

第11回科学技術予測調査

2050 年の未来につなぐクローズアップ

科学技術領域

—AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせに
よる抽出・分析—

2020 年 6 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所

重茂浩美、蒲生秀典、小柴等

【調査研究体制】

重茂 浩美	科学技術予測センター	上席研究官
蒲生 秀典	科学技術予測センター	特別研究員
小柴 等	第2調査研究グループ	上席研究官

【Authors】

OMOE, Hiromi	Senior Research Fellow, Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT
GAMO, Hidenori	Visiting Researcher, Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT
KOSHIBA, Hitoshi	Senior Research Fellow, 2 nd Policy-Oriented Research Group, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT

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.

重茂浩美, 蒲生秀典, 小柴等, 「2050年の未来につなぐクローズアップ科学技術領域-AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせによる抽出・分析」, *NISTEP RESEARCH MATERIAL*, No. 290, 文部科学省科学技術・学術政策研究所.

DOI: <http://doi.org/10.15108/rm290>

※本報告書は、「第11回科学技術予測調査」の一部である(区分2-3)。

OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori and KOSHIBA, Hitoshi (2020) "Close-up science and technology areas for the future in 2050-Extraction and analysis through a combination of AI-related technologies and expert judges-," *NISTEP RESEARCH MATERIAL*, No.290, National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo.

DOI: <http://doi.org/10.15108/rm290>

2050 年の未来につなぐクローズアップ科学技術領域

—AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせによる抽出・分析—

文部科学省 科学技術・学術政策研究所 重茂浩美、蒲生秀典、小柴等

要旨

本調査研究では、第 11 回科学技術予測調査の一環として 2018～2019 年に実施したデルファイ調査（科学技術の未来像の検討）において選定した 702 科学技術トピックを基にして、科学技術イノベーション政策の観点から大きく取り上げるべきクローズアップ科学技術領域を抽出し、その特徴を分析した。初めに、702 科学技術トピックに対して、AI 関連技術を活用した自然言語処理（分散表現化）と階層的クラスタリング分析を行い、32 の科学技術トピッククラスターをつくった。次に、この科学技術トピッククラスターを目視で定量・定性分析し、専門家会合でのエキスパートジャッジを組み合わせることにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域を抽出した。さらに、これら 16 領域それぞれに属する科学技術トピックについて、デルファイ調査の結果を照らし合わせることで、領域の特徴を分析した。この結果、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域は、社会課題解決あるいは共通基盤技術・システムから成る領域であることが明らかになった。一方、特定分野に軸足をおく 8 領域については、デルファイ調査で設定した 7 分野それぞれでの注目すべき領域として示された。

Close-up science and technology areas for the future in 2050- Extraction and analysis through a combination of AI-related technologies and expert judges -
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT, OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori, KOSHIBA, Hitoshi

ABSTRACT

We extracted close-up science and technology areas which should be promoted from the viewpoint of science and technology innovation policy, based on the 702 science and technology topics for the Delphi survey as part of the 11th Science and Technology Foresight. First, we made 32 science and technology topic clusters with natural language processing (distributed expressions) and hierarchical clustering analysis using AI-related technologies. Next, we conducted quantitative and qualitative analyses of the science and technology topic clusters and extracted 8 science and technology areas with the potential of multidisciplinary and interdisciplinary, and 8 areas based on the specific research field by combination of the above results and the expert judges at professional meetings. Additionally we analyzed the features of the areas by checking the Delphi survey data. As a result, it was revealed that the 8 science and technology areas with the potential of multidisciplinary and interdisciplinary were related to solving social issues or common fundamental technologies and systems. On the other hand, 8 areas based on the specific research fields were indicated as notable areas in 7 fields set by the Delphi survey.

目次

概要.....	i
本編.....	1
1. 調査の背景と目的	1
1.1 本調査の位置づけ、目的	1
1.2 科学技術イノベーション政策において注目される科学技術領域—分野横断・融合領域—.....	1
1.3 クローズアップ科学技術領域の抽出方法—AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ—.....	3
2. 調査の方法.....	5
2.1 ステップ 1: デルファイ調査における科学技術トピックの抽出	6
2.2 ステップ 2: AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの生成)	7
2.2.1 科学技術トピックの自然言語処理.....	8
2.2.2 科学技術トピックのクラスタリング	8
2.2.3 科学技術クラスターとトピックの可視化.....	9
2.3 ステップ 3: 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析	9
2.4 ステップ 4: エクスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出.....	9
2.4.1 専門家会合の開催	9
2.4.2 クローズアップ科学技術領域の抽出	10
2.5 ステップ 5: デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析.....	10
3. 調査の結果.....	14
3.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの生成)	14
3.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析	15
3.3 エクスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出	19
3.3.1 クローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針	19
3.3.2 クローズアップ科学技術領域の抽出と領域に属する主な科学技術トピックの選定.....	19
3.4 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域間の比較—	33
3.4.1 重要度と国際競争力.....	33
3.4.2 科学技術的および社会的実現見通し	35
3.4.3 科学技術的および社会的実現に向けた政策手段	36
3.4.4 まとめ	37
3.5 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—特定分野に軸足を置く 8 領域間の比較—	38
3.5.1 重要度と国際競争力.....	38

3.5.2	科学技術的および社会的実現見通し	39
3.5.3	科学技術的および社会的実現に向けた政策手段	40
3.5.4	まとめ	41
3.6	デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域と特定分野に軸足を置く8領域の比較—	42
3.7	デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—各領域の特徴—	42
3.7.1	領域1: 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	43
3.7.2	領域2: プレシジョン医療 ^{※2} をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング	50
3.7.3	領域3: 先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術	56
3.7.4	領域4: 新規構造・機能の材料と製造システムの創成	63
3.7.5	領域5: ICTを革新する電子・量子デバイス	70
3.7.6	領域6: 宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術	78
3.7.7	領域7: サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	85
3.7.8	領域8: 自然災害に関する先進的観測・予測技術	92
3.7.9	領域A: 新たなデータ流通・利活用システム	99
3.7.10	領域B: 人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術	106
3.7.11	領域C: 次世代通信・暗号技術	112
3.7.12	領域D: 交通に関するヒューマンエラー防止技術	119
3.7.13	領域E: ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	125
3.7.14	領域F: 生態系と調和した持続的な農林水産業システム	133
3.7.15	領域G: 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術	139
3.7.16	領域H: 宇宙と人類の起源を解く基礎科学	146
4.	考察	150
	資料編	1
1.	デルファイ調査で設定した分野別科学技術トピック	1
1.1	健康・医療・生命科学分野	1
1.2	農林水産・食品・バイオテクノロジー分野	3
1.3	環境・資源・エネルギー分野	6
1.4	ICT・アナリティクス・サービス分野	9
1.5	マテリアル・デバイス・プロセス分野	13
1.6	都市・建築・土木・交通分野	16
1.7	宇宙・海洋・地球・科学基盤分野	19
2.	クローズアップ科学技術領域毎のデルファイ調査結果(科学技術的および社会的実現に向けた政策手段)	23
2.1	領域1: 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	23
2.2	領域2: プレシジョン医療 ^{※2} をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング	24
2.3	領域3: 先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術	25
2.4	領域4: 新規構造・機能の材料と製造システムの創成	26
2.5	領域5: ICTを革新する電子・量子デバイス	27

2.6 領域 6: 宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術	28
2.7 領域 7: サークュラーエコノミー推進に向けた科学技術	29
2.8 領域 8: 自然災害に関する先進的観測・予測技術	30
2.9 領域 A: 新たなデータ流通・利活用システム	31
2.10 領域 B: 人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術	32
2.11 領域 C: 次世代通信・暗号技術	33
2.12 領域 D: 交通に関するヒューマンエラー防止技術	34
2.13 領域 E: ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	35
2.14 領域 F: 生態系と調和した持続的な農林水産業システム	36
2.15 領域 G: 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術	37
2.16 領域 H: 宇宙と人類の起源を解く基礎科学	38
3. クローズアップ科学技術領域の概要	39
4. 自然言語処理に関する補足	55
4.1 一般的な文章間の類似度算出の考え方	55
4.2 単純な cos 類似度における課題	55
4.3 単語の分散表現	55
4.4 文章の分散表現	56
5. クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見	57
6. 調査協力者	59
謝辞	
調査体制、執筆担当	

概要

新たな未来を切り拓き、種々の課題を解決していくための科学技術イノベーションが世界的に推進される中で、複数の学問分野を横断・融合する科学技術領域が改めて注目されている。その理由の一つとして、世界的な地球環境問題、人口動態変化への対応、エネルギー・食料・資源の確保など、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問だけでは対処しきれない社会的課題が顕在化し、それらの解決が必要とされていることが挙げられる。また、分野横断・融合領域は科学的課題の解決にもつながり、例えば最先端計測技術と高度情報処理技術との融合により、これまで捉えられなかった物理現象や生物現象を明らかにすることも可能になりつつある。さらに、異分野間の知的な触発や融合による新たな知の創造が期待されている。

こうした背景をふまえ、本調査研究では、科学技術予測調査の一環として 2018～2019 年に実施したデルファイ調査(科学技術の未来像の検討)で選定した 702 科学技術トピックを基にして、科学技術イノベーション政策の観点から大きく取り上げるべきクローズアップ科学技術領域を抽出し、各領域の特徴を分析した。このクローズアップ領域は、上記のような分野横断・融合のポテンシャルの高い領域^{*1}を主対象とするが、個別分野の精緻化・先鋭化による新たな技術領域創出の可能性を考慮して、特定分野に軸足を置く領域も対象としている。

本調査研究では、近年進展が著しい AI 関連技術^{*2}とエキスパートジャッジとを組み合わせることが特徴である。エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出に先立ち、702 科学技術トピックに対して、AI 関連技術を活用した自然言語処理(分散表現化)と階層的クラスタリング分析を行い、トピックをグループ化した。ここで行った自然言語処理には独自の工夫があり、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた 300 次元の単語分散表現(ベクトル)をベースにした。

上記のアプローチを言い換えれば、702 科学技術トピックの中で、類似する単語が出現するトピックは意味的・科学技術的に関連するものとみなし、それらトピック群をグループ化して科学技術クラスターを生成したことになる。この科学技術トピッククラスターを定量・定性的に分析した後、専門家会合でのエキスパートジャッジにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域の計 16 のクローズアップ科学技術領域の双方を抽出した。専門家の目視のみに依存し、702 の科学技術トピック全体を見渡してクローズアップ科学技術領域を抽出することは困難性が高いと考えられたため、AI 関連技術とエキスパートジャッジとを組み合わせることにより、効率的かつ効果的にクローズアップ科学技術領域を抽出した。

さらに、これらのクローズアップ科学技術領域について、各領域に属する主な科学技術トピックをデルファイ調査の結果と照らし合わせることで、各領域の科学技術的な特徴を分析した。その結果、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域では、人間・社会や地球・環境に係る幅広い社会課題に対応した領域と、共通基盤技術・システムから成る領域の双方が挙げられた。また、これら 8 領域の基幹となる科学技術として、多種多様な計測・観測・観察により得られる膨大なデータを処理して評価や予測につなげるための数理科学やデータ科学、量子科学が注目された。一方、特定分野に軸足をおく 8 領域については、デルファイ調査で設定した 7 分野それぞれでの注目すべき領域として示されるとともに、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域との関連性が示された。これらクローズアップ科学技術領域の内容から、本調査研究で開発した AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせによる手法により、科学技術の幅広い分析が可能だと考えられる。

※1 あくまで科学技術トピックに基づき領域を抽出しており、分野を横断・融合する領域であることを直接示していないため、そのポテンシャルの高い領域と位置づける。

※2 本調査研究では、メディア等で AI として語られることの多い機械学習と自然言語処理を中心とした人工知能および関連技術を指す。

1. クローズアップ科学技術領域の抽出・分析法

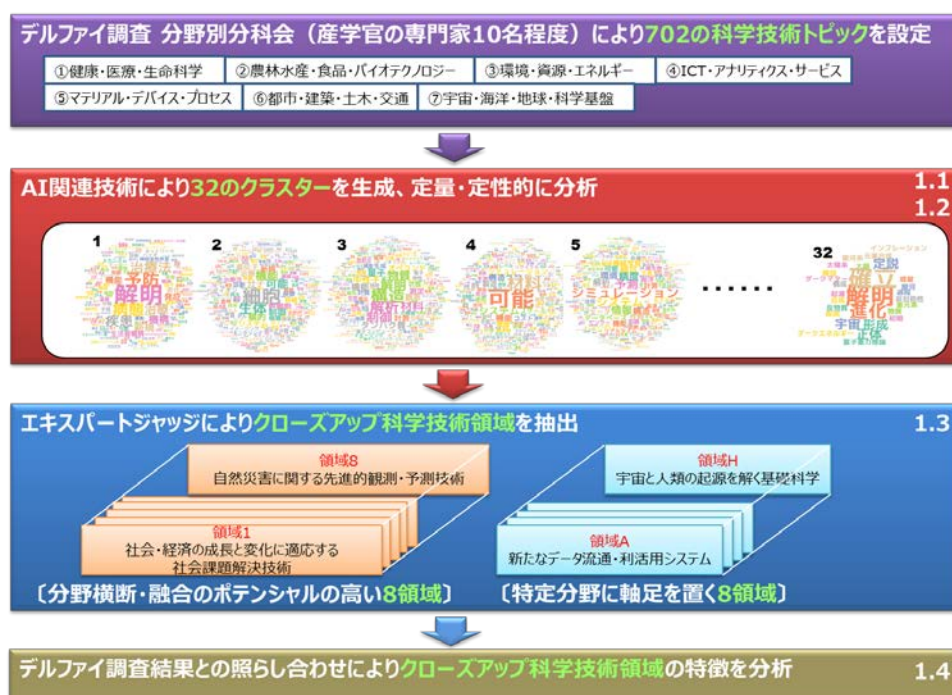
クローズアップ科学技術領域の抽出と分析の流れを概要図表 1 に示す。

クローズアップ科学技術領域の基になったのは、2018～2019 年実施のデルファイ調査で選定した 702 科学技術トピックである（詳細は NISTEP REPORT No.183 を参照のこと）。このデルファイ調査では 7 の科学技術分野を設定し（以下、デルファイ調査の 7 分野）、2050 年までを見据えた研究開発課題として科学技術トピックを選定した。

デルファイ調査の 7 分野は以下の通りである。①健康・医療・生命科学、②農林水産・食品・バイオテクノロジー、③環境・資源・エネルギー、④ICT・アナリティクス・サービス、⑤マテリアル・デバイス・プロセス、⑥都市・建築・土木・交通、⑦宇宙・海洋・地球・科学基盤

デルファイ調査の 7 分野 702 の科学技術トピックの中で、表現が類似するトピック群を意味的・科学技術的に関連するものとみなし、AI 関連技術により分野を横断してグループ化することにより科学技術トピッククラスターを生成（以下 1.1）、定量・定性的に分析し（以下 1.2）、エキスパートジャッジによりクローズアップ科学技術領域を抽出した（以下 1.3）。抽出したクローズアップ科学技術領域それぞれについて、領域に属する主な科学技術トピックとデルファイ調査結果とを照らし合わせることで、領域間の比較分析と各領域の特徴・内容の分析を行った（以下、1.4）。

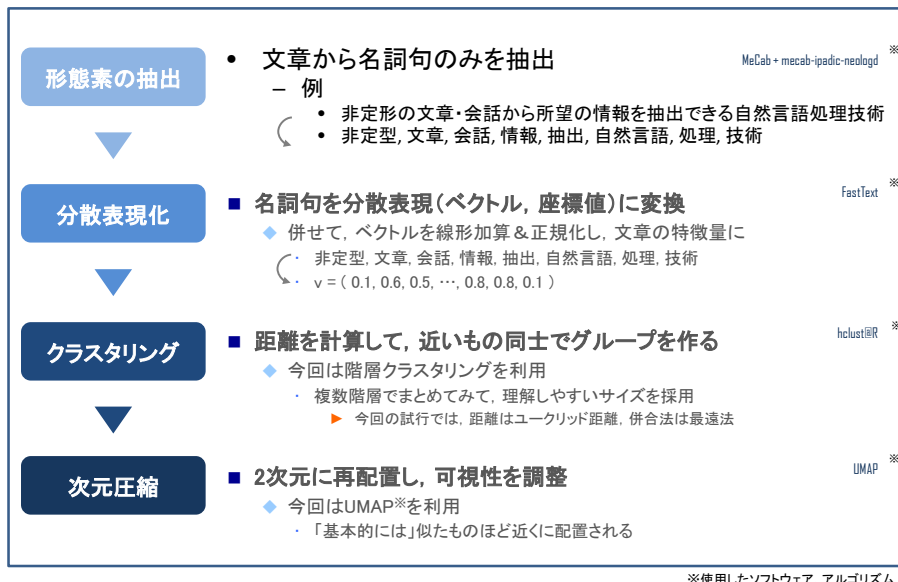
概要図表 1 クローズアップ科学技術領域の抽出と分析の流れ



1.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの生成)

以下に、科学技術トピックのグループ化の流れを示す(概要図表 2)。

概要図表 2 科学技術トピックのグループ化の流れ



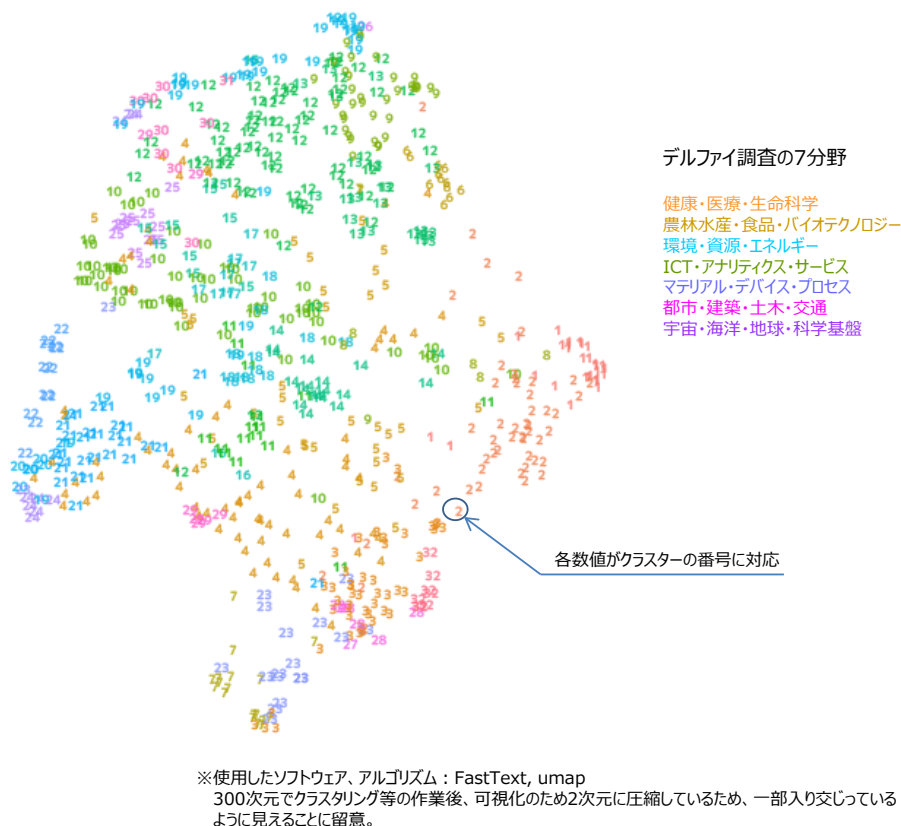
初めに、科学技術トピックに対して、形態素解析(文章を、意味を持つ最小単位に分解)によって名詞句の抽出を行った(概要図表 2 の「形態素の抽出」)。

次に、これらの名詞句に基づいて、科学技術トピックのベクトル化を行った。ここでは、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた 300 次元の単語分散表現(ベクトル)を基に、各トピックの特徴量を算出した(概要図表 2 の「分散表現化」)。

上記の科学技術トピックの特徴量を用いて、階層的クラスター分析により類似するトピックをグループ化した。この分析でのクラスター数については、2、4、8、16、32、64、128 など複数のレベルで分割し、それぞれのレベルで人間の解釈の容易性や意味的妥当性などを考慮して 32 分類を採用し、結果として 32 の科学技術トピッククラスターを生成した(概要図表 2 の「クラスタリング」)。

最後に、上記の結果を可視化した。まず、702 科学技術トピックと 32 科学技術トピッククラスターのマッピングのために次元圧縮を行った。前述の通り科学技術トピックの特徴量は 300 次元のベクトルであるため、次元圧縮して 2 次元に変換した(概要図表 2 の「次元圧縮」)。その結果を概要図表 3 に示す。

概要図表 3 32 の科学技術トピッククラスターと 702 の科学技術トピックのマッピング



次に各科学技術クラスターの特徴を示すための可視化を行った。クラスター単位で科学技術トピックについて名詞句の出現数をカウントし、出現数と文字の大きさを対応づけたワードクラウドとして出力した。

1.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性的分析

32 の科学技術トピッククラスターの特徴を示すために、クラスターの定量・定性的分析を目視で行った。具体的には、科学技術トピックの数と、そのトピックが属する分野(デルファイ調査の7分野のうち、いずれかの分野)の数を定量的に分析した。

さらに定性分析として、科学技術トピッククラスターの科学技術的な特徴を分析し、クラスター名を暫定的に付与した。

1.3 エキスパートジャッジによる科学技術トピッククラスターからのクローズアップ科学技術領域の抽出

クローズアップ科学技術領域を抽出するために、デルファイ調査の7分野毎に設置した分科会(概要図表1の分野別分科会)の座長から構成される専門家会合を開催した(2019年2月28日および3月5日)。

専門家会合では、まず科学技術トピッククラスターからクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を策定した。その指針は以下の通りである。

- 少なくとも2分野以上の科学技術トピックを10程度以上含み、分野横断・融合のポテンシャルが高いと考えられる科学技術領域を主対象。一方、1ないし2分野のトピックを10程度以上含む領域は、特定分野に軸足を置く科学技術領域として考慮
- 科学的・社会的課題を解決する上で重要な科学技術領域を対象
- 科学技術領域全体を見た上でのバランスを考慮

上記の指針、および1.1と1.2の結果、エキスパートジャッジの組み合わせにより、科学技術的な観点から、各科学技術トピッククラスターの妥当性を評価した。その結果を基に、科学技術的に内容が近似するクラスターを適宜統合するなどの再構築を行い、分野横断・融合のポテンシャルの高い8のクローズアップ科学技術領域を抽出した。加えて、特定分野に軸足を置く8のクローズアップ科学技術領域も抽出した。

各クローズアップ科学技術領域に対し、それぞれ領域名を付与し、かつ1領域あたり10の科学技術トピックを代表的なトピックとして選定した（一部領域は5トピックを選定。以降、領域の主な科学技術トピックとする）。計16のクローズアップ科学技術領域は、第11回科学技術予測調査全般のアドバイザリーボードである科学技術予測調査検討会にて確定した（2019年6月4日開催、主査は国立研究開発法人科学技術振興機構理事長 濱口道成氏）。

1.4 デルファイ調査結果との照らし合わせによるクローズアップ科学技術領域の特徴分析

1.3で選定した各クローズアップ科学技術領域の主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答内容を分析することにより（概要図表4）、領域間の比較と、各領域の特徴・内容の分析を行った。分析を進めるにあたり、デルファイ調査の分野別分科会の座長、委員、ワーキンググループメンバー、NISTEPの客員研究官、外部機関の専門家から関連資料や助言を得た。

概要図表4 デルファイ調査での科学技術トピックに対する質問項目と分析方法

項目	内容	選択肢	分析方法
重要度 (単数選択)	30年後の望ましい社会を実現する上で、日本にとっての現在の重要度	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない	非常に高い(+2)、高い(+1)、どちらでもない(0)、低い(-1)、非常に低い(-2)として算出（わからない、を除く）
国際競争力 (単数選択)	現在の日本が置かれた国際競争力の状況	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない	非常に高い(+2)、高い(+1)、どちらでもない(0)、低い(-1)、非常に低い(-2)として算出（わからない、を除く）
科学技術の実現見通し (単数選択)	日本を含む世界のどこかで科学技術的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない	時期回答（実現済、実現しない、わからないを除く）の四分位数を算出
科学技術の実現に向けた政策手段 (複数選択可)	科学技術的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、倫理的課題への対応、その他	選択率（選択数／回答数）を算出
社会的実現見通し (単数選択)	日本を含む世界のどこかで科学技術的な実現に続き、日本で社会的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない 時期回答（実現済、実現しない、わからないを除く）の四分位数を算出	時期回答（実現済、実現しない、わからないを除く）の四分位数を算出
社会的実現に向けた政策手段 (複数選択可)	日本での社会的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、事業補助、事業環境整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、倫理的・法的・社会的課題への対応、その他	選択率（選択数／回答数）を算出

* 科学技術の実現とは、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う、例えば、研究室段階で技術開発の見通しがつくこと。または、原理・現象が科学的に明らかにされること。
 * 社会的実現とは、実現された技術が製品やサービス等として利用可能な状況となること。トピックによっては普及すること。科学技術以外のトピックであれば、制度が確立する、倫理規範が確立する、価値観が形成される、社会的合意が形成される等。日本社会での実現ではなく、日本が主体となっていく国際的な活動により実現する場合も含む。

2. クローズアップ科学技術領域の概要

2.1 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域

各領域の名称と概要、領域の基になった科学技術トピッククラスターの特徴を示すワードクラウドを概要図表 5 に示す。人間・社会あるいは地球・環境に関係する、幅広い社会課題に対応した領域が抽出されるとともに(領域 1、2 あるいは領域 6、7、8)、共通基盤技術・システムからなる領域が抽出された(領域 3、4、5)。これら 8 領域の基幹となる科学技術として、多種多様な計測・観測・観察により得られる膨大なデータを処理して評価や予測につなげるための数理学やデータ科学、量子科学が挙げられた。

概要図表 5 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 のクローズアップ科学技術領域の名称と概要

領域 No.	名称	
	ワードクラウド(科学技術クラスター)	概要
1	社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	より多様化・複雑化する社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)に対し、情報処理技術と数理学を駆使してモデル化・シミュレーションすることにより理解し、その制御につなげる科学技術領域
2	プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング	遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮するプレジジョン医療をめざした、ヒト生体での多様な相互作用を総合的に理解するバイオモニタリングと、その結果に基づき医療技術を開発するバイオエンジニアリングから成る科学技術領域
3	先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術	これまで見えなかったものの観測や観察を可能とする先端計測と、シミュレーション・インフォマティクス・AIなどの情報科学を融合することで、科学的解明や創薬・触媒・材料・農作物などの幅広い実用分野での技術開発につなげる科学技術領域
4	新規構造・機能の材料と製造システムの創成	地球・環境に関わる社会課題の解決や人間の QOL 向上など、将来社会の個人や社会の多様なニーズに応え、マス・カスタマイゼーションを可能とする先進製造・流通システムによって、新たな価値創造をもたらすことが期待される、ものづくりの基盤となる要素技術からなる科学技術領域




5	ICT を革新する電子・量子デバイス	人間と機械の関係の深化・融合の基盤となるヒューマン・マシン・インターフェースや IoT におけるセンシング・環境負荷の少ない高度 ICT システムを支える高効率・高速デバイスなどの新たな材料・機能を有する電子デバイス、さらには、膨大な情報処理能力を有し、生体などを高精度・非侵襲で計測・センシングができると期待される量子デバイスに関わる科学技術領域
6	宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術	宇宙と地上から広範に地球を観ることにより、地球環境や資源に関する理解を深め、その変動を予測する能力を高めて、エネルギー・資源の探索・管理や自然災害などに対する危機管理につなげる科学技術領域
7	サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	消費された資源を回収して再生・再利用し続けることで経済成長を実現する新たな経済モデル「サーキュラーエコノミー」の推進に向けた、再生可能エネルギー、廃棄物の削減・リサイクル、シェアリングなどの多様な技術・システムに関わる科学技術領域
8	自然災害に関する先進的観測・予測技術	近年わが国で多発する地震・火山噴火・豪雨など自然災害の原因を究明する基礎研究、それら災害の発生予測技術、国土の保全・設計に関わる科学技術が含まれ、誰一人取り残さない災害被害の回避につなげるための科学技術領域

2.2 特定分野に軸足を置く 8 領域

各科学技術領域の名称と概要、領域の基になった科学技術トピッククラスターの特徴を示すワードクラウドを概要図表 6 に示す。これら領域は、1.で示したデルファイ調査の 7 分野それぞれにおける注目すべき科学技術として挙げられた。

概要図表 6 特定分野に軸足を置く 8 のクローズアップ科学技術領域の名称と概要

領域 No.	名称	
	ワードクラウド(科学技術クラスター)	概要
A	新たなデータ流通・利活用システム	
		産業・医療・教育に関わるデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量のデータについて、その保護と利活用とのバランスを図りつつ、収集・共有・分析・活用する科学技術領域
B	人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術	
		自律化、情報端末化、ネットワーク化するロボットを人間社会に溶け込ませて活用することにより、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を支援・拡張する科学技術領域
C	次世代通信・暗号技術	
		データ利用が増大する将来社会に向け、生活および産業全般に及ぶインフラとして不可欠となる、高速・大容量データが利用可能な無線・有線および移動体に関する次世代の通信技術、広範な分野でのデータ利用におけるセキュリティを支える高度な暗号技術からなる科学技術領域
D	交通に関するヒューマンエラー防止技術	
		陸空海の交通において、人間の負担を軽減しながら安全・効率のかつ交通容量を拡大するための、ICT による交通システムの智能化に基づく車両・航空機・船舶等の移動体の無人運転・操縦・運航に関する科学技術領域
E	ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	
		健康寿命の延伸をめざした生涯にわたる健康支援(ライフコース・ヘルスケア)のために、ヒトの胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえ、各年齢ステージでの疾病の適切な予防・治療を施すというライフコース・アプローチの概念に基づいた、疾病に関する遺伝的要因、環境要因、社会的要因の研究、老化・機能低下のメカニズム研究、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発に関する科学技術領域

F	生態系と調和した持続的な農林水産業システム		生態系が人類に提供する便益としての生態系サービスの持続的・効果的利用による、データ駆動型アプローチと、地域コミュニティ・地域リソースとの関係に基づく農林水産業の発展に向けた科学技術領域
G	持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術		持続可能な社会を構築するために、生活や産業の基盤となる将来のエネルギー技術として、CO ₂ を排出する化石燃料から脱却し、再生可能エネルギーへの転換に不可欠となるエネルギーの要素技術に関する科学技術領域
H	宇宙と人類の起源を解く基礎科学		21 世紀に入り急速に発展した宇宙物理学において、未だ謎となっている宇宙に関わる種々の現象や存在について基礎科学的な解明を目指す科学技術領域

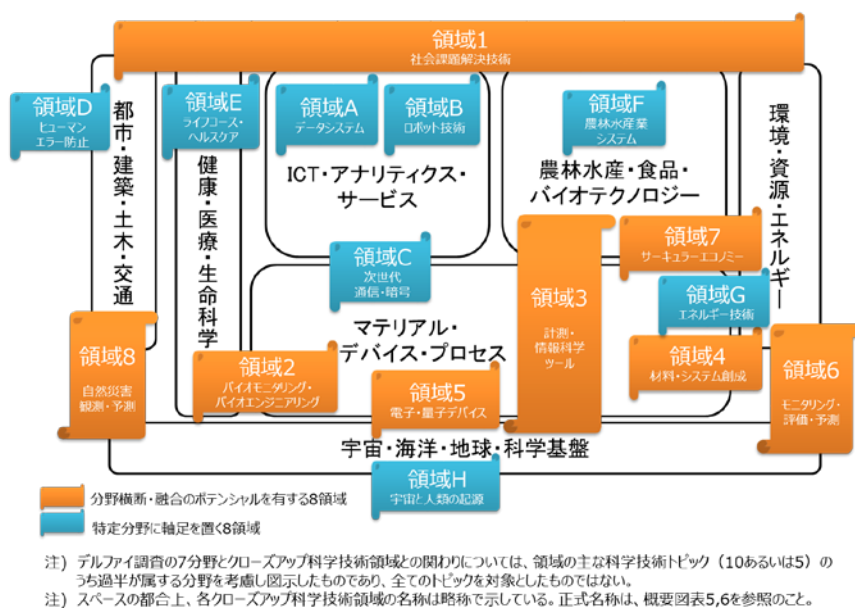
3. デルファイ調査結果からみえるクローズアップ科学技術領域の特徴—分野の横断と領域間のつながり—

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域とデルファイ調査の 7 分野との関係性を分析したところ、それぞれの領域は複数のデルファイ調査の分野に関わり、特に領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」はデルファイ調査の 5 分野と広範に関わっていた(概要図表 7 のオレンジの領域)。

一方、特定分野に軸足を置く 8 領域とデルファイ調査の 7 分野の関係性は、単一あるいは 2 分野の関わりに留まった(概要図表 7 のブルーの領域)。

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域との間では、幾つかのデルファイ調査の分野を介して科学技術的な関連性が示された。領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」、領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」、領域 B「人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術」、領域 C「次世代通信・暗号技術」は、ICT・アナリティクス・サービス分野に関わる領域として、領域間のつながりが示された。領域 2「プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング」と領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」は、健康・医療・生命科学分野に関わる領域であり、前者はミクロレベル(分子レベル)、後者はマクロレベル(個体・集団レベル)の領域である。領域 4「新規構造・機能の材料と製造システムの創成」、領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」、領域 G「持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術」は、環境・資源・エネルギー分野に関わる領域として関係性が示された。

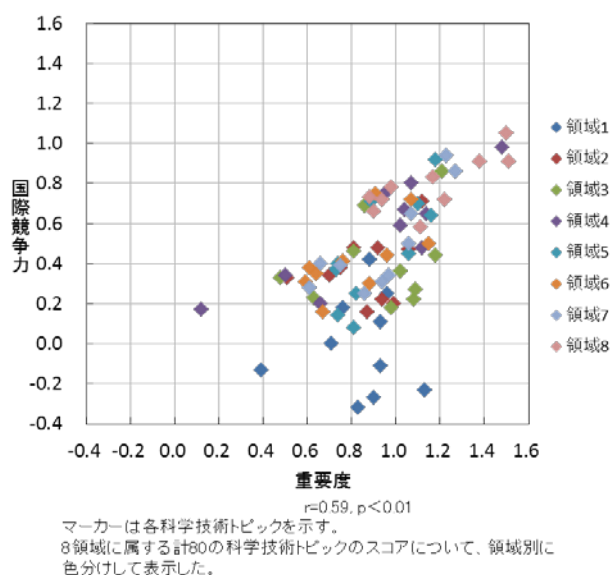
概要図表 7 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 のクローズアップ科学技術領域、および特定分野に軸足を置く 8 領域とデルファイ調査の 7 分野との関係



4. デルファイ調査結果からみえるクローズアップ科学技術領域の特徴—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域—

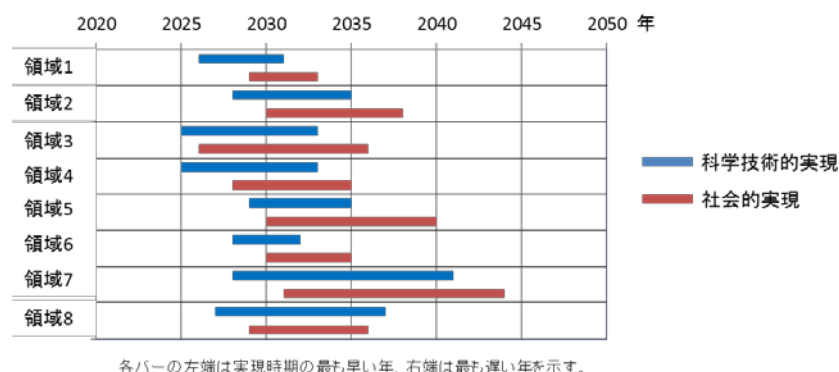
分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域では、重要度と国際競争力との間で比較的強い正の相関が見られたことが特徴である。重要度と国際競争力ともに最も高かった領域は、領域 8「自然災害に関する先進的観測・予測技術」であった（概要図表 8）。

概要図表 8 主な科学技術トピックの重要度と国際競争力—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域—



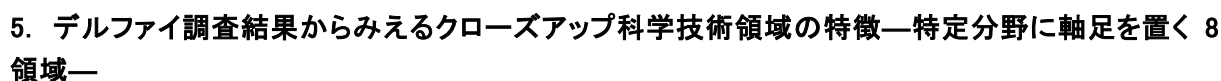
各領域の主な 10 科学技術トピックのうち、科学技術的および社会的実現見通し時期が最も早いトピックと最も遅いトピックの時期の幅（本調査研究では実現期間とする）を分析し、領域間で比較した。実現期間が短い領域は短期集中的な推進方策が求められる一方、実現期間が長い領域は中長期的な推進方策が求められていると考えられる。分析の結果、科学技術的な実現期間が最も短いのは領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」の 4 年、社会的な実現期間が最も短いのは領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」の 4 年であった。一方、科学技術的および社会的ともに実現期間が最も長いのは領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」の 13 年であった（概要図表 9）。

概要図表 9 科学技術的および社会的実現見通し—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域



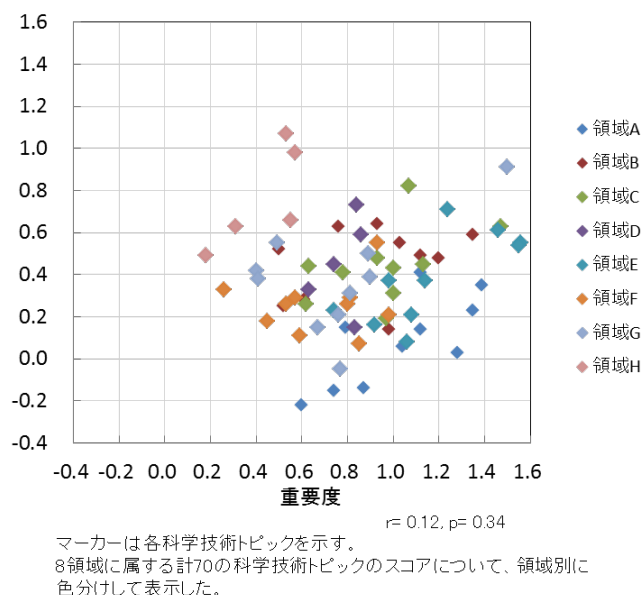
科学技術的および社会的実現に向けた政策手段に共通する傾向として、「国内連携・協力」は領域 8「自然災害に関する先進的観測・予測技術」、「国際連携・標準化」は領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、「法規制の整備」と「ELSI 課の対応」は領域 1「社会・

概要図表 10 科学技術の実現および社会的実現に向けた政策手段—分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域—



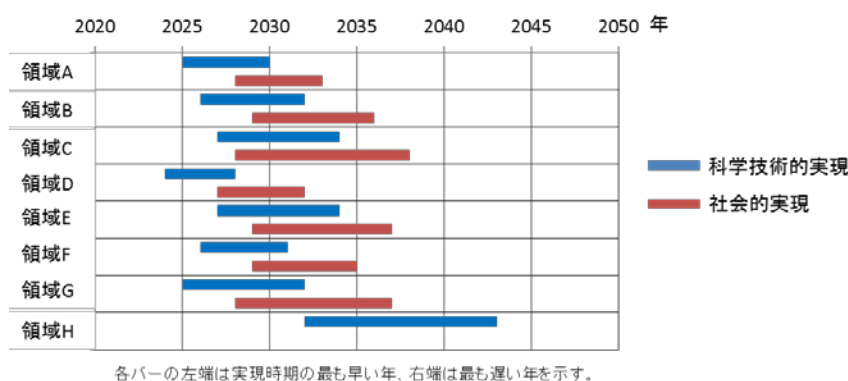
xii

概要図表 11 主な科学技術トピックの重要度と国際競争力—特定分野に軸足を置く 8 領域—



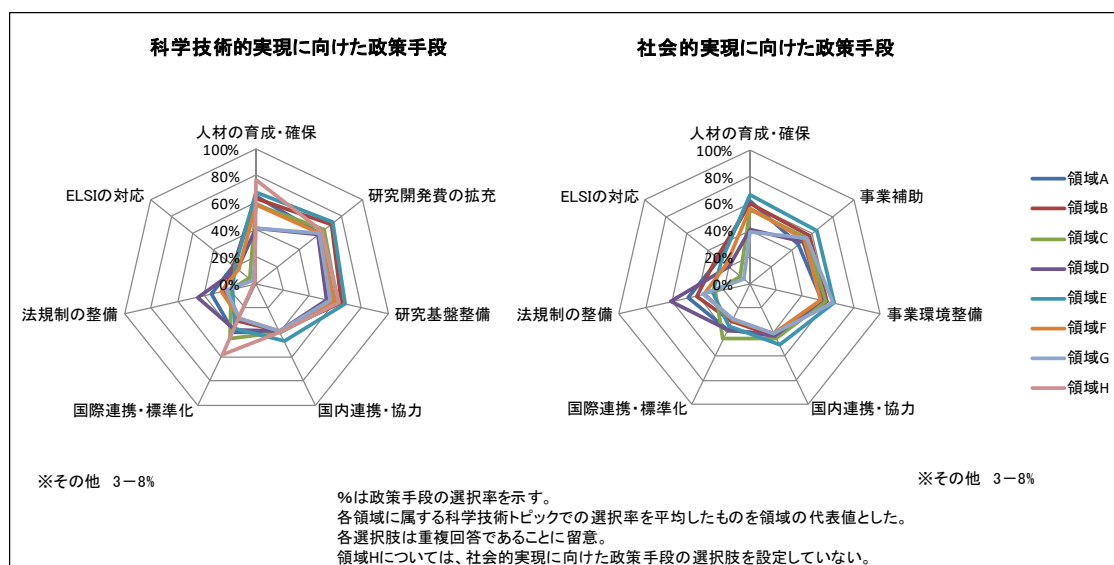
領域の主な科学技術トピックのうち、科学技術的および社会的実現見通し時期が最も早いトピックと最も遅いトピックの時期の幅(実現期間)を分析し、領域間で比較した。実現期間が短い領域は短期集中的な推進方策が求められる一方、実現期間が長い領域は中長期的な推進方策が求められていると考えられる。分析の結果、科学技術的および社会的ともに実現期間が最も短いのは領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」で、それぞれ 4 年、5 年であった。一方、科学技術的な実現期間が最も長いのは領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」の 11 年で、社会的な実現期間が最も長いのは領域 C「次世代通信・暗号技術」の 10 年であった(概要図表 12)。

概要図表 12 科学技術的および社会的実現見通し—特定分野に軸足を置く 8 領域—



科学技術的、および社会的実現に向けた政策手段に共通する傾向として、「研究開発費の拡充」と「事業補助」、「研究基盤整備」と「事業環境整備」、「国内連携・協力」は、領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」で最も選択割合が高く、「法規制の整備」は領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」で最も選択割合が高かった(概要図表 13)。

概要図表 13 科学技術的実現および社会的実現に向けた政策手段—特定分野に軸足を置く 8 領域—



本編

1. 調査の背景と目的

1.1 本調査の位置づけ、目的

科学技術・学術政策研究所(NISTEP)は、科学技術の中長期的発展の方向性を把握する目的で、1971年からおよそ5年毎に科学技術予測調査を実施している。2017年には、第6期科学技術基本計画を始めとする科学技術イノベーション政策の検討に資することを目的として、第11回科学技術予測調査を開始した。この予測調査は、社会の未来像の検討(ビジョニング)と科学技術の未来像の検討(デルファイ調査)¹、それら未来像を合わせた科学技術の発展による社会の未来像の検討(シナリオ)から成る。

この第11回科学技術予測調査の一環として、本調査研究では、将来社会に向けて我が国が研究開発を推進すべき領域を提起する目的で、2018～2019年に実施したデルファイ調査を基に、領域の抽出・分析を行った。デルファイ調査については、本報告書2.5にて概要を紹介するが、詳細はNISTEP REPORT No.183を参照されたい。

1.2 科学技術イノベーション政策において注目される科学技術領域—分野横断・融合領域—

新たな未来を切り拓き、種々の課題を解決していくための科学技術イノベーションが世界的に推進される中で、複数の学問分野を横断・融合する科学技術領域が改めて注目されている。その理由の一つとして、世界的な地球環境問題、人口動態変化への対応、エネルギー・食料・資源の確保など、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問だけでは対処しきれない社会的課題が顕在化し、それらの解決が必要とされていることが挙げられる。また、分野横断・融合領域は科学的課題の解決にもつながり、例えば最先端計測技術と高度情報処理技術との融合により、これまで捉えられなかった物理現象や生物現象を明らかにすることが可能になりつつある。さらに、異分野間の知的な触発や融合による新たな知の創造が期待されている。

諸外国での分野横断・融合に関する取組の一例として、2016年に米国国立科学財団(NSF)が公表した「将来のNSFの投資のための10のビッグアイデア」(10 Big Ideas for Future NSF Investments)が挙げられる。この背景として、NSFのウェブサイトでは以下の記載がある。「我々は今後数十年を展望し、大きな問いかけが何かを構想することによりNSFの長期的な研究アジェンダを導き出さなければならない。その問いかけへの対応は、未来の世代が基礎的な科学工学研究から継続して利益を得ることを確かなものとするものである」(和訳は、遠藤悟氏の「NSFの10のビッグアイデア」から引用)^{2,3}。

10のビッグアイデアでは、4つのプロセスアイデアと(Growing Convergent Research at NSF, NSF Includes: Enhancing Science and Engineering through Diversity, NSF2050: The Integrative Foundational Fund, Mid-scale Research Infrastructure)と6つの研究アイデア(Understanding the Rules of Life: Predicting Phenotype, Shaping the New Human Technology Frontier, Windows on the universe: The Era of Multi-messenger Astrophysics, Navigating the New Arctic, Harnessing

¹ 2050年までの科学技術発展の方向性に関して、webアンケートにより専門家の見解を収集する調査。同じ質問を繰り返して回答を収れんさせるデルファイ法を採用。2018～2019年実施のデルファイ調査では、7分野を設定し、各分野10名程度の専門家により将来に実現が期待される702の科学技術トピック(研究開発課題・プロジェクトの内容を簡潔に表現したもの)を設定。それら702の科学技術トピックに対して、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し等を質問項目としたwebアンケートを実施。

² 10 Big ideas for Future NSF Investments (https://www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf)

³ 遠藤悟、NSFの10のビッグアイデア (http://endostr.la.coocan.jp/sci-ron-NSF_10Big-Ideas.pdf)

Data for 21st Century Science and Engineering, The Quantum Leap: Leading the Next Quantum Revolution)が提起されている。前者のプロセスアイデアの例では、多様な分野知識を統合することによりイノベーションや発見をもたらすコンバージェンスの研究拡大が掲げられており(Growing Convergent Research)、グランドチャレンジの解決に向けて分野を超えた統合の促進を目指している。後者の研究アイデアの例では、「生命のルールを理解:表現型の予測」(Understanding the Rules of Life: Predicting Phenotype)が提起されており、これを推進するためには生物学、コンピュータ科学、数学、物理科学、行動科学および工学を横断する研究のコンバージェンスが必要だとしている。

英国では、英国研究・イノベーション機構(UKRI)が学際型研究プログラム(Multidisciplinary programmes)として6優先領域(Priority area)における研究開発プロジェクトに資金を助成している(Digital Economy, Energy, Global Food Security, Tackling Antimicrobial Resistance, Technology Touching Life, Urban Living Partnershipの6領域)⁴。UKRIは、分野横断的なアプローチが今後10～20年かけて大型の研究課題の多くを解決するために必要だとしている。

我が国では、第2期科学技術基本計画(2001～2005年、以下、基本計画)⁵において、「新しい科学技術は異なる分野の手法や考え方の間の触発や融合の中から生まれることが多いので、研究開発の推進にあたり境界領域や融合領域に特に留意する必要がある」として、学際的・分野融合的な研究を振興してきた。第3期(2006年～2010年)、第4期(2011～2015年)の基本計画においても、その取組は継承されている。現行の第5期基本計画(2016～2020年)⁶では、「我が国が世界の中で存在感を発揮していくため、学際的・分野融合的な研究や国際共同研究を推進する」ことが示された。さらに同基本計画では、「研究者の内在的動機に基づく学術研究は、新たな分野横断的・融合的領域を創出するとともに、幅広い分野でのイノベーション創出の可能性を有している」ことから、「挑戦性、総合性、融合性および国際性の観点から改革と強化を進めていく」としている。これらの基本計画を受けて、例えば文部科学省では、2006年度に開始した先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラムにおいて先端的な融合領域における拠点の形成を支援してきた⁷。2013年度に開始した同省の革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)では、ハイリスクではあるものの実用化の期待が大きい異分野融合・連携型の基盤的テーマに対して集中的な支援を行っている⁸。2018年には、こうした異分野融合を推進するための方策を検討する一助として、国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター(JST/CRDS)が「Beyond Discipline JST/CRDSが注目する12の異分野融合領域・横断テーマ」を公表した⁹。

上記の国内外の取組を背景に、本調査では、科学技術イノベーション政策の観点から分野横断・融合領域に着目し、そのポテンシャルの高い領域を抽出した。一方、第5期基本計画では「研究者の内在的動機に基づく学術研究は、新たな分野横断的・融合的領域を創出するとともに、幅広い分野でのイノベーション創出の可能性を有している」と明記されていることをふまえ、個別分野の精緻化・先鋭化による新たな技術領域創出の可能性を考慮して、特定分野に軸足を置く領域についても

⁴ UK Research and Innovation, Themes and programmes (<https://www.ukri.org/research/themes-and-programmes/>)

⁵ 第2期科学技術基本計画 (<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/honbun.html>)

⁶ 第5期科学技術基本計画 (<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>)

⁷ 先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム (<http://www.jst.go.jp/shincho/sentanyugo/>)

⁸ 科学技術振興機構、センター・オブ・イノベーションプログラム (<http://www.jst.go.jp/coi/outline/outline.html>)

⁹ 科学技術振興機構研究開発戦略センター Beyond Discipline JST/CRDS が注目する12の異分野融合領域・横断テーマ、
<https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2018-RR-02.html>

抽出した。

本調査研究では、上記の分野横断・融合のポテンシャルの高い領域と特定分野に軸足をおく領域について、科学技術イノベーション政策の観点より大きく取り上げるべき領域という意味を込めて、クローズアップ科学技術領域と呼ぶことにする。

1.3 クローズアップ科学技術領域の抽出方法—AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ—

上記の分野横断・融合に向けた国内外の取組では、科学技術政策的な位置づけ、科学的・社会的課題の状況、研究助成機関における課題、支援の方向性やシステムなど様々な観点から、研究開発事業の対象とする科学技術領域が選定されてきた。

NSF による 10 のビッグアイデアの場合、NSF の director、chief operating officer、局 (research directorate) の assistant director などにより、未来の科学の方向性に関して部局横断的な議論を重ねて出された多くのアイデアが源泉だと報告されている (American Institute of Physics のサイトに載った Córdova NSF 長官の発言記録より)。

JST/CRDS が提唱する 12 の異分野融合領域・横断テーマの場合は、近年の研究開発を俯瞰する過程でフォローしているテーマ、戦略プロポーザルで提言したテーマ、提言を進めつつあるテーマなど、一定の問題意識を持つものや調査分析を進めているものの中から選出したと報告している。これらの報告から、分野横断・融合を進める上で注目される領域を選定する際には、各組織における研究支援活動や調査分析から得られたデータ、研究開発を支援する中でのノウハウや組織内外のネットワークが最大限に活用されていることがうかがえる。

本調査研究では、上述の NSF や JST/CRDS での取組を参考に、1971 年からおよそ 5 年毎に実施してきた科学技術予測調査の結果を有効活用することにより、クローズアップ科学技術領域を抽出・分析した。具体的には、2018～2019 年実施のデルファイ調査で設定した 702 の科学技術トピックについて、類似する単語が出現するトピックは意味的・科学技術的に関連するものとみなしてグループ化し、クローズアップ科学技術領域を抽出した。その後、各クローズアップ科学技術領域に属する代表的な科学技術トピックに対し、デルファイ調査で得られた専門家の見解を付加することにより、科学技術領域間の比較分析と、個々の科学技術領域の特徴や内容の分析を行った。

クローズアップ科学技術領域の基になった科学技術トピックは、2050 年までを見据えた研究開発課題として、NISTEP 科学技術予測センターが 7 つの分野毎に設置した 10 名程度の産学官に属する専門家で構成される分科会にて選定したものである (詳細は 2.1 参照)。科学技術トピックは各分科会で選定されたが、必ずしも一つの分科会で閉じることなく、分科会間で情報共有しながら選定されたため、複数分野において関連するトピックが数多く選定された。これら関連する科学技術トピックをグループ化することにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術領域を抽出した (あくまで関連する科学技術トピックをグループ化して構築した領域であり、分野を横断・融合する領域であることを直接示していないため、そのポテンシャルの高い領域と位置づける)。要は、各分野に基づいて設定した科学技術トピックに分野横断の横串を刺して、クローズアップ科学技術領域を設定したことになる。

本調査研究では、近年の進展が著しい AI 関連技術とエキスパートジャッジを組み合わせたことが特徴である。エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出に先立ち、AI 関連技術

を利活用した自然言語処理とクラスタリング分析を行い、科学技術トピックをグループ化した。専門家の目視のみに依存して、702 の科学技術トピック全体を見渡しグループ化することは困難性が高いと考えられたため、エキスパートジャッジへのサポートを意図して、AI 関連技術を利用した。こうした AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ手法については、欧州委員会でのフォーサイトにも採用され始めており¹⁰、今後さらに活用の方が広がり発展すると期待される。

¹⁰ European Commission, 100 Radical innovation breakthroughs for the future. May 2019, https://ec.europa.eu/info/files/100-radical-innovation-breakthroughs-future_en

2. 調査の方法

まず、本調査研究で言う「AI 関連技術」について以下で説明・定義する。

AI は Artificial Intelligence (人工知能) を意味する。調査研究執筆時点の 2019 年において、AI は一般用語としてメディア報道等でも広く用いられている。一方で、AI の定義は困難で専門家の間でも統一された定義は確立していない¹¹。強いて言えば“人工的に作られた知能、もしくは人工的に知能を作ろうとする取組”が人工知能とされる。この定義に従えば、知能の生成を意図して、知能を対象にした研究はすべて人工知能研究ということになる。実際、人工知能の研究は哲学や心理学、認知科学、神経生理化学、など様々な領域の研究者によって行われており、アプローチも多様である。したがって、人工知能・AI といったときに、それが意味するものは必ずしも明確では無い。

ところで、昨今メディアで多く取り上げられるような「いわゆる AI」は人工知能の研究者などが呼称するところの AI とは必ずしも一致していない。ここでは深層学習を含む統計的機械学習 (以下、機械学習という) を中心に、自然言語処理などを加味したものを指して AI と呼称している様に観察される¹²。機械学習や自然言語処理はそれ自体が情報工学などの学問分野における研究テーマであると同時に、人工知能研究にも用いられるものであり、人工知能研究という視点からは部分集合として分類することも可能である。したがって、昨今メディア等で用いられる AI という呼称は必ずしも間違いではないものの、AI そのものとも言いがたい。

そこで本調査研究ではメディア等で AI として語られることの多い機械学習と自然言語処理を中心とした人工知能および関連技術を「AI 関連技術」と呼称する。

クローズアップ科学技術領域の抽出の全体像を図表 1 に示す。初めに、第 11 回科学技術予測調査の一環として実施したデルファイ調査にて選定した 702 の科学技術トピックを抽出し (ステップ 1)、AI 関連技術を用いた自然言語処理とクラスタリング分析により、複数分野で類似するトピックを科学技術的に関連するものとみなして機械的にグループ化した。具体的には、個々の科学技術トピックを分散表現化・マッピングした後、科学技術トピック間の距離を計算して近いもの同士でクラスタリングした (科学技術トピッククラスターの生成)。その後、科学技術トピックの全体的構造とクラスタリングの結果の概観、および各クラスターの特徴を示すための可視化を行った (ステップ 2)。

次に、これら科学技術トピッククラスターの特徴を示すために、クラスターの定量・定性的分析を目視で行った。具体的には、科学技術トピックの数と、そのトピックが属する分野の数を定量的に分析した。また定性分析として、科学技術トピッククラスターの特徴を示すための名称を暫定的に付与した (ステップ 3)。

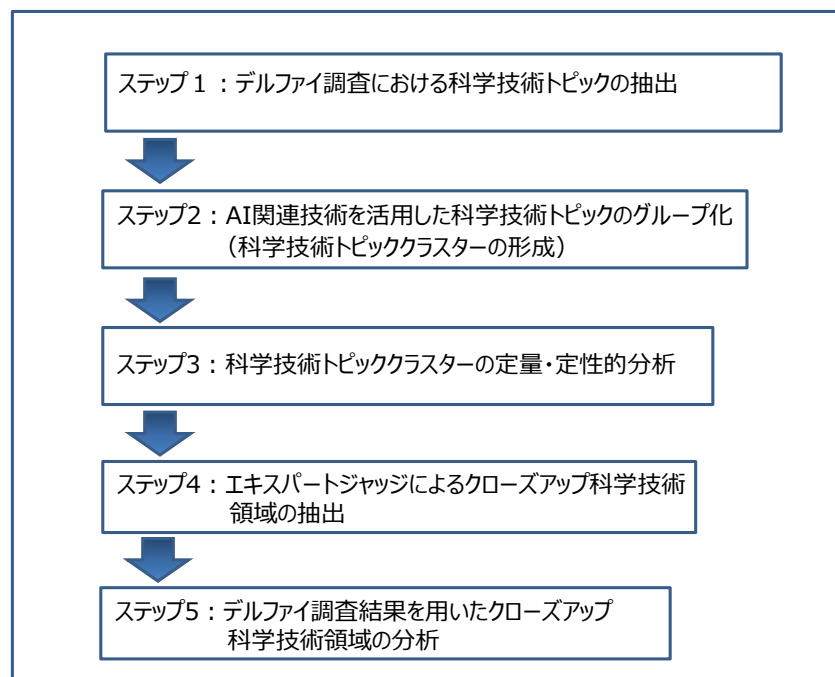
その後、専門家会合を開催し、ステップ 2 と 3 の分析結果とエキスパートジャッジにより、各科学技術トピッククラスターに対して科学技術的な観点から妥当性を評価した。この評価結果に応じてクラスターを適宜再構築し、クローズアップ科学技術領域を抽出した。このクローズアップ科学技術領域毎に名称と概要を付与し、領域毎に属する主な科学技術トピック 10 程度を選定した (ステップ 4)。

最後に、クローズアップ科学技術領域の特徴を明らかにするために、領域毎に属する主な科学技術トピックに対してデルファイ調査結果を照らし合わせることで、領域間の比較分析と各領域の特徴と内容の分析を行った (ステップ 5)。

¹¹ 松尾豊他, 人工知能とは (監修: 人工知能学会), 近代科学社 (2016)

¹² 鳥海 不二夫: 人工知能技術を俯瞰する, 立法と調査, 参議院常任委員会調査室・特別調査室, 2018.10 No.405 (2018)

図表 1 クローズアップ領域抽出の流れ



2.1 ステップ1:デルファイ調査における科学技術トピックの抽出

まず、第11回科学技術予測調査におけるデルファイ調査で選定した科学技術トピック全702を抽出した(資料編1にて科学技術トピックリストを示す)。このデルファイ調査では、以下7分野を設定し、それら分野毎に設置した7分科会において(1分科会につき10名程度の産学官の専門家で構成、計74名)、2050年までを見据えた研究開発課題として科学技術トピックを選定した。

【7分野】

①健康・医療・生命科学、②農林水産・食品・バイオテクノロジー、③環境・資源・エネルギー、④ICT・アナリティクス・サービス、⑤マテリアル・デバイス・プロセス、⑥都市・建築・土木・交通、⑦宇宙・海洋・地球・科学基盤

図表2で示すように、NISTEP科学技術予測センターによるホライズン・スキニングの結果^{13 14 15}や第10回科学技術予測調査の結果¹⁶、NISTEPサイエンスマップ2016¹⁷などを参考に、以下のいずれかの条件を満たす科学技術トピックを選定した。なお、社会制度・システム、市民の意識、社会変化などに関する科学技術トピックも適宜選定した。

¹³ NISTEP POLICY STUDY16、兆しを捉えるための新手法～NISTEPのホライズン・スキニング“KIDSASHI”
(<http://hdl.handle.net/11035/3221>)

¹⁴ KIDSASHI (<https://stfc.nistep.go.jp/horizon2030/index.php/ja>)

¹⁵ STI Horizon (<http://www.nistep.go.jp/activities/sti-horizon%e8%aa%8c/sti-horizon>)

¹⁶ NISTEP調査資料240、第10回科学技術予測調査 分野別科学技術予測 (<http://hdl.handle.net/11035/3080>)

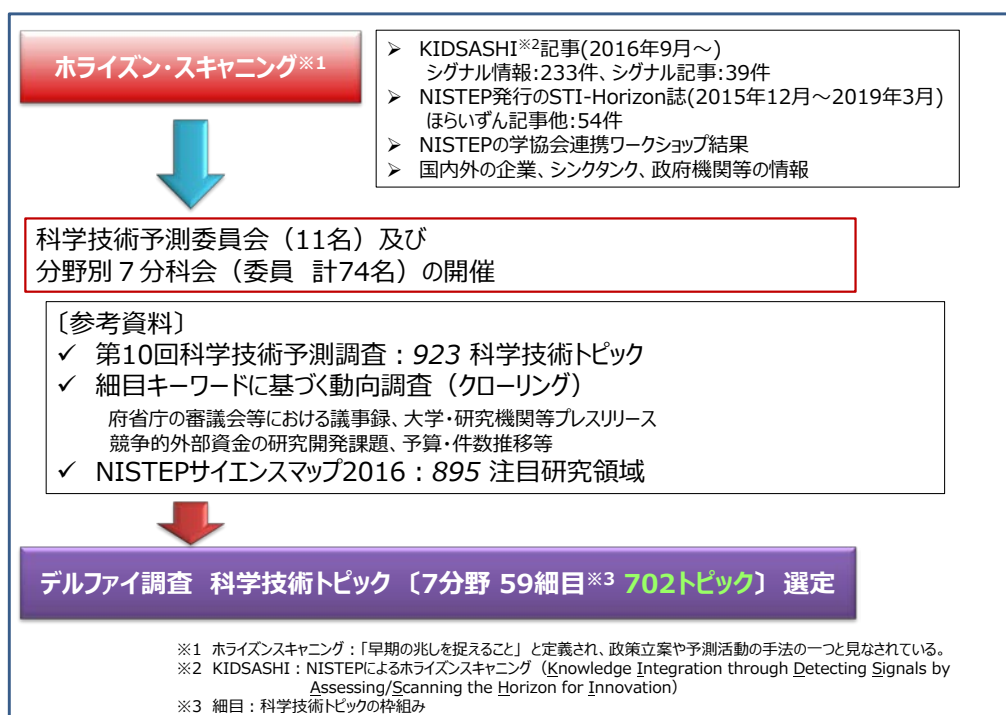
¹⁷ NISTEP REPORT178、サイエンスマップ2016—論文データベース分析(2011-2016年)による注目される研究領域の動向調査— (<http://hdl.handle.net/11035/3213>)

【科学技術トピックの選定条件】

- ① 目指す将来社会像の実現
- ② 将来の社会変化への対応や課題の解決
- ③ イノベーション創出、新しい価値の創造
- ④ 科学技術の進展

702 の科学技術トピックは、分科会間で情報共有しつつ作成したため、分野を横断するトピックの存在や、複数分野で出現する類似トピックの存在は想定されており、実際に上記の分科会でも指摘・確認され、文言調整等を行った。

