陽電池のアプリケーション開発（特にシリコン系太陽電池に優位性がある使い方）	organic solar cell, organic photovoltaic device, organic semiconductor	高	5年未満	大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
355	健康・医療・生命科学	医学系と情報工学系・心理系等の共同研究と、心理・表情は隠された感情や感情に影響する脳の状態、心ストレス状態の確実な取得がわかる実証実験系に基づき、汎用カメラを用いて顔画像からストレスや心理状態を遠隔評価する技術	<b>顔画像からストレスや心理状態を評価する技術。</b> 表情は隠された感情や感情に影響する脳の状態、心理状態を反映すると感がられ各方面から研究が進められてきた。近年の画像処理技術の向上により、心理状態を数値化する試みは飛躍的に進歩しつつある。その中で、重要なのは、 <b>教師データとなる客観指標との対応</b> である。昨今の国内外の状況において、ストレスによる心身状態の悪化はヘルスケア分野において重要なターゲットである。その中で、唾液・血液・尿などを用いずにストレスを遠隔でも評価できる指標のニーズは高い。脈拍でなく顔画像で評価できる場合は、汎用カメラで対応できること、ウェアラブルデバイスも必要でないことから、遠隔での見守りなどの活用先も大きいと考えられる。	ストレスに限らず、感情など心理状態を顔画像から評価する試みは、情報工学系、心理系と別々に行われていることが多い。要素技術としては完成に近いところであると考えられる。しかし、医学との連携が少ないのが本領域の欠点である。	ストレスなどからヘルスケア情報を取得する研究領域において最も重要なのは、1：医学系と情報工学系・心理系などとの共同研究、2：心理状態やストレス状態を確実に取得していることがわかる実証実験の系、の2つに限る。2については倫理の問題でなかなかクリアなデータを取得することがむずかしいため、単独の共同研究では実効がむずかしい医学連携は、大きなプロジェクト手動で、医学と情報工学や心理との共同プロジェクトがあると良いのではないかと思う。	産業衛生、地域保健、健康の科学	高	5年以降10年未満	中	やや大	やや大
356	マテリアル・デバイス・プロセス	フォノン信号処理における100GHz超の高周波化による、熱流を熱電変換技術や信号処理デバイスの情報担体として利用するフォノンエンジニアリング	<b>熱流制御、フォノンエンジニアリング、熱の流れを人工的に制御し、熱電変換技術や、信号処理デバイスの情報担体として利用する</b> 試み。	まだ、基礎研究のフェーズ、熱電変換技術には、実用化への兆しがみえる。一方で、フォノン信号処理は当分は基礎研究にとどまりそう、100GHz超の高周波化がカギ。		フォノン、熱流、熱電変換	高	10年以降	やや大	やや大	やや大
357	マテリアル・デバイス・プロセス	音響波センシング及び検出量とイベントの相関付けによる、光通信ケーブルを活用した環境モニタリング	光通信ケーブルを活用した環境モニタリング	音響波センシングの基盤技術は確立されているが、検出量とイベントの相関付けは今後具体的な検討が必要		光センシング、環境モニタリング、音響波センシング	中	5年以降10年未満	大	大	大
358	ICT・アナリティクス・サービス	6Gなど超広帯域通信チャネルを利用した高臨場技術及びAIと組み合わせた自動制御技術	超広帯域通信チャネルを利用した高臨場技術、およびAIと組み合わせた自動制御技術	既に一部実用化、6Gに向け開発活発化中。	先進国では少子高齢化による継続的な国力低下が懸念されるが、それをカバーする可能性のある技術群である。  特に6Gなど超広帯域、低遅延技術は、高齢者にとって気軽な医療環境へのアクセスや自動運転による移動サポートなどを実現することで、QoLの向上、インフラ整備の低負担化につながる可能性がある。  また少子化の課題との一つとなっている両親の社会参加についても、遠隔によりより違和感のない高臨場な社会参加環境を整備することで、少子化に歯止めをかけることができる可能性がある。  コロナ禍でリモート勤務の敷居も下がっている中、現状はスピード感をもって技術をデプロイしつつ、日本という国民特性を踏まえた研究開発投資が必要だと考える。	超広帯域通信、人工知能、高臨場	中	5年未満	大	大	大
359	農林水産・食品・バイオ	100%植物由来で、ガスバリア性やシール性などを持つ高機能生分解性の、低コストプラスチック	<b>100%植物由来の高機能生分解性プラスチックが安価に開発</b> できると良い。 ポリ乳酸やPHBHなどの生分解性プラスチックが世の中で広がりがつつあるが、100%植物由来ではなく、ガスバリア性やシール性などの機能性、製造コスト面で課題が多くある。	生分解性プラスチックで早く普及したのはポリ乳酸であると理解している。 その後PHA、PHBH、バイオPBSなどの製品が出てきた。 現在はカネカが開発するPHBHが実用化され、普及されつつあるが、コスト面で課題がある。		生分解性、ポリ乳酸、PHBH	中	5年未満	やや大	やや大	大
360	農林水産・食品・バイオ	二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として高効率で油脂発酵する技術	<b>二酸化炭素を酢酸菌で酢酸に変換し、それを炭素源として油脂発酵する技術。</b>	論文はあるので、あとは効率の問題なのかもしれません。		二酸化炭素削減、油脂発酵、酢酸菌	中	5年以降10年未満	大	大	大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
361	ICT・アナリティクス・サービス	正しさが証明されたソフトウェア	正しさが証明されたソフトウェア	すでに正しさが保証されたコンパイラなどが存在する。		プログラム検証, 自動証明, 定理証明支援系	高	10年以降	大	やや大	大
362	ICT・アナリティクス・サービス	犯罪捜査において、侵入経路や現場での動き等以外にも、犯人の年齢、性別、歩き方の癖も推測できる足跡鑑定技術	<b>足跡鑑定技術</b> 犯罪捜査には近年では防犯カメラを用いることが多くなっているが、防犯カメラでは解決できない事件もある。昔から、指紋鑑定は行われており、データベースによる認証が行われている。一方で、現場に残されるものとして、足跡がある。現在の足跡鑑定において分かることは、侵入経路、現場での動き、履いている靴、靴購入履歴からの犯人捜査などである。しかし、足跡にはそれ以外にも様々な情報が含まれていると考えている。足跡を詳細に検討することで、 <b>犯人の年齢、性別、歩き方の癖も推測</b> できる可能性がある。	現場足跡画像からの特徴点の抽出作業中。また、足跡と歩行動作の対応関係を検討中。		足跡鑑定, 犯罪捜査, データベース化	中	5年以降10年未満	やや大	中	大
363	農林水産・食品・バイオ	味や栄養価に影響を及ぼさず食感をコントロールできる材料を活用した、様々なとろみ、かたさを有する食品(ゲル状食品)の汎用化	<b>様々なとろみ、かたさを有する食品(ゲル状食品)の汎用化</b> 多様な人のニーズ、食に対する満足度向上のため、多様な食感の食品が求められている。味や栄養価に影響を及ぼさず、食感をコントロールできる材料を活用することで、多くの人の希望を満たす食品を実用化することができる。 また、この技術は、代替動物性食品としての利用も期待される。	研究段階では、多く取り組まれているが、比較的小規模なものが多い。企業等と製造を踏まえた上で研究を進めることで、早い段階での実用化につながると考えられる。		食品, ゲル, とろみ	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	大
364	マテリアル・デバイス・プロセス	自在な酵素設計や合成設計によるオンデマンド型酵素反応を活用した、有用生物活性物質の簡便合成	<b>オンデマンド型の酵素反応を活用した、有用生物活性物質の簡便合成</b> 。有用な活性をもつ天然分子の合成には様々な有機化学反応が用いられるが、望み変換のみを進行させることは容易ではなく、複雑な分子を合成する最大のネックとなる。 <b>酵素は選択的反応を実現する有用な試薬</b> とみることができ、有用分子の合成を圧倒的に簡略化させる可能性を秘めている。	酵素反応は選択性が高い利点はあるものの、基質特異性が高いため、利用範囲に限られる。現在では、酵素の変異や基質の変換などで酵素化学合成が試みられているが、自在な酵素設計や、合成設計が可能になれば、有用分子の合成が格段に容易になるはずである。	上記に述べたように、合理的な酵素反応の設計、そのために必要な計算化学的アプローチの向上や酵素発現や精製技術の向上が望まれる。	酵素, 有機合成化学, 選択的化学変換	中	10年以降	やや大	やや大	やや大
365	環境・資源・エネルギー	環境DNAからの生物多様性評価や、全ゲノム配列決定などを野外でできるようになる、次世代シーケンサーなどの大型機械を必要とせず大量の配列データを得る技術	<b>次世代シーケンサーなど、大型機械を必要とせず大量の配列データを得る技術</b> 。環境DNAから生物多様性を評価する、全ゲノム配列を決定する、などを野外でできるようになる。パソコンがあれば、次世代シーケンサーや遠心機を必要とせず配列決定できる。	ナノボアシーケンサーなど、基礎データはそろっていると思うので、実現される可能性は高い。	生物多様性条約など、遺伝資源の保護などの法的整備が必要となる。	環境DNA, シーケンサー, PCR	中	5年以降10年未満	中	中	中
366	農林水産・食品・バイオ	細胞や細胞小器官の解剖学またはイメージングにおいて、野外採取した試料を速やかに観察あるいは速やかに固定後に時間をかけて高解像度観察することで、培養できない分類群に対してもその生理・生体につながる技術	<b>細胞あるいは細胞小器官の解剖学あるいはイメージング</b> 。たとえば、海洋の低次生産者であるプランクトンの多くは単細胞生物であり、それらが果たす生態学的な役割及び物質循環に与える影響は大きい。一方で、一部のモデル生物を覗くと、それらの生理・生体などの生産に関わる機構の解明は十分ではない。これらの課題解明のために、これまでは野外より採取した細胞を継代培養することで実験室内での観察や実験を行ってきたが、継代培養がボトルネックとなり多種多様な分類群に広げることができずにいた。一方で、 <b>野外採取した試料を速やかに観察あるいは速やかに固定後に時間をかけて、高解像度で観察することで、培養ができない分類群に対してもその生理・生体につながる</b> ことが期待される。	細胞質に対しては光学顕微鏡、電子顕微鏡を用いた染色像の観察、高組織の観察にはX線マイクロCTなどが用いられている。両者を同時に観察するためには、適切に固定した試料を用いてFIB-SEMで断面観察などの方法があるが、まだ網羅的に適用するには至っていない。	科学的に有意な情報を得るためには、アーチファクトを抑え、多数の個体を観察する必要がある。そのためには、観察手法の改善、観察コストを下げる技術に期待がかかる。	バイオイメージング, 海洋生態系, 細胞小器官の固定技術	中	5年以降10年未満	やや大	中	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
367	マテリアル・デバイス・プロセス	カーボンニュートラルを実現するための技術として、CO2を電気的に還元し、有機物を生成する技術	<b>CO2の電解による有機物合成</b> カーボンニュートラルを実現するための技術として、CO2を電気的に還元し、有機物を生成する技術に着目している。触媒の種類によって合成される有機物はさまざまであり、例えばエタノールやギ酸、有機物ではないが一酸化炭素(シンガス)などがあげられる。	原理が実証されつつあるものの、その性能は触媒性能に依存するため実証や実装まではまだ時間がかかる段階。	CO2を電解して作成した有機物は、石油由来の有機物と比較してコストが高い。CO2クレジットが高価であれば技術の実用化にもつながるが、そうでなければ実現しない。	CO2電解, 共電解, CCUS	中	5年以降10年未満	大	大	大
368	環境・資源・エネルギー	物量がなくてもリサイクルのコストバランスを確保する技術、電池の内部状態までの劣化診断・スクリーニング技術の確立に基づく、蓄電池のリユース・リサイクル	<b>蓄電池のリユース・リサイクル</b> 電気自動車の普及などが進むと、相当数の電池が回収されることになる 欧州でのリサイクル規格化運動などから、早急に対応を進める必要がある。 中古電池のリユースでは、安全性の観点から <b>変化した電池のスクリーニング技術</b> の確立が急がれる。	電池材料リサイクルは欧州・中国などで進められており、実用段階にあるが、大量処理でコストバランスを取っている。国内ではまだ電気自動車の普及が進んでいないことから、物量がなくてもリサイクルのコストバランスを確保する技術が必要と考えられる。 リユースに必要な電池の劣化診断は実用段階にあると考えられるが、安全性の観点から内部状態まで認識するための技術としては5年程度の時間がかかると推測する		電池材料のリサイクル, 中古電池の安全性を確保したリユース, 中古電池のスクリーニング技術	高	5年未満	やや大	やや大	やや大
369	ICT・アナリティクス・サービス	人間の集団的意思決定をリアルタイムに解析・可視化・フィードバックする意思決定支援システム	人間の集団的意思決定をリアルタイムに解析・可視化・フィードバックする意思決定支援システム	現在、さまざまな機械学習手法に基づいて、かつては定量的解析が困難だった「アイデア」や「意見」などの質的情報を定量的かつ客観的に解析をすることが可能になってきている。これを人間の集団における意思疎通・意思決定の過程にリアルタイムかつインタラクティブに導入することで、人間の意思決定過程をより効率的・効果的にすることは、技術的にはすでに可能になりつつある。どのような方法でこれらの技術を導入し、どのような点に留意する必要があるかについては、研究はまだ未発達である。		集団的意思決定, コンテンツ解析, 意思決定支援システム	高	5年未満	中	大	大
370	環境・資源・エネルギー	国内林業の高効率化のための、林業の各過程（林道開設、造林、除草・下刈り、間伐、伐倒・枝払い、集材・搬出等）の既存技術の改良・高性能化と普及	<b>国内林業の高効率化のための各種林業技術</b> 。今後、環境保護のために化石資源の採掘の減少が見込まれるなかで、それを代替するエネルギーや原材料の確保の必要性が高まっていくと考えられます。その代替的なエネルギーや原材料の選択肢の一つとして考えられるのが森林資源です。日本国内の各種エネルギーや資源の賦存状況等と、エネルギーや資源を国内で自給することの意義とをあわせて考えると、日本では森林が今後重要となる可能性が小さくないです。しかし、森林を活用するための林業自体は低調にありますし、他産業と比べて決して効率の良いものになっていません。今後、どこまで森林を資源として活用すべきか、そして活用できるようになるかは、たとえば国際政治や国際経済など、予想ができない様々な要因がからむために未知数です。しかし、技術開発をしておく価値はあるだろうと考えています。 期待される技術の内容は、 <b>基本的には林業の各過程の既存技術の改良と普及</b> であって、大きなブレイクスルーの必要とされるものではないと考えています。具体的には、 <b>林道開設、造林、除草・下刈り、間伐、伐倒・枝払い、集材・搬出の各過程で用いられる各種機材の高性能化</b> です。	基本的に必要とされているのは既存技術の改良と普及だと考えています。要素技術の改良や海外および他の分野からの転用が、公的な研究機関・試験場を中心に取り組まれています。林業自体の低調さを受けて、あまり大きくは進んでいないように思います。	基本的には、将来の森林資源の活用を見据えた公的・社会的な投資と研究規模の拡大、優秀な人員の配置なのだと思います。	林業技術, 林業の効率化, 森林資源利用	中	10年以降	あまりなし	やや大	やや大



