

## 第 I 編 全体結果



## 1. 調査の概要

### 1-1. 背景

我が国では、1995年に制定された科学技術基本法の下、長期的展望を視野に入れた科学技術戦略が「科学技術基本計画」として5年ごとに策定され、科学技術の推進が図られてきた。経済の低迷、国際競争の激化、地球規模問題の深刻化等を背景に、2000年代後半から従来にない枠組みで新たな価値を生み出そうというイノベーション創出への期待が高まり、2006年度からの第3期科学技術基本計画においては「科学の発展と絶えざるイノベーションの創出」との言及がなされた。また、2008年の研究開発力強化法では、研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進は、「我が国における科学技術の水準の向上及びイノベーションの創出を図ることを旨として、行われなければならない」ことが、基本理念として掲げられた。そして、2011年度からの第4期科学技術基本計画においては、基本方針の一つとして「科学技術とイノベーション政策の一体的展開」が掲げられ、この基本方針の下、イノベーションを総合的に推進することを目的とした「科学技術イノベーション総合戦略」の策定が、2013年より毎年行われている。

こうした科学技術政策から科学技術イノベーション政策への展開は、科学技術予測の在り方にも大きな影響を与えた。すなわち、社会や科学技術の変化の兆候をどのようにして捉えるのか、そうした変化はどのようなイノベーションにつながるのかという問いへの対応が、科学技術予測に求められるようになった。これまで焦点が当てられてきた社会・経済ニーズへの対応、すなわち顕在化あるいは既に認識されている課題の解決に資する科学技術に加えて、潜在的な社会課題や科学技術の進展がもたらす社会変化の可能性も考慮することが期待されている。

### 1-2. 「科学技術予測調査」における本調査の位置付け

我が国では、1971年からいわゆる科学技術予測調査が実施されており、科学技術・学術政策研究所は、1992年の第5回調査以来、将来の科学技術発展の方向性に関する大規模調査を5年ごとに実施してきた。それまで技術の実現時期の予測が中心であった調査を拡充させ、近年は社会・経済ニーズの明確化や目指すべき将来社会の実現に向けたシナリオ作成などの複数手法を併用し、社会課題解決を中心に据えた調査を実施してきた。しかし、社会課題からのバックキャストにより科学技術発展の方向性を捉える場合、思考が想定範囲内に留まり、科学技術がもたらすかもしれない新たな可能性や問題点にまで考えが至らないおそれがある。例えば、昨今のICTの急速な発展とそれに伴う社会の様々な場面での変化は、技術シーズの発展を背景に需要側の発想が加味されて新たな価値を生み出している典型的な事例と言える。一方でこうした変化は、個人情報取り扱い、情報漏洩、ネット犯罪など新たな社会課題を生み出した。併せて、膨大なデータを蓄積・分析するためのハード及びソフト技術、認証技術など、新たな技術的課題も顕在化した。科学技術と社会課題の関係は、双方のマッチングという相対する関係、あるいは、社会課題から科学技術への展開といった一方通行の関係ばかりでなく、相互に影響を与えつつ科学技術・社会の双方が発展していくという関係も生まれている。

そこで、今般の第10回科学技術予測調査(以降、「予測調査」)においては、今後想定される社

会の変化を取り込んで将来像を描き(将来社会ビジョンの検討)、それを将来必須となる科学技術トピックの抽出と評価(分野別科学技術予測)に反映させること、さらに、こうした社会の変化や科学技術の発展の方向性を繋ぐ形で将来社会の姿を描くこと(シナリオプランニング)を試みた。また、予測調査全般にわたる俯瞰的なテーマ・視点として、「世界の中の日本」を掲げ、グローバル化の更なる進展が想定される中での我が国の位置づけや役割の検討を行った。

将来の確実あるいは不確実な社会変化や科学技術進展の可能性を考慮し、将来ビジョンから科学技術の発展、それらの結果を踏まえたシナリオ作成を順次実施し、さらに国際的視点からの検討を中心に据えたことが今般の予測調査の特徴である。

#### パート1[ビジョン]: 社会ビジョンに関する検討

人口構成及び産業構造の変化を軸とし、コネクタ化(人やモノが繋がる)の進展も踏まえ、将来社会の姿や価値観の変化について、ワークショップを開催して検討を行う。

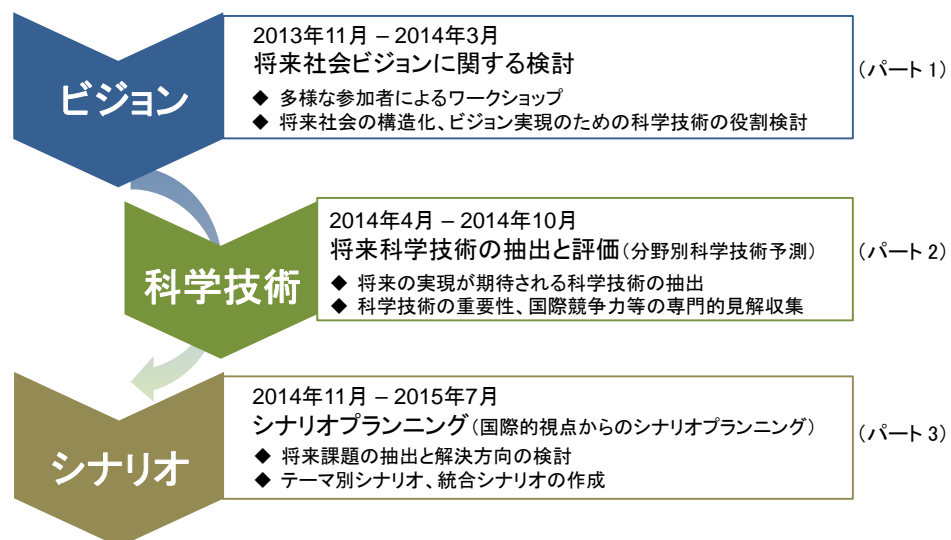
#### パート2[科学技術]: 科学技術の抽出と評価(分野別科学技術予測)

実現が期待される科学技術を抽出し、それらの重要度、国際競争力、実現可能性等に関する専門家の見解をウェブアンケートにより収集する。

#### パート3[シナリオ]: シナリオプランニング(国際的視点からのシナリオプランニング)

上述のパート1及び2の結果を踏まえ、個別テーマごとに専門家の見解を基に将来課題の抽出及び解決方向を検討した上で、国際的視点からの統合シナリオを作成する。

図 1-1-1 調査の全体像



### 1-3. 目的と特徴

本調査は、1971年公表の第1回技術予測調査から数えて10回目となる分野別科学技術予測である。その目的は、将来社会において重要になると考えられる科学技術に関して専門家の見解を広く収集し、科学技術によるイノベーション創出についての示唆を得ることである。

本調査は科学技術の視点からの検討との位置づけであるため、前回調査\*1で導入した学際的アプローチではなく、既存の科学技術分野に沿って検討する方法をとった。分野構成については、前々回調査\*2の構成を基に統合や分割を行った。特徴は、ICTの急速な発展により膨大なデータが生まれ、有用情報源としてその価値が注目されていることを受け、データサイエンスの視点を各分野で取り入れたことである。また、「将来社会ビジョンに関する検討」において知識産業及び製造業のサービス化をテーマとするワークショップで議論されたサービス化及び情報化の潮流、並びに、インダストリー4.0に代表されるものづくりの新しい潮流を受け、サービス化社会を主題とする分野を新設した。

\*1 NISTEP Report No.140 「将来社会を支える科学技術の予測調査 第9回デルファイ調査」(2010年3月)

\*2 NISTEP Report No.97 「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 デルファイ調査」(2005年5月)