図表 2 科学技術トピックの選定方法



2.2 ステップ 2: AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化（科学技術トピッククラスターの生成）

本調査研究では、AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化を試みた。その理由として、専門家による目視のみで 702 の科学技術トピックの中から類似するトピックを効率的にグループ化することは、困難性が高いと考えられたことが挙げられる。

たとえば、702 という科学技術トピックの数自体は人間でも十分に読み込める数ではあるが、任意の 1 トピックに類似しそうなトピックを見つけ出すには残る 701 件とそれぞれ比較することになり、単純な全体の比較回数は概ね 25 万回（= $(701^2/2)$ 回）程度となる。さらに、「どの程度類似しているか」について一貫性を持って評価することも必要になる。

上記を考慮し、本調査研究では専門家の作業をサポートすることを目的として AI 関連技術を利用

活用した。予め別の大規模データセットで学習させた単語の分散表現¹⁸をもとに各トピックの分散表現(ベクトル)化を行い、ベクトル間の距離を元にクラスタリングを行うことで科学技術トピックのグループ化を実現した。具体的な作業について以下と図表 3 に示す。

2.2.1 科学技術トピックの自然言語処理

初めに、形態素解析(文章を、意味を持つ最小単位に分解する解析)を用いた科学技術トピックからの名詞句の抽出を行った。具体的には、日本語の形態素解析ソフトウェアの中で多用されている MeCab と辞書の mecab-ipadic-NEologd を用いて、702 科学技術トピックを形態素(意味を持つ最小単位)に分割し、それぞれの品詞等を判別して名詞句のみを抽出した(図表 3「形態素の抽出」のステップ)。

次に、これらの名詞句に基づいて科学技術トピックのベクトル化を行った。ここでは、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた 300 次元の単語分散表現(ベクトル)¹⁹をベースに、これら名詞句の分散表現を線形加算した総和を正規化して各科学技術トピックの特徴量(ベクトル)とした(図表 3「分散表現化」のステップ)。

ところで単語分散表現の獲得は分析対象のデータセットで行うことも多い。ただし、今回は 702 トピックしかなく、かつ、それぞれ専門性が高いと想定されることなどから、データの量・質が十分ではない。また、科学技術全体で見たときには似たような概念であっても分野毎に表現方法が異なることがある上、各トピックは基本的に 200 字以内の比較的短い文章で構成されており単純な cos 類似度による類似度算出はそぐわない。これらの理由から別の大規模データセットで学習させた分散表現を用いることにした。

2.2.2 科学技術トピックのクラスタリング

2.2.1 で求めた科学技術トピックの特徴量に対して階層的クラスター分析(最遠隣法、ユークリッド距離)を適用し、類似するトピックをグループ化した(図表 3「クラスタリング」のステップ)。階層的クラスター分析は、最も似ているものを結合させながら、ボトムアップに大きなクラスターにまとめ上げていく方法で、クラスターがつくられていく過程は樹形図(デンドログラム)で示すことができる。また、これらの結果を見ながら、概ね任意のクラスター数で結果を切り取ることも可能である。

クラスター間の類似度を定義する方法(距離の定義方法)は最遠隣法、Ward 法など複数存在し、どの手法を用いるかは分析結果の解釈容易性などから定性的に判断することが多い。そこで今回の分析でも、最近隣法、最遠隣法、重心法、群平均法、メディアン法、McQuitty 法、Ward 法という 7 つの手法を試行し、樹形図でのクラスターの偏りの程度と、実際につくられたクラスターが分野横断的であるか否かを目視で確認した。この結果、樹形図でのクラスターの偏りが小さく、かつ分野横断的なクラスターが最も多くつくられた最遠隣法を採用した。最遠隣法は、2 つのクラスターの中のそれぞれの中から 1 個ずつ科学技術トピックを選んでトピック間の距離を求め、それらの中で、最も遠いトピック間の距離をこの 2 つのクラスター間の距離とする方法である。

¹⁸ 分散表現については資料編 4 で詳細説明

¹⁹ 小柴他, 議事録を用いた議会・行政の関係性分析手法, 人工知能学会 SIG-SAI, 2018-11-22
<http://id.nii.ac.jp/1004/00009604/>

2.2.3 科学技術クラスターとトピックの可視化

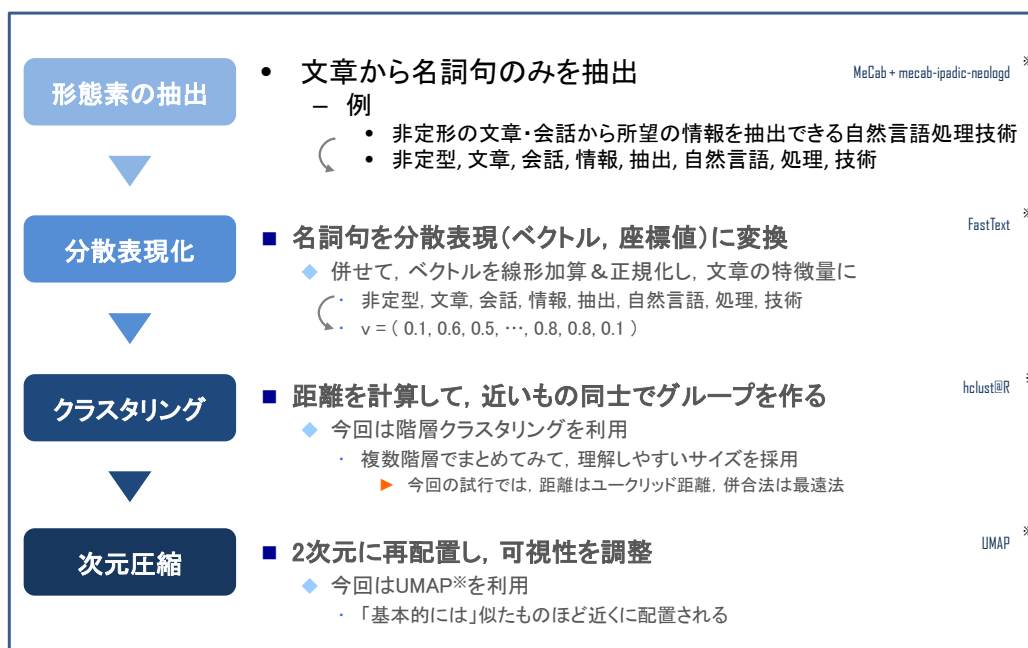
2.2.1 で得た科学技術トピックの特徴量や 2.2.2 で行ったクラスター分析の結果について可視化を試みた。

まず科学技術トピックの全体的構造とクラスタリングの結果の概観を示すための次元圧縮を行った。

前述の通り科学技術トピックの特徴量は 300 次元のベクトルであるため、次元圧縮して 2 次元に変換した。ここでは UMAP (UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction) を用いて圧縮した。その上で、各科学技術トピックの座標値と 2.2.2 で行ったクラスター分析の結果として得られる各トピックの所属クラスター番号を対応づけて出力した (図表 3「次元圧縮」のステップ)。

次に各クラスターの特徴を示すための可視化を行った。これについては、クラスター単位で科学技術トピックについて名詞句の出現数をカウントし、出現数と文字の大きさを対応づけたワードクラウドとして出力した。

図表 3 科学技術トピックのグループ化の流れ



※使用したソフトウェア、アルゴリズム

2.3 ステップ 3: 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析

2.2 で作成した各科学技術トピッククラスターについて、各クラスターに属する科学技術トピックの数と、それらトピックが属する分野の数について目視で定量的に分析した。

また定性分析として、科学技術トピッククラスターの特徴を示すための名称を暫定的に付与した。

2.4 ステップ 4: エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出

2.4.1 専門家会合の開催

2.2 で作成した各科学技術トピッククラスターに対し、科学技術的な観点から妥当性を評価してクロ

ークローズアップ科学技術領域を抽出する目的で、7 つのデルファイ調査の分科会を代表する座長から構成される専門家会合を開催した。開催日時と参加した専門家は図表 4 の通りである。

図表 4 クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合

開催日時 場所	専門家氏名 (敬称略)	所属・職位	デルファイ調査における担当分野・役職
2019年 2月28日 (木) 18:30～ 20:00 NISTEP16B 会議室	雨宮 慶幸	東京大学大学院 特任教授	宇宙・海洋・地球・科学基盤分科会 座長
	石田 哲也	東京大学大学院 教授	都市・建築・土木・交通分科会 委員 (同分科会の座長である藤野 陽三 横浜国立 大学 上席特別教授の代理)
	榎 学	東京大学大学院 教授	マテリアル・デバイス・プロセス分科会 座長
	矢部 彰	新エネルギー・産業技術総合開発 機構技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長	環境・資源・エネルギー分科会 座長
2019年 3月5日 (火) 17:00～ 19:00 NISTEP16B 会議室	亀岡 孝治	三重大学大学院 教授	農林水産・食品・バイオテクノロジー分科会 座長
	越塚 登	東京大学大学院 教授	ICT・アナリティクス・サービス分科会 座長
	福井 次矢	聖路加国際大学 学長 聖路加国際病院 院長	健康・医療・生命科学分科会 座長
	矢部 彰	新エネルギー・産業技術総合開発 機構技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長	環境・資源・エネルギー分科会 座長

(所属・職位は開催時点のもの)

2.4.2 クローズアップ科学技術領域の抽出

上記の専門家会合では、まずクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を策定した。この指針と科学技術トピッククラスターの分析結果、およびエキスパートジャッジにより、クローズアップ科学技術領域を抽出した。領域毎に名称を付与するとともに、代表的な科学技術トピック 10 程度を選定した(以降、領域に属する主な科学技術トピックとする)。

クローズアップ科学技術領域の確定は、2019 年 6 月 4 日に NISTEP にて開催された科学技術予測調査検討会にて行った。本検討会は、主査の濱口道成氏(国立研究開発法人科学技術振興機構理事長)、副主査の須藤亮氏(一般社団法人産業競争力懇談会 専務理事、株式会社東芝 特別嘱託)の下、図表 4 の 7 分科会の座長、大島まり氏(東京大学 教授)、永野 博氏(公益社団法人日本工学アカデミー 専務理事)の 11 名で構成された、第 11 回科学技術予測調査全般のアドバイザリーボードである。(所属と職位は開催日現在)

2.5 ステップ 5: デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析

2.4.2 で抽出したクローズアップ科学技術領域の特徴を明らかにするために、デルファイ調査結果を用いて、領域間の比較分析と各領域の内容分析を行った。

2.5.1 デルファイ調査の概要

2.1 で記した 7 分野 702 の科学技術トピックについて、ウェブアンケートにより、同じ質問を繰り返して回答を収れんさせるデルファイ法にて、専門家の見解をトピック毎に収集した。図表 5 に、科学技術トピックに対する質問項目と、回答内容の分析方法を示す。

図表 5 科学技術トピックに対する質問項目と分析方法

項目	内容	選択肢	分析方法
重要度 (単数選択)	30年後の望ましい社会を実現する上で、日本にとっての現在の重要度	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない	非常に高い(+2)、高い(+1)、どちらでもない(0)、低い(-1)、非常に低い(-2)として算出(わからない、を除く)
国際競争力 (単数選択)	現在の日本が置かれた国際競争力の状況	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない	非常に高い(+2)、高い(+1)、どちらでもない(0)、低い(-1)、非常に低い(-2)として算出(わからない、を除く)
科学技術的実現見通し (単数選択)	日本を含む世界のどこかで科学技術的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない	時期回答(実現済み、実現しない、わからないを除く)の四分位数を算出
科学技術的実現に向けた政策手段 (複数選択可)	科学技術的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、倫理的課題への対応、その他	選択率(選択数/回答数)を算出
社会的実現見通し (単数選択)	日本を含む世界のどこかで科学技術的な実現に続き、日本で社会的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない 時期回答(実現済み、実現しない、わからないを除く)の四分位数を算出	時期回答(実現済み、実現しない、わからないを除く)の四分位数を算出
社会的実現に向けた政策手段 (複数選択可)	日本での社会的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、事業補助、事業環境整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、倫理的・法的・社会的課題への対応、その他	選択率(選択数/回答数)を算出

* 科学技術的実現とは、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う、例えば、研究室段階で技術開発の見通しがつくこと。または、原理・現象が科学的に明らかにされること。
 * 社会的実現とは、実現された技術が製品やサービス等として利用可能な状況となること。トピックによっては普及すること。科学技術以外のトピックであれば、制度が確立する、倫理規範が確立する、価値観が形成される、社会的合意が形成される等。日本社会での実現ではなく、日本が主体となって行う国際的な活動により実現する場合も含む。

ウェブアンケートは、1 回目が 2019 年 2 月 20 日～3 月 25 日で 6697 名が回答、2 回目が 2019 年 5 月 16 日～6 月 14 日で 5352 名が回答した。これら回答者は、NISTEP が委嘱した産学官の専門調査員約 2000 名を中心に、デルファイ 7 分野の関連学会等から成る約 90 の協力団体、科学技術振興機構(researchmap)、日本学術会議(学術団体ネットワーク)、一般社団法人経済団体連合会、産業競争力懇談会などの関係機関の協力により参画した専門家である。

図表 6 にて、ウェブアンケート 2 回目の回答者の属性を示す。回答者数が多かったのは健康・医療・生命科学分野の 1,887 人であり、次いでマテリアル・デバイス・プロセス分野の 1,142 人、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野の 1,140 人であった(いずれものべ回答者数であり、複数分野の重複回答者を含むことから、上記 5352 人より多いことに留意)。いずれのデルファイ 7 分野においても、年齢は 40 歳代、所属は「学術機関」、職種は「主に研究開発に従事」が最も多かった。

図表 6 回答者属性(アンケート 2 回目)

	科学技術 トピック 数	回答者 数*	年齢							職業			職種		
			20代	30代	40代	50代	60代	70代以 上	無回 答	企業その他	学術機関	公的研究 機関	主に研究・ 開発に従 事	主にマネジ メントに従 事	上記以外 の方
健康・医療・生命科学分野	96	1,887	1%	21%	39%	26%	11%	2%	1%	9.9%	80.5%	9.6%	85.7%	3.1%	11.2%
農林水産・食品・バイオテクノロジー分野	97	714	2%	19%	38%	25%	12%	3%	1%	11.5%	59.8%	28.7%	89.4%	4.1%	6.6%
環境・資源・エネルギー分野	106	834	2%	19%	34%	26%	15%	4%	1%	18.7%	57.8%	23.5%	86.0%	6.7%	7.3%
ICT・アナリティクス・サービス分野	107	794	2%	17%	33%	30%	14%	3%	1%	22.2%	69.4%	8.4%	84.6%	5.4%	9.9%
マテリアル・デバイス・プロセス分野	101	1,142	1%	23%	37%	26%	10%	2%	1%	19.5%	65.8%	14.7%	89.0%	5.6%	5.4%
都市・建築・土木・交通分野	95	477	1%	14%	34%	32%	14%	4%	1%	23.7%	60.4%	15.9%	79.7%	7.8%	12.6%
宇宙・海洋・地球・科学基盤分野 (量子ビーム/光/数理・データ/素 核宇)	100	1,140	2%	23%	32%	26%	12%	3%	1%	11.0%	60.4%	28.7%	90.3%	3.2%	6.6%
全体	702	6,988	2%	20%	36%	27%	12%	3%	1%	15.2%	67.3%	17.5%	86.9%	4.6%	8.5%

※回答者数はのべ人数であり、複数分野の回答者を含むことから2回目回答者5352名より多いことに留意。
年齢、職業、職種については、各分野全体に占める割合（％）を示す。

2.5.2 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析

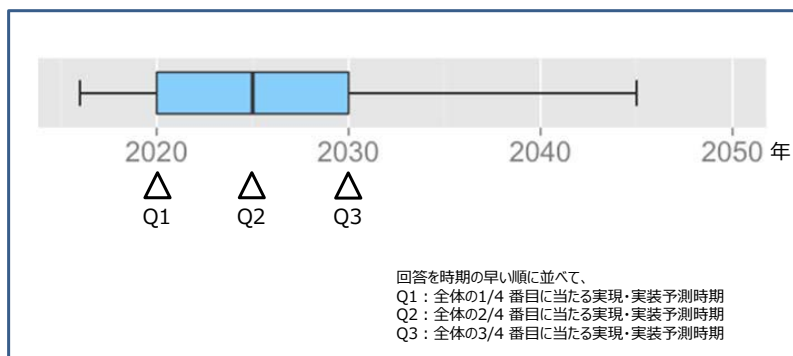
2.4.2 で選定した各クローズアップ科学技術領域に属する主な科学技術トピックに対し、2.5.1 で示した 2 回目のウェブアンケート調査結果を照らし合わせるにより、クローズアップ科学技術領域間の比較分析と各領域の特徴・内容の分析を行った。

具体的には、702 科学技術トピックに対する各質問項目(図表 5)の回答内容について、以下の通り処理し分析した。

- ・重要度と国際競争力について、「わからない」を除き、非常に高い(+2)、高い(+1)、どちらでもない(0)、低い(-1)、非常に低い(-2)としてスコアを算出した。
- ・科学技術的実現に向けた政策手段、社会的実現に向けた政策手段について、科学技術トピックごとに図表5の各選択肢の選択割合を分析に用いた(複数選択可)。
- ・科学技術的実現見通し時期、社会的実現見通し時期について、時期回答(実現済、実現しない、わからないを除く)の四分位数を算出、第1四分位点と第3四分位点を回答の幅とし、その中間値を見通し時期の代表値とした(図表 7)。

各領域の特徴と内容の分析を進めるにあたり、図表 4 で示したクローズアップ科学技術領域選定のための専門家を含む、デルファイ調査において分野毎に設置した 7 分科会の専門家、NISTEP 客員研究官、大学や国立研究開発法人等の外部機関の専門家より関連資料や助言を得た。

図表 7 科学技術的実現見通し時期、社会的実現見通し時期の算出方法



3. 調査の結果

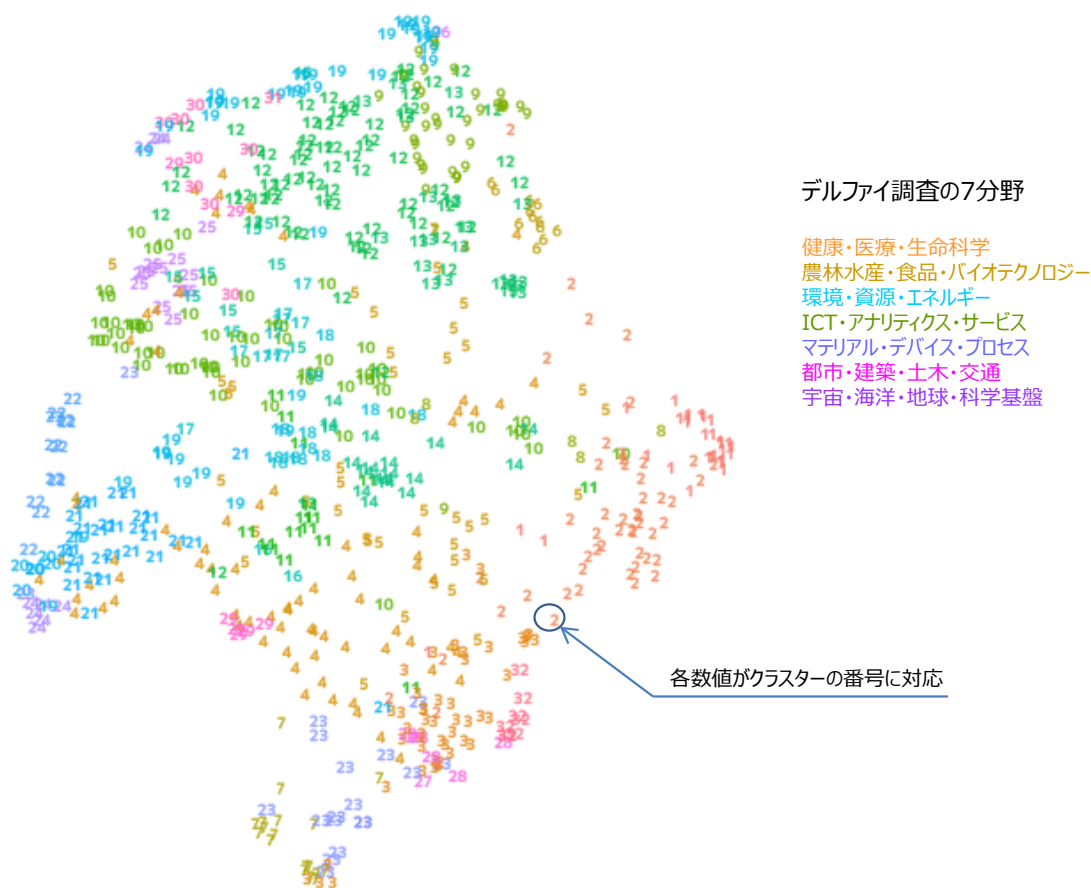
科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの生成)からクローズアップ科学技術領域の抽出と分析までの、各ステップの結果を以下に示す。

3.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの生成)

2.2 に述べた手法に基づき、データの処理を実施した。階層的クラスター分析のクラスター数については、2、4、8、16、32、64、128 など複数のレベルで分割し、解釈の容易性や意味的妥当性などを勘案して、32 分類を採用した。

UMAP を用いた 702 科学技術トピック全体と 32 科学技術クラスターの対応を図表 8 に示す。健康・医療・生命科学分野の科学技術トピックの凝集性は相対的に高く(図表 8 の右部分)、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野のトピックは広域に分布していることがわかる(中央部分)。また ICT・アナリティクス・サービス分野の科学技術トピックとそれ以外の分野のトピックとが近くに位置する例がみられる(図表 8 の上の部分)。

図表 8 32 科学技術トピッククラスターと 702 科学技術トピックのマッピング



※使用したソフトウェア、アルゴリズム : FastText, umap
300次元でクラスタリング等の作業後、可視化のため2次元に圧縮しているため、一部入り交じっているように見えることに留意。

3.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析

32 の科学技術トピッククラスターについて、それぞれのワードクラウドの出力結果と、トピック数とトピックが属する分野の数の一覧を、図表 9-1、9-2、9-3、9-4 に示す。

図表 9-1 32 科学技術クラスター一覧(1)

トピック数の最も多い分野を主分野、その次に多い分野を関連分野とした

クラスター No.	ワードクラウド	トピック 数	分野別トピック数*							分野 数	○主分野 ▼関連分野
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤		
1		29	25	2					2	3	○健康・医療・生命科学
2		53	40	2			8		3	4	○健康・医療・生命科学 ▽マテリアル・デバイス・プロセス
3		45	3			5	15		22	4	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▽マテリアル・デバイス・プロセス
4		80	6	5	13		33	13	10	6	○マテリアル・デバイス・プロセス ▽環境・資源・エネルギー ▽都市・土木・建築・交通
5		38	3	18	2	2	6		7	6	○農林水産・食品・バイオテクノロジー ▽宇宙・海洋・地球・科学基盤
6		12	1	1		8	1	1		5	○ICT・アナリティクス・サービス
7		20	1			13	4		2	4	○ICT・アナリティクス・サービス ▽マテリアル・デバイス・プロセス

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)

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

図表 9-2 32 科学技術クラスター一覧(2)

クラスター No.	ワードクラウド	トピック 数	分野別トピック数*							分野 数	○主分野 ▽関連分野
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤		
8		5	1	3	1					3	○農林水産・食品・バイオテクノロジー
9		37	7	4		23		2	1	5	○ICT・アナリティクス・サービス ▽健康・医療・生命科学
10		58	3	10	22	1	1	6	15	7	○環境・資源・エネルギー ▽宇宙・海洋・地球・科学基盤
11		16	1	12	2		1			4	○農林水産・食品・バイオテクノロジー
12		77	4	10	3	21	5	29	5	7	○都市・土木・建築・交通 ▽ICT・アナリティクス・サービス
13		21	1			17		1	2	4	○ICT・アナリティクス・サービス
14		19		18	1					2	○農林水産・食品・バイオテクノロジー
15		10		2				7	1	3	○都市・土木・建築・交通

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)

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

図表 9-3 科学技術 32 クラスター一覧(3)

クラスター No.	ワードクラウド	トピック 数	分野別トピック数*							分野 数	○主分野 ▼関連分野
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤		
17		10		4	4			2		3	○農林水産・食品・バイオテクノロジー ○環境・資源・エネルギー
18		12		4	7		1			3	○環境・資源・エネルギー ▽農林水産・食品・バイオテクノロジー
19		38		1	10	13	2	12		6	○ICT・アナリティクス・サービス ▽都市・土木・建築・交通
20		6			6					1	○環境・資源・エネルギー
21		30			20		8	2		3	○環境・資源・エネルギー ▽マテリアル・デバイス・プロセス
22		12			8				4	2	○環境・資源・エネルギー ▽宇宙・海洋・地球・科学基盤
23		19			1	3	8		7	4	○マテリアル・デバイス・プロセス ▽宇宙・海洋・地球・科学基盤
24		9			5		3	1		3	○環境・資源・エネルギー ▽マテリアル・デバイス・プロセス

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)

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

図表 9-4 科学技術 32 クラスタ一覧(4)

										主分野	
										関連分野	
クラスター No.	ワードクラウド	トピック 数	分野別トピック数*							分野 数	○主分野 ▽関連分野
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤		
25		12			1			5	6	3	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▽都市・土木・建築・交通
28		6					2		4	2	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▽マテリアル・デバイス・プロセス
29		7					1	6		2	○都市・土木・建築・交通
30		8						7	1	2	○都市・土木・建築・交通
32		8							8	1	○宇宙・海洋・地球・科学基盤
16		2		1			1			2	・農林水産・食品・バイオテクノロジー ・マテリアル・デバイス・プロセス
26		1				1				1	・ICT・アナリティクス・サービス
27		1					1			1	・マテリアル・デバイス・プロセス
31		1						1		1	・都市・土木・建築・交通

(クラスターNo.16,26,27,31は、トピック数が1または2と少ないため、領域検討から除外)

分野別トピック数*（デルファイ調査における分野名の略称）

健康:健康・医療・生命科学、農水:農林水産・食品・バイオテクノロジー、環境:環境・資源・エネルギー

ICT: ICT・アナリティクス・サービス、材料: マテリアル・デバイス・プロセス、都市: 都市・土木・建築・交通

基盤：宇宙・海洋・地球・科学基盤

32 科学技術トピッククラスターのうち、最もトピック数が多いクラスターは No.4 の領域であり(80 トピック)、次いで No.12(77 トピック)、No.10(58 トピック)、No.2(53 トピック)の順でトピック数が多かった。一方、トピックが1ないし2のみの科学技術クラスターが4つ存在した(図表9-4のNo.16、26、27、31)。これら4つの科学技術トピッククラスターについては、トピック数がわずかなためクローズアップ科学技術領域の候補から除外し、以降は28クラスターを対象に検討した。

3.3 エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出

3.3.1 クローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針

2.4.1 で示した専門家会合では、まず 28 の科学技術トピッククラスターからクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を検討した。その結果、以下の指針を定めた。

- 少なくとも 2 分野以上の科学技術トピックを 10 程度以上含み、分野横断・融合のポテンシャルが高いと考えられる科学技術領域を主対象。1 ないし 2 分野のトピックを 10 程度以上含む領域は、特定分野に軸足を置く科学技術領域として考慮
- 科学的・社会的課題を解決する上で重要な科学技術領域を対象
- 科学技術領域全体を見た上でのバランスを考慮

3.3.2 クローズアップ科学技術領域の抽出と領域に属する主な科学技術トピックの選定

28 の科学技術トピッククラスターに対して、上記 3.3.1 の指針および以下のデータを総合的に検討し、科学技術的観点から妥当性を評価した。各科学技術トピッククラスターに対する専門家の評価結果を、資料編 5「クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見」に示す。

この評価結果により、科学技術的に内容が近似する科学技術トピッククラスターを適宜統合するなどのクラスターの再構築を行い、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 つのクローズアップ領域と、特定分野に軸足を置く 8 領域の併せて 16 のクローズアップ科学技術領域を抽出した。

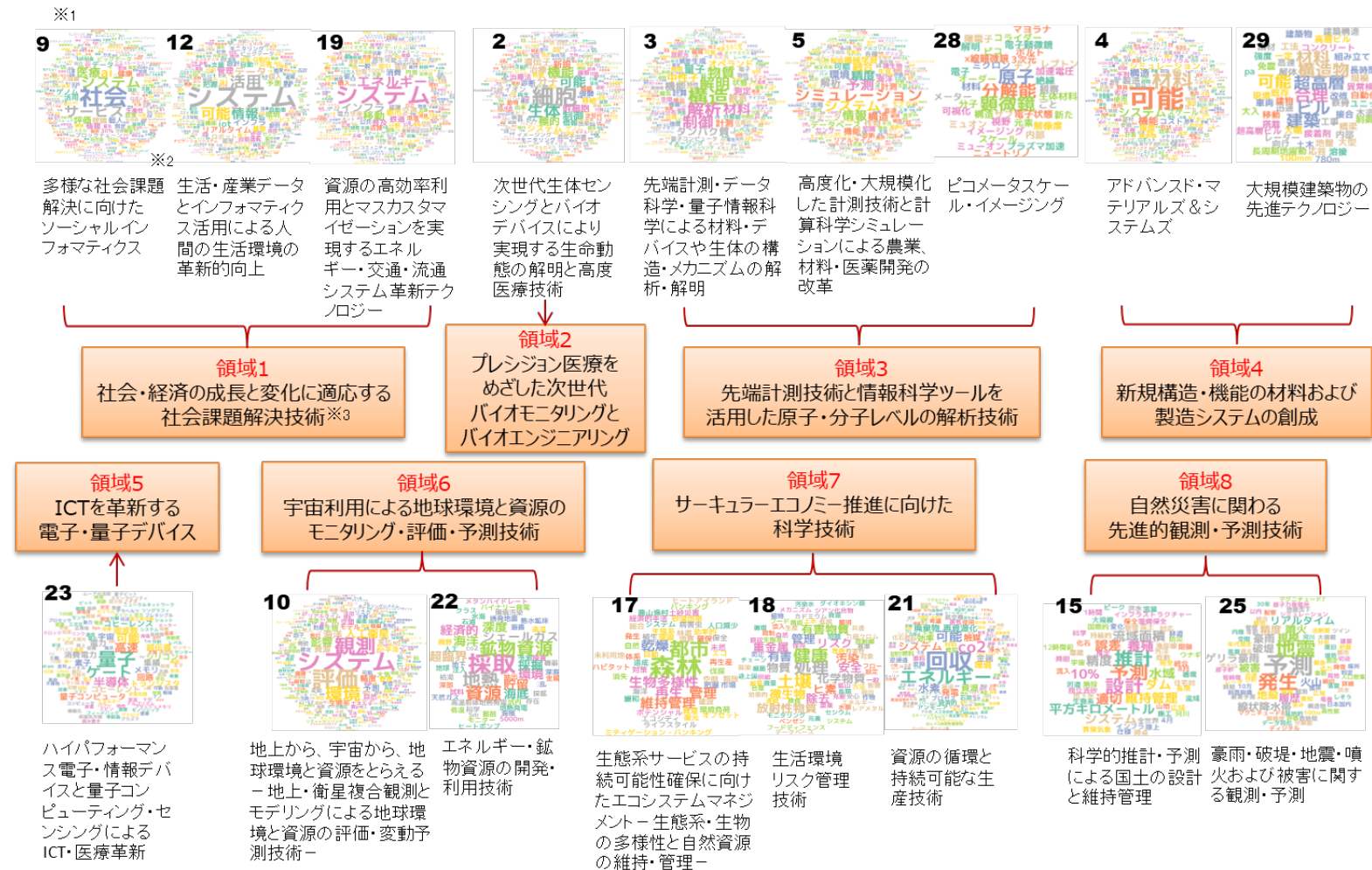
(1) 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術 8 領域

図表 10 で科学技術トピッククラスターの再構築の内容、図表 11 で最終的に抽出された領域の名称と領域に属する科学技術トピックの総数、図表 12 で各領域における主な科学技術トピックのリストを示す。

(2) 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術 8 領域

図表 13 で科学技術トピッククラスターの再構築の内容、図表 14 で最終的に抽出された領域の名称と領域に属する科学技術トピックの総数、図表 15 で各領域における主な科学技術トピックのリストを示す。

図表 10 28 科学技術クラスターから分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ領域への再構築



※1: 図表9の科学技術クラスター番号に相当 ※2: 科学技術クラスターの特徴を示すために付与した暫定的な名称 ※3: 最終的なクローズアップ科学技術領域のテーマ名

図表 11 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術 8 領域の名称とトピック数

領域 No.	科学技術 クラスターNo.	名称	トピック数
1	9,12,19 ^{※1}	社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	152
2	2	プレシジョン医療 ^{※2} をめざした次世代バイオモニタリングと バイオエンジニアリング	53
3	3,5,28	先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レ ベルの解析技術	89
4	4,29	新規構造・機能の材料と製造システムの創成	87
5	23	ICT を革新する電子・量子デバイス	19
6	10,22	宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測 技術	70
7	17,18,21	サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	52
8	15,25	自然災害に関する先進的観測・予測技術	22

※1: 例えば領域 1 は、図表 9 に示す科学技術クラスターNo.9,12,19 を再構成した。

※2: 遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮した疾病の予防・治療。

図表 12 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の主な科学技術トピック

〔領域 1〕社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュ ーターアーキテクチャ
	362	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人 や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、 Service Dominant Logic などにより発展させた新理論
	381	法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や 集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言や リスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システ ムなどを含む)
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点か ら、定性的／定量的にシミュレーションする技術
	393	教育に AI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習 スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
	397	すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル 化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の 解消
健康・医療・生命科学	73	プレシジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込 まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム
農林水産・食品・ バイオテクノロジー	112	フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータと AI に よる育種の超高速化(テラーメイド)
環境・資源・エネルギー	293	情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム 監視・警報システム
都市・建築・土木・交通	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリ ング、予測、制御技術

※ID:デルファイ調査において各科学技術トピックに付与した通し番号、以下同様(資料編 1 を参照のこと)

〔領域2〕プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング

分野名	ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広く実現する遺伝子治療法
	89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム
	90	細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術
マテリアル・デバイス・プロセス	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術
	502	3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオファブリケーション)
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術

〔領域3〕先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	649	iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テララーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法
	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化
	680	中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術
	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム
マテリアル・デバイス・プロセス	431	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術
	453	ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡
	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明
農林水産・食品・バイオテクノロジー	107	X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム
	108	短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム

〔領域4〕新規構造・機能の材料と製造システムの創成

分野名	ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)
	423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術
	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料
	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する3Dフードプリンディング技術
	495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル
	499	バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料
環境・資源・エネルギー	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下)
	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術
都市・建築・土木・交通	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム

〔領域5〕ICTを革新する電子・量子デバイス

分野名	ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体
	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料
	460	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
	463	単一スピンを情報担体としCMOSデバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子
	465	急峻 on/offトランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力AIチップ
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ
ICT・アナリティクス・サービス	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク
宇宙・海洋・地球・科学基盤	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を10桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム
	694	コヒーレント時間が10ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー

〔領域6〕宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術
	259	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、全国の地下水マップの一般化
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100年にわたる長期地球環境変動予測
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム
宇宙・海洋・地球・科学基盤	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
農林水産・食品・バイオテクノロジー	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム

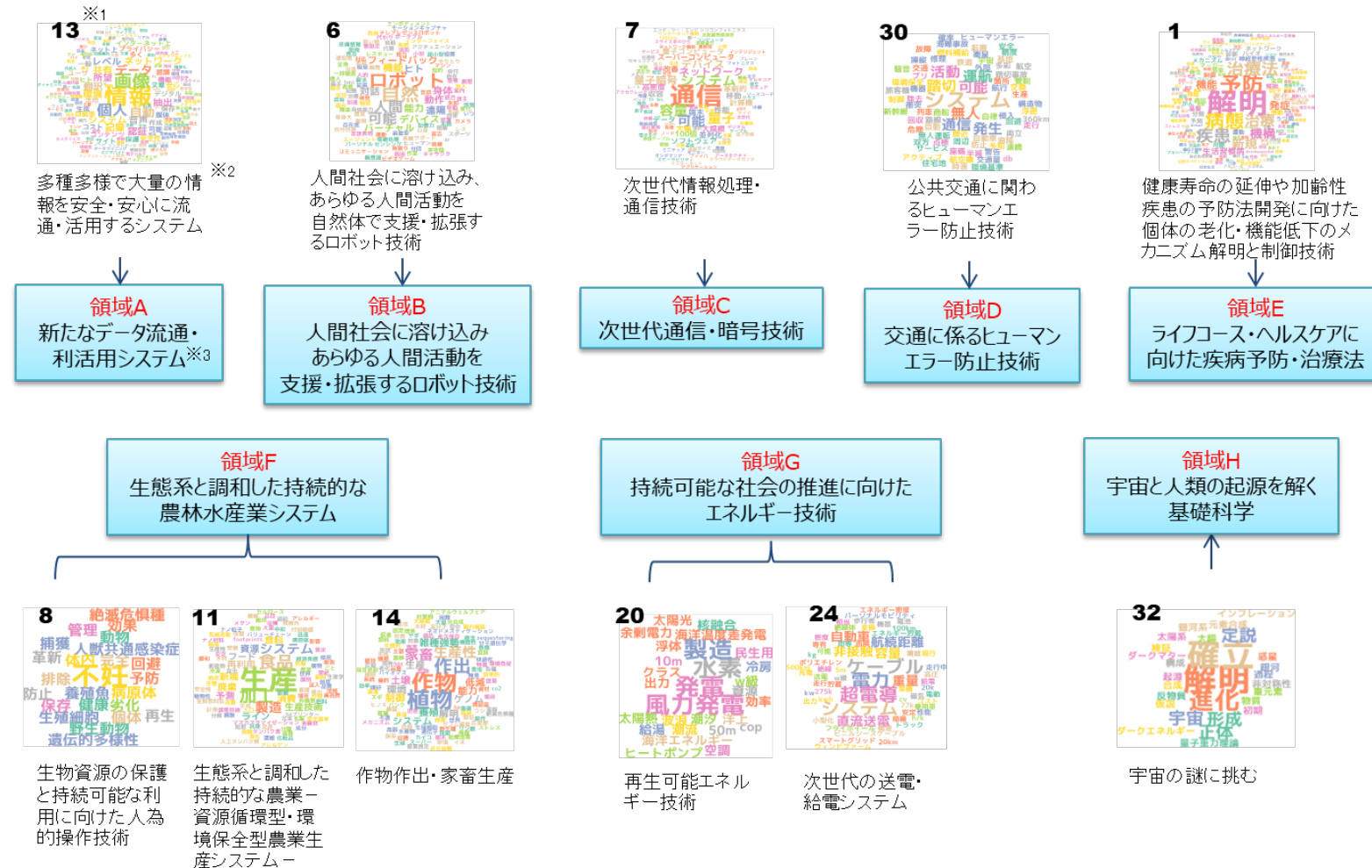
〔領域7〕サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション
	216	大気から回収された CO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造
	237	海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理
マテリアル・デバイス・プロセス	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池
	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料
農林水産・食品・バイオテクノロジー	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術

〔領域8〕自然災害に関する先進的観測・予測技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうにない火山を見い出すための切迫度評価
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
	632	マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
都市・建築・土木・交通	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測
	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術

図表 13 28 科学技術クラスターから特定分野に軸足を置くクローズアップ領域への再構築



※1: 図表9の科学技術クラスター番号に相当 ※2: 科学技術クラスターの特徴を示すために付与した暫定的な名称 ※3: 最終的なクローズアップ科学技術領域のテーマ名

図表 14 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術 8 領域の名称とトピック数

領域 No.	科学技術 クラスターNo.	名称	トピック数
A	13	新たなデータ流通・利活用システム	21
B	6	人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張する ロボット技術	12
C	7	次世代通信・暗号技術	20
D	30	交通に関するヒューマンエラー防止技術	8
E	1	ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	29
F	8,11,14※1	生態系と調和した持続的な農林水産業システム	40
G	20,24	持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術	15
H	32	宇宙と人類の起源を解く基礎科学	8

※1:例えば領域 F は、図表 9 に示す科学技術クラスターNo.8,11,14 を再構成した。

図表 15 特定分野に軸足を置く 8 領域の代表的な科学技術トピック一覧

〔領域 A〕新たなデータ流通・利活用システム

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少
	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)
	387	AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)
その他の分野	94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図
	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術

※ID:デルファイ調査において各科学技術トピックに付与した通し番号、以下同様(資料編 1 を参照のこと)

〔領域 B〕人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	306	ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)
その他の分野	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手
	115	人間を代替する農業ロボット
	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI (ヒューマン・マシンインターフェイス) デバイス
	593	知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット

注) 領域 A と B では 4～5 分野の科学技術トピックが属するが、ICT・アナリティクス・サービス分野に軸足を置いた領域である(同分野以外のトピックは、多様な出口があることを示す)。

〔領域 C〕次世代通信・暗号技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅
	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信
	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術
マテリアル・デバイス・プロセス	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ

〔領域 D〕交通に関するヒューマンエラー防止技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
都市・建築・土木・交通	573	自律航行可能な無人運航商船
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機
	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム

〔領域 E〕ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法

分野名	ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	80	Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
	87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術

〔領域 F〕生態系と調和した持続的な農林水産業システム

分野名	ID	主な科学技術トピック
農林水産・食品・バイオテクノロジー	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化（ネオドメスティケーション）
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出
	103	完全不妊養殖魚
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術
	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術（例えばフード3D プリンターのような）
	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン
	159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明
	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物（イネ・藻類）によるCO ₂ の大量・大規模固定（sequestering）と生産性向上システム

〔領域 G〕持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	194	太陽熱等を利用した水素製造技術
	201	50MW 級洋上浮体式風力発電
	202	10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術
	219	ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム
	220	現在の 275kV CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル
	221	自動車の走行中の非接触充電技術
	223	5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール
	224	数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム
マテリアル・デバイス・プロセス	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上（自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当）の性能をもつ高容量高出力電池
	478	高圧直流送電用機器（電力変換機、絶縁体、ケーブル）の低コスト・小型化によるスマートグリッド

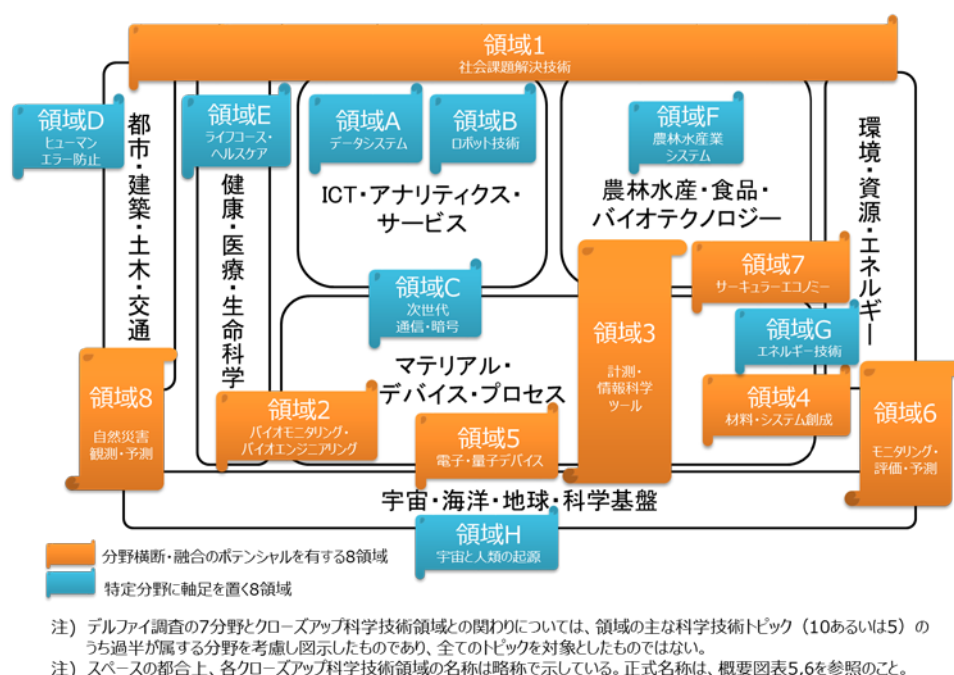
〔領域 H〕宇宙と人類の起源を解く基礎科学

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立
	658	量子重力理論の確立・検証
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明
	661	ダークマターの正体の解明
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明

(3) 抽出されたクローズアップ領域とデルファイ調査分野の関係

図表 16 で、今回抽出されたクローズアップ科学技術領域とデルファイ調査における分野との関係を示す。分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域(図表 16 のオレンジの領域)は、デルファイ調査の複数の分野に強く関わり、特に領域 1(社会課題解決技術)は 5 分野と広範に及んでいる。一方、特定分野に軸足を置く 8 領域(図表 16 のブルーの領域)は、分野間の関りは単一あるいは 2 分野と少なく、今回設定したデルファイ分野内での注目すべき領域として抽出された。

図表 16 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域、および特定分野に軸足を置く 8 領域とデルファイ調査における分野との関係²⁰



図表 17 に、各領域の主な科学技術トピックからみた、クローズアップ科学技術領域とデルファイ調査分野との関係を示す。分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域では、マテリアル・デバイス・プロセス分野のトピックが 24 と最も多く、当該分野が様々な領域と関わっていることが明らかである。図

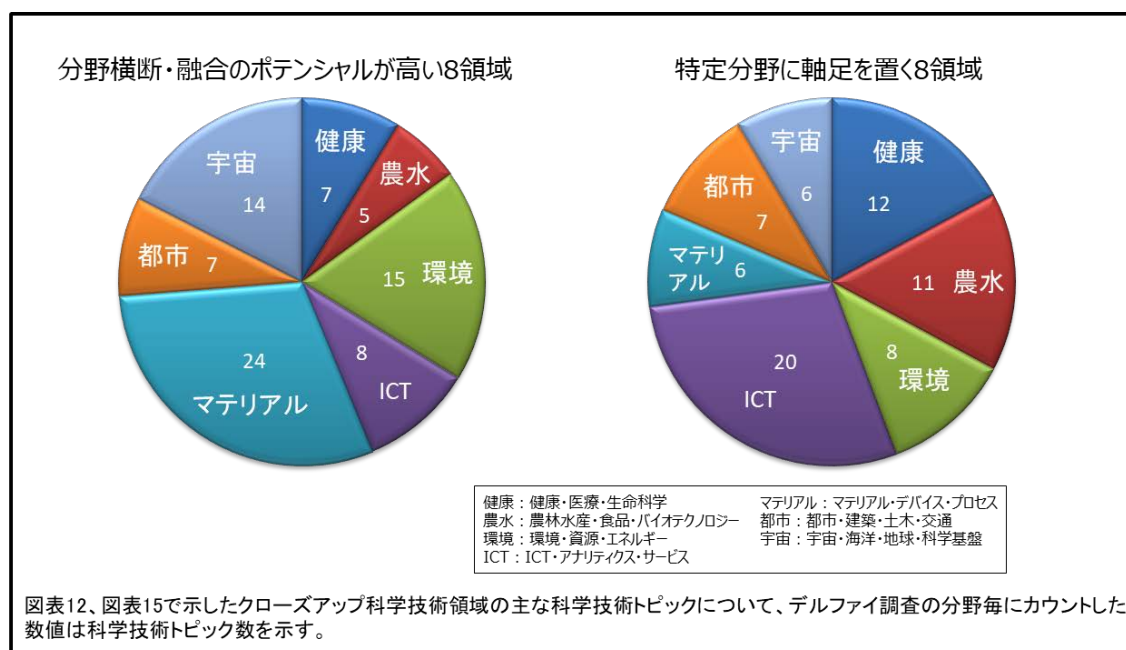
²⁰図は各クローズアップ科学技術領域の略称を示しており、正式名称は以下の通り。

- 領域 1 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術
- 領域 2 プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング
- 領域 3 先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術
- 領域 4 新規構造・機能の材料と製造システムの創成
- 領域 5 ICT を革新する電子・量子デバイス
- 領域 6 宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術
- 領域 7 サイバー・エコノミー推進に向けた科学技術
- 領域 8 自然災害に関する先進的観測・予測技術
- 領域 A 新たなデータ流通・利活用システム
- 領域 B 人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術
- 領域 C 次世代通信・暗号技術
- 領域 D 交通に関するヒューマンエラー防止技術
- 領域 E ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法
- 領域 F 生態系と調和した持続的な農林水産業システム
- 領域 G 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術
- 領域 H 宇宙と人類の起源を解く基礎科学

表 16 では、マテリアル・デバイス・プロセス分野は 5 つの領域に関わっていることを考え合わせると、当該分野は共通基盤的な位置づけと言える。

一方、特定分野に軸足を置く 8 領域では、ICT・アナリティクス・サービス分野のトピックが 20 と最も多かった。図表 16 をみても、8 領域のうち 3 領域が ICT・アナリティクス・サービス分野に関わっていることから、当分野もまた基盤的な位置づけと考えられる。

図表 17 デルファイ調査における分野別の科学技術トピック数—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域、特定分野に軸足を置く 8 領域—



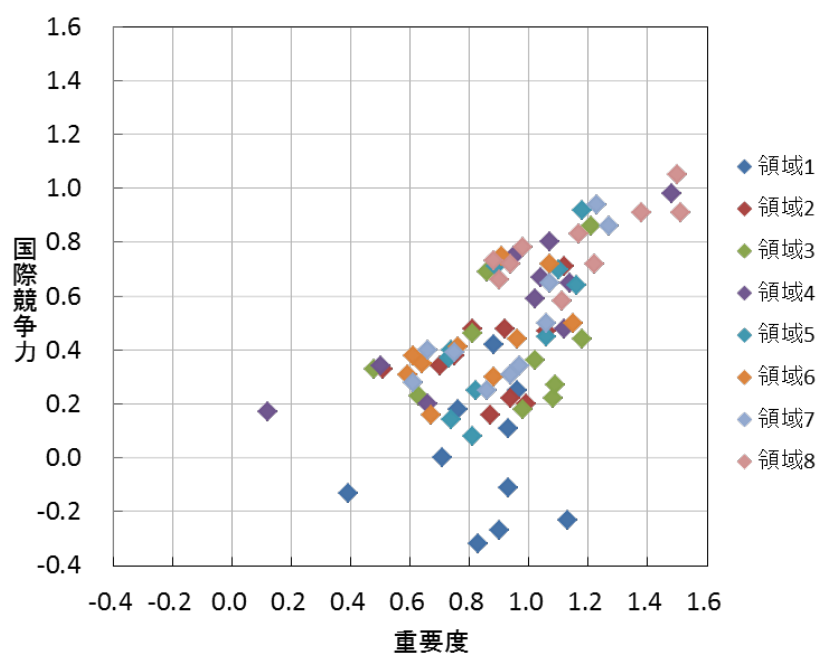
3.4 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域間の比較—

2.5.1、2.5.2 で示したデルファイ調査結果を用いて、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域間の比較分析を行った。

3.4.1 重要度と国際競争力

はじめに、各領域に属する 80 の主な科学技術トピックについて、重要度と国際競争力の相関を分析した。その結果、図表 18 に示すように、有意に比較的強い正の相関が見られた（相関係数； $r=0.59$ ，確率； $p<0.01$ ）。

図表 18 主な科学技術トピックの重要度と国際競争力—分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域—

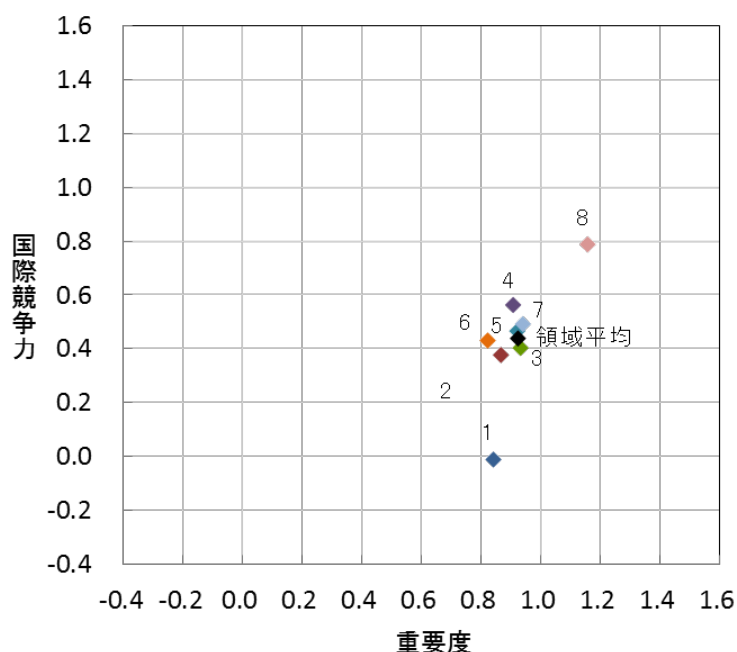


マーカーは各科学技術トピックを示す。
8領域に属する計80の科学技術トピックのスコアについて、領域別に色分けして表示した。

次に、各領域に属するトピックの重要度と国際競争力のスコアを平均し、それら数値を領域の代表値として分析したところ、8領域の平均は重要度 0.92、国際競争力 0.44 であった。図表 19 ではクローズアップ科学技術領域毎の重要度・国際競争力の平均スコア、図表 20 では領域毎の科学技術トピックの重要度・国際競争力のスコアのバラツキを示す。

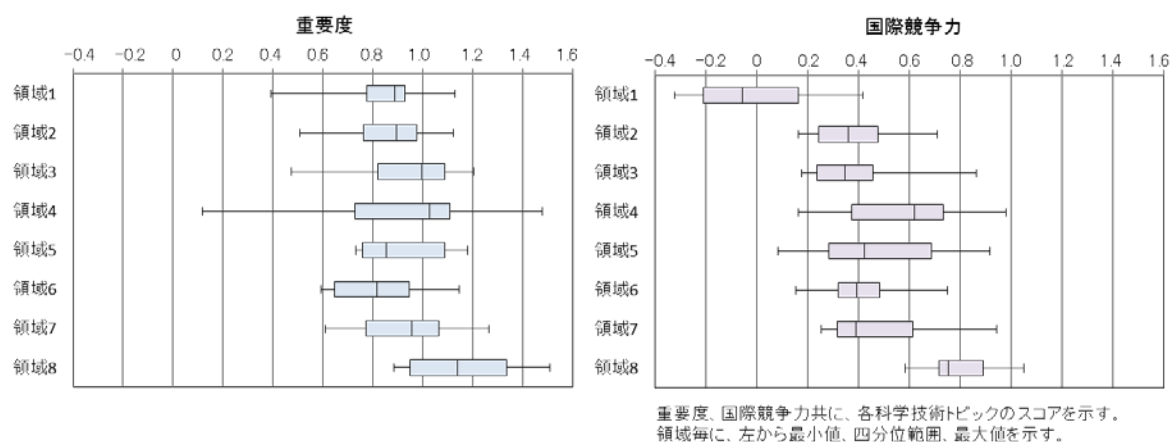
重要度と国際競争力ともに最も高かったのは、領域 8「自然災害に関する先進的観測・予測技術」であった(それぞれ 1.16、0.79)。一方、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」は、重要度は8領域中2番目に低く(0.84)、国際競争力は最下位(-0.01)であり、他領域と比べるとともに低かった。

図表 19 領域毎の重要度と国際競争力(平均スコア)ー分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域ー



マーカーは各領域を示す。
各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした。

図表 20 領域毎の重要度と国際競争力(スコア分布)ー分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域ー



重要度、国際競争力共に、各科学技術トピックのスコアを示す。
領域毎に、左から最小値、四分位範囲、最大値を示す。

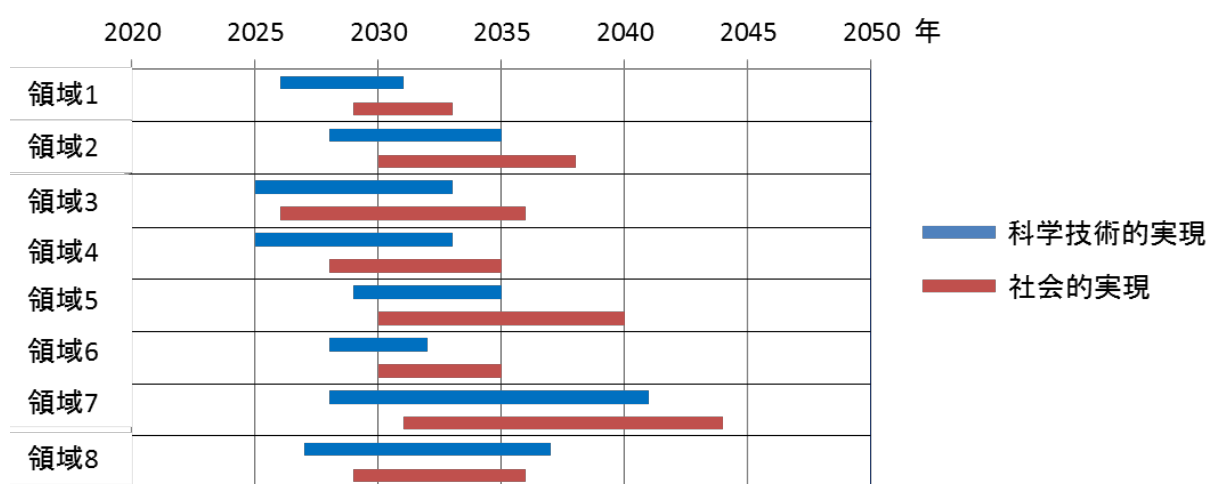
3.4.2 科学技術的および社会的実現見通し

領域に含まれる主な科学技術トピック(10 トピック)のうち、最も実現見通し時期が早いトピックと最も実現見通し時期が遅いトピックの時期の幅(本報告では実現期間とする)を、図表 21 に示した。実現期間が短い領域は短期集中的な推進方策が求められる一方、実現期間が長い領域は中長期的

な推進方策が求められていると考えられる。

科学技術的な実現期間が最も短いのは、領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、社会的な実現期間が最も短いのは、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」で、いずれも 4 年である。これら領域 6 および領域 1 は、それぞれ社会的、科学技術的な実現期間も 5 年と短く、領域 1 は 2033 年、領域 6 は 2035 年といずれも比較的早い時期に主な科学技術トピックのすべてが社会的に実現する見通しである。一方、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」は、科学技術的および社会的ともに実現期間が 13 年と長く、主な科学技術トピックすべてが社会的実現するのは 2044 年の見通しで、全領域の中で最も遅い。次いで、領域 5「ICT を革新する電子・量子デバイス」が、社会的な実現期間が 10 年と長く、主な科学技術トピックすべてが社会的実現するのが 2040 年と遅い見通しである。

図表 21 科学技術的および社会的実現見通しの比較—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域—



各バーの左端は実現時期の最も早い年、右端は最も遅い年を示す。

3.4.3 科学技術的および社会的実現に向けた政策手段

クローズアップ科学技術領域に属するそれぞれのトピックについて、図表 5 で示した選択肢の選択割合を平均したものを領域の代表値として比較した（各選択肢は複数回答可であることに留意）。

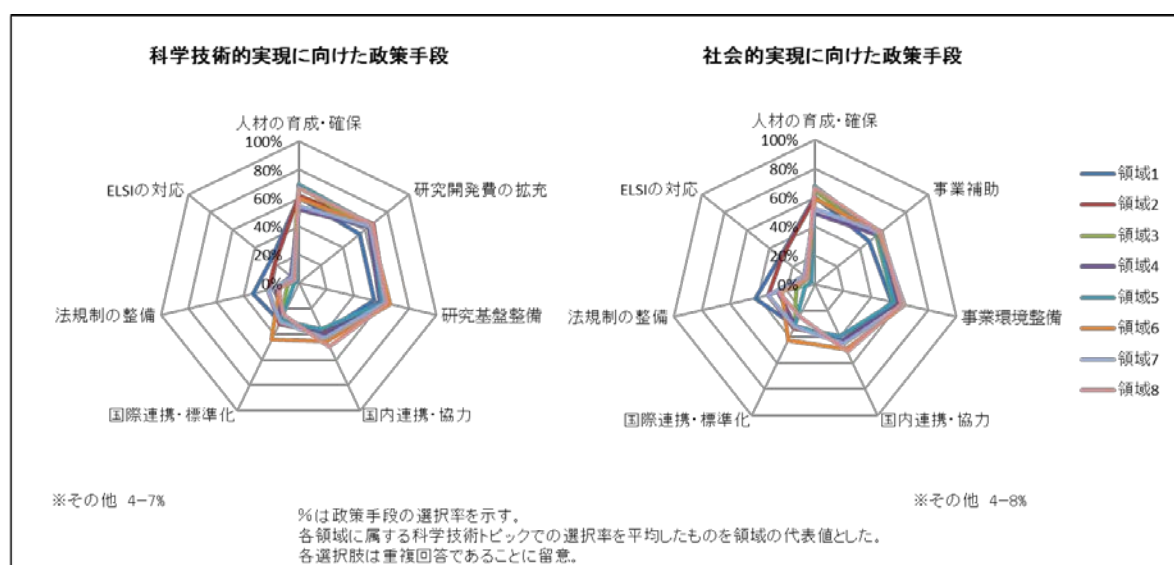
科学技術的実現に向けた政策手段のうち、「人材の育成・確保」、「研究開発費の拡充」、「研究基盤整備」については全てのトピックで選択割合が 50%を超えていた。それぞれ選択割合が最も高かった領域は、「人材の育成・確保」では領域 5「ICT を革新する電子・量子デバイス」（70%）、「研究開発費の拡充」では領域 2「プレシジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング」（68%）、「研究基盤整備」では領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」（66%）であった。また、「国内連携・協力」は領域 8「自然災害に関する先進的観測・予測技術」、「国際連携・標準化」は領域 6 が最も選択割合が高かった（それぞれ 50%、44%）。「法規制の整備」と「ELSI の対応」は、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」が最も選択割合が高かった（それぞれ 33%、25%）。

社会的実現に向けた政策手段については、「人材の育成・確保」で領域 5（68%）、「事業補助」で

領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」と領域 8(いずれも 58%)、「事業環境整備」で領域 6(64%)が最も選択割合が高かった。「国内連携・協力」は領域 8(52%)、「国際連携・標準化」は領域 6(43%)が最も選択割合が高かった。「法規制の整備」と「ELSI の対応」は、科学技術的実現に向けた政策と同様に、領域 1 が最も選択割合が高かった(それぞれ 42%、31%)。

以上、図表 22 にて領域間の比較を示す。

図表 22 科学技術的実現および社会的実現に向けた政策手段の比較—分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域—



3.4.4 まとめ

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域に属する全 80 トピックについて、重要度と国際競争力の相関を分析したところ、全体的に比較的強い相関が見られた($r=0.59$, $p<0.01$)。

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 つのクローズアップ科学技術領域において、重要度と国際競争力双方とも最も高かったのは、領域 8「自然災害に関する先進的観測・予測技術」であった(それぞれ 1.16、0.79)。その一方、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」は、他領域と比べると、重要度と国際競争力ともにスコアが低かった(それぞれ 0.84、-0.01)。

科学技術的および社会的実現見通しについては、相対的に領域 1 の時期が早かった(それぞれ 2026～2032 年、2029～2033 年)。その一方、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」は、科学技術的および社会的ともに実現期間が最も長く、かつ相対的に実現時期が遅い見通しであった(それぞれ 2028～2041 年、2031～2044 年)。