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
371	ICT・アナリティクス・サービス	部屋に設置されたマイクなどを用い、専門用語や流行語なども含めて人間同等の音声認識をし、子供や高齢者、ネイティブではない話者も聞き分けて会議の議事録などを簡単に作る技術	<u>人間と同等の認識技術を持つ音声認識技術と話者認識技術</u> 。従来の音声認識技術はヘッドセットのように人間が装着したマイクで収録した明瞭な音声でなければ音声認識が難しかったが、今後は信号処理技術が進むことにより、 <u>部屋に設置されたマイクなどで簡単に音声認識</u> ができるようになる。また、 <u>人の声を聞き分け、会議の議事録などを簡単に作る</u> ことができるようになる。	ヘッドフォンなどの口に近い場所のマイクで収録した音声であればかなり高精度で音声認識できるようになっている。しかし、専門用語、流行語などのモデルに入っていない単語を認識することができず、新しい言葉を獲得する技術が重要と思われる。また、人間同士が会話する程度の距離間では明瞭な音声を収録できないので、音声認識率が下がることが問題である。 また、学習データが大人のネイティブ話者に限定されるので、子供や高齢者の認識率は低い。また、ネイティブではない話者の認識率も低い。	音声認識率の性能を向上させるためには大量の音声データが必要である。現状は収集が簡単な20〜40代の音声ばかりだが、今後子供、高齢者、非ネイティブ話者のデータも必要になる。	音声認識技術、マイクアレイによる音源分離技術、話者認識技術	中	5年未満	大	大	大
372	ICT・アナリティクス・サービス	戦略的意思決定を学習するための数理的な基礎付けに基づく、企業間の価格交渉などの戦略的意思決定を行う複数人工知能エージェント	<u>戦略的意思決定の学習。企業間の価格の交渉など、複数人工知能エージェントが戦略的な意思決定を行う。</u>	人工知能エージェントによる価格交渉のコンペティションが開かれるなど、戦略的意思決定の学習に関する研究が進められている。また、人工知能エージェントによる価格交渉のプラットフォームの開発も進んでいる。	戦略的意思決定を学習するための数理的な基礎付け。	Reinforcement learning, Game theory, Online learning	高	5年以降10年未満	やや大	大	大
373	健康・医療・生命科学	超短波を用いた呼吸・脈拍計測等の非接触計測技術及び臨床適用によるエビデンス構築	<u>超短波を用いた呼吸・脈拍計測等の、非接触計測技術</u> 。第一段階の機器が、〇〇【企業名】や〇〇大学ベンチャーから順次上市されている段階にあり、今後これらの医療適用の科の検証研究が広がるものと期待される。	一部機器が既に上市をはじめている段階。臨床適用によるエビデンス構築はこれから。	技術開発と個人情報保護とのバランス。古くから画像センサ等を用いた在宅計測デバイスは多く、現在も車載での運用が検討されるなどしているが、ドジに個人情報管理に掛かる社会的注目も上がっており、簡単に適用出来る状況にはない。以下にして「効果」を見せ、社会的受容を得るかが重要になる。実証実験を多く行うことが重要であろうと考えられる。	無拘束計測, スマートデバイス, 在宅診療	中	5年以降10年未満	中	中	やや大
374	マテリアル・デバイス・プロセス	トポロジと波の局在化現象との関連の解明に基づく、電波や光、音波などの波動伝搬制御における、従来に比べ損失が少ない波動伝搬	<u>トポロジーを利用した波動伝搬制御</u> 。ドーナツの穴の数のような連続変形に対して不変な幾何学的性質をトポロジと呼ぶ。近年、 <u>トポロジと波の局在化現象との関連が示され、電波や光、音波など様々な波の制御に活用</u> しようという流れが加速している。トポロジカルな性質から、 <u>従来に比べ損失が少ない波動伝搬が実現</u> でき、応用上も大きな注目が集まっている。	基礎的側面の理解がまだ不十分な面があるものの、実証研究は爆発的に進んできている。今後、技術応用への展開が期待される段階である。	基礎学理がいまだはっきりしない面があるため、さらなる学術的研究の開拓が必要である。応用研究についてもはじまったばかりで様々な適用可能性を探る必要がある。	トポロジカルフォトリクス, トポロジカルレーザー, フォトリック結晶, メタマテリアル, バルクエッジ対応, トポロジ	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
375	マテリアル・デバイス・プロセス	半導体の高集積化や省電力化に伴う、安価・小型・省電力で汎用的なフェーズドアレイ装置	<u>安価・小型・省電力なフェーズドアレイ技術</u> ：フェーズドアレイ技術は5Gの通信機器などでも使われる一般的な技術となったが、大規模化するとコストがかかることは変わっていない。 <u>半導体の高集積化や省電力化に伴い、安価・小型・省電力で汎用的なフェーズドアレイ装置</u> が普及することが望まれる。	既に基礎技術は確立されつつあり、企業との共同研究が進んでいる段階。		フェーズドアレイ, 5G, デジタル通信技術	中	5年未満	中	大	中
376	健康・医療・生命科学	Gタンパク質共役受容体が活性化する複数のシグナル経路のうち、特定のシグナル経路のみを強く活性化、あるいは不活性化するリガンド（バイアスリガンド）の理論設計	GPCRのバイアスリガンド開発	GPCRが活性化する複数のシグナル経路のうち、特定のシグナル経路のみを強く活性化、あるいは不活性化するリガンドをバイアスリガンドと呼ぶ。現在バイアスリガンドの作用機序が徐々に明らかになってきているが、今後5年程度のスパンでメカニズムに対する理解がさらに深まり、バイアスリガンドの理論設計が徐々に可能になっていくと思われる。	GPCR, シグナルバイアス, バイアスリガンド		高	5年以降10年未満	やや大	大	大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
377	ICT・アナリティクス・ サービス	深層学習などの人工的なモデルによるニューロンではなく、生物の脳神経回路を模倣したニューロンモデルを用いた、移動体やロボットの高度自律化と脳レベルの低消費電力な情報処理の実現	<b>ニューロモーフィックコンピュータによる移動体やロボットの高度自律化</b> 。既存の深層学習などの人工的なモデルによるニューロンではなく、 <b>生物の脳神経回路を模倣したニューロンモデルを用いて移動体やロボットの高度自律化と脳レベルの低消費電力な情報処理の実現を目指す</b> 研究である。一部の応用に関しては、現状の深層学習技術を凌駕する精度や処理効率を達成するとの報告もある。現在盛んに研究されている深層学習技術は大脳の視覚野と類似した階層構造を持つため、主に画像を中心に応用として成功している。一方で、運動制御など移動体やロボットの高度自律化に相当する機能は、人間の脳においては、脊髄、大脳基底核、小脳など多様な脳領域に担われている。そのため、 <b>ニューロンの活動をスパイクをベースにモデリングするニューロモーフィック計算を原理とするアプローチ</b> の方が、これらの運動制御においては精度と効率の両面から優位性があることが見込まれている。	現状では、移動体やロボットの運動制御に関しては、強化学習が主に使われているが、一部の応用に関しては、ニューロモーフィック計算が深層強化学習を凌駕する精度や処理効率を達成するとの報告もされている。今後は、ニューロモーフィック計算に特化するドメイン特化型コンピュータに向けてハードウェアとプログラミングモデルが成熟することにより、革新的な処理効率を引き起こすブレイクスルーを誘発していくことが必要であろう。		ニューロモルフィックコンピュータ, 低消費電力な情報処理, ドメイン特化型コンピューティング技術, 知能ロボット技	高	10年以降	大	大	大
378	ICT・アナリティクス・ サービス	①人々が自然と仮想空間（メタバース）に参加し、アバタを操作する技術 ②アバタを通じてメタバースを感じるような入出力デバイスとインタフェース・インタラクション技術 ④ユーザ自身の思想や思考などのデジタル再現するための技術 ⑤ユーザの意図通りにアバタ・エージェントを操作するための技術 ⑥仮想空間（メタバース）でのインタラクションやコミュニケーションを五感を使って体験できるようにする技術 ⑦ヒューマンエージェントインタラクションやバーチャルリアリティ分野と、人文社会科学、認知科学や医学などの幅広い分野との	バーチャルリアリティ（VR）環境における自分自身の仮想の姿であるアバタ技術は、バーチャルYouTuberの商業的な成功とともに注目を浴びている。現在のバーチャルYouTuberはアバタが単体で身振り手振りで喋るだけであるが、今後は仮想空間内で他のアバタ等とコミュニケーションをするなど、社会的なコミュニケーションを考慮した機能が必要となる。〇〇【企業名】がメタバースに注目すると公式に宣言したこともあり、この仮想空間内でのアバタを実現する技術は大きく注目されてきており、 <b>人々が自然と仮想空間（メタバース）に参加し、アバタを操作する技術や、アバタを通じてメタバースを感じるような入出力デバイスとインタフェース・インタラクション技術</b> が多数研究開発が行われている。これらはヒューマンエージェントインタラクションやバーチャルリアリティ分野において研究が行われてきており、特に社会的アバタの在り方等についてELSIの観点からからも研究を進めるべきであるという意見も多い。さらに、デジタルツインを実現するアバタ技術も注目されており、人文社会科学を巻きこんで今後大きく発展する可能性がある科学技術分野である。	自己表現の媒体としてのアバタやエージェントは、すでにバーチャルYouTuberの商業的な成功を代表としてすでに完成に近づいている。一方で、社会的インタラクションやコミュニケーションを実現するアバタや、自らの代理エージェント、デジタルツインとしてのアバタ・エージェントは、ユーザ自身の思想や思考などのデジタル再現するための技術、ユーザの意図通りにアバタ・エージェントを操作するための技術、仮想空間（メタバース）でのインタラクションやコミュニケーションを五感を使って体験できるようにする技術など、今後、商業化に向けて大きく技術革新が求められるものも多い。一方で、段階を踏んで進展していくことができる研究分野であるため、マイルストーンの設定は容易であり、確実に進展していく分野であると言える。	ユーザの意図を正確に仮想空間で再現するためのインタフェース技術や、仮想空間内での現象をユーザの五感を使って感じることができるようにするディスプレイ技術など、入出力に関する技術開発の進展が必要である。また、「心理学はバーチャルリアリティにおける物理学である」と言われるように、仮想空間内でアバタやエージェントによって人間を再現するためには、人間の理解に基づく技術開発が必要となる。人文社会科学、認知科学など、幅広い分野との連携に基づく大きな研究コミュニティの構築も必要である。本科学技術の本当の価値は「人間を再現する」ことであり、このためには既存の多くの学術分野（医学を含む）からプレイヤーを集め、研究を推進することが必要となる。	アバター, エージェント技術, 代理エージェント, デジタルツイン, バーチャルリアリティ, メタバース, テレプレゼンス, テレジグステンス, ヒューマンエージェントインタラクション	高	10年以降	大	大	大
379	健康・医療・生命科学	流産防止や合目的な繁殖につながる、RNAやタンパク質の蛍光プローブを用いた特定の染色体や代謝状態などのライブセルイメージングによる、受精卵の評価技術	<b>ライブセルイメージングによる受精卵の評価技術</b> 受精卵の質や性別などについて、顕微鏡で直接蛍光観察することにより評価する技術 RNAやタンパク質をもとにした蛍光プローブを導入し、特定の染色体や代謝状態などを観察すること で、受精卵の質を評価する。 その後、目的のものを移植することで、流産を防いだり、合目的な繁殖に繋げる 実用化されれば、生殖補助医療や家畜繁殖の分野での波及効果は大きい	すでに実験動物を用いた技術に関しては完成に近づいている。 現時点で、生きたまま、染色体の本数や染色体の一部領域、特定の染色体を可視化することに成功している。 また、細胞内ATP量の測定も可能になっている。	ヒト胚や家畜胚での検討 倫理的議論の必要性	受精卵, ライブセルイメージング, 評価	高	5年未満	やや大	あまりなし	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
380	健康・医療・生命科学	光遺伝学を活用した脳機能 イメージングなどの発展に よる、病気のあたらしい治 療法・治療薬の開発	脳機能イメージング	光遺伝学を利用した脳機能イメージングが活発に行 われるようになっており、神経回路機能にグリア細胞 が果たす役割もさまざまなことが解明されてい る。今後は、これまでの研究の蓄積をさらにはって んさせて、病気のあたらしい治療法・治療薬の開発 につなげてほしいと期待しています。		インビボイメージング, 神経回路, グリア細胞	中	5年以降10 年未満	やや大	中	やや大
381	農林水産・食品・バイオ	羊を使った除草・耕作放棄 地管理	羊を使った除草・耕作放棄地管理	綿羊の家畜としての飼養技術はある程度確立してい ると考えられる。また耕作放棄地管理や畦畔管理も 多くの研究蓄積があるが、両者を組み合わせる試み は少ない。また、アニマルウェルフェアは鶏、豚、 牛については多くの研究蓄積があるが、羊について わが国では当分野の蓄積は少ないと考えられる。 しかしながら、今後わが国の中山間地域ではさらなる 少子高齢化、労力不足が進行すると考えられ、国 際的には飼料穀物の需給は中長期的には逼迫気味と 予想される。また、石油をはじめとする化石燃料の 使用は年々きびしくなると考えられる。国内資源 (雑草)をたんばく質(肉)や繊維(羊毛)に変換 できることは大きな社会的インパクトを持ってい る。	羊と人間の触れあいによる羊側・人間側の効果の定 量化、羊の除草能力の定量化、このようにして使用 した羊の製品(肉・繊維・羊皮等)のコストの定量化、 脱ブラ	アニマルウェルフェア, 耕作放棄地, コンパニオン アニマル	低	10年以降	中	やや大	大
382	環境・資源・エネルギー	水電解、水蒸気電解、バイ オマスによる高効率かつ安 価な水素やアンモニアなど の燃料製造技術開発および インフラ構築	<b>水素、アンモニアなどの燃料製造技術開発とインフ ラ構築</b> が急務である。二酸化炭素排出実質ゼロを目 指すために水素およびカーボンフリー燃料の安価な 製造が必要である。現在、 <b>水電解、水蒸気電解、バイ オマスによる水素製造が候補として有力であり効 率よく安価に燃料を製造</b> できる可能性があると考え られる。	水電解、水蒸気電解、バイオマスでの大規模での燃 料製造が検討されてきている。ただしコスト的に安 価な製造とまでは言えない。特に高効率で水素を製 造することが重要であり、それを実現しうる材料や デバイスの探索が必要であると思われる。		水素, 燃料, 電解	高	5年以降10 年未満	大	大	大
383	農林水産・食品・バイオ	微細藻類を宿主とした新し い遺伝子組換え系などによ る利用方法の確立に基づ く、海洋微細藻類による炭 酸ガス固定および物質生産 の応用と地球環境の維持	「 <b>海洋微細藻類による炭酸ガス固定および物質生産 の応用と地球環境の維持</b> 」 海洋微細藻類(珪藻、円石藻等)は、海洋炭酸ガ ス固定の多くを担い、海洋の生態系と地球環境にお いて重要な役割を担っている。ゲノム、オイル生 産、培養法に関する研究が進んだことで、海洋微細 藻類の利用方法が確立しつつある。高速増殖する珪 藻が発見され、太陽光を利用した高速炭酸ガス固定 と物質生産への応用が期待される。持続可能な社会 を実現するために、海洋微細藻類の物質生産と地球 環境への貢献の解明は注目に値する。	日本〇〇学会では、微細藻類を宿主とした新しい遺 伝子組換え系が発表されつつあり、生物を利用した 物質生産システムに関してパラダイムシフトが起き つつある。世界各国の企業でも、微細藻類によるオ イルの生産が開始されつつある。	地政学的なリスクは、エネルギー面での安全保障とい う観点から本技術の実現を加速する可能性がある 。さらに、我が国は広大な領海、排他的経済水域 を持つ海洋国家あるという再認識がなされ、国内の 海洋生物資源の早期確保は国家戦略として非常に重 要であるという共通認識がなされて集中的な投資が 行われれば、実現は大幅に加速されると考えられ る。	海洋微細藻類, 珪藻, オイル生産, 炭酸ガス固定, 太 陽光	高	5年以降10 年未満	やや大	大	大
384	環境・資源・エネルギー	AIと画像を用いた生物同定	<b>AIと画像を用いた生物同定。</b>	すべての生物というわけではないが、植物や動物の 一部の種群ではデータがかなり蓄積されてきてい る。	画像やAIの専門家のみならず、市民による画像情報 の協力と分類の専門家による同定という協力作業へ の促し。	資源エコシテム, 環境保全, 観測・予測	低	5年未満	やや大	中	やや大
385	マテリアル・デバイス・プ ロセス	組成が分布する勾配試料と 局所的な特性を評価できる 手法を組み合わせた効率的 な材料データ取得による、 これまででない規模の材料 データベースの構築	<b>組成が分布する勾配試料と局所的な特性を評価でき る手法を組み合わせることで効率的に材料データを取得す ることで、これまででない規模で材料データベース を構築</b> する。	組成勾配試料の作成技術と局所特性評価技術は別々 に開発されてきたが、組み合わせることが可能と なってきた。論文レベルでは既に報告がある。国内 外で実現のためのプロジェクトが実施されている。	評価装置メーカーと材料研究者の連携が不可欠。こ こを考慮したプロジェクトがあると加速できる。	ハイスループット実験, 簡易特性評価手法, 組成勾 配試料	高	5年未満	中	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
386	環境・資源・エネルギー	自国で真のカーボンニュートラル達成、発電燃料の十分な確保、世界に先駆けての技術構築に向けた、三重水素の効率的使用のための自己増殖技術、循環および再利用技術等による核融合発電	<b>核融合発電</b> の実現は人類史上最大の投資を伴う事業となるが、日本が自国で真のカーボンニュートラル達成、発電燃料の十分な確保、世界に先駆けての技術構築達成する観点から、推進すべき科学技術である。 核融合発電開発の現状：国際熱核融合実験炉ITERは、日本も機関国である国際プロジェクトである。2025年からプラズマ実験を開始し、2035年頃に重水素-三重水素プラズマによる核燃焼プラズマ実験を開始予定である。ITERではエネルギー利得（入力エネルギーに対する出力エネルギーの比）で10を目指しており、核融合発電炉実証を目指す。日本は、 <b>燃料の一つである三重水素を効率的に使用するために自己増殖技術、循環および再利用技術</b> を独自に開発しており、次の原型炉設計への展開もすでに進められている。これら燃料に関する技術と装置を総括して保有するのは日本だけであり、世界に先んじて核融合発電を実現する可能性が高い。	核融合発電の炉心となる超高温プラズマの運転条件は、第1世代発電炉については設計が固まっている。この実証実験がITERの役割であり、核融合反応の検証が2035年以降に実施される。第1世代発電炉の工学設計は既存技術もしくは現在進行中の開発研究をベースとしており、ITERにおける核融合運転の実証と時系列を合わせて、科学的な根拠を持つて合理的な設計を示すことはできる。 併せて、わが国独自の発電実証を行う核融合原型炉の設計活動が活発に進められている。材料開発ではプラズマに面する材料への高熱負荷および核融合反応で発生する中性子に伴う損傷効果、材料の放射化が指摘されているが、要素研究により改善が進められるとともに、バックキャストिंगに基づく材料開発や放射化材料の除染技術に関する課題の集約と具体化が進められている。また、燃料トリチウムの安全・高効率利用に関する循環系設計およびその要素技術の研究も進められている。このような研究は、世界的にも日本が最も先んじている。さらに近年核融合ベンチャー（例えば〇〇社）の飛躍的な活躍が広く報道されて、より早期の発電実証が期待されている。	核融合発電の実現では、技術の開発とともに、社会的な判断が不可欠である。これは、前項目「注目科学技術の概要」において核融合発電の社会的・技術的な位置付けとして3項目を記載した。新型コロナウイルス禍では、ウィズ・コロナという言葉が示すように、日々の新型コロナ対策だけでなく、長期的な視点で社会活動の持続する方法の検討が必要なが改めて示された。持続可能な社会のためには長期戦略として島国である日本が自国の電力発電は必須であり、かつ北海道胆振東部地震(2018年9月)で生じた大規模停電（ブラックアウト）回避のためにも電力分散（細目：リスクマネジメントに記載あり）に向けた国家戦略も必要である。また、2月以降のロシアによるウクライナ侵攻に伴うエネルギー輸入およびコスト増加に関する懸念も含め、大電力・ベースロード発電が可能な核融合発電を我が国が新たな手法として確保することはさらに重要度を増している。核融合発電はコスト評価も課題として残るが、それも含めてこのように、社会と情報を深く共有し日本の地政学見地を考慮した核融合発電に関する戦略を構築する必要がある。	核融合発電, 磁場閉じ込め方式, レーザー方式, 水素製造, 余熱利用, ITER, 火星居住, 超伝導コイル, カーボンニュートラル	高	10年以降	大	大	大
387	マテリアル・デバイス・プロセス	高集束クラスターイオンビームや高速・高感度・高質量分解能質量分析計の開発に基づく、質量分析による高空間分解能組成イメージング	質量分析による高空間分解能組成イメージング技術	研究室でプロトタイプの実証実験と、さらなる高性能化に向けた研究が進められている段階。	高集束クラスターイオンビームの開発。高速・高感度・高質量分解能質量分析計の開発。	質量分析, イメージング, 高空間分解能	高	5年以降10年未満	やや大	あまりなし	中
388	ICT・アナリティクス・サービス	基礎技術およびアルゴリズムの発展に基づく、量子コンピュータの実用化	<b>量子コンピュータ</b> 。現在は量子コンピュータの基礎技術およびアルゴリズムが研究されているが、実現されることで、暗号も含めて大きく社会が変化する。	量子コンピュータで計算可能な範囲が増えつつあり、研究が進むことで、限定された分野で実用化に繋がるようになる。	技術的な発展が先決ではあるが、量子コンピュータの実現により、現在の暗号化技術、セキュリティ技術はすべて一新する必要がある。そのための社会的な対応は大きくなる。	セキュリティ、プライバシー、ネットワーク・インフラ, 未来社会デザイン	低	10年以降	やや大	やや大	やや大
389	健康・医療・生命科学	身体機能だけでなく、認知症に代表されるような脳機能の衰え・障害に対する対策も含めた、健康寿命の延伸	身体機能は上記に述べた、抗老化技術や再生医療、また生体適合ロボットなどの技術革新で補える道筋も見えてきているが、 <b>認知症に代表されるような脳機能の衰え・障害に対する対策</b> がないと、 <b>健康寿命</b> は望めない。神経医学、脳科学、認知科学に期待する。	こそって創薬も盛んな分野。臨床試験も実施されているが、根治には至らず、予防もままならない。	介護医療の負担を軽減するため必須の技術。	神経医学, 脳科学, 認知症, 認知科	低	5年以降10年未満	大	大	大
390	マテリアル・デバイス・プロセス	有機材料による二次電池	有機材料による二次電池	基礎研究段階	資源に乏しい我が国では、有機材料による二次電池技術を継続的に検討しておく必要が不可欠である。一方で、それらに対する投資はほとんどと言っていいほどない。安定的な我が国のエネルギー供給に必要な研究として継続すべきである。	二次電池, 有機材料, 高エネルギー密度	高	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大
391	健康・医療・生命科学	牛肉以外の肉や魚の培養肉	培養肉	牛肉に関しては培養肉が知られるようになってきた。しかしその他の肉や魚に関してはまだ、研究は進んでいない	水産、畜産、農業、医学全てが協力する必要がある。気候変動に伴う食糧不足にむけた事前準備は必須であることから、省庁のイニシアチブが重要となってくるかもしれない。	骨格筋, 細胞, 肉	中	5年以降10年未満	やや大	大	あまりなし