#### 1-4. 方法

本調査では、多数の専門家への繰り返しアンケートを実施する。2050年までの将来社会の姿を展望して重要と考えられる科学技術について、その重要度、国際競争力、実現可能性、推進方策等に関する見解を収集する。

##### (1) 展望期間

2016年から2050年までの将来展望を行う。従来は調査時点から30年間を展望してきたが、今般調査では区切りのよい2050年までを展望する。

##### (2) 調査対象

調査対象は、「分野－細目－科学技術課題(トピック)」という階層構造を持つ。まず、1-3節で述べた点を反映し、以下の8分野を調査対象分野として設定した。ICTについては、データ分析の視点の取り入れを明示する意味から「ICT・アナリティクス分野」とした。一部の製造関連技術については、サービスと一体化したシステムとして議論する必要性から、サービス化社会分野にも含めた。

- ① ICT・アナリティクス分野
- ② 健康・医療・生命科学分野
- ③ 農林水産・食品・バイオテクノロジー分野
- ④ 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野
- ⑤ 環境・資源・エネルギー分野
- ⑥ マテリアル・デバイス・プロセス分野
- ⑦ 社会基盤分野
- ⑧ サービス化社会分野

各分野の検討は、分野別委員会(資料3参照)が担当した。まず、関連学協会における検討、各府省の戦略や審議会の議論などを参考に検討を行い、細目を決定した。続いて、細目ごとに検討を行い、「将来社会ビジョンに関する検討」で抽出した、将来の社会変化に対する対応策(打ち手)

や過去の予測調査で設定した科学技術課題も参照しつつ、1細目 10～20 件程度、1分野 100～150 件程度を目処に科学技術課題(以降、「トピック」という)を設定した。各分野で取り上げる内容の決定は委員会に任され、分野間の調整は行わないことを原則とした。ただし、他分野で取り上げた方が専門性の高い回答が得られると考えられる場合には、適宜分野変更を行った。

本調査では、広範な領域をカバーするため、あるいはより多数の専門家の見解を取り入れるため、一部の分野では分野別委員会とは別のグループを組織してトピック原案の検討を行った。委員会の下にワーキンググループを設置、委員から推薦された専門家への個別の協力依頼、関連研究機関への協力依頼、他機関と共同でのワークショップ実施など、状況に応じ適切な形態・体制により検討を実施した。

本調査で設定した細目及びトピックは、全分野計で 84 細目、932 トピックである(表 1-1-1)。

表 1-1-1 各分野の細目及びトピック数

分野	細目数及び細目詳細	トピック数
ICT・アナリティクス	12 細目 [人工知能、ビジョン・言語処理、デジタルメディア・データベース、ハードウェア・アーキテクチャ、インタラクション、ネットワーク、ソフトウェア、HPC、理論、サイバーセキュリティ、ビッグデータ・CPS・IoT、ICT と社会]	114
健康・医療・生命科学	10 細目 [医薬、医療機器・技術、再生医療、コモンディジーズ・外傷・生殖補助医療、難病・希少疾患、神経・精神疾患、新興・再興感染症、健康・医療情報・疫学・ゲノム情報、生命科学基盤技術、その他]	171
農林水産・食品・バイオテクノロジー	17 細目 [農: 高度生産、作物開発、疾病防除、バイオマス利用、環境保全/食品: 高度生産、流通・加工、食品安全、食品機能性/水産: 資源保全、育種・生産、環境保全/林: 高度生産、バイオマス利用、環境保全/共通: 情報サービス、その他]	132
宇宙・海洋・地球・科学基盤	10 細目 [宇宙、海洋、地球、地球観測・予測、加速器・素粒子・原子核、ビーム応用(放射光)、ビーム応用(中性子・ミュオン・荷電粒子等)、計算科学・シミュレーション、数理科学・ビッグデータ、計測基盤]	136
環境・資源・エネルギー	11 細目 [エネルギー生産、エネルギー消費、エネルギー流通・変換・貯蔵・輸送、資源、リユース・リサイクル、水、地球温暖化、環境保全、環境解析・予測、環境創成、リスクマネジメント]	93
マテリアル・デバイス・プロセス	7 細目 [新しい物質・材料・機能の創成、アドバンスド・マニュファクチャリング、モデリング・シミュレーション、先端材料・デバイスの計測・解析手法、応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野、環境・エネルギー分野、インフラ分野)]	92
社会基盤	7 細目 [国土開発・保全、都市・建築・環境、インフラ保守・メンテナンス、交通・物流インフラ、車・鉄道・船舶・航空、防災・減災技術、防災・減災情報]	93
サービス化社会	10 細目 [経営・政策、知識マネジメント、製品サービスシステム(PSS)、社会設計・シミュレーション、サービスセンシング、サービスデザイン、サービスロボット、サービス理論、アナリティクス、人文系基礎研究]	101
全分野計	84 細目	932

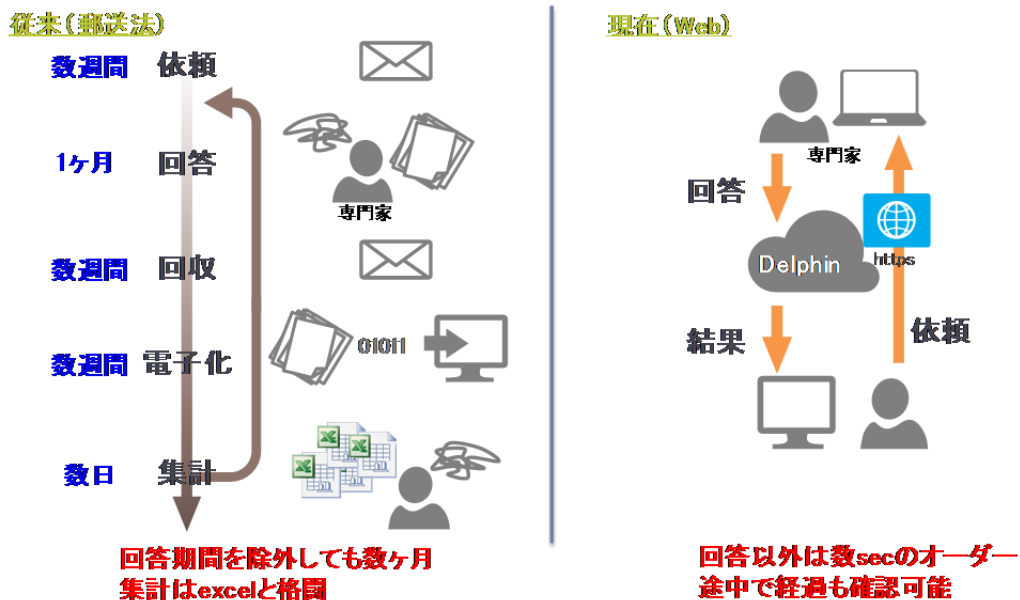
トピック設定方針は以下の通りである。

- ✓ 将来の社会変化への対応として重要、技術起点のイノベーション創出の観点から重要、科学技術の進展にとって重要など、将来社会が必要とすると考えられる科学技術を取り上げる。
- ✓ 科学技術の進展と関連の深い社会制度・システム、市民の意識、社会変化等、科学技術以外の事項も、必要に応じ設定可とする。
- ✓ 細目毎に検討を行うが、細目に収まらないトピックの設定も可とする。
- ✓ 俯瞰性を担保しつつ、今後特に注目すべき事項を入れ込む。
- ✓ 2020年、2030年、2050年頃の(前倒し)実現を意識した設定を行う。