科学技術的および社会的実現に向けた政策手段のうち、最も高い選択割合を示したのは、領域 5「ICT を革新する電子・量子デバイス」の「人材の育成・確保」であった(70%)。

科学技術的および社会的実現に向けた政策手段に共通する傾向として、「国内連携・協力」は領域 8(それぞれ 50%、52%)、「国際連携・標準化」は領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」(それぞれ 44%、43%)、「法規制の整備」と「ELSI の対応」は領域 1 が最も選択割合が高かった(「法規制の整備」はそれぞれ 33%、42%、「ELSI の対応」はそれぞれ 25%、31%)。

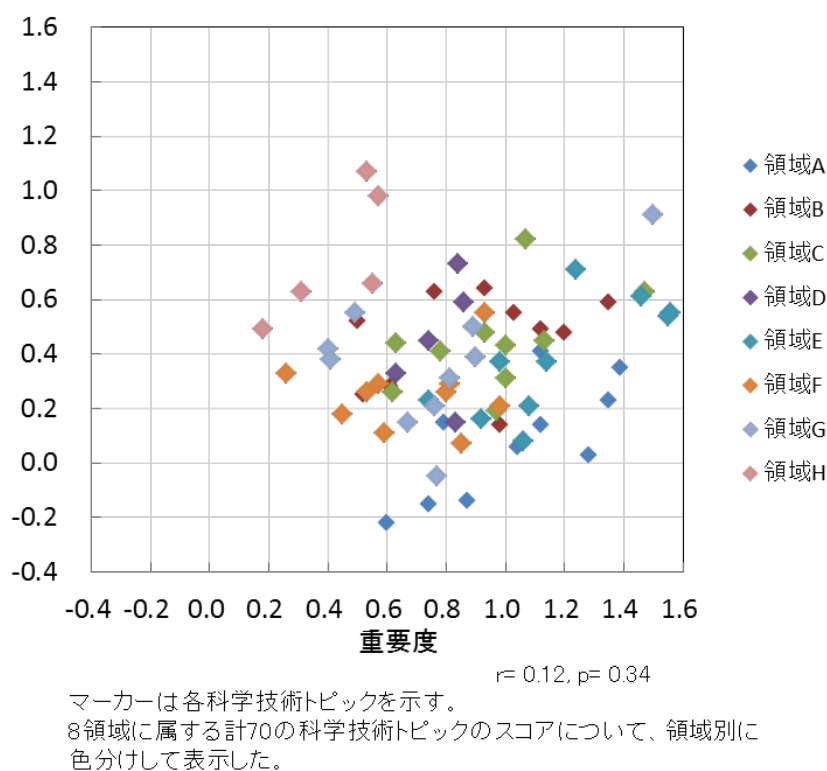
3.5 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—特定分野に軸足を置く 8 領域間の比較—

2.5.1、2.5.2 で示したデルファイ調査結果を用いて、特定分野に軸足を置く 8 領域の比較分析を行った。

3.5.1 重要度と国際競争力

はじめに、各領域に属する 70 の主な科学技術トピックについて、重要度と国際競争力の相関を分析した。その結果、図表 23 に示すように有意な相関は見られなかった($r=0.12$, $p=0.34$)。

図表 23 主な科学技術トピックの重要度と国際競争力—特定分野に軸足を置く 8 領域—

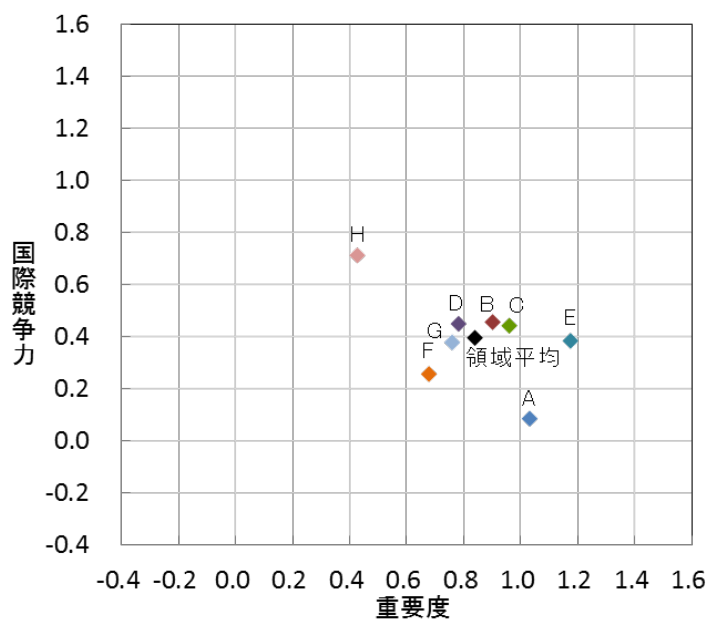


次に、各領域に属する主なトピックの重要度と国際競争力のスコアを平均し、それら数値を領域の代表値として分析したところ、8 領域全体の平均は重要度 0.84、国際競争力 0.39 であった。図表 24 ではクローズアップ科学技術領域毎の重要度・国際競争力の平均スコア、図表 25 では領域毎の科学技術トピックの重要度・国際競争力のスコアのバラツキを示す。

重要度については、領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」が最も高く(1.17)、領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」が最も低かった(0.43)。

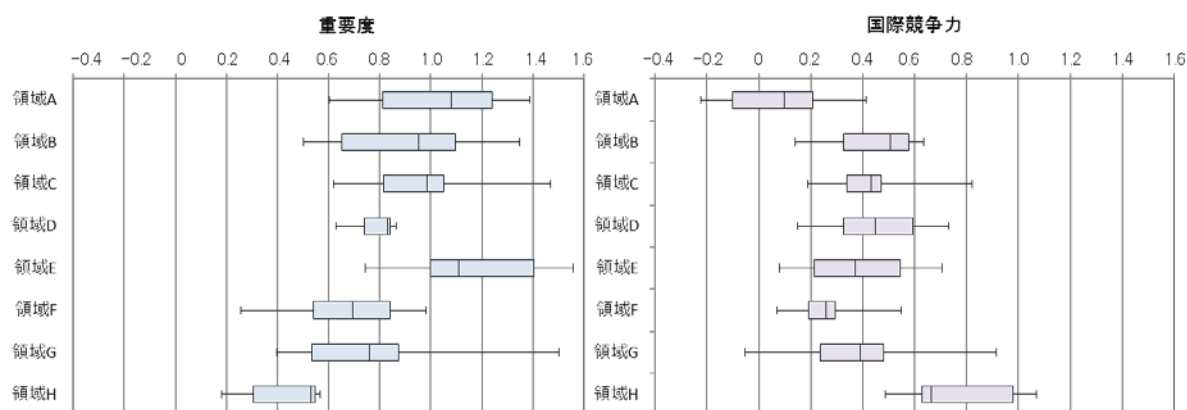
国際競争力については、領域 H が最も高く(0.71)、領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」が最も低かった(0.08)。

図表 24 領域毎の重要度と国際競争力(平均スコア)―特定分野に軸足を置く 8 領域―



マーカーは各領域を示す。
各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の
代表値とした。

図表 25 領域毎の重要度と国際競争力(スコア分布)―特定分野に軸足を置く 8 領域―



重要度、国際競争力共に、各科学技術トピックのスコアを示す。
領域毎に、左から最小値、四分位範囲、最大値を示す。

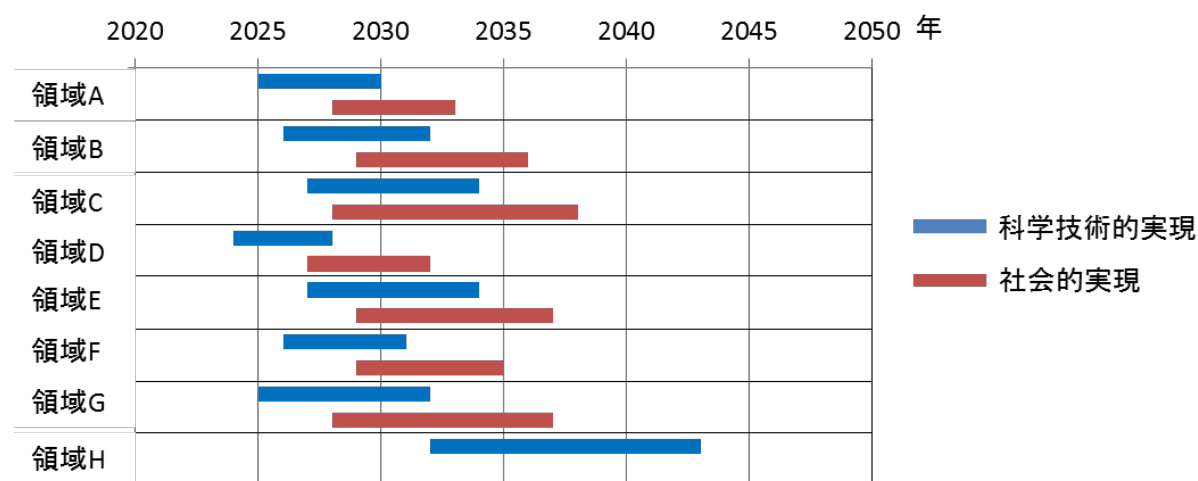
3.5.2 科学技術的および社会的実現見通し

領域に含まれる主な科学技術トピック(5 または 10 トピック)のうち、最も実現見通し時期が早いトピックと最も実現見通し時期が遅いトピックの時期の幅(実現期間)を、図表 26 に示した。実現期間が短い領域は短期集中的な推進方策が求められる一方、実現期間が長い領域は中長期的な推進方

策が求められていると考えられる。なお、領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」には、社会的実現について質問した科学技術トピックはないため、科学技術的実現見通しのみを示した。

科学技術的な実現期間が最も短いのは、領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」の 4 年で、主な科学技術トピックのすべてが、全領域中最も早く 2028 年に科学技術的に実現する見通しである。領域 D の社会的な実現期間も 5 年と最も短く、社会的実現時期も全領域中最も早く、2032 年に主な科学技術トピックのすべてが実現する見通しである。続いて、科学技術的および社会的な実現期間がいずれも 5 年と短い領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」の主な科学技術トピックのすべてが、2030 年に科学技術的実現、2033 年に社会的実現する見通しである。一方、科学技術的な実現期間が 11 年と最も長い領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」は、全領域中最も遅い 2043 年に実現する見通しである。社会的実現見通しの実現期間が最も長いのは、領域 C「次世代通信・暗号技術」の 10 年で、社会的実現も全領域中最も遅い 2038 年の見通しである。

図表 26 科学技術的および社会的実現見通しの比較—特定分野に軸足を置く 8 領域—



各バーの左端は実現時期の最も早い年、右端は最も遅い年を示す。

3.5.3 科学技術的および社会的実現に向けた政策手段

クローズアップ科学技術領域に属するそれぞれのトピックについて、図表 5 で示した選択肢の選択割合を平均したものを領域の代表値として比較した(各選択肢は複数回答可であることを留意)。

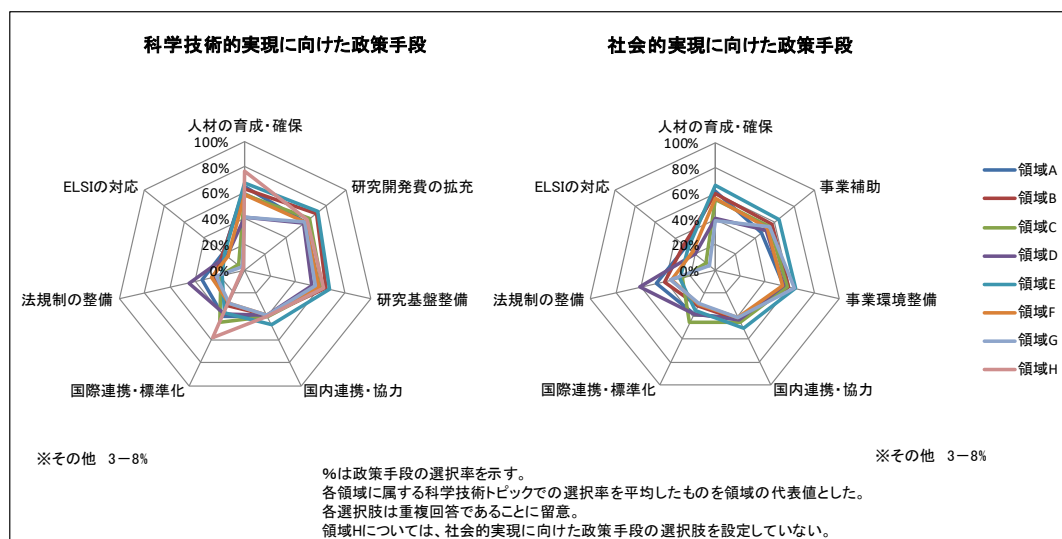
科学技術的実現に向けた政策手段のうち、「人材の育成・確保」では領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」が唯一 70%を超えて選択割合が最も高かった(76%)。「研究開発費の拡充」、「研究基盤整備」、「国内連携・協力」は領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」が最も選択割合が高かった(それぞれ 73%、67%、47%)。「国際連携・標準化」は、領域 H が最も選択割合が高かった(58%)。「法規制の整備」は、領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」が最も選択割合が高かった(45%)。「ELSI の対応」は、領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」と領域 B「人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術」での選択割合が最も高かった(いずれも 22%)。

社会的実現に向けた政策手段については、「人材の育成・確保」、「事業補助」、「事業環境整備」、「国内連携・協力」の選択割合が最も高かったのは領域 E であった(それぞれ 66%、64%、65%、51%)。

「国際連携・標準化」は、領域 C「次世代通信・暗号技術」が最も選択割合が高かった(58%)。「法規制の整備」は、科学技術的実現と同様に、領域 D で選択割合が最も高かった(60%)。「ELSI の対応」は、領域 B で最も選択割合が高かった(31%)。

以下、図表 27 にて領域間の比較を示す。

図表 27 科学技術的および社会的実現に向けた政策手段の比較—特定分野に軸足を置く 8 領域



3.5.4 まとめ

特定分野に軸足を置く 8 つのクローズアップ科学技術領域に属する全 70 トピックについて、重要度と国際競争力の相関を分析したところ、有意な相関は見られなかった($r=0.12$, $p=0.34$)。

重要度のスコアが最も高かったのは領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」であった(1.17)。領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」は重要度が最も低かったが(0.43)、国際競争力は最も高かった(0.71)。

領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」は、他領域と比べて国際競争力が最も低かった(0.08)。領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」でも国際競争力のスコアが低かったことから(-0.01)、ICT に強く関わる領域では国際競争力のスコアが低い傾向にあることが明らかになった。

科学技術的および社会的実現見通しについては、領域 A で早かった(それぞれ 2025～2030 年、2029～2033 年)。領域 1 と同様に、ICT に強く関わる領域では科学技術的および社会的実現時期の見通しが早い傾向にあることが明らかになった。その一方、領域 H では科学技術的実現時期が最も遅い見通しであった(2032～2043 年)。

科学技術的および社会的実現に向けた政策手段のうち、最も高い選択割合だったのは領域 H の「人材の育成・確保」であった(76%)。

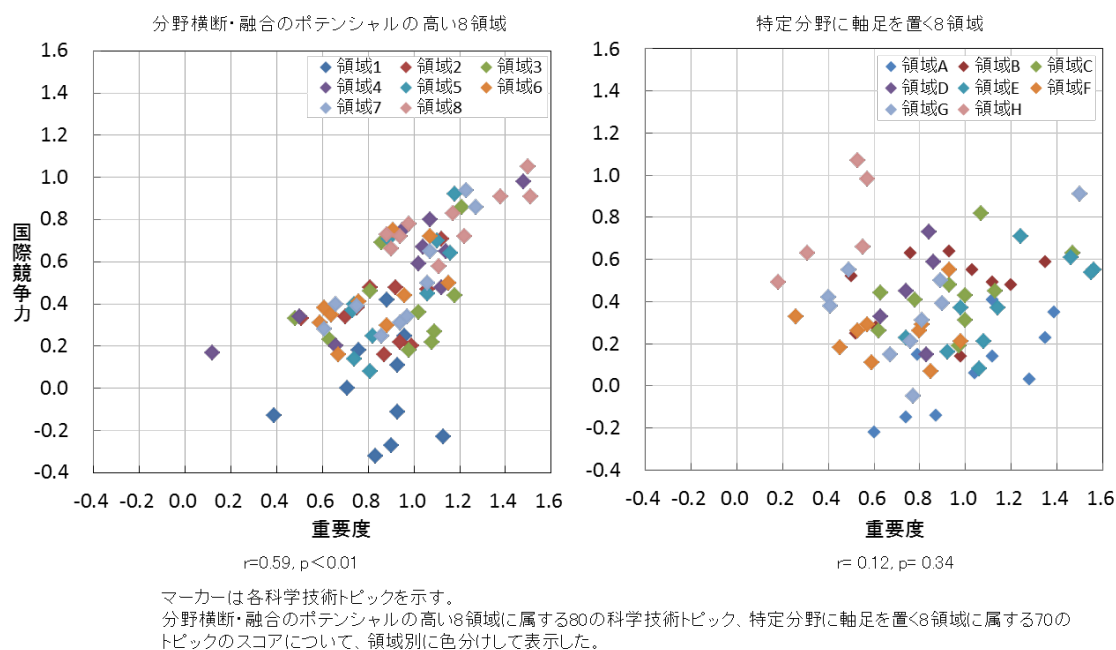
科学技術的および社会的実現に向けた政策手段に共通する傾向として、「研究開発費の拡充」あるいは「事業補助」(それぞれ 73%、64%)、「研究基盤整備」あるいは「事業環境整備」(それぞれ 67%、65%)、「国内連携・協力」(それぞれ 47%、51%)は領域 E、「法規制の整備」は領域 D(それぞれ 45%、

60%) が最も選択割合が高かった。

3.6 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域と特定分野に軸足を置く8領域の比較—

分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域と特定分野に軸足を置く8領域を比較したところ、重要度と国際競争力の関係で大きな違いがあることが明らかになった。具体的には、3.4.1、3.5.1 で示したように、分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域については重要度と国際競争力との間に有意に比較的強い相関関係が見られたが、特定分野に軸足を置く8領域では有意な相関関係は見られなかった。図表 28 にて、先の図表 18 と図表 23 を照らし合わせる。

図表 28 主な科学技術トピックの重要度と国際競争力—分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域と特定分野に軸足を置く8領域—（再掲）



3.7 デルファイ調査結果を用いたクローズアップ科学技術領域の分析—各領域の特徴—

2.5.1、2.5.2 で示したデルファイ調査結果に基づき、各クローズアップ科学技術領域の特徴と内容を分析した。分析を進めるにあたり、図表 4 で示したクローズアップ科学技術領域選定のための専門家を含む、デルファイ調査において分野毎に設置した7分科会の座長と委員、NISTEP 客員研究官、外部機関の専門家より関連資料や助言を得た。

以下、クローズアップ科学技術領域毎に記す(図表番号は領域毎に示す)。

3.7.1 領域 1: 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術

概要

より多様化・複雑化する社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)に対し、情報処理技術と数理科学を駆使してモデル化・シミュレーションすることにより理解し、その制御につなげる科学技術領域

科学技術上のキーワード

IoT、AI、ビッグデータ、ブロックチェーン、サービス・ソリューション、数理科学、モデル、シミュレーション

領域図表 1-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ
	362	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論
	381	法規制のもとで社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術
	393	教育に AI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
	397	すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消
健康・医療・生命科学	73	プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム
農林水産・食品・バイオテクノロジー	112	フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータと AI による育種の超高速化(テラーメイド)
環境・資源・エネルギー	293	情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム
都市・建築・土木・交通	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術

特徴、注目点

近年、ICTはより進化し、インターネット利用の増大とIoT(Internet of Things:モノのインターネット)の普及によって様々な人・モノ・組織がネットワークにつながり、大量のデジタルデータの生成、収集、蓄積が進みつつある。それらビッグデータに対して、近年急速に発展しているAI(人工知能)を応用することにより、広範な産業領域や社会的インフラストラクチャーなどが変革されつつある。

IoTによって現実世界からより多くの情報が収集されるようになると、サイバー空間においても現実

世界の状況をより詳細に再現することができるようになる。また、サイバー空間の情報と現実世界の情報をとを合わせることで、これまでとは異なる視点や考え方も生まれることで、現実世界のみでは困難だった複雑な原因の解明や将来予測、新たな制度設計が可能だと期待されている²¹。これはまさしく、我が国が標榜するSociety5.0「サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会(Society)」²²を意味する。当科学技術領域は、このSociety5.0の実現に向けた取組を加速させるものであり、今後より多様化・複雑化すると考えられる社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)をモデル化・シミュレーションすることにより理解し、その制御につなげる一連の科学技術群である。中核的な科学技術として、情報処理技術と数理科学が挙げられる。

具体的には、大規模なソーシャルメディア由来のデータ(ソーシャルデータ)とリアルワールド由来の各種計測・観測データの取得・処理、データに基づく人間・組織の行動や社会現象の数理科学的分析・モデル化(エージェント・ベース・モデル、ベイジアンネットワーク、ベイズ統計など)、バーチャルラボなどを通じた大規模行動実験などが含まれる。科学技術トピックの例では、ID383「社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術」が挙げられるが、ここでは、様々な場面から得られるマルチモーダルなビックデータを扱い、大量の非構造化データや自然言語情報などを効率的・効果的に処理する AI の開発が求められる。加えて、上記のような複雑かつ大規模なデータの並列計算を可能とするシステム(量子コンピューティングなど)が必要となる。

一方で、限られたデータから精度良く教師なし学習を行うことが出来る技術、所謂不完全情報処理技術も求められる。この理由として、社会課題の内容によっては、大量のデータを取得することが困難である、あるいはそもそも大量のデータを取得することが出来ない場合があることが挙げられる。これは法規制に由来する場合も想定されており、近年、ELSI(倫理的・法的・社会的問題)の観点で、データの越境移転を規制するデータローカライゼーションに関する法規制の動きが進んでいることが背景にある。具体例として、中国のインターネット安全法(中華人民共和国网络安全法、2017年6月施行)²³、EUの一般データ保護規則(GDPR:General Data Protection Regulation、2018年5月施行)²⁴が挙げられる。

上記の科学技術により、多様な社会的共通資本のサービス・ソリューションが進展すると考えられる。例えば、ID381「法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)」、ID534「フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術」が挙げられる。

総じて、当科学技術領域により、社会的インフラストラクチャー、都市建築空間、教育、医療、金融などの多様な社会的共通資本のサービス・ソリューションが進展することにより、我が国全体が発展するとともに、日本国民一人一人のニーズが叶う新たな社会が到来すると期待される。

²¹ 平成30年版情報通信白書第1部、

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n1000000.pdf>

²² 内閣府 Society5.0、https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

²³ 日本貿易振興機構(ジェトロ) 北京事務所、中国「インターネット安全法」に基づく企業コンプライアンスについて、2017年11月 https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2017/4239e2d290330868/cnrrp-201711.pdf

²⁴ EUの一般データ保護規則(GDPR)、(EU)2016/679、<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R0679>

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 1-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2029	2026	73	プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム	0.93	0.11
	2027	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ	0.71	0.00
2030		293	情報技術 (IoT、AI、ビッグデータ等) を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム	0.88	0.42
	2028	362	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論	0.39	-0.13
		534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術	0.96	0.25
2031	2029	112	フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータとAIによる育種の超高速化(テラーメイド)	0.76	0.18
2032	2028	393	教育に AI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現	0.83	-0.32
		397	すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消	1.13	-0.23
	2032	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術	0.93	-0.11
2033	2031	381	法規制のもと社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)	0.90	-0.27

1. 重要度と国際競争力

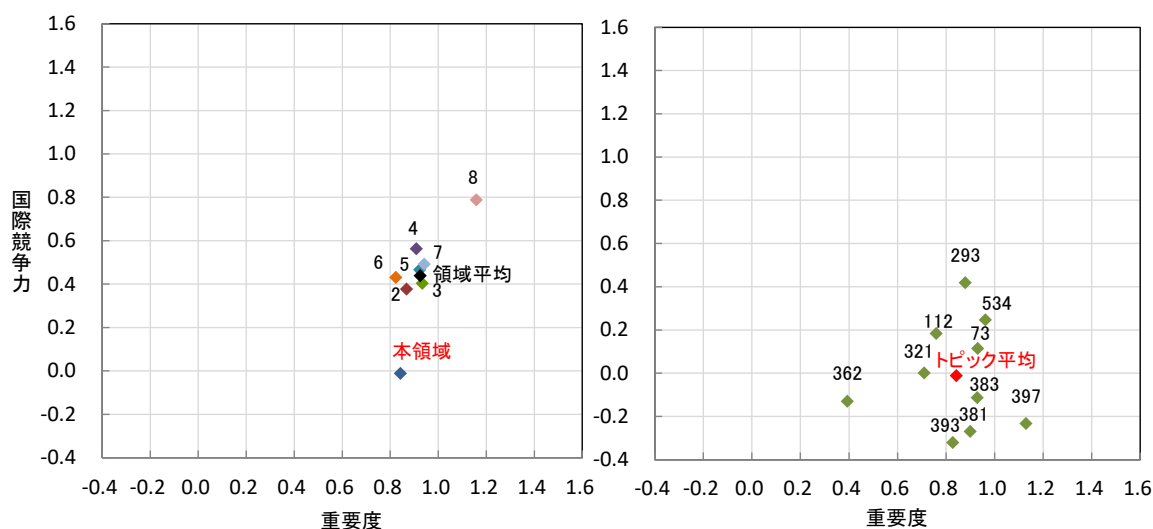
分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の国際競争力をみると(-0.01)、全体平均(0.44)や他領域(0.38～0.79)と比べてかなり低い(領域図表 1-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度については ID397「すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消」が最も高く(1.13)、次いで ID534「フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術」となっている(0.96)。一方、唯一重要度が 0.5 以下で最も低い科学技術トピックは、ID362「モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発

展させた新理論」である(0.39)。

国際競争力については、5 科学技術トピックでマイナスの数値となっており(ID362、381、383、393、397)、その他のトピックも 0.5 以下で全般的に低い。その中で最も高いのは、科学技術トピック ID293「情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム」である(0.42)。

領域図表 1-3 重要度と国際競争力:分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的実現は 2026 年から 2032 年と予測されており、全般的に実現は早い見通しである(領域図表 1-2)。科学技術トピック毎でみると、ID73「プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム」が最も早く実現(2026 年)する見通しである。一方、最も遅く実現すると考えられている科学技術トピックは、ID383「社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術」である(2032 年)。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保の選択割合は、1 科学技術トピック以外は 50%程度以上であった(領域図表 1-4)。その中で最も選択割合の高かった科学技術トピックは、ID383「社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術」である(76%)。

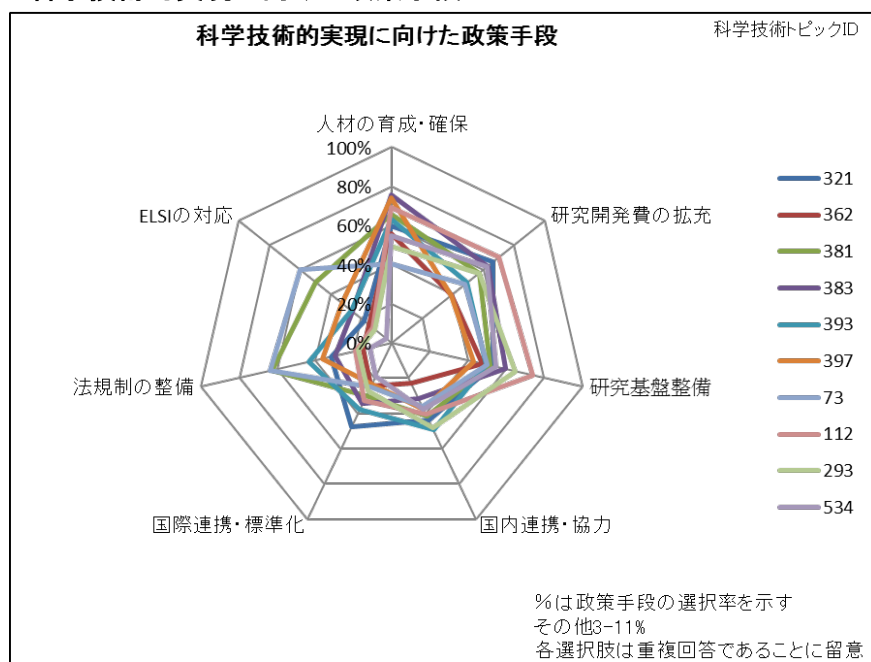
研究開発費の拡充と研究基盤整備については、科学技術トピック ID112「フィールドオミックス、フェノミクスなどから得られたビッグデータと AI による育種の超高速化(テーラーメイド)」での選択割合が最も高かった(それぞれ 70%、74%)。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID293「情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム」での選択割合が最も高かった(48%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID321「社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ」での選択割合が最も高く(48%)、ID534「フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術」は最も低かった(19%)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID73「プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム」での選択割合が最も高く(それぞれ 64%、60%)、次に ID381「法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)」で高かった(それぞれ 63%、50%)。

領域図表 1-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2029 年から 2033 年の間と予測されており(領域図表 1-2)、全般的に実現は早い見通しである。科学技術トピック毎でみると、ID73「プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム」と ID321「社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ」が最も早く実現する(2029 年)見通しである。一方、最も遅く実現する見通しの科学技術トピックは、ID381「法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)」である(2033 年)。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、1 科学技術トピック以外、50%程度以上の選択割合であった（領域図表 1-5）。その中で、科学技術トピック ID397「すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消」が最も高かった（77%）。

事業補助については、科学技術トピック ID293「情報技術（IoT、AI、ビッグデータ等）を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム」での選択割合が最も高かった（62%）。

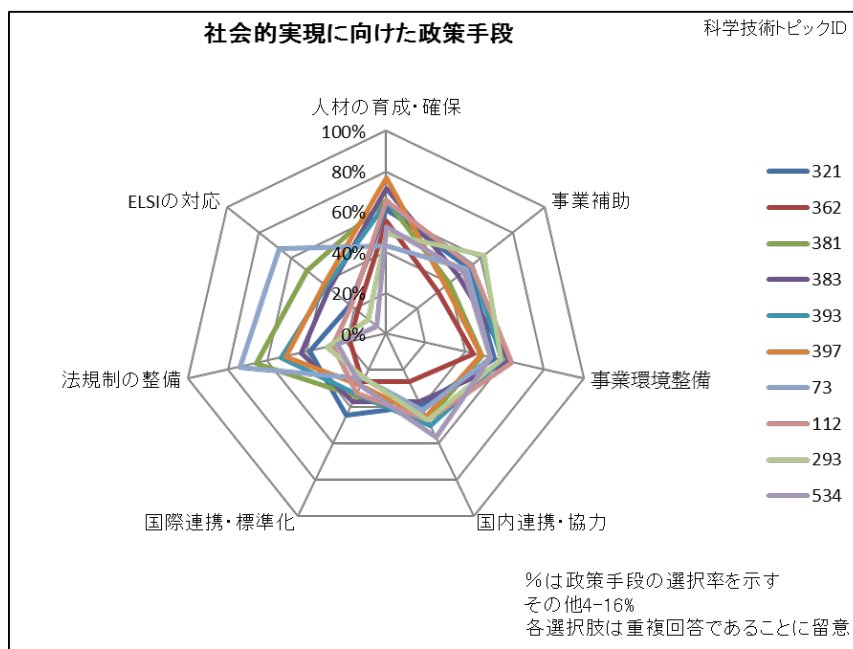
事業環境整備については、科学技術トピック ID112「フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータと AI による育種の超高速化（テラーメイド）」、ID383「社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術」での選択割合が最も高かった（いずれも 63%）。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID534「フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術」での選択割合が最も高かった（57%）。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID321「社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ」での選択割合が最も高かった（45%）。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID73「プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム」での選択割合が最も高く（それぞれ 74%、67%）、次に ID381「法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム（政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む）」で高かった（それぞれ 66%、50%）。

領域図表 1-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の科学技術的および社会的実現は全般的に早い見通しであった。当領域の基盤的技術である ICT は、特に技術革新が加速化していることが反映していると考えられる。

科学技術トピック ID397「すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消」は、重要度が最も高い科学トピックであったが、その国際競争力は当科学技術領域の中で相対的に低かった。この科学技術トピックに対する社会的実現に向けた政策手段では、人材育成・確保の選択割合が最も高かったことを考え合わせると、今後更に激化すると考えられる国際競争を勝ち抜くためには、人材育成が大きな課題の一つだと考えられる。

科学技術トピック ID73「プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム」、ID381「法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)」については、科学技術的および社会的実現双方に向けた政策手段が共通しており、法規制の整備、ELSI の対応の選択割合が高かった。この結果から、個人情報保護と利活用に向けた取組が一層求められるようになると考えられる。

3.7.2 領域 2: プレシジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング

概要

遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮するプレシジョン医療をめざした、ヒト生体での多様な相互作用を総合的に理解するバイオモニタリングと、その結果に基づき医療技術を開発するバイオエンジニアリングから成る科学技術領域

科学技術上のキーワード

医薬、再生医療、幹細胞、細胞医療、遺伝子治療、リアルタイムモニタリング、計測、イメージング、量子、バイオファブリケーション

領域図表 2-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法
	89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム
	90	細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術
マテリアル・デバイス・プロセス	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術
	502	3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオファブリケーション)
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術

特徴、注目点

ヒトを含む多細胞生物は、分子レベル、細胞レベル、組織レベル、臓器レベルでの多様な相互作用を介して恒常性を維持している。例えば、脂肪組織のエネルギー代謝は、肝臓、消化管、中枢神経とのクロストークで調節・制御され、免疫応答はリンパ節、脾臓、骨髄、胸腺といったリンパ組織と個々の応答に直接関わる肺、腸、皮膚などの臓器との複雑な相互作用によって制御されている。本科学技術領域は、これら多階層間での相互作用について総合的に理解し、生体の恒常性維持とその破綻のメカニズムを明らかにすることにより、ヒトの疾病予防・診断・治療法といった医療技術の開発を推進してプレシジョン医療につなげることを目指すものである。

プレシジョン医療という言葉は、2015 年、オバマ前米国大統領の一般教書演説において「Precision Medicine Initiative」を示したことから広まった。その一般教書演説では、「従来型医療(one-size-fits-all 型医療)は平均的な患者向けにデザインされたものであり、ある患者群には有効であったが、その他の患者群にはほとんど効果がなかった。その一方、プレシジョン医療は遺伝子、

環境、ライフスタイルといった個人差を考慮したイノベーティブなアプローチである」と説明している²⁵。近年、分子生物学的な計測・解析手法やバイオインフォマティクスの進展により、個人のゲノム情報、オミックス情報、マイクロバイーム情報等が収集・分析されるようになり、疾病の原因や発症・経過が分子レベルでより詳細に把握できるようになった。プレジジョン医療は、こうした個人の詳細な生体情報に基づいて、患者をより精密に診断し、治療法とともに予防法の開発・提供を目指す医療である。

生体における多階層間での相互作用を理解する上では、計測・センサーといった工学的技術の高度化が必要となる。例えば科学技術トピック ID90「細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術」は、生体組織を構成する 1 細胞のゲノム、エピゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボローム等の各種オミックスの網羅的な解析を行い、多階層間での時間的・空間的な定量的分子情報の取得につなげることによって、生体機能の統合的な理解を目指すものである²⁶。

さらに、量子力学的な効果を計測・センサー技術に利用することによって、従来技術を凌駕する感度や空間分解能等で生体機能を明らかにすることが期待される²⁷。科学技術トピック ID470「光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術」では、通常の光子でなく、2 つの光子がどこに存在するかによらず対となって関連する量子もつれと呼ばれる状態にある「量子もつれ光」を利用して、顕微鏡や光干渉断層計の感度・機能を向上することにより、生体に対する非侵襲かつ高分解能なイメージングを可能とする。

上記のような高度な計測・センサー技術により生体の多様な相互作用を把握することで、バイオエンジニアリングに基づく再生医療、細胞医療や遺伝子治療が高度化し、プレジジョン医療の実現につながると期待される。再生医療では、生体内に内在する幹細胞を利用する技術(科学技術トピック ID10、以下同様)や同種由来の幹細胞を利用した技術・製品(ID11)が今後の方向性の一つとして期待されている一方、3D プリンティング技術によって細胞から組織や臓器を作るバイオフィabricationも注目される(ID502)。また、近年の CRISPR/Cas9 法の開発により急速な発展を遂げているゲノム編集技術については、オフターゲット(目的としないゲノム DNA 部位に変異が入ること)やモザイク(全ての細胞で目的の変異が導入されないこと)などの問題点を解消する次世代技術によって、効果的な遺伝子治療につなげることが期待されている(ID15)。

総じて、当領域において医療技術と工学的技術がさらに深化・発展し、連携を越えて融合することにより、我が国が目指す健康長寿社会の実現に資すると期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

²⁵ The White House, The Precision Medicine Initiative, <https://obamawhitehouse.archives.gov/precision-medicine>

²⁶ 参考: 文部科学省 戦略目標「生体制御の機能解明に資する統合 1 細胞解析基盤技術の創出」
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/02/attach/1344596.htm

²⁷ 参考: 文部科学省 科学技術・学術審議会 先端研究基盤部会 量子科学技術委員会、量子計測・センシング・イメージング(生物・生命科学系)に係る議論(平成 28 年 8 月 25 日、第 5 回)の骨子案、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu17/010/houkoku/1378988.htm

領域図表 2-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2030	2028	90	細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術	0.70	0.34
2032	2029	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬	0.94	0.22
		15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法	0.99	0.20
2033	2030	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術	1.12	0.71
		89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム	0.87	0.16
		458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術	0.81	0.48
	2031	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術	0.75	0.38
11		免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品	0.92	0.48	
502		3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造（バイオフィabricेशन）	1.06	0.47	
2034					
2038	2035	470	光をほとんどあてずに測定する被写体（生体）にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術	0.51	0.33

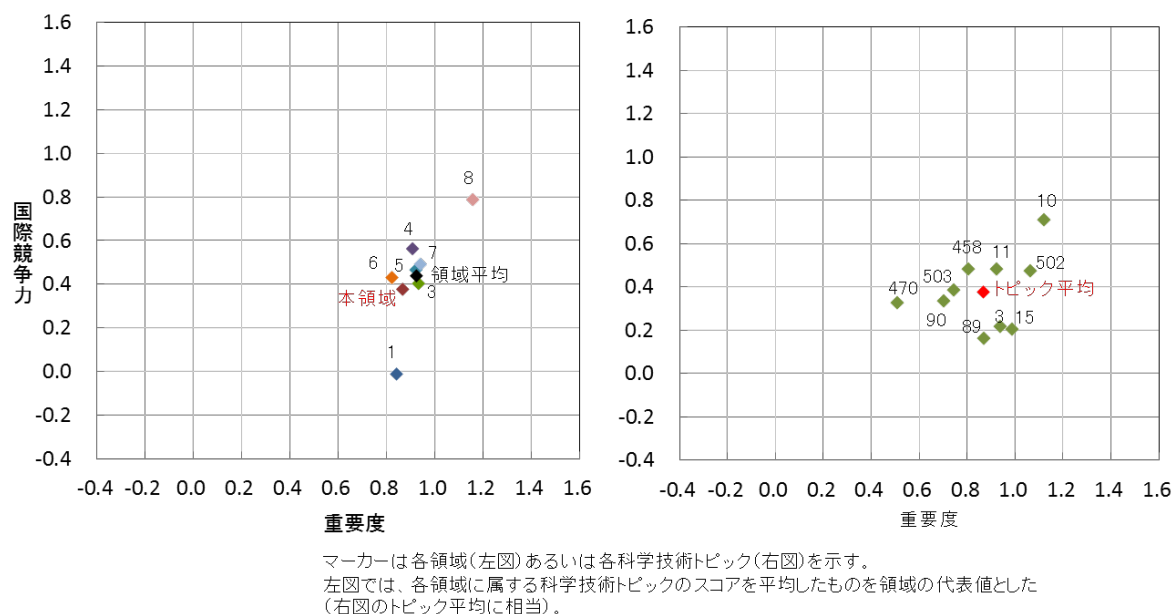
1. 重要度と国際競争力

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると（それぞれ 0.87、0.38）、全体平均（それぞれ 0.92、0.44）よりやや低い（領域図表 2-3）。

科学技術トピック毎でみると、ID10「生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術」が重要度、国際競争力ともに最も高い（それぞれ 1.12、0.71）。科学技術トピック ID502「3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造（バイオフィabrication）」も重要度が高く（1.06）、その一方で ID470「光をほとんどあてずに測定する被写体（生体）にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術」の重要度は最も低い（0.51）。

3 つの科学技術トピック、ID3「低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬」、ID15「次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法」、ID89「循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム」は、国際競争力が相対的に低い（それぞれ 0.22、0.20、0.16）。

領域図表 2-3 重要度と国際競争力:分野横断・融合のポテンシャルの高い8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2028 年から 2035 年の間と予測されており、ほとんどが 2031 年までに実現する見通しである(領域図表 2-2)。科学技術トピック毎でみると、ID90「細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術」が最も早く実現する見通し(2028 年)の一方、ID470「光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術」の実現は最も遅い見通しである(2035 年)。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備については、ほぼ回答者の 50%以上が選択した(領域図表 2-4)。特に選択割合が高かった科学技術トピックは、人材育成・確保では ID458「マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術」(75%)、研究開発費の拡充では ID3「低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬」(79%)であった。

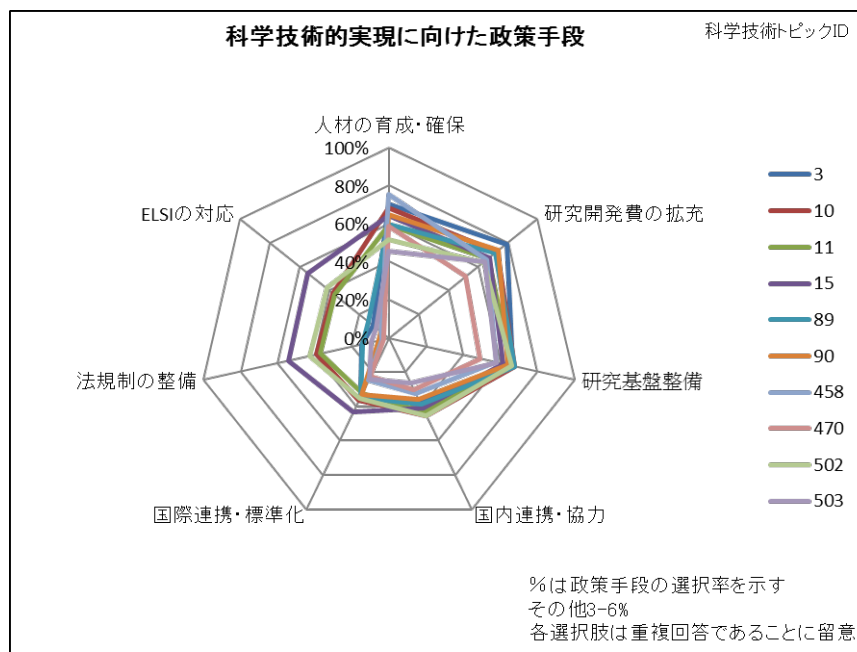
国内連携については、科学技術トピック ID10「生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術」、ID502「3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオファブリケーション)」での選択割合が最も高く(それぞれ 68%)、その一方でトピック ID503「細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術」での選択割合は最も低かった(26%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID15「次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法」での選択割合が最も高く(43%)、科学技術トピック ID470「光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術」での選択割合は最も低かった(22%)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID15 での選択割合がそれぞれ 50%以

上で最も高く(それぞれ 54%、55%)、次に ID502「3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオフィabrication)」で選択割合が高かった(それぞれ 43%、42%)。

領域図表 2-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2030 年から 2038 年の間と予測されており、ほとんどが 2034 年までの実現見通しである(領域図表 2-2)。科学技術トピック毎でみると、ID90「細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術」が最も早く実現(2030 年)する見通しの方、ID470「光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術」の実現は最も遅い(2038 年)見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、事業補助、事業環境整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 45%以上が選択した(領域図表 2-5)。

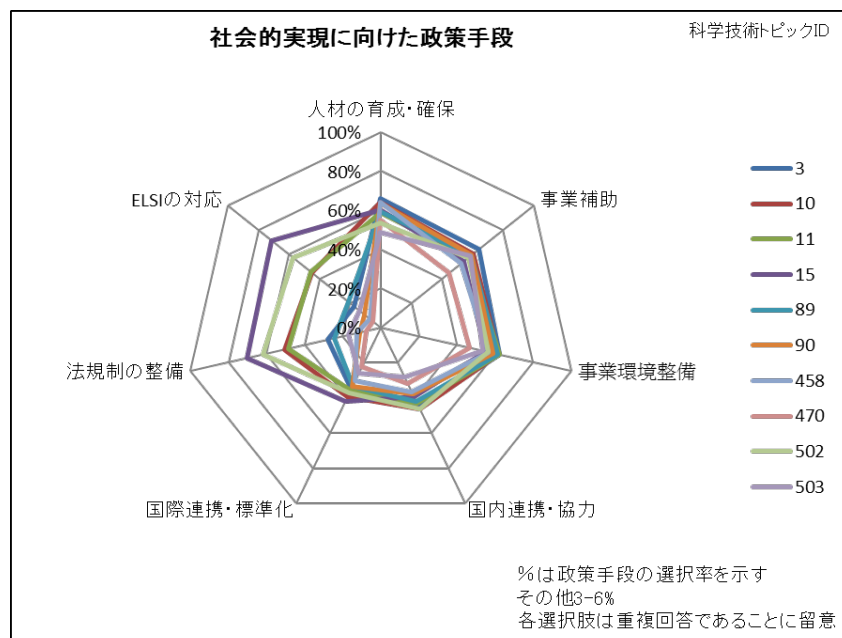
国内連携については、科学技術トピック ID10「生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術」、ID502「3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオフィabrication)」での選択割合が最も高く(46%)、その一方でトピック ID503「細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術」での選択割合は最も低かった(28%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID15「次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広く実現する遺伝子治療法」での選択割合が最も高く(42%)、科学技術トピック ID503 での選択割合は最も低かった(26%)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID15 での選択割合がそれぞれ 70%以

上で最も高く、ID502、ID10 の順で選択割合が高かった。

領域図表 2-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度と国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域全体の平均よりやや低い評価であった。その中で、再生医療については、重要度や国際競争力が高い科学技術トピックが複数あったことから、我が国で推進してきた研究開発が高く評価され、医療としての実用化が期待されていると考えられる。

重要度、国際競争力ともに最も高い科学技術トピックは、ID10「生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術」であり、その科学技術的および社会的実現に向けて最も有効な政策手段として国内連携が挙げられた。重要度が高い科学技術トピック ID502「3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造（バイオファブリケーション）」についても同様に、科学技術的および社会的実現に向けて最も有効な政策手段として国内連携が挙げられた。このことから、再生医療に関する研究開発と社会実現には、政策手段として国内連携が特に重要だと考えられる。

遺伝子治療や再生医療に関する科学技術トピックでは、科学技術的および社会的実現に向けて最も有効な政策手段として、法規制の整備と ELSI の対応の選択割合が最も高かった (ID15「次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法」、ID502)。世界的に急速な発展を遂げているゲノム編集技術や再生医療技術に対して、これらの政策は今後一層整備する必要があると考えられる。

3.7.3 領域 3:先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術

概要

これまで見えなかったものの観測や観察を可能とする先端計測と、シミュレーション・インフォマティクス・AI などの数理・情報科学を融合することで、科学的解明や創薬・触媒・材料・農作物などの幅広い実用分野での技術開発につなげる科学技術領域

科学技術上のキーワード

テーラーメイド医薬品・化粧品、放射光計測技術、その場観測、ハイブリッドコンピュータシステム、プロセスシミュレーション、超高解像度顕微鏡、量子シミュレータ、量子もつれ光、ハイスループット表現型計測システム、生育予測・診断システム

領域図表 3-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	649	iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テーラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法
	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化
	680	中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術
	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム
マテリアル・デバイス・プロセス	431	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術
	453	ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡
	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明
農林水産・食品・バイオテクノロジー	107	X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム
	108	短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム

特徴、注目点

自然科学の様々な現象を正確に観測あるいは計測することは、太古の昔から科学技術の最も根幹を成すものであり、その対象は壮大な宇宙からナノサイズの分子・原子まで、あらゆるものに及ぶ。科学技術が大きく進展した現代では、観測・計測技術は非常に高度化し、ハードウェアだけでなく、計算科学やデータ科学との融合によって、新しい科学技術の基盤として機能することが期待されている²⁸。さらに、今後はそれらを社会実装につなげる研究開発も求められている。

²⁸ https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah28-3.html

当領域では、これまで見えなかったものの観測や観察を可能とする先端計測と、シミュレーション・インフォマティクス・AI などの数理・情報科学を融合することで、科学的解明や創薬・触媒・材料・農作物などの幅広い実用分野における技術開発につなげる科学技術を取り上げる。

原子・分子レベルの顕微鏡や量子状態をプローブとする新たな計測・イメージング技術、農作物の高速計測システム、量子ビームによる材料のその場観察など、材料から農作物まで広範囲を対象物としたこれまでにない高度な計測技術に関する科学技術トピックとして、ID453「ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡」、ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」、ID107「X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム」、ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」があげられる。特に、オペランド計測は、プロセスやデバイス動作解析で、広く期待が集まっている。

また、先端計測技術と情報科学を融合した計測の高度化や、AI を融合した農作物の生育予測など、情報科学を活用し新たな見地を得ることを目指す科学技術トピックとして、ID676「情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化」、あるいは ID108「短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム」が代表例として挙げられる。

さらに、医薬品や材料、投資・金融など広範を対象にしたシミュレーション・予測技術に関する科学技術トピックとして、ID649「iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テイラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法」、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」、ID469「量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ」、ID431「合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術」があげられる。特に、量子シミュレータや量子コンピュータ・ハイブリッドシステムは、創薬や触媒、材料設計を大きく変える革新技术として注目される。

総じて、当科学技術領域により、原子・分子レベルの先端計測と、実利用環境に対応したシミュレーション技術や膨大な情報量を扱える量子シミュレータなどの数理・情報科学との高度融合により、これまでにない未知の現象の観測と予測を可能とし、科学的な解明や実用技術の進展をもたらすことが期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 3-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2026	2025	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化	0.98	0.18
2028	2026	680	中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術	1.21	0.86
2030	2028	107	X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム	0.63	0.23
2031		108	短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム	1.02	0.36
2032	2029	431	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術	1.18	0.44
2033	2031	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ	1.09	0.27
2034		453	ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡	0.86	0.69
2035	2030	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム	1.08	0.22
	2031	649	iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テイラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法	0.81	0.46
2036	2033	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明	0.48	0.33

1. 重要度と国際競争力

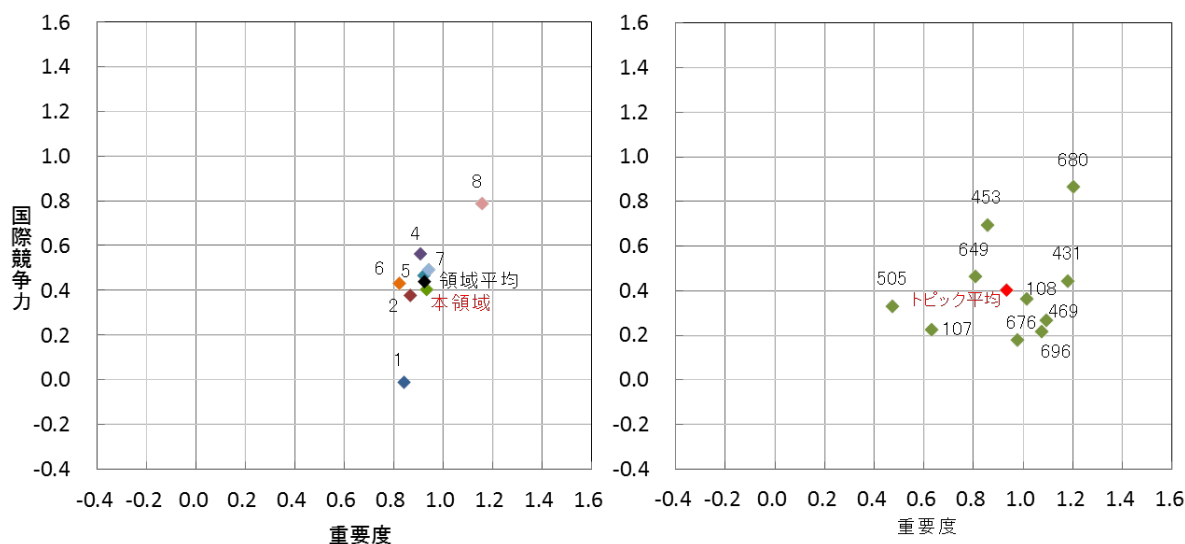
分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の主たる 10 トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ 0.93、0.4)は、全体平均(それぞれ 0.92、0.44)と比較し重要度、国際競争力ともにほぼ同等である(領域図表 3-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」が、重要度、国際競争力ともに最も高い(それぞれ 1.21、0.86)。また、科学技術トピック ID469「量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ」、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」、ID676「情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化」は、重要度は高い(それぞれ 1.09、1.08、0.98)が、国際競争力が比較的低い(それぞれ 0.27、0.22、0.18)。

その一方で、科学技術トピック ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」、および ID107「X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミ

ックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム」は、重要度、国際競争力ともに低い(それぞれ 0.48、0.33 および 0.63、0.23)。

領域図表 3-3 重要度と国際競争力:分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした
(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの科学技術的実現は、2025 年から 2033 年の間と予測されている(領域図表 3-2)。科学技術トピック毎でみると、ID676「情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化」が 2025 年に、ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」が 2026 年の比較的早期に実現する見通しである。また、農作物に適用する計測・予測システム関連の、ID107「X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム」、ID108「短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム」は、2028 年に実現すると予測されている。さらに、材料関連シミュレーション技術の ID431「合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術」が、2029 年に実現する見通しである。一方、ID469「量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ」、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」、ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」といった、創薬や生命応用関連の量子技術は、2031 年から 2033 年の比較的遅い時期に実現する見通しである。

3. 科学技術の実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、ほとんどの科学技術トピックで 61%以上と多くの回答者が選択している。ID431「合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術」が 76%と最も高く、ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」のみ 45%と低い(領域図表 3-4)。

研究開発費の拡充については、ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」と、ID108「短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム」が 72%と最も高く、続いて ID453「ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡」が 71%と高い。

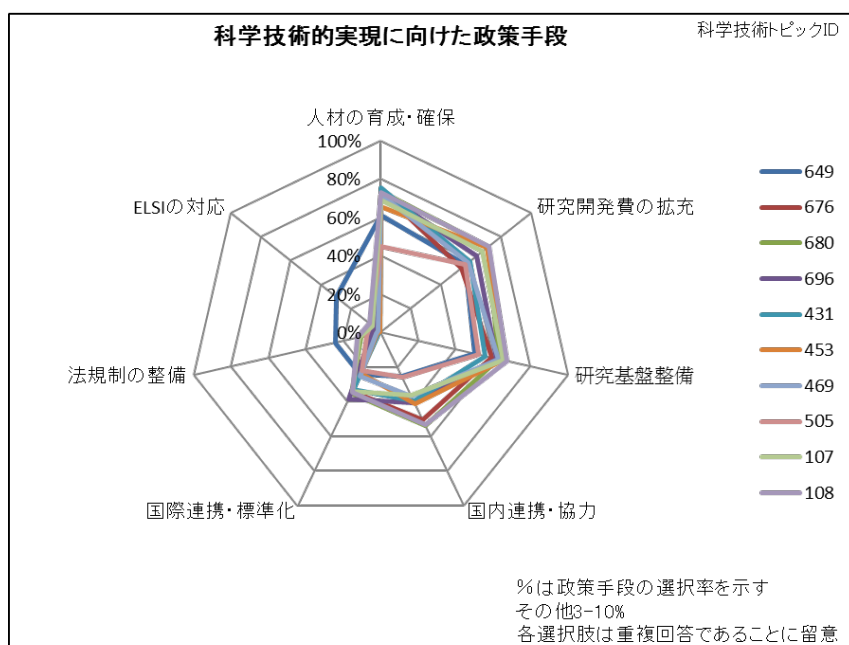
研究基盤整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 50%以上が選択し、ID108 が 67%と最も高かった。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID680 と ID108 が 54%と高く、一方 ID649「iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テララーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法」と、ID505 が、それぞれ 25%、26%と低い。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 22%以上が選択し、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」が 39%と最も高かった。

法規制の整備と ELSI の対応については、いずれも科学技術トピック ID649 で選択割合がそれぞれ 24%、30%と比較的高かった。

領域図表 3-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2026 年から 2036 年の間と予測されている（領域図表 3-2）。科学技術トピック毎でみると、ID676「情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化」が 2026 年に、ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」が 2028 年の比較的早期に実現する見通しである。また、農作物に適用する計測・予測システム関連の、ID107「X 線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析と ICT を用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム」が 2030 年に、ID108「短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム」が 2031 年と相次いで実現すると予測されている。さらに、ID649「iPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テーラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法」は、2035 年と比較的遅い時期に実現する見通しである。一方、ID469「量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ」、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」、ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」といった、創薬や生命応用関連の量子技術も、2033 年から 2036 年の比較的遅い時期に実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、ほとんどの科学技術トピックで 57%以上と多くの回答者が選択している（領域図表 3-5）。ID680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」が 75%と最も高く、ID505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」のみ 43%と低い。

事業補助については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 40%以上が選択し、ID680 が 64%と最も高い。

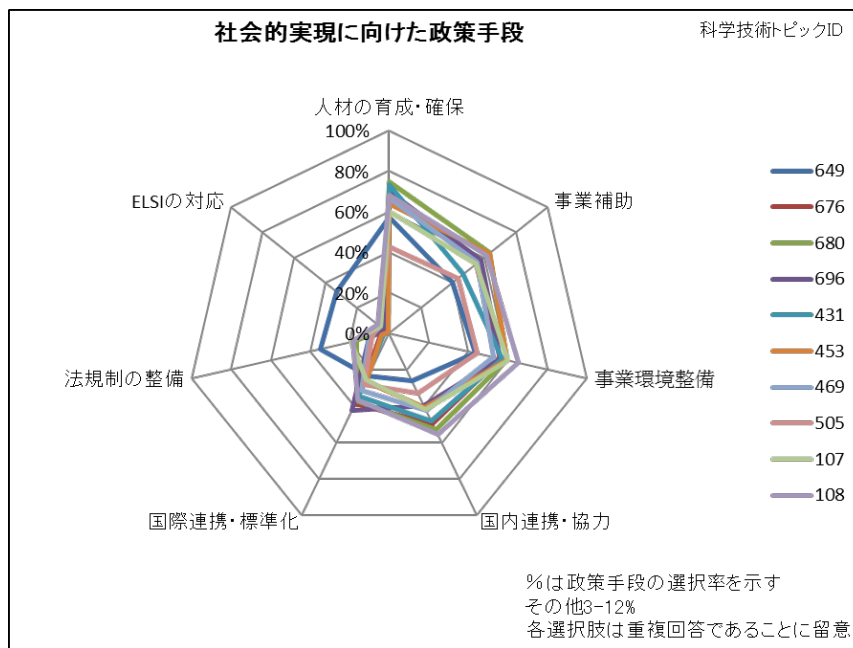
事業環境整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 43%以上が選択し、ID108「短・中期気象予報と生物学的知識と AI を融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム」が 65%と最も高かった。

国内連携・協力については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 26%以上が選択し、ID108 が 55%と高かった。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 23%以上が選択し、ID696「創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を 3 桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム」が 42%と最も高かった。

法規制の整備と ELSI の対応については、いずれも科学技術トピック ID649 で選択割合がそれぞれ 35%,33%と比較的高かった。

領域図表 3-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で重要度、国際競争力ともに平均的な評価であった。また、科学技術的实现および社会的实现ともに、一般的に平均的な見通しであった。政策手段は、大半で人材の育成・確保、研究開発費の拡充／事業補助と研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高いことが特徴である。

重要度、国際競争力の双方が高いと評価された、科学技術トピック No.680「中性子や X 線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の 3 次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術」は、科学技術的实现および社会的实现見通しともに、比較的早い時期に実現する。一方、重要度が最も低く、国際競争力も比較的低いと評価された、科学技術トピック No.505「量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明」は、科学技術的实现および社会的实现見通しともに、当領域内では最も遅い時期に実現する。

3.7.4 領域 4:新規構造・機能の材料と製造システムの創成

概要

地球・環境に関わる社会課題の解決や人間の QOL 向上など、将来社会の個人や社会の多様なニーズに応え、マス・カスタマイゼーションを可能とする先進製造・流通システムによって、新たな価値創造をもたらすことが期待される、ものづくりの基盤となる要素技術からなる科学技術領域

科学技術上のキーワード

4D プリンティング・4D マテリアル、マルチマテリアル、マルチスケールシミュレーション、自己修復材料、フードプリンティング、ソフトマテリアル、バイオメティクス、二次電池、レアメタル回収、インターモーダル

領域図表 4-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)
	423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術
	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料
	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する3Dフードプリンディング技術
	495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル
環境・資源・エネルギー	499	バイオメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料
	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下)
都市・建築・土木・交通	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術
	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム

特徴、注目点

材料科学分野におけるデジタルトランスフォーメーションが進むことで²⁹、材料設計・製造プロセスなどの高度化・自動化により、複数の材料で構成され製造後に自発変化・自己修復する先進 4D 構造・機能が創出され、人間の生活環境へきめ細やかに対応しつつ、地球環境・資源問題にも貢献するなど、新価値創造が期待される、材料・製造などものづくりの基盤となる要素技術からなる科学技術

²⁹ 内閣府;戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」:
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/5_material.pdf

領域である。

人間の QOL 向上に寄与する可能性のある、人とその生活環境に関わる科学技術トピックとして、ID499「バイオメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」や、ID495「人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル」あるいは、ID483「経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料」が代表例としてあげられる。

また、地球・環境などの社会課題解決に貢献する可能性のある科学技術トピックとして、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)」、および ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」があげられる。

人間の QOL 向上や社会課題解決に向けた科学技術では、その経済性を確保することが重要となる。これらを両立するために、マス・カスタマイゼーションに対応するための先進製造技術として、科学技術トピック ID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する 3D フードプリンティング技術」、ID419「形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)」、および ID423「複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術」など、3D データを活用しオンサイト・オンデマンドで在庫や流通コストを低減し、構造物や製品を製造できる 3D プリンティング、またさらに使用時あるいは使用後の状態・変化を事前に予測して設計・製造する、4D プリンティング・4D マテリアルなどが代表的な技術となる。さらにこれらの技術は、最小限の素材やエネルギー資源で製造・流通できるポテンシャルがある。

さらに、それらの基盤となる材料・プロセスの設計においては、科学技術トピック ID430「摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術」に代表されるシミュレーションあるいはインフォマティクスの活用があげられる。また流通面では、科学技術トピック ID565「インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」に代表される計測・データ活用の流通システムがあげられる。