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
392	マテリアル・デバイス・プロセス	吸熱反応と発熱反応の熱バランスの確保、高付加価値物質の多品種・少量生産、機能性材料（合金、複合材料）の創製や対象物質の分離回収などが可能な、マイクロチャネルリアクター	<b>吸熱反応と発熱反応の熱バランスを可能とし、高付加価値物質の多品種・少量生産が可能であり、機能性材料（合金、複合材料）の創製や対象物質の分離回収も可能、</b> など様々な分野で用途が拡大しそうな <b>マイクロチャネルリアクター</b> の開発と社会実装に注目している。	海外も含めて日本でも様々な企業においてマイクロチャネルリアクターの研究開発は行っており、もうそろそろ実証段階へ入り、社会へ実装されるのではないかと推察される。		3Dプリンティング、排熱回収、デジタルマニファクチャリング	低	5年以降10年未満	中	大	大
393	マテリアル・デバイス・プロセス	安価なセルロース抽出法や安価な加工粉碎装置などによる、バイオマス資源のナノセルロースファイバーを活用したバイオプラスチックの低コスト開発	<b>バイオマス資源のナノセルロースファイバーを活用したバイオプラスチックの開発</b> 研究	セルロースナノファイバーとプラスチックの複合材料で、車、車、住宅資材等で、実証中ですが、価格的に課題があり、まだ、普及されていません。	安価にセルロース抽出と安価に加工する粉碎装置の開発研究が、求められています。	ナノセルロースファイバー、バイオプラスチック、ゼロエミッション	中	5年未満	やや大	やや大	やや大
394	ICT・アナリティクス・サービス	現役世代の家事負担・介護負担を減らし、子供達や非介助者と向き合う時間を長くすることで余裕と温かみが戻る、子育て・介護支援の家事自動化システム	子育て・介護支援用 家事自動化システム	個別家事の自動化や、介護支援ロボットなどは、それぞれ研究と商用化が進んでいると思いますが、自分の子供世帯の日常を覗いていると、方向が違うように感じています。 洗濯・掃除・炊事などのルーチン家事こそ自動化・無人化し、親は子供達に直接かかわることに時間を採れるよう、出来ないものかと思います。 特に、子供の3名以上いる子育て世帯に注目し、両親の負担軽減と、親子の対話を増やせるよう、家事を自動化する必要があります。 同様に、高齢者や要介護者を抱える世帯にも注目し、現役世代の家事負担を減らし、要支援者とより多く関われるようにすることも必須と思います。 介護のロボット化は効果的ですが、現役世代の第一の希望ではないと感じています。	少子高齢化社会で、現役世代が真に求めていることを、見つめなおすことも重要と思います。 両親共に95歳までと長寿で、看護・介護は大変でした。長男は共働きで子供二人、次男も共働きで子供三人で、覗いて大変です。A1や自動化・無人化で現役世代の家事負担が減ると、現役世代は子供達や非介助者と向き合う時間が長くなり、余裕と温かみが戻る様に感じます。 これが、科学技術を駆使した少子高齢化対策だと思います。	家事の自動化・無人化, 子育て・介護支援, A1	中	5年未満	やや大	大	大
395	健康・医療・生命科学	ペプチド残基を効率的に連結するライゲーション技術の向上に基づく、数百残基のペプチド連結によるタンパク質の人工合成	高分子であるタンパク質の合成、通常、微生物を使った発現によって行われている。創薬上、構造を修飾したタンパク質の供給は重要な技術であるが、それを実現するには、遺伝子組み換えによる発現ではなく、化学合成が必要となる。一方で、化学合成によって数百残基のペプチドを連結する事は困難であり、タンパク質の化学合成には限界があると思われていた。最近、 <b>ペプチド残基を効率的に連結するライゲーション技術</b> が向上し、 <b>数百残基のペプチド連結によるタンパク質の人工合成</b> が可能になりつつある。	数十残基のペプチドを固相法など、従来の方法で合成した後、これらを効率的に連結するライゲーション技術が研究されている。収束的な合成法を有効に活用するための合成法が盛んに研究されている。	ライゲーション技術の拡張と、簡便なタンパク質精製技術、構造解析技術の発展が必要になるであろう。	タンパク質, 化学合成, ライゲーション	低	5年以降10年未満	やや大	やや大	やや大

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
396	健康・医療・生命科学	4次元構造まで含めた人工タンパク質の設計・合成技術	【人工タンパク質の設計・合成技術】 生体機能は多種多様である。 タンパク質には種々の機能分子が埋め込まれており、機能発現に重要であるが、分子物性を最適化しているのはむしろ結合サイトを提供するタンパク質の方である。 よって、生体を模倣するような多機能性分子を創出するに当たり、任意に設計したタンパク質の合成技術が不可欠となる。 しかし、現在のところ <b>4次元構造まで含めたタンパク質の設計・合成技術</b> は確立されていない。 生体機能の反応機構の理解といった基礎的な面だけでなく、創薬や医療、有機デバイス開発など、様々な分野に波及していく可能性を秘めている。			生体工学、人工タンパク質、タンパク質工学	中				
397	健康・医療・生命科学	iPS細胞による臓器再生医療	<b>iPS細胞による臓器再生医療</b> 。肝臓等の臓器再生が実現できうる可能性は見えているが、まだ <b>移植医療への適用</b> は広がっている段階ではない。			iPS、再生医療、移植医療	低				
398	マテリアル・デバイス・プロセス	究極の半導体であるダイヤモンドを用いたパワーエレクトロニクス	<b>究極の半導体であるダイヤモンドを用いたパワーエレクトロニクス</b> は、コストやプロセスの難しさから実現可能性は不明であるが、ポテンシャルとしては高いものがあり、実現すれば社会へ大きな変化をもたらすと考えられます。			ダイヤモンド、パワーデバイス、高耐圧、低オン抵抗、高温、耐放射線、高速	高				
399	宇宙・海洋・地球・科学基盤	人工衛星や海中ロボットを多用した海底地形や洋上重力の詳細マッピング及び海底地下資源推算と、洋上の海象・気象予報に基づく海底資源算出計画	<b>人工衛星や海中ロボットを多用して海底地形や洋上重力の詳細マッピングを行い、海底地下資源を算出する</b> 。これらの推算と、 <b>洋上の海象・気象予報に基づき、海底資源算出計画</b> を行う。			人工衛星リモートセンシング、海中ロボット観測、海底地形・洋上重力	中				
400	マテリアル・デバイス・プロセス	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術	次世代パワーデバイス向け新規材料の結晶成長技術・デバイス作製プロセス技術		まずは結晶成長技術、ウェハの大面積化について技術を確立しなければならない。	パワーデバイス、ダイヤモンド、窒化アルミニウム	中				
401	健康・医療・生命科学	アンチエイジングのその先の個人ならびに社会のあり方を探索する研究	アンチエイジングのその先の個人ならびに社会のあり方を探索する研究		萌芽的な研究予算でのサポート、	アンチエイジング後の社会、老化克服社会のあり方、アンチエイジング達成後の生物	中				
402	健康・医療・生命科学	発光タンパク質	<b>発光タンパク質</b> 。			バイオテクノロジー、植物、発電	中				
403	マテリアル・デバイス・プロセス	室温超伝導の実現	近年、 <b>100GPa以上の高圧を印加することで、200K程度で超伝導になる</b> ことが報告されており、ますます <b>室温超伝導</b> 実現への期待が高まっている。			常温超伝導、圧力誘起超伝導、超伝導線	中				
404	ICT・アナリティクス・サービス	量子力学の原理に基づくコンピュータ(量子コンピュータ)	<b>量子力学の原理に基づくコンピュータ(量子コンピュータ)</b> 。			量子コンピューター、超伝導キュービット、イオントラップ	低				
405	農林水産・食品・バイオ	植物の生理状態や系統に応じて異なる生理活性物質の蓄積状況を明らかにするメタボロームプロファイリング	<b>植物の生理状態や系統に応じて異なる生理活性物質の蓄積状況をメタボロームプロファイリング</b> による明らかにする			chemophylogenetic, metabolome, correlation	中				
406	環境・資源・エネルギー	常温超電導	常温超電導			蓄電技術、超伝導直流送電、高密度エネルギー電池	低				