### (3) アンケート方法

本調査では、ウェブアンケートの形式をとった。回答者は、登録サイトにて回答協力者としての登録を行い、その後通知されたサイトにアクセスしてアンケートに回答した。アンケートページは細目単位で構成されており、回答者が分野と細目を選択すると、トピックと質問が順番に表示される(資料1参照)。回答者は、回答する分野を登録時に申請しているが、すべての分野及び細目を選択して回答することができる。ウェブアンケートに移行したことにより、従来の郵送による調査と比べ、調査期間の短縮化、集計結果の速達性の向上が図られた。

図 1-1-2 回答方式の比較



回答者は、科学技術・学術政策研究所が持つ専門家ネットワークの専門調査員(約 2000 名)、関連学協会会員、関連研究機関の研究者、及び分野別委員会から推薦された専門家である。専門調査員及び推薦された専門家に対しては、アンケートサイトを直接案内し、回答への協力を依頼した。関連機関の研究者については、当該機関の担当者を通じて研究者への協力依頼を行っ

た。関連学協会会員については、個人会員を対象にオープン形式で回答協力を募った。具体的には、各学協会事務局の協力を得て、学協会ウェブサイトへの掲載、メーリングリストや役員会などを通じての依頼を行った(協力いただいた学協会については、資料2参照)。広く学協会や研究機関からの協力を得ることにより、専門性の高い回答者を確保することを意図した。

なお、本調査では、従来調査と同様にデルファイ法\*を用いたが、専門性の高い回答を効率的に得ることのできる体制が構築できたと考えられることから、1回目アンケート結果を最終結果として捉えることとし、2回目アンケート結果は差分に関する分析に用いた。

\* デルファイ法(Delphi法):多数の人に同一内容の質問を複数回繰り返し、回答者の意見を収れんさせるアンケート手法。2回目以降のアンケートでは、前回の集計結果が回答者に示される。回答者は、全体の意見の傾向を見ながら自身の回答を再検討することができる。回答者の一部は多数意見に賛同するので、意見は収れんする方向に向かう。米国のランド・コーポレーションが開発した手法で、多くの神々がここに集まって未来を占ったとされる、アポロ神殿のあった古代ギリシャの地名Delfiから命名された。

#### (4)調査項目

調査対象であるトピックに対して、以下の質問項目を設定した。併せて、重要度が最も高いトピックを細目毎に1つ選択し、その技術を実現するために必要とされる要素技術及びその技術の実現によって得られる波及効果を尋ねる質問を設けた。以下に、トピックに対する質問を示す。

##### ○トピックに対する回答者の専門度

トピックに対する回答者の専門度について、以下の選択肢から一つ回答する。

- 高 : 現在、当該トピックに関連した研究又は業務に従事している(文献による調査研究を含む)等により、当該トピックに関連した専門的知識を持っている
- 中 : 過去に当該トピックに関連した研究又は業務に従事したことがある。あるいは、隣接領域の研究又は業務に従事している等により、当該トピックに関連した専門的知識をある程度持っている
- 低 : 当該トピックに関連した専門的な本や文献を読んだり、専門家の話を聞いたりしたことがある
- 全くなし: 専門的知識は全くない(以降の質問には回答しない)

##### ○トピックの研究開発特性

研究開発特性として以下の5項目を取り上げ、項目毎に4段階の選択肢から一つ回答する。分析に当たっては、回答を数値化したスコアを用いる。

###### <研究開発特性>

- 重要度: 科学技術と社会の両面からみた総合的な重要度
- 国際競争力: 日本が外国に比べて国際競争力を有すること
- 不確実性: 研究開発において確率的要素が多く、失敗の許容・複数手法の検討が必要であること
- 非連続性: 研究開発の成果が現在の延長ではなく、市場破壊的・革新的であること
- 倫理性: 研究開発において倫理性の考慮、社会受容の考慮が必要であること



< 選択肢 >

- 非常に高い (4 点)
- 高い (3 点)
- 低い (2 点)
- 非常に低い (1 点)
- わからない

○技術的実現の可能性及び実現予測時期

当該トピックの日本を含む世界のどこかでの技術的な実現の可能性について、以下の選択肢から一つ回答する。「実現する」を選択した場合、続いて、実現予測時期として、2050 年までのある年を回答する。

なお、技術的実現予測時期とは、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う時期（例えば、研究室段階で技術開発の見通しがつく時期）を指す。また基礎的な内容であれば、原理や現象が科学的に明らかにされる時期を指す。

- 実現済
- 実現する
- 実現しない
- わからない

○技術的実現のための重点施策

当該トピックの技術的な実現のため最も重点を置くべき施策について、以下の選択肢から一つ回答する。

- 人材戦略
- 資源配分
- 内外の連携・協力
- 環境整備
- その他

○社会実装の可能性及び実装予測時期

当該トピックの日本社会での実装（日本国内での実装を目的としない、あるいは、実装の場が想定され得ない場合、日本が主体となって行い、海外で実装されることを含む）の可能性について、以下の選択肢から一つ回答する。「実現する」を選択した場合、続いて、実装予測時期として、2050 年までのある年を回答する。

なお、社会実装予測時期とは、実現された技術が製品やサービスなどとして、利用可能な状況となる時期を指す。課題によっては、普及の時期を指す場合もある。また、科学技術以外の内容であれば、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などの時期を指す。

- 実現済

- 実現する
- 実現しない
- わからない

○社会実装のための重点施策

当該トピックの社会実装のため最も重点を置くべき施策について、以下の選択肢から一つ選択する。

- 人材戦略
- 資源配分
- 内外の連携・協力
- 環境整備
- その他

1-5. 実施概要

(1) アンケート実施概要

アンケートの実施時期及び回収状況は以下のとおりである。

1回目アンケート 実施時期：2014年9月1日～30日  
 対象者(登録者)：5237名 回答者：4309名(のべ6078名)

(2回目アンケート 実施時期：2014年10月6日～24日  
 対象者：4309名(のべ6078名) 回答者：1933名(のべ2652名))

回答者数はのべ6078名である。この属性を見ると、年代については30代から50代がそれぞれ2～3割を占める(図1-1-3、表1-1-5)。50代を中心として40代から60代が主な回答者層であった前回調査と比べ、およそ10年若返っている。所属機関種別では、大学などの学術機関が半数近くを占めること、研究開発従事者が8割を占めることは前回調査と同様である。