総じて、当科学技術領域により、人間の QOL 向上や地球・環境に関わる社会課題など、個人や社会のニーズに応え、さらには計算科学・データ科学などの情報科学との高度融合により、マス・カスタマイゼーションとリサイクルの両面に対応した新たな材料開発と製造・流通・サービスシステムの構築が進められ、我が国の産業の国際競争力の向上につながることが期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 4-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2028	2025	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム	0.50	0.34
2030	2028	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する 3Dフードプリンディング技術	0.12	0.17
		495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル	0.95	0.75
2031		423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術	1.04	0.67
		499	バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料	1.07	0.80
2032	2029	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術	1.12	0.48
		227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)	1.48	0.98
	2030	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術	1.14	0.65
2033		419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)	0.66	0.20
2035	2033	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料	1.02	0.59

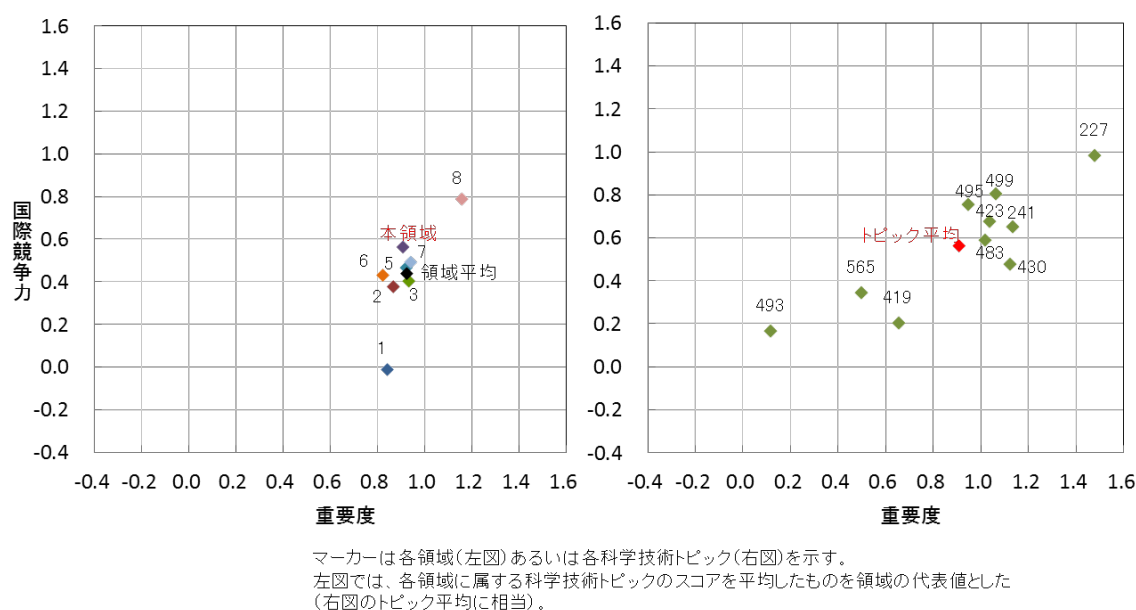
1. 重要度と国際競争力

分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域の中で、当領域の主たる10トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ0.91、0.56)は、全体平均(それぞれ0.92、0.44)と比較し重要度はほぼ同等、国際競争力は高い(領域図表4-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下)」が、重要度、国際競争力ともに最も高い(それぞれ1.48、0.98)。続いて、科学技術トピックID499「バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」、ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」は、重要度が比較的高く(それぞれ1.07、1.14)、国際競争力も相対的に高い(それぞれ0.8、0.65)。

その一方で、科学技術トピックID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する3Dフードプリンディング技術」は、重要度、国際競争力ともに最も低い(それぞれ0.12、0.17)。続いて、ID565「インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」、ID419「形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4Dプリンティング・4Dマテリアル)」の重要度と国際競争力は相対的に低い(それぞれ0.5、0.34および0.66、0.2)。

領域図表 4-3 重要度と国際競争力：分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的実現は、2025 年から 2033 年の間と予測されている(領域図表 4-2)。科学技術トピック毎でみると、ID565「インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」が最も早く 2025 年に、続いて ID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する 3Dフードプリンディング技術」と、ID495「人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル」などが比較的早期の 2028 年に実現する見通しである。さらに、重要度が高いと評価された科学技術トピック群 ID430「摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術」、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)」、ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」などが 2029 年～2030 年に実現すると予測されている。3D プリンティングの先の技術と位置づけられる ID419「形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)」は、2030 年に実現する見通しである。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID430「摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術」と、ID423「複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術」で、それぞれ 75%、70%と非常に多くの回答者が選択した(領域図表 4-4)。一方、ID565「インターモーダル輸送に

において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」と、ID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造（造形）する3Dフードプリンディング技術」では、それぞれ 27%、35%と非常に低い。

研究開発費の拡充については、ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」、ID499「バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」、ID423、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池（寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下）」が、70%以上と多くの回答者が選択した。

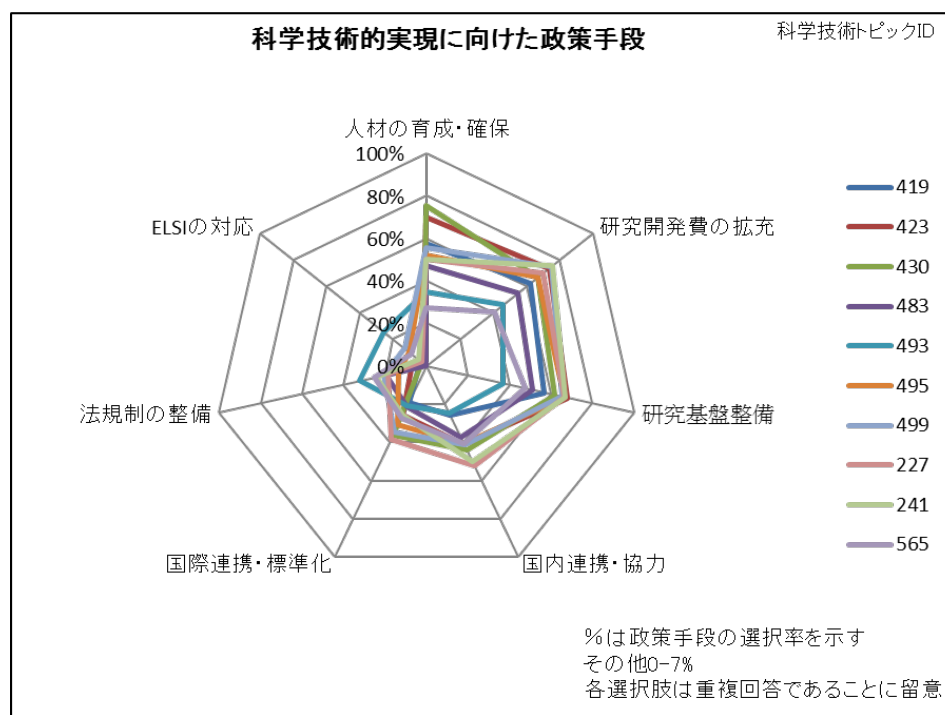
研究基盤整備については、ID493(37%)以外では、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 48%以上が選択し、ID423 が 68%と最も高かった。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID493 と ID419「形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術（4D プリンティング・4D マテリアル）」が、それぞれ 25%、26%と低く、一方、科学技術トピック ID227、ID241 が、それぞれ 52%、50%と高かった。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 19%以上が選択し、ID227 が 39%と最も高かった。

法規制の整備と ELSI の対応については、いずれも科学技術トピック ID493 で選択割合がそれぞれ 32%、26%と比較的高かった。

領域図表 4-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2028 年から 2035 年の間と予測されている（領

域図表 4-2)。科学技術トピック毎でみると、ID565「インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」が最も早く 2028 年に実現する。続いて、科学技術トピック ID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する 3Dフードプリンディング技術」、ID495「人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル」など、食やロボットといった生活に身近な科学技術トピック群が 2030 年と比較的早期に実現する見通しである。さらに、ID423「複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術」、ID499「バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」、ID430「摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術」などの材料に関する先端技術、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)」や ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」などの環境関連技術が 2032 年までに実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID430「摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術」と、ID423「複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術」で、それぞれ 75%,66%と非常に多くの回答者が選択した(領域図表 4-5)。一方、ID565「インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム」と、ID493「人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する 3Dフードプリンディング技術」では、それぞれ 23%,34%と非常に低い。

事業補助については、科学技術トピック ID241「レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術」、ID499「バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」、ID423、ID227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)」が、64%以上と多くの回答者が選択した。

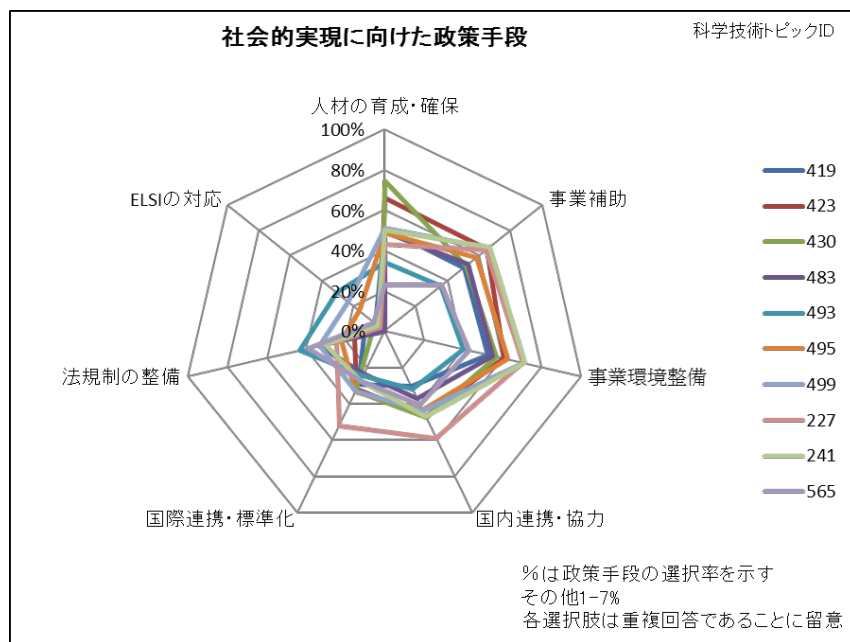
事業環境整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 40%以上が選択し、ID499 と、ID241 が 71%と最も高かった。

国内連携・協力については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 30%以上が選択し、ID227 が 59%と高かった。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 24%以上が選択し、ID227 が 52%と最も高かった。

法規制の整備と ELSI の対応については、いずれも科学技術トピック ID493 で選択割合がそれぞれ 43%,30%と比較的高かった。

領域図表 4-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で重要度は平均と同等、国際競争力は高い評価であった。また、科学技術的実現、社会的実現ともに、全般的に平均的な見通しであった。政策手段は、全般的に特に研究開発費の拡充／事業補助と研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高かった。

重要度ならびに国際競争力の双方が特に高いと評価された、科学技術トピック No.227「電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)」、および、No.499「バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料」は、政策手段として、科学技術的実現に向けては研究開発費の拡充、社会的実現に向けては事業環境整備が、それぞれ 70%以上と最も高かった。

3.7.5 領域 5:ICT を革新する電子・量子デバイス

概要

人間と機械の関係の深化・融合の基盤となるヒューマン・マシン・インターフェースや IoT におけるセンシング、環境負荷の少ない高度 ICT システムを支える高効率・高速デバイスなどの新たな材料・機能を有する電子デバイス、さらには、膨大な情報処理能力を有し、生体などを高精度・非侵襲で計測・センシングができると期待される量子デバイスに関わる科学技術領域

科学技術上のキーワード

パワー半導体、量子コヒーレンス、有機トランジスタ、単一スピン情報素子、低消費電力 AI チップ、量子センサ、ゲート型量子コンピュータ、量子ニューラルネットワーク、アルゴリズム

領域図表 5-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体
	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料
	460	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
	463	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子
	465	急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ
ICT・アナリティクス・サービス	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク
宇宙・海洋・地球・科学基盤	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム
	694	コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー

特徴、注目点

現代の高度 ICT 社会をけん引するシリコン半導体デバイスのデザインルールは 7nm となり、ムーアの法則の終焉が近づき、新たな半導体の材料・プロセス、あるいはフォトリソ、スピントロニクス、さらには量子状態を利用するデバイスの高性能化に向けた研究開発が進められている。また、高度 ICT 社会をベースとする Society5.0 における新たな価値を提供する高機能デバイス開発への期待も高まっている^{30 31}。

³⁰ 内閣府、革新的環境イノベーション戦略、<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

³¹ 内閣府、量子技術イノベーション戦略(最終報告)、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/ryoushisenryaku2020.pdf>

当領域では、人間と機械・機器の関係の深化・融合の基盤となるヒューマン・マシン・インターフェース(HMI)や IoT におけるセンシングデバイス、環境負荷の少ない高度 ICT システムを支える高効率・高速デバイスなど、新たな材料・機能を有する電子デバイス、さらには、膨大な情報処理能力を有し、生体などを高精度・非侵襲で計測・センシングが可能とされる量子デバイスに関わる科学技術を取り上げる。

従来のシリコン半導体では搭載できない曲面などにも実装可能な、酸化物や有機物などフレキシブル・ウェアラブルな電子機器が実現できれば、広い用途の新たな電子機器による価値創造が期待できる。また、エネルギーの効率的利用の観点から、ワイドバンドギャップ半導体やスピンの利用による、スーパーコンピュータや電子デバイスの低消費電力化が実現できる。さらに、量子状態を制御し利用することで、従来の ICT を革新する高速大容量の情報処理やセンシングを実現し大きな社会変革をもたらす可能性がある。

具体的には、IoT の普及により電子・光によるセンシング・演算・メモリデバイスや、ディスプレイ・VR・AR などのヒューマン・マシン・インターフェース関連機器の利用拡大が見込まれており、これらの小型・軽量・フレキシブル化・ウェアラブル化が期待される。例えば、ID460「低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ」に代表される、柔軟性を持ち幅広いアプリケーションに利用でき、従来の高コストの半導体プロセスを不要とする技術があげられる。

一方、IoT・AI・デジタルツインや高度計測・センシングなどデータ利用の拡大に伴い、高速・高効率の電子デバイスが求められる。例えば、ID463「単スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子」や、ID465「急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ」などの低消費電力の高速デバイス群があげられる。さらに、従来のシリコン半導体に代わり、高耐圧・低損失で高電圧の制御に適したワイドバンドギャップ半導体の実装できれば、電力変換システムやモビリティの動力の大幅な省エネルギー化が実現できる。例えば、ID412「炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体」に代表されるパワーエレクトロニクス関連の材料・デバイス技術があげられる。

さらに近年、電子や原子核の持つスピンや光のもつれや重ね合わせ状態を利用する量子デバイスが注目され、世界的に研究開発が活発化している。量子デバイスでは、現代の高度 ICT 社会を担う電子・光デバイスを超え、膨大な情報処理能力を有し、生体などを高精度・非侵襲・非接触で計測・センシングできると期待されている。具体的には、量子コンピュータなどの量子情報技術関連として、ID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」、ID648「古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム」、そしてこれらの集大成となる ID139「量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク」などがあげられる。また、量子センシング関連として、ID694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」、ID471「超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ」があげられる。さらに、あらゆる量子関連アプリケーションの基本性能の基礎となる、ID413「室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料」などの材料技術があげられる。

総じて、当科学技術領域により、人やモノとのインターフェースの要素技術となるフレキシブル・ウ

ウェアラブルデバイスや、低消費電力・低損失の低環境負荷型の電子デバイス、そして膨大な情報を処理できる量子コンピュータや、超高精度の量子センシングによって、Society5.0の実現に向けて新たな価値創造をもたらすことが期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 5-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2030	2029	460	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ	0.89	0.71
2032	2028	694	コヒーレント時間が10ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー	1.16	0.64
	2030	465	急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ	1.06	0.45
2033	2029	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体	1.18	0.92
2035	2033	463	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子	1.10	0.70
		318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)	0.82	0.25
2036	2031	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を10桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム	0.81	0.08
2037	2034	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ	0.74	0.40
2038		413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料	0.73	0.37
2040	2035	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク	0.74	0.14

1. 重要度と国際競争力

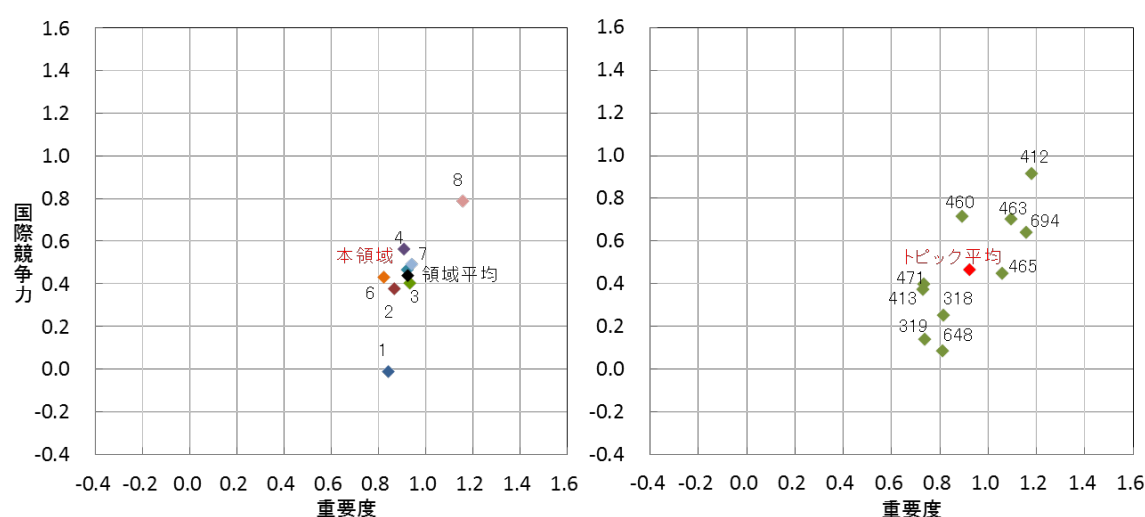
分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域の中で、当領域の主たる10トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ0.92、0.47)は、全体平均(それぞれ0.92、0.44)とほぼ同等である(領域図表5-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID412「炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動

力用高効率パワー半導体」が重要度、国際競争力ともに最も高い(それぞれ 1.18、0.92)。続いて、科学技術トピック ID694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」、ID463「単スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子」は、重要度が高く(それぞれ 1.16、1.10)、国際競争力も相対的に高い(それぞれ 0.64、0.70)。

その一方で、ゲート型量子コンピュータなど量子情報処理・通信関連の科学技術トピック群 ID648「古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム」、ID319「量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク」、ID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」の国際競争力は相対的に低い(それぞれ 0.08、0.14、0.25)。

領域図表 5-3 重要度と国際競争力：分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的实现見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的实现は、2029 年から 2035 年の間と予測されている(領域図表 5-2)。シリコン半導体に代わる新材料からなる半導体デバイス関連トピック群(ID694、460、412 等)が、2030 年までの比較的早い時期に実現し、一方従来の半導体の性能を大きく凌ぐ量子デバイス関連のトピック群(ID318、648、471、413、319 等)が、2035 年までの比較的遅い時期に実現する見通しである。

科学技術トピック毎でみると、ID694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」が最も早く 2028 年に、続いて従来のシリコンに代わる材料からなる半導体デバイス技術である、ID460「低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単

結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ」と、ID412「炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体」が比較的早期の 2029 年に実現すると予測されている。一方、量子関連技術である、ID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」、ID471「超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ」、ID413「室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料」、ID319「量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク」の科学技術トピック群は、比較的遅い 2033 年～2035 の間に実現する見通しである。

3. 科学技術の実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、すべての科学技術トピックで63%以上の回答者が選択し、特にID694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」では78%と高い(領域図表 5-4)。

研究開発費の拡充については、52%と若干低い ID648「古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム」以外は、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 60%以上が選択し、ID465「急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ」が73%と高かった。

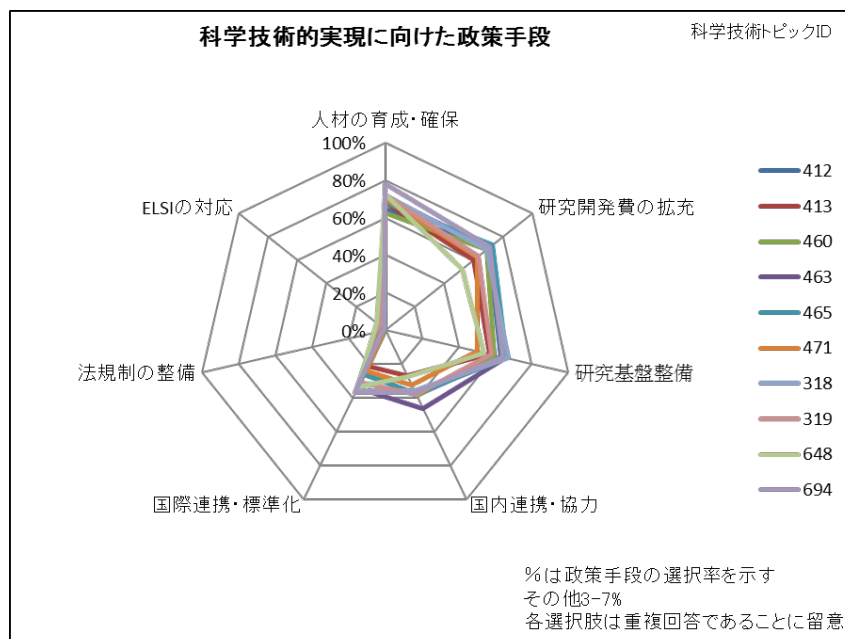
研究基盤整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 50%以上が選択し、ID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」が 67%と最も高かった。

国内連携・協力については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 27%以上が選択し、ID463「単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子」が 46%と最も高かった。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 21%以上が選択し、ID694 が 37%と最も高かった。

法規制の整備と ELSI の対応については、全ての科学技術トピックで選択割合が 10%未満と低値であった。

領域図表 5-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2030 年から 2040 年の間と予測されている（領域図表 5-2）。重要度および国際競争力がともに高いトピック群(ID412、694、463 等)が、2035 年までの比較的早い時期に実現し、一方量子コンピュータ関連の重要度および国際競争力が相対的に低いトピック群(ID648、319、318 等)が、2040 年までの比較的遅い時期に実現する見通しである。

科学技術トピック毎でみると、従来のシリコンに代わる材料からなる半導体関連は、曲面搭載など用途拡大（価値創造）が期待できる ID460「低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ」は 2030 年の比較的早期に実現、省エネルギーに寄与する ID412「炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体」は 2033 年に実現すると予測されている。また、ID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケールビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」および ID648「古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム」に取り上げられた、ゲート型量子コンピュータはアルゴリズムを含め 2036 年までに、量子情報処理技術の集大成となる ID319「量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク」は、2040 年までに実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、すべての科学技術トピックで61%以上の回答者が選択し、特にID318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケールビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」では79%と高い

(領域図表 5-5)。

事業補助については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 43%以上が選択し、ID460「低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ」と、ID694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV (窒素-空孔) センターなどの量子センサー」が 61%と高かった。

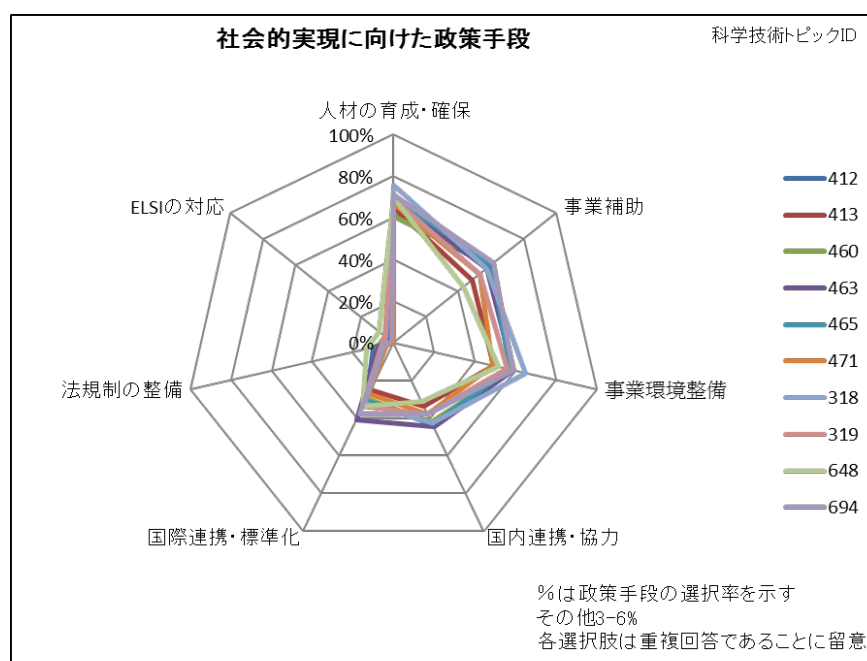
事業環境整備については、いずれの科学技術トピックでも、回答者の 49%以上が選択し、ID318 が 65%と最も高かった。

国内連携・協力、国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも、回答者のそれぞれ 31%、25%以上が選択し、いずれも ID463「単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子」において、選択割合がそれぞれ 45%、41%と最も高かった。

法規制の整備については、ID648「古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム」が 13%と僅かに高い以外は、いずれも 10%以下と低かった。

ELSI の対応については、全ての科学技術トピックで選択割合が 10%未満と低値であった。

領域図表 5-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で平均的な評価であった。また、科学技術的および社会的実現は、全般的に遅い見通しであった。政策手段は、全般的に特に人材育成・確保と研究開発費の拡充／事業補助が非常に高く、次いで研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高かった。

重要度ならびに国際競争力の双方が特に高いと評価された、科学技術トピック No.412「炭化ケイ

素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体」、No.694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」、No.463「単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子」は、当領域の中では比較的早い時期に実現するとの評価となった。

当領域では政策手段として人材の育成・確保の選択割合が全般的に高いことが特徴であるが、科学技術的実現では、No.694「コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー」、社会的実現では、No.318「核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)」が特に高く、わが国の国際競争力を向上するための政策として特に考慮する必要がある。

3.7.6 領域 6:宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術

概要

宇宙と地上から広範に地球を観ることにより、地球環境や資源に関する理解を深め、その変動を予測する能力を高めて、エネルギー・資源の探索・管理や自然災害などに対する危機管理につなげる科学技術領域

科学技術上のキーワード

地球環境、資源、衛星、観測、リモートセンシング、モニタリング、モデル、予測

領域図表 6-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術
	259	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、全国の地下水マップの一般化
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム
宇宙・海洋・地球・科学基盤	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
農林水産・食品・バイオテクノロジー	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム

特徴、注目点

人間を含む地球上の生物にとって、健全な地球環境は欠くことのできないものである。しかしながら、人間の社会経済活動の進展に伴って地球環境への負荷が増大し続けており、自然と人間との共生が危ぶまれる状況に陥っている。2015年9月の国連総会において採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」で提示された持続可能な開発目標(SDGs)の中には、水・衛生、エネルギー、持続可能な都市、持続可能な生産と消費、気候変動、陸域生態系、海洋資源といった地球環境そのものの課題および地球環境と密接に関わる課題に係るゴールが

数多く含まれており、これは地球環境の持続可能性に対する国際的な危機感の表れと言える^{32, 33}。

こうした地球規模での大きな課題を解決するには、従来の地上観測のみならず、宇宙から広範に地球を見ることが必要である。言い換えれば、宇宙から地球を見ることによって、初めて地球環境を正確に把握することが可能になり、その結果を基に、地球環境や資源の変動を予測することで、エネルギー・資源の探索・管理や自然災害などの危機管理が実現する。この一連のプロセスでは、多種多様かつ膨大なデータの精緻な解析やモデリング、シミュレーションが必要となり、それを実施するための基盤として情報科学や数理科学が必須となる。

上記のような全球レベルでの地球観測は、GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) に代表される国際的な取組となっているが³⁴、広域な地球環境や資源の変動をより正確に把握していくためには、人工衛星によって遠く離れたところから観測するリモートセンシングの高度化が今後必要である。我が国では、「宇宙基本計画」(2016年4月1日閣議決定)³⁵の具体的アプローチの一つとして衛星リモートセンシングが推進されてきており、今後期待される科学技術トピックとして、ID231「ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術」、ID640「東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能30mで常時観測する技術」、ID142「リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム」が挙げられる。さらに、科学技術トピックID259「衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、全国の地下水マップの一般化」、ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」のように、衛星観測と地上・海洋観測とを統合した観測技術も期待されている。

上記のような観測データのみならず、数値モデルと統合することで、地球環境や資源の変動予測の精度を上げて、その保全・管理に資することが可能となる。これには高度なデータ同化手法も必要とされ、具体的には、科学技術トピック ID262「雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術」、ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100年にわたる長期地球環境変動予測」が挙げられる。

総じて、当領域では、宇宙から地球を見ることによって地球環境や資源を広範かつ正確に把握し予測することを目指しており、地球環境の観測技術、多様かつ大容量の観測データに対する処理・分析に関わる情報科学、モデリングやデータ同化のための数理科学を連携・融合することを通じて、持続的なエネルギー・資源の利用や自然災害などの危機管理に資することが期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

³² United Nations, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000101401.pdf>

³³ 第五次環境基本計画、<https://www.env.go.jp/press/105414.html>

³⁴ GEOSS, <http://www.earthobservations.org/geoss.php>

³⁵ 内閣府、宇宙基本計画、<https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan3/plan3.pdf>

領域図表 6-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2030	2028	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム	0.61	0.38
		628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機 (AUV) 等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム	1.15	0.50
		142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム	0.88	0.30
2031	2029	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術	0.76	0.41
		231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術	0.67	0.16
		640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術	0.91	0.75
2032		259	衛星観測と地上観測の効果的な統合により、全国の地下水マップの一般化	0.64	0.35
		262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術	0.59	0.31
2033	2030	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術	0.96	0.44
2035	2032	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測	1.07	0.72

1. 重要度と国際競争力

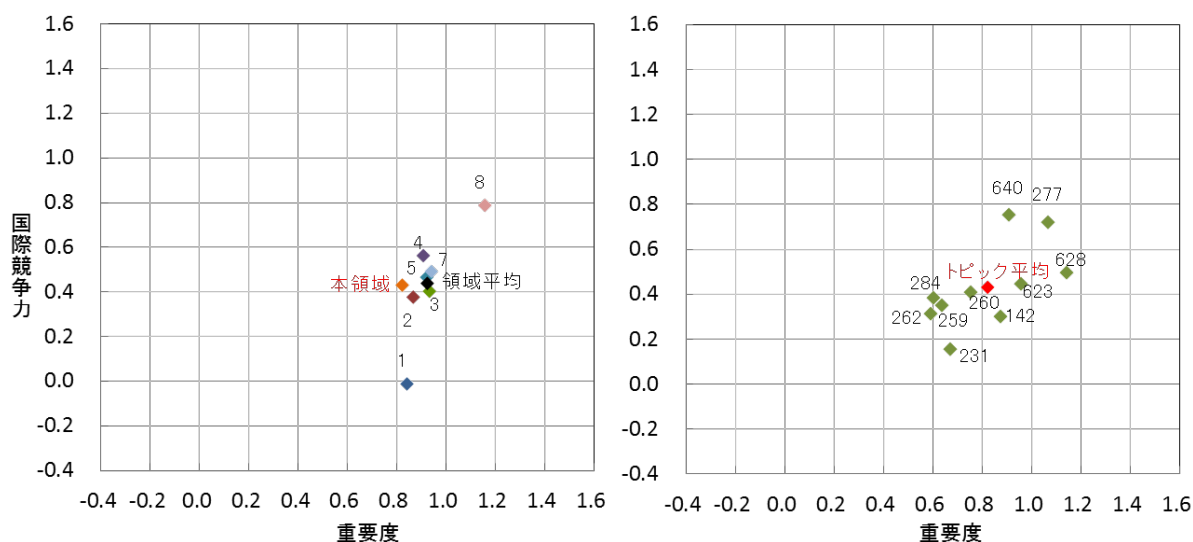
分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 0.82、0.43)、全体平均(それぞれ 0.92、0.44)よりやや低い(領域図表 6-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度が最も高いのは ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機 (AUV) 等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」である(1.15)。

科学技術トピック ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測」と ID640「東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術」は、重要度、国際競争力ともに相対的に高い(前者は 1.07、0.72、後者は 0.91、0.75)。

その一方、科学技術トピック ID231「ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術」は国際競争力が最も低く(0.16)、重要度も相対的に低い(0.67)。

領域図表 6-3 重要度と国際競争力:分野横断・融合のポテンシャルの高い8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの科学技術的実現は 2028 年から 2032 年の間と予測されており 1つのトピック以外は 2030 年までに実現する見通しである(領域図表 6-2)。最も早く 2028 年に実現する見通しの科学技術トピックは、ID142「リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム」、ID284「携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム」、ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」であり、リモートセンシング技術に関するトピックが多い。

一方、科学技術トピック ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測」の実現は最も遅い(2032 年)見通しである。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費拡充については、科学技術トピック ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」が最も高かった(領域図表 6-4、それぞれ 76%、74%)。

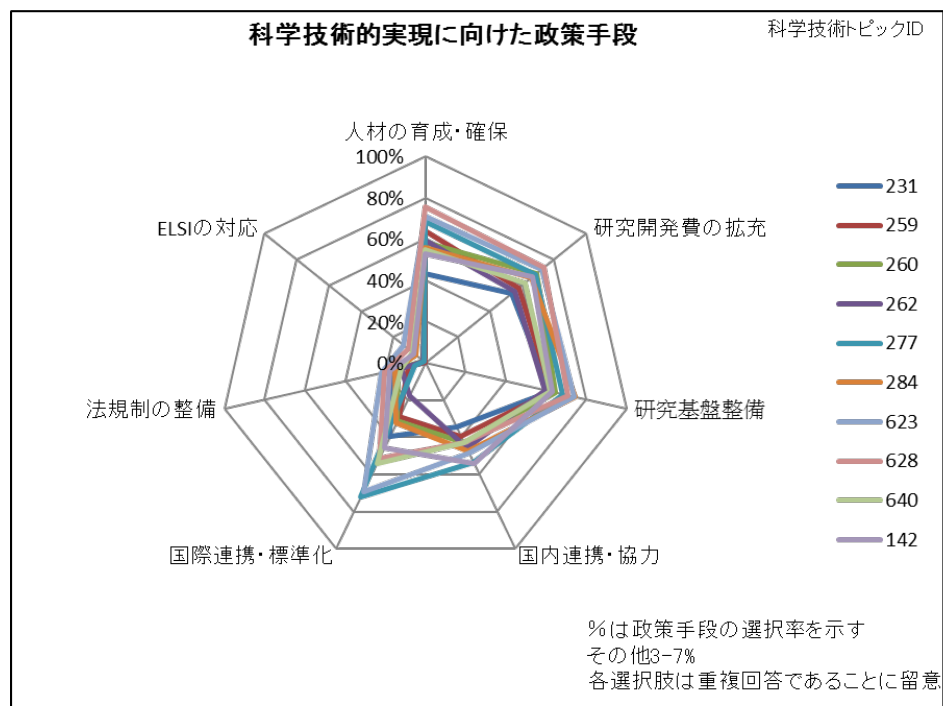
研究基盤整備については、科学技術トピック ID284「携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム」が最も高かった(75%)。

国内連携・協力と国際連携・標準化については、科学技術トピック ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測」での選択割合が最も高かつ

た(それぞれ 54%、72%)。その一方、科学技術トピック ID262「雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術」は、国際連携・標準化の選択割合が最も低かった(18%)。

法規制の整備については、科学技術トピック ID623「氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術」以外(22%)、全て 20%以下と低かった。ELSIの対応については、全ての科学技術トピックで 13%以下と低かった。

領域図表 6-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2030 年から 2035 年の間と予測されており、そのうち 4 科学技術トピックが 2030 年に実現する見通しである(領域図表 6-2)。それら 4 科学技術トピックは、ID260「水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術」、ID284「携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム」、ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」、ID142「リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム」であり、リモートセンシング技術に関するトピックが多い。

一方、科学技術トピック ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測」の実現は最も遅い(2035 年)見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

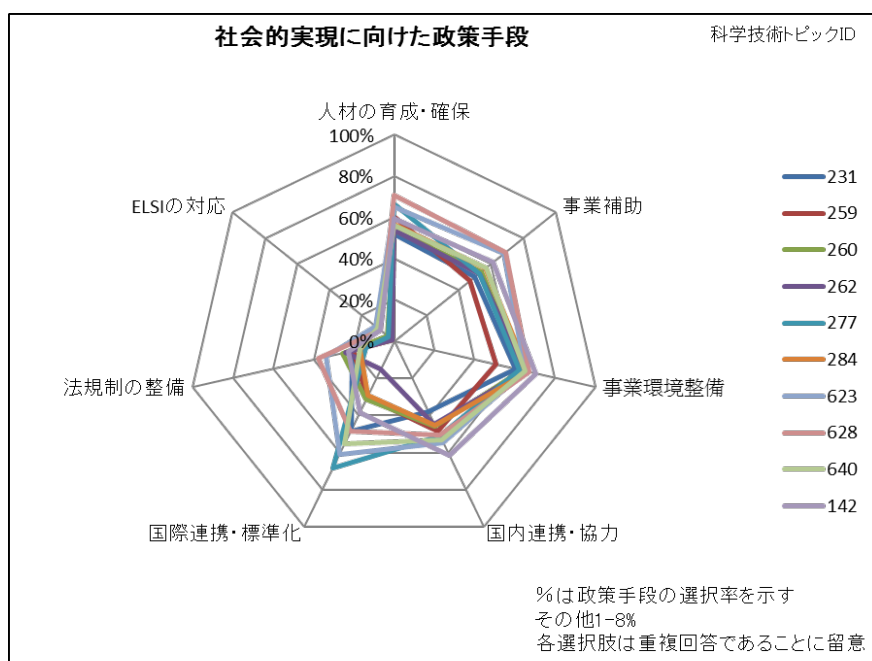
人材育成・確保、事業補助については、科学技術トピック ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機（AUV）等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」の選択割合が 70%前後と最も高かった（領域図表 6-5、それぞれ 71%、69%）。

事業環境整備と国内連携については、科学技術トピック ID142「リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム」の選択割合が最も高かった（それぞれ 70%、61%）。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID277「高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測」での選択割合が最も高く（68%）、ID262「雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術」での選択割合は最も低かった（15%）。

法規制の整備については、科学技術トピック ID628 での選択割合が 38%で最も高かった。ELSI の対応については、全ての科学技術トピックで 11%以下と低かった。

領域図表 6-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度と国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域全体の平均よりやや低いと評価された。一方、個別の科学技術トピックについては、重要度が 1.0 を超えて高く評価されたトピックが複数あった。

重要度が最も高い科学技術トピックは、ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機（AUV）等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」であり、科学技術的および社会的実現ともに比較的早い見通しであった。また、この科学技術トピックの科学技術的および社会的実現に向けた政策として、人材育成・確保、研究開発費拡充あるいは事業補助が重

要だと考えられた。

科学技術トピック ID623「氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術」、ID628「人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム」については、科学技術的あるいは社会的実現に向けた政策として法規制の整備を選択した割合が高く、資源探索における法規制の重要性が考えられた。

3.7.7 領域 7: サークュラーエコノミー推進に向けた科学技術

概要

消費された資源を回収して再生・再利用し続けることで経済成長を実現する新たな経済モデル「サーキュラーエコノミー」の推進に向けた、再生可能エネルギー、廃棄物の削減・リサイクル、シェアリングなどの多様な技術・システムに関わる科学技術領域

科学技術上のキーワード

サーキュラーエコノミー、再資源化、再生可能エネルギー、水素、CO₂、廃棄物、バイオマス

領域図表 7-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション
	216	大気から回収された CO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造
	237	海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理
マテリアル・デバイス・プロセス	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池
	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料
農林水産・食品・バイオテクノロジー	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術

特徴、注目点

近年、モノやサービス、場所などを個人で占有するのではなく、多くの人と共有したり交換したりする社会的なサービスが発展している。例えば、スマートフォンで車両の配車から乗車、決済までを行う Uber は、低料金で効率的に移動したいユーザーと、自身の遊休資産としての時間と車両を使って収入を得たいドライバーとをマッチングさせるサービスとして、発祥地である米国をはじめ、今や世界中に拡大している³⁶。Uber は、ユーザーとドライバー双方にメリットを与えるだけではない。カーシェアリングすることで、社会全体での車両利用が減少し、CO₂ や各種汚染物質の排出量減少といった環境への負荷軽減にもつながることが期待される。

Uber のようなカーシェアリング以外にも、民泊、オフィスなどのスペースシェアリング、衣服のシェアリングなど、シェアリングの対象は広まり、ビジネスとして展開されている。こうしたシェアリングに象徴される、消費された資源を回収し再生・再利用し続けることで、環境負荷軽減と経済発展のデカップリ

³⁶ Uber technologies Inc. <https://www.uber.com/jp/ja/>

ングを実現する新たな経済モデルが「サーキュラーエコノミー」であり、従来の資源を消費して廃棄するという一方の経済とは一線を画する。つまり、「サーキュラーエコノミー」によって、社会経済のシステムが大きく変わることになる。

「サーキュラーエコノミー」の背景には、インターネットやスマートフォンなど各種情報端末の普及といった情報技術の発達があり、欧米を中心として、世界で急速に拡大する傾向にある。我が国においても、そうした国際動向や日本の社会経済環境等を踏まえて、例えば第五次環境基本計画では、自立・分散型の社会を形成しつつ、近隣地域等と地域資源を補完し支えあう「地域循環共生圏」を掲げ³⁷、「サーキュラーエコノミー」の推進に向けた検討が進められている。また2020年1月には、オールジャパンの取組として、総合イノベーション戦略推進会議により「革新的環境イノベーション戦略」が定められた³⁸。

「サーキュラーエコノミー」を推進するための具体的なアプローチとしては、再生可能エネルギー、CO₂排出量削減、プラスチックなどの廃棄物の削減とリサイクル、食料品の再利用によるフードロス抑制、シェアリング、エコデザイン、化学物質・有害物質の管理、グリーン・サービサイジング(製品販売を前提とした従来型のビジネスと比較して、より高い環境負荷低減効果が期待されるサービス提供型のビジネス)など多様である。当科学技術領域では、それら多様なアプローチに向けた環境・エネルギー分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、および農林水産・食品・バイオテクノロジー分野の横断・融合領域である。

エネルギーや有用物質への再資源化に関する科学技術トピックとして、ID195「バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション」、ID216「大気から回収されたCO₂と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造」、ID475「水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対2018年比で10分の1以下となる燃料電池」、ID479「CO₂の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成」、ID507「CO₂固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料」が挙げられる。

上記以外の再資源化では、レアメタルリサイクルに関する科学技術トピックが挙げられ、ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」、ID237「海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術」が挙げられる。

廃棄物、有害物質の処理・管理に関する科学技術トピックとして、ID181「植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術」、ID245「高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術」、ID253「物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理」が挙げられる。

上述のような地球環境の保全と持続可能なエネルギー・資源の利用を目指す点では、当科学技術領域と領域6とは共通する。さらに当領域では経済発展も目指す点が特徴であり、新たな経済モデルが生まれることが期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

³⁷環境基本計画、平成30年4月17日、<https://www.env.go.jp/press/files/jp/108982.pdf>

³⁸革新的環境イノベーション戦略、令和2年1月21日、<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術のおよび社会的実現見通し、科学技術のおよび社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 7-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2031	2028	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術	1.27	0.86
2032	2029	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション	0.86	0.25
2033	2030	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理	0.66	0.40
	2031	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術	0.75	0.39
	2032	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池	1.23	0.94
2034	2031	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料	1.06	0.50
2039	2035	216	大気から回収された CO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造	0.97	0.34
	2036	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成	1.07	0.65
2044	2039	237	海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術	0.61	0.28
	2041	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術	0.94	0.31

1. 重要度と国際競争力

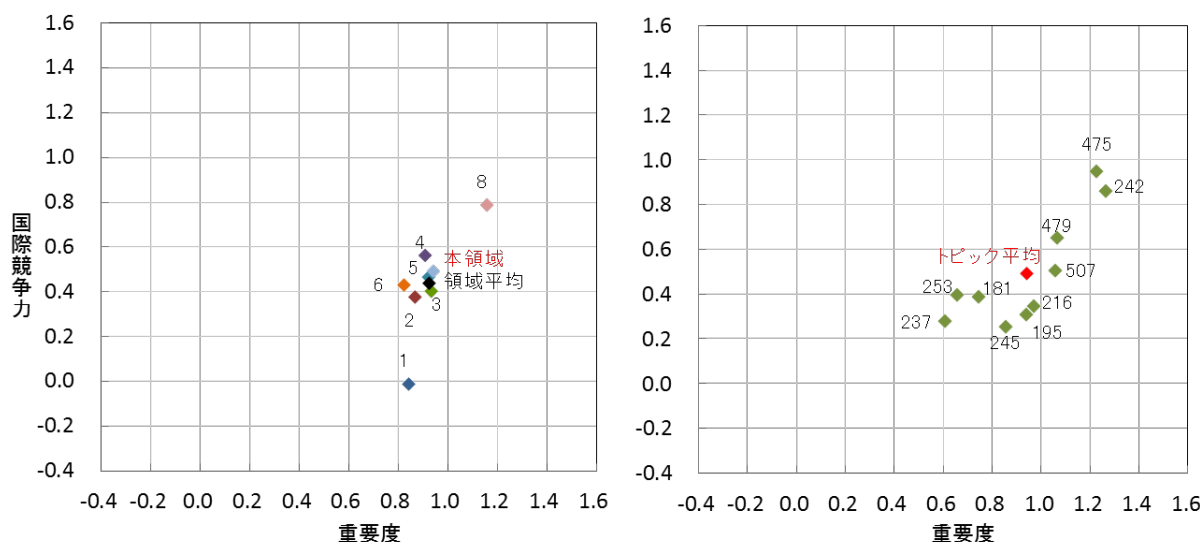
分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 0.94、0.49、以下同様)、全体平均(0.92、0.44)よりやや高い(領域図表 7-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度と国際競争力ともに高いトピックとして ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」(1.27、0.86)、ID475「水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池」(1.23、0.94)が挙げられる。その他、重要度・国際競争力ともに、科学技術トピック平均(0.94、0.49)よりも高いトピックとして、ID479「CO₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成」(1.07、0.65)、ID507「CO₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料」(1.06、0.50)といった CO₂ の再資源化・固定化に関する科学技術が挙げられる。

その一方、科学技術トピック ID237「海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術」

は重要度と国際競争力ともに相対的に低い(0.61、0.28)。

領域図表 7-3 重要度と国際競争力:分野横断・融合のポテンシャルの高い8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを経験の代表値とした
(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの科学技術的実現は 2028 年から 2041 年の間と予測されており、2 つのトピック以外は 2030 年代以降に実現する見通しである(領域図表 7-2)。2028~2029 年の早い時期に実現する見込みの科学技術トピックは、ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」(2028 年)、ID195「バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション」(2029 年)である。

一方、科学技術トピック ID237「海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術」、ID245「高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術」の実現は遅い見通しである(それぞれ 2039 年、2044 年)。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID181「植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術」の選択割合が 69%と最も高かった(領域図表 7-4)。

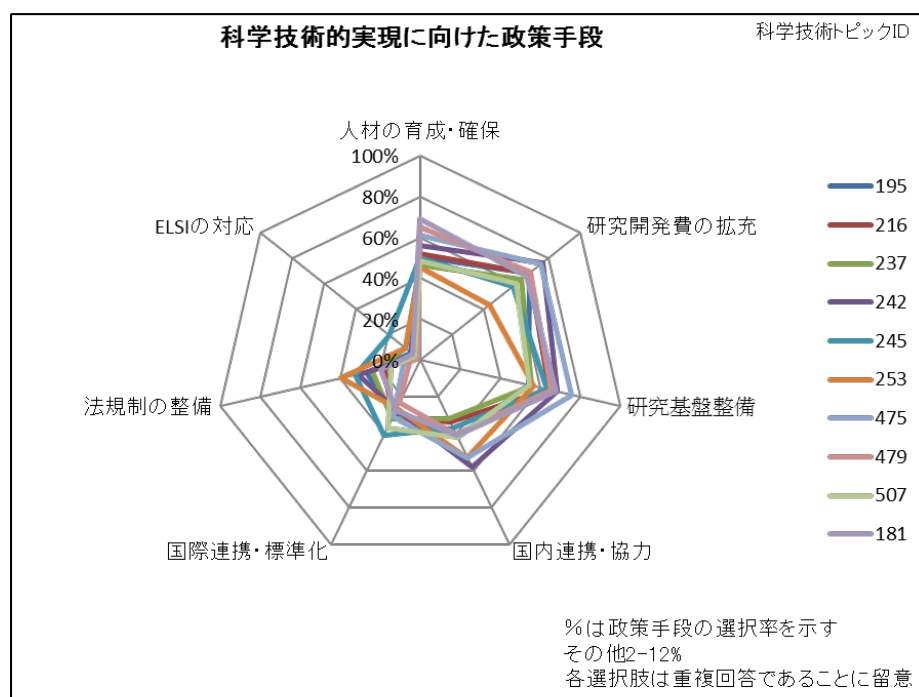
研究開発費の拡充については、科学技術トピック ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」の選択割合が 77%と最も高かった。

研究基盤整備については、科学技術トピック ID475「水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池」の選択割合が 76%で最も高かった。

国内連携・協力については科学技術トピック ID242 の選択割合が 58%で最も高く、国際連携・標準化についてはトピック ID245「高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術」が 40%で最も高かった。

法規制の整備については、科学技術トピック ID253「物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理」での選択割合が 40%で最も高かった。ELSI の対応については、全ての科学技術トピックでの選択割合が 10%台で低かった。

領域図表 7-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2031 年から 2044 年の間と予測されており、そのうち 6 科学技術トピックが 2030 年代前半に実現する見通しである(領域図表 7-2)。それら 6 科学技術トピックは、ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」(2031 年)、ID195「バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション」(2032 年)、ID253「物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理」(2033 年)、ID475「水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池」(2033 年)、ID181「植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術」(2033 年)、ID507「CO₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料」(2034 年)である。

一方、科学技術トピック ID237「海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術」、ID245「高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術」の実現は最も遅い(2044 年)見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID181「植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術」の選択割合が 68%と最も高かった（領域図表 7-5）。

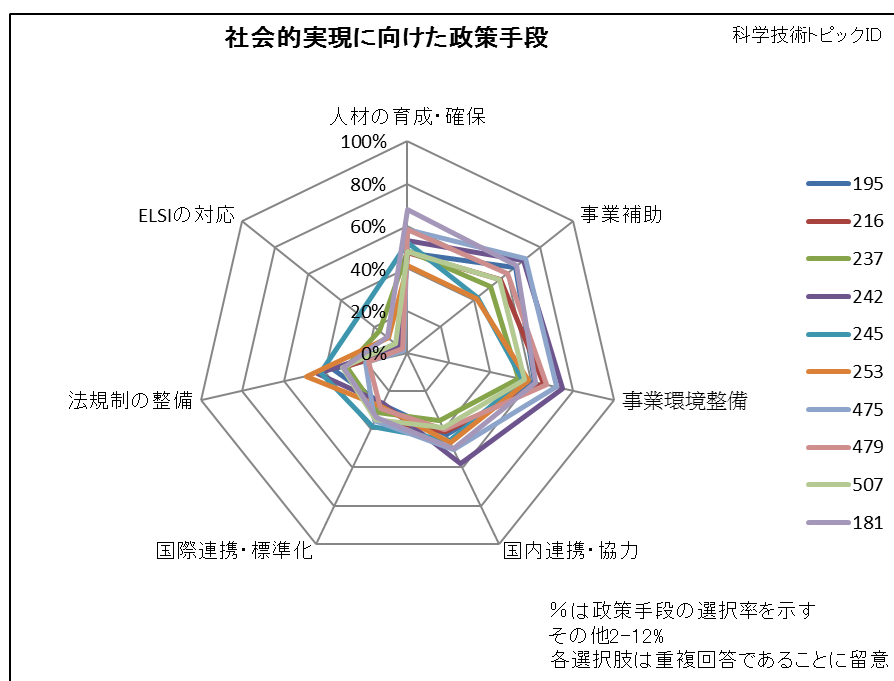
事業補助については、科学技術トピック ID475「水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池」の選択割合が 72%と最も高かった。

事業環境整備と国内連携については、科学技術トピック ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」の選択割合が最も高かった（それぞれ 75%、58%）。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID245「高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術」での選択割合が最も高かった（38%）。

法規制の整備については、科学技術トピック ID253「物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理」での選択割合が 49%で最も高かった。ELSI の対応については、ほとんどの科学技術トピックが 10%台で低中、放射性廃棄物に関する ID245 が 29%で最も高かった。

領域図表 7-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域全体平均より、やや高い評価であった。一方、科学技術的および社会的実現は、ほとんどが 2030 年以降と全般的に遅い見通しであった。

重要度と国際競争力ともに高い科学技術トピックは、廃棄物のリサイクルと燃料電池の本格的導入に向けたコスト削減に関するものであり、具体的には ID242「小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術」、ID475「水素社会を目指して、貴金属使用

量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池」であった。科学技術トピック ID242 については、科学技術的実現が比較的早い見通しであり、それに向けた政策として研究開発費の拡充が特に有効と考えられた。一方、この科学技術トピックの社会的実現に向けた政策としては、事業環境整備と国内連携が有効と考えられた。科学技術トピック ID475 については、科学技術的および社会的実現ともに 2030 年代前半の見通しであり、科学技術的実現に向けた政策では研究基盤整備、社会的実現に向けた政策では事業補助が特に有効と考えられた。総じて、これら科学技術については、費用面でのサポートと環境整備が政策上重要と考えられた。

3.7.8 領域 8: 自然災害に関する先進的観測・予測技術

概要

近年わが国で多発する地震・火山噴火・豪雨など自然災害の原因を究明する基礎研究、それら災害の発生予測技術、国土の保全・設計に関わる科学技術が含まれ、誰一人取り残さない災害被害の回避につなげるための科学技術領域

科学技術上のキーワード

火山切迫度評価、年代測定精度、地震・被害予測、広域応力場測定、破堤察知、河道設計、国土変化予測、リアルタイム被害予測、デジタルツイン

領域図表 8-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうにない火山を見い出すための切迫度評価
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
	632	マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
都市・建築・土木・交通	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測
	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術

特徴、注目点

南海トラフ地震や首都直下地震は、今後 30 年間に高い確率で発生するとの予測がされている。自然災害、特に地震や火山噴火、そして近年全国で多発している豪雨・台風などによる風水害に関し、科学技術には、どこで、どの程度の頻度で発生し、その発生機構はどのようなものであるかを解明すること、そして、その成果を災害軽減に結びつけるために、災害要因を高精度に予測することが求められている。³⁹

火山噴火に関しては、科学技術トピック ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうにない火山を見い出すための切迫度評価」や ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」があげられる。また、地震に関して

³⁹ 内閣府中央防災会議防災白書(第 3 部 令和元年度の防災に関する計画):
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/R1_dai3bu.pdf

は、科学技術トピック ID632「マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術」、ID634「地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術」などがあげられる。

風水害に関しては、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」、ID512「予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術」などが挙げられ、これに関連して、国土の設計・保全について、ID514「長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術」、ID515「流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術」があげられる。

また、観測・計測技術の高度化によるリアルタイムでの評価が可能となっており、ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」および、ID585「原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術」などが挙げられる。

総じて、当科学技術領域により、近年わが国で多発する地震・火山噴火・豪雨などに対応し、それらの原因究明を図るとともに、予測技術の向上による、誰一人取り残さない災害被害の回避へつなげることが重要である。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 8-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要 度	国際 競争 力
2029	2027	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術	1.50	1.05
		539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測	1.38	0.91
	2028	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術	1.11	0.58
2030		512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術	1.22	0.72
	2029	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術	0.98	0.78
	2030	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術	0.88	0.73
2032		634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術	0.94	0.72
2033	2031	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価	1.51	0.91
	2032	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術	0.90	0.66

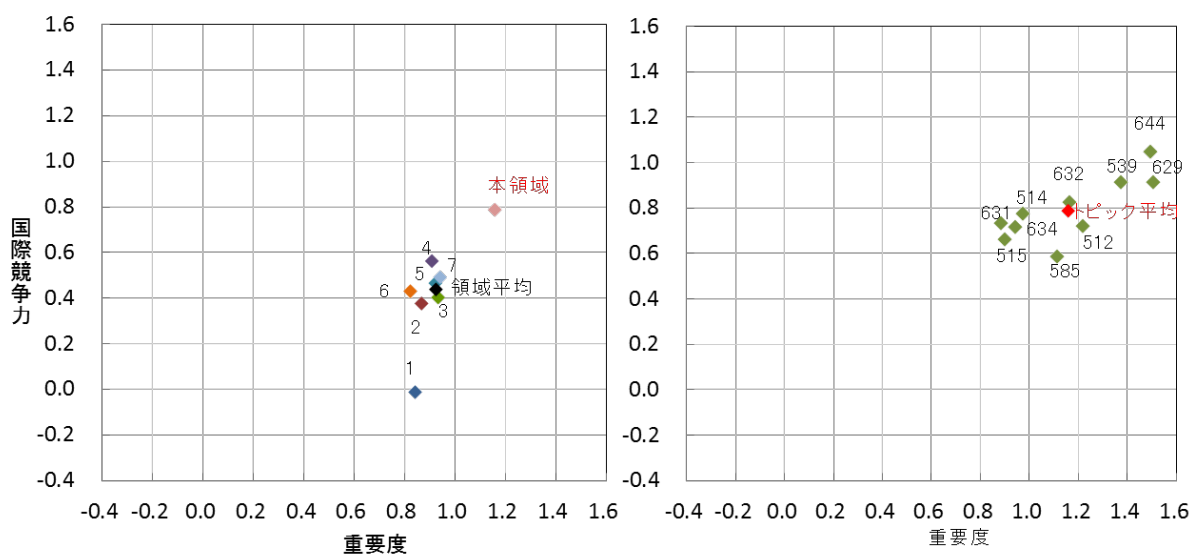
2036	2037	632	マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術	1.17	0.83
------	------	-----	--	------	------

1. 重要度と国際競争力

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で、当領域の主たる 10 トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ 1.16、0.79)は、全体平均(それぞれ 0.92、0.44)と比較し、重要度、国際競争力ともに非常に高い(領域図表 8-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」が重要度、国際競争力ともに高い(それぞれ 1.5、1.05)。続いて、科学技術トピック ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価」、ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」は、重要度が高く(それぞれ 1.51、1.38)、国際競争力も高い(いずれも 0.91)。その一方で、科学技術トピック ID515「流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術」、および、ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」の重要度は比較的低く(それぞれ、0.9、0.88)、国際競争力も比較的低い(それぞれ 0.66、0.73)。

領域図表 8-3 重要度と国際競争力：分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした
(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的実現は、2027 年から 2037 年の間と予測されている(領域図表 8-2)。科学技術トピック毎でみると、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、

100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」と、ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」が最も早く 2027 年に実現する見通しである。続いて、科学技術トピック ID585「原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術」と、ID512「予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術」が 2028 年に実現すると予測されている。さらに、2030 年には、科学技術トピック ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」と、ID634「地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術」が実現する。その後、科学技術トピック ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価」、ID515「流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術」が 2031 年から 2032 年に実現すると考えられている。そして、科学技術トピック ID632「マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術」が、最も遅く 2037 年に実現する見通しである。

3. 科学技術の実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、すべての科学技術トピックで 54%以上の回答者が選択し、ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価」が 83%と最も高く、続いて ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」が 78%と高い(領域図表 8-4)。

研究開発費の拡充については、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」と、ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」がいずれも 75%と最も高く、次に ID631 が 71%と高い。

研究基盤整備については、科学技術トピック ID644 が 72%と最も高く、次いで ID631 が 71%と高い。

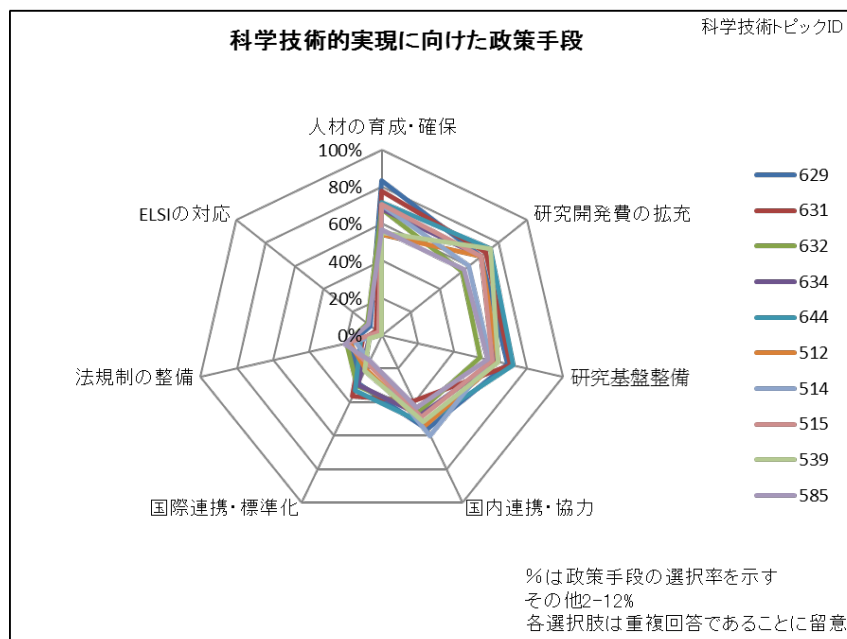
国内連携・協力については、科学技術トピック ID514「長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術」が 60%と最も高かった。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID631 が 37%と最も高かった。

法規制の整備については、科学技術トピック ID585「原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術」が 21%と高かった。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID632「マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術」が 10%とやや高かった。

領域図表 8-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2029 年から 2036 年の間と予測されている（領域図表 8-2）。科学技術トピック毎でみると、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」と、ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」、ID585「原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術」が、最も早く 2029 年に実現する見通しである。続いて、科学技術トピック ID512「予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術」、ID514「長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術」、ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」が 2030 年に実現すると予測されている。それ以降では、科学技術トピック ID634「地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術」が 2032 年に、ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価」、ID515「流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術」が 2033 年に実現すると考えられている。そして、科学技術トピック ID632「マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期（30 年以内）、被害の予測技術」が、最も遅く 2036 年に実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、すべての科学技術トピックで 53%以上の回答者が選択し、ID629「日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価」が 79%と最も高く、続いて ID631「活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10 万年前の年代測定精度を向上させる技術」が 75%と高い（領域図表 8-5）。

事業補助については、ID644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」が、72%と最も高い。

事業環境整備については、科学技術トピック ID644 が 74%と最も高く、次いで ID539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」が 73%と高い。