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
407	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	多数の衛星を太陽の周りを 周回させ、常に監視し続け ることによる究極の宇宙環 境計測	<b>汎宇宙観測技術</b> ： 現在Starlinkのように多数の超小型衛星を用いて地球 全体で通信を行う技術は実現されつつある。これを 宇宙に拡張し、 <b>多数の衛星を太陽の周りを周回さ せ、常に監視し続けることで、究極の宇宙環境計測</b> を実現する。			宇宙環境計測、小型衛星、宇宙探査、防災システ	高				
408	健康・医療・生命科学	老化細胞を消去後に副作用 のような症状が全く出な い、老化細胞を標的とした 抗老化治療法	<b>老化細胞を標的とした抗老化治療法</b> 開発。既に、研 究レベルでは高い成果を挙げているが、 <b>実際にヒト に</b> 応用できるのかどうかは、まだ不透明である。特 に、 <b>老化細胞を消去後に副作用のような症状が全く 出ない</b> かどうかは、現時点で全く不明である。			細胞老化(senolytic治療)、アンチエイジング、健康 寿命	中				
409	ICT・アナリティクス・ サービス	超伝導体タイプを抜く可能 性がある、量子コンピュ ーターのための量子光源モ ジュールの開発	<b>量子コンピューターのための量子光源モジュールの 開発</b> 。量子コンピューターで実用的な問題の解決が見 込めるほどの大規模化へのカギとなる技術である。 超伝導体タイプを抜く可能性がある。			量子コンピュータ、量子光源、二次元クラスター	中				
410	環境・資源・エネルギー	塩基性岩石の化学風化促進 による大気中CO2の吸収と 土壌改質、溶出イオンによ る海洋酸性化の緩和	<b>塩基性岩石の化学風化促進による大気中CO2の吸収 と土壌改質、溶出イオンによる海洋酸性化の緩和</b> 。			CO2吸収、化学風化、かんらん岩、玄武岩、土壌改 質、海洋酸性化の緩	中				
411	健康・医療・生命科学	タンパク質の自由設計技術	タンパク質の自由設計技術			タンパク質、機能、デザイン	中				
412	健康・医療・生命科学	望みの代謝機構をもつよう な生物を設計できると期待 され、生物改変のプラット フォームとなり得る、最小 ゲノム（200-300遺伝子） 生物の探索あるいは作出	<b>最小ゲノム生物の探索、あるいは作出</b> は、将来大き な学術的なインパクトを及ぼすかもしれません。現 在、人間が培養可能な生物のなかで最も単純なもの は、〇〇研で開発されたマイコプラズマで、ゲノム サイズは約1 Mbpです。遺伝子の数にして約500個の 遺伝子を持ちます。これ以上小さいゲノムを持つ生 物は、メタゲノム解析から見つかってはいますが、 培養はできていません。他の生物と共生する生物で はないかと言われています。一方で、 <b>理論的に予想 される培養可能な最小生物はもっと小さく、200- 300遺伝子</b> で可能だと言われています。この理論的 に最小の生物を見つけるか、遺伝子欠損などにより 人工的に作出できると、その生物には大きな利用価 値があると思います。最小生物は、必要最低限の遺 伝子しかもたず、ゲノムサイズは小さく、ゲノムの 全合成が容易です。また遺伝子間相互作用もすくな いため、おそらく人間が自由に改変し、 <b>望みの代謝 機構をもつ</b> ような生物を設計できると期待されま す。この最小生物は今後の <b>生物改変のプラット フォーム</b> として使われる可能性があると思います。			最小生物、ゲノム合成、生物合成	中				
413	ICT・アナリティクス・ サービス	量子コンピュータ向けドメ イン特化型言語のコンパイル・最適化技術やソフト ウェア工学を発展させたテ スト・検証技術など、量子 コンピュータ向けソフト ウェア開発法	<b>量子コンピュータ向けのソフトウェア開発法</b> 。量子 コンピュータの研究開発や実用化に向けて、ハード ウェアやアルゴリズムに関しては着実に研究が進ん でいるが、社会への浸透という面を考えると、ソフト ウェア開発、特に量子コンピュータ向けドメイン 特化型言語のコンパイル・最適化技術やソフトウェ ア工学を発展させたテスト・検証技術の進展と、人 材育成が必要である。			量子コンピュータ、量子アニーリング、ドメイン特 化型コンピューティング技術	中				
414	マテリアル・デバイス・プ ロセス	マイクロフローリアクター の高度化と新規材料合成法 の確立	マイクロフローリアクターの高度化と新規材料合成 法の確立			パターン形成、マイクロリアクター、材料合成	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
415	環境・資源・エネルギー	核融合による発電	<b>核融合による発電</b> 。ベンチャー企業などの立ち上げも起きているようだ。			エネルギー変換, 核融合, エネルギー生産	低				
416	都市・建築・土木・交通	津波到来前の早期避難・津波応急対応の基礎情報を提供する一体化したシステムが地域ごとに運用され、地域の誰一人取り残さないことを目標にする防災インフラとなる、地震発生・即時津波統合予測システム	<b>地震発生・即時津波統合予測システム</b> を開発する研究で、それは、今後実現が期待される科学技術の地震発生予測の技術と、一部は実用化され高度化が進みつつある即時津波予測の技術を結合して運用レベルにするものである。将来的に実現すれば、地震への日ごろからの備えの大切さの説得材料を提供し、 <b>津波到来前の早期避難・津波応急対応の基礎情報を提供する一体化したシステムが地域ごとに運用</b> され、地域の誰一人取り残さないことを目標にする防災インフラとなり、社会・経済へ大きな変化をもたらし得ると考えられる。			地震発生予測, 即時津波予測, 津波電離圏ホール	高				
417	環境・資源・エネルギー	これまで経験則のみで過剰なエネルギーをかけて管理していた廃水処理を、科学的根拠に基づき人為制御安定で効率的に実施するための、複合微生物の制御・動態予測技術	<b>複合微生物の制御・動態予測</b> これまで過剰なエネルギー（電力、人手、設備等）をかけかつ経験則のみで管理していた廃水処理技術を、 <b>科学的根拠に基づく人為制御安定で効率的な廃水処理を実現するための技術</b>			複合微生物, 制御, 予測	高				
418	健康・医療・生命科学	神経変性疾患等の難治性疾患の治療に向けて、細胞内の異常な相分離現象に介入するための薬剤を開発する相分離創薬	<b>相分離創薬</b> 。細胞の内部でタンパク質や核酸などの生体高分子が液-液相分離を起こして液状の凝縮物を形成することが2009年にScience誌に報告されて以来、細胞内に存在する凝縮体の多くが液-液相分離によって形成したものであることが次々と明らかになってきており、さらには、これらの凝縮物が細胞内プロセスの動的な制御に密接に関連することが分かってきた。特に、 <b>相分離の破綻が様々な難治性疾患、特に神経変性疾患の原因となっている可能性が明らかになりつつあり、関連タンパク質の相分離機構とその破綻が与える影響の解明</b> に向けた研究が急速に取り組まれている。こうした知見をもとに、 <b>細胞内の異常な相分離現象に介入するための薬剤を開発するための創薬</b> が、 <b>神経変性疾患等の難治性疾患の治療</b> につながると期待されている。			タンパク質間相互作用, 神経変性疾患, 認知症	高				
419	マテリアル・デバイス・プロセス	生体内でラベルフリー、リアルタイム、高感度で投与した物質の変化を追跡できるドラッグデリバリーシステム	<b>生体内での物質の変化を追跡できる技術</b> 。 ドラッグデリバリーシステムにおいて、 <u>設計どおりに薬物が放出されているのか。送達分子に結合した低分子化合物が設計通りに放出されているのか。などを計測する技術</u> はない。 蛍光分子を結合させるとその分子の影響で動態が変化することが懸念される。RI では、厳密な管理が必要である。 <b>ラベルフリー、リアルタイム、高感度で投与した化合物の構造変化を追跡できる技術</b> が必要である。そのような技術が開拓されれば、DDS などに大きく貢献することであろう。			時空分間分析, DDS (Drug Delivery System), 非侵襲診断機器, 微細領域イメージング, リアルタイム三次元可視化, マイクロ・ナノマシ	低				