図 1-1-3 回答者の属性

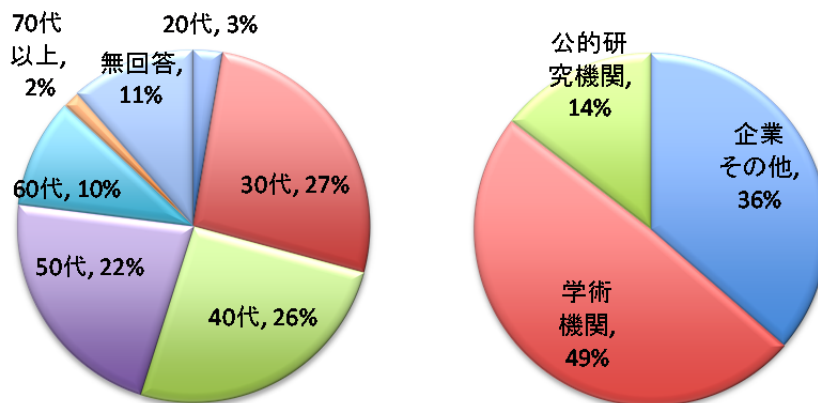


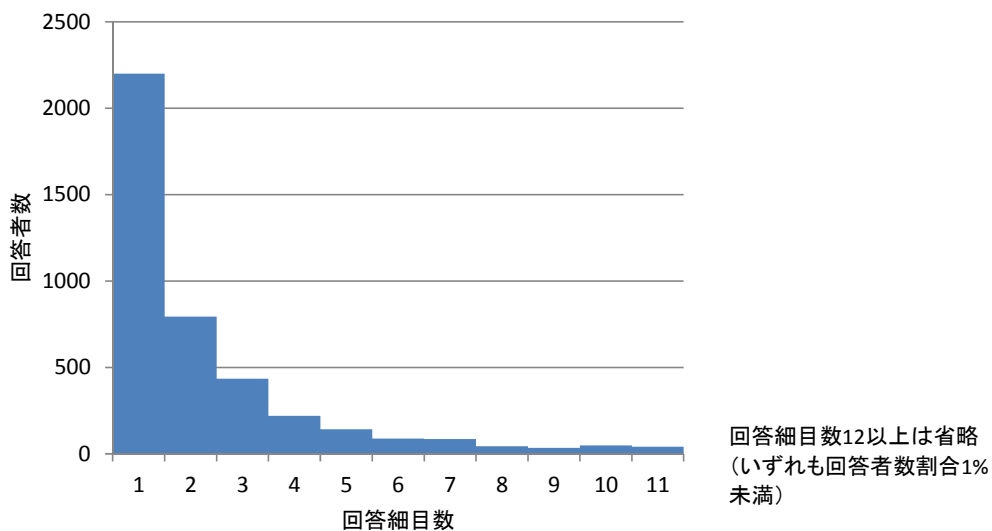
表 1-1-2 回答数

分野	1トピック当たり 回答者数	1人当たり 回答トピック数	参考)1細目当たり トピック数(平均)
ICT・アナリティクス	84	10.2	9.5
健康・医療・生命科学	57	11.1	17.1
農林水産・食品・バイオテクノロジー	32	8.6	7.8
宇宙・海洋・地球・科学基盤	96	9.1	13.6
環境・資源・エネルギー	73	8.2	8.5
マテリアル・デバイス・プロセス	70	9.6	13.1
社会基盤	61	11.1	13.3
サービス化社会	38	11.7	10.1
全分野	64	13.8	11.1

一人当たりの回答トピック数を見ると、1 細目に含まれるトピック数と同程度もしくは若干少なめとなっており(表 1-1-2)、また、一つの細目内のトピックのみに回答した者が 2199 名と全回答者の 5 割を占め、3 細目までの回答者で 8 割に達する(図 1-1-4)。

前回調査の回答者は当該分野の 4~7 割程度のトピックに回答していたことを考慮すると、本調査の回答者は自身の専門に近いトピックのみに回答した、すなわち、本調査においては従来と比較して専門性の高い回答が得られたものと推察される。トピックに対する回答者の専門度の自己申告は、分野全体を見通しての専門度ではなく、細目内での相対的な専門性の程度と考えられる。

図 1-1-4 回答細目数別回答者数



## (2) 実施体制

本調査では、8つの分野別委員会を設置して、調査内容の検討及び結果分析・とりまとめを行った。実施体制を図 1-1-5 に示す。各委員会は、座長 1 名、メンバー 10 名程度から構成される。

第1回委員会では調査対象及び設問の検討を行い、第2回委員会では結果の分析を行った。なお、健康・医療・生命科学分野、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、及びサービス化社会分野では、第1回、第2回において調査対象及び設問の検討を、第3回委員会において結果の分析を行った。表1-1-3に委員会の開催状況を示す。

図1-1-5 実施体制

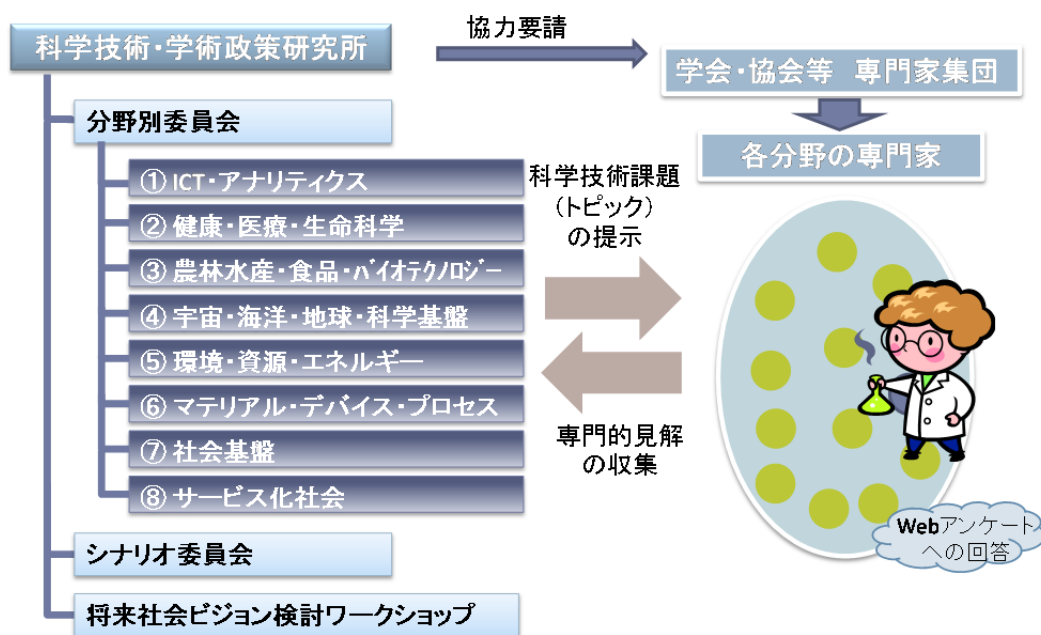


表1-1-3 委員会の開催状況

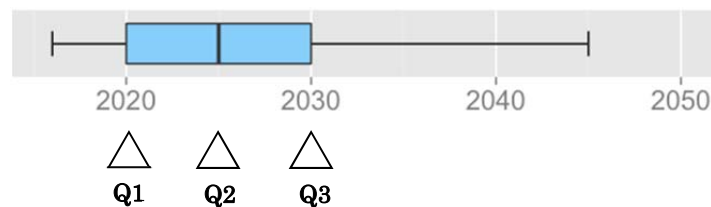
委員会	座長（所属・肩書は2015年3月現在）	会合開催
ICT・アナリティクス	喜連川優（国立情報学研究所長）	第1回:2014年8月1日(金) 第2回:2014年10月27日(月)
健康・医療・生命科学	小此木研二（大阪大学産学連携教授） 高坂新一（国立精神・神経医療センター神経研究所長） *共同座長	第1回:2014年7月29日(火) 第2回:2014年8月19日(火) 第3回:2014年11月11日(火)
農林水産・食品・バイオテクノロジー	亀岡孝治（三重大学教授）	第1回:2014年7月31日(木) 第2回:2014年8月6日(水) 第3回:2014年11月5日(水)
宇宙・海洋・地球・科学基盤	土肥義治（公益財団法人高輝度光科学研究センター理事長）	第1回:2014年7月28日(月) 第2回:2014年10月27日(月)
環境・資源・エネルギー	矢部彰（独立行政法人産業技術総合研究所理事）	第1回:2014年7月30日(水) 第2回:2014年11月12日(水)
マテリアル・デバイス・プロセス	小関敏彦（東京大学副学長・教授）	第1回:2014年7月28日(月) 第2回:2014年10月22日(水)
社会基盤	小池俊雄（東京大学教授）	第1回:2014年8月7日(木) 第2回:2014年10月23日(木)
サービス化社会	持丸正明（独立行政法人産業技術総合研究所サービス工学研究センター長）	第1回:2014年7月31日(木) 第2回:2014年8月7日(木) 第3回:2014年11月4日(火)