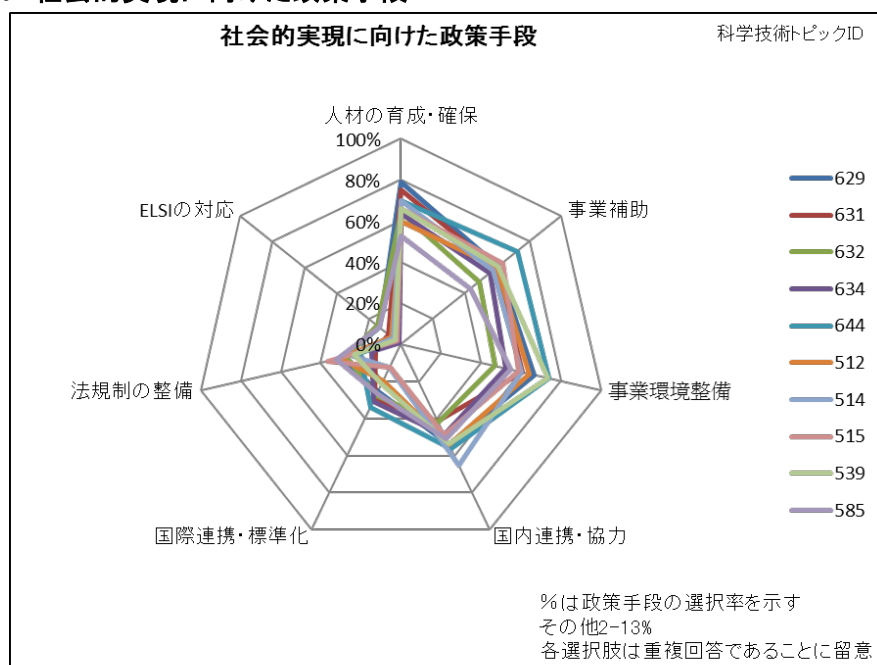
国内連携・協力については、科学技術トピック ID514「長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術」が 65%と最も高かった。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID644 が 34%と最も高かった。

法規制の整備については、科学技術トピック ID515「流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術」が 37%と高かった。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID632「マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術」が 15%とやや高かった。

領域図表 8-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力はともに、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で秀でて高い評価であった。また、科学技術的および社会的実現は、大半は 2030 年前後の実現見通しであった。政策手段は、全般的に特に人材育成・確保、研究開発費の拡充／事業補助、研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高かった。

重要度ならびに国際競争力はすべての科学技術トピックが高いことが当領域の特徴であるが、特に双方が高いと評価された、科学技術トピックのうち、No.644「高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術」、No.539「局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測」は、当領域の中では最も早い時期(科学技術的実現 2027 年、社会的実現 2029 年)に実

現するとの評価となった。また、これらのトピックの政策手段の選択割合では、研究開発費の拡充／事業補助が非常に高いとの評価であり、重要度が高く早期の実現が期待される科学技術課題の政策の方向性として考慮する必要がある。

3.7.9 領域 A:新たなデータ流通・利活用システム

概要

産業・医療・教育に関わるデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量のデータについて、その保護と利活用とのバランスを図りつつ、収集・共有・分析・活用する科学技術領域

科学技術上のキーワード

IoT、AI、ビッグデータ、自然言語処理、画像処理、個人データ

領域図表 A-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少
	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたリアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性（政治、経済、学術、等）に応じて分析する技術（自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む）
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）
その他の分野	387	AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム（法令文書が紙媒体前提からリンクドデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる）
	94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図
	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け（実験結果の図から物理量を読み取る等）を行う知識集約型のデータマイニング技術

特徴、注目点

近年、ビッグデータに代表される電子的に処理可能なデータが飛躍的に増大し、コンピュータの処理能力の向上、AI（人工知能）の進展といった ICT 分野での技術革新が進んでいる。その根幹を担うのがデータであり、データの利活用がこれまで見過ごされてきた生産性向上や新たな需要の掘り起こしに繋がり、経済成長やイノベーションの促進に資することが期待されている⁴⁰。

こうした状況下、我が国では、法規制の面でデータ利活用の環境が整いつつある。例えば、「官民

⁴⁰ 総務省、平成 29 年版情報通信白書、第 1 部第 2 章ビックデータ利活用元年の到来

データ活用推進基本法」の公布・施行(2016 年 12 月)、改正「個人情報の保護に関する法律」の全面施行(2017 年 5 月)などを通じて、データの保護と利活用とのバランスを取りながら活用を促進する動きが加速しつつある。

世界に目を向けても、2016 年の G7 伊勢志摩サミットに先立ち開催された G7 香川・高松情報通信大臣会合以降、G7、G20 等の機会を通じてデータの自由な流通の重要性について確認されてきており、国際的に認識が共有されつつある。しかしながら一方では、科学技術領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」で記したように、国・地域によっては、自国からのデータの移転を制限しようとするデータローカライゼーションの動きが顕在化していることから、データの保護と利活用とのバランスを図ることが世界的課題となっている。当科学技術領域は、そうした世界的状況下でのデータの流通と利活用を推進していくための科学技術が含まれており、科学技術領域 1 におけるラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズの解決技術にもつながる。

上記のデータの保護と利活用とのバランスを図る科学技術としては、トピック ID349「プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム」、ID353「個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)」が挙げられる。

データ利活用のために、文字、会話、画像などの多種多様なデータから所望のデータを抽出する科学技術トピックとしては、ID305「非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術」、ID312「自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術」、ID656「文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術」が挙げられる。

また、科学技術トピック ID94「研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム」、ID387「AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)」、ID552「ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図」のような、研究、法令文書作成支援、インフラ整備といった特定目的のためのデータ利活用に関するものも挙げられる。

総じて、本科学技術領域において、データの保護と利活用とのバランスを図りつつ、データの流通・利活用を推進することにより、ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズの解決につながるとともに、経済成長やイノベーションの促進が期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 A-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2028	2025	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術	1.12	0.14
2029	2026	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術	1.28	0.03
	2027	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性（政治、経済、学術、等）に応じて分析する技術（自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む）	1.04	0.06
		94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム	0.74	-0.15
	2028	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）	1.39	0.35
2030	2027	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図	1.12	0.41
		656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け（実験結果の図から物理量を読み取る等）を行う知識集約型のデータマイニング技術	0.79	0.15
	2028	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム	1.35	0.23
2033		387	AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム（法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わるによる）	0.87	-0.14
	2030	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少	0.60	-0.22

1. 重要度と国際競争力

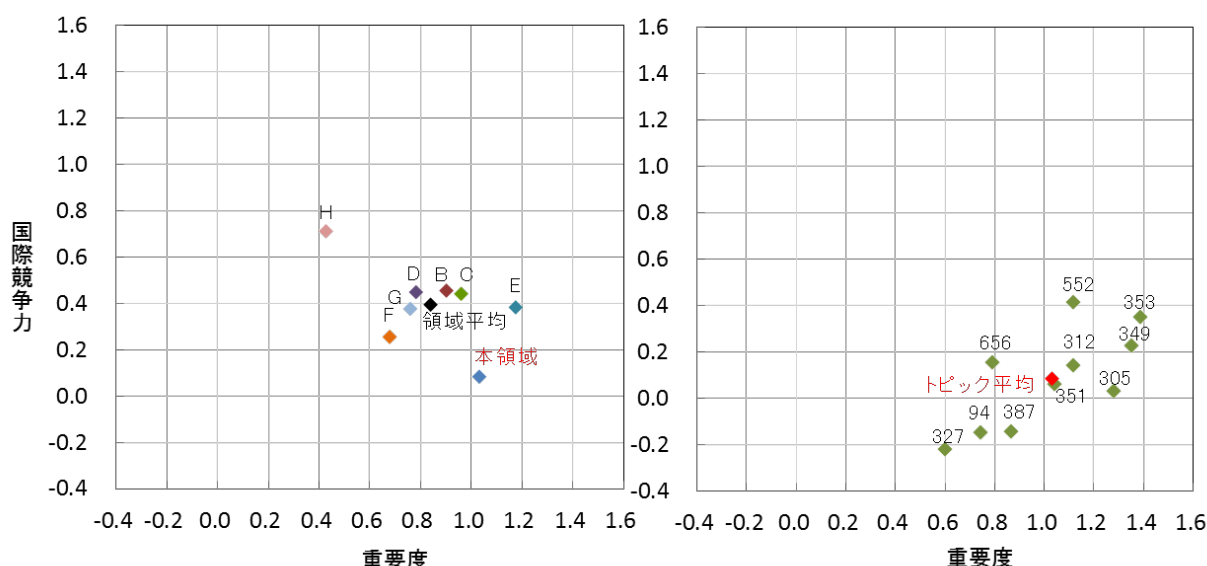
特定分野に軸足を置く 8 領域の中では、当領域の重要度は 2 番目に高いが（平均 1.03）、国際競争力は最も低い（平均 0.08、領域図表 A-3）。

科学技術トピック毎でみると、重要度については ID353「個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）」が最も高く（1.39）、次いで ID349「プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム」となっている（1.35）。

国際競争力は全般的に低いことを上述したが、その中で最も高い科学技術トピックは ID552「ダイ

ナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図」である(0.41)。一方、最も低い科学技術トピックは ID327「あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少」である(-0.22)。

領域図表 A-3 重要度と国際競争力: 特定領域に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2025 年から 2030 年と予測されており(領域図表 A-2)、全般的に実現は早い見通しである。科学技術トピック毎でみると、ID312「自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術」が最も早く実現する見通しである(2025 年)。一方、最も遅く実現する見通しの科学技術トピックは、ID327「あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少」である(2030 年)。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保についての選択割合は、全て 50%以上であった(領域図表 A-4)。その中で最も高かった科学技術トピックは、ID305「非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術」、ID351「ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)」である(いずれも 77%)。

研究開発費の拡充と研究基盤整備については、科学技術トピック ID351 での選択割合が最も高かった(それぞれ 77%、69%)。

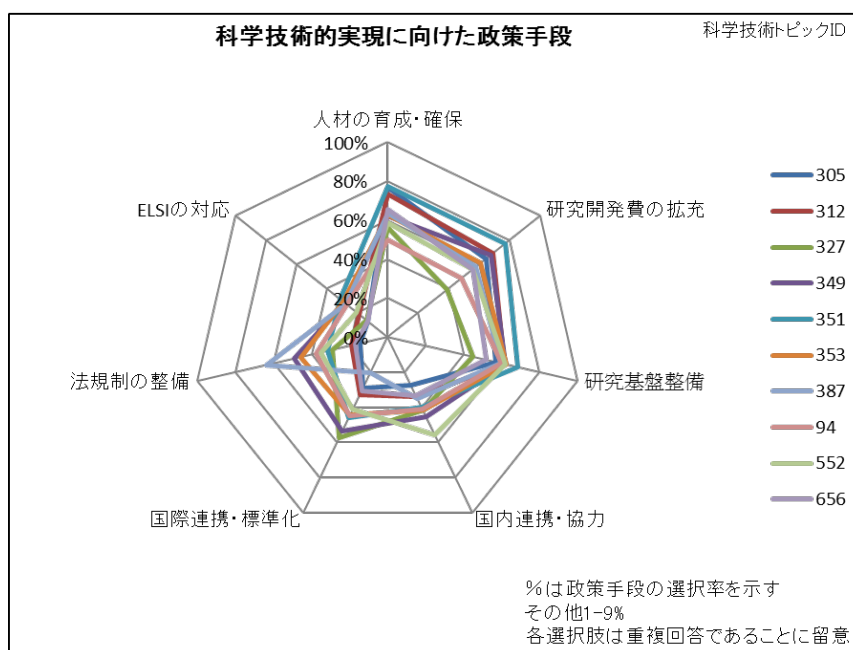
国内連携・協力については、科学技術トピック ID552「ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図」での選択割合が最も高かった(56%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID327「あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少」での選択割合が最も高かった(57%)。

法規制の整備については、科学技術トピック ID387「AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)」での選択割合が最も高く(64%)、ID305「非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術」は最も低かった(15%)。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID351 での選択割合が最も高かった(31%)。

領域図表 A-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2028 年から 2033 年と予測されており(領域図表 A-2)、2 トピック以外は 2030 年までに実現する見通しである。科学技術トピック毎でみると、ID312「自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術」が最も早く実現する見通しである(2028 年)。一方、最も遅く実現する見通しの科学技術トピックは、ID387「AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)」、ID327「あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少」である(いずれも 2033 年)。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保についての選択割合は、全て 50%以上であった(領域図表 A-5)。その中で最も高かった科学技術トピックは、ID312「自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術」、ID351「ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)」である(いずれも 70%)。

事業補助については、科学技術トピック ID312 と ID351 での選択割合が最も高かった(いずれも 54%)。

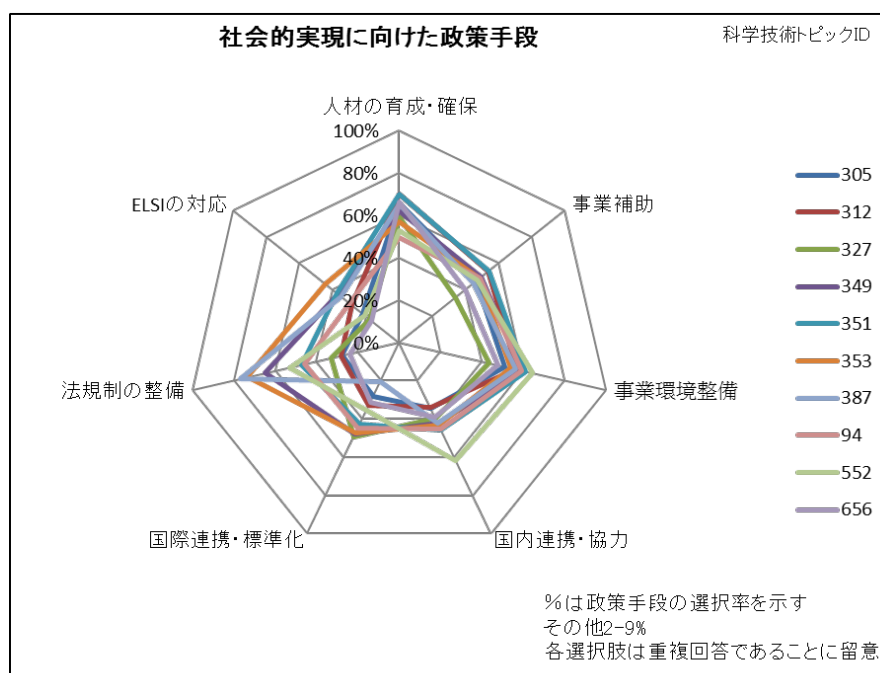
事業環境整備、国内連携・協力については、科学技術トピック ID552「ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図」での選択割合が最も高かった(それぞれ 65%、62%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID327「あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少」での選択割合が最も高かった(50%)。

法規制の整備については、科学技術トピック ID387「AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)」の選択割合が最も高く(77%)、ID656「文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術」は最も低かった(24%)。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID353「個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)」の選択割合が最も高かった(44%)。

領域図表 A-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の重要度は 2 番目に高かったが、国際競争力は最も低い評価であった。また、科学技術的および社会的実現は、全般的に早い見通しであった。領域 1 のまとめで記したように、当領域の基盤的技術である ICT は、特に技術革新の加速化が進展している分野であることが反映していると考えられる。

重要度が最も高い科学技術トピックは ID353「個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子

カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）」であり、この社会的実現に向けた政策として ELSI の対応が特に重要だと考えられた。

次いで重要度が高い科学技術トピックは ID349「プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム」であった。科学技術トピック ID353 での重要度の高さと考え合わせると、今後のデータ流通・利活用システムにおいては、データの保護と利活用とのバランスをとることと、そのための ELSI の対応が重要だと考えられる。データの保護と利活用とのバランスについては、これまで様々な場で議論されてきたが、本調査において改めて示されたと言える。

3.7.10 領域 B: 人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術

概要

自律化、情報端末化、ネットワーク化するロボットを人間社会に溶け込ませて活用することにより、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を支援・拡張する科学技術領域

科学技術上のキーワード

ロボット、ヒューマン・マシン・インターフェイス、センシング・情報処理・アクチュエーション機能

領域図表 B-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	306	ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の内蔵や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・筋力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス（消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される）
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント（受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる）
その他の分野	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手
	115	人間を代替する農業ロボット
	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI（ヒューマン・マシンインターフェイス）デバイス
	593	知能化された無限定環境（未知環境）での自律移動が可能な災害対応ロボット

特徴、注目点

日本は、1980年代以降、ものづくり分野を中心として、ロボットの生産・活用などにおいて世界をリードする「ロボット大国」としての地位を維持してきた。これに対し、近年、欧米などの先進国や中国などの新興国の双方において、改めてロボットが成長の鍵として注目を集め、各国政府主導でのプロジェクトが相次いで立ち上がるなど急速な追い上げを見せている。

こうしたロボットを巡る新たな国際競争の背景として、急速に進展するデジタル化およびネットワーク技術、クラウド技術の高度化に伴い、モノとモノがネットワークにより結びつけられるIoT（Internet of Things）社会が現実化しつつあることと、ロボット自体が「自律化」、「情報端末化」、「ネットワーク化」へと変化しつつあることが挙げられる。熾烈な国際競争を勝ち抜くためには、IoT社会から生みだされ

る膨大なデータを最大限活用して、ロボット進化の駆動力へと繋げていくことが鍵となる⁴¹。

当領域は、上記のロボットを巡る世界的な潮流を踏まえた上で、ロボット技術やロボットを活用するためのシステムを大きく革新させることにより、労働力確保や災害対策などの日本が抱える様々な社会課題の解決、ものづくりやサービスといった産業活動の支援、さらに運動・記憶などの個人の能力を支援・拡張することを目指すものである。上述のように、IoT社会の到来によって生じる膨大なデータを利活用する点で、先述の科学技術領域A「新たなデータ流通・利活用システム」と当領域とは補完関係にあり、さらにこれら2領域は科学技術領域1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」におけるラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズの解決技術につながる。

社会課題の解決につながる科学技術トピックとしては、労働力確保のためのID399「誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術」、災害対応のためのID593「知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット」が挙げられる。

産業活動を支援する科学技術トピックとしては、ID115「人間を代替する農業ロボット」、ID329「当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及」、ID403「表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)」が挙げられる。

個人の能力を支援・拡張するための科学技術トピックでは、ID400「視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)」、ID402「運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス」が挙げられる。

総じて、IoT社会が現実化しつつある中で、ロボットが人間社会に溶け込み、あらゆる人間活動を支援・拡張することが期待されている。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 B-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2029	2026	115	人間を代替する農業ロボット	1.35	0.59
2030	2028	306	ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術	0.98	0.14

⁴¹ 日本経済再生会議、ロボット新戦略—ビジョン・戦略・アクションプラン—、2015年2月10日
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/robot/>

		403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)	0.76	0.63
2031		329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及	0.50	0.52
	2029	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス	1.20	0.48
2032		400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)	1.03	0.55
	2030	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術	0.93	0.64
		402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置	0.52	0.25
2034	2031	593	知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット	1.12	0.49
2036	2032	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手	0.61	0.28

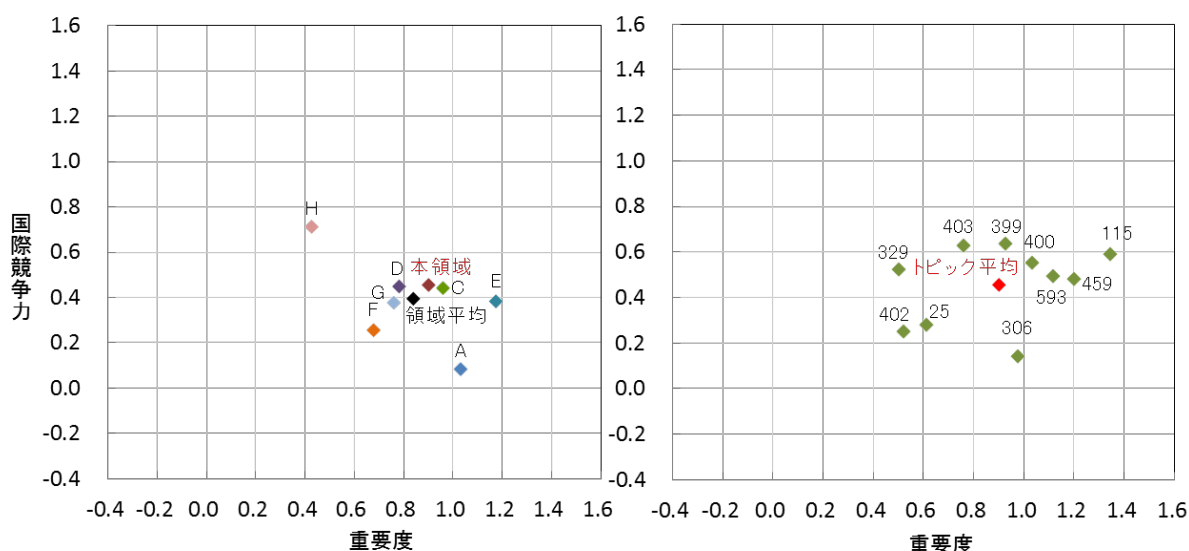
1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 0.90、0.46)、重要度は 4 番目、国際競争力は 2 番目に高い(領域図表 B-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度が 1 を超える科学技術トピックは 4 つあり、具体的には ID115「人間を代替する農業ロボット」、ID400「視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)」、ID459「運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス」、ID593「知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット」、である(それぞれ 1.35、1.03、1.20、1.12)。これら 4 科学技術トピックの中で国際競争力が最も高いトピックは、ID115 である(0.59)。

国際競争力が最も高い科学技術トピックは、ID399「誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術」、次いで ID403「表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)」である(それぞれ 0.64、0.63)。これら 2 つの科学技術トピックの重要度は 1 を超えていないが、比較的高い(ID399 は 0.93、ID403 は 0.76)。

領域図表 B-3 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2026 年から 2032 年の間と予測されており、10 トピックのうち 7 トピックが 2030 年までに実現する見通しである(領域図表 B-2)。科学技術トピック毎でみると、ID115「人間を代替する農業ロボット」が最も早く実現する見通しであり(2026 年)、ID25「全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手」の実現は最も遅い(2032 年)見通しである。

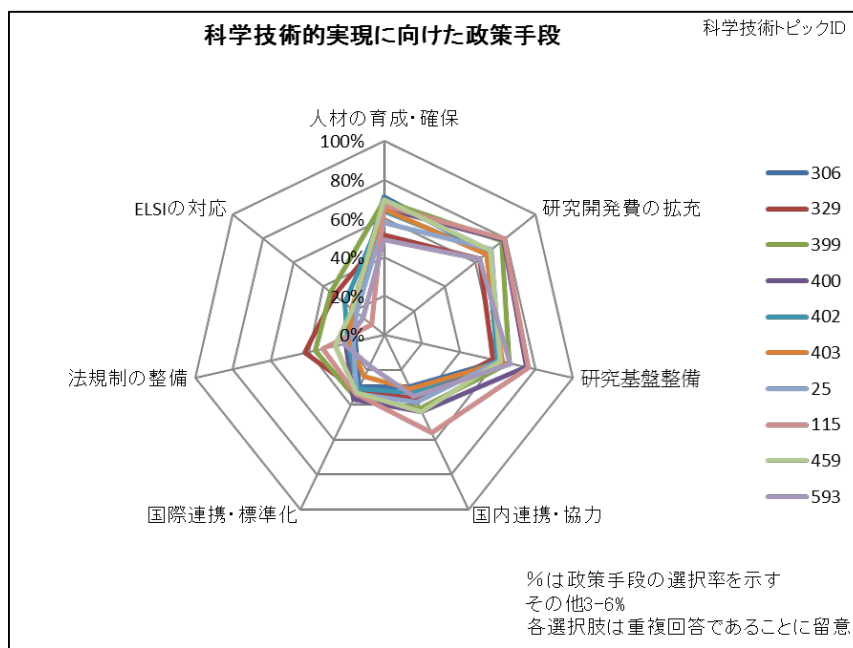
3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備についての選択割合は、回答者のほぼ 50% 以上であった(領域図表 B-4)。特に選択割合が高かった科学技術トピックは、人材育成・確保では ID306「ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術」(71%)、研究開発費の拡充では ID400「視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)」、ID115「人間を代替する農業ロボット」(いずれも 79%)、研究基盤整備では ID115(76%)であった。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID115 での選択割合が最も高かった(56%)。国際連携・標準化では、科学技術トピック ID400 での選択割合が最も高かった(37%)。

法規制の整備については科学技術トピック ID329「当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及」、ELSI の対応については ID399「誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術」での選択割合が最も高かった(それぞれ 42%、35%)。

領域図表 B-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2029 年から 2036 年の間と予測されており、10 トピックのうち7トピックが 2030 年以降に実現する見通しである(領域図表 B-2)。科学技術トピック毎で見ると、ID115「人間を代替する農業ロボット」が最も早く実現する見通しであり(2029 年)、ID25「全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手」の実現は最も遅い(2036 年)見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

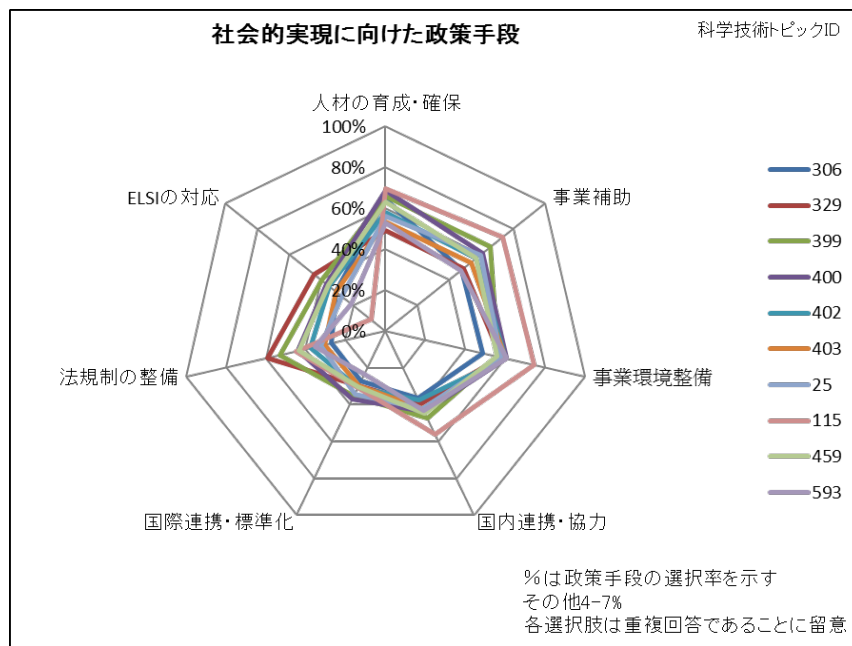
人材育成・確保については、科学技術トピック ID115「人間を代替する農業ロボット」、ID400「視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)」での選択割合が最も高かった(領域図表 B-5、いずれも 69%)。

事業補助、事業環境整備、国内連携・協力については、科学技術トピック ID115 での選択割合が最も高かった(それぞれ 74%、74%、56%)。

国際連携・標準化では、科学技術トピック ID400 での選択割合が最も高かった(37%)。

法規制の整備と ELSI の対応については、科学技術トピック ID329「当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及」での選択割合が最も高かった(それぞれ 59%、44%)。

領域図表 B-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の国際競争力は 2 番目に高い評価であった。冒頭で記したように、日本が世界をリードする「ロボット大国」としての地位を維持してきた実績が反映されたと考えられる。

科学技術トピック毎でみると、重要度が 1.0 を超える科学技術トピックは 4 つあり、それら 4 トピックの中で国際競争力が最も高いトピックは、ID115「人間を代替する農業ロボット」であった。この科学技術トピックの科学技術的および社会的実現は当領域において最も早い見通しであり、それらに向けた政策として、人材の育成・確保、研究開発費の拡充あるいは事業補助、研究基盤整備あるいは事業環境整備、国内連携・協力が重要であると考えられた。

他の重要度が高い 3 つの科学技術トピックは、ID400「視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)」、ID459「運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス」、ID593「知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット」であった。このうち科学技術 ID400 については、科学技術的および社会的実現双方において国際連携・標準化が重要だと考えられた。

上記 4 つの科学技術トピックは、社会課題の解決、産業活動の支援、個人の能力の支援・拡張を目指すものであり、今後のロボット開発の方向性を示すと考えられる。

3.7.11 領域 C:次世代通信・暗号技術

概要

データ利用が増大する将来社会に向け、生活および産業全般に及ぶインフラとして不可欠となる、高速・大容量データが利用可能な無線・有線および移動体に関する次世代の通信技術、広範な分野でのデータ利用におけるセキュリティを支える高度な暗号技術からなる科学技術領域

科学技術上のキーワード

有無線移動通信技術、大容量通信、光通信、小型近距離無線通信、非干渉収容、完全無線通信化、量子通信、単一光子、量子メモリ、量子インターネット

領域図表 C-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅
	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトリソグラフィなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信
	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術
マテリアル・デバイス・プロセス	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術

特徴、注目点

スマートフォンなどの携帯情報端末が広く普及し、先行するものづくり産業に加え、今後サービス産業・医療・教育・行政などにおけるデジタル化、さらに IoT(モノのインターネット)の進展により、遠隔・ワイヤレスでのデータのやり取りの増大が予測されている。⁴² 将来に向けた生活および産業全般に及ぶ環境インフラとして、高速・大容量データを利用可能な、無線・有線そして移動に関する次世代の通信技術、さらに広範な分野でのデータ利用におけるセキュリティを支える高度な暗号技術が、今後重要となる要素技術として挙げられる。

まず、現在開発中の 5G とそれ以降の通信技術に求められるスペックとして、科学技術トピック ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」があ

⁴² 「未来をつかむ TECH 戦略」～とりまとめ～、IoT 新時代の未来づくり検討委員会、総務省：
https://www.soumu.go.jp/main_content/000575127.pdf

げられる。また、携帯端末のインフラとして、無線通信技術に関して ID340「高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術」や、ID334「人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅」があげられる。さらに大容量で遅延のないネットワークインフラとして、ID330「電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現」、ID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」、ID347「エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術」などの技術進展が不可欠である。

世界レベルの情報通信ネットワーク、そして IoT の普及による生活・産業など広範囲での大量データの利用・流通で不可欠となる暗号技術では、量子技術を利用した高度に安全な暗号技術が求められている。科学技術トピック ID345「量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信」、そして長距離の量子暗号通信と量子中継を実現する ID464「オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス」、金融への応用に不可欠な ID472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」、そして量子コンピュータ時代のネットワーク構築のための ID468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」があげられる。

総じて、IoT、データ利用の拡大に対応した 5G のその先を見据えた次世代通信に関する要素技術と、高度なセキュリティを実現する量子暗号技術に関する要素技術であり、データ利用による生活や産業における新たな価値創造に繋がる可能性を担う領域である。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 C-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2028	2027	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術	1.47	0.63
		340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術	1.13	0.45
		344	マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術	1.07	0.82
2029	2028	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現	0.93	0.48
		347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術	0.62	0.26
2030		334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅	0.63	0.44
2034	2033	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信	1.00	0.43

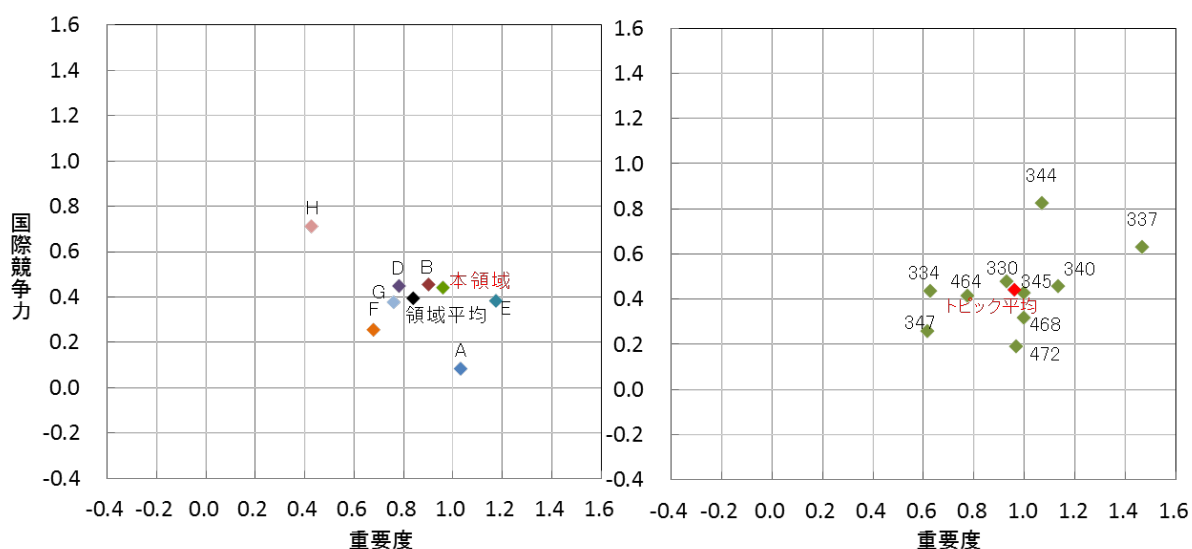
2036	2032	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス	0.78	0.41
	2033	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ	0.97	0.19
2038	2034	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術	1.00	0.31

1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の主たる 10 トピックの重要度と国際競争力の平均（それぞれ 0.96、0.44）は、全体平均（それぞれ 0.92、0.44）と比較し重要度はやや高く、国際競争力はほぼ同等である（領域図表 C-3）。

科学技術トピック毎でみると、ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」の重要度が秀でて高い(1.47)。また、ID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」の国際競争力が最も高い(0.87)。一方、科学技術トピック ID472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」は、重要度は比較的高い(0.97)が、国際競争力が最も低い(0.19)。科学技術トピック ID334「人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅」および ID347「エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術」は、重要度が比較的低い（それぞれ、0.63、0.62）。また、ID347 は国際競争力も低い(0.26)。

領域図表 C-3 重要度と国際競争力：特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域（左）と当領域に属する主な科学技術トピック（右）



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした
(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術の実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的実現は、2027 年から 2034 年の間と予測されている（領域図表 C-2）。科学技術トピック毎でみると、ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を

同時に実現する有無線移動通信技術」、ID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」、ID330「電子タグの小型近距離無線通信などにより、1兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現」などが2027年に、ID334「人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅」などが2028年の比較的早期に実現する見通しである。一方、量子技術利用関連の、ID345「量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信」、ID464「オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス」、ID472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」、ID468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」が、2033年から2034年の間の比較的遅い時期に実現する見通しである。

3. 科学技術の実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、ほとんどの科学技術トピックで52%以上と多くの回答者が選択している(領域図表C-4)。ID468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」が72%と最も高い。一方で、実現状況を示した科学技術トピックID334「人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅」と、ID330「電子タグの小型近距離無線通信などにより、1兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現」では低い(それぞれ42%、44%)。

研究開発費の拡充については、すべての科学技術トピックで55%以上と多くの回答者が選択している。ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」が75%と最も高く、続いてID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」が73%と高い。

研究基盤整備については、すべての科学技術トピックで54%以上と多くの回答者が選択している。科学技術トピックID337とID345「量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信」が69%と最も高かった。

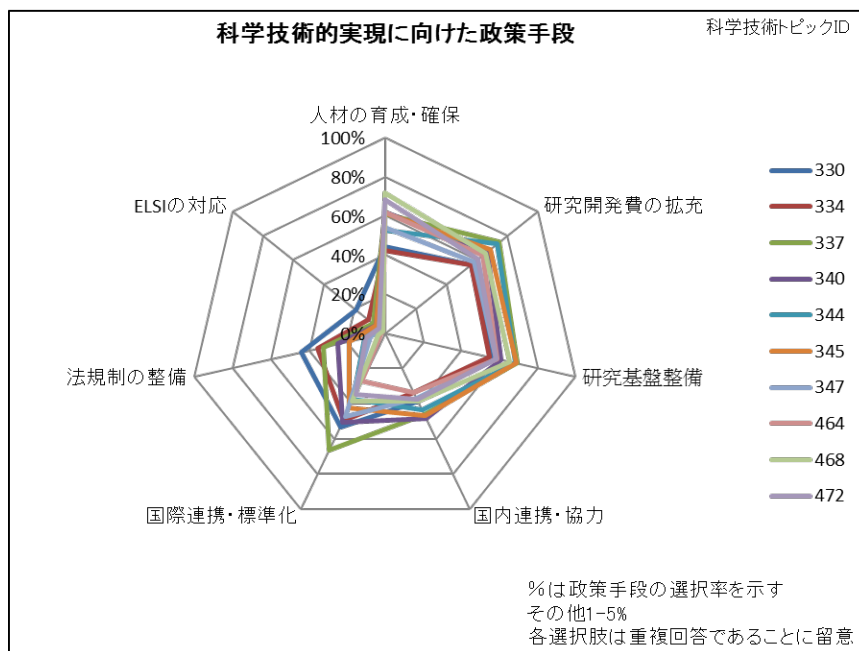
国内連携・協力については、科学技術トピックID340「高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術」と、ID345、ID337が高い(それぞれ、48%、47%、46%)。

国際連携・標準化については、科学技術トピックID337が67%と秀でて高く、ID330とID340もそれぞれ53%、51%と多くの回答者が選択した。

法規制の整備については、科学技術トピックID330が44%と最も高く、続いて、ID334とID337がそれぞれ35%、33%と高かった。

ELSIの対応については、科学技術トピックID330が19%、ID334が11%と比較的高かった。

領域図表 C-4 科学技術の実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2028 年から 2038 年の間と予測されている（領域図表 C-2）。科学技術トピック毎でみると、ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」と、ID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」が 2028 年に、ID330「電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現」と、ID347「エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術」が 2029 年の比較的早期に実現する見通しである。また、2030 年には、ID334「人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅」が実現すると予測されている。一方、量子技術利用関連の、ID345「量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信」、ID464「オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス」、ID472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」、ID468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」が、2034 年から 2038 年の間の比較的遅い時期に実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、ほとんどの科学技術トピックで 50%以上と多くの回答者が選択している（領域図表 C-5）。ID468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」と、ID472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」が、いずれも 68%と最も高い。

事業補助については、すべての科学技術トピックで 47%以上と多くの回答者が選択している。ID337「大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」が 58%と最も高い。

事業環境整備については、すべての科学技術トピックで 52%以上と多くの回答者が選択している。科学技術トピック ID344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」が 64%と最も高かった。

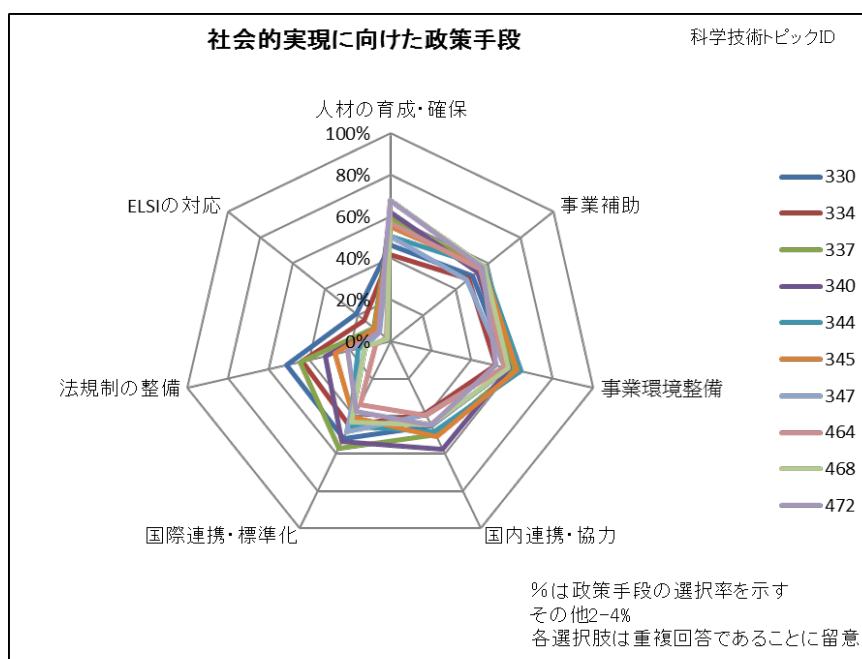
国内連携・協力については、科学技術トピック ID340「高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追跡し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術」が 58%と最も高く、続いて、ID345「量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信」と、ID337 が、それぞれ 51%,50%と高い。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID337 が 57%と最も高く、続いて、ID340 と ID330「電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現」が、それぞれ 54%,52%と高い。

法規制の整備については、科学技術トピック ID330 が 51%と最も高く、続いて、ID334 と ID337 がいずれも 44%と高かった。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID330 が 21%、ID334 が 16%と比較的高かった。

領域図表 C-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の中で重要度は比較的高く、国際競争力は平均値と同等の評価であった。また、科学技術的および社会的実現ともに、全般的に遅い見通しであった。政策手段は、全般的に特に人材育成・確保と研究開発費の拡充／事業補助が非常に高く、次いで研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高かった。また、他の領域と比較し、科学技術的および社会的実現ともに、国内連携・協力、国際連携・標準化が高いことも大きな特徴である。

重要度ならびに国際競争力の双方が特に高いと評価された、科学技術トピック No.337「大容量、

超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術」、No.344「マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術」、は、当領域の中では科学技術的および社会的実現ともに、最も早い時期(それぞれ、2027 年、2028 年)に実現するとの評価であった。また、科学技術トピック No.472「量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ」および No.468「量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術」は、政策手段として人材の育成・確保の選択割合が特に高いことが特徴であり、これらのトピックは、科学技術的および社会的実現見通しが当領域中で最も遅く(それぞれ、2036 年、2038 年)、持続的な政策として考慮する必要がある。

3.7.12 領域 D:交通に関するヒューマンエラー防止技術

概要

陸空海の交通において、人間の負担を軽減しながら安全・効率的かつ交通容量を拡大するための、ICT による交通システムの知能化に基づく車両・航空機・船舶等の移動体の無人運転・操縦・運航に関する科学技術領域

科学技術上のキーワード

無人運転・運航・操縦、危険予知・警告・回避、通信、IoT

領域図表 D-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
都市・建築・土木・交通	573	自律航行可能な無人運航商船
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機
	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム

特徴、注目点

交通に関するヒューマンエラーは、人間と移動体(車両・航空機・船舶等の機械)が共同して目的を達成するためのシステム(ヒューマン・マシン・システム)の中で、人間の側が自分に割り当てられた仕事、あるいは人間のオペレーターに期待されたパフォーマンスの水準を満たすことに失敗したため、システム全体がトラブルを起こしたり、システムダウンになったりする状態を指す⁴³。この防止には、移動体、人間、移動体と人間のインターフェース、システム管理などへの対策が必要とされ、関連する法制度の整備と技術開発を併行して行うことが重要である。

本領域では、上記ヒューマン・マシン・システムのうち、特に人間側の負担を軽減してエラーの発生を抑制することを目的とした、移動体の無人運転・操縦・運航に関する技術の中核としている。これらの技術は、人間に代わり認知、判断、操作を行うものであり、移動体毎に要素技術や技術的難易度は異なるが、全般的には位置情報の特定、障害物の認識、危険判断・予知などの高度な情報処理機能や走行制御技術などから構成される。加えて、鉄道と自動車のような異なる移動体の間での通信技術による踏切事故防止や、更にマルチモーダルな移動体の情報を一元管理して有用化する技術も含まれる。

大型船舶では、入力した航路を辿る自動航行が既に普及しているが、より安全・効率的な運航のためには船舶の IoT 化が有効である。具体的には、船舶の周辺状況を精緻に検知するためのセンサーの高度化と、そこから得られた情報を船舶にリアルタイムに提供するシステムが必要と

⁴³国土交通省、公共交通に係るヒューマンエラー事故防止対策検討委員会最終とりまとめ、平成 18 年 4 月

され、科学技術トピックとしては ID573「自律航行可能な無人運航商船」、ID595「転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム」が挙げられる。

航空機では、離陸し安全高度に達した後の巡航などで自動操縦システムが導入されているが、より安全・効率的かつ交通容量の拡大を目指すためには、科学技術トピック ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」が求められる。この場合の運航システムも、現行の遠隔対空通信施設、航空路・空港監視レーダーや情報処理システムなど航空保安システムの更なる高度化とともに、IoT 化が鍵となる。

鉄道では、敷設された軌道上を走行することから、1970 年代以降は自動列車運転装置(ATO)による運行が実現しているが、人や自動車の侵入による踏切事故には対処し切れていないのが現状である。これを解決する技術として、科学技術トピック ID582「踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転」、ID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)」が挙げられ、これらも鉄道と公道の情報ネットワークが基になる。

総じて、ICT の進展による交通システムの知能化が、交通に関するヒューマンエラー防止技術の方向性と考えられる。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 D-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2027	2024	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム	0.63	0.33
	2025	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)	0.84	0.73
2029	2026	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転	0.86	0.59
2031	2027	573	自律航行可能な無人運航商船	0.74	0.45
2032	2028	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機	0.83	0.15

1. 重要度と国際競争力

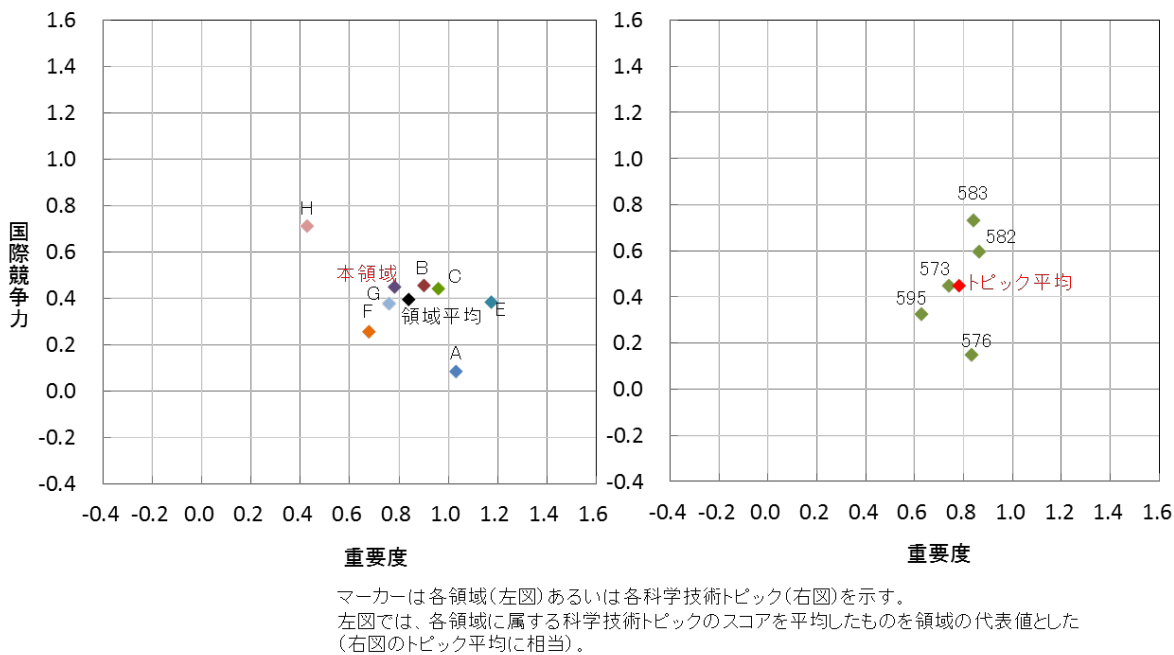
特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 0.78、0.45)、重要度は 5 番目、国際競争力は 3 番目に高い(領域図表 D-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度では ID582「踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所があ

る路線における鉄道の無人運転」が最も高く、ID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)」、ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」と続く(それぞれ0.86、0.84、0.83)。

国際競争力をみると、ID583 は当領域の中で国際競争力が最も高いが(0.73)、ID576 は最も低い(0.15)。

領域図表 D-3 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックは、2030 年までに全て実現すると予測されており(2024 年～2028 年)、早い実現の見通しである(領域図表 D-2)。科学技術トピック毎でみると、ID595「転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム」が最も早く実現する見通し(2024 年)の一方、ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」の実現は最も遅い見通しである(2028 年)。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID595「転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム」での選択割合が最も高かった(47%、領域図表 D-4)。

研究開発費の拡充、研究基盤整備については、科学技術トピック ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に

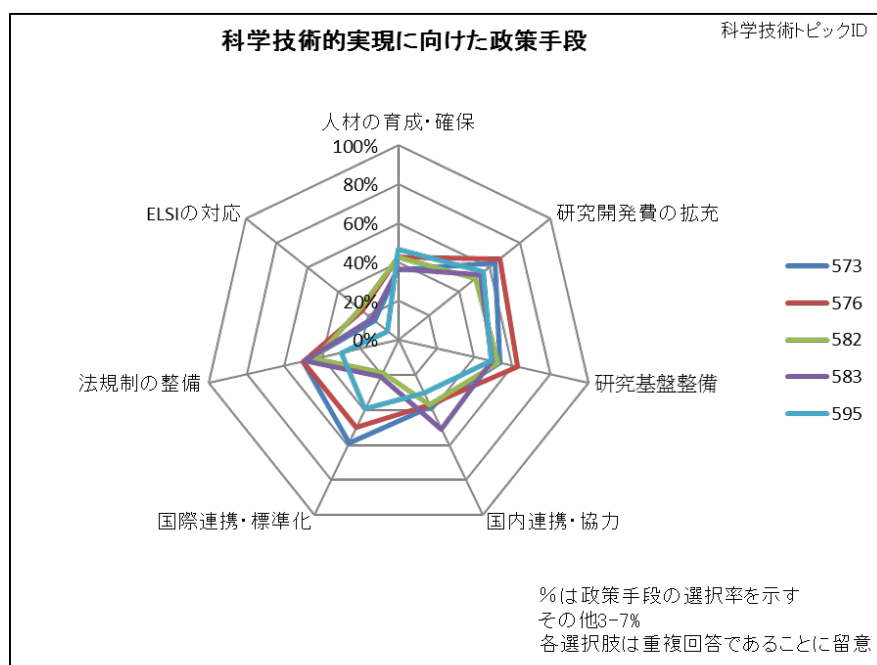
基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」での選択割合が最も高かった(それぞれ 67%、63%)。

国内連携については、科学技術トピック ID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)」での選択割合が最も高かった(51%)。

国際連携・標準化と法規制の整備については、科学技術トピック ID573「自律航行可能な無人運航商船」での選択割合が最も高かった(それぞれ 59%、50%)。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID582「踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転」での選択割合が最も高かったが(25%)、あくまで当領域内であり、数値自体は高くなかった。

領域図表 D-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックは、2027 年～2032 年の間に社会的実現すると予測されている(領域図表 D-2)。

科学技術トピック毎でみると、ID595「転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム」、ID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)」が最も早く実現する見通し(2027 年)の一方、ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」の実現は最も遅い見通しである(2032 年)。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」での選択割合が最も高かった(50%、領域図表 D-5)。

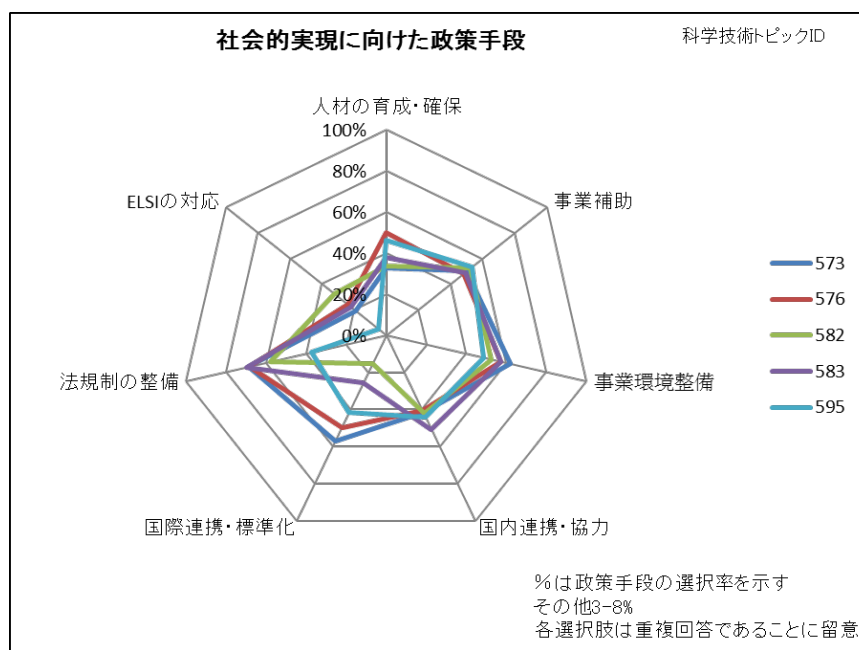
事業補助については、科学技術トピック ID582「踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転」、ID595「転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム」での選択割合が最も高かった(いずれも 53%)。

事業環境整備と国際連携については、科学技術トピック ID573「自律航行可能な無人運航商船」での選択割合が最も高かった(それぞれ 62%、57%)。

国内連携と法規制の整備については、科学技術トピック ID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)」での選択割合が最も高かった(それぞれ 51%、70%)。

ELSI の対応については、科学技術トピック ID582 での選択割合が最も高かった(32%)。

領域図表 D-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の国際競争力は、特定分野に軸足を置く8領域の中で3番目に高く評価された。また、当領域の主な科学技術トピックは早い実現の見通しであり、2030年までに全て実現すると回答された。当領域の基盤的技術がICTであることから、領域1や領域Aと同様に、技術革新の加速化が進展していることが反映されたと考えられる。

科学技術トピック毎でみると、重要度と国際競争力ともに高かったトピックはID583「踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事

故防止)」であった。踏切事故対策の観点から、この科学技術トピックは社会ニーズが高く、その科学技術的および社会的実現に向けた政策として国内連携・協力が特に重要と考えられた。

重要度は高いが国際競争力が低い科学技術トピックとして、ID576「航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機」が挙げられた。この科学技術トピックは、当領域の中で科学技術的および社会的実現が最も遅い見通しであり、科学技術的实现に向けた政策として研究開発費の拡充、研究基盤整備、法規制の整備が挙げられた。この結果より、科学技術トピック ID576 の科学技術的および社会的実現に向けた政策的課題への取組も重要だと考えられる。

3.7.13 領域 E: ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法

概要

健康寿命の延伸をめざした生涯にわたる健康支援(ライフコース・ヘルスケア)のために、ヒトの胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえ、各年齢ステージでの疾病の適切な予防・治療を施すというライフコース・アプローチの概念に基づいた、疾病に関する遺伝的要因、環境要因、社会的要因の研究、老化・機能低下のメカニズム研究、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発に関する科学技術領域

科学技術上のキーワード

非感染性疾患、予知・予防、早期診断、DOHaD、遺伝・環境因子、バイオマーカー、エピゲノム、動的ネットワーク、precision medicine

領域図表 E-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	80	Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
	87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術

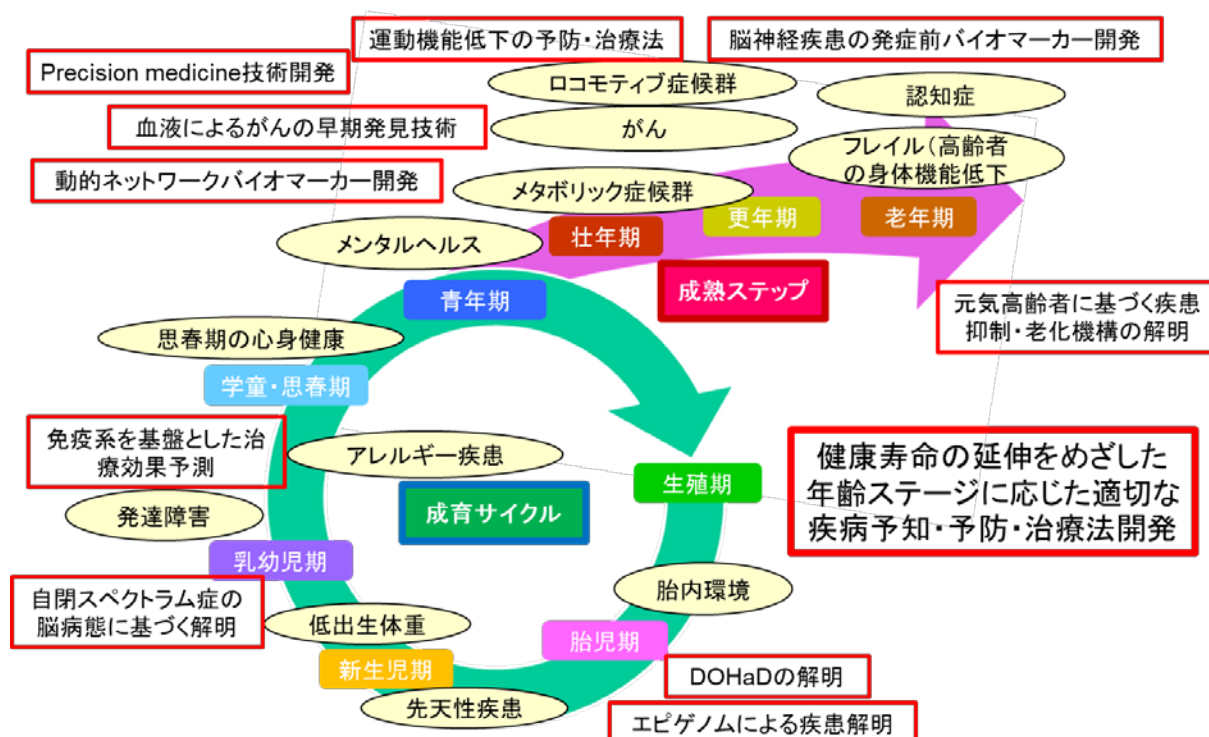
特徴、注目点

近年のヘルスケアにおいて注目が集まっている「ライフコース・アプローチ」は、世界保健機構(WHO)の「Ageing and Health Programme」(AHE、1995 年設立)で唱えられた健康に関する概念的な枠組みである(Life course approach to health)。AHE の一環として開催された WHO と英国 International Longevity Center とのワークショップの報告書では、「ライフコース・アプローチ」は時間的および社会的観点を強調し、一生にわたる生物学的、行動学的、心理社会的プロセスの特

定に役立つとしている⁴⁴。このことから、「ライフコース・アプローチ」は医学のみならず、社会科学まで及ぶ広い概念と言える。

「ライフコース・アプローチ」は疫学的手段として、人間の各年齢ステージにおける慢性疾患リスクとヘルスアウトカムに影響する身体的・社会的ハザードの研究に活用されてきた。当科学技術領域は、この「ライフコース・アプローチ」に基づいて、人の胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえ、各年齢ステージでの適切な予防・治療を施すといった生涯保健(ライフコース・ヘルスケア)に関わる科学技術が含まれる。領域図表 E-2 にて、これら科学技術の全体像を示す。

領域図表 E-2 ライフコース・アプローチと科学技術



出典: 山縣然太郎教授(山梨大学医学部)より提供、社会医学系 4 学会合同シンポジウム(2020 年 2 月)の資料を基に作成

特に「ライフコース・アプローチ」を示す科学技術として、トピックID80「Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療」が挙げられる。DOHaDとは、健康や特定の病気へのかかりやすさは胎児期や生後早期の環境の影響を強く受けて決定されるという概念であり、日本DOHaD研究会では「受精時、胎芽期、胎児期の子宮内および乳幼児期の望ましくない環境がエピゲノム変化を起こし、それが疾病素因となり、出生後の環境との相互作用によって疾病が発症する。生活習慣病等の

⁴⁴ The implications for training of embracing. A Life Course Approach to Health, https://www.who.int/ageing/publications/lifecourse/alc_lifecourse_training_en.pdf

多因子疾患はこの2段階を経て発症する」と解説している⁴⁵。生活習慣病等の多因子疾患を「ライフコース・アプローチ」によって遺伝・環境因子の2面から分析し、予防・治療につなげることが期待される。

1歳を過ぎた頃から兆候が現れる自閉症、アスペルガー症候群、そのほかの広汎性発達障害を含む自閉症スペクトラム障害に対する治療については⁴⁶、科学技術トピックID57「自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法」が挙げられる。上記のように兆候が現れる乳幼児期から就学期、就労期、高齢期に至るまで、各年齢ステージに応じた医学的・社会的な対応が求められる。

就労期から高齢期にかけては、がん、生活習慣病、認知症などの神経変性疾患の発症が多くなるため、それら疾患を早期に診断・治療する科学技術が必要となる。具体的には、科学技術トピックID33「血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング」、ID34「がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測」、ID37「非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法」、ID47「代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法」、ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」、ID87「予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術」である。いずれの科学技術トピックも、限定された病態だけを対象とするのではなく、病態の背景にある生体内での多様な相互作用を総合的に理解した上で診断・治療法の開発を目指している。この点で、当領域は、科学技術領域 2「プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング」にて人の個体から組織・臓器、細胞、分子レベルにわたり生命現象を捉えるアプローチと共通する。

さらに、健康長寿の要因を突き止めることで疾病の予知・予防につなげるアプローチが考えられ、これは科学技術トピック 42「元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明」で示される。総じて、各年齢ステージに対応した「ライフコース・アプローチ」は、超高齢社会におけるヘルスケアの発展に資すると期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 E-3 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2029	2027	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング	1.46	0.61
2030	2028	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法	1.56	0.55

⁴⁵ 日本 DOHaD 研究会設立趣旨、http://square.umin.ac.jp/Jp-DOHaD/_src/sc492/90DD97A78EEF8E7C.pdf

⁴⁶ 厚生労働省、発達障害、https://www.mhlw.go.jp/kokoro/know/disease_develop.html

		34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測	1.24	0.71
2032	2029	80	Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療	0.92	0.16
2033		87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術	1.08	0.21
	2030	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法	0.74	0.23
	2031	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法	1.14	0.37
2035		42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明	0.98	0.37
	2032	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法	1.55	0.54
2037	2034	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法	1.06	0.08

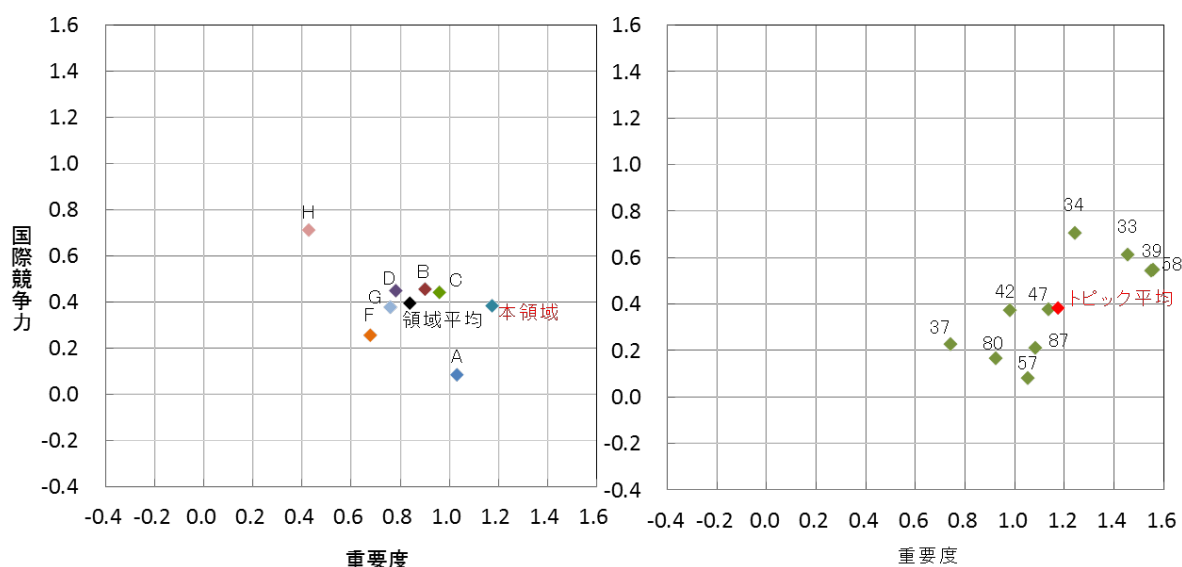
1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 1.17、0.38)、重要度は最も高く、国際競争力は 5 番目に高い(領域図表 E-4)。