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
420	都市・建築・土木・交通	①火災における煙や一酸化炭素の流れを精度良く予測するシミュレーション技術 ②火災における煙の流れや一酸化炭素の流れを視覚的に把握・可視化する技術を活用したバーチャル空間での避難訓練	大阪のビルで放火事件が発生し、多くの人命が失われた。ガソリン10L程度が放火に使われたが、逃げ場がなかったことで避難できず、また、発生した一酸化炭素が充満したことで一酸化炭素中毒となった。このような火災事故や事件は、これまでも繰り返り発生しているが、安全対策が十分とは言えない。 現状の法律で建設されている建物でもとれる安全対策を、至急、検討する必要がある。 <b>煙や一酸化炭素の流れを精度良く予測するシミュレーション技術</b> を開発して、安全対策に应用することが可能になると考えられる。例えば、通気口や排煙装置の設置等を検討することが可能となる。 また、 <b>可視化技術を応用して、煙の流れや一酸化炭素の流れを視覚的に把握できるようにして、例えばバーチャル空間での避難訓練</b> を実現し、命を守る行動ができる人を増やすことができる。			火災の高精度シミュレーション技術、災害状況の正確な把握や予測に関する科学技術、情報を迅速・的確に伝え行動を促す技術	高				
421	農林水産・食品・バイオ	低コストで簡便な海水・塩水の淡水化	低コストで簡便な海水・塩水の淡水化			飲料水の確保、農業用水の確保、海水淡水化	中				
422	ICT・アナリティクス・サービス	目元情報の読み取りや書き込みを活用した、口元を覆ったままのコミュニケーションを可能とする、言語文化を超えた新しい感情共有の通信技術	コロナ禍がもう少し続く予想される中、マスクを日常的に装着するようになり、目元の情報だけで判断する場面が増えた。一般的に、目元は無意識的な表情、口元は意識的な表情が表出されやすいと言われている。日常でのコミュニケーションでは、話し言葉と目元情報から、ゆるやかな関係を形成するようになり、コミュニティの形成が大きく変容したと考えられる。そのため、 <b>目元情報を利用することで、感染リスクの高い口元を覆ったままコミュニケーション</b> が可能になると考えられる。例えば、目元情報では感情を伝達し、言語情報を外部出力することで、進化したウィルスが到来したとしても、対応可能と感られる。また、このような <b>目元情報という新しいメディアの読み取りや、書き込み</b> ができたとするならば、 <b>言語にかかわらず感情共有が可能となり、言語文化を超えた新しい感情共有の通信技術</b> となるのではないかと予想される。			視線インタフェース、目元情報、感情共有	高				
423	健康・医療・生命科学	絶滅動物を復活させたり、目的の動物を作製したりする技術につながる可能性のある、人工DNAのみで多細胞生物、さらには哺乳動物を作り出す技術	<b>人工DNAのみで生命を誕生させる技術</b> 試験管で合成したDNA配列から、生きた細胞や個体を作り出すこと すでに大腸菌や酵母で成功例の一端が報告されている 今後はさらに <b>多細胞生物、さらに哺乳動物</b> での成功が待たれる 成功すれば、DNA配列というテキストデータから生命を作れることになり、例えば <b>絶滅動物を復活させたり、目的の動物を作製したりする技術</b> につながる可能性がある			合成DNA、人工細胞核、人工生命	高				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
424	健康・医療・生命科学	未知の抗菌治療薬群の見出 が期待される。宿主と微生 物の相互作用を利用して宿 主環境下に最適化された、 耐性菌が出現しにくい抗菌 治療薬の実用化	<u>耐性菌が出現しにくい、宿主と微生物の相互作用を 利用し、宿主環境下に最適化された抗菌治療薬の実 用化。</u> 微生物と宿主の相互作用を利用した抗生物質 が見出され始めた段階である。また、複数の抗菌薬 が宿主環境下でより高い活性を示すことが明らかにな りつつある。一方で <b>体系的な探索</b> が行われておら ず、これまで明らかにされていない <b>未知の抗菌治療 薬群が見出</b> されることが期待される。			化学療法薬、宿主と微生物の相互作用、耐性菌	高				
425	環境・資源・エネルギー	経済・社会に大きな利益を もたらす、地球温暖化の防 止	<u>地球温暖化を防止</u> すれば経済・社会に大きな利益を もたらす。			CO2削減, 低エネルギー, プラスチック削減	低				
426	環境・資源・エネルギー	小型、省エネルギー、高性 能な排水からの飲料水精製 技術における、AIおよび ビッグデータの活用による 従来とは全く異なる考えに 基づくブレークスルー	<u>小型、省エネルギー、高性能な排水からの飲料水精 製技術</u> は従来から求められている技術ではあるものの いまだ達成されていない。近年、 <u>AIおよびビッグ データの活用</u> により、従来とは全く異なる考えに基 づく技術の提唱が可能となったことから、これら技 術に対するブレークスルーが発見されると考えられ る。			汚染水浄化再利用技術, 海水・雨水の飲料水化, 環 境科学技術	中				
427	環境・資源・エネルギー	熱可塑性樹脂を利用した炭 素繊維強化プラスチック (CFRP) リサイクル技術 よりも低エネルギーでリサ イクル可能な、体内反応 (グルタチオン) を利用し てCFRPを加熱なしで炭素 繊維と樹脂に分離するリサ イクル技術	<u>体内反応を利用した炭素繊維強化プラスチック (CFRP)のリサイクル技術</u> ： CFRPは軽量性や高強度性で注目されている材料で はあるが、主に熱硬化性樹脂が用いられているため リサイクルや修理が難しく、その廃棄方法も埋め立 て処理に頼ってしまうという問題点がある。そこで 様々なリサイクル技術が近年研究されているが、本 技術では <u>グルタチオンという物質を用いることで CFRPを加熱なしで炭素繊維と樹脂に分離させ、そ れぞれを再利用</u> できることが可能となる。使用する 樹脂が限られることが問題であるが、 <u>熱可塑性樹脂 を利用したCFRPリサイクル技術よりも低エネル ギーでリサイクル</u> 可能な点が優れていると考えられ る。			炭素繊維強化プラスチック, リサイクル, グルタチ オン	中				
428	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	①はやぶさ2の技術をさら に発展させた、彗星など揮 発性物質（水・有機物）を 多量に含む天体などの地球 外天体からの低温での試料 回収  ②はやぶさ2の技術をさら に発展させた、E型小惑星 など金属鉄を多量に含む天 体からの低酸素分圧下、低 外部磁場下での試料回収  ③回収した試料を地球上で 分配したり保管したりする 際に同様の環境を維持する 技術	小惑星リュウグウから試料を回収した <b><u>はやぶさ2の技 術をさらに発展させた、地球外天体からの試料回収 技術。</u></b> 特に、 <b><u>彗星など揮発性物質（水・有機物）を 多量に含む天体からの低温での試料回収。</u></b> あるい は、 <b><u>E型小惑星など金属鉄を多量に含む天体からの 低酸素分圧下、低外部磁場下での試料回収。さら に、回収した試料を地球上で分配したり保管したり する際に同様の環境を維持する技術。</u></b>			惑星探査, サンプルリターン, 彗星, 小惑	高				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
429	マテリアル・デバイス・プロセス	①観察者が直感的に理解できるようにすることを目的として、VR技術による分子構造の可視化 ②非平衡シミュレーションの応用で、分子を変形・移動させることによる、インタラクティブな分子モデリング技術の開拓	「 <u>分子モデリング×VR技術の融合</u> 」 ここ数年、海外においてVR技術を分子モデリングに応用する動きがある。 複雑な分子構造は、2D画面上で人間が理解することが難しい。 さらに、座標情報はあっても、その特徴を抽出することが課題となっている。 そこで、 <u>観察者が直感的に理解できるようにすることを目的として、VR技術による分子構造の可視化</u> が取組まれている。 また、 <u>非平衡シミュレーションの応用で、分子を変形・移動させることで、インタラクティブな分子モデリング技術の開拓</u> が見込まれている。			分子モデリング, VR技術, 非平衡シミュレーション	高				
430	マテリアル・デバイス・プロセス	燃料電池材料中のイオンの動きのTHz分光を用いた検出等、THz分光を用いたイオン伝導体材料分析	<u>THz分光を用いた材料分析は学術へ大きな変化をもたらす技術</u> の兆しがある。半導体等ではTHz分光の技術は一般的であるが電池材料となるイオン伝導体では適応例が見られなかった。近年、 <u>燃料電池材料中のイオンの動きをThz分光を用いて検出</u> することに成功しており、この技術が確立されれば電池開発で非常に有益な情報を得られるものと考えられる。 Nature Comm誌でTHz分光による酸素イオンの動きの検出についての論文が掲載され注目研究として紹介されていることから兆し科学技術であると思われる。			THz分光, 分析, イオン	中				
431	環境・資源・エネルギー	水環境における酸化還元状態の評価技術の開発	水環境における酸化還元状態の評価技術の開発			流域, 水循環, 酸化還元状態	高				
432	ICT・アナリティクス・サービス	遠隔操作で高い精度の動作が可能となるロボット	<u>遠隔操作で高い精度の動作が可能となるロボット</u> の開発			ロボット, リモート, 医療・介護	低				
433	農林水産・食品・バイオ	アルツハイマー病の原因物質であるアミロイドβたんぱく質の凝集を防ぐ機能をもつ食品及び食と脳機能の関連の解明	<u>アルツハイマー病の原因物質であるアミロイドβたんぱく質の凝集を防ぐ機能をもつ食品</u> の存在が明らかになっている。将来的には <u>食と脳機能の関連の解明</u> が実現できればインパクトが大きい。			高付加価値農林水産物生産, 高齢社会のための機能性食品, 脳機能	低				
434	健康・医療・生命科学	微小転移癌の可視化や微小疾患の可視化による病巣等の早期発見につながる、ヒトに適する発光標識材料の有機合成及びヒトの一細胞イメージング技術	<u>ヒトの一細胞イメージング技術</u> 、哺乳類のマウスで、発光標識材料を投与すると肝臓が強く発光する現象が知られている。これは、マウス肝臓内に <u>発光標識材料と反応して光りを出す生体内物質</u> が存在することが示唆さる。 マウスが持つ生体内物質であれば、ヒトも類似物質を持っている可能性があり、これに <u>適する発光標識材料を有機合成</u> すれば、ヒトで一細胞イメージングができるようになる。そうなれば、 <u>微小転移癌の可視化や微小疾患の可視化による病巣等の早期発見</u> につながる。			光イメージング, 発光, 哺乳類	高				
435	ICT・アナリティクス・サービス	量子アルゴリズム研究の進展に基づく、量子コンピュータを用いた、古典的な量子化学計算では実現できなかった高速・高精度量子化学計算	<u>量子コンピュータによる量子化学計算</u> ：現時点では、当該実用計算を実行するための量子コンピュータ実機は実現されていないが、関連する <u>量子アルゴリズム</u> の研究は大きく進展しており、今後の研究進展が期待される。量子アルゴリズムは、通常のコンピュータで動作する古典アルゴリズムに比べて、計算速度の高速化を実現することができる。従来の「 <u>古典的な</u> 」量子化学計算では、 <u>実現できなかった高精度計算</u> 。			量子アニーリング, 量子化学, 電子状態	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
436	環境・資源・エネルギー	太平洋沿岸の温暖化による 海洋生物相変化に社会が順 応的に適応するために有用 な、温暖化による生態系の 変動予測シミュレーション	<u>太平洋沿岸では温暖化によって海洋生物相が変化し</u> ている。この変化に <u>社会が順応的に適応するために</u> <u>有用な、温暖化による生態系の変動予測シミュレー</u> <u>ション</u>			気候変動, 生態系変動, シミュレーション	低				
437	環境・資源・エネルギー	十分な信頼性を確保した生 態系・生物多様性の予測モ デルのための、気候システ ムー陸域生態系・フィード バックモデルを利用して、 生物多様性を明示的に含め た統合モデル	<u>生態系の予測モデルの開発</u> 気象や土木分野などで扱われる予測モデルに比べ て、生態系・生物多様性の予測モデルは精度や評価 が不十分であり、十分な信頼性を確保できていな い。気候システム分野では、既に陸域生態系からの フィードバック構造を用いた気候変動の駆動要因を 検出する動的モデルが一般的に用いられる。このよ うな <u>気候システムー陸域生態系・フィードバックモ</u> <u>デルを利用し、生物多様性を明示的に含めた統合モ</u> <u>デルを構築</u> することを目的とした研究に関する議論 が始まっている。			気候システムー陸域生態系・フィードバックモデ ル, データ同化, 生態系予報	高				
438	健康・医療・生命科学	未知のウイルス感染症ワク チン開発技術	未知のウイルス感染症ワクチン開発技術			感染症, ウイルス, ワクチン	低				
439	環境・資源・エネルギー	リモートセンシング技術を 用いた生物多様性や生物種 の動態把握	上記と関連して、 <u>リモートセンシング技術を用いた</u> <u>生物多様性や生物種の動態把握。</u>			資源エコシス テム, 環境保全, 観測・予測	低				
440	農林水産・食品・バイオ	国内中の草地基盤を最大限 活用した輸入飼料に過度に 依存しない家畜生産実現の ための、人口減少などによ る労働力不足においても産 業的経営を成り立たせる、 AIやICTを活用したデータ 駆動型の未来技術	世界的な情勢混乱や気候変動に伴い、輸入に依存し ているエネルギーや飼料を用いた国内畜産は今後 益々厳しい条件に置かれる可能性がなお一層強く なっている。長年、日本の食料および飼料自給率が 低いことが問題視されてきたが、現在ほど国民がそ の危機感を抱いている時代はないであろうと考え る。如何にして自国民の食卓を守るのか、という命 題はいよいよ国民レベルでの対応が求められるよう になる。その中で、 <u>輸入飼料に過度に依存しない畜</u> <u>産が必要であり、そのためには国内中に存在する草</u> <u>地基盤を最大限活用した家畜生産</u> が再び求められ る。ただし、人口減少などによる労働力不足から も、産業的経営を成り立たせるためには、 <u>AIやICT</u> <u>を活用したデータ駆動型の様々な未来技術</u> が必要と なってくる。			放牧, AI, スマート技術	中				
441	マテリアル・デバイス・プ ロセス	量子コンピュータによる汎 用化	<u>量子コンピュータによる汎用化</u> 。様々な科学計算が でき、室温で利用可能。			量子コンピューター, 量子超越性, 超電導	低				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
442	環境・資源・エネルギー	安定的な黒潮によってベ ースロード電源として期待で き、大消費地である東京に 比較的近く電力輸送の点で も有利な、小型の発電機に よる海流発電	各種発電（核融合、宇宙太陽光、地熱、洋上風力、 海洋温度差、海流・潮流、波力）のうち、 <b>海流発電</b> に注目。伊豆七島の間には常に安定的な黒潮が流れ ており、「 <b>ベースロード電源</b> 」として期待が持て る。また、大消費地である東京に比較的近く、電力 輸送の点でも有利である。また、大型発電所と異な り、小型の発電機（風力と異なり、水は空気の1000 倍の密度を持つので、プロペラは小さくて良い） を、必要に合わせて、少しずつ投資して増設してゆ けばよいので、投資対象としてもバリアが低い。ま た、技術的にも、日本にはこれまで造船技術で培っ てきた技術があるので、他国に対して優位性がある と言われている。（風力発電では欧州に優位性がある 点と逆）。実際、〇〇【企業名】が〇〇【国立研 究開発法人名】の助成を受けてすでに実証試験を開 始している。文部科学省としても技術面でさらなる 進展があるように研究・開発を推進するべきであ る。			海流・潮流、各種発電、エネルギー変換	低				
443	健康・医療・生命科学	全ゲノム合成と、合成生物 学による細胞の再構築系の 開発	<b>全ゲノム合成と、合成生物学による細胞の再構築系 の開発。</b>			ゲノム、細胞の再構築、合成生物学	中				
444	環境・資源・エネルギー	核融合による発電実証	核融合による発電実証			核融合、プラズマ、実験炉	高				
445	マテリアル・デバイス・プ ロセス	熱源と接触させる従来型と 異なり、水に浮かせて温度 差を取る、IoT自立電源と して気化熱を利用した熱電 デバイス	<b>IoT自立電源として気化熱を利用した熱電デバイス</b> の開発。 <b>従来の熱源との接触させるという熱電デバ イスの発想とは異なり、水に浮かせて温度差を取る</b> というアイデアが斬新である。			熱電デバイス、IoT電源、カーボンナノチューブ	低				
446	環境・資源・エネルギー	太陽光や積雪及び浅い地盤 中に存在する低温の熱エネ ルギー（地中熱）等の自然 エネルギーを有効活用する 技術	太陽光や積雪及び浅い地盤中に存在する低温の熱エ ネルギー（地中熱）等の自然エネルギーを有効活用 する技術			地中熱ヒートポンプシステム、地中熱利用システ ム、家庭内空調・給湯システム	低				
447	マテリアル・デバイス・プ ロセス	カーボンネガティブな生産 技術として、CO2と水から 界面活性剤などの化学物質 を合成する触媒	<b>カーボンネガティブな生産技術として、CO2と水か ら界面活性剤などの化学物質を合成する触媒</b> を開発 する。			触媒、カーボンネガティブ、界面活性剤	中				
448	健康・医療・生命科学	遺伝子の検出技術に加え て、操作する技術を用いる 事で、医療や農業、畜産に 多大な影響を与える遺伝子 治療技術	<b>遺伝子治療技術</b> 。遺伝子を改変することで先天性の 病気などを防ぐ事ができる。遺伝子の検出技術に加 えて、操作する技術を用いる事で、医療や農業、畜 産に多大な影響を与える。			医薬品、生命科学基礎技術、次世代バイオテクノロ ジー	低				
449	農林水産・食品・バイオ	代替食品を超え、健康寿命 を延長できるようなレベル での人工食物による食料増 産	<b>人工食物による食料増産</b> 。兆しではないかもしれな いが、まだまだ代替食品の程度。 <b>健康寿命を延長で きるようなレベルまでの技術</b> 開発はこれから。			人工肉、合成食品、植物肉	低				
450	環境・資源・エネルギー	核融合	核融合			エネルギー変換、地球温暖化、エネルギーシステム	低				
451	マテリアル・デバイス・プ ロセス	海洋中に散らばったマイク ロプラスチックの回収・処 理方法の手がかりが得られ る可能性がある、環境中の マイクロプラスチックがど のように劣化・破砕してい くのかの解析	<b>環境中のマイクロプラスチックの解析</b> 海洋汚染などで注目されているプラスチックゴミの 解析。 <b>プラスチックが環境中でどのように劣化・破 砕していくのか分析化学によって明らかに</b> なる兆し が見られる。 劣化の機構が明らかにできれば、 <b>海洋中に散らばった プラスチックの回収・処理方法</b> の手がかりが得られ る可能性がある。			マテリアルズ・インフォマティクス、プラスチッ ク分解、計測 X データ科学	高				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
452	健康・医療・生命科学	脳がいかにして驚異的なエネルギー効率で高度な情報処理を行っているのかの解明に向けた、生体外からのインプット、活動電位パターン、生体からのアウトプットの関連性を明らかにし、生体的エンドーディング・デコーディングについての理解	我々の脳がいかにして驚異的なエネルギー効率で高度な情報処理を行っているのかは大きな謎である。中枢神経の顕在的な活動である活動電位の羅列がいかにして統合処理され、我々ヒトの知覚や意識を構成しているのかは科学者を魅了し続けている問題である。 <b>生体外からのインプット、活動電位パターン、生体からのアウトプットの関連性を明らかにし、生体的エンドーディング・デコーディングについて理解</b> を深めていくことが重要であると考える。			イメージング、電気生理、コーディング理論	中				
453	農林水産・食品・バイオ	水田環境のセンシング及び気象条件に応じた水管理自動化に伴う、稲栽培における灌漑の断続的な実施（間断灌漑）により水田土壌環境が強度に還元的になることを防ぎ、メタンの発生を抑制する技術	<b>稲の栽培において、灌漑を断続的に実施すること（間断灌漑）によって、水田土壌環境が強度に還元的になることを防ぎ、メタンの発生を抑制</b> する。アイデアはかなり以前から提案されており、多数の研究調査報告がなされている。しかし、実際の栽培は気象条件（特に降雨条件）に大きく左右されるため、これまで確実な成果を得ることは難しかった。近年、センサー類の発達や通信機器の低価格化が進み、水田の水管理もICTを利用して自動化が進んでいる。今後、 <b>水田環境のセンシングと気象条件に応じた水管理自動化</b> が実現すれば、効率的な水利用と食料生産および温室効果ガス発生抑制を両立することが可能となる。			間断灌漑, メタン, 酸化還元, ICT, 自動給水, スマート水	中				
454	健康・医療・生命科学	認知症の治療薬の開発	認知症の治療薬の開発		治験の促進	認知症治療薬, アミロイド $\beta$ , タウ	中				
455	マテリアル・デバイス・プロセス	水素燃料エンジン	水素燃料エンジン			水素エネルギー, 水素発生電極触媒, エンジン	中				
456	マテリアル・デバイス・プロセス	生物由来物質などを利用した完全に再生可能なエネルギーデバイスに基づく、本場に環境負荷を生じさせない再生可能エネルギー	<b>本場に環境負荷を生じさせない「再生可能エネルギー」</b> の開発。現在の再生可能エネルギーデバイスに用いられている素材・原料は環境負荷を生じるものが多く使われており、完全な「再生可能エネルギー」とはほど遠い状況にある。そこで、 <b>生物由来物質などを利用し、完全に再生可能なエネルギーデバイスの開発</b> が必要である。			エネルギー変換, 燃料電池, 生物由来物質	低				
457	マテリアル・デバイス・プロセス	光の特性により、結合開裂が難しい化合物も容易に切断できるため、新たな化合物ライブラリー構築が期待される、光触媒を利用した有機合成反応	<b>光触媒を利用した有機合成反応。</b> 既に有機化学分野では、光反応を用いた有機合成反応の開発が盛んにおこなわれているが、加熱だけでは困難であった様々な反応が達成されている。光の特性により結合開裂が難しかった化合物も容易に切断できるため、 <b>新たな化合物ライブラリーが構築</b> できると期待される。			光触媒反応, 効率的の化学合成, 酸化還元反応	中				
458	健康・医療・生命科学	細胞死が生じる直前の細胞を回収し、RNAシーケンスに持っていく技術	細胞死が生じる直前の細胞を回収し、RNAシーケンスに持っていく技術			細胞死, 細胞形態, イメージング技術	低				
459	健康・医療・生命科学	医療介護の進化に寄与する、生体情報やケア関連情報の外部化・包括的集約による永続的活用	<b>生体情報やケア関連情報を外部化し包括的に集約し永続的に活用することにより、医療介護の進化</b> に寄与する			フィジカルアセスメント, 深層学習, DX	高				
460	宇宙・海洋・地球・科学基盤	1 か月程度先までの正確な天気予報	1 か月程度先までの正確な天気予報			気象シミュレーション, 気象観測, データ同化	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
461	環境・資源・エネルギー	超低環境負荷型の環境技術となる、空気が疎水性である性質を利用してバブルに汚れを付着させ除去するノンケミカル洗浄	<b>バブルを用いたノンケミカル洗浄</b> 工場などのプラントでは、装置や配管壁面に付着した汚れが製品の品質低下につながるため、定期的に操業を止めて、分解洗浄が必要である。また、その廃液処理にもコストが必要となる。空気は疎水性であるため、その性質を利用してバブルに汚れを付着させて除去することができれば、 <u>超低環境負荷型の環境技術</u> となる。			バブル、ノンケミカル洗浄、疎水性相互作用	高				
462	マテリアル・デバイス・プロセス	天然変性タンパク質領域において構造確認ではなしえないシードの最適化による、タンパク質発現量制御、生体高分子などの分解性制御やマテリアルとしての大量生産	<b>天然変性タンパク質領域の最適化によるタンパク質発現量制御</b> 構造生物学の発展により、様々な生体高分子の構造が明らかとなってきた。しかしながら、生体高分子の機能は構造をとらない部位に隠されていることが多く、 <b>構造確認ではなしえないシードが潜在</b> している。計算科学やデータ科学の発展により、そういった部分の最適化をすすめる技術が徐々に確立されつつあり、 <b>生体高分子などの大量生産や分解性の制御</b> などが将来可能になる可能性がある。生体高分子をマテリアルとして豊富に使用できれば環境負荷だけでなく、人体への影響のすくない合成物の使用が可能となる。			タンパク質大量生産、生分解性高分子、土壤微生物の活用	高				
463	マテリアル・デバイス・プロセス	自己修復材料や自己修復デバイスなど新たな技術への転用につながる、試験管内での進化の実現に伴う、進化する物質デバイス群の登場	<b>進化。試験管内のin vitroで進化を実現</b> できれば、それを物質やデバイスに転用するというアイデアが始めている。物質が進化する、デバイスが進化する、そのような物質デバイス群が登場すると、 <b>自己修復材料や自己修復デバイス</b> など新たな技術へと繋がる。			進化、バイオテクノロジー、創発	高				
464	健康・医療・生命科学	多様で全身に及ぶ運動効果の機序を科学的に証明し薬にする、エクササイズビルの開発	<b>エクササイズビル</b> の開発。 運動の効果は多様で全身に及ぶことから、その機序を科学的に証明しそれを1つの薬にできれば健康寿命延伸の万能薬となる。			運動、骨格筋、健康寿命	中				
465	ICT・アナリティクス・サービス	AIによる大規模データ解析を内包した、動的、高速、高精度な大規模最適化計算技術	<b>「AIによる大規模データ解析を内包した、動的で高速で高精度な大規模最適化計算技術」</b>  ビッグデータ時代においては、AIによる大規模データ解析により、対象となる系の現状や将来を推定するとともに、それを内包して、現状や将来の最適化を図る必要がある。単に計算装置の高速化だけでなく、それに寄与する <b>「計算アルゴリズムの高度化」</b> が肝要である。			シミュレーション、人工知能、数理モデリング	高				
466	マテリアル・デバイス・プロセス	分子やナノ材料の自己組織化を利用した高度複合機能システムの構築	分子やナノ材料の自己組織化を利用した高度複合機能システムの構築			自己組織化、複合化、機能集積	中				
467	環境・資源・エネルギー	深海底での資源開発・生産	深海底での資源開発・生産			海底・海洋資源、レアメタルの回収、海底鉱物資源活用	高				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
468	健康・医療・生命科学	合成した全ゲノムに対して エビゲノム操作を加える 「エビゲノム合成」によ る、全ゲノムスケールでの 合成的機能アノテーション	「 <u>エビゲノム合成</u> 」による全ゲノムスケールでの合 成的機能アノテーション」 CRISPR-Cas9を筆頭に、種々のゲノム編集ツールが 確立されてきたが、これを本来の目的（＝ゲノム切 断）以外の用途で利用する試みが近年進められてい る。配列を書き換えることなく転写のON/OFFを切り 替える転写調節技術や、エビジェネティック修飾 を改変するエビゲノム編集技術はその最たるもので あり、今後、 <u>スケーラビリティの劇的な向上</u> がブレ イクスルーとなり得る。エビゲノム編集を例にとれ ば、現状の技術では特定のゲノム領域のエビジェネ ティック修飾をピンポイントで操作することを主眼 として技術開発が行われているが、ゲノム全合成の 時代に向けて、 <u>合成した全ゲノムに対してエビゲノム 操作を加える“エビゲノム合成”が可能となれば、全 ゲノムスケールでの合成的機能アノテーションが可 能となり、革新的技術</u> となる。			エビゲノム編集, CRISPR-Cas9, ゲノム合成	高				
469	マテリアル・デバイス・プ ロセス	人工合成による有効物質の 製造	人工合成による有効物質の製造			触媒, 水素, 二酸化炭素	低				
470	ICT・アナリティクス・ サービス	データから人が理解できる 形での数式化を提案でき る、AI Feynmanなどの近 年のデータサイエンス技術 を取り入れたデータ関係性 のSymbolic Regression （数式回帰）手法	<u>AI Feynmanなどの近年のデータサイエンス技術を 取り入れたデータ関係性のSymbolic Regression （数式回帰）手法</u> これまでの、データ同化による シミュレーション最適化や単純な機械学習による予 測・生成などよりも、データから人が理解できる形 での数式化を提案できるため、基礎学問分野への データサイエンス技術の広まりと新しい考え方が期 待できると思います。			データ駆動科学, 説明可能なAI, ビッグデータ	中				
471	マテリアル・デバイス・プ ロセス	光マニピュレーション技術 をサイズや形状の精緻な制 御を伴う作製手法が確立さ れていないナノ物質に適用 した、ナノ物質の個別特性 の選別や配列構造の作製	<u>光が有する運動量を用いて微小物質の運動制御を行 う「光マニピュレーション」技術による、ナノ物質 の個別特性の選別や配列構造の作製</u> が挙げられる。 これを <u>サイズや形状の精緻な制御を伴った作製手法 が確立されていないナノ物質に適用</u> することによ り、学術分野はもとより、創エネ、省エネ、情報処 理の高速化など、実社会への影響も大きな材料科学 の革新に至るものと考えられる。すなわち、 <u>高い光 電変換効率を示す太陽電池や発光材料あるいは量子 情報処理に利用可能な半導体ナノ粒子にこの技術を 適用</u> すると、性能の高いもの、あるいは <u>所望の性能 （例えば、特定の吸収あるいは発光波長）を示すも ののみを選別したり配列したり</u> することが可能とな る。具体的には、室温における量子情報処理への適 用が期待されているナノダイヤモンド中のNV中心 （窒素欠陥）の作製は原始的な段階であるが、作製 されたナノダイヤモンドの中からNV中心の含有数が確 定した集団の分離などが可能となる。また、薬害で 知られる光学異性体の分離においても、光の角運動 量を用いることによって対象物質によらず選別が可 能となる。これらの原理検証までは行われている。			量子技術, 新材料, 再生可能エネルギー	高				