### (3) 分析に用いる数値

#### ○トピック間比較

トピック間の比較に当たっては、各トピックが持つ以下の数値を用いる。

- ・ 研究開発特性については、4つの選択肢に割り振られた点数に基づいて算出したスコアを用いる。
- ・ 回答者の専門度、技術的実現の可能性、技術的実現に向けての推進方策、社会実装の可能性、及び社会実装に向けての推進方策の設問については、トピックごとに各選択肢の選択割合を分析に用いる。
- ・ 技術的実現予測時期及び社会実装予測時期については、回答を時期の早い順に並べてその両端の1/4ずつを除いた中間の1/2の値を用いる。中間1/2の両端(Q1~Q3)を回答の幅とし、中央値(Q2)を実現・実装予測時期の代表値として用いる。



実現・実装予測時期の回答を時期の早い順に並べて、  
Q1: 全体の1/4番目に当たる実現・実装予測時期  
Q2: 全体の2/4番目に当たる実現・実装予測時期  
Q3: 全体の3/4番目に当たる実現・実装予測時期

#### ○分野間比較及び細目間比較

分野間比較及び細目間比較に当たっては、当該分野あるいは細目に属するトピックがもつ上述の数値の平均値を用いる。同一分野あるいは同一細目に属するトピック間で傾向が異なる場合があるため、分野間及び細目間の比較は、そうしたトピック間の違いを含んだものとなる。

### (4) 分野名の略称

以降において、適宜、表 1-1-4 に示す略称を用いる。

表 1-1-4 分野の略称

分野名	略称
ICT・アナリティクス分野	ICT
健康・医療・生命科学分野	健康医療
農林水産・食品・バイオテクノロジー分野	農林水産
宇宙・海洋・地球・科学基盤分野	未踏
環境・資源・エネルギー分野	環境エネルギー
マテリアル・デバイス・プロセス分野	マテリアル
社会基盤分野	社会基盤
サービス化社会分野	サービス

表 1-1-5 アンケート回収状況

分野	課題(トピック)数	回答者数	年代							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	研究・開発に従事	主として管理・運営に従事	上記以外の方
ICT・アナリティクス	114	936	4%	24%	26%	23%	7%	1%	15%	40%	52%	7%	82%	11%	6%
健康・医療・生命科学	171	877	2%	28%	26%	23%	7%	1%	13%	42%	51%	8%	71%	16%	13%
農林水産・食品・バイオテクノロジー	132	496	2%	25%	27%	23%	9%	2%	12%	25%	44%	31%	79%	16%	6%
宇宙・海洋・地球・科学基盤	136	1,431	3%	25%	26%	22%	10%	1%	12%	34%	49%	17%	84%	11%	5%
環境・資源・エネルギー	93	833	2%	25%	24%	22%	14%	3%	11%	38%	47%	16%	73%	19%	9%
マテリアル・デバイス・プロセス	92	672	2%	36%	25%	17%	10%	1%	8%	29%	58%	13%	86%	10%	4%
社会基盤	93	509	1%	25%	26%	23%	15%	2%	8%	43%	42%	15%	70%	20%	10%
サービス化社会	101	324	2%	22%	27%	25%	10%	2%	10%	42%	43%	15%	75%	16%	9%
全分野計	932	6,078	3%	27%	26%	22%	10%	2%	11%	36%	49%	14%	78%	14%	7%
前回(第9回調査)全分野計	832	3,337	1%	8%	25%	38%	24%	5%	-	38%	47%	15%	77%	23%	0%

## 2. 科学技術課題(トピック)の発展の方向性

本章では、アンケートで得られた専門家の見解を基に、全般的な傾向及び分野の特徴を概観する。分野間あるいは細目間の比較に当たっては、当該分野あるいは当該細目に含まれるトピックの持つ値の平均値を用いる。分野内あるいは細目内のトピック間で傾向が異なる場合があり、そうした違いを含んだ上での解釈であることに留意が必要である。なお、各分野の結果詳細については、第Ⅱ編に記載する。

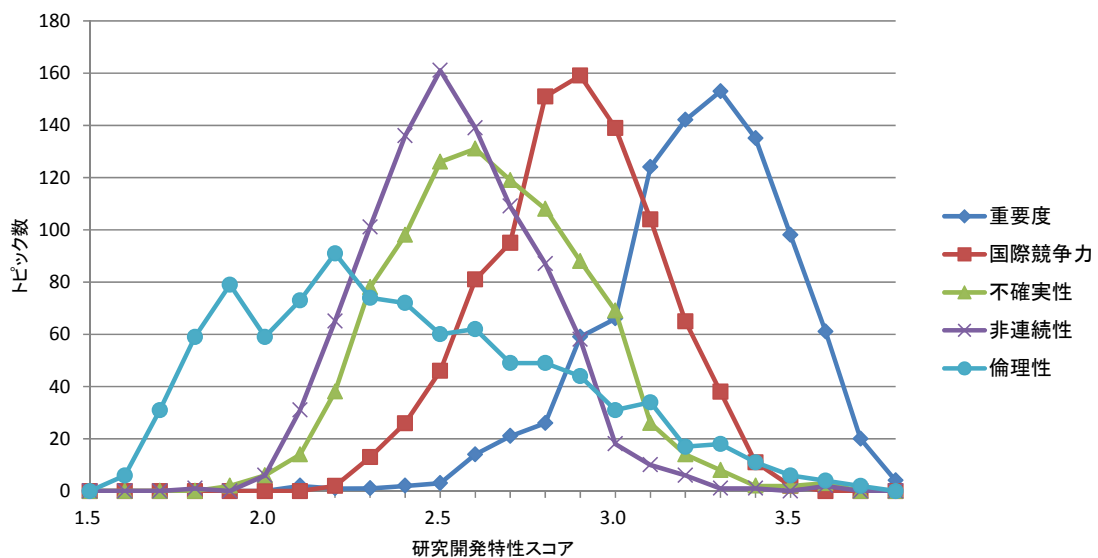
### 2-1. 研究開発特性

本調査では、各トピックの研究開発特性として、重要度、国際競争力、不確実性、非連続性、倫理性について問いを設けた。選択肢及びスコアは、非常に高い(4点)、高い(3点)、低い(2点)、非常に低い(1点)である。

全トピックの特性スコア分布を図 1-2-1 に示す。全トピックの平均スコアは、重要度 3.2、国際競争力 2.9、不確実性 2.6、非連続性 2.5、倫理性 2.4 である。重要度及び国際競争力については、それぞれ平均付近にピークを持ち、スコアの低い方向に長く広がる形で分布している。不確実性及び非連続性は、同様に平均付近にピークを持ち、比較的左右均等に分布している。一方倫理性は、鋭いピークを持たず、なだらかな分布を示す。選択肢に与えたスコアに従い 3.0 以上を「高い」と考えると、全トピックに占める「高い」トピックの割合は、重要度では 86%、国際競争力では 39%、不確実性では 14%、非連続性では 4%、倫理性では 13%となる。特性間の関係を見ると、不確実性と非連続性に強い相関(相関係数  $r=0.77$ )が見られる。