科学技術トピック毎でみると、重要度では老化に関するトピックが高く、具体的には ID39「老化に伴う運動機能低下の予防・治療法」、ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」が挙げられる(それぞれ 1.56、1.55)。また、早期診断に関わる科学技術トピック ID33「血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング」も重要度が高い(1.46)。

国際競争力については、科学技術トピック ID34「がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測」が最も高く、上記のトピック ID33 が続く(それぞれ 0.71、0.61)。科学技術トピック ID33 については、当該領域で重要度と国際競争力双方が高いトピックである。

領域図表 E-4 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



マーカーは各領域(左図)あるいは各科学技術トピック(右図)を示す。
左図では、各領域に属する科学技術トピックのスコアを平均したものを領域の代表値とした(右図のトピック平均に相当)。

2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2027 年から 2034 年の間と予測されており、2030 年を境とし、それ以前の実現見通しで 6 トピック、それ以降で 4 トピックが存在する(領域図表 E-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID33「血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング」が最も早く実現する見通し(2027 年)の一方、ID57「自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法」の実現は最も遅い見通しである(2034 年)。

老化に関連する科学技術トピック ID42「元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明」と ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」の実現は、いずれも 2032 年の実現と遅い見通しである。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備については、ほぼ 60%以上の選択割合であった(領域図表 E-5)。

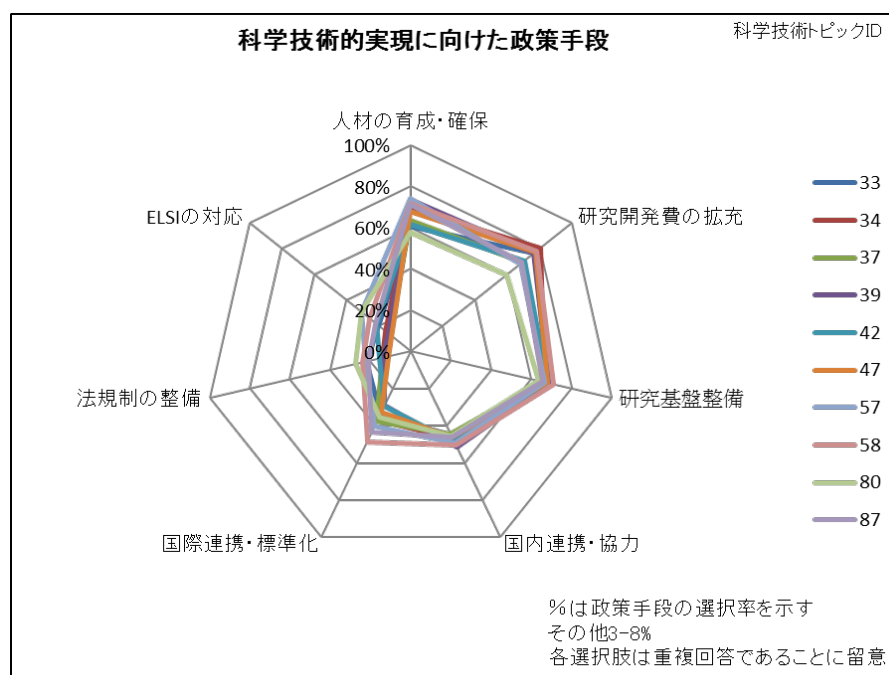
特に選択割合が高かった科学技術トピックは、人材育成・確保では ID39「老化に伴う運動機能低下の予防・治療法」、ID57「自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法」(いずれも 74%)、研究開発費の拡充では ID34「がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測」(80%)、研究基盤整備では ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」(71%)である。

国内連携については科学技術トピック ID39 での選択割合が最も高く(51%)、国際連携・標準化に

については科学技術トピック ID58 での選択割合が最も高い(49%)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID80「Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療」での選択割合が最も高い(それぞれ 27%、31%)。

領域図表 E-5 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの実現は 2029 年から 2037 年の間と予測されている(領域図表 E-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID33「血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング」が最も早く実現する見通し(2029 年)の一方、ID57「自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法」の実現は最も遅い見通しである(2037 年)。

老化に関連する科学技術トピック ID42「元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明」と ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」の実現は、いずれも 2035 年の実現と遅い見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備については、選択割合が 50%以上である(領域図表 E-6)。

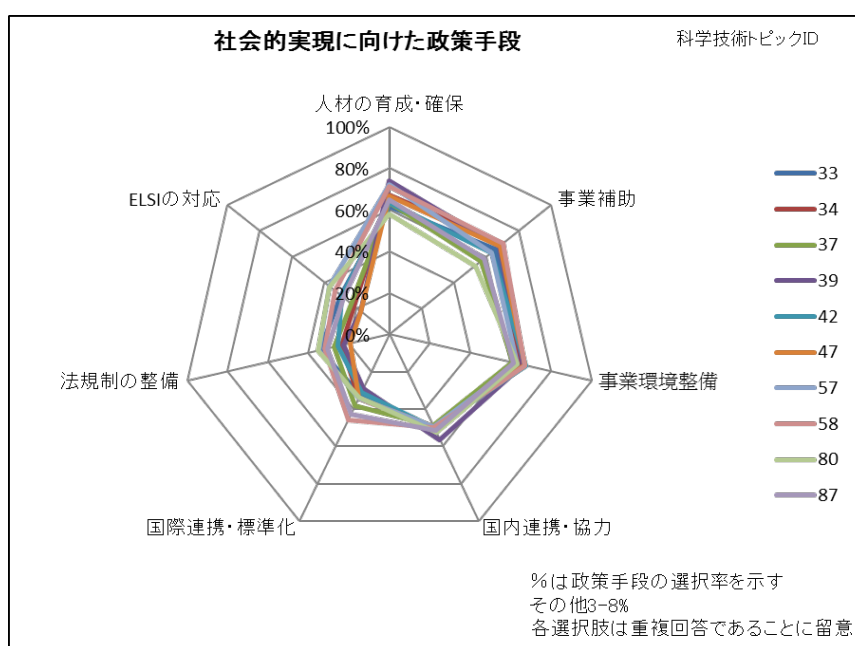
特に選択割合が高かった科学技術トピックは、人材育成・確保では ID39「老化に伴う運動機能低下の予防・治療法」(74%)、事業補助では ID34「がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測」(80%)、ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発

症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」(いずれも 70%)、事業環境整備では ID42「元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明」(68%)である。

国内連携については科学技術トピック ID39 での選択割合が最も高く(56%)、国際連携・標準化については科学技術トピック ID58 での選択割合が最も高い(46%)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID57「自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法」、ID80「Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療」での選択割合が最も高い(いずれも 35%、37%)。

領域図表 E-6 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度は、特定分野に軸足を置く 8 領域の中で最も高く、超高齢社会を迎えた我が国におけるヘルスケアへのニーズの高さが浮き彫りになった。

科学技術トピック毎でみると、重要度では老化に関するトピックが高く、具体的には ID39「老化に伴う運動機能低下の予防・治療法」、ID58「アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法」であった。この結果は、超高齢社会における老化対策へのニーズの高さが反映されたものと考えられる。また、科学技術トピック ID33「血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング」も重要度が高く、早期診断の重要性が示されたと言える。

上記の老化に関する科学技術トピックの科学技術的および社会的実現に向けた政策として、ID39では人材の育成・確保と国内連携・協力、ID58では国際連携・標準化が重要と考えられた。また科学技術トピック ID34「がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療および

その効果予測」では、研究開発費の拡充あるいは事業補助が重要と考えられた。特に研究開発費の拡充を選択する割合が80%と非常に高かったことから、これら疾患研究を推進するための事業については、費用対効果を十分に検討しつつ推進していく必要があると考えられる。

3.7.14 領域 F:生態系と調和した持続的な農林水産業システム

概要

生態系が人類に提供する便益としての生態系サービスの持続的・効果的利用による、データ駆動型アプローチと、地域コミュニティ・地域リソースとの関係に基づく農林水産業の発展に向けた科学技術領域

科学技術上のキーワード

生態調和型（環境保全型）生産システム、データ駆動型、地域コミュニティ、ネオドメスティケーション、完全循環型フードバリューチェーン、フードトランジション

領域図表 F-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
農林水産・食品・バイオテクノロジー	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化（ネオドメスティケーション）
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出
	103	完全不妊養殖魚
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術
	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術（例えばフード3D プリンターのような）
	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン
	159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明
	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物（イネ・藻類）による CO ₂ の大量・大規模固定（sequestering）と生産性向上システム

特徴、注目点

人間が日常生活で使用・消費する製品や食料の多くは農林水産物であり、人間の生活に不可欠なものとなっている。2050 年には、世界人口が現在の1.3倍の96億人に達すると見通され⁴⁷、新興国における経済成長や所得水準の向上も相まって、中長期的には世界の食料需給がひっ迫することが懸念されていることもあり、農林水産業への期待は一層高まっている。さらに人間の健康と食とは密接な関係があることから、ヘルスケアの観点でも食料生産に対する期待はより高まっている。

しかしながら、農林水産業の発展に向けては大きな世界的課題がある。2019年8月、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が発表した気候変動と土地に関する特別報告書（SRCCL）によると、森林減少や農業などの土地利用によるCO₂排出量は、世界の人為的な温室効果ガス総排出量の23%になるとしており、人間による土地利用が気候変動をさらに悪化させていることや、気候変動によって土地がより一層劣化していることに警鐘を鳴らしている⁴⁸。

⁴⁷ The United Nations, 2019 Revision of World Population Prospects, <https://population.un.org/wpp/>

⁴⁸ IPCC, Climate Change and Land, <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>

一方、2018年に世界自然保護基金(WWF)が発表したレポートでは、農林水産業の基盤である生物多様性について、世界レベルでは過去40年間で60%減少したと報告されている。これらの報告から、今後、人間が如何にして自然と共生し農林水産業を発展させていくかが世界的な課題となっていることと、その方策として生物多様性により支えられる生態系サービスの持続的かつ効果的な利用が求められていることが露わになったと言える。

生態系サービスは、生態系が人類に提供するあらゆる便益を意味し、資源供給サービス、調節サービス、文化的サービス、基盤サービスの4つのカテゴリーに分類されている。資源供給サービスには、食料をはじめとする農産物の提供が含まれる一方、調整サービスでは病虫害・疾病の抑制や気候調節など、基盤的サービスでは水循環などといった農林水産業に不可欠なものが含まれる⁴⁹。当領域は、これら生態系サービスの持続的・効果的な利用による農林水産業の発展を目標として、生態系サービス自体のメカニズム研究から、バイオテクノロジーに基づく植物・動物の新しい生産・保護手法の開発、農林水産廃棄物のリサイクルによる資源生成技術の開発、生産者－流通業者－消費者のフードバリューチェーン構築に至るまで幅広い科学技術を包含している。こうした広範な科学技術を実現するためには、農林水産業の現場から得られるビックデータを総合分析して意思決定をするデータ駆動型アプローチと、地域コミュニティと地域リソースからのアプローチが欠かせない

生態系サービスの持続的かつ効果的な利用について総合的に示す科学技術トピックとしては、ID113「生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム」が挙げられる。バイオテクノロジーに基づく植物・動物の新しい生産・保護手法の開発に関する科学技術トピックとしては、ID97「世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)」、ID99「雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出」、ID103「完全不妊養殖魚」、ID159「作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明」が挙げられる。

環境負荷が少ない新規食品の開発が求められる中、昆虫の養殖と食用化、加工食品開発が進められている。2018年1月に施行された新規食品(ノベルフード)に関するEU規則⁵⁰では、昆虫が規定されたことから、市場の拡大に期待が寄せられている。科学技術トピックID124「昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術」は、こうした昆虫やそれ以外のタンパク源に基づく新規食品の開発を目指すものである。

一方、農産廃棄物や家畜排泄物、食品廃棄物等のバイオマスを肥料・エネルギーに転換する技術の開発も期待される。例えば、我が国では食品循環資源の再利用等の促進に関する法律(食品リサイクル法)の下で、食品廃棄物等のリサイクルが進んでいる。2017年度の実績は、飼料が全体の74%と最も多く、次いで肥料が17%、メタンと油脂および油脂製品がそれぞれ4%、炭化して製造される燃料および還元剤が32000t、エタノールが3000tの順となっている(食品産業全体の食品リサイクル法で規定している再生利用の用途別の実施量の内訳)⁵¹。科学技術トピックID126「廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えばフード3Dプリンターのような)」は、こうした食品廃棄物等のリサイクルを推進する新たな技術として考えられる。

総じて、人間が健やかな生活を営み、社会を発展させていく上で、調和、循環、再生をキーワード

⁴⁹Convention on Biological Diversity、生物多様性と農業、
http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/2008IDB_booklet.pdf

⁵⁰European Commission, Novel food, Legislation, https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/legislation_en

⁵¹農林水産省、平成29年度食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率(推計値)、<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/attach/pdf/kouhyou-11.pdf>

とした農林水産業システムの進化が期待される。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 F-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

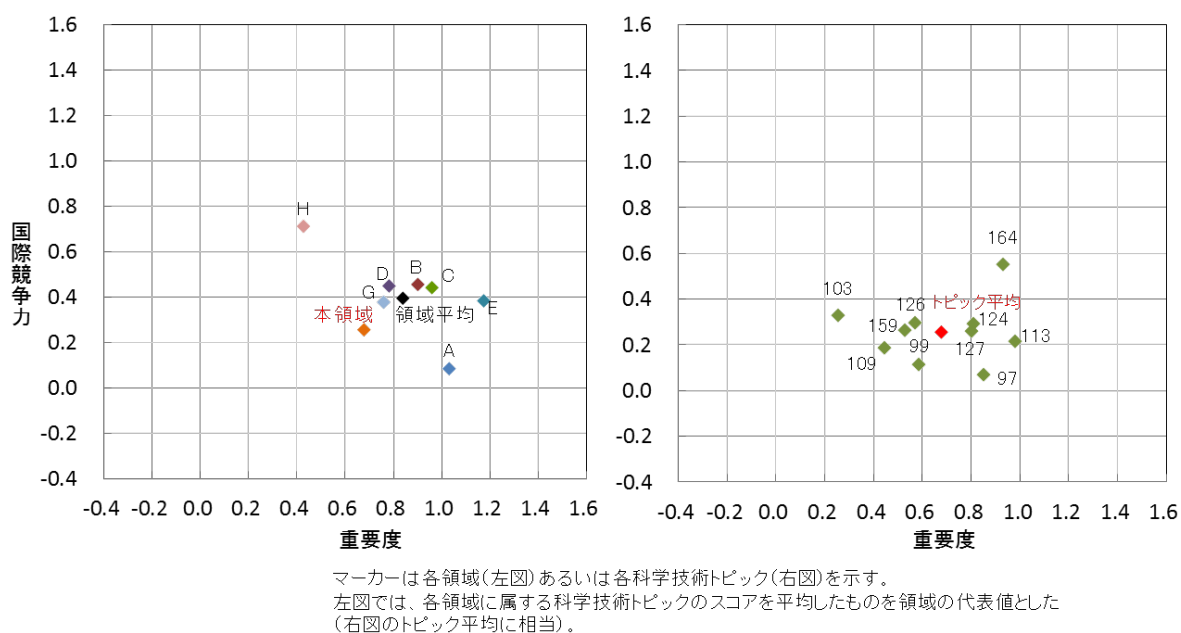
社会的 実現年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2029	2026	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術	0.81	0.29
2030	2028	103	完全不妊養殖魚	0.26	0.33
		126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えば フード3D プリンターのような)	0.57	0.29
		99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための 系統作出	0.59	0.11
2032	2027	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集 による栽培作物化(ネオドメスティケーション)	0.85	0.07
	2028	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フード バリューチェーン	0.80	0.26
	2029	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型 農業生産システム	0.98	0.21
		159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明	0.53	0.26
	2030	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産 性向上技術	0.45	0.18
2035	2031	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)に よる CO ₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生 産性向上システム	0.93	0.55

1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の重要度と国際競争力をみると(それぞれ 0.68、0.26)、全体平均(それぞれ 0.84、0.39)よりやや低い(領域図表 F-3)。

科学技術トピック毎でみると、重要度では ID113「生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム」と ID164「光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)による CO₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム」が高い(それぞれ 0.98、0.93)。科学技術トピック ID164 については、国際競争力も高く、当領域において最高値を示す(0.55)。

領域図表 F-3 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの科学技術的実現は 2026 年から 2031 年の間と予測されており、ほとんどが 2030 年までに実現する見通しである(領域図表 F-2)。科学技術トピック毎でみると、ID124「昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術」が最も早く実現する(2026 年)と考えられている一方、ID164「光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)による CO₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム」の社会的実現は最も遅い見通しである(2031 年)。

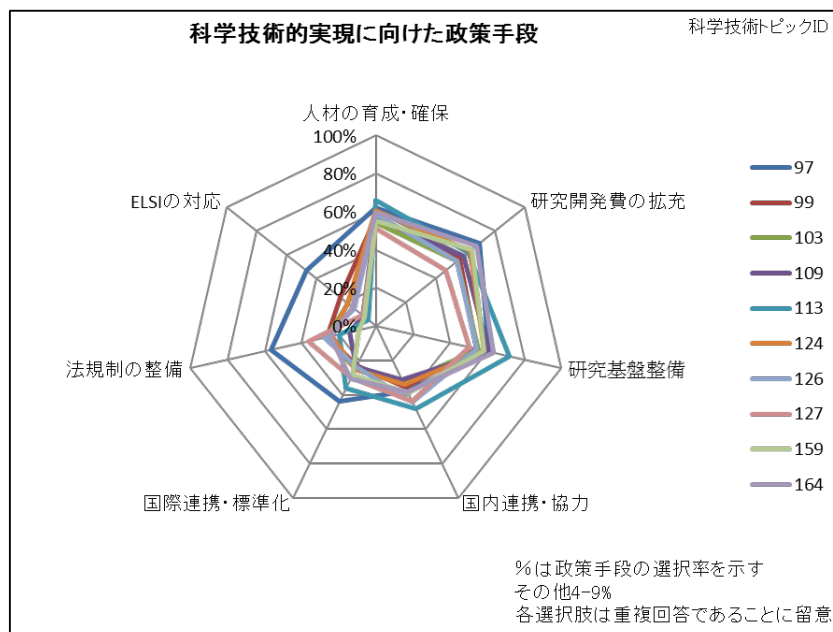
3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備については、50%以上の選択割合であった(領域図表 F-4)。特に選択割合が高かった科学技術トピックは、人材育成・確保と研究基盤整備では ID113「生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム」(それぞれ 66%、72%)、研究開発費の拡充では ID97「世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)」(70%)であった。

国内連携については、30%以上の選択割合であり、その中でも科学技術トピック ID113 での選択割合が最も高かった(48%)。

国際連携・標準化、法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID97 での選択割合が最も高かった(それぞれ 44%、57%、47%)。一方、科学技術トピック ID159「作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明」では、法規制の整備、ELSI の対応ともに選択割合が低かった(それぞれ 9%、7%)。

領域図表 F-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

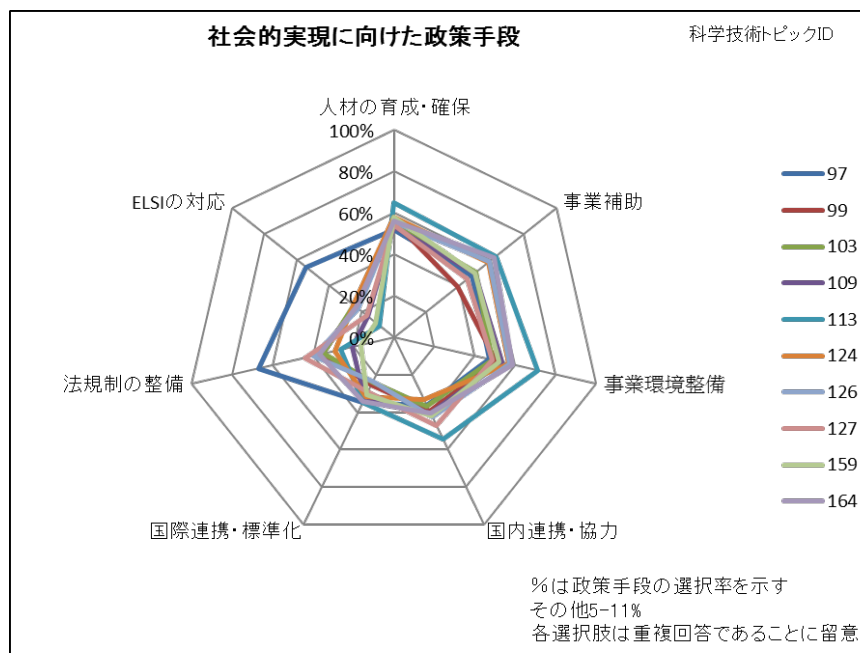
当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は 2029 年から 2035 年の間と予測されており、ほとんどが 2032 年までに実現する見通しである(領域図表 F-2)。科学技術トピック毎でみると、ID124「昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術」が最も早く実現する(2029 年)と考えられている一方、ID164「光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)による CO₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム」の社会的実現は最も遅い見通しである(2035 年)。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保、事業補助、事業環境整備、国内連携・協力、国際連携・標準化については、科学技術トピック ID113「生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム」での選択割合が最も高かった(それぞれ 65%、63%、71%、55%、35%、領域図表 F-5)。

法規制の整備、ELSI の対応については、科学技術トピック ID97「世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)」での選択割合が最も高かった(それぞれ 67%、54%)。

領域図表 F-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度と国際競争力は、特定分野に軸足を置く8領域全体の平均よりやや低かった。一方、個別の科学技術トピックでみると、重要度が0.8以上のトピックが10トピック中5トピックあり、高く評価されたトピックが多かった。

重要度、国際競争力ともに高い科学技術トピックは、ID164「光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)によるCO₂の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム」であったが、科学技術的および社会的実現は最も遅い見通しであった。

重要度が高い科学技術トピックとしてID113「生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム」が挙げられ、特に社会的実現に向けた政策として、人材の育成・確保、事業補助、事業環境整備、国内連携・協力、国際連携・標準化で最も高い選択割合を示した。科学技術トピックID113は、重要度が高く、かつ5つの政策手段が集中したことにより、今後注視すべき科学技術だと考えられる。

一方、科学技術トピックID97「世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)」は、科学技術的および社会的実現に向けた政策として、法規制の整備とELSIの対応の選択割合が高かった。動植物に対するゲノム編集のELSIについては現在盛んに議論されているところであるが、生物多様性を確保しつつ、新たなバイオテクノロジーによる栽培作物化を進める上での課題として更に検討を進める必要があると考えられる。

3.7.15 領域 G:持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術

概要

持続可能な社会を構築するために、生活や産業の基盤となる将来のエネルギー技術として、CO₂を排出する化石燃料から脱却し、再生可能エネルギーへの転換に不可欠となるエネルギーの要素技術に関する科学技術領域

科学技術上のキーワード

水素製造、浮体式風力発電、海洋エネルギー、直流送電、超電導送電ケーブル、非接触充電、超電導フライホイール、エネルギー貯蔵、高出力電池、スマートグリッド

領域図表 G-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	194	太陽熱等を利用した水素製造技術
	201	50MW 級洋上浮体式風力発電
	202	10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術
	219	ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム
	220	現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル
	221	自動車の走行中の非接触充電技術
	223	5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール
マテリアル・デバイス・プロセス	224	数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム
	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池
	478	高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド

特徴、注目点

気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定では、世界共通の長期目標として、産業革命以前の水準と比べて世界全体の平均気温の上昇を2℃より十分低く保つこと、加えて同気温上昇を 1.5℃に抑える努力を追求することを定めている。世界全体の温室効果ガスの排出削減目標を集計すると、2030 年の世界全体の排出総量は約 570 億トンと見込まれ、2℃目標とすると、2050 年までに排出量を 240 億トン程度水準にする必要があり、約 300 億トン超の追加的削減が必要となることが示されている。⁵² すなわち、2050 年に向け温室効果ガスの 80%の削減を実現しなければならない状況では、科学技術を総動員して温室効果ガスの排出を大幅に低減し持続可能な社会を実現することが重要となっている。

当領域では、このような背景のもとに、持続可能な社会を構築するために、生活や産業の基盤となる将来のエネルギー技術として、CO₂を排出する化石燃料から脱却し、再生可能エネルギーへの転

⁵² 内閣府「エネルギー・環境イノベーション戦略」: <https://www8.cao.go.jp/cstp/nesti/honbun.pdf>

換を図るために不可欠となるエネルギーの要素技術に関する科学技術を取り上げる。

今後高度 ICT の普及と低環境負荷のためにモビリティなどの動力電動化の進展が予測される中、生活・産業インフラとして、電力の安定的確保と低消費電力化が求められる社会となることが予想される。現状国内では、FIT(固定価格買取制度)等の施策により、太陽光発電や風力発電は広く普及がなされてきている。将来に向けては海洋エネルギーに代表される再生可能エネルギー利用による発電技術が求められている。例えば、科学技術トピック ID201「50MW 級洋上浮体式風力発電」、および ID202「10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術」等があげられる。また送電においては、電力損失が少なく効率の高い技術として、超電導や直流送電があげられる。例えば、科学技術トピック ID220「現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル」や、ID219「ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム」、および ID478「高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド」である。さらに、再生可能エネルギーでは、発電量の変動が大きく、安定利用のためにはエネルギーストレージ(電力貯蔵)が不可欠となる。例えば、超電導技術を利用した、科学技術トピック ID223「5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール」や、ID224「数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム」がその代表として挙げられる。

環境対応のために進む自動車の電動化に加え、化石燃料の枯渇が予測される中で航空機・船舶などの電動化も進むと予想され、モビリティ用の電池や給電技術が重要となる。例えば、科学技術トピック ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池」や、ID221「自動車の走行中の非接触充電技術」が代表としてあげられる。

一方でエネルギーの多様化も安全保障の上で重要となる。日本が主導で進む水素利用では、水素製造コストが課題であるが、科学技術トピック ID194「太陽熱等を利用した水素製造技術」が代表として挙げられる。

総じて、当科学技術領域により、環境や枯渇の問題などで脱却を迫られる化石燃料から再生可能エネルギーへの変換に不可欠となるエネルギー関連科学技術の総合的な推進が求められる。

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的および社会的実現見通し、科学技術的および社会的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 G-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

社会的 実現 年	科学 技術的 実現年	トピック ID	主な科学技術トピック	重要度	国際 競争力
2028	2025	219	ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム	0.76	0.21
2031	2028	221	自動車の走行中の非接触充電技術	0.89	0.50
2032		194	太陽熱等を利用した水素製造技術	0.90	0.39

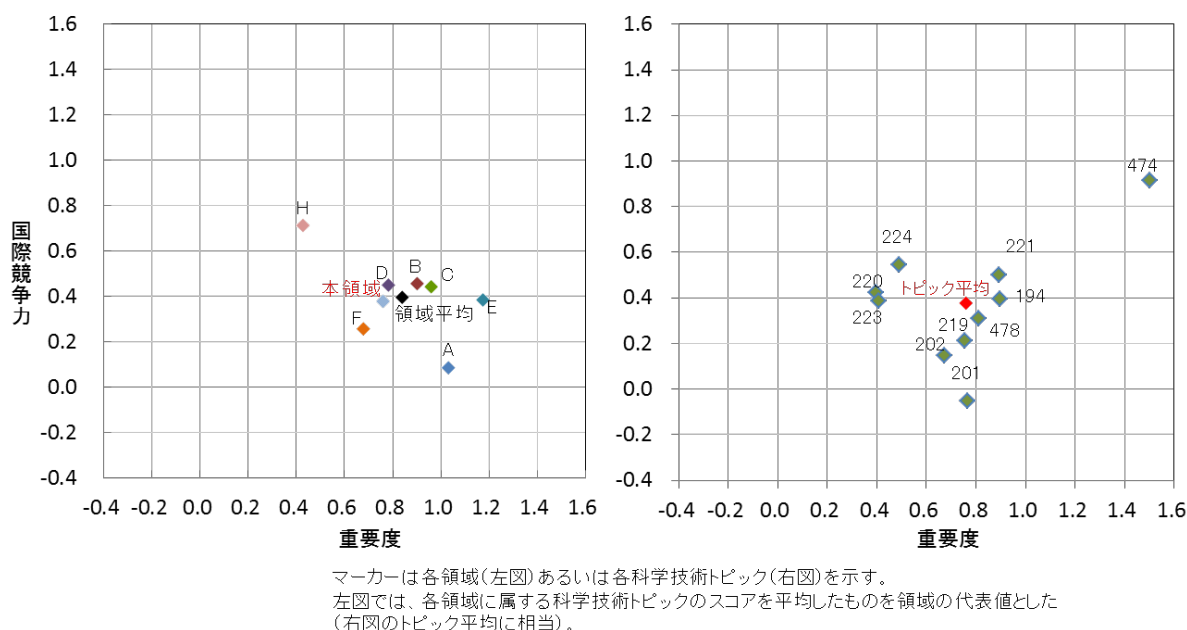
2034	2030	201	50MW 級洋上浮体式風力発電	0.77	-0.05
		474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池	1.50	0.91
	2031	202	10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術	0.67	0.15
		478	高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド	0.81	0.31
2035		223	5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール	0.41	0.38
2037	2032	220	現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル	0.40	0.42
		224	数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム	0.49	0.55

1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く 8 領域の中で、当領域の主たる 10 トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ 0.76、0.38)は、全体平均(それぞれ 0.92、0.44)と比較し重要度、国際競争力ともに低い(領域図表 G-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池」が、重要度、国際競争力ともに非常に高い(それぞれ、1.5、0.91)。一方、ID201「50MW 級洋上浮体式風力発電」は国際競争力が-0.05 と最も低く、続いて、ID202「10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術」、ID219「ウインドファーム用の直流送電ケーブルシステム」が、国際競争力が低い(それぞれ、0.15、0.21)。また、科学技術トピック ID220「現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル」と ID223「5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール」は、重要度は低く(それぞれ、0.4、0.41)、国際競争力も低い(それぞれ 0.42、0.38)。

領域図表 G-3 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの技術的実現は、2025 年から 2032 年の間と予測されている（領域図表 G-2）。科学技術トピック毎でみると、ID219「ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム」が最も早く 2025 年に実現する見通しである。続いて、ID221「自動車の走行中の非接触充電技術」、ID194「太陽熱等を利用した水素製造技術」、ID201「50MW 級洋上浮体式風力発電」が 2028 年に実現すると予測されている。2030 年には、ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上（自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当）の性能をもつ高容量高出力電池」と ID202「10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術」に実現すると考えられている。その後、科学技術トピック ID478「高圧直流送電用機器（電力変換機、絶縁体、ケーブル）の低コスト・小型化によるスマートグリッド」と、ID223「5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール」が 2031 年に、ID220「現在の 275kV CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル」と、ID224「数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム」が 2032 年に相次いで実現する見通しである。

3. 科学技術的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上（自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当）の性能をもつ高容量高出力電池」の回答者の選択割合が 69%と突出して高い。その他の科学技術トピックでは、46%以下に留まっている（領域図表 G-4）。

研究開発費の拡充についても、科学技術トピック ID474 の回答者の選択割合が 79%と非常に高

い。その他の科学技術トピックでも、44%以上と高い。

研究基盤整備についても、科学技術トピック ID474 の回答者の選択割合が 82%と最も高い。その他の科学技術トピックでも、42%以上が選択している。

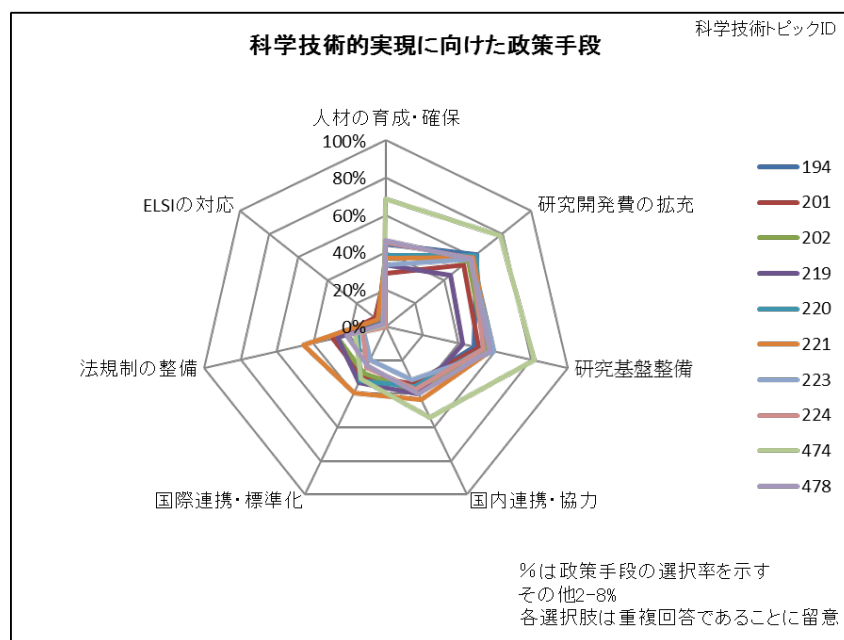
国内連携・協力については、科学技術トピック ID474 が 54%と最も高く、続いて ID221「自動車の走行中の非接触充電技術」が 43%と高い。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID221 が 39%と最も高く、続いて ID219「ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム」が 33%と高い。

法規制の整備については、科学技術トピック ID221 が 45%と最も高く、その他のトピックでも大半が 20%以上と他の領域と比較すると高い。

ELSI の対応については、すべての科学技術トピックで 10%未満と低かった。

領域図表 G-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. 社会的実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの社会的実現は、2028 年から 2037 年の間と予測されている(領域図表 G-2)。科学技術トピック毎でみると、ID219「ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム」が最も早く 2028 年に実現する見通しである。続いて、ID221「自動車の走行中の非接触充電技術」が 2031 年に実現すると予測されている。さらに ID194「太陽熱等を利用した水素製造技術」、ID201「50MW 級洋上浮体式風力発電」、ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池」が 2032 年に実現すると考えられている。続いて、ID202「10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術」と、ID478「高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド」が 2034 年に、ID223「5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール」が 2035 年に実現する。2037 年には、ID220「現在の

275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル」と、ID224「数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム」が 2037 年に実現する見通しである。

5. 社会的実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、科学技術トピック ID474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池」の回答者の選択割合が 63%と突出して高い。その他の科学技術トピックでは、43%以下に留まっている(領域図表 G-5)。

事業補助についても、科学技術トピック ID474 の回答者の選択割合が 71%と非常に高い。その他の科学技術トピックでも、46%以上と高い。

事業環境整備についても、科学技術トピック ID474 の回答者の選択割合が 73%と最も高い。続いて、ID221「自動車の走行中の非接触充電技術」が 72%と高い。その他の科学技術トピックでも、58%以上が選択している。

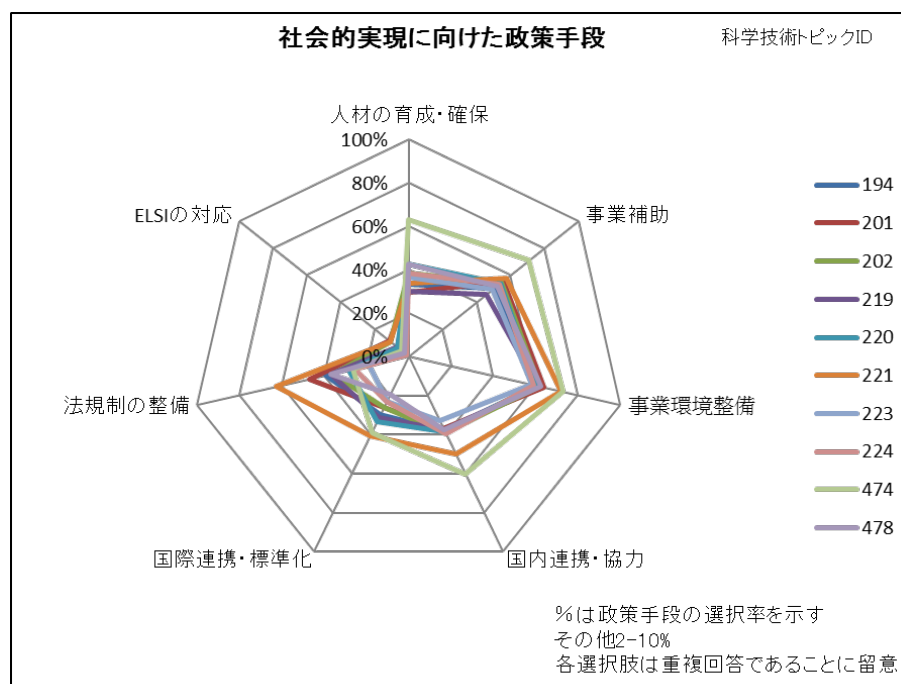
国内連携・協力については、科学技術トピック ID474 が 60%と最も高く、続いて ID221 が 50%と高い。

国際連携・標準化については、科学技術トピック ID221 が 40%と最も高く、続いて ID474 が 39%と高い。

法規制の整備については、科学技術トピック ID221 が 63%と最も高く、その他のトピックでも大半が 20%以上と他の領域と比較すると高い。

ELSI の対応については、すべての科学技術トピックで 11%以下と低かった。

領域図表 G-5 社会的実現に向けた政策手段



6. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、特定分野に軸足を置く 8 領域の中で重要度、国際競争力ともに相対的に低い評価であった。また、科学技術的および社会的実現ともに、全般的に遅い見通しであった。政策手段は、大半で研究開発費の拡充／事業補助と研究環境整備／事業環境整備の選択割合が高いことが大きな特徴である。

重要度、国際競争力の双方が群を抜いて高いと評価された、科学技術トピック No.474「エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池」では、政策手段として人材の育成・確保、研究開発費の拡充／事業補助と研究環境整備／事業環境整備の選択割合も、他のトピックと比較しても群を抜いて高いことが特徴である。

また、超伝導関連の科学技術トピック No.223「5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール」、No.220「現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル」および No.224「数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム」は、当領域の中では、重要度、国際競争力ともに比較的低く、かつ科学技術的および社会的実現ともに、遅い時期(それぞれ、2031～2032 年、2035～2027 年)に実現するとの評価であった。

3.7.16 領域 H:宇宙と人類の起源を解く基礎科学

概要

21 世紀に入り急速に発展した宇宙物理学において、未だ謎となっている宇宙に関わる種々の現象や存在について基礎科学的な解明を目指す科学技術領域

科学技術上のキーワード

銀河・銀河系の形成と進化、量子重力理論、物質・反物質の非対称性、ダークマター、重元素合成の進化過程

領域図表 H-1 主な科学技術トピック

分野名	トピック ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立
	658	量子重力理論の確立・検証
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明
	661	ダークマターの正体の解明
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明

特徴、注目点

有史以来、宇宙と人類の起源に関する探究は、知的好奇心を発露として、人生観、世界観あるいは哲学に影響を与える人類の知的営みとして綿々と行われてきた。本領域は、21 世紀入りに急速に発展した宇宙物理学において、未だ謎となっている宇宙に関わる種々の現象や存在について、その基礎科学的な解明が期待される科学技術トピックからなる⁵³。

宇宙の成り立ちとそれを構成する物質の生成過程の解明に関わる科学技術トピックとして、例えば No.611「銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立」、および No.664「宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明」があげられる。さらに、宇宙を構成する物質の存在理由を解明する、科学技術トピック No.659「宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明」や、宇宙の大部分を占めると予測されるダークマター・ダークエネルギーの解明に関する No.661「ダークマターの正体の解明」などが代表例である。

一方、物理学において相対性理論と量子論を統合する統一理論として期待される科学技術トピック No.658「量子重力理論の確立・検証」も、本領域の代表的トピックとして挙げられる。

総じて、当科学技術領域により、宇宙ひいては人類の起源と進化の過程およびその成り立ちを解明するとともに、物理現象の基礎理論となる可能性がある量子重力理論の検証あるいは確立により、自然科学の進展に寄与することが期待される。

⁵³ 文部科学省における宇宙分野の推進方策について:

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/houkoku/_icsFiles/afieldfile/2012/12/19/1329049_001.pdf

デルファイ調査からみえる今後の方向性

当領域に属する主な科学技術トピックについて、デルファイ調査の質問項目に対する回答結果に基づき、重要度、国際競争力、科学技術的実現見通し、科学技術的実現に向けた政策手段を整理した。以下、項目毎に特徴を分析する。

領域図表 H-2 当領域に属する主な科学技術トピックの方向性

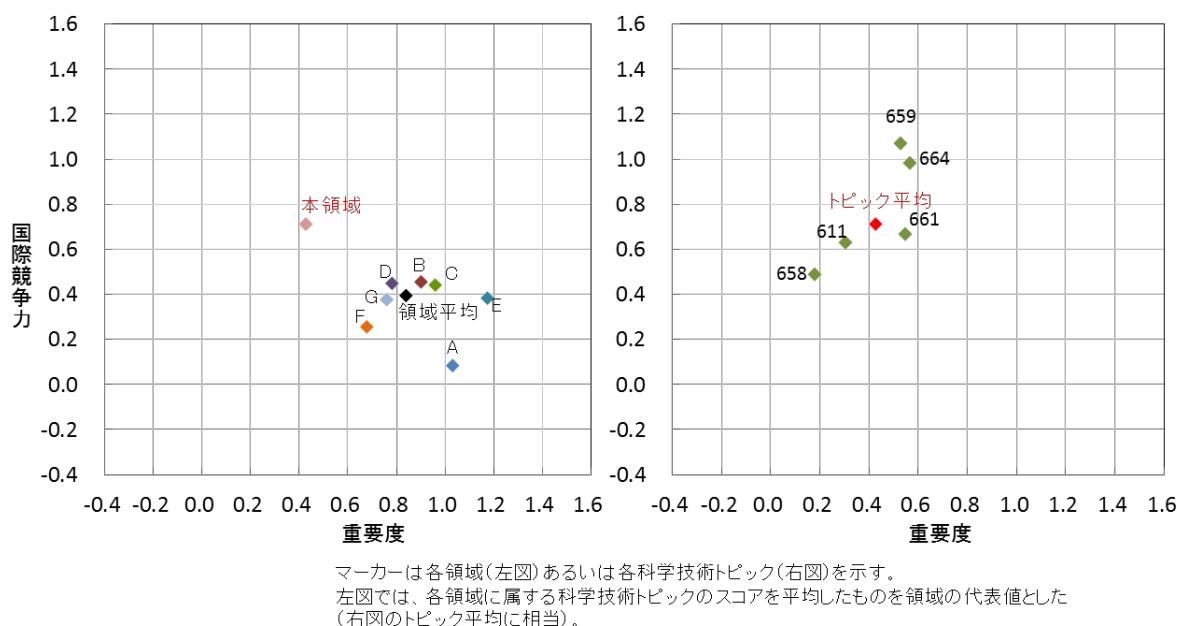
科学技術的実現年	トピックID	主な科学技術トピック	重要度	国際競争力
2032	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明	0.57	0.98
2033	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明	0.53	1.07
2034	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立	0.31	0.63
	661	ダークマターの正体の解明	0.55	0.66
2043	658	量子重力理論の確立・検証	0.18	0.49

1. 重要度と国際競争力

特定分野に軸足を置く8領域の中で、当領域の主たる5トピックの重要度と国際競争力の平均(それぞれ 0.43、0.71)は、全体平均(それぞれ 0.92、0.44)と比較し重要度は低く、国際競争力は高い(領域図表 H-3)。

科学技術トピック毎でみると、ID659「宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明」と、ID664「宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明」が、重要度が比較的高く、国際競争力が非常に高い(それぞれ、0.53,1.07 および 0.57,0.98)。一方、ID658「量子重力理論の確立・検証」は、重要度、国際競争力ともに低い(0.18,0.49)。

領域図表 H-3 重要度と国際競争力:特定分野に軸足を置く 8 科学技術領域における当領域(左)と当領域に属する主な科学技術トピック(右)



2. 科学技術の実現見通し

当領域の主な科学技術トピックの科学技術的実現は、2032 年から 2043 年の間と予測されている(領域図表 H-2)。科学技術トピック毎でみると、ID664「宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明」が最も早く 2032 年に実現する見通しである。続いて、ID659「宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明」が 2033 年、ID611「銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立」と、ID661「ダークマターの正体の解明」が 2034 年に実現すると予測されている。科学技術トピック ID658「量子重力理論の確立・検証」が 2043 年と最も遅く実現する見通しである。

3. 科学技術の実現に向けた政策手段

人材育成・確保については、いずれの科学技術トピックでも選択割合 71%以上と多くの回答者が選んだ(領域図表 H-4)。科学技術トピック ID659「宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明」と、ID661「ダークマターの正体の解明」が、80%と最も高い。

研究開発費の拡充については、科学技術トピック ID664「宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明」が 69%と最も高い。

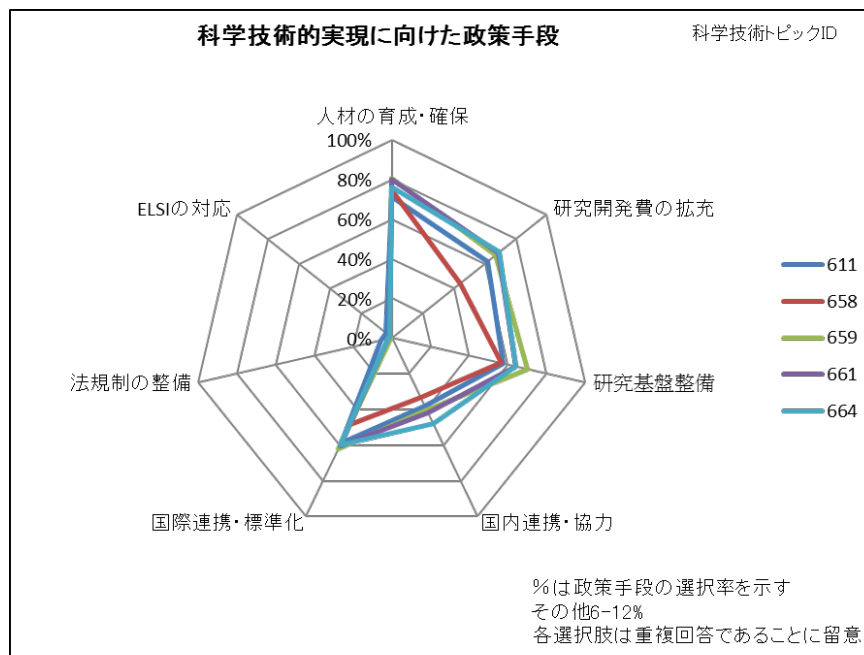
研究基盤整備については、科学技術トピック ID659 の回答者の選択割合が 70%と最も高い。

国内連携・協力については、科学技術トピック ID664 が 48%と最も高い。

国際連携・標準化については、いずれの科学技術トピックでも 49%以上と高く、ID659 が 62%と最も高い。

法規制の整備および ELSI の対応については、すべての科学技術トピックで 10%未満と低かった。

領域図表 H-4 科学技術的実現に向けた政策手段



4. まとめ

当領域の重要度および国際競争力は、特定分野に軸足を置く8領域の中で重要度は最も低く、国際競争力は最も高い評価であった。また、科学技術的実現は全般的に遅い見通しであった。政策手段は、人材の育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備の選択割合が高いことが特徴である。

当領域の中で重要度、国際競争力の双方が高いと評価された、科学技術トピック No.659「宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明」および No.664「宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明」は、科学技術的実現見通しが 2032 年～2033 年と当領域の中では早い。一方、重要度、国際競争力の双方が低いと評価された、科学技術トピック No.658「量子重力理論の確立・検証」は、科学技術的実現見通しが 2043 年と当領域の中で最も遅い評価となった。また政策手段の選択割合では、全般的に他の領域と比較し国際連携・標準化が高いことが大きな特徴であり、人材の育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備と併せて留意する必要がある。

4. 考察

本調査研究では、デルファイ調査の 702 科学技術トピックを基にして、AI 関連技術による機械的なデータ処理とエキスパートジャッジとを組み合わせることにより、科学技術の視点から今後推進すべきと考えられるクローズアップ領域を抽出した。エキスパートジャッジに先立ち、各科学技術トピックの分散表現（ベクトル）化を行い、ベクトル間の距離を元にクラスタリングを行うことで、意味的・科学技術的に関連する科学技術トピックをグループ化した（科学技術トピッククラスターの作成）。これにより、専門家の目視のみで実施することが困難な大量の知的作業を AI 関連技術がサポート出来ることを示したとともに、今後の国家的研究開発戦略を検討する上での新たな手法を提案した。

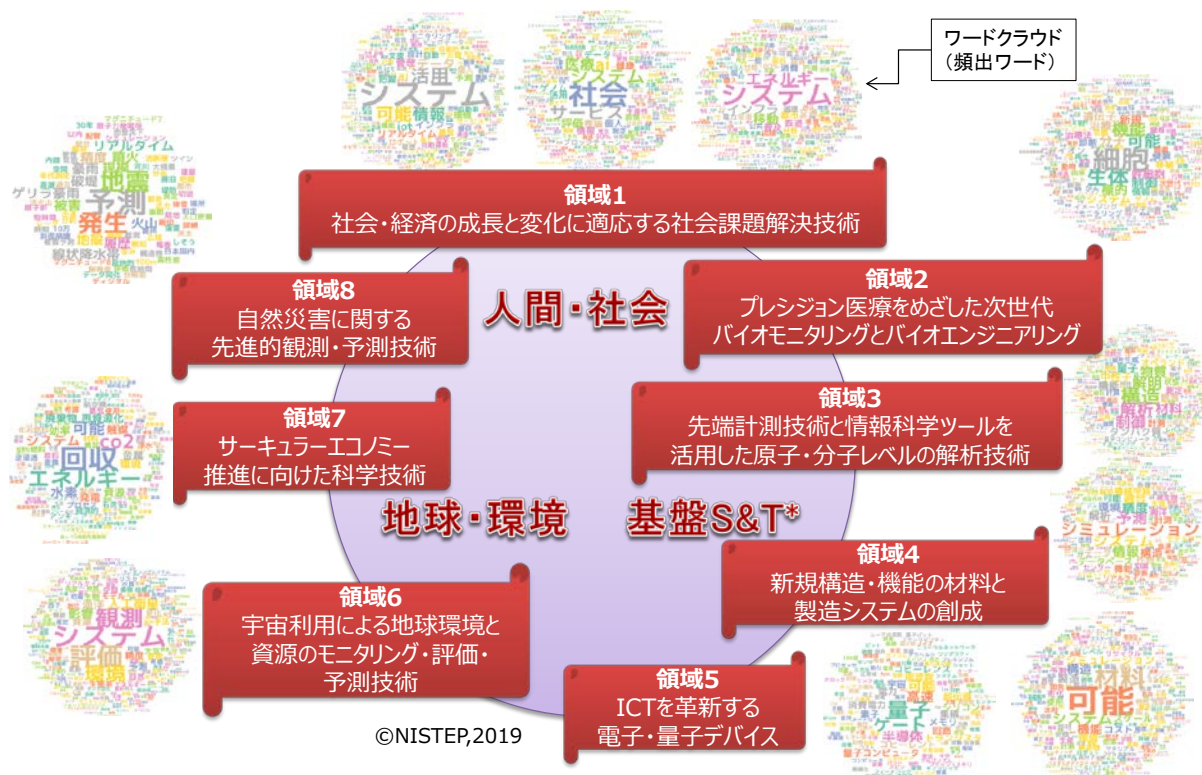
本調査研究において科学技術トピックをグループ化するにあたり、幾つかの自然言語処理上の課題があった。具体的には、科学技術の観点では関連するが、分野間で表現が異なる複数のトピックを効率的にグループ化する手法の開発が必要であった。また、科学技術トピックは比較的短い文章で構成されていることから、単純な \cos 類似度による類似度算出ではうまくグループ化出来ず、新たなグループ化の手法が求められた。本調査研究では、独自に用意した大規模データセットにて学習させた分散表現を用いることにより、この課題を解決した。

上記の AI 関連技術で得られた 32 の科学技術トピッククラスターに対して専門家が評価したところ、ある程度納得のいくものが多かったとの意見を得た。また、科学技術トピッククラスターのワードクラウドを分析することにより、トピック間の新たな関連性を見いだすことが出来たとの意見も得た。その一方で、科学技術トピッククラスターがそのままクローズアップ領域につながるのではなく、専門的視点からクラスターを精緻化したり、クラスター内のトピック群を熟考して上位概念化したりする必要があるとの意見を得た。これらの意見を合わせると、AI 関連技術による機械的なデータ処理とエキスパートジャッジとは相互補完的なものとして適宜組み合わせることで、適切なクローズアップ科学技術領域を抽出することが可能だと考えられる。

AI 関連技術とエキスパートジャッジを組み合わせた結果、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域の計 16 のクローズアップ科学技術領域の双方を抽出することが可能であった。さらに分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域では、人間・社会や地球・環境に関係する幅広い社会課題に対応した領域と、共通基盤技術・システムから成る領域を同時に抽出した。これら抽出されたクローズアップ科学技術領域の内容から、本調査研究で開発した手法により、科学技術を幅広く分析することが可能だと考えられる。

抽出したクローズアップ科学技術領域に対し、デルファイ調査結果に基づいて分析したところ、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域については、重要度と国際競争力との間で有意に比較的強い正の相関が見られた。また、8 領域全般にわたり特に推進すべき科学技術として、現状の計測・センシングを越えた、より高精度、高速、高性能な先端的な計測・観測技術、モニタリング、イメージング技術とその活用による評価・予測技術の高度化が挙げられた。さらに、量子技術などの従来の電子・光デバイスを超える膨大なデータ量を扱うことを可能とする、コンピューティング・シミュレーションなどの計算科学や、インフォマティクス・AI 活用などのデータ科学の、人間・社会や地球・環境における課題解決への適用と、医療技術、材料・製造などの要素技術の開発への適用が示された（図表 29）。

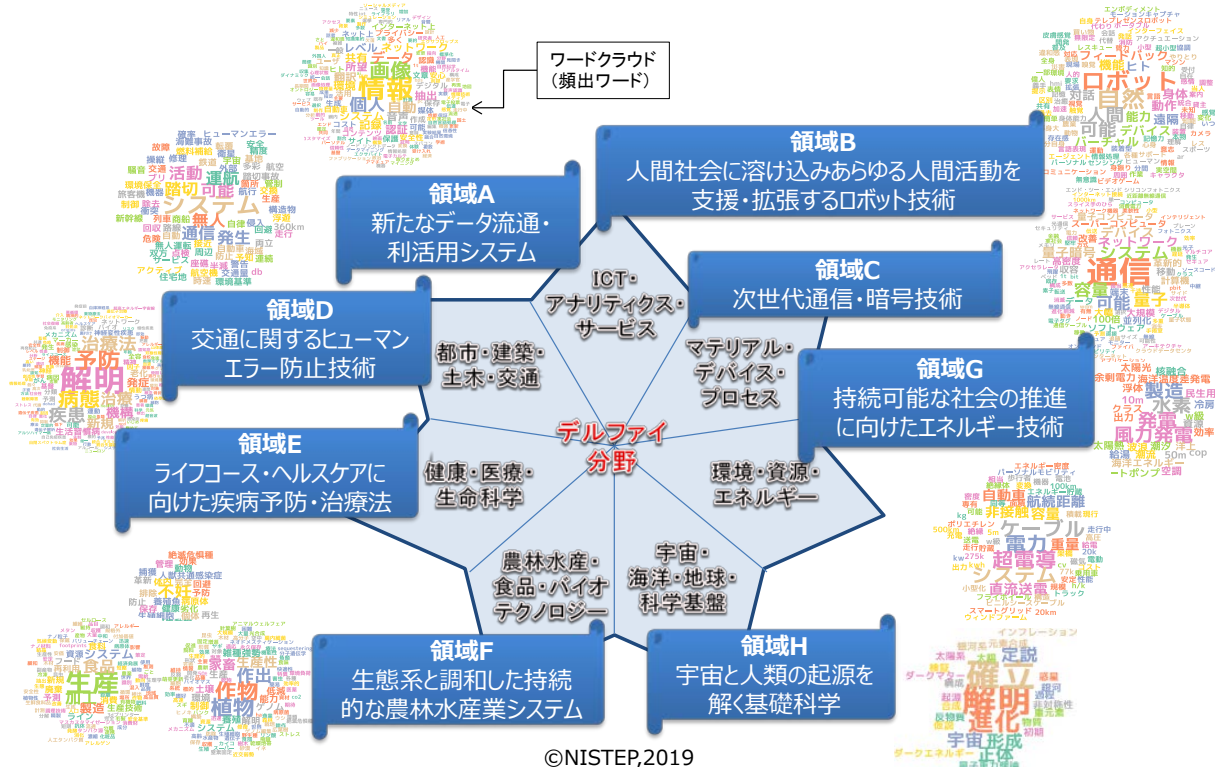
図表 29 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域間の関係



領域別にみると、デルファイ調査による実現時期の予測結果より、主な科学技術トピックのすべてが比較的早く実現するとされた領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」は、社会課題解決へのニーズが高い領域であり、専門家の間では、科学技術トピックの早期の実現が期待されていることが明らかになった。一方、実現期間の長い領域 5「ICT を革新する電子・量子デバイス」、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」は、特に中長期にわたる持続的な研究開発が求められていることが示された。

一方、特定分野に軸足をおく 8 領域については、デルファイ調査にて設定した 7 分野それぞれでの注目すべき領域として示された(図表 30)。特に、ICT・アナリティクス・サービス分野を中心とする、「情報」、「ロボット」、「通信」が頻出ワードとなる領域が最も多く、領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」、領域 B「人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術」、領域 C「次世代通信・暗号技術」の 3 領域が抽出された。また、社会・産業・生活インフラ関連領域として、領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」、領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」、農林水産領域 F「生態系と調和した持続的な農林水産業システム」、領域 G「持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術」が抽出された。さらに、基礎科学として領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」が抽出された。

図表 30 特定分野に軸足をおく 8 領域間の関係



デルファイ調査結果に基づき分析したところ、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と異なり、特定分野に軸足をおく 8 領域では重要度と国際競争力との間に有意な相関が見られなかった。重要度については領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」、国際競争力については領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」で最も高かった。また、科学技術的および社会的ともに実現期間が最も短いのは、領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」であり、専門家の間では、社会ニーズが高い領域として早期の実現が期待されていることが明らかになった。科学技術的な実現期間が最も長いのは領域 H であり、長期に渡って持続的な基礎研究が求められることが示された。

分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域の間では、幾つかのデルファイ調査の分野を介して、科学技術的な関連性が示された。領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」、領域 A「新たなデータ流通・利活用システム」、領域 B「人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術」、領域 C「次世代通信・暗号技術」は、ICT・アナリティクス・サービス分野に関わる領域群として示された。領域 2「プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング」と領域 E「ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法」は、健康・医療・生命科学分野に関わる領域として挙げられ、前者はマイクロレベル（分子レベル）、後者はマクロレベル（個体・集団レベル）を対象とする。領域 4「新規構造・機能の材料と製造システムの創成」、領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」、領域 G「持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術」は、環境・資源・エネルギー分野に関わる領域群として示された。

本調査研究で抽出した 16 のクローズアップ科学技術領域については、今後、科学技術的な分析を深めるとともに、社会・経済との関係性についてシナリオ分析することにより、我が国における研究開発戦略の立案等に資する基礎情報として提供する予定である。

資料編

1. デルファイ調査で設定した分野別科学技術トピック

1.1 健康・医療・生命科学分野

資料図表 1.1 科学技術トピック(健康・医療・生命科学分野)

※ID:当該調査において各トピックに付与した

番号

細目	ID	科学技術トピック
医薬品(再生・細胞医療製品、遺伝子治療製品を含む)	1	慢性疾患の病態のシステムの把握(遺伝子ネットワーク把握)に基づく薬物療法
	2	細胞内標的に作用するペプチド・抗体医薬の新規技術
	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
	4	タンパク質高次構造解析に基づき、タンパク質間相互作用(Protein-Protein Interaction:PPI)を阻害する化合物を設計する技術
	5	生体中での機能を再現可能な多能性幹細胞由来の人工臓器やオルガノイドを使った、薬効・安全性評価技術
	6	目的とする組織・器官への送達と細胞内ドラッグデリバリーシステム(DDS)技術を実現させる核酸医薬品
	7	(核酸以外の)薬や遺伝子を標的細胞内部の特定部位に運ぶナノキャリアシステム
	8	造血幹細胞移植のドナー不足を解決する造血系幹細胞の大量培養技術
	9	細胞移植や遺伝子治療による、中枢神経回路網の機能不全[パーキンソン病、筋委縮性側索硬化症(ALS)、脊髄損傷等]に対する治療法
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
	12	細胞医療・遺伝子治療などによる、聴覚や視覚の機能を再生させる医療技術
	13	動物の胚とヒト幹細胞由来細胞のキメラ胚(動物性集合胚)から作出されるヒト移植用臓器
	14	膵β細胞を再生・増加させる技術に基づく、糖尿病を治癒させる薬剤
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広く実現する遺伝子治療法
	16	先天性遺伝子疾患を対象とした安全性の高い子宮内遺伝子治療法
	17	眼、脳等(到達困難な組織)への薬剤輸送を可能とする技術
	18	固形がんを標的とする遺伝子改変T細胞を用いた、細胞性免疫を制御することによる免疫療法
	19	食べるワクチン等、経口投与を可能とする次世代ワクチン技術
	20	医薬品開発の成功確率を現在比で2倍にする、化合物生成・最適化(有効性・安全性・動態予測を含む)のための人工知能・シミュレーション技術
医療機器開発	21	病変部位の迅速識別能力の向上と早期発見が可能となる、非侵襲診断機器(画像など)のコンパクト化とAI導入
	22	ノートPCレベルで、体内の脳動脈瘤など疾患シミュレーション、インプラント機器による治療効果、有効性の予測、術前シミュレーションが可能になるような統合的医療ソフトウェア
	23	患者への負担や医療費を軽減できる簡便なウェアラブル透析装置
	24	がん細胞を包み込んだり、がん細胞特異的に吸収したりする材料(ポリマーなど)により、がん細胞を物理的に孤立させて死滅させる治療法
	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手
	26	筋委縮性側索硬化症(ALS)患者等の重度な運動機能障害者の日常生活動作を支援するための、脳活動を直接反映させるニューロリハビリ機器
	27	遠隔で、認知症などの治療や介護が可能になる超分散ホスピタルシステム(自宅、クリニック、拠点病院との地域ネットワーク)
	28	がん末期での腸瘻や介護現場において利用可能な、人手が不要の排泄補助機器
	29	疾患や加齢により衰えた筋骨格系の簡便で安価な機能補助技術
	30	次世代手術ロボットとAIによる、外科医の熟練によらない標準化された手技