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
472	マテリアル・デバイス・プロセス	多分野のシミュレーションにおけるブレークスルーにつながる可能性がある、最先端ナノスケールデバイスの現実的な特性予測に向けた、量子スケールと巨視的（古典）スケールを繋ぐマルチスケールに渡る粗視化の問題解決	<b>最先端ナノスケールデバイスの現実的な特性予測</b> に向けての最大の懸念事項が、 <b>量子スケールと巨視的（古典）スケールを繋ぐマルチスケールに渡る粗視化</b> の問題である。粗視化に対して確率的な機械学習（深層学習）を応用するという指摘があるものの、まだ具体的な研究成果は出てきていない。最先端デバイスに限らず、流体力学等の機械工学分野に対しても同様のアイデアが応用できる頃から、将来多くの分野のシミュレーションにおいて大きなブレークスルーにつながる可能性がある。			機械学習, デバイスシミュレーション, 粗視化	高				
473	マテリアル・デバイス・プロセス	これまで困難であった製品の加工や、宇宙などの特殊環境での製品製造なども実現できる、オールオプティクスによる製造技術	<b>オールオプティクスによる製造技術</b> 。光を使うと、加工、操作、アセンブリ、計測など製造に関する要素技術が行え、それらの技術的な高まりは著しいものがある。このように全てを光エネルギーで行える製造技術が可能となれば、これまで困難であった製品の加工や、 <b>宇宙などの特殊環境での製品製造</b> なども実現できるようになる。			宇宙環境製造, オールオプティクス製造, 光圧力	高				
474	ICT・アナリティクス・サービス	研究・開発活動において、問題や仮説の設定、仮設検証のための理論構築または実験、論文や技術書の執筆、査読や論文公開、予算獲得や教育活動などの行為すべてを自動化し、それらを有機的に結びつける方法論	夢物語のように聞こえますが、「 <b>研究・開発活動の完全自動化</b> 」を実現できれば、世界中に大きな変革をもたらすと考えられます。これは、単にロボットにより実験を自動化する、というような小さいスケールの話ではありません。 <b>研究成果を出すまでの行為すべてを自動化し、それらを有機的に結びつける方法論</b> を指します。例えば、研究テーマを決めるために、インターネットを使い情報収集を自動化し、その後AIを使って問題や仮説の設定を自動化します。次に、仮設検証のために、ロボットなどを使い、理論または実験行為の自動化します。そして、得られた結果を解析する行為も自動化できるでしょう。さらに私は、AIを使うことにより、 <b>論文や技術書の執筆行為も自動化</b> 可能と考えています。査読行為や論文の公開行為も自動化することができれば、（人間の）英知・技術を従来とは桁違いの速度で広げることが可能になると思います。また、 <b>研究を行うための予算獲得や、人間に対する教育活動の自動化</b> なども、一連の方法論に含まれるでしょう。現時点では、個別の自動化が行われている状況であり、すべてを組み合わせることは到底不可能に感じます。			情報収集自動化, 問題設定自動化, 仮説設定自動化, 実験自動化, 解析自動化, 論文執筆自動化, 査読自動化, 予算獲得自動化, 教育活動自動化, 研究自動化, 開発自動化	中				
475	マテリアル・デバイス・プロセス	シリカガラスにフェムト秒レーザーを用いて情報を書き込むことで最大1000℃の熱安定性を持ち、CDサイズに約500TBデータを保存可能な、空間を示す3次元情報に加えてレーザー強度と偏光情報を書き込む「5次元光ストレージ」	<b>5次元光ストレージ</b> シリカガラスにフェムト秒レーザーを用いて情報を書き込むことで、通常のCDサイズのディスクに約500TBのデータを保存することが可能となる。空間を示す3次元情報に加えて、レーザーの強度と偏光の情報を書き込むことから、5次元と表現されている。最大1000℃の熱安定性があることから、 <b>長期間のデータ保存が可能になると考えられている。</b>			記憶媒体, フェムト秒レーザー, 耐熱性	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
476	マテリアル・デバイス・プロセス	光のトポロジカルな性質を用いて、様々な応用を模索するトポロジカルフォニクス	光のトポロジカルな性質を用いて、様々な応用を模索する「 <b>トポロジカルフォニクス</b> 」 トポロジカルに異なる光のモードの使用により、後方散乱が存在しない光導波路 レーザーの発振偏光制御 光起動角運動量の付与 などの応用が盛んに研究されている			トポロジカルフォニクス, バルクエッジ対応, ベリー位相	低				
477	宇宙・海洋・地球・科学基盤	水中ドローン、飛空艇、AUVを組み合わせた高速・広範囲深海底調査	水中ドローン、飛空艇、AUVを組み合わせた高速・広範囲深海底調査		地球科学者・航空工学者・技術者などが連携して、工学的要素を積み上げていく必要がある。 また、長期的視点に立った海洋科学者の人材育成が継続的に必要。	水中ドローン, 飛空艇, AUV	中				
478	環境・資源・エネルギー	生態系サービスの地図化アプリの開発	生態系サービスの地図化アプリの開発			生態系サービス, アプリ開発, 環境保全	中				
479	農林水産・食品・バイオ	Empirical Dynamic Modeling と呼ばれる一連のモデルフリーな時系列データ解析によって、複雑なシステム（農業生態系や森林生態系など）における因果を明らかにすることによる、システムの操作・制御	<b>Empirical Dynamic Modeling と呼ばれる一連のモデルフリーな時系列データ解析</b> の枠組みは観察データから現象間の因果関係を推定できる。こうした技術は <b>複雑なシステム（農業生態系や森林生態系など）における因果を明らかにすることで、システムの操作・制御が可能</b> になる可能性がある。Empirical Dynamic Modeling は技術として若く、理論的に不十分な部分もある。しかし一部の研究者が精力的にその理論的な性質の研究や同技術の実証的な応用を行っている。今後の発展次第では複雑なシステムの理解や制御に大きな変化をもたらす可能性がある。			Empirical Dynamic Modeling, 生産エコシステム, 制御	中				
480	健康・医療・生命科学	患者負担の少ない診断技術の普及が見込まれる、呼吸気、尿、糞便等を用いた診断技術	<b>呼吸気、尿、糞便等を用いた診断技術の開発。低分子化合物やペプチド、核酸等の検出技術、解析技術が向上しており、患者負担の少ない診断技術の普及が見込まれる。</b>			超高感度診断技術, cell-free, omics	中				
481	健康・医療・生命科学	ヒトに近い心血管系疾患イベントを再現可能なモデル生物の確立	<b>【心血管系疾患を研究するためのモデル生物の確立】</b> 日本人の3大死因は、がん、心疾患、脳血管疾患であり、がんについては免疫不全マウスにヒトがん細胞を移植するゼノグラフトモデルが確立されるなどモデル系が豊富である。一方で、マウスはヒトと比較して心血管系疾患イベントの発生頻度が極めて低く、通常飼育下において心疾患や脳血管疾患が原因で死亡することはまずない。そのため、心血管系疾患を研究するモデル生物としてマウスは不適合と考えられており、 <b>ヒトに近い心血管系疾患イベントを再現可能なモデル生物の確立が必要</b> とされている。			心血管系疾患, モデル生物, 脳血管疾患	中				
482	ICT・アナリティクス・サービス	量子コンピュータ	<b>量子コンピュータ。量子スピンを用いて重ね合わせ状態を作り、ゼロ・イチ以外の状態を作り出すことで計算を高速化する技術。</b> 計算における全ての基盤に関わるものであり、実用レベルで実現できると世の中へのインパクトが極めて大きい。			量子コンピュータ, 量子状態, 重ね合わせ	低				
483	健康・医療・生命科学	再生医療技術を用いた創薬において、対象とする疾患や発症部位が想定より実際の人体に近い環境での評価により、実臨床での効果を予め推定できるようなシステム	<b>再生医療技術を用いた創薬</b> については、今後加速していくと考えられる。現在、抗体医薬のスクリーニングなどに応用されているが <b>対象とする疾患や発症部位を想定したより実際の人体に近い環境での評価により、実臨床での効果を予め推定できるようなシステムの構築</b> が望まれる			再生医療, DDS, 薬剤評価技術	低				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
484	健康・医療・生命科学	悪性新生物（がん）を、細胞の遺伝子操作により完全に治療または予防する技術	悪性新生物（がん）を、細胞の遺伝子操作により完全に治療したり予防する技術			細胞治療, 遺伝子治療, がん治療	低				
485	宇宙・海洋・地球・科学基盤	安価で低エネルギーな運搬手段の確立に伴う、宇宙空間を活用した経済活動や技術開発を大きく進展させるための宇宙エレベーター	<b>宇宙エレベーター</b> 今後、さらに宇宙空間の利用が進むと考えられるが、使い捨てロケットによる資材運搬は持続可能とは言えず、費用、消費エネルギーともに負荷が大きい。宇宙エレベーターの実現によって、安価で低エネルギーな運搬手段が確立すれば、宇宙空間を活用した経済活動や技術開発が大きく進展することが期待される。			宇宙エレベーター, 宇宙利用, 宇宙太陽光発電, 無重力培養, 無重力実験	低				
486	マテリアル・デバイス・プロセス	光ファイバ中もしくは光デバイス内における光信号処理の実現	光ファイバ中もしくは光デバイス内における光信号処理の実現			光コンピューティング, 光集積回路, 結合型光ファイバ	低				
487	宇宙・海洋・地球・科学基盤	雲中の微小な水蒸気や氷塊の高分解能な検出によって災害事前予測の精度改善に貢献できる可能性がある、数100 GHz以上の未開拓周波数帯を活用した地球大気観測および気象予測技術	<b>未開拓周波数帯を利用した地球大気観測、および気象予測技術、特に数100 GHz以上の周波数帯では雲中の微小な水蒸気や氷塊を分解能よく検出できる</b> 可能性があり、膨大な気象データに対する統計解析により、集中豪雨や豪雪など、近年苛烈さを増す以前災害に対する事前予測の精度改善に貢献できる可能性がある。			未開拓周波数帯, 気象レーダ, 災害予測	低				
488	健康・医療・生命科学	人工細胞リアクタへの展開が期待される、分子夾雑が引き起こす生命システム動態転移の構成的な理解の進展に伴う、分子夾雑による細胞内生命化学の制御メカニズムの解明	細胞や生体組織において、様々な分子が高密度、雑多に混在する分子夾雑系で機能または秩序が形成されることが報告されている。例えば、 <b>分子夾雑が引き起こす生命システム動態転移の構成的な理解が進み、分子夾雑が細胞内の生命化学を制御するメカニズムが解明</b> される場合、 <b>人工細胞リアクタへの展開</b> が期待される。			分子夾雑, 生命システム動態転移, 人工細胞リアクタ	中				
489	マテリアル・デバイス・プロセス	プラスチックに生分解性を付与する添加剤	<b>プラスチックに生分解性を付与する添加剤</b> 。 詳細不明だが、プラスチックのペレットを作成する際にとある素材を添加することで生分解性を付与できるとのこと。 例えばイギリスの〇〇社の技術			生分解性, 添加剤, polymateria	中				
490	健康・医療・生命科学	タンパク質立体構造について、X線結晶構造と溶液構造間における違いのAIによる補正	<b>AIによるタンパク質立体構造の補正</b> タンパク質の立体構造解析はX線結晶構造解析が9割、核磁気共鳴分光が1割と圧倒的に結晶構造に基づいている。 溶液中のタンパク質の構造機能相関は、様々な分光学的なアプローチが行われている。 現在では、結晶構造に基づいて、創薬の研究は行われているが、X線結晶構造と溶液構造が全く同じである保証はないため、そのギャップを受ける方法論としてAIに期待したい。			AI, タンパク質の立体構造と機能, 創薬	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
491	健康・医療・生命科学	実験の自動化・遠隔化	<b>実験の自動化・遠隔化</b> コロナ禍で様々な仕事がオンラインとなり、効率化 がはかられた。この影響を受けて、研究の基礎とな る実験についても、ロボット等による自動化が期待 される。実験の自動化が進めば、再現性の担保、研 究の効率化（時間とお金の節約）、若手研究者の ワークライフバランスなどへも波及効果が大きいと 考えられる。 参考図書 実験医学 2021年1月 Vol.39 No.1			実験ロボット, AI, ラボラトリーオートメーション	中				
492	健康・医療・生命科学	環状DNAの結び目構造を 見ることで遺伝子組み換え 酵素の働きを見る、結び目 理論によるDNA研究	<b>結び目理論によるDNAの研究</b> 結び目理論によるDNAの研究は、DANの結び目構造 を見ることで行われる。  例えば、遺伝子組み換え酵素の働きを実際に観察する ことは、現在の技術では、高性能な顕微鏡を用いても 不可能である。 そこで、 <b>環状DNAの結び目構造を見ることで、遺伝子 組み換え酵素の働きを見る。</b> 結び目構造の変化を見るには、結び目理論で研究され ている様々は結び目不変量を用いる必要があり、結び 目理論の研究発展が求められている。			結び目構造, DNA, 遺伝子組み換え酵素	低				
493	健康・医療・生命科学	分類学の発展や教師データ の蓄積に基づく、AIを用い た写真からの高精度な野生 生物同定技術	<b>AIによる写真からの生物同定技術</b> である。深層学 習による画像認識技術は多くの研究分野で活躍して おり、それらは生物の同定にも有効とされている。 実際にベンチャー企業や大手企業がその技術を用い て写真による生物同定技術を発展させ、それらを活 用したアプリケーションも開発、運用されている。 ただし野生生物には、外見のみからの同定が困難 なものが少なくなく、実際の同定の正解率は100％ とは言えない状況にある。また教師データとなる生 物の写真が不足していることから、今後は <b>分類学の 発展や教師データの蓄積により、正解率を高めるこ と</b> が必要となる。			画像認識, 生物同定, AI	低				
494	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	レーザープラズマ加速技術 によって局所的に高い電界 を実現することで、小型装 置での高いエネルギーの量 子ビーム生成及び建築コス トの大幅な削減	<b>レーザープラズマ加速技術</b> 。従来利用されてきた高 周波を用いた加速技術においては、常伝導や超伝導 素材を利用して加速技術の向上が図られているが、 加速電界を劇的に桁で向上させることは放電の問題 等から難しく、高いエネルギーの量子ビームを生成 するには実空間距離で加速を積分する必要がある。 これに対して、レーザー技術の向上から、プラズマ 中で高強度パルスレーザーにより局所的に高い電界 を実現することが可能となったこともあり、特に欧 米を中心として活発に研究開発が行われている。劇 的な加速電界の実現により、 <b>小型装置での高いエネ ルギーの量子ビーム生成</b> を可能とし、建設コストの 大幅な削減が期待されることとなる。			プラズマ加速, レーザー, 量子ビーム, 高勾配加	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
495	マテリアル・デバイス・プロセス	木材からの炭素源回収のための、遷移金属などを利用したこれまでに無いアプローチでの高分子化合物の分解	石油資源に代わる炭素源として、リグニンやセルロースなどの多くの炭素源を含む木材が長らく注目されている。これらの物質は高分子化合物であり、多様な化成品に加工するためには、まず効率的な分解が必要となる。これまでに、木材化学を中心とする研究者がリグニンやセルロースなどの効率的な分解に取り組んできたが、最近では化学反応を開発する有機合成化学者が当該分野に参入している。 <u>遷移金属などを利用した、これまでに無いアプローチで、高分子化合物の分解</u> に挑んでおり、 <u>木材からの炭素源回収</u> の兆しが見え始めていと言える。			リグニン, 分解, 遷移金属	低				
496	農林水産・食品・バイオ	空気の定期的な自動サンプリングおよびそこに含まれるDNA、RNAの分析により、その場所の生物の種、遺伝的多様性や生理状態情報の取得	<u>空気を定期的に自動サンプリングし、そこに含まれるDNA、RNAし、を分析することで、その場所の生物の種、遺伝的多様性や生理状態についての情報が得られる。</u>			環境DNA, 環境RNA, 生物多様性	中				
497		市民科学	市民科学			市民科学, 市民参加, シチズンサイエンス	中				
498	環境・資源・エネルギー	太陽をも凌ぐ超高温プラズマを生成して、それを媒体とした核融合反応からエネルギー生成を行う核融合エネルギーの、核融合発電炉としての実現	<u>太陽をも凌ぐ超高温プラズマを生成して、それを媒体とした核融合反応からエネルギー生成を行う核融合エネルギー</u> は未だ実際の発電炉して社会実装されてはいない。しかし、ITERに代表されるような国際大型実験装置などの建設も進み、また理論・シミュレーションによる予測研究も進展している。 <u>核融合発電炉</u> として実現された際には、新たなエネルギー源として社会に貢献するとともに、従来の化石燃料ベースや再生可能ベースとは異なる新たなエネルギーバランスとして、社会にインパクトを与えると期待される。			核融合エネルギー, 超高温プラズマ, 核融合発電炉	中				
499	マテリアル・デバイス・プロセス	多様な生物が形を作る仕組みの解明と、産業への応用	<u>生物が形を作る仕組みの解明と応用</u> 。これまでも同様な科学技術が注目されてきたと思うが、より多様な生物、また、とくに形を作る仕組みを産業に応用すること。			バイオイメージング, ナノ結晶構造解析, タンパク質の構造解析	低				
500	ICT・アナリティクス・サービス	6G又はさらに次世代の無線通信環境改善のため、通信経路上の物体表面（例えば建物の表面）にRIS（Reconfigurable Intelligent Surface）を設置し、人工的に電波を反射させたり、透過させたりすることで、高周波数電波の高速通信を可能にする技術	スマートフォンの普及以降、無線通信の通信需要が増加しており、 <u>6Gやさらにその後の世代の無線通信環境を改善するためのRIS（Reconfigurable Intelligent Surface）</u> が注目されている。 自然界の物体は電磁波の反射・透過・散乱が物質固有の物理量に従うが、RISは <u>人工的に反射・透過・散乱を制御できるようにするもの</u> である。無線通信高速化のためには周波数を高い電磁波を利用する必要があるが、それらは直進性が高い、遮蔽による減衰が大きいなどの問題がある。これらを解決するために、 <u>通信経路上の物体表面（例えば建物の表面など）にRISを設置して、人工的に電波を反射させたり、透過させたりすることで、高周波数の電波を使った高速通信を可能にすることが期待されている。</u>			Reconfigurable Intelligent Surface, 6G, メタマテリアル	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
501	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	地球磁気圏外での有人活動 時に、宇宙線が荷電粒子で ある特徴を利用して、磁場 や電場により宇宙線を防ぐ 技術	地球磁気圏外での有人活動時の技術的な大きな問 題の1つが <b>宇宙線を防ぐ技術</b> である。有害な高エネル ギーの宇宙線を物質で防ぐには大質量が必要となり 非現実的である。そこで、 <b>宇宙線が荷電粒子である 特徴を利用し、磁場や電場により防ぐ</b> ことが理論的 には可能である。特に磁場を利用した <b>磁気シールド</b> の基礎研究が進められている。理論・計算・実験の 観点から検討が進められており、現状課題は多いも のの、実現されれば宇宙空間の人類の活動範囲を大 きく広げることが期待される。			宇宙, 宇宙線, 磁気シールド	中				
502	マテリアル・デバイス・プ ロセス	ウェアラブル (wearable) からウィー パブル (weavable=織り 込める) への学術変革に基 づくヒト環境センシング衣 料など、生地特性を活かし つつ衣類への影響も抑え、 デザインも最適化された織 物デバイス及びそれによる 従来未取得の生体・環境情 報の検出	「 <b>ウィーパブル・エレクトロニクス</b> 」という学問分 野を兆し科学技術として考えている。従来の織物状 の電子デバイス技術は主にウェアラブル・エレクト ロニクス分野において研究が進められてきた。しか し、織物の繊維自体にすべての機能(センサ、情報 通信・処理など)を集約する技術は未開拓である。 そこで、これまでウェアラブル・エレクトロニクス で用いられていた素材、デバイス、センシング技術 などを一から見直すことで、 <b>ウェアラブル (wearable) からウィーパブル (weavable=織り 込める) への学術変革</b> の可能性を考えている。ヒト 環境センシング衣料・ヒト／ロボット用人工皮膚・ 生体適合織物センサ・インフラ診断・過酷環境セン シングなど、ウェアラブル・エレクトロニクスの適 用範囲を超えた応用技術の創出が期待されるほか、 デバイスを織り込むことで生地の特性(柔軟性、大 面積化、対象物との密着性など)も最大限活用可能 であり、センサ高感度化や従来未取得の生体・環境 情報の検出も期待できる。さらに、衣類等の形態へ の影響も最小限に抑えることができるため、最適化 したデザインの織物デバイスを実現可能である。			ウィーパブル・エレクトロニクス, 光ファイバセン シング, 化学センシング	高				
503	マテリアル・デバイス・プ ロセス	①超微量レア物質の分光分 析技術を活用した、有機合 成反応において低生成効率 でも有用な物性を持つ物質 の同定 ②超微量レア物質の分光分 析技術を活用した、岩石中 に含まれるサンプル純度の 低い物質の、より複雑な分 子の解析	【 <b>超微量レア物質の分光分析技術</b> 】 非常に微量の物質の光物性を解析技術があれば、有 機合成反応などで超微量だけ生成されるレア物質を 検出・解析できる。 生成効率は非常に低いが、物性は有用な物質を同定 できれば、新たな材料科学へと発展させられるかも しれない。 また、これまでサンプル純度が低い故に分光解析 が行われてこなかった分野において、大きなブレイ クスルーを起こせるかもしれない。 例えば地学分野では、 <b>岩石中に含有する物質を分析 する際に、これまでは主に質量分析やクロマトグラ フィー分析が用いられてきたが、分光手法を導入す ることで、岩石中に含まれるより複雑な分子の解析 が可能</b> になると考えられる。			分析化学, レア物質, レアイベント	高				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
504	ICT・アナリティクス・サービス		<u>差分プライバシー技術の医療データ分析への適用</u> について、現在多くの研究が行われている。学術的には確立されつつあるものの、法理やELSIとの整合性が悪く、是を手寄与することで、現在出来ない疫学文責が出来るわけでもないことから、現実の問題への適用の段階でやや暗礁に乗り上げている嫌いがある。しかし、大規模データベースに適用して運営することが試されれば、それにより社会の風向きが変わる可能性は秘められている。			差分プライバシー, 個人情報, ELSI	中				
505	ICT・アナリティクス・サービス	5Gを超えるよりブロードバンドでカバー率の高い通信技術	<u>5Gを超えるよりブロードバンドでカバー率の高い通信技術</u> ： 現在普及が進んでいる5Gだが、この通信速度では不足する事態は近未来に想定される。よりブロードバンドで、さらに人口カバー率の高い情報通信技術の開発を今から進めておく必要がある。			情報通信, 無線通信, ミリ波	中				
506	健康・医療・生命科学	任意の細胞への遺伝子・タンパク質デリバリー技術の確立	<u>任意の細胞への遺伝子・タンパク質デリバリー技術の確立</u> 。			デリバリー技術, 遺伝子治療, タンパク質	中				
507	ICT・アナリティクス・サービス	これまでの知見の延長上にある研究（最適化、材料を変える、組み合わせる）における、AIによる研究活動の推進	<u>AIによる研究活動の推進</u> 。これまで研究者が行ってきたプロセスを、AIを用いて代替するアプローチ。独創的な研究を捻出することは難しいと思われるが、 <u>これまでの知見の延長上にある研究を推進する（最適化、材料を変える、組み合わせる）</u> 点では、AIの文献調査能力が人間より遥かに高いため、極めて効率的な研究提案が可能となる可能性がある。			ビッグデータ, AI, データ駆動科学	低				
508	健康・医療・生命科学	医学、材料、食品など広い範囲へ展開可能な、構造解析や化学合成技術を基盤としたグライコサイエンスの展開	<u>糖鎖は核酸、タンパク質に続く第3の生命鎖</u> と言われて久しい。分岐構造をもつため、構造解析が困難、化学合成も核酸やタンパク質と比較して困難であるため、一大サイエンスとしての突破口がないのが現状である。 <u>構造解析、化学合成技術を基盤として、グライコサイエンスを展開することにより、医学、材料、食品など、広い範囲に展開</u> できる。			バイオマス, 抗ウイルス薬, 新興・再興感染症, ワクチ	高				
509	環境・資源・エネルギー	地下水中の窒素化合物を除去し資源化する技術	<u>地下水中の窒素化合物を除去し資源化する技術</u> 。			窒素化合物除去, 窒素化合物資源化, 水質浄化	中				
510	環境・資源・エネルギー	DNAバーコードリーダー	<u>DNAバーコードリーダーの実現</u> 。			資源エコシステム, 環境保全, 観測・予測	低				
511	ICT・アナリティクス・サービス	計算機に音楽を聞かせることで、楽器ごとに分離するとともに採譜する技術	<u>計算機に音楽を聞かせることで、楽器ごとに分離するとともに採譜する</u> 。			音源分離, 自動採譜, 機械学習	低				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
512	宇宙・海洋・地球・科学基 盤	レアメタル等の安定確保に おける、深海底での採取装 置（有人・無人関わらず） について、原子力電池を用 いた活動限界を突破や、海 中通信技術とAIを用いた無 人潜航艇、無人資源輸送浮 上船の活用	経済安全保障の点から、 <b>レアメタル等の安定確保</b> は 重要である。これまでの海洋分野の研究から南鳥島 沖などの日本のEEZ内の深海底に、マンガン団塊、 コバルトリッチクラスト、等の有用な資源があるこ とが分かっているが、それを引き上げるためのコス トがかかりすぎるため実現していなかった。その主 な理由は、 <b>深海底での採取装置（有人・無人関わら ず）</b> の活動限界にあるとされる。これについては <b>原 子力電池</b> （小型原子炉では管理が面倒）を用いて活 動限界を突破し、さらに <b>海中通信技術とAIを用いた 無人潜航艇、無人資源輸送浮上船</b> などを使えば解決 の糸口が見える。この分野はまだそれほど技術開発 が進んでおらず（特に経済産業省など）、文部科学 省として多くの基盤研究・基盤技術を動員し、総合 化することで、研究が進展すると期待できる。文部 科学省が取り組む「兆し科学技術」として、期待が 持てるテーマである。  概要図表8の宇宙・海洋・地球・科学基板分野の 「海底・海洋資源」 概要図表6のマテリアル・デバイス・プロセス分野 の「原子力電池」「熱電・熱発電素子」			海底・海洋資源, 原子力電池, 熱電・熱発電素子	低				
513	環境・資源・エネルギー	工場などの排水中に含まれ るレアメタルを細菌に回収 させて、それを精製するこ とで再利用が可能となる技 術	<b>細菌によるレアメタル回収技術の開発。工場などの 排水中に含まれるレアメタルを細菌に回収させて、 それを精製することで再利用が可能となる技術。</b> 現 状では全く実現可能性が乏しいといえるが、何らか のブレイクスルーが起きれば重要な回収技術となる 可能性を秘めていると思われる。			細菌, レアメタル, バイオミネラリゼーション	低				
514	環境・資源・エネルギー	超電導技術によるエネル ギーロス送電システム	<b>超電導技術によるエネルギーロス送電システム</b> の実 現			超電導, 送電, インフラ	低				
515	環境・資源・エネルギー	①木材からエネルギーを燃 やす以外の方法で取得し、 気候変動・地球温暖化など にも考慮しながら、サステ イナブルな地球を維持する 技術 ②バイオマス技術とその発 展	<b>バイオマス技術とその発展。木材からエネルギーを 燃やす以外の方法で取得し、気候変動・地球温暖化 などにも考慮しながら、サステイナブルな地球を維 持する技術。</b>			地球, 応用デバイス・システム（環境エネルギー 分野）, エネルギー変換, 地球温暖化, エネルギー システム	低				
516	ICT・アナリティクス・ サービス	ロボット化学合成	ロボット化学合成			ビッグデータ, ロボット, オートメーション	低				
517	マテリアル・デバイス・プ ロセス	極微小の溝で1分子や1細 胞をトラップするナノ流体 デバイスを用いた、例えば 1エクソソームレベルなど の1分子診断技術	<b>ナノ流体デバイスを用いた1分子診断技術</b> たとえば、エクソソームは、細胞間コミュニケー ション物質を送達する生体内微粒子として注目され ている。しかし、一言にエクソソームと言っても、 いろいろな種類のものが存在していることが明らか になってきており、 <b>1エクソソームレベルでの分析</b> が求められている。 <b>ナノ流体デバイスに、極微小の 溝を作製して、1分子や1細胞をトラップするこ と</b> できれば、個々の性質を分析することが可能とな る。			ナノ流体デバイス, 1分子, エクソソーム	中				