以降では、各特性について分野の特徴を述べる。

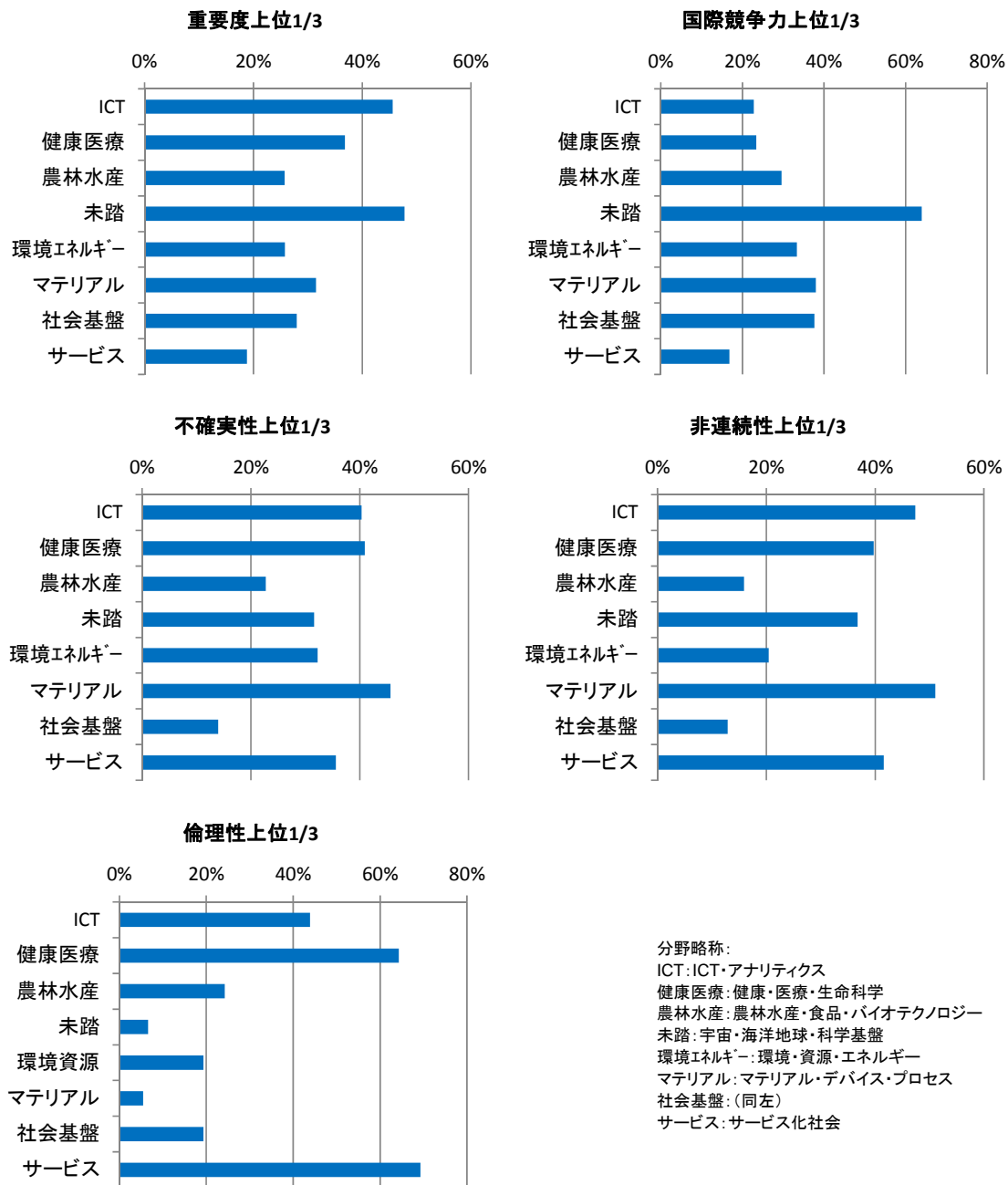
図 1-2-1 各特性のスコア分布



(1) 全般的な傾向

各特性スコアの上位 1/3 に含まれるトピックを抽出し、分野分類を行った。各分野の設定トピック数の多寡の影響を排除するため、上位 1/3 に含まれるトピックが当該分野全トピックの中で占める割合(均等に上位 1/3 に含まれていれば各分野の割合は等しく約 33%となる)について見たのが図 1-2-2 である。

図 1-2-2 各特性上位 1/3 に含まれるトピックが各分野内で占める割合



割合 (%) = 上位 1/3 に含まれるトピックのうち各分野トピックの数 / 各分野トピック総数



各特性において際立った傾向が見られるのは、ICT・アナリティクス分野、健康・医療・生命科学分野、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、及び、サービス化社会分野である。

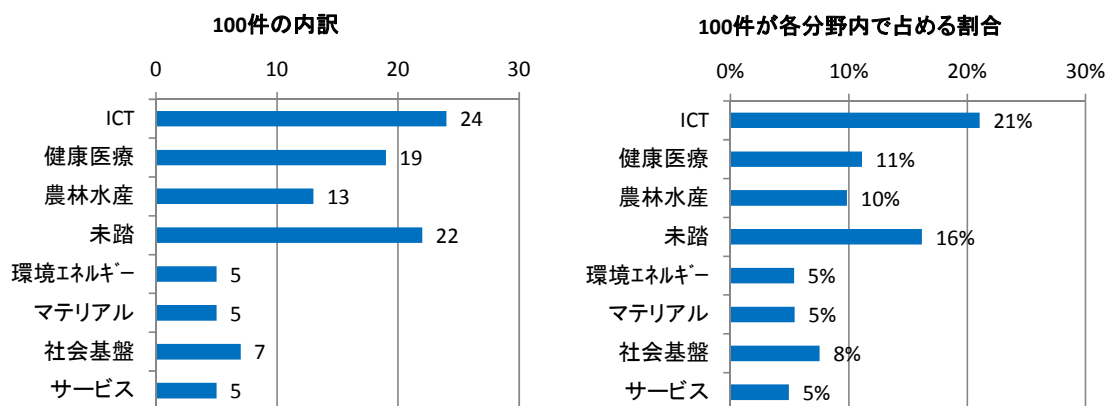
ICT・アナリティクス分野は、重要度の高いトピックが多いが、国際競争力は他分野と比べると低めである。また、不確実性が高く、倫理面の配慮が必要など研究開発におけるリスクを抱えている。一方で、非連続性の高いトピックも多く、適切な支援策を講じることにより、画期的な成果を生み出す可能性を秘めていると言える。健康・医療・生命科学分野は、国際競争力が他分野と比べて低く、また、不確実性が高く倫理面の配慮も必要なトピックが多いなど、ICT・アナリティクス分野と同様のリスクを抱えている。マテリアル・デバイス・プロセス分野は、不確実性及び非連続性が高いトピックが多いという特徴を持ち、研究開発リスクに配慮した支援の必要性が示唆される。サービス化社会分野は、倫理面の配慮が必要なトピックが多く、推進には関連する制度設計などが必須であることがうかがえる。国際競争力が相対的に低いことも、今後の推進に向けて考慮すべき事項である。宇宙・海洋・地球・科学基盤分野は、重要度、国際競争力共に高いトピックが多い。

## (2)重要度

重要度スコア上位 1/3 に含まれる 312 件の内訳を見ると、図 1-2-2 に見られるように、ICT・アナリティクス分野及び宇宙・海洋・地球・科学基盤分野に重要度の高いトピックが多い。

特に重要なトピックの特徴を見るため、重要度スコア上位 100 位以内の 100 件について内訳を示したのが図 1-2-3 である。ここでも同様の傾向が見られ、ICT・アナリティクス分野が 24 件、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野が 22 件と際立っており、次いで、健康・医療・生命科学分野が 19 件、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野が 13 件となっている。トピックの内容を見ると、ICT・アナリティクス分野ではセキュリティやプライバシーに関わるトピックが多い。その他、災害、再生医療、高齢化関連のトピックが多く含まれている。環境関連では、気候変動・地球温暖化による農林水産資源への影響に関するトピックが上位に挙がっている。