	31	手術室やベッドサイドの全てのケーブルが消失可能となる、次世代半導体によるモニター機器のミニチュア化と無線化
	32	ナノテクノロジーによる生体人工物界面制御の精密化に基づく、高機能インプラント機器やドラッグデリバリーシステム(DDS)技術を可能とする高度な生体適合性材料
老化及び非感染性疾患	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
	35	自律神経系・精神的ストレス・うつ病と生活習慣病の相互作用の解明による、悪循環をたちきる方法
	36	胎生期から乳幼児期の環境因子に起因する生活習慣病の予防・治療薬
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
	38	非侵襲性ポータブル血管イメージングによる定量的血管障害の診断
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法
	40	疼痛、疲労の定量的診断法と新規治療法
	41	メタゲノム解析・制御による生体恒常性の維持
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明
	43	生殖細胞劣化予防による不妊回避
	44	ライブイメージングと生化学的解析等の融合による、オルガネラを標的とした非感染性疾患の新規診断法
	45	発症頻度に性差のある疾患の病因解明
	46	退行性骨粗しょう症の骨折リスクのメカニズム解明による集学的予防法
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法
	48	生体のエネルギー収支を非侵襲的に定量化する技術に基づく、生活習慣病の治療法
	49	薬理遺伝学的検査による薬剤投与の最適化
	50	非感染性疾患(NCD)に対する、運動の効用の科学的裏付けによる新規治療法
	51	ゲノム医療に対する保健医療政策の立案に向けた医療経済学的評価法
脳科学(精神・神経疾患、認知・行動科学を含む)	52	ニューロン・グリア回路網の発達・維持・老化機構および情報処理機構の全容解明
	53	記憶・学習、認知・情動等の脳機能および意識、社会性、創造性等の高次精神機能における神経基盤の全容解明
	54	統合失調症の脳病態解明に基づく、社会復帰を可能にする新規治療薬
	55	うつ病・双極性障害の細胞レベルの脳病態分類に基づく、即効性で再発のない新規治療法
	56	依存症(薬物、アルコール等)に共通な脳病態の解明に基づく、予防法・再発防止法
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	59	精神・神経疾患に対する深部脳刺激療法、ニューロフィードバック、ウイルスベクター等を用いた神経回路を標的とした治療法
	60	神経疾患患者にみられる精神症状や睡眠障害の発症機構の解明による、新規治療法
	61	情動等の脳機能解明に基づく、いじめや不登校への対処法
健康危機管理(感染症、救急医療、災害医療を含む)	62	特定の感染症への感染の有無や感染者の他者への感染性、未感染者の感受性を迅速に検知・判定する、汚染区域や航空機内等でも使用可能な超軽量センサー
	63	iPS細胞等の幹細胞から樹立された細胞等を活用した、動物モデルに代替する、感染症治療薬を開発するための効果・副作用試験法
	64	電子カルテシステム、検査・処方等医療データや様々なウェブデータを活用した網羅的感染症サーベイランスシステムによる感染症流行予測・警報発出システム
	65	病原体データベースを用いた未知の病原体の分離・同定技術 ※病原体データベース:ヒトおよびヒト以外の動物等の病原体の網羅的な遺伝子・タンパク情報データベース
	66	新興感染症が及ぼすヒトへの影響(世界的流行を引き起こす可能性、病原性)について、環境・病原体・宿主等因子を総合的に勘案し定量的に予測・評価するシステム
	67	薬剤耐性感染症の発生・まん延を制御するシステム[科学(医薬品等)・社会技術(感染対策の新規アプローチ等)]

情報と健康、社会医学	68	植物により病原体に対して迅速かつ安価に中和抗体を大量生産する技術
	69	緊急時(多臓器不全)及び大量出血時に対応可能な血液代替物
	70	細胞内オルガネラ間移動を標的とした新規感染制御技術
	71	マシガザリング災害における、人工知能による重傷者搬送調整システム
	72	日常生活(購買・飲食等)から集積されるライフスタイルビッグデータ(匿名加工情報)活用による健康政策
	73	プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム
	74	ゲノム・診療情報、およびウェアラブルセンサーやスマートデバイスにより得られる生体・行動情報を継続的に収集した健康医療データベース(大規模コホート研究の推進に資する)
	75	医療・介護施設及び在宅における安全を保障する行動識別センサーを活用したモニタリングシステム
	76	生活環境のセンシングやライフログセンシングによる、脳血管障害・心筋梗塞・致死的不整脈などの血管イベントの検知に基づいた救急医療情報システム
	77	医療機器・システムの誤操作や患者状態に合わない設定などに起因する医療過誤の解消に向けた、知的アラート・意思決定支援の人工知能を搭載した医療情報システム
	78	分子薬理知識や生体分子相互作用および患者ゲノムに関する情報に基づく、医薬品の個人別副作用リスクの知的推論アルゴリズムを実装した情報システム
	79	ゲノムに加え、オミックスデータ(エピゲノム・プロテオーム・メタボローム)を数時間以内に1万円以下で体液サンプルからモニタリングする検査技術
	80	Developmental Origins of Health and Disease(DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
	81	ライフコース・ヘルスケアのための大規模コホート
	82	生命科学・社会学を融合した包括的な要因分析に基づく、健康格差を是正する方法
	83	気候変動に起因する感染症、熱中症など健康課題に資する情報システム
	84	新生児期からのゲノム情報の活用のための ELSI(倫理的・法的・社会的課題)の解決策
生命科学基盤技術(計測技術、データ標準化等を含む)	85	多種多体分子システムとしての生体機能を記述する定量的関係式の構築
	86	多数で多種類の生体分子が協働して生命システムを作り上げる作動原理を理解した上での人工細胞
	87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術 ※動的ネットワークバイオマーカー:個々の単一のバイオマーカーとしての性能は高(なくても、それらのネットワークとしては極めて高機能な、複雑系数理モデル学に基づく新しい概念のバイオマーカー
	88	脳機能を細胞レベルで非侵襲的に測定できるイメージング技術
	89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム
	90	細胞の位置情報を保持した上での1細胞オミックス解析技術
	91	ヒトが接することのできる全生物のゲノム情報の取得(植物・単細胞真核生物・原核生物も含む)・データベース化
	92	タンパク質の一次配列情報およびそのタンパク質に作用する物質の立体構造情報から、活性状態のタンパク質の動的立体構造を推定する技術
	93	ゲノムの非コード領域の50%以上の領域の機能解明
	94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
	95	多くの一般的な実験室で利用可能なラボラトリーオートメーション・実験ロボット
	96	タンパク質の機能において、量子(力学)レベルでの作動メカニズムを理解する上で必要なパラメータを得るための量子計測技術

1.2 農林水産・食品・バイオテクノロジー分野

資料図表 1.2 科学技術トピック(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野)

細目	ID	科学技術トピック
生産エコシステム	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)

	98	作物の可食部・カイコ・ウシやヤギの乳に、医薬や機能性高分子を効率的に産生させる技術
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出
	100	生態系循環に基づく、ウナギなどの大規模な閉鎖型陸上養殖技術
	101	魚類の免疫機構とその制御因子の解明に基づく、感染症予防技術
	102	環境負荷低減を含めた植物・昆虫による魚類飼料
	103	完全不妊養殖魚
	104	木材の伐採・搬出・運材・加工の自動化技術
	105	伐採後の再生産を確保するための現状森林に即した効率的かつ体系的な森林造成技術
	106	スギ・ヒノキなど各種樹木のゲノム情報を利用した高速育種によるスーパー樹木
	107	X線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析とICTを用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム
	108	短・中期気象予報と生物学的知識とAIを融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術
	110	アニマルウェルフェアに基づいた家畜および養殖魚のストレス低減による生産性向上技術
	111	宇宙や極地利用を目指した自動化・無人化循環型植物工場
	112	フィールドオミックス、フェノミクスなどから得られたビッグデータとAIによる育種の超高速化(テラーメイト)
フードエコシステム	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム
	114	微生物共生を最大限活かした各種マイクロデバイスの開発による高精度・広域土壌診断を含む栽培・計測技術
	115	人間を代替する農業ロボット
	116	飲食店用の多様なメニューに対応可能なフレキシブル調理システム
	117	食品生産ラインにおける有機物(毛髪など)の混入検出のための識別技術
	118	「美味しさ」を簡便に再現するための、味覚・香り・食感(テクスチャ)を考慮した認知科学・言語学・化学・AIなど分野融合的なアプローチによる研究成果の国際的なデータベース化
	119	農林水産物の品質(成分・物性・熟度)を生産現場で非破壊でリアルタイムに定量分析するシステム
	120	アレルギー計測技術に基づいたアレルギーを起こさない食品の製造技術
	121	高齢社会を意識したフードミックスの考え方に基づく多様な機能性食品
	122	食品ロスの低減に向けたフード・バリューチェーンのモニタリング・解析技術
	123	冷凍せずに生鮮食料品の鮮度と品質を維持するための短期保蔵技術
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術
	125	生産場所から消費場所への距離短縮(Footprints 改善)に向けたマスカスタマイゼーション実現の製造・加工・調理技術
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えばフード3D プリンターのような)
	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン
資源エコシステム	128	養殖対象品種および主要漁業対象種の生殖細胞バンク構築による遺伝子資源の永久保存
	129	計量魚群探知システム(魚種判別・サイズ測定)の高精度化による多種一括資源量評価技術
	130	超小型電子チップの埋め込みによる水産資源生物の高度ライフタイムロギングシステム
	131	微小海洋生物(微生物・プランクトン等)の識別が可能な3次元画像解析システム
	132	野生動物の個体数管理のための効果的な捕獲技術及び革新的な獣害防止技術
	133	森林の病害虫対策システム
	134	土砂災害等を未然に防ぐ森林管理技術
	135	水産養殖履歴に係る自動収集とデータベース化を通じたICTによる科学的養殖管理システム
	136	ICTによる科学的な森林管理計画の作成技術
	137	異常気象等に対応する防災型林道仕様の科学的設計技術
	138	森林地質の自動把握技術を用いた林道の自動開設技術
	139	海洋プラスチックゴミの現状把握・影響評価技術と排出軽減システム

	140	環境 DNA を利用した生態系の理解と解析を援用した希少種の保存・管理技術
	141	身近な生態系の変化を指標とした、農林水産業に資する環境生態インパクト評価手法
システム基盤	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム
	143	地球規模の IoT を用いた、農林水産生態系における主要元素・物質(窒素・炭素など)循環モニタリングシステム
	144	農林水産業にかかわるあらゆる情報の把握に向け、リモートセンシング技術等を活用した作物データの全球グリッド(格子間隔:10m 四方)データベース化
	145	地球温暖化が農林水産資源に与える影響評価に基づく資源変動予測・管理技術
	146	人工衛星・気象観測データ等を活用したリアルタイムの高空間・高時間解像度気象予測と災害リスク評価システム
	147	陸域・河川・沿岸域を繋ぐ物質循環システムの解明に基づいた、藻場・干潟などの沿岸環境修復技術
	148	熱帯林破壊防止と再生活動のための観測・評価技術
	149	環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングし、農林水産現場の異常を早期に察知するシステム
	150	漁業の操業履歴の自動収集と ICT による科学的な漁場管理基盤データベース化
	151	森林施業履歴の自動収集と ICT による森林管理技術基盤データベース化
	152	製造・輸送・貯蔵中の微生物のリアルタイムモニタリングシステム
	153	準リアルタイム作物生育診断情報の全球グリッドデータベース化
次世代バイオテクノロジー	154	植物並びに水産物の食味、形状、芳香、老化といった嗜好性に関連する形質の制御技術
	155	絶滅危惧種の維持と保存のための、効率的な生殖細胞の作出および保存技術
	156	砂漠(乾燥地帯)等の耕作不適環境でも収穫が期待できる作物
	157	遺伝子・環境相互作用の解明に基づく生育過程のシミュレーションと、それを用いた遺伝子構成の最適化
	158	植物ゲノム技術による、空中の窒素固定能、土壌中のリン酸利用能力等を持つ植物の作出
	159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明
	160	遺伝子改変技術を利用した異種移植が可能な医用モデルプラ
	161	超音波や振動などによる昆虫の行動制御ならびに行動監視技術
	162	各種機能センサーの LSI 化による植物機能の可視化技術
	163	萌芽更新が困難な針葉樹および高齢広葉樹の萌芽更新促進技術
	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)による CO ₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム
	165	非可視部分(根域を含む)の植物個体群を高精細に 3 次元構造を再構築する技術
	166	生物記憶を活かしたエピゲノム制御による形質発現自在化技術
	167	生物学的知識を AI と融合した高精度作物モデリング
	168	生物記憶から過去の様々な環境記憶を引き出す技術
バイオマス	169	乾物で 50t/ha/年を超えるバイオマス生産作物の作出
	170	セルロースの結晶度を緩和させる人工タンパク質の利用による植物性繊維の分解利用技術
	171	メタン発酵消化液の濃縮等による成分安定肥料生産技術を利用した耕畜連携生産システム
	172	CO ₂ 排出削減の難しい鉄鋼・セメント(鉄筋コンクリート)の代替による CO ₂ 削減が期待できる、中高層木造建築物を実現するための高強度木質部材開発に基づく木質耐火構造設計技術
	173	土木分野等での需要拡大を目的とする、屋外で 50 年程度の長期使用可能な高耐久木材
	174	木材等バイオマスによる高効率・低コストな発電・熱利用技術
	175	フードエコシステムに関わる生分解性、光分解性素材
	176	森林資源による化石資源由来製品の代替化のための技術(道路舗装、建築用材、服飾素材、塗料、消費財)
	177	木材副産物の付加価値化技術(収穫時の端材や規格外産物、加工ラインでの可食廃棄物の再利用・精製・分離・抽出技術)
	178	人の健康を損なう人獣共通感染症病原体などを動物体内から排除する技術

康	179	食品における複数の危害因子の相互作用がもたらす毒性評価
	180	食の安全・安心を実現するための、フードチェーンを対象とし、有害物質の混入や細菌汚染等を防止するフードディフェンスシステム
	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術
	182	食と健康医療のためのビッグデータを用いた健康に資するAI応用技術
	183	植物害虫・病原菌の標的種特異的な防除資材の開発システム
	184	重金属・放射性物質を吸収しない作物
	185	検疫問題を克服する無病化処理技術
	186	ブロックチェーンなどを用いた透明性を保証する新技術に基づくトレーサビリティシステム
コミュニティ	187	森林や木材の快適性増進効果の生理的解明に基づく森林療法
	188	世界の人口増、経済発展及び作物生産技術の動向を踏まえた食料の需給予測システム
	189	バイオマス等再生可能エネルギーを利用した社会の経済的活力・社会影響・環境負荷等を評価する技術
	190	水産資源管理のための人文社会科学とAIを駆使した社会システム
	191	伝統的な調理法の再評価システム
	192	水産物のトレーサビリティを確立する社会システム
	193	最先端デジタル技術を用いたコミュニティの可視化モニタリング技術

1.3 環境・資源・エネルギー分野

資料図表 1.3 科学技術トピック(環境・資源・エネルギー分野)

細目	ID	科学技術トピック
エネルギー変換	194	太陽熱等を利用した水素製造技術
	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション
	196	ナトリウム、マグネシウムをエネルギー資源として利用する技術
	197	褐炭などの低品位化石燃料を利用するCO ₂ 回収型ガス化複合発電
	198	ガスタービンの排熱も活用し、高効率化するIGCCシステム(石炭ガス化複合発電)
	199	燃料として水素100%を用いるガスタービンによる1GW級の大型発電技術
	200	バイナリー発電やヒートポンプなどによる5MWクラスの中低温地熱資源利用技術
	201	50MW級洋上浮体式風力発電
	202	10MWクラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術
	203	宇宙太陽発電システム(宇宙空間で太陽光を利用して発電を行い、電力を地上に伝送するシステム)
	204	核融合発電
	205	核燃料サイクル及び一体型高速炉(IFR)を含む高速増殖炉(FBR)システム技術
	206	濃縮度5%超燃料が使用可能、プラント寿命が80年、立地条件を選ばないなどの特徴を有する次世代軽水炉技術
	207	200℃を超える蒸気生成が可能な産業用ヒートポンプ
	208	民生用超高効率ヒートポンプ(空調冷房用COP \geq 12、給湯用COP \geq 8)
	209	新規建築の30%以上に普及可能な汎用型ZEB/ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル/ハウス)システム
	210	小都市(人口10万人未満)における100%再生エネルギーのスマートシティ化を実現する、スマートグリッド制御システム
	211	小都市(人口10万人未満)における、エネルギー自給自足や完全資源循環のクローズドサイクル化の実現
	212	物質やエネルギーのスマートユースに基づく、自立型都市圏の設計手法
	213	エネルギー効率が50%の自動車エンジン
	214	ハーバー・ボッシュ法に代わる、小規模かつ高効率なアンモニア製造法

	215	事故時にも避難が不要になるレベルまで安全性が高められた商業利用可能な小型モジュール原子炉
	216	大気から回収された CO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造
	217	経済的かつ大規模安定供給可能な長期の水素貯蔵技術
	218	バイオマス収集コスト低減技術の確立(ロボティクス・産業機械の融合技術など)
エネルギーシステム	219	ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム
	220	現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル
	221	自動車の走行中の非接触充電技術
	222	CO ₂ フリーの未利用熱源を利用したスターリングエンジンによる動力回収システム
	223	5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール
	224	数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム
	225	木質系バイオマス発電の経済性を向上させるための人工林循環生産システムの構築
	226	系統連系安定化のための長寿命かつ低コストの MW 規模二次電池(寿命:20 年以上、コスト 1.5 万円/kWh 以下)
	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命 15 年・コスト 0.5 万円/kWh 以下)
	228	コミュニティ内や個人間での電力取引を中心とした電力市場の一般化
	229	太陽光・風力発電の余剰電力を用いた水素製造
	230	アンモニアをエネルギー媒体としたエネルギーシステム
資源開発・リデュース・リユース・リサイクル(3R)	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術
	232	海洋鉱物資源の採取に必要な採鉱、揚鉱技術
	233	環境汚染のないシェールガス採掘技術
	234	チタンを現在の 50%以下のコストで製錬する技術
	235	銅鉱山におけるヒ素処理保存技術
	236	メタンハイドレート採掘利用技術
	237	海水中から経済的にウランなどの希少金属を回収する技術
	238	温度 250℃、圧力 500 気圧以上の条件下の資源開発技術
	239	熱水鉱床からの深海底金属資源の経済的採取技術
	240	空気中から効果的にヘリウムを回収する技術
	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術
	243	各種の基礎工業品生産が可能となるバイオマスリファイナリー形成
	244	廃棄物の選別・分別システムをより向上させるための選別センサー技術
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	246	資源開発における地層解釈、埋蔵量評価、開発計画策定等へのデジタル利用技術
	247	バイオ・ナノ技術を使った新規 EOR/EGR(石油・天然ガス増進回収)技術
	248	資源開発に伴う誘発地震の原因・実態解明
	249	リユースを促進するための機能を維持する革新的解体・設計技術
	250	金属系の高度リサイクルを促進するための高度物理的分離濃縮技術
	251	情報技術を活用した収集運搬など資源循環に関わるサプライチェーンの飛躍的効率化技術
	252	半数以上の焼却炉で実現する、廃棄物焼却から発生する蒸気を工場や発電へ利用する技術
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理
	254	AIを活用した廃棄物処理・リサイクル施設のメンテナンス自己診断を含む自動運転
	255	超臨界地熱も視野に入れた地熱資源利用のための高温坑内機器
	256	深度 5000m 程度に存在する超臨界水を利用した地熱発電技術
	257	枯渇を示す地熱貯留層に対する人工涵養技術

	258	地下水流動モデルに基づく地中熱ポテンシャルマップの全国展開
水	259	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、全国の地下水マップの一般化
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術
	261	線状降水水帯・ゲリラ豪雨による都市洪水、高潮、地盤沈下等の人口密集地における統合的水管理技術
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術
	263	上水供給における有害微量化学物質、病原微生物等の連続モニタリング技術
	264	下水処理水に残存する抗生物質の迅速な分析評価と除去技術
	265	加圧エネルギーを50%以上低減した逆浸透膜による浄水技術
	266	経済的にリサイクル可能な逆浸透膜による浄水技術
	267	途上国で一般利用できる循環型汚染水処理技術
	268	BOD、COD、T-N 等に代替して水環境の質を評価できる統合水質指標の確立
地球温暖化	269	水圏マイクロプラスチックの迅速分析手法の確立と健康リスク評価
	270	大気から水資源を得る、ジオエンジニアリング(環境化学技術)やバイオミメティック技術
	271	化石燃料を使用しない航空機
	272	海水酸性化による生物多様性、とりわけ漁業資源への影響の解明
	273	気候変動による食料生産への地域ごと、品目ごとの影響予測技術
	274	CO2 濃度分布等の観測データをもとにして、各国の CO2 排出量を評価するシステム
	275	気候感度(大気中 CO2 濃度が倍増して十分に時間がたったときの世界平均地表面気温上昇量)の推定精度の3℃から1℃への向上
	276	グリーンランド氷床融解の不安定化が起こる臨界温度(ティッピングポイント)の推定精度の1℃以下への向上
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測
	278	塩害農耕地土壌の簡易・迅速修復技術
環境保全(解析・予測・評価、修復・再生、計画)	279	環境中への拡散・移動と蓄積を考慮した石炭燃焼排ガス中の水銀を除去する技術
	280	放射性物質で汚染された水や土壌を健康に影響を及ぼさない程度に除染する技術
	281	公共・集客施設、空港・港湾、鉄道等の交通インフラにおける、極微量の病原微生物の迅速かつ正確な検知システム
	282	外来種の移動拡散を支配する因子と侵略リスクの解析評価に基づく対策技術
	283	森林に対する越境大気汚染等の高精度影響評価技術
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム
	285	身近な生態系の変化を指標とした環境生態インパクト評価手法
	286	生態系機能に基づく気候変動と災害の緩和と適応の統合技術
	287	生物生息環境の維持と水循環の健全化を両立する、自然と共存可能な最適化されたビルなどの整備技術
	288	絶滅危惧種について遺伝的多様性を保存し再生する技術
	289	農山漁村の自然資源の復元・保全と都市の環境負荷を総合的に管理する市場経済的手法(生物多様性ミティゲーション・バンキングやオフセット・バンキングなど)
	290	都市空間における生態系および生物多様性の再生技術
	291	ヒートアイランド、乾燥化によるハビタット消失を緩和するための技術
リスクマネジメント	292	乾燥・砂漠地帯における植生の再生・維持管理技術
	293	情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム
	294	化粧品、食品などの消費財に関するナノ粒子使用の安全基準の策定
	295	人の健康、農業生産、自然生態系に対して長期的な有害性を持つ化学物質のリスクを管理・低減する技術

	296	低線量放射線による健康リスクのメカニズムの解明と合理的な安全規制基準の設定
	297	開発行為が自然界に与える影響を定量的に予測し、自然の再生速度を考慮した影響シミュレーション評価技術
	298	稀頻度自然災害のリスクの評価手法
	299	自然災害に対する電力システムのレジリエンスを高めるための分散電源制御技術(再生可能エネルギーを含む)

1.4 ICT・アナリティクス・サービス分野

資料図表 1.4 科学技術トピック(ICT・アナリティクス・サービス分野)

細目	ID	科学技術トピック
未来社会デザイン	300	すべての経済取引を電子化する技術(すべての貨幣が電子マネーとなって現金が消滅し、貨幣経済の仕組みが根本から変わる)
	301	すべての書籍が電子ブックとなる(紙による本の消滅)
	302	全ての選挙がインターネット上で実施可能となるレベルのネット上での個人認証技術
	303	画像認識と音声認識が融合した、映画音声のリアルタイム自動翻訳
	304	AIによる予算執行、多人数の会議の時間と場所の調整、業務に必要な資料の準備、提案書や報告書の作成等の秘書業務代替システム
データサイエンス・AI	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術
	306	ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術
	307	超大規模な組合せ最適化問題・非凸最適化問題の数理構造の解明と実時間近似解法の開発
	308	情報欠損・雑音・非定常性を含む大規模な非構造データから高速に精度良く機械学習を行う技術
	309	シミュレーションと機械学習を融合した実世界現象予測と実世界システム制御
	310	深層学習の最適化と汎化の原理の理論的解明
	311	自然環境においてヒト以上の性能を持つ音声・音響認識・話者識別技術
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
	313	初心者でも使える機械学習活用基盤の普及
	314	ヒトが見聞きしても違和感のないレベルで所望の文章・画像・音などを自動生成する技術
	315	AIソフトウェアの開発環境の標準化
コンピュータシステム	316	現在用いられているものより電力性能比が大幅(100 倍程度)に改善されたスーパーコンピュータ(並列化による大規模計算機システム)
	317	現在用いられているものよりスケラビリティが大幅(100 倍程度)に改善されたスーパーコンピュータ(並列化による大規模計算機システム)
	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバック含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク
	320	汎用量子コンピュータ(量子回路)は実現できないが、量子アニーリング機械に続くものとして、特定の量子メカニズムを利用した特化型量子コンピュータの多様化
	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ
	322	Shor のアルゴリズム、Grover のアルゴリズム以外の古典的なアルゴリズムを本質的に改良する基本的量子アルゴリズム
	323	TEE (Trusted Execution Environment) 等の、ハードウェアを利用したソフトウェア保護機能やソフトウェア安全実行環境の活用方法に関する体系化と整備
	324	ムーアの法則が終焉するのに伴い、シリコンを用いたプロセッサのクロック周波数の改善(今の 10 倍程度、LSI の微細化は今の 100 倍程度)
	325	AI 技術等を活用したソフトウェアによるプログラムの自動生成、自動デバッグ、自動検証、自動テストが可能になることで、ソフトウェアの生産性が飛躍的に向上し、世界中のオープンソース・ソフトウェアモジュールがワンストップで検索・ダウンロード可能になる

	326	1000 億行クラスのソースコードをもった実社会で稼働するソフトウェア
	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少
IoT・ロボティクス	328	ヒトが点検を行うとコスト高になったり、危険が伴ったりする、建物・インフラ点検を代替するロボット点検化技術
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及
	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現
	331	都市空間のすべての人や車両(鉄道車両、自動車など)の位置情報がリアルタイムに把握可能となる都市全体の効率良い交通管制システム
	332	自動運転トラクタ等による無人農業、IoT を利用した精密農業の普及と、それらを通じて取得した環境データ等に基づいた環境制御システム
	333	地下施設や屋内を含む、日本国土のあらゆる場所での、誤差 5cm 以内の測位技術
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅
	335	自立した生活が可能となる、高齢者や軽度障害者の認知機能や運動機能を支援するロボット機器と、ロボット機器や近距離を低速で移動するロボットの自動運転技術
	336	三品産業、サービス産業、物流産業に作業用ロボットが広く普及することによる、無人工場、無人店舗、無人物流倉庫、無人宅配搬送の実現
ネットワーク・インフラ	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信の複数を同時に実現する有無線移動通信技術
	338	転送データ量あたりの消費電力を飛躍的に削減する通信ネットワーク・通信ノード技術
	339	クラウドデータセンタにおける通信大容量化やアーキテクチャの進化可能性を実現するデータプレーン技術
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術
	341	クラウド・エッジ・端末が連携し、分散した計算資源とストレージ資源、通信資源が有機的に結合した、最適に利用可能な通信基盤技術
	342	情報や機能を名前により指定し、網内で情報処理を実施する情報指向・コンテンツ指向ネットワーク
	343	平時にはネットワークの輻輳緩和や耐故障性向上に資し、災害時には緊急通信を優先的にサービス可能、あるいは、スクラッチから迅速に構築可能な、柔軟な情報通信技術
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信
	346	性能・柔軟性・堅牢性を兼ね備えるソフトウェア化されたネットワーク機器の構成技術
セキュリティ、プライバシー	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術
	348	情報システムや制御システムにアクセスすることが許された人たちの内部犯罪を防止するための技術(行動科学的技術を含み、内部犯罪の発生率を無視できるくらい小さくすることが可能)
	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム
	350	重要インフラ、自動車などの制御システムや個人用 IoT 機器・サービスに対し不正な侵入を防止する技術(不正な通信の実現確率を事実上無視できる程度に低減する技術)
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)
	352	個人に関わる全てのセンサ類や、それらを通して自分の行動情報(センサ情報、購買履歴など)を誰にどのようにセンサされているかを把握可能にするとともに、その利活用に関わる個人利用者が主体的に関わる(情報の削除を含む)ことで、プライバシーと利便性のバランスを柔軟に設定できる IoT セキュリティ技術とプライバシー管理技術
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)
	354	PC、スマートフォン、個人用 IoT 機器のメンテナンス(ソフトウェア更新等)が利用者の負担無く自動的に実施できる新たな OS やソフトウェア技術、遠隔メンテナンス技術

	355	個人の社会活動や企業の経済活動を、ほぼ 100%キャッシュレス(暗号通貨含む)に実現できる、セキュアで効率的、かつ安心感を持てる経済基盤(金融機関だけでなく、商店、個人まで)
	356	量子情報通信技術の発展により、ICT システムの安全性の根拠が、既存の暗号技術に基づくものから、量子技術等に基づく新たな安全性のフレームワークへ置換
	357	AI 技術により自ら能力を向上・維持できるマルウェア検出・排除機能のネットワークへの実装整備
サービスサイエンス	358	ウェブラーニングやショールーニング(実店舗で商品を見て WEB で購入、もしくはその逆)など、サイバー空間と実空間を行き来する利用者の行動を統合して解明できる技術
	359	サービスにおける利用者の主観性や多様性を考慮した品質測定技術
	360	個々人のセンサデータをはじめとしたプロフィールを個人で管理し携帯端末などで持ち歩くことにより、初めて訪れる店舗や場所でも、個別のかつ状況に応じたサービスを受けられるシステム
	361	(個人や社会が持つ資源・スキルの効果的組み合わせや、共創における相互作用のダイナミズムが理論化された結果、)様々な資源・スキルの遊休状況を複合したシェアサービスの可能性を計算機上で検討可能なシステム
	362	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logic などをより発展させた新理論
	363	共創によって生成される価値の測定尺度の理論化、および現実世界から得られるデータを基にした評価化(様々な分野におけるサービスエコシステムの形成への貢献)
	364	情報技術を用いたエンドユーザでも容易に利用可能なデザインツールやパーソナルファブリケーション技術(ハイアマチュアや複数人の共同によって制作される製品・サービスのコンテンツが増加し、それを享受する一般利用者の元でも簡便にカスタマイズできるようになる)
	365	教育や育成のプロセスでの指標として様々な業種で横断的に使われるような、サービス提供者および組織のスキルや成熟度を診断する手法
	366	財・サービスの利用によって生じる快、不快、好き、嫌い等の感情と生理計測の研究が進み、顧客経験を直接に分析、測定、評価できるようになり、かつ研究開発、販売、マーケティング等に用いる方法の確立
	367	従来の顧客満足度に加え、サービスを新たにデザインしたり評価したりする際の尺度として重要な、個人にとってのウェルビーイングと Sustainable Development Goals (SDGs)への寄与に関する解析を実現する理論・技術
	368	サービス産業における接客・対人業務の大半が、人が得意とする領域のみとなった状況下での、生産性と QoW (Quality of Work)の向上の両方を実現する技術・制度
	369	サービスに関する学術的知見に基づいた、提供者・利用者など各々の立場でサービスを活用していく能力(サービスリテラシー)のモデル構築、並びに身の回りの様々な分野でサービス化が進行した社会における教養科目化
産業、ビジネス、経営応用	370	顧客数や知的財産の重要度が高まり、企業価値を評価する際に、無形資産の評価割合が平均的に企業価値の 70%に達する
	371	知的財産の扱いが明確化され、新規事業全体のうちオープンイノベーションによる新製品・サービスの割合が 30%を超える
	372	クラウドソーシングやジョブマッチングのプラットフォームが普及し、労働人口の 30%以上が企業等の雇用労働者ではなくフリーランスとして働くようになる
	373	移動、レジャー、食事、衣服など幅広い分野でシェアリングエコノミーとサービス化が進展し、一般生活者の消費支出のうち購買が占める割合は 10%以下となる
	374	一般生活者が日常生活で行う決済の総額の 30%以上を、中央銀行がコントロールせずブロックチェーン技術で管理される仮想通貨で行うようになる
	375	コミュニティや個人間で電力の融通・取引を行う、ブロックチェーン技術等を活用したエネルギーシステム
	376	AI が普及し、大半の業務を自動化することができるようになることで、現役世代の約 30%が働かない社会となる
	377	マス・カスタマイゼーションが自動車、衣服、レジャー用品など幅広い分野で普及し、既製品を購入するよりも自分のニーズに合ったものを個別に発注して購入する形態が主流となる
	378	ネット販売と配送サービスが普及することにより、実店舗での購入は全消費額の 10%以下となる
	379	あらゆるビジネスが少数の世界的なプラットフォームの上で提供されるようになり、販売、決済、仕入、マーケティング、販売分析等の業務がほぼ全てそれらのプラットフォームの上で行われるようになる
政策、制度設計	380	機械(AI、ロボット)と人間の関係について社会的合意に達する(新たな機械三原則が確立され、法的整

支援技術		備も進み、機械が人間と協調的に共存する安定した社会・経済システムが実現する)
	381	法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)
	382	分散台帳技術やスマートコントラクトなどの活用による、知的財産の流通における中央機関のない自律分散化
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術
	384	従来の統計データに加え、ビッグデータやAIも活用した政策立案支援技術
	385	早期の意思決定を可能とする、ソーシャル・メディアからの状況把握(situational awareness)関連情報をリアルタイムに処理化するシステム
	386	超多数ノード(個人)により構成されたネットワーク上での実社会をリアルに再現できるシミュレーション技術
	387	AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることにによる)
社会実装	388	ブロックチェーン技術を用いた、出生から現在に至るまでの健康・医療・介護等情報の紐づけデータに基づく、健康維持システム(未病社会を実現)
	389	農業の生産性、人手不足・担い手不足の解消を抜本的に改善するAI、IoT、ロボット等技術
	390	行政サービスの 100%デジタル化、行政保有データの 100%オープン化による、役所での申請手続等を最小化できるプッシュ型行政の実現
	391	キャッシュレス化による支払・決済の省力化、消費者購買履歴データの蓄積・活用による新たなサービス創出の基盤構築
	392	出社不要・複業を前提とした自由度の高い就業形態による高生産性社会への移行
	393	教育に AI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
	394	マイナンバーとの連携によるデジタル技術を活用した災害情報伝達と生活再建手続の円滑化の実現
	395	外国人受け入れを背景とした、翻訳技術の向上による、外国人の受け入れ環境の充実化
	396	地域における公共交通網の維持や、物流分野の変革を実現する、自動走行、ドローンなど多様な移動手段、およびそれらの管理・運用支援技術
	397	すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消
インタラクション	398	個人の体験を、感覚情報のみならず、その時の心理状態なども含めて生々しい肌感覚として記録し、それを編集・伝達・体験・共有できるようにするメディア
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)
	401	専門的知識を持たない一般ユーザが、自動車や家などの複雑な人工物を、既存のライブラリから機能要素を選択するなどして、自分で設計・製作できるようにする技術
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)
	404	群衆のウェアラブルデバイスによって取得した一人称視点映像群から建物・人間・自動車などを認識し、事故・危険予測情報を装着者に提供するシステム(大規模災害発生時の救助・避難支援でも有効)
	405	過去の自分自身や偉人、遠隔地の人、ビデオゲームのキャラクタなどと競うことが可能な、実空間上での自然な情報提示による AR スポーツ
	406	カメラレスモーションキャプチャにより、いつでもどこでも自身の感覚フィードバックの量や質を調整し、無意識のうちに身体動作を変化させられるバーチャルエンボディメント

1.5 マテリアル・デバイス・プロセス分野

資料図表 1.5 科学技術トピック(マテリアル・デバイス・プロセス分野)

細目	ID	科学技術トピック
物質・材料	407	高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料
	408	自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料
	409	リサイクル容易な架橋性樹脂
	410	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料
	411	超大橋など大規模構造物に利用できる、軽量高強度・高耐食・長寿命の炭素系構造材料および、そのリサイクル技術
	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体
	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料
	414	水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子
	415	摩擦・機械的応力を電気エネルギーに効率よく変換できる、蓄電可能な出力規模を有する振動発電の新素材
	416	光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない吸収体
	417	成形・実装・回収・抽出・精製・再成形のリサイクルループが成立する汎用成形材料
プロセス・マニファクチャリング	418	IoT・ICTによる製品情報を活用した、コンシューマー製品のマスカスタマイゼーションとそのビジネスモデル
	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)
	420	少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム
	421	保守部品のオンデマンド生産を可能とする、付加製造(3D プリンティング)等の新加工技術
	422	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知を自動的にアーカイブ化するシステム
	423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術
	424	製品の幾何学的形状と、材料の微細構造やその配置とを同時に制御できる加工技術
	425	従来の大量生産技術と同等の生産性を有する付加製造(3D プリンティング)技術
	426	除去加工を必要としない素形材技術(ニアネットシェープ技術)
	427	メタマテリアルのコンシューマー製品への適用を可能にする微細加工技術
	428	直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術
計算科学・データ科学	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術
	431	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術
	432	電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までを一環して対象とするマルチフィジックス材料シミュレーション技術
	433	数値シミュレーションと革新的測定技術の共同により、ナノスケールの微細構造と化学反応を含むダイナミクスを解明可能な協奏技術
	434	数十億原子からなる μm スケールの全原子分子動力学シミュレーション技術の開発による、電子顕微鏡との直接比較の実現と計算モデルの高精度化
	435	複合材料における高次構造の解明とその理解に基づく特性、機能、劣化などの予測を可能とするシミュレーション技術
	436	インフォマティクス技術と第一原理計算や分子動力学法などのシミュレーション技術の協奏・共同技術
	437	量子コンピュータを利用した物質物性計算手法
	438	グリープ・疲労等材料の長期的な信頼性について、シミュレーションを用いた予測に基づいて、新材料の実用化へのリードタイムを数分の1に短縮する技術

	439	データ同化による精緻化した予測モデルによるシミュレーション、情報統計力学などを、材料学上の逆問題に適用し、求める機能・物性を有する材料の構造や成分、プロセスを推定する技術
	440	三次元造形のプロセス・材料・設計事例データをオープンな場に集めて集合知として活用し、新たな造形・プロセスを生み出す技術
	441	物質・材料に関する画像情報(電子顕微鏡写真、X線回折パターン、電荷分布の計算結果等)から、現在および将来(劣化等)の物性・特性を推定する人工知能
	442	物質・材料の特性データと自動取得された関連する事象(合成法、評価法等)との関係から、データの「質」を評価・判断する技術
先端計測・解析手法	443	光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術
	444	充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム3次元可視化技術
	445	超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術
	446	触媒反応過程の多チャンネル同時計測・オペランド解析
	447	全固体二次電池、パワーデバイス、太陽電池などの固固界面におけるオペランド構造物性解析
	448	ラボスケールで設置可能かつ実働環境で動作可能な小型中性子オペランド解析
	449	ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
	450	絶縁材料や生体材料を観察するための原子分解能を有する100ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡
	451	超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa以上)など極限環境で、触媒、金属、熔融塩などを観察できる電子顕微鏡
	452	結合軌道や反結合軌道を実空間で可視化する顕微鏡
	453	ピコメータスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡
	454	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術
	455	角度分解電子エネルギー分析に用いられる、径が1メートル以上の楕円メッシュ
	456	データ駆動型計測インフォマティクスによる10~100テラバイトの多次元ビッグデータハイスループット解析
	457	ロボット、クライオ電子顕微鏡、高速データ処理環境の融合による生物構造解析の高分解能化とハイスループット化
	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
応用デバイス・システム(ICT・ナノエレクトロニクス分野)	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス
	460	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
	461	高度VRシステム(会議、製造現場の状態管理)と、それを支える高速情報流通システム
	462	フラッシュメモリ並みに大容量でありながらDRAM並みの高速読み書きが可能で、50年以上の寿命を持つ不揮発メモリ
	463	単一スピンを情報担体としCMOSデバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子
	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス
	465	急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力AIチップ
	466	ナノ共鳴子の非線形応答を用いた微細アンテナによる微小通信機
	467	既存のコンピュータに組み込み可能な手のひらサイズの量子コンピュータ・アクセラレータ
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術
	469	量子化学計算に基づき薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ
応用デバイス・シ	473	変換効率50%を超える太陽電池

システム(環境・エネルギー分野)	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が500kmに相当)の性能をもつ高容量高出力電池
	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池
	476	60～100℃の未活用の中低温排水を利用可能なエネルギーハーベスト発電システム
	477	環境の影響を最小限にとどめた高層偏西風や潮流を利用した発電システム
	478	高压直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド
	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成
	480	環境に CO ₂ を排出せずに石炭を原料に水素を製造する膜分離技術
	481	有害な元素・物質(セシウム、鉛、ヒ素、水銀、カドミウム、ベンゼン、六価クロム、シアン化合物など)を低エネルギーで水や土壌から除去する方法
応用デバイス・システム(インフラ・モビリティ分野)	482	鉄と非金属材料(木材、コンクリート、CFRP 等)の高機能ハイブリッド構造材料(構造性能、意匠性、耐食性等)
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料
	484	超高層ビル等大型建築物向けの、大入熱溶接が可能となる建築用高強度鋼材(780MPa 板厚 100mm を一度に溶接できる建築構造材料)
	485	燃料電池車向けに、水素貯蔵密度 100kg/m ³ 以上かつ質量貯蔵密度 10wt%以上の高密度水素キャリア
	486	任意形状のインフラ補修部材を安価で製造できる3Dプリンター素材
	487	熟練工不足に対応した人の技量によらない、簡便な構造材料用接合・接着技術
	488	海洋大気環境下でも構造物の 50 年超の超長寿命を実現できる防食技術(塗膜を含む)
	489	インフラ構造物の内部の劣化状況をリアルタイムに診断する技術
	490	少子高齢化に伴う労働力の不足の際に必要な、エネルギー供給(燃料・ガス)やゴミ回収といったインフラを自動運転で行うモビリティシステム
	491	インフラを経済的に維持できなくなる過疎地で必要となる、従来の中央集約型上下水道インフラを自律分散型にするシステム
	492	重量物を積載したトラックの走行に対して耐えうる構造を有する、100km/h で走行する乗用車に対し 20kW 以上の非接触給電を可能とするシステム
	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する3Dフードプリンティング技術
応用デバイス・システム(ライフ・バイオ分野)	494	食品の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
	495	人と同じソフトな動きと触感を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル
	496	人の感覚について、喪失した場合には補い、さらには超人的レベルを達成するよう補強するバイオミメティクス材料
	497	体内情報(薬物動態、癌マーカー、感染、その他血液成分)をモニタリングするウェアラブルデバイス
	498	生体エネルギーで半永久的に動き続ける体内埋め込み健康管理(検査・診断・治療)デバイス
	499	バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料
	500	移植用臓器を長期間保存できるバイオマテリアルおよびプロセス技術
	501	生体外で生体組織を培養するシステムおよびバイオマテリアル
	502	3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオフィabrication)
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術
	504	タンパク質の一次配列構造から三次元立体構造を予測する技術
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明
	506	全てバイオデグラダブル(生分解性)マテリアルで構成されたデバイスや日用品の実用化技術(例えば、環境中、生体中に放置できるもの)
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料

1.6 都市・建築・土木・交通分野

資料図表 1.6 科学技術トピック(都市・建築・土木・交通分野)

細目	ID	科学技術トピック
国土利用・保全	508	海域環境保全と両立する浮遊式構造物(交通、通信、生産、活動基地等)
	509	下水に含まれる貴重金属等の資源回収とエネルギー自立化のための下水道技術
	510	地下水質・流動観測推定技術
	511	適切な国際的管理のための、非持続的にしか利用できない地下水(化石水)の全世界的な埋蔵量の推計
	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術
	513	破堤箇所迅速な締切等、河川堤防の変状発生時の緊急復旧技術
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術
	516	日本国内を旅行する、全ての国の旅行者が、いつでもどこでも、観光地や移動に必要な情報提供と支援を受けることができ、インバウンド観光を円滑・快適に楽しめる
	517	準天頂衛星の測位データを利用し、国土や大型構造物の変化や災害時の変状をリアルタイムで定量的に判定する技術
	518	適切な発生源対策の実施に必要となる、マイクロプラスチックの生成メカニズムおよび公共水域における負荷実態を解明する技術
建築	519	鉄骨工事を大幅に合理化する、鉄骨の接着剤接合技術
	520	室内の「健康阻害」や「感染症アウトブレイク」を抑制する、高度な室内健康環境モニタリング・制御技術
	521	オフィスワーカーの健康快適性向上と業務効率化・働き方改革を促進する、高度かつ統合的なワーカー・プロダクティビティ・モニタリング技術
	522	建築 & 設備と一体化された AI、IoT、ロボット活用等による、高齢者、障がい者、子育て世帯等の住生活機能改善、ノーマライゼーション化
	523	日常時環境省エネ性、非常時避難容易性、経年時可変更新性を向上する、住宅とモビリティと ICT・AI の新しい統合技術
	524	3D プリンターなどにより、再資源材料の生産効率や回収再生の仕組みを大きく変換する、建材の再資源化プロセス技術
	525	海洋ポテンシャルを利用し、海に新しいエコシティと新しいエコライフスタイルを実現する、「海洋都市」の建設技術
	526	長期的視点に基づく、人類の生息空間拡大のための、宇宙空間や月及び火星面での「宇宙建築」の建設技術
	527	超高層を含めた、一定規模以上の建築を可能とする新木造の材料・構工法技術
	528	既存を含む都市と建物の再生可能エネルギー消費比率を向上する、広域の余剰小規模再生エネルギーのベストミックス技術
	529	ZEB(ゼブ:ネットゼロ・エネルギー・ビル)を超える、インフラフリーの自立型建築
	530	既存建物の更なる合理的な改修・解体技術(超高層ビルを含め、迅速に改修・解体等できる技術)
社会基盤施設	531	リモートセンシング技術を活用して、広域に存在する社会基盤施設の水平・垂直変位をミリメートルオーダーでモニタリングする技術
	532	数値シミュレーションによる新技術・新材料の適用性・耐久性に関する迅速評価
	533	マテリアルズインフォマティクスに基づく、高機能、高耐久、低環境負荷かつ安価なインフラ材料の社会基盤施設建設における一般的な利用
	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術
	535	高速移動車両搭載レーダーによる土木構造物および地盤内部の異常検知技術
	536	宇宙利用のためのインフラ設計・施工・維持管理技術
	537	ロボット、新材料、三次元プリンターを用いた社会基盤施設の延命および迅速更新技術
	538	環境作用に対する高い劣化抵抗性および外力作用に対する強靱性を有する社会基盤施設
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測

都市・環境	540	樹木、植生、土壌等の生態系を積極的に活用したインフラ施設の設計・運用技術の実現による、水質浄化、雨水管理および流出抑制技術
	541	インフラの点検・診断の信頼性向上や負担軽減を図るために、現場で利用可能な非破壊検査技術
	542	都市に関するオープンデータ化を図り、多様な主体が保有するデータを共有・連携して活用できるプラットフォーム
	543	自然が持つ多様な機能を活かして整備されるグリーンインフラの包括的・効率的な整備・維持管理及び定量的評価技術
	544	合理的な居住地選択行動を促進するナッジ型の住宅情報提供システム(行動科学の知見を用いた、自発的に望ましい選択を促す仕掛けを有する住宅情報提供システム)
	545	広域のインフラストラクチャーから独立した住宅地
	546	詳細な都市計画を可能にする精度の高い災害ハザードマップの作成技術
	547	時間や場所に縛られることなく、都市計画についての議論や意思決定ができる合意形成支援システム
	548	詳細な都市計画(ゾーニングや都市施設の整備)を可能にする、土地利用変化のモニタリングおよび適正な都市計画手法の提案システム
	549	開発がもたらすミクロな変化を正確に評価する環境アセスメント技術
建設生産システム	550	人口減少にともなって発生する低未利用地の粗放的な維持管理技術
	551	設計・施工・過去の点検データに基づき、ロボット・センサーが自動的・自律的に点検・診断し、異常を発見・通知する技術
	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図
	553	設計データを基盤としつつ、作業条件の変化や周辺の施工状況等を感じし、自律的に施工が可能な無人建設機械
	554	カメラや生体センサー情報等に基づき、作業員の作業環境(高所作業、クレーン旋回範囲、熱中症等)を常に把握し、自動的に注意喚起する技術
	555	建設現場で、AIを用いて作業進捗状況を常時把握・分析し、適切に工程管理、自動的に工程を最適化・修正する技術
	556	橋梁などのコンクリート構造物のユニット化による、現場での組み立ての自動化
	557	測量・調査から設計・施工、監督・検査、維持管理にわたる建設生産プロセス全体での(時系列を含めた)4Dデータの自動蓄積および統合的活用を可能とするインフラデータプラットフォームの構築
	558	BMデータに基づいて、設計～施工～出来形確認まで建築プロジェクト管理し、センサーやロボットにより維持管理する技術
交通システム	559	3Dプリンター化による部材の現場製作、ロボット・ドローンによる建材の自律運搬等、構造躯体および仕上・設備の未来型合理化施工法
	560	高齢者や視覚障がい者が安心して自由に行動できる情報を提供するナビゲーションシステム
	561	超高齢社会において、高齢者が単独で安心してドアからドアの移動ができる、地区から広域に至るシームレスな交通システム
	562	都市間の貨物輸送の効率化を図るために、鉄道と道路、道路と港湾・空港、鉄道と港湾・空港の結節点における時間・コスト・環境負荷のそれぞれを半減するシステム
	563	非常時(災害・故障による一部不通など)における都市の円滑な移動を確保するための、数十万人規模のモビリティマネジメントシステム
	564	歩行者と同程度の専有面積で20km程度の航続距離がある電動パーソナルモビリティ
	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム
	566	都市部でのレベル4自動運転(システムが全ての運転操作を行うが、システムの介入要求等に対してドライバーが適切に対応)による移動サービス
	567	公共交通機関における顔認証などによるチケットレスの料金収受システム
	568	レベル5の自動運転(場所の限定なくシステムが全てを操作する)
	569	自動車のプローブデータや車両重量、気象等環境条件を自動計測し、道路インフラの劣化を精度よく予測するシステム
	570	都市部で人を運べる「空飛ぶ車・ドローン」

	571	車・自転車・歩行者などの移動体のリアルタイム位置情報を格納したダイナミックマップを用い、合流などの交通コンフリクトの円滑な調整、最適な経路誘導、時間や場所に応じた道路利用料金徴収を行うシステム
車・鉄道・船舶・航空	572	パブリックな駐車場、交差点での駐停車時に逐次充電する非接触充電インフラ技術及び安全性が向上した燃料用水素の貯蔵・供給設備技術等の低廉化技術
	573	自律航行可能な無人運航商船
	574	船舶の常時モニターにより、運航、構造、安全関連のビッグデータを活用した、船の性能・安全性評価技術(寿命予測や設計等へのフィードバックが可能)
	575	海上輸送システムにおいて、極限までCO2を排出しないグリーンシップ
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機
	577	離着陸時の低騒音化と飛行時の低排出ガス化を実現し、更に機体摩擦抵抗低減、エンジンの燃焼効率向上を果した低公害・省エネルギー型航空機(騒音レベル 90%減、燃費半減)
	578	機体毎の不具合検出等を含む膨大な情報群(ビッグデータ)とAIを組み合わせて事前予測を行うことにより、メンテナンスの効率化及び最適化を通してメンテナンスコストを低減する整備システム
	579	環境性、安全性、経済性の観点で現有の亜音速旅客機と対抗し得るとともに、大幅な移動時間の短縮による利便性向上を可能とする超音速旅客機を実現するシステム技術
	580	運転士・パイロットの脳波を非接触でモニタリングし、おかれた状況において誤った操作を行った場合、ヒューマンエラーと判断し、事前に警告することで事故を未然に防ぐシステム
	581	アクティブ騒音制御等を用いて、新幹線の時速 360km での連続走行時に騒音の環境基準(住宅地で70dB(A)以下)を満たす技術
	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)
	584	回生ブレーキで得られるエネルギーを有効利用できるよう、エリア内の各列車の加減速を自動制御し、エネルギー消費を最小とするシステム(鉄道版スマートグリッド)
防災・減災技術	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術
	586	線状降水水帯・ゲリラ豪雨を詳細に把握できる高性能レーダー
	587	高層ビル・免震ビルの長時間長周期地震動に対する応答制御
	588	アクティブな振動制御を大スケール・大出力で実現するとともに、波形レベルの早期地震警報を実現して、フィードフォワードを含めた最適な制御を行い、被害をゼロにする地震時ゼロ被害構造物
	589	構造物の外乱や劣化による損傷時に深刻な被害を回避するための設計法・構造技術(「危機耐性」の確立)
	590	流域面積数百平方キロメートルの河川流域・ダム集水域における洪水ピーク流量を12時間前に時間誤差±1時間、流量推計精度±10%で予測する技術・システム
	591	流域面積数十～百平方キロメートルのダムの集水域における6～8月の総流入量を4月時点で推計精度±10%で予測する技術・システム
	592	様々なタイプの液状化について発生メカニズムと全国の液状化リスクが明らかになるとともに、安価・短期間で実行可能な対策技術の確立
	593	知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット
防災・減災情報	594	IoT機器を活用した大規模地震災害時のリアルタイム被害把握・拡大予測システム
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム
	596	公共・集客施設、空港・港湾、鉄道等の交通インフラにおける微量な危険性物質の迅速かつ正確な検知システム
	597	個人携帯端末を活用した多言語／非言語コミュニケーションによる災害避難ナビゲーションシステム
	598	早期の警報・避難・規制を可能とする、高精度気象観測システムの構築と災害予測手法の高度化
	599	国民一人一人の防災行動を誘導するためのICT利用技術
	600	耐震化された小中学校を地域防災拠点とした災害情報共有・災害対応支援システム
	601	強非線形挙動を伴う大規模災害時をシミュレーション可能な数値解析・可視化技術
	602	リアルタイム津波予測に地域住民に必要な避難に必要な情報を提供するSNS情報分析システム

1.7 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野

資料図表 1.7 科学技術トピック(宇宙・海洋・地球・科学基盤分野)

細目	ID	科学技術トピック
宇宙	603	宇宙利用を低コストで実現できる再使用型輸送システム(部分使用型、完全再使用型、軌道間再利用型など)
	604	宇宙活動を多彩にする衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術(宇宙デブリの除去回収を含む)
	605	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築
	606	月面での水の生成・補給拠点確保を目的としたロボティクスを活用した水生成プラント構築技術
	607	対象太陽系天体の生命探査や惑星の形成解明に資する探査のための技術(人工衛星による直接踏査等)
	608	国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の24時間高精度監視システム
	609	自動車の自動運転や農業の無人化・自動化等を可能とするため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数cm程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)
	610	太陽系並びにそれを構成する太陽・惑星の形成と進化に関する定説の確立
	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立
	612	超高エネルギー宇宙線の発生機構の解明
	613	宇宙で利用可能な重力波干渉計
海洋	614	海洋酸性化の状況を地球規模で自動計測可能な安価なシステム
	615	水深6000mまでの海洋内部を長期間(1〜3か月間)調査可能な完全無人自動システム
	616	現在の有人観測船と同程度の調査能力を持つ無人観測システム
	617	海洋中の距離10,000mで、1Mbpsを超える高速音響通信技術
	618	海洋中のマイクロプラスチックをその場で検出・定量するセンサー
	619	海洋における環境DNAの自動in situ解析技術
	620	分子生物学的手法を活用した漁業資源量の高精度の評価技術
	621	完全自動化した外洋養殖施設
	622	海底鉱物資源の環境攪乱を伴わない経済的採取技術
	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
地球	624	地球深部で試料採取するための大深度科学掘削技術
	625	超高压・超高温実験ならびにデータ解析技術等による地球のマントル・コアの解明
	626	極端環境下でのリアルタイム観測を可能とする光計測技術(光ファイバセンシング、光干渉地震計など。センサ部は電力供給不要)
	627	陸上のGEONET(GNSS(全球測位衛星システム)連続観測システム)と同等の観測を実現させる、海底で20kmの空間分解能を持つ海域測地測量技術
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価
	630	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5〜10万年前の年代測定精度を向上させる技術
	632	マグニチュード7以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30年以内)、被害の予測技術
	633	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、マグニチュード8以上の大規模地震の発生を予測する技術
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	635	映像や地震・津波データ等のビッグデータ等を活用し、人間の目では見落とす可能性のある災害の予兆や発生を人工知能によって監視する技術
	636	CO2貯留、シェールガス抽出、高温岩体地熱発電等による地下への注入による誘発地震の予測

観測・予測	637	人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で現在より高精度・高感度に観測する技術
	638	人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム
	639	人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
	641	人工衛星等により、海水、海面温度、波浪、海流、クロロフィル、基礎生産等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム
	642	干渉 SAR 技術を活用した、沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形をリアルタイムで把握するための高精度海面高度観測システム
	643	降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
	645	熱波、豪雨など実際に発生した異常気象に対し、長期的気候変化の寄与を速やかに同定するシステム
	646	海洋空間で広くインターネットが利用できる技術
計算・数理・情報科学	647	各機関で年間 1 エクサバイトの割合で生成される自然科学に関する実験データを記録・保存し、これを多くの産学官の研究者が 1Tbps 級のネットワークを通して 10 エクサフロップスを超えるスーパーコンピュータで利用できる環境の構築
	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム
	649	IPS 細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テイラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法
	650	経年変化(劣化等)も含めた材料特性を要求値に適合させる逆問題的な材料開発手法に基づき、自動車や大型工業製品、建築物等の試作レス開発を可能とするシミュレーション技術
	651	自然災害や事故などの異常時も含めた渋滞を回避する数理科学的渋滞予測モデルと、IoT センシングシステムを融合したリアルタイムナビゲーションシステム
	652	各種観測データやソーシャルメディアデータ等を統合的かつ実時間的に処理し、災害時の被災状況を即時性をもって把握するシステムに基づき、電力、水、通信などの都市インフラ復旧と支援物資物流・人的資源の最適化および避難経路の情報を、自治体、企業をはじめ個人レベルにまで迅速に提供しうる社会統合防災システム
	653	10 年規模の自然変動の予測から、100 年にわたる人為起源の長期地球環境変動の精緻な予測までを可能とする、高解像度大気海洋大循環モデルと生物・化学過程を通じた物質・エネルギー循環を考慮した地球システムモデル、及び観測情報をモデルに取り込むデータ同化技術
	654	産学官が保有する各種データセット・データベースの内、少なくとも特定の分野(たとえば材料分野)で、データセット・データベース間の書式・様式の違いを人手を介することなく変換し、情報・データを連結することによって、あたかも一つの巨大データセット・データベースとして各種解析ツールから利用できるシステム
	655	社会活動の数理的解析に基づく社会数理モデルと社会活動データを用いた大規模シミュレーションによって、政策の意志決定を支援するシステム
	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術
素粒子・原子核、加速器	657	集約されたデータから、目的に合致した機械学習モデルを人手を介さずに組み立てる、汎用的な機械学習アルゴリズム(機械学習モデルの適用限界に関する数理科学的解明を含む)
	658	量子重力理論の確立・検証
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明
	660	ニュートリノのマヨラナ性の解明
	661	ダークマターの正体の解明
	662	ダークエネルギーの正体の解明
	663	インフレーション仮説の確立
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明

	665	プラズマ航跡場加速・誘電体加速等の新しい加速技術を用いた加速器の学術及び産業利用等
	666	新たなレプトンコライダー技術(ミュオンコライダー、プラズマ加速利用などを含むこれまでにない電子・陽電子コライダーなど)
量子ビーム:放射光	667	日本国内での軟X線向け高輝度放射光施設整備およびその利用
	668	化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ピコ秒〜フェムト秒オーダー分解能)放射光オペランド計測
	669	極低エミッタンス蓄積リングによる省コスト型・超高輝度放射光源
	670	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術
	671	サブナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの構造・電子状態を3次元でイメージングできるX線顕微鏡
	672	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析
	673	タンパク質1分子を試料として構造解析を行うイメージング技術
	674	活性状態下でのタンパク質の構造とダイナミクスの解析
	675	X線自由電子レーザーの光源特性にマッチする2次元X線検出器の高分解能化(<10 μ m)・高感度化(検出量子)0.8)・高速化技術
	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化
	677	散乱と分光の融合による物質の時間空間階層構造の解明
	678	X線自由電子レーザーを用いた物質中の非平衡・非線形現象の解明
量子ビーム:中性子・ミュオン・荷電粒子等	679	偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術
	680	中性子やX線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の3次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術
	681	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術
	682	偏極陽電子を生成・制御し、表面第1層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術
	683	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm〜mmの幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術
	684	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによるAt211などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術
	685	大強度中性子イメージング技術の高度化による、金属材料内微細構造、磁場の3次元可視化計測技術
	686	大強度偏極中性子を用いた磁場分布の可視化技術とそのオペランド測定技術
	687	パルス中性子ビームの特性を活かしたストロボスコピック測定技術
	688	大強度ミュオンによるイメージングやオペランド測定等の新規測定技術
	689	ミュオン顕微鏡技術
	690	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術
	691	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術
光・量子技術	692	電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、紫外光、X線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術
	693	平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に応用する技術
	694	コヒーレント時間が10ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー
	695	1000kmに渡り量子状態を保つ量子暗号通信ネットワークを実現する量子中継技術
	696	創業や投資・金融の意思決定等に係る効率を3桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム

	697	地球上のどこでも 18 桁の精度での時間測定が実現し、地殻・地下水の変動やマグマだまりの移動の計測(ジオイド計測)が可能となる、光ファイバーを使用した光格子時計のネットワーク
	698	分子内の電子の振る舞いの直接観測、及び電子の波動関数のレーザー光による制御が可能なアト秒レーザー技術
	699	染色の必要がないラベルフリーの生体観測が可能な、 μM レベルの低濃度生体分子の検出感度と 100nm 程度の空間分解能を持つ高感度分子振動観測技術に基づく高解像度顕微鏡
	700	1 波長当たり 1T bit/s の超高速伝送システムを備えた、WDM 方式による 1Pbit/s のフォトニクスネットワーク
	701	ゲート長が 4 ナノメートル以下の超高集積化半導体回路を実現する、EUV(極端紫外線)リソグラフィー技術
	702	ピコ〜フェムト秒領域のサブ kW 級高出カレーザーの開発による高品質なレーザー加工と、3D 金属積層造形技術を用いた、自動車エンジン製造システム

2. クローズアップ科学技術領域毎のデルファイ調査結果(科学技術的および社会的実現に向けた政策手段)

2.1 領域1:社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術

	ID	科学技術トピック	科学技術の実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
ICT・アナリティクス・サービス	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ	60	66	53	44	48	32	18	4	62	52	55	39	45	38	22	4
	362	モノの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上で、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論	56	39	48	23	25	15	15	8	56	33	44	26	26	18	18	8
	381	法規制のもと社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム（政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む）	66	57	51	41	30	63	50	4	66	40	49	47	34	66	50	10
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術	76	63	60	31	34	30	26	3	71	46	63	37	37	43	36	4
	393	教育にAI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現	63	49	49	49	38	44	26	11	64	54	59	51	33	53	38	13
	397	すべての国民がITリテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現とIT人材不足の解消	74	39	43	38	23	36	32	10	77	38	48	45	29	51	39	16
健康・医療・生命科学	73	プレシジョン医療の実現や医療の質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム	40	48	50	36	25	64	60	6	43	51	53	42	25	74	67	6
農林水産・食品・バイオテクノロジー	112	フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータとAIによる育種の超高速化（テラーメイド）	69	70	74	40	33	19	13	8	65	54	63	47	33	27	22	6
環境・資源・エネルギー	293	情報技術（IoT、AI、ビッグデータ等）を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム	49	57	65	48	27	18	11	5	49	62	58	47	24	30	11	4
都市・建築・土木・交通	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術	55	62	55	38	19	11	4	6	53	49	53	57	28	25	6	6

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.2 領域 2: プレシジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
健康・医療・生命科学	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に欠く新規機能分子の医薬	70	79	67	38	34	15	11	3	66	64	63	45	35	28	17	5
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術	68	73	68	45	36	39	38	4	64	61	62	46	40	51	45	5
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品	59	67	66	43	33	37	37	5	59	58	62	43	36	49	46	6
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法	64	68	61	41	43	54	55	4	60	54	55	39	42	70	72	5
	89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム	60	72	68	39	35	14	14	3	59	59	61	42	33	24	21	3
	90	細胞の位置情報を保持した上での1細胞オミックス解析技術	65	73	64	36	33	5	5	4	64	59	59	38	34	11	11	5
マテリアル・デバイス・プロセス	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術	75	66	58	32	25	4	6	4	64	52	57	37	30	12	7	3
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体（生体）にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術	59	52	49	30	22	3	3	6	55	45	47	32	22	8	5	5
	502	3Dプリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造（バイオファブリケーション）	52	64	66	45	35	43	42	2	54	57	56	46	37	62	57	2
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術	46	64	58	26	24	9	8	6	49	59	53	28	26	17	14	6