通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
518	健康・医療・生命科学	mRNAワクチンによる、感 染症対策ワクチンの開発及 びHIV、デング熱、マラリ ア、インフルエンザ等への 応用	<b>mRNAワクチンによる、感染症対策ワクチンの開 発。</b> COVID19で実証された <b>mRNAワクチン技術が</b> <b>HIV デング熱、マラリア、インフルエンザ、等に応 用され、世界における感染症の脅威が克服される可 能性</b> がある。			mRNAワクチン, HIV, デング熱	高				
519	農林水産・食品・バイオ	①分子レベルで食品のキー 成分を同定し、分子から食 品を構築することができる 技術 ②動物性食品のキー成分を 同定し、植物性食品から同 じ成分を探し、植物性の食 品のみで動物性食品と同等 のものを構築する技術	<b>分子レベルで食品のキー成分を同定し、分子から食 品を構築することができる技術。</b> 例えば、 <b>動物性食品のキー成分を同定し、植物性食 品から同じ成分を探し、植物性の食品のみで動物性 食品と同等のものを構築する技術。</b> 例えば〇〇という会社はAI技術を用いてそれを成し 遂げている。			NotCo, 代替食品, 植物性食品	中				
520	農林水産・食品・バイオ	生物種ごとに異なるDNA 配列を認識し、複数の生物 種を一度に同定する 「DNAメタバーコーディン グ」を見据えた、全生物種 のDNAバーコーディング の構築及びデータベースと しての運用	<b>DNAメタバーコーディングを見据えた、DNAバー コーディングの構築</b> である。DNAメタバーコーディ ングとは、生物種ごとに異なるDNA配列を認識し て、複数の生物種を一度に同定する技術である。現 時点では食性解析や環境DNAなどで実践的な活用が されている。しかし、それには <b>生物種ごとのDNA配 列の蓄積(DNAバーコーディング)</b> が必要不可欠であ る。現時点ではDNAバーコードデータベースは脊椎 動物でかなり高い網羅率を誇る一方で、無脊椎動物 などは非常に網羅性が低い。今後はこうした <b>DNA バーコード配列を全生物種で解明し、データベース として運用</b> することで、ますます環境DNAや食性解 析が進むと考えられる。また今後野外でのDNA解析 が可能となった際には、DNAバーコーディングによ り、非常に高い正確性で生物種の同定が可能となる だろう。			DNAバーコーディング, 生物多様性, 環境DNA, 食 性解析, 生物同定	高				
521	農林水産・食品・バイオ	①農作物の花を訪れる昆虫 に微生物を運ばせて、でき た実・種子の微生物叢を操 作し、病気に強い種子や植 物、栄養価の高い農産物をつくる技術  ②農作物の花を訪れる昆虫 に微生物を運ばせて、親植 物に望ましい微生物を感染 させる技術	<b>農作物の花を訪れる昆虫に微生物を運ばせて、でき た実・種子の微生物叢を操作し、病気に強い種子や 植物、栄養価の高い農産物をつくる。</b> 遺伝子組換え をともなわず、農作物の育種ができる。同様に、 <b>親植 物に望ましい微生物を感染させる。</b>			送粉, マイクロバイオーム, 種子	高				
522		科学技術を効果的に伝える 仕組み、的確に理解する能 力の醸成	<b>科学技術を効果的に伝える仕組み、的確に理解する 能力の醸成。</b> 新型コロナウイルス感染症に関わる政 策、報道のあり方、それを受止める側の科学基盤に 改善が必要だと感じている。それ次第で経済・社会 ひいては学術に重大な影響を与えるであろうこと は、すでに実証されているが、今後どのようなあり 方が相応しいのかについては議論が待たれる状態。			科学技術政策, 科学リテラシー, 科学技術と社会の 良い関係性	中				