図 1-2-3 重要度上位 100 位以内トピックの内訳



最も重要度が高いとされたのは、「100 万 kW 級原子炉の廃炉技術・放射性廃棄物処分技術の確立」である(表 1-2-1)。その他、「沿岸域における漁業の再生を図るための放射性物質除去技術」(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野)、「水・土壌からの放射性物質の確実な除染技術」(環境・資源・エネルギー分野)、「低線量放射線リスクに関する合意形成手法の確立」(環境・資源・エネルギー分野)などが 100 位以内に含まれている。また、「全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見い出すための切迫度評価」(宇宙・海洋・地球・科学基盤分野)、「津波の即時評価と連動した避難指示システム」(宇宙・海洋・地球・科学基盤分野)なども上位に位置しており、近年の災害発生の影響が色濃く表れている。

表 1-2-1 重要度の高いトピック (上位 20 位以内の 21 件)

分野	トピック	重要度スコア	技術的実現/社会実装*
社会基盤	100 万 kW 級原子炉の廃炉技術・放射性廃棄物処分技術の確立	3.85	2029/2035
ICT	100 万ノードを超える超大規模スパコンおよびビッグデータ IDC システムにおいて、性能電力比を現在の 100 倍高める技術	3.78	2021/2025
健康医療	安価で導入が容易な認知症介護補助システム(例えば、導入には 10 万円以下、月々維持費 1000 円以下、1DK でも設置可能なシステム)	3.78	2022/2025
ICT	エクサ〜ゼタバイトスケールの HPC・ビッグデータ処理技術の社会現象・科学・先進的ものづくりなどへの適用による革新	3.77	2022/2025
ICT	介護・医療の現場で、患者の状態をリアルタイムに把握し、その状態に最適なケアを低コストで提供するシステム(医療・介護の社会的費用の年々の増加が停止)	3.74	2021/2025
健康医療	前がん状態からの発がんを抑制する予防薬	3.74	2025/2030
健康医療	聴覚や視覚の機能を再生させる医療技術	3.74	2025/2025
環境資源	海洋鉱物資源の採取に必要な採鉱、揚鉱技術	3.72	2025/2030
ICT	リモート攻撃可能なセキュリティホールを含まないソフトウェアを開発する技術	3.71	2025/2026
ICT	高齢者や障害のある人が、人間による介護なしに普通の社会生活を送ることができるような自立支援システム	3.71	2025/2028
農林水産	環境と漁獲の変動下でのマイワシ・マグロ等主要漁業資源の長期変動予測技術とそれに基づいた水産資源の適正管理技術	3.70	2025/2026
ICT	先進デバイスを用いたポストムーア・エクサスケールスパコン: CPU の演算処理の速度最適化を主体とした現在のスパコンから、データ移動や処理のエネルギー最適化を中心としたスパコンアーキテクチャへの転換、そのための次世代デバイスの活用、それによる 100 倍以上の電力性能比の向上	3.70	2024/2026
農林水産	持続可能な水産業を確保する漁獲高管理技術	3.69	2025/2025
農林水産	沿岸域における漁業の再生を図るための放射性物質除去技術	3.69	2025/2027
ICT	エクサ〜ゼタバイトスケールのビッグデータ解析の為の、HPC とビッグデータの Co-Design による統合化と、それによるデータ処理の 100 倍以上の高速化・大規模化	3.69	2021/2025
農林水産	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	3.68	2025/2033
ICT	1000 万〜10 億規模の並列性を前提とした新しい計算アルゴリズム、プログラミング手法、性能評価法	3.68	2022/2025

分野	トピック	重要度スコア	技術的実現/社会実装*
未踏	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	3.68	2020/2022
農林水産	地球温暖化の影響(病害虫を含む)を受けにくい作物の開発	3.67	2025/2035
ICT	プライバシーを保ったデータ活用手法の開発とその理論的保証	3.67	2020/2025
未踏	全活火山に対し、次に噴火しそうな火山を見出すための切迫度評価	3.67	2025/2030

\*技術的実現/社会実装: 技術的実現年/社会実装年

### (3) 国際競争力

国際競争力スコア上位 1/3 に含まれる 310 件の内訳を見ると、図 1-2-2 に見られるように、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野のトピックが多く、ICT・アナリティクス分野、健康・医療・生命科学分野、及びサービス化社会分野のトピックが少ない。

特に国際競争力が高いとされたスコア上位 100 位以内のトピックを見ると(図 1-2-4、表 1-2-2)、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野(図表中では「未踏」)の競争力の相対的高さ、及び、ICT・アナリティクス分野及びサービス化社会分野の相対的低さがさらに際立つ。ICT・アナリティクス分野のトピックは 75 位で初めて現れるが、100 位以内に含まれる 4 件のうちの 3 件が HPC (high performance computing) 関連である。サービス化社会分野のトピックは 77 位が最高位である。一方、健康・医療・生命科学分野は平均的と言うことができ、5 位に iPS 細胞関連トピックが挙がるのを始め、50 位以内に 7 件が位置している。

図 1-2-4 国際競争力上位 100 位以内トピックの内訳

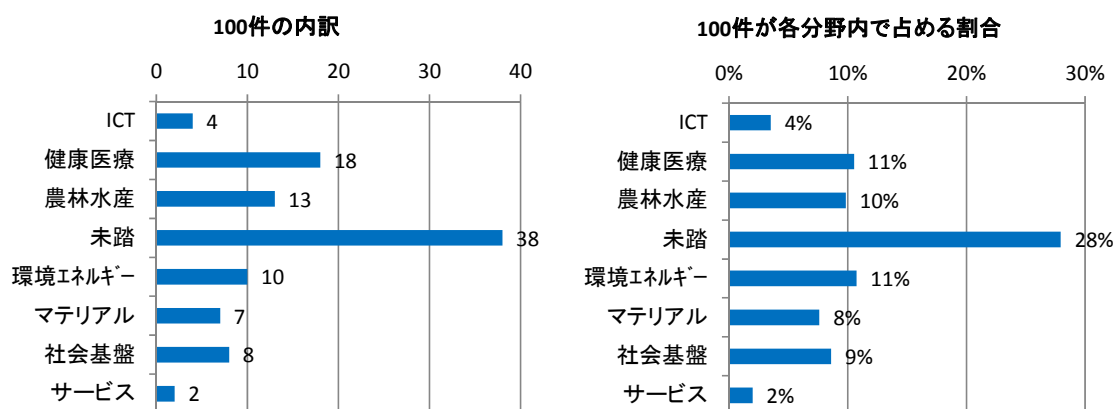


表 1-2-2 国際競争力の高いトピック (上位 20 位以内の 20 件)

分野	トピック	競争力スコア	技術的実現/社会実装*
未踏	黒体輻射シフト抑制等により高精度化し、ジオイド計測に応用可能な $10^{-18}$ 精度の光格子時計	3.53	2022/2026