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.3 領域 3:先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
宇宙・海洋・地球・科学基盤	649	iPS細胞等によるバイオアッセイ系とスポンコンによる薬物動態シミュレーション技術により、オーダーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法	61	57	50	25	24	24	30	3	57	40	43	26	23	35	33	3
	676	情報科学(機械学習、バイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化	74	54	59	51	34	5	2	9	70	55	56	49	38	4	2	12
	680	中性子やX線を用いて、実動過程における機能材料・構造材料の3次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術	74	72	63	54	35	11	3	7	75	64	60	53	37	17	4	8
	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を3桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム	73	64	62	41	39	5	4	9	70	58	56	40	42	10	3	10
マテリアル・デバイス・プロセス	431	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術	76	59	56	40	33	1	1	2	73	47	57	48	34	3	1	3
	453	ピコメートルスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡	65	71	65	41	24	2	1	4	64	63	60	41	27	4	1	4
	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ	72	58	63	37	25	2	2	3	67	56	53	43	31	10	6	3
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明	45	56	52	26	22	8	7	10	43	44	45	33	28	9	7	12
農林水産・食品・バイオテクノロジー	107	X線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析とICTを用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム	69	68	66	37	34	12	5	6	60	55	60	42	26	19	5	9
	108	短・中期気象予報と生物学的知識とAIを融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム	73	72	67	54	35	13	7	5	68	62	65	55	36	18	7	6

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.4 領域 4:新規構造・機能の材料と製造システムの創成

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
マテリアル・デバイス・プロセス	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術（4Dプリンティング・4Dマテリアル）	58	62	57	26	19	4	2	4	51	50	53	30	30	10	6	6
	423	複数の材料（マルチマテリアル）で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術	70	74	68	41	26	7	2	4	66	65	61	47	32	15	4	4
	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術	75	67	62	44	36	4	2	4	75	52	57	48	33	6	2	4
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料	47	55	51	37	22	20	0	2	49	53	55	37	24	33	0	2
	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造（造形）する3Dフードプリンティング技術	35	46	37	25	21	32	26	7	34	36	40	32	25	43	30	7
	495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル	52	67	66	41	31	13	11	3	49	58	63	43	34	22	16	3
	499	バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料	55	75	65	41	35	21	13	0	51	66	71	44	33	33	23	1
環境・資源・エネルギー	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池（寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下）	50	70	66	52	39	18	3	1	43	64	70	59	52	24	3	2
	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離・回収する技術	50	76	67	50	26	24	5	6	50	67	71	47	27	30	5	6
都市・建築・土木・交通	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム	27	41	48	41	27	25	9	5	23	36	43	41	27	39	7	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.5 領域 5:ICT を革新する電子・量子デバイス

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
マテリアル・デバイス・プロセス	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体	64	70	63	38	25	6	2	4	61	59	58	44	29	10	2	4
	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料	68	60	57	27	21	3	1	6	65	48	49	34	25	6	2	6
	460	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ	63	69	59	39	25	3	2	6	61	61	58	42	29	8	5	3
	463	単一スピンを情報担体としCMOSデバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子	71	70	66	46	34	1	0	4	69	57	59	45	41	7	2	4
	465	急峻on/offトランジスタ・アナログ記憶素子のモリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力AIチップ	68	73	66	37	26	0	0	4	69	60	58	43	31	5	0	3
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ	70	63	50	32	24	1	1	6	67	53	49	38	27	3	0	4
ICT・アナリティクス・サービス	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケールビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)	72	69	67	36	36	6	5	3	76	57	65	43	32	5	5	4
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク	72	63	58	38	31	6	4	5	69	53	56	38	34	6	5	5
宇宙・海洋・地球・科学基盤	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を10桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム	72	52	54	28	34	6	6	7	70	43	52	31	34	13	9	5
	694	コヒーレント時間が10ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー	78	71	64	37	37	2	1	5	71	61	59	38	38	5	1	6

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.6 領域 6:宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
環境・資源・エネルギー	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術	43	53	62	34	40	17	0	5	52	50	60	38	48	21	3	5
	259	衛星観測と地上観測の効果的な統合により、全国の地下水マップの一般化	64	58	63	40	29	8	0	5	60	47	51	48	30	20	1	6
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術	58	69	65	43	31	14	1	3	54	54	64	46	31	26	4	1
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術	59	55	59	46	18	12	1	7	54	53	65	45	15	24	1	7
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100年にわたる長期地球環境変動予測	68	68	68	54	72	5	1	6	67	53	62	51	68	14	4	6
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム	56	66	75	47	32	15	6	5	57	57	67	45	29	17	10	7
宇宙・海洋・地球・科学基盤	623	氷海域（氷海下含む）における海洋環境モニターや海底探査（石油、天然ガス、鉱物資源等）技術	71	72	74	48	69	22	13	4	65	68	65	55	61	34	11	4
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機（AUV）等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム	76	74	71	43	51	20	11	6	71	69	67	50	49	38	9	8
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能30mで常時観測する技術	55	62	62	43	54	12	8	6	56	57	65	53	55	17	10	6
農林水産・食品・バイオテクノロジー	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム	53	67	63	54	46	18	7	7	60	61	70	61	39	23	9	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.7 領域 7: サークュラーエコノミー推進に向けた科学技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
環境・資源・エネルギー	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション	50	68	54	42	29	27	6	6	48	65	62	43	27	36	7	6
	216	大気から回収されたCO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料（航空機燃料など）の製造	52	69	64	34	31	17	3	3	48	56	66	41	35	29	4	3
	237	海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術	46	63	56	31	31	24	9	6	48	50	54	35	31	30	17	6
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術	56	77	69	58	27	31	3	5	53	70	75	58	27	44	5	5
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術	50	58	63	37	40	33	19	12	52	42	56	46	38	42	29	12
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理	45	43	57	53	26	40	9	4	42	42	58	47	28	49	11	4
マテリアル・デバイス・プロセス	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対2018年比で10分の1以下となる燃料電池	61	75	76	53	31	8	2	2	58	72	72	51	35	20	2	2
	479	CO ₂ の還元による再資源化（燃料や化学原料を合成）をエネルギー効率20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成	65	69	66	40	23	5	1	2	58	60	67	40	29	19	3	4
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料	49	60	55	42	37	15	3	5	48	56	57	39	35	31	7	5
農林水産・食品・バイオテクノロジー	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術	69	66	68	41	27	20	5	5	68	66	62	50	34	31	12	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.8 領域 8: 自然災害に関する先進的観測・予測技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
宇宙・海洋・地球・科学基盤	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはそうしない火山を見い出すための切迫度評価	83	68	69	56	29	17	8	6	79	61	67	54	25	30	13	8
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5～10万年前の年代測定精度を向上させる技術	78	71	71	39	37	11	4	7	75	60	61	41	30	13	8	7
	632	マグニチュード7以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期（30年以内）、被害の予測技術	68	55	54	46	30	19	10	12	64	49	47	42	28	28	15	13
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術	68	68	63	48	30	7	2	5	64	56	52	49	31	15	1	6
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雪、落雷、降雪等を予測する技術	72	75	72	53	33	11	1	4	70	72	74	56	34	20	4	2
都市・建築・土木・交通	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術	54	68	64	54	20	18	2	2	60	60	64	54	20	30	6	6
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した可道設計技術	70	60	60	60	15	15	0	3	70	58	60	65	13	25	5	3
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術	71	68	61	49	17	20	2	5	66	63	59	49	12	37	2	5
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測	55	75	64	52	21	7	0	2	66	61	73	54	21	23	4	5
	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術	57	57	58	43	15	21	9	9	53	43	55	51	26	32	13	9

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.9 領域 A:新たなデータ流通・利活用システム

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
ICT・アナリティクス・サービス	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術	77	65	57	27	29	15	13	3	66	46	51	35	28	27	22	4
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術	73	69	61	34	33	19	19	2	70	54	57	34	33	28	29	4
	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少	56	39	45	42	57	29	14	8	59	34	44	40	50	33	17	8
	349	プライバシーを保護しつつ、PCや個人用IoT機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム	62	68	62	45	54	49	28	3	62	49	59	42	48	65	37	3
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性（政治、経済学術、等）に応じて分析する技術（自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術を含む）	77	77	69	40	46	31	31	3	70	54	61	46	43	47	37	3
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）	63	61	63	42	44	46	29	1	57	49	54	43	47	74	44	4
	387	AI技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム（法令文書が紙媒体前提からリンクドデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることに伴う）	64	58	59	35	20	64	28	4	65	45	57	42	20	77	35	4
健康・医療・生命科学	94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム	50	49	60	41	45	38	27	6	50	49	59	45	45	46	30	7
都市・建築・土木・交通	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図	59	56	62	56	41	35	21	9	53	47	65	62	35	53	21	9
宇宙・海洋・地球・科学基盤	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形で要約作成や情報媒体間変換・関連付け（実験結果の図から物理量を読み取る等）を行う知識集約型のデータマイニング技術	66	56	52	34	30	17	13	3	66	40	48	39	31	24	17	2

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.10 領域 B: 人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
ICT・アナリティクス・サービス	306	ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術	71	68	60	30	30	15	21	3	64	48	49	36	27	27	31	7
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及	51	63	57	37	32	42	33	5	49	49	58	40	30	59	44	7
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体的所有主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術	69	78	66	42	35	36	35	4	66	66	56	47	35	53	40	5
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・算力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス（消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される）	65	79	75	44	37	20	20	2	69	61	61	44	37	44	37	4
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置	64	68	60	33	31	19	26	6	58	57	60	38	31	38	35	5
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント（受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる）	65	67	63	31	24	18	22	6	53	53	60	42	30	31	31	6
健康・医療・生命科学	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手	58	71	61	39	34	16	18	6	56	59	58	42	34	32	27	7
農林水産・食品・バイオテクノロジー	115	人間を代替する農業ロボット	67	79	76	56	34	32	8	4	69	74	74	56	31	45	9	7
マテリアル・デバイス・プロセス	459	運動や記憶、情報処理、自然治療など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型HMI（ヒューマン・マシンインターフェイス）デバイス	70	70	61	44	33	26	21	4	63	57	56	45	30	43	36	4
都市・建築・土木・交通	593	知能化された無限定環境（未知環境）での自律移動が可能な災害対応ロボット	49	63	67	35	18	22	14	6	53	47	61	43	24	35	22	6

※ 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.11 領域 C: 次世代通信・暗号技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の 育成・ 確保	研究 開発費 の拡充	研究 基盤 整備	国内 連携・ 協力	国際 連携・ 標準化	法規制 の整備	ELSI の対応	その他	人材の 育成・ 確保	事業 補助	事業 環境 整備	国内 連携・ 協力	国際 連携・ 標準化	法規制 の整備	ELSI の対応	その他
ICT・ アナリティクス・ サービス	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現	44	56	56	39	53	44	19	3	46	51	58	45	52	51	21	4
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅	42	56	54	34	49	35	11	3	42	48	52	38	46	44	16	4
	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術	61	75	69	46	67	33	8	1	59	58	61	50	57	44	10	3
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術	62	67	61	48	51	25	6	2	62	54	59	58	54	32	9	2
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトリクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術	52	73	68	44	38	11	5	2	50	57	64	49	46	16	7	3
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信	61	69	69	47	43	19	6	3	55	57	63	51	41	27	9	3
	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術	54	58	58	37	47	8	3	2	51	47	56	39	48	12	7	4
マテリアル・ デバイス・プロセス	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス	62	64	59	34	27	2	2	5	57	55	56	40	34	7	2	3
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術	72	65	65	39	39	4	2	2	68	57	58	45	43	13	2	3
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ	69	61	58	38	35	10	4	3	68	57	52	45	38	21	7	3

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.12 領域 D: 交通に関するヒューマンエラー防止技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
都市・建築・土木・交通	573	自律航行可能な無人運航商船	36	64	53	38	59	50	16	7	33	50	62	41	57	69	19	3
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機	43	67	63	37	50	50	24	6	50	48	57	41	50	69	24	6
	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転	42	51	53	37	19	44	25	7	34	53	53	42	15	58	32	8
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)	37	54	49	51	21	49	17	3	38	49	57	51	25	70	22	6
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム	47	56	49	30	40	30	7	5	47	53	49	44	42	37	5	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.13 領域 E: ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
健康・医療・生命科学	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング	61	77	68	45	34	22	20	3	62	66	65	51	32	34	30	5
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測	69	80	67	47	37	14	16	3	67	70	64	51	34	23	22	3
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法	63	70	66	44	38	14	13	8	63	57	61	49	38	27	23	8
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法	74	76	68	51	29	14	14	5	74	68	66	56	29	22	18	5
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明	62	70	68	49	30	16	21	6	63	63	68	50	31	25	29	6
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法	68	77	68	46	33	11	12	5	67	68	67	49	34	19	18	7
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法	74	68	67	49	40	22	30	6	72	63	63	49	34	35	37	5
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法	72	78	71	50	49	24	26	4	71	70	67	50	46	32	33	5
	80	Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療	58	60	64	46	35	27	31	6	58	53	63	53	34	35	37	5
	87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術	71	69	66	46	43	21	22	5	65	58	61	52	43	31	28	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.14 領域 F: 生態系と調和した持続的な農林水産業システム

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
農林水産・食品・バイオテクノロジー	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)	62	70	61	38	44	57	47	6	52	48	47	36	34	67	54	7
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出	57	56	54	36	23	26	24	7	56	39	50	39	25	36	24	11
	103	完全不妊養殖魚	54	54	55	33	25	27	19	6	54	50	49	37	24	35	25	8
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術	57	59	61	32	24	14	9	4	53	50	53	40	33	21	16	5
	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム	66	62	72	48	36	20	5	9	65	63	71	55	35	26	9	11
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術	61	63	58	34	25	24	19	4	58	58	57	33	32	29	25	11
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えばフード3Dプリンターのような)	59	54	54	44	24	28	15	6	56	59	57	43	24	40	22	9
	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン	52	47	50	44	30	36	9	9	55	45	48	47	29	44	17	8
	159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明	55	64	58	39	28	9	7	4	58	50	52	42	31	16	11	5
	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)によるCO ₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム	59	67	63	39	31	24	16	6	56	62	59	41	34	37	24	7

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.15 領域 G: 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段								社会的実現に向けた政策手段							
			人材の育成・確保	研究開発費の拡充	研究基盤整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他	人材の育成・確保	事業補助	事業環境整備	国内連携・協力	国際連携・標準化	法規制の整備	ELSIの対応	その他
環境・資源・エネルギー	194	太陽熱等を利用した水素製造技術	44	62	48	34	31	27	3	6	33	50	62	38	30	39	5	10
	201	50MW級洋上浮体式風力発電	29	53	51	34	29	29	8	5	29	56	64	37	26	47	11	6
	202	10MWクラス以上の出力を有する波浪、潮流、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術	38	56	55	39	27	27	5	6	38	55	62	39	26	36	11	6
	219	ウインドファーム用の直流送電ケーブルシステム	33	44	42	40	33	27	3	8	30	46	61	38	31	37	7	6
	220	現在の275kV CVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ66-77kV超電導送電ケーブル	38	62	54	36	32	15	3	8	42	54	60	38	33	28	6	9
	221	自動車の走行中の非接触充電技術	37	60	58	43	39	45	6	8	34	58	72	50	40	63	11	6
	223	5MW級の電力貯蔵用超電導フライホイール	33	58	59	32	20	12	2	8	36	49	58	33	23	19	2	8
	224	数十kWh規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム	45	59	53	37	24	13	0	6	38	53	59	40	23	26	1	7
マテリアル・デバイス・プロセス	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が500kmに相当)の性能をもつ高容量高出力電池	69	79	82	54	31	17	1	2	63	71	73	60	39	26	4	2
	478	高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド	46	58	57	40	23	21	2	5	43	52	62	38	20	37	3	5

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

2.16 領域 H: 宇宙と人類の起源を解く基礎科学

	ID	科学技術トピック	科学技術的実現に向けた政策手段							
			人材の 育成・ 確保	研究 開発費 の拡充	研究 基盤 整備	国内 連携・ 協力	国際 連携・ 標準化	法規制 の整備	ELSI の対応	その他
宇宙・海洋・ 地球・科学基盤	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立	71	62	58	38	59	6	4	11
	658	量子重力理論の確立・検証	75	44	56	33	49	1	1	12
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明	80	67	70	41	62	1	1	6
	661	ダークマターの正体の解明	80	68	64	42	60	2	1	6
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明	76	69	64	48	60	2	1	7

* 数値は選択した割合(%)を示す(複数選択可)。

3. クローズアップ科学技術領域の概要

領域1 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術

より多様化・複雑化する社会現象（ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ）に対し、情報処理技術と数理科学を駆使してモデル化・シミュレーションすることにより理解し、その制御につなげる科学技術領域

基盤情報技術・システム

モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論

すべての国民がITリテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現とIT人材不足の解消

社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ

社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術

2025

2029 2030

0001

2032

0037

2035

プレシジョン医療の実現や医療の質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による**病歴、薬歴、個人ゲノム情報**の管理システム

法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム（政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む）

情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱
リスクのリアルタイム監視・警報システム

教育にAI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現

フィジカル・サイバー空間のシームレス結合による
インフラのモニタリング、予測、制御技術

フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られた**ビッグデータとAI**による育種の超高速化(テラーメイド)

社会的共通資本のサービス・ソリューション



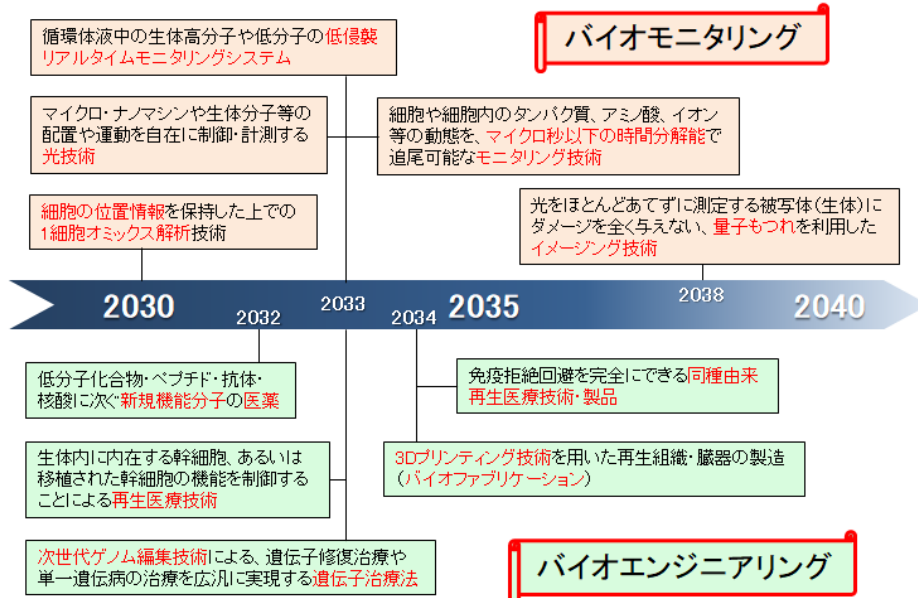
©NISTEP DP172, 2019

ワーククラウドは NISTEP DP172 より引用、以下の領域も同様

©NISTEP RM290. 2020

領域2 プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング

遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮するプレジジョン医療*をめざした、ヒト生体での多様な相互作用を総合的に理解するバイオモニタリングと、その結果に基づき医療技術を開発するバイオエンジニアリングから成る科学技術領域



*プレジジョン医療: 遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮した疾病の予防・治療



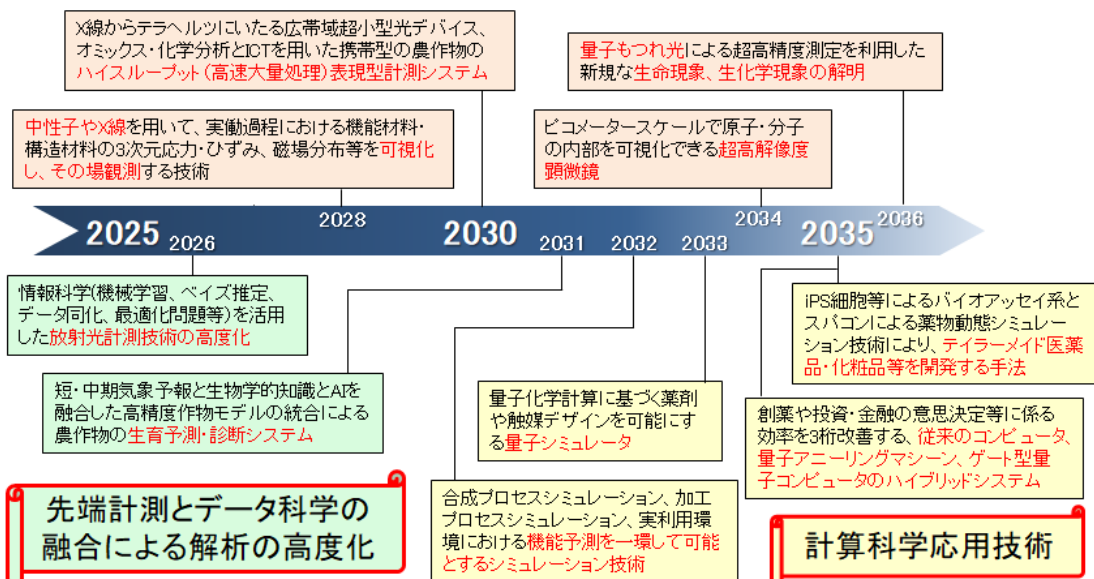
©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域3 先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術

これまで見えなかったものの観測や観察を可能とする先端計測と、シミュレーション・インフォマティクス・AIなどの数理・情報科学を融合することで、科学的解明や創薬・触媒・材料・農作物などの幅広い実用分野での技術開発につなげる科学技術領域

高度計測技術(材料・農作物・生体)

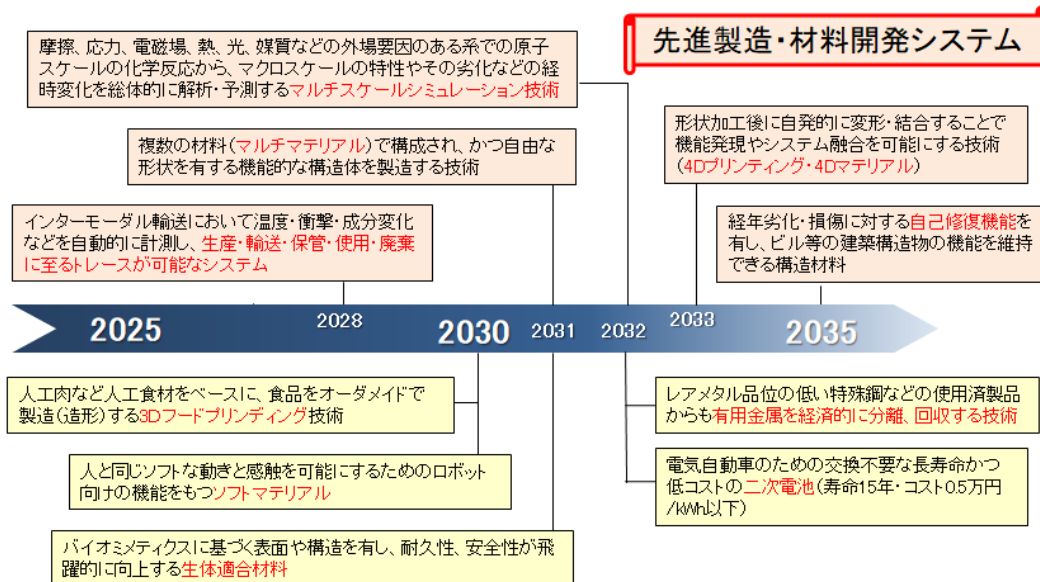


©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

新規構造・機能の材料と製造システムの創成

地球・環境に関わる社会課題の解決や人間のQOL向上など、将来社会の個人や社会の多様なニーズに応え、マス・カスタマイゼーションを可能とする先進製造・流通システムによって、新たな価値創造をもたらすことが期待される、ものづくりの基盤となる要素技術からなる科学技術領域



生活・環境に関わる先進材料技術



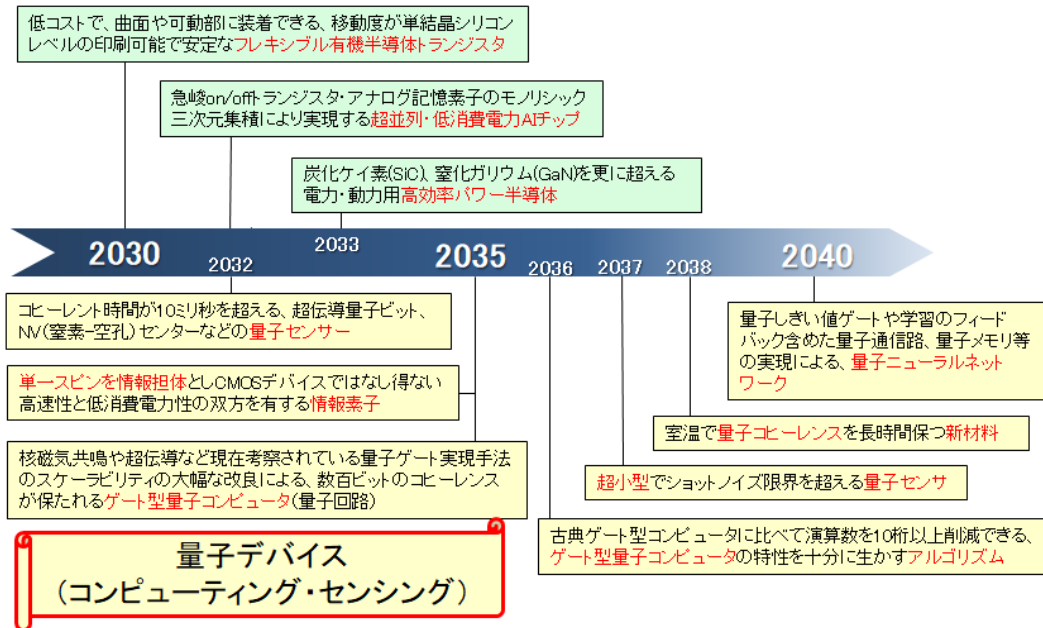
©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290. 2020

ICTを革新する電子・量子デバイス

人間と機械の関係の深化・融合の基盤となるヒューマン・マシン・インターフェースやIoTにおけるセンシング、環境負荷の少ない高度ICTシステムを支える高効率・高速デバイスなどの新たな材料・機能を有する電子デバイス、さらには、膨大な情報処理能力を有し、生体などを高精度・非侵襲で計測・センシングができると期待される量子デバイスに関わる科学技術領域

高機能・省エネルギー電子デバイス



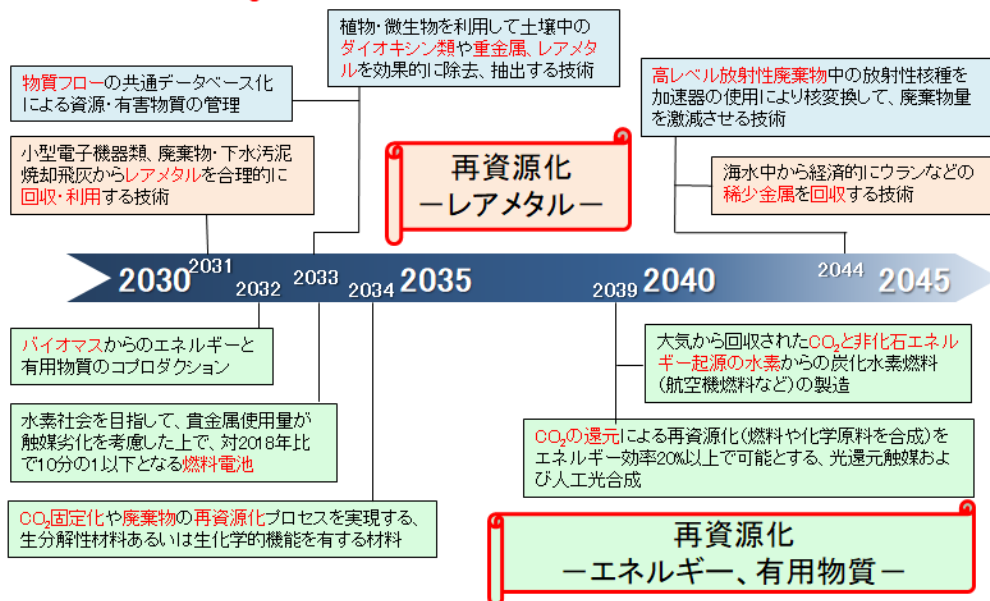
©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域7 サークラーエコノミー推進に向けた科学技術

消費された資源を回収して再生・再利用し続けることで経済成長を実現する新たな経済モデル「サーキュラーエコノミー*」の推進に向けた、再生可能エネルギー、廃棄物の削減・リサイクル、シェアリングなどの多様な技術・システムに関わる科学技術領域

資源、廃棄物、有害物質の管理・処理



*サーキュラーエコノミー: 従来の資源を消費して廃棄するという一方の経済に対して、消費された資源を回収し再生・再利用し続けることで経済成長を実現する新たな経済モデル



©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290. 2020

領域8 自然災害に関する先進的観測・予測技術

わが国で多発する地震・火山噴火・豪雨など自然災害の原因を究明する基礎研究、それら災害の発生予測技術、国土の保全・設計に関わる科学技術が含まれ、誰一人取り残さない災害被害の回避につなげるための科学技術領域

地震と火山の観測・予測

活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5~10
 万年前の年代測定精度を向上させる技術

原子力発電所建屋・配管・原子炉の
デジタルツインを利用した地震被害リ
アルタイム判定技術

地震発生域規模で地殻内の**広域応力場を測定**する技術

日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価

マグニチュード7以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30年以内)、被害の予測技術

2025

2029 2030

2032

2033

2035

2036

高解像度シミュレーションとデータ同化により、100ml以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術

局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく
斜面崩壊および土構造物のリアルタイム
被害予測

流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の
国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術

予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術

長期的な環境保全・維持管理を
統合した河道設計技術

風水害等の予測と国土の保全・設計



©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域A 新たなデータ流通・利活用システム

産業・医療・教育に関わるデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量のデータについて、その保護と利活用とのバランスを図りつつ、収集・共有・分析・活用する科学技術領域

プライバシーを保護しつつ、PCや個人用IoT機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたリアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム

個人データの保護と利活用技術

個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術（安全性レベルの標準化を含む）

研究・社会インフラ整備のためのデータ利活用技術

ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、**国土基盤となる電子地図**

研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム

AI技術などを活用した**法令文書自動作成・変更システム**
(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)

2025

2028

2029

2030

2033

2035

自然画像から所望の情報を抽出できる
画像処理技術

非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる**自然言語処理技術**

ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の**信憑性・信頼性**を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)

あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少

文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形で要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う**知識集約型のデータマイニング技術**

多種多様なデータソースの利活用技術



©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術

自律化、情報端末化、ネットワーク化するロボットを人間社会に溶け込ませて活用することにより、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を支援・拡張する科学技術領域

産業活動を支援するロボット技術

当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、
等身大の **パーソナルロボット** や **テレプレゼンスロボット** の開発と普及

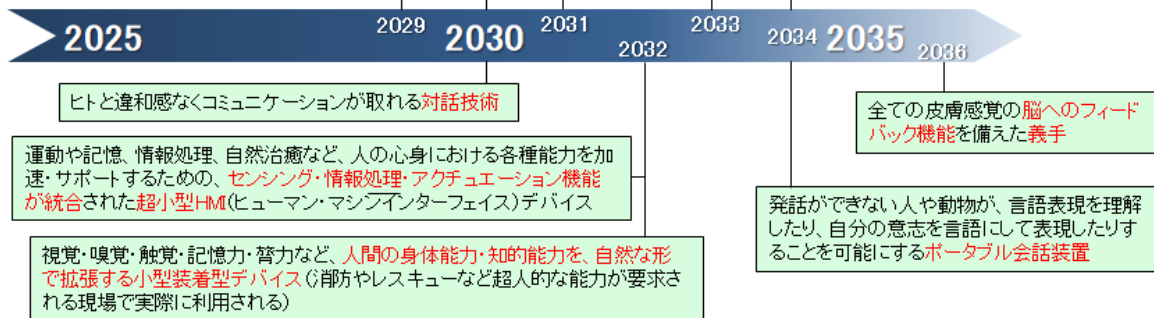
表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない**対話的なバーチャルエージェント**(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)

人間を代替する農業ロボット

労働力確保と災害に対応する ロボット技術

誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体賃貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる**身体共有技術**

知能化された無限定環境(未知環境)での
自律移動が可能な災害対応ロボット



個人の能力を支援・拡張するロボット技術



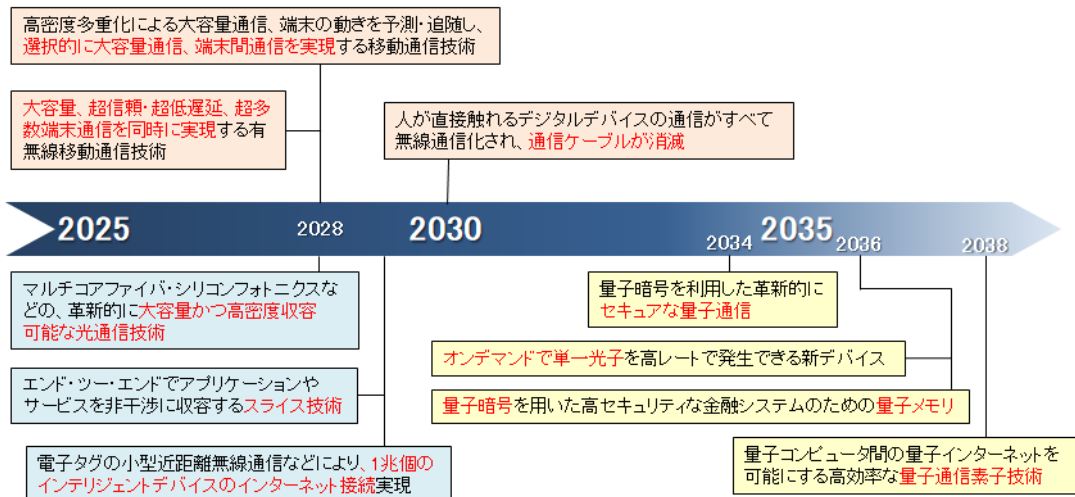
©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

次世代通信・暗号技術

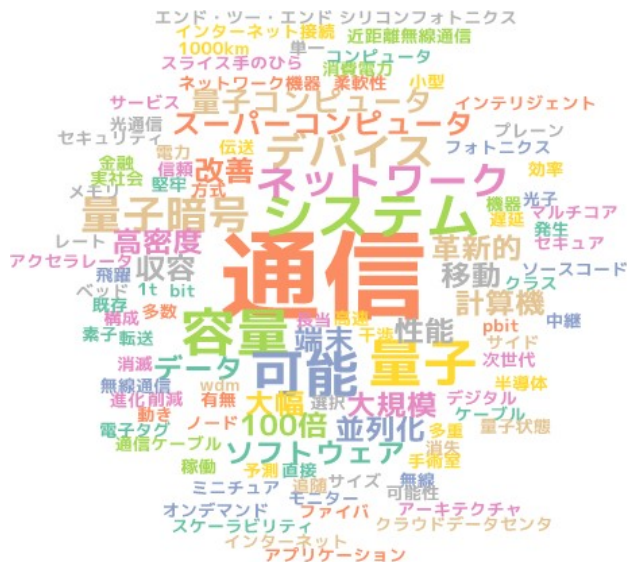
データ利用が増大する将来社会に向け、生活および産業全般に及ぶインフラとして不可欠となる、高速・大容量データが利用可能な無線・有線および移動体に関する次世代の通信技術、広範な分野でのデータ利用におけるセキュリティを支える高度な暗号技術からなる科学技術領域

次世代型有無線・移動通信技術



ネットワークインフラの高度化技術

量子通信・暗号技術



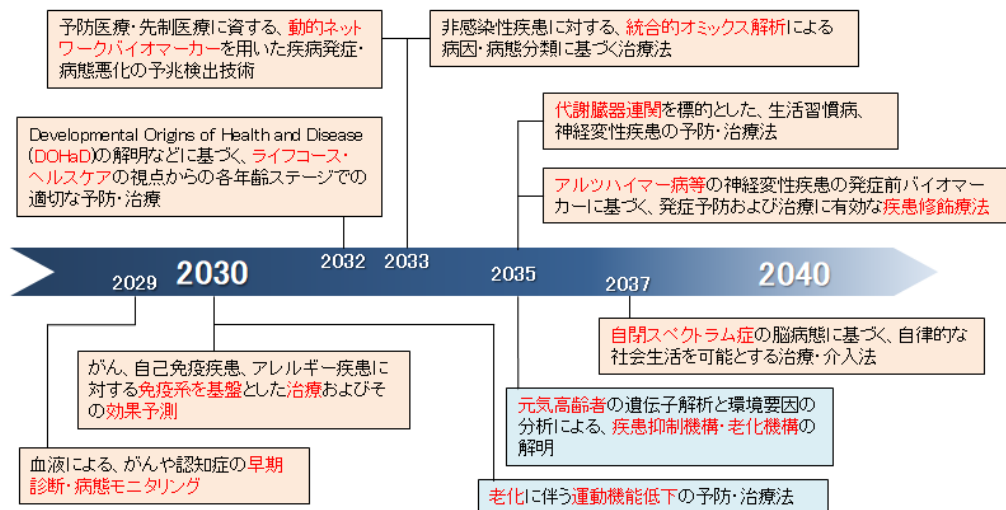
©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域E ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法

健康寿命の延伸をめざした生涯にわたる健康支援（ライフコース・ヘルスケア）のために、ヒトの胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえ、各年齢ステージでの疾病の適切な予防・治療を施すというライフコース・アプローチの概念に基づいた、疾病に関する遺伝的要因、環境要因、社会的要因の研究、老化・機能低下のメカニズム研究、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発に関する科学技術領域

各年齢ステージでの疾病予防・診断・治療技術



老化対策技術

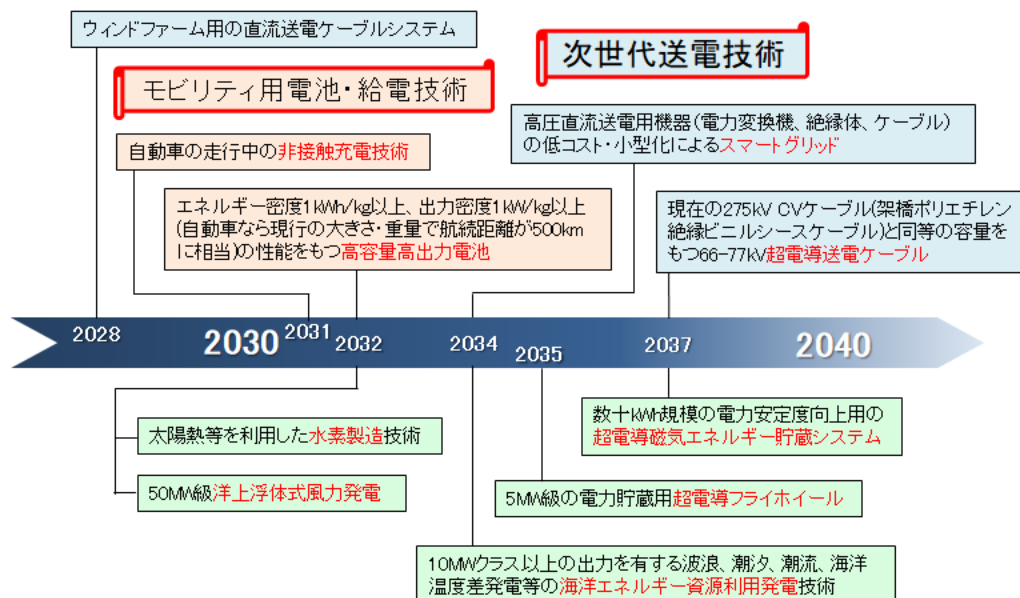


©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域G 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術

持続可能な社会を構築するために、生活や産業の基盤となる将来のエネルギー技術として、CO₂を排出する化石燃料から脱却し、再生可能エネルギーへの転換に不可欠となるエネルギーの要素技術に関する科学技術領域



再生可能エネルギー利活用技術

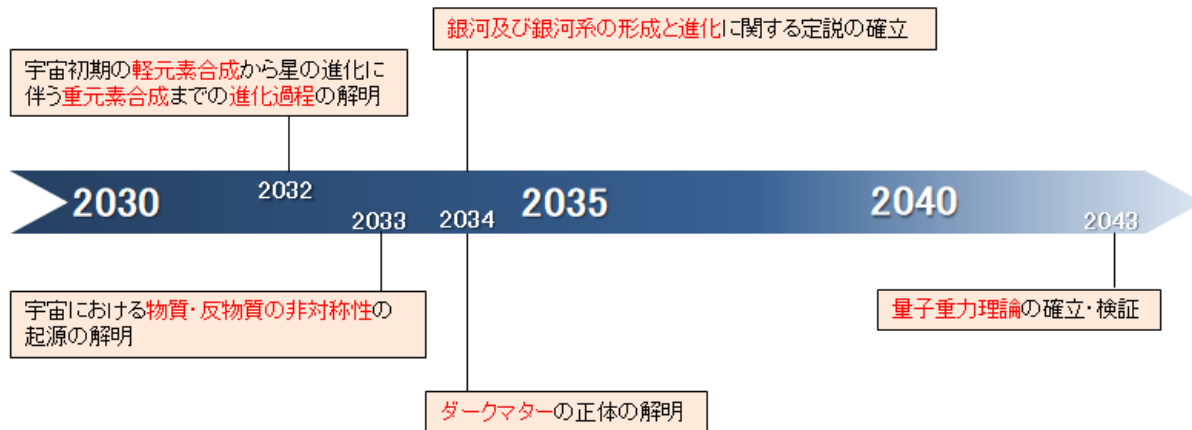


©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

領域H 宇宙と人類の起源を解く基礎科学

21世紀に入り急速に発展した宇宙物理学において、未だ謎となっている宇宙に関わる種々の現象や存在について基礎科学的な解明を目指す科学技術領域



インフレーション
銀河系 元素合成
太陽系 太陽 定説
検証
ダークマター 惑星
構成 銀河
起源 過程
合成 非対称性
反物質 重元素
仮説 物質
初期
宇宙形成
正体
ダークエネルギー
量子重力理論

©NISTEP DP172, 2019

©NISTEP RM290, 2020

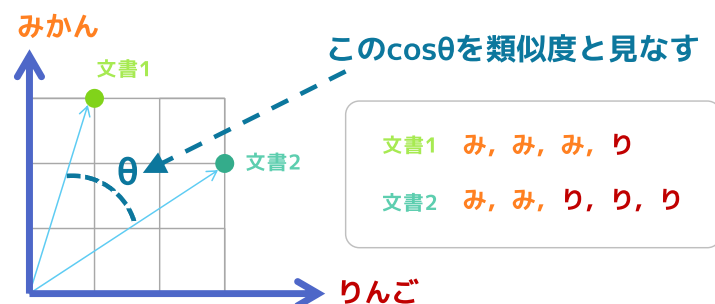
4. 自然言語処理に関する補足

4.1 一般的な文章間の類似度算出の考え方

文章間の類似度算出には様々な手法が存在するが、ここでは代表的な \cos (コサイン) 類似度について紹介する。

\cos 類似度の基礎的な発想は「同じような単語が同じような頻度で出てくるものは似ている」というものである。そこでまず単語それぞれを独立した次元とみなす。すると各文書における単語の出現回数に基づいて、文章を多次元空間上の 1 点にマッピングすることが可能になる。このとき、同じ単語が同じような頻度で使われていると、ベクトル間の内積 (\cos) が 1 に近づく。一方で単語の重複が無いような場合は 0 に近づく。単語の出現回数は 0 を含む正の整数値であるため、完全に独立ならゼロ、使用されている単語が同じで、その頻度の割合が同じであれば角度が一致するため 1 を取る。以上より、内積 (\cos) によって「似ていない」「似ている」の類似度を 0 から 1 までの数値で表現できる (資料図表 8)。

資料図表 4.1 \cos 類似度の考え方



4.2 単純な \cos 類似度における課題

このように \cos 類似度は発想が単純で使いやすいため、広く活用されている。しかしながらいくつかの課題も有している。例えば、計算機の中では“A”と“a”、それぞれに別々のコードが割り振られ、異なる記号として扱われる。このように計算機の中で記号とその意味は基本的に乖離している。同様に「みかん」と「ミカン」は人間にとっては多くの場合で同じような概念を指すと期待できるが、記号として異なっているため計算機上では別物として扱われる。ここで \cos 類似度は各「単語」を独立した次元として扱うが、ここでの単語は記号の集合である。したがって「みかん」と「ミカン」は異なる記号の集合となり、類似度はゼロとなる。同様に「細君のバースデーにケーキを購入して帰宅した」「妻のお誕生日にいちごショートを買って帰った」は人間にとっては似たような意味内容を有するが、 \cos 類似度上は単語の重複がないため、類似度はゼロとなる。

4.3 単語の分散表現

こうした課題について、昨今では分散表現と呼ばれる技術を用いた解決法が提案されており、Word2Vec や FastText といったライブラリも公開されている。分散表現は深層学習の核となる技術でもあるニューラルネットワークを応用したもので、単語を何らかのベクトル表現に変換してくれる仕組みと言える。

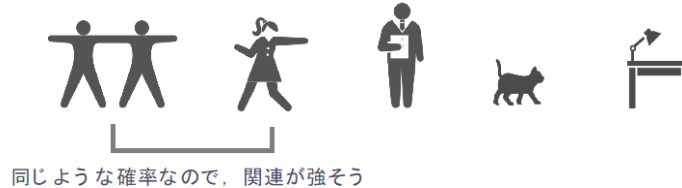
分散表現の算出方法にもいくつかの手法があるが、以下では簡単のために CBOW と呼ばれるタイプの分散表現獲得手法を紹介する。

分散表現を算出するにあたっては、元データとして単語単体ではなく、文章を与える。その上でイメージとしては、計算機はある単語の共起関係 (他のある単語が同じ文章内で用いられた頻度) を記録する。このときに、似たような共起関係をもつ単語は、空間上の似た位置に配置する。というようなものである。「太郎君は次郎君

に〇〇を渡しました。さて、〇〇の中に入る単語は何でしょう。」というような、文章の穴埋めクイズを沢山学習し、〇〇の中に入っても違和感のない単語を見つけ出している、と考えても良いかもしれない(資料図表 9)。

資料図表 4.2 分散表現算出のイメージ

- ・ 有る単語の周りに出てくる単語を学習して穴埋め問題を解く
 - ・ 「大学の構内に入ると〇〇が歩いてきたので、声をかけてみた。」
 - ・ 〇〇 = 友達 30%, 女の子 30%, 先生 20%, 猫 10%, 机 0% …



この分散表現を用いることで、「みかん」と「ミカン」は類似する(意味空間上で近傍に配置される)ことを数値的に表現できるため、分散表現を用いて距離、もしくは \cos 類似度に代表される類似度を算出することで、前述の「みかん」と「ミカン」が独立に取り扱われる問題を回避することができる(資料図表 10)。

資料図表 4.3 分散表現を用いた単語の関係性イメージ



4.4 文章の分散表現

ここで、単語ではなく文章の類似度を測りたい場合、いくつかの方式が考えられる。直接文章の分散表現を算出する doc2vec などの方法のほか、たとえば、各単語の分散表現を線形加算して文章の分散表現とする方法、前述の方式に加えて正規化も行う方法、単語の重要度によって重み付けをした上で加算する方法、そもそも重要単語のみに絞り込んで加算する方法、などもある。

単語のバリエーションが十分に大きい場合は、単語の分散表現を用いる方法を用いると、単語単体の分散表現を得ることも、文章の分散表現を得ることもでき、利便性が高い。ただし、すでに述べたとおり、文章の分散表現獲得に様々な方式が考えられ、それぞれ長短も存在する点には留意が必要となる。

5. クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見

【AI 関連技術の活用と留意点について】

- ✓ AI は、シミュレーションのように物事の原理を積み上げる手法ではなく、要素還元を一切せず、メカニズムがわからない中で結果を出す手法である。近年、AI は社会の中で有効な手法と言われるようになってきたが、本調査においても災害や社会システム、生物の複雑系に関する分類などが的確に抽出されており、有効な分析手段だと考えられる。
- ✓ AI 関連技術で得られた 32 の科学技術トピッククラスターは、ある程度納得のいくものが多かった。しかしながら、科学技術トピッククラスターを特徴づけるための仮称に違和感があるものや、クラスターの特徴とは異なるトピックが紛れ込んでいるクラスターが見られるため、専門的視点からクラスターを精緻化して適切な名称を付与することが必要である。
- ✓ クラスター内のトピック群をどう束ねるかが重要だが、見る人によって異なるので、トピック群をよく見て上位概念化する必要がある。
- ✓ 分野横断・融合的領域を見出す目的とすると、32 の科学技術トピッククラスターをみると、中心となるデルファイ分野が見えるので、この中から 10 程度の領域を選ぶのであれば、従来の分野がベースとなるものが 5 で、それに横串となるものが 5 のイメージである。
- ✓ 「融合」はずいぶん前から言われていることで、必ずしも「融合」や「分野横断」にとらわれずに、新領域を見つける方が重要である。
- ✓ AI の生成したクラスターには一見クラスターの特徴とは異なるワードやトピック含まれるが、それらを気づきとして捉えて、新たな領域を創出できる可能性がある。
- ✓ 環境維持、サステナブルなど社会との関りやビジョンとの関係も大切である。
- ✓ 領域設定は目的によって異なるため、名称にしっかり反映することが重要である。

【主な科学技術トピッククラスターの妥当性について】

以下に記載された 32 の科学技術トピッククラスターは、本編の図表 6-1、6-2、6-3、6-4 のクラスターに相当する。

- ✓ クラスターNo.2 の内容を見ると、人体を細分化していったところの、それぞれのレベルのメカニズムと測定の事柄である。生体の様々なレベルでの状態把握、病態把握ともいう。細分化したレベルでの状況の把握と計測がキーワードとなる。
- ✓ No.3、No.25 については妥当であり、科学基盤分野の観点からも外れていない内容である。特に分野横断的の共通基盤として先端計測は重要である。
- ✓ No.4 については、“何かを可能にする材料・プロセス”ということで、高効率化・低コスト化など特に実用を見据えたトピック群で、他の科学技術の基盤になっている。
- ✓ ICT 関連クラスターの相違を見ると、No.13 は全てデータであり、データそのものをどうするか、No.5 はデータを活用して未知の現象を解明するクラスターであり、No.9、No.12 はデータを活用する中で、社会の働きかけがニュートラルなものが No.9、社会の働きかけが強いものが No.12 である。働きかけが強いものとして、データドリブン社会のための科学技術という概念整理でよい。
- ✓ No.11 はシステムとして括っており、「食のエコシステム」としてうまく抽出している。
- ✓ No.17 は森林が中心のキーワードである。これは、生態系と都市のバランスに係る内容である。本当の生態系に係るエコシステムというよりは、都市とのバランスとなる。
- ✓ No.19 は ICT と関わる領域で、「広域的な社会システムの評価」がイメージされる。欧州のバイオエコノミー

は、この観点でエネルギーを中心に社会を見ていく。サーキュラーエコノミーと類似した概念である。

6. 調査協力者

科学技術予測調査検討会

氏名(敬称略)	所属および役職(検討会開催時点)
濱口 道成	(国研) 科学技術振興機構 理事長、科学技術予測調査検討会委員長
須藤 亮	COCN 専務理事、(株)東芝特別嘱託、科学技術予測調査検討会副委員長
福井 次矢	聖路加国際病院長
亀岡 孝治	三重大学教授
矢部 彰	(国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長
越塚 登	東京大学大学院 情報学環 教授
榎 学	東京大学大学院 工学系研究科 教授
藤野 陽三	横浜国立大学先端科学高等研究院 上席特別教授
雨宮 慶幸	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 特任教授
大島まり	東京大学大学院 情報学環 / 生産技術研究所 教授
永野 博	日本工学アカデミー 専務理事

デルファイ調査 分野別分科会

氏名(敬称略)	所属および役職(分科会開催時点)
健康・医療・生命科学分科会	
福井 次矢	聖路加国際病院、院長、分科会座長
加藤 忠史	(国研) 理化学研究所 脳科学総合研究センター 精神疾患動態研究チーム シニアチームリーダー
金谷 泰宏	国立保健医療科学院 健康危機管理部 部長
菅野 純夫	東京医科歯科大学 難治疾患研究所 非常勤講師
谷下 一夫	早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 招聘研究員
知場 伸介	(国研) 日本医療研究開発機構 創薬戦略部 創薬企画・評価課 課長
矢部 大介	京都大学大学院 医学研究科 特定准教授
山縣 然太郎	山梨大学大学院 総合研究部 医学域社会医学講座 教授

山口 照英	金沢工業大学 加齢医工学先端技術研究所 所長
山田 康秀	浜松医科大学 医学部 臨床腫瘍学講座、教授
健康・医療・生命科学分科会 「創薬技術、再生・細胞医療、遺伝子治療」細目 ワーキンググループ	
山口 照英(再掲)	金沢工業大学 加齢医工学先端技術研究所 所長、ワーキンググループ長
知場 伸介(再掲)	(国研) 日本医療研究開発機構 創薬戦略部 創薬企画・評価課 課長、ワーキング副グループ長
五十嵐 隆	国立成育医療研究センター 理事長
深尾 立	労働者健康安全機構千葉労災病院 名誉院長
青井 貴之	神戸大学 医学部 iPS 細胞応用医学分野 教授
松山 晃文	藤田保健衛生大学 再生医療学 教授
小澤 敬也	自治医科大学 遺伝子治療研究部 教授
内田 恵理子	国立医薬品食品衛生研究所 遺伝医薬部第1室室長
石井 明子	国立医薬品食品衛生研究所 生物薬品部長
岡部 尚文	中外製薬株式会社 上席執行役員
上野 裕明	田辺三菱製薬株式会社 常務執行役員
健康・医療・生命科学分科会 「老化および非感染性疾患」細目 ワーキンググループ	
山田 康秀(再掲)	浜松医科大学 医学部 臨床腫瘍学講座、教授、ワーキンググループ長
中釜 斉	国立がん研究センター 理事長
落谷 孝広	国立がん研究センター研究所分子細胞治療研究分野 主任分野長
金井 弥栄	慶応大学医学部病理学教室 教授
北野 滋久	国立がん研究センター中央病院先端医療科 医員
佐々木 博己	国立がん研究センター研究所先端医療開発センター バイオマーカー探索TR 分野長
田野崎 隆二	慶応大学輸血・細胞療法センター 教授
土屋 直人	国立がん研究センター研究所 分子発がん研究ユニット ユニット長
富谷 嘉洋	中外製薬株式会社 オンコロジーユニット 部長
長島 健吾	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構統計数理研究所 医療健康データ科学研究センター 特任准教授

農林水産・食品・バイオテクノロジー分科会	
亀岡 孝治	三重大学 教授、分科会座長
加々美 勉	株式会社サカタのタネ 常務取締役
加藤 鐵夫	(一社) 日本木質バイオマスエネルギー協会 副会長
勝川 俊雄	東京海洋大学 産学・地域連携推進機構 准教授
後藤 英司	千葉大学大学院園芸学研究科 教授
高野 誠	(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門 主席研究員
西出 香	オランダ応用科学研究機構(TNO) 事業開発マネージャー
二宮 正士	東京大学大学院農学生命科学研究科 附属生態調和農学機構 特任教授
渡邊朋也	(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 所長
環境・資源・エネルギー分科会	
矢部 彰	(国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長、分科会座長
入江 一友	(一財) 日本エネルギー経済研究所 常務理事
江守 正多	(国研) 国立環境研究所 地球環境研究センター 副センター長
栗原 正典	早稲田大学 理工学術院 教授
古関 恵一	JXTGエネルギー株式会社 中央技術研究所 技術戦略室 フェロー
高村 ゆかり	東京大学未来ビジョン研究センター 教授
藤井 実	(国研) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室 室長
藤井 康正	東京大学 原子力国際専攻 教授
藤野 純一	(国研) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室 主任研究員
本庄 昇一	東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 部長代理
横張 真	東京大学 都市工学専攻 教授
ICT・アナリティクス・サービス分科会	
越塚 登	東京大学大学院 情報学環 教授、分科会座長
石戸 奈々子	NPO 法人 CANVAS 理事長 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 教授

後藤 厚宏	情報セキュリティ大学院大学・学長
杉山 将	(国研) 理化学研究所 革新知能統合研究センター長 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
高木 聡一郎	国際大学グローバルコミュニケーションセンター(GLOCOM) 教授
田中 圭介	東京工業大学 情報理工学院 教授
田中 秀幸	東京大学大学院 情報学環 学環長／教授
中尾 彰宏	東京大学大学院 情報学環・学際情報学府 教授
中島 秀之	札幌市立大学 理事長(学長)
濱田 健夫	東京大学大学院 情報学環 学際情報学圏 助教
原 辰徳	東京大学大学院 工学系研究科 准教授
比留川 博久	(国研) 産業技術総合研究所 ロボットイノベーション研究センター長
暦本 純一	東京大学大学院 情報学環 教授
マテリアル・デバイス・プロセス分科会	
榎 学	東京大学大学院 工学系研究科 教授、分科会座長
岸本 康男	JFE スチール株式会社 スチール研究所 研究技監
久保 百司	東北大学 金属材料研究所 教授
小山 珠美	昭和電工株式会社 先端技術開発研究所 所長
瀬山 倫子	日本電信電話株式会社 先端集積デバイス研究所 主幹研究員
高井 まどか	東京大学大学院 工学系研究科 教授
高見 知秀	工学院大学 教育推進機構 教授
新野 俊樹	東京大学 生産技術研究所 教授
西川 恒一	株式会社豊田中央研究所 主席研究員
根本 香絵	国立情報学研究所 教授
藤田 大介	(国研) 物質・材料研究機構 理事長特別補佐／先端材料解析研究拠点 拠点長
昌原 明植	(国研) 産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 副部門長
都市・建築・土木・交通分科会	
藤野 陽三	横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授、分科会座長

饗庭 伸	首都大学東京 都市環境科学研究科 教授
石田 哲也	東京大学大学院 工学系研究科 教授
伊藤 正秀	国土交通省国土技術政策総合研究所 研究総務官
腰原 幹雄	東京大学 生産技術研究所 教授
竹内 真幸	清水建設株式会社 フロンティア開発室 海洋開発部 上席エンジニア
中村 いずみ	(国研) 防災科学技術研究所 地震減災実験研究部門 主任研究員
古川 敦	(公財) 鉄道総合技術研究所 研究開発推進部長
森川 高行	名古屋大学 未来社会創造機構 教授
吉田 憲司	(国研) 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 航空プログラムディレクター 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
宇宙・海洋・地球・科学基盤分科会	
雨宮 慶幸	高輝度光科学研究センター 理事長、分科会座長
伊藤 聡	(国研) 物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門 情報統合型物質・材料研究拠点 拠点長
金谷 利治	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授 J-PARC 物質・生命科学実験施設 ディビジョン長
河野 健	海洋研究開発機構 研究担当理事補佐
武田 哲也	防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター (兼)地震津波防災研究部門 主任研究員
野崎 光昭	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授、研究支援戦略推進部主任 URA
古谷 研	創価大学大学院 工学研究科 教授
本間 正修	(国研) 宇宙航空研究開発機構 元理事
湯本 潤司	東京大学大学院 理学系研究科 教授

大学、研究開発法人

(50 音順)

氏名(敬称略)	所属および役職(2020 年 3 月時点)
上田 泰己	(国研)理化学研究所 合成生物学研究チーム チームリーダー
梅北 典子	(国研)産業技術総合研究所 企画本部 広報サービス室 著作物転載担当
岡 正義	(国研)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 構造安全評価系構造解析研究グループ長
小笠原 敦	滋賀医科大学 医学研究監理室 室長・特任教授

加藤 重治	(国研)理化学研究所 理事
金丸 正剛	(国研)産業技術総合研究所 理事
境野 妙子	(国研)量子科学技術研究開発機構 経営企画部 広報課
宍戸 みどり	(国研)理化学研究所 仁科加速器科学・数理創造研究推進室
泰地 真弘人	(国研)理化学研究所 生命機能科学研究センター 計算分子設計研究チーム チームリーダー
高里 実	(国研)理化学研究所 ヒト器官形成研究チーム チームリーダー
高橋 涼香	(国研)理化学研究所 生命機能科学研究センター センター長室 広報グループ
瀧澤 太郎	(公財)鉄道総合技術研究所 情報管理部(知的財産) 主査
中道 康文	(国研)物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室
松橋 信平	(国研)量子科学技術研究開発機構 経営企画部 上席研究員・広報課長
三上 亜矢	(国研)海洋研究開発機構研究推進部 推進1課
村田 紘美	(国研)理化学研究所 仁科加速器科学・数理創造研究推進室

客員研究官

(50 音順)

氏名(敬称略)	所属および役職(2020 年 3 月時点)
芦野 俊宏	東洋大学 国際学部 教授
安藤 寿浩	(国研)物質・材料研究機構 グループリーダー
鷺見 芳彦	夢マネジメント 代表
古川 英光	山形大学大学院 理工学研究科 教授
本間 央之	協和キリン株式会社 研究開発本部 オープンイノベーション部 マネジャー

謝辞

本調査研究にご支援いただいた科学技術予測調査検討会の皆様、デルファイ調査分科会とワーキンググループの専門家の皆様、大学および研究開発法人の専門家の皆様に深謝いたします。

デルファイ調査を担当された、科学技術予測センターの横尾淑子センター長をはじめとするセンターの皆様、赤池伸一 上席フェローに深謝いたします。

また、本報告をとりまとめるにあたり、多様かつ貴重なご意見をいただいたNISTEPの磯谷桂介所長、角田英之総務研究官をはじめとする皆様にも深謝いたします。

調査体制、執筆担当

2020 年 6 月現在

重茂 浩美 科学技術予測センター 上席研究官

(調査設計、クラスターの定量・定性分析とクローズアップ科学技術領域の抽出・分析、報告書執筆・全体とりまとめ)

蒲生 秀典 科学技術予測センター 特別研究員

(クラスターの定量・定性分析とクローズアップ科学技術領域の抽出・分析、報告書執筆)

小柴 等 第 2 調査研究グループ 上席研究官

(科学技術トピックの自然言語処理・類似度分析・クラスタリング、報告書執筆)

調査資料-290

2050 年の未来につなぐクローズアップ科学技術領域-AI 関連技術とエキスパートジャッジの
組み合わせによる抽出・分析
2020 年 6 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所
重茂浩美, 蒲生秀典, 小柴等

〒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

Close-up science and technology areas for the future in 2050-Extraction and analysis through
a combination of AI-related technologies and expert judges-
March 2020

OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori, KOSHIBA, Hitoshi
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan

<http://doi.org/10.15108/rm290>