通し 番号	第11回科学技術 予測調査分野 (注) NISTEPによる推定	短縮版 (注) NISTEPにて作成	科学技術の概要 (注) NISTEPにて主な科学技術と思われる部分に 太字・下線	研究段階	必要な要素	キーワード	専門度	実現時期	学術的効 果	経済的効 果	社会的効 果
523	ICT・アナリティクス・サービス	脳計測情報のマーケティング等の社会活動への利用	<b>脳計測情報のマーケティング等の社会活動への利用</b> 。計測技術の向上によって、パターン分析や、性向の類型化などの可能性が幾つか示され、社会適用の可能性が検討されつつある段階にある。極めて面白い技術であるが、一方で哲学的、ELSI的に考えるべき事項が多く、今後の適用には一定の課題があるものと思われる。			脳情報処理, ELSI, 行動予測	低				
524	宇宙・海洋・地球・科学基盤	月面での安定した生活や月資源だけの独立ライフライン維持のための、月面での水・酸素生成技術	<b>月面での水・酸素生成技術</b> ：月面で安定性して生活するために、月の資源だけで独立してライフラインを維持できる技術が必要。			宇宙探査（月、火星）、宇宙利用, 有人探査	中				
525	健康・医療・生命科学	意識を司る神経回路の解明	意識を司る神経回路の解明			意識, 神経科学, system neuroscience	低				
526	ICT・アナリティクス・サービス	高度なロボット技術（小型センサー、マイクロチップなど）を利用（特に装着）して、人間の身体的能力、老化やハンディキャップによる身体的能力を補った認知能力及び知覚能力を拡張する技術	<b>高度なロボット技術（小型センサー、マイクロチップなど）を利用（特に装着）して、人間の身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張する技術。</b> 老化やハンディキャップによる身体的能力を補った認知能力及び知覚能力を格段に高めたり、人間自体をIoTに組み込んだり、など。			サイバネティックス, ロボティックス, 装着型デバイス	低				
527	環境・資源・エネルギー	非接触で連続的に河川の水質をモニタリングする技術	<b>非接触で連続的に河川の水質をモニタリングする技術。</b>			非接触による水質観測, 水質の自動連続観測, 洪水時の水質モニタリング	中				
528	環境・資源・エネルギー	長距離長時間稼働可能なUAVによる生物サンプル採取	<b>長距離長時間稼働可能なUAVによる生物サンプル採取。</b>			資源エコシステム, 環境保全, 観測・予測	低				
529	都市・建築・土木・交通	国内航空機製造技術	<b>国内航空機製造技術</b> 。現状、日本は航空機を製造するための要素技術は有しているがMRJ（Mitsubishi Regional Jet）の離航によって、実現できない状況が続いている。航空機製造技術は安全保障上、重要であり、国内でできる状況になることが望ましい。			航空機製造, 認証, システムインテグレーション	低				
530	ICT・アナリティクス・サービス	充電操作が不要な携帯端末を実現するため、距離が離れていてもコードレスで充電できるシステム	充電操作が不要な携帯端末を実現するため、 <b>距離が離れていてもコードレスで充電できるシステム。</b>			携帯端末, 充電, コードレス	低				
531			該当なし			該当なし, 該当なし, 該当なし	低				
532	健康・医療・生命科学	運動とアルツハイマー病の関連性	運動とアルツハイマー病の関連性			アルツハイマー, 運動, 加齢	低				
533	農林水産・食品・バイオ	微生物の共進化を維持する仕組みを農地や生態系のいろいろな場所に作っておき、潜在的に病気など甚大な影響を起こす微生物が進化してもすぐにそれを抑える微生物が生じるような共進化が急速に進んで大きな被害に至らない仕組み	微生物の共進化を維持する仕組みを農地や生態系のいろいろな場所に作っておき、 <b>潜在的に病気など甚大な影響を起こす微生物が進化してもすぐにそれを抑える微生物が生じるような共進化が急速に進んで大きな被害に至らない仕組み。</b>			共進化, 生物多様性, 遺伝的多様性	中				

調査資料-325

専門家が注目する科学技術に関するアンケート調査(NISTEP 注目科学技術 2022)

2023 年 2 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所  
科学技術予測・政策基盤調査研究センター

〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館 東館 16 階  
TEL: 03-3581-0605 FAX: 03-3503-3996

A survey of science and technology that experts are focusing on 2022

February 2023

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan

<https://doi.org/10.15108/rm325>



<https://www.nistep.go.jp>