分野	トピック	競争力 スコア	技術的実現 /社会実装*
農林水産	ウナギ人工種苗を大量培養し、成育させ、出荷する生産システム技術	3.52	2023/2025
未踏	極低エミッタンス蓄積リングによる次世代の省コスト型・超高輝度放射光源	3.43	2020/2022
未踏	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	3.42	2020/2025
未踏	軟 X 線領域で SPring-8 を凌駕する中型高輝度放射光施設 (電子エネルギー 3 GeV, 水平エミッタンス 1.2 nmrad 以下、輝度 $10^{20}$ phs/s/mm <sup>2</sup> /mrad <sup>2</sup> /0.1%b.w.以上)	3.41	2020/2020
健康医療	ヒト iPS 細胞から分化誘導した生殖細胞を用いる不妊治療	3.41	2025/2035
マテリアル	降伏強さ 1800MPa (既存鋼材の 3 倍) 以上で脆性遷移温度が -40°C 以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材	3.40	2025/2030
未踏	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	3.39	2025/2030
未踏	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	3.39	2020/2021
未踏	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) を同一試料の同一位置に再現性よく、または同時に照射することで、複雑系や領域依存性の高い物質の原子構造・電子状態、一過性の過渡現象を複合的手法で多角的かつ精密に分析・解析・観察する技術	3.37	2025/2025
健康医療	直径 2mm 以下の超微細内視鏡及び内視鏡手術デバイスによる、傷が残らない超低侵襲手術	3.36	2022/2025
未踏	ニュートリノの CP 非対称性と質量階層性を解明するための大強度ニュートリノビーム生成技術及び大型ニュートリノ検出器技術	3.36	2025/2028
健康医療	分化細胞の初期化メカニズムの全容解明	3.36	2023/2025
未踏	単一イオンの飛跡を利用した機能付与、荷電粒子ビーム複合照射による微細加工・表面機能化技術 (高性能反応・分離膜、単一発光量子デバイス、疾病診断チップ、再生医療デバイス等への応用を想定)	3.34	2025/2030
未踏	生体組織の細胞塊の内部を正確に局部照射するマイクロビーム技術、および三次元的な局所線量付与分布を正確に計測あるいは推定する技術	3.34	2020/2025
農林水産	発生工学的技術を利用した、優良形質導入による水産生物 (サケ・マス類、ティラピア、トラフグなど) の作出	3.33	2020/2025
環境エネルギー	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)	3.33	2025/2030
社会基盤	新材料の利用や構造物、車両構造の技術改善により、新幹線の時速 350km 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	3.33	2022/2025
未踏	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	3.33	2020/2022
未踏	1 秒間の演算速度が 10 エクサ = $10^{19}$ 回を超えるスーパーコンピュータ	3.32	2022/2025

\* 技術的実現/社会実装: 技術的実現年/社会実装年

#### (4) 不確実性

不確実性スコア上位 1/3 に含まれる 310 件の内訳を見ると、図 1-2-2 に見られるように、マテリアル・デバイス・プロセス分野に不確実性が高いトピックが多く、次いで、ICT・アナリティクス分野、健康・医療・生命科学分野となっている。一方、不確実性の低いトピックが多い分野としては、社会基盤分野及び農林水産・食品・バイオテクノロジー分野が挙げられる。

特に不確実性の高いスコア上位 100 位以内のトピックについて各分野内で占める割合(図 1-2-5 右図)を見ると、ICT・アナリティクス分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、サービス化社会分野の 3 分野の不確実性の高さがより鮮明になる。健康・医療・生命科学分野は設定トピック数が多いため、上位に挙がるトピックが多い。

この 100 件について実現可能性の回答を見ると、「実現する」または「実現済」と回答した者の割合は、技術的实现では 58%、社会実装では 53%(それぞれ 100 件の平均)となっている。技術的实现、社会実装とも実現すると考える専門家が半数に満たない(「実現する」、「実現済」の回答者割合の計が 50%未満)トピックは 14 件あり、その内訳は、健康・医療・生命科学分野及び宇宙・海洋・地球・科学基盤分野がそれぞれ 4 件、マテリアル・デバイス・プロセス分野が 3 件などとなっている。

図 1-2-5 不確実性上位 100 位以内トピックの内訳

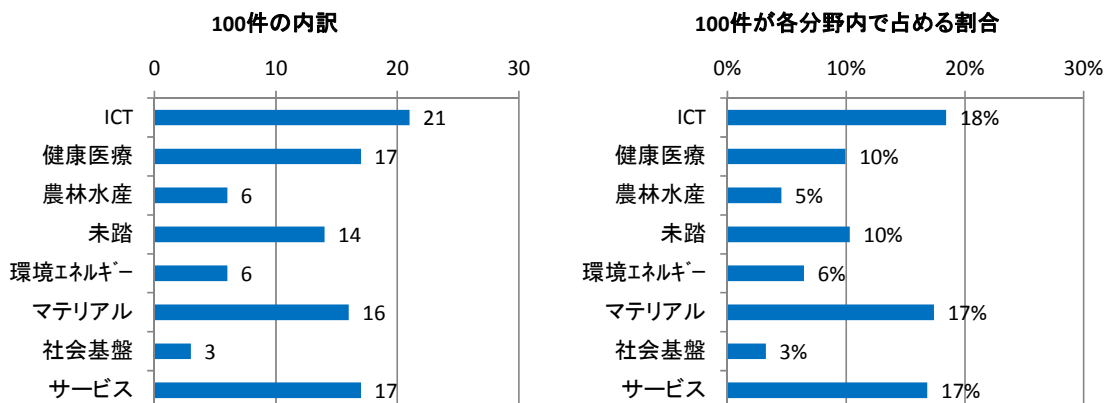


表 1-2-3 不確実性の高いトピック (上位 20 位以内の 21 件)

分野	トピック	不確実性スコア	技術的实现/社会実装*
ICT	ポスト・フォン・ノイマン HPC:超伝導単一磁束量子(SFQ)回路、カーボンナノチューブ、スピントロニクス素子、メモリスタ等のポストシリコンデバイスの実現と、それらデバイスを利用したプロセッサアーキテクチャ技術、量子コンピュータの(分子軌道計算や、組み合わせ最適化等を対象とした)HPC 計算への応用、脳機能を模したニューロンモデルを利用したコンピューティング技術の確立	3.63	2026/2033 51%/48%
未踏	M7 以上の地震の発生時期(1 年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	3.61	2030/2032 30%/29%

分野	トピック	不確実性 スコア	技術的実現 /社会実装*
ICT	10k 量子ビット間でコヒーレンスが実現され従来解決困難だった問題を高速に処理できるゲートモデル型量子コンピュータ	3.59	2030/2038 52%/37%
未踏	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8 以上の大規模地震の発生を予測する技術	3.51	2030/2030 36%/31%
マテリアル	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.46	2030/2035 38%/28%
マテリアル	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.41	2030/2040 41%/34%
ICT	脳における知的処理の理論的解明とそのモデル化による、脳の能力の限界の解明	3.38	2025/2032 50%/36%
ICT	100 億のニューロンと 100 兆のシナプスを有し人間の脳と同等の情報処理を行うことのできるニューロシナプティックシステム	3.33	2024/2030 56%/41%
未踏	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	3.33	2040/2040 39%/33%
環境エネルギー	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)	3.29	2030/2038 48%/34%
健康医療	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の作製	3.28	2027/2035 57%/48%
健康医療	ウイルス抗原変異等の影響なく、数回の接種で生涯感染予防が可能なインフルエンザワクチン	3.27	2025/2030 51%/54%
ICT	はじめは幼児と同等の知覚能力と基礎的学習能力と身体能力をもち、人間の教示を受けて、外界から情報を取り入れながら、成人レベルの作業スキルを獲得することのできる知能ロボット	3.26	2030/2037 56%/48%
未踏	ビッグデータによるデータ同化を用いた地震発生シミュレーション	3.25	2025/2030 52%/42%
サービス	サービスを受ける人間が感じる価値を、数学モデルとして記述する価値モデルが確立し、数理的アプローチによる価値最大化のサービス設計ができるようになる	3.25	2020/2029 58%/56%
健康医療	意識、社会性、創造性等の高次の精神機能における神経基盤の全容解明	3.25	2035/2040 44%/40%
サービス	クリエイターの思考プロセス、手法といった“暗黙知”を“形式知”化・アーカイブ化し、教育や発想支援システムの開発に応用される	3.24	2025/2030 62%/60%
ICT	生命系の維持システムの情報理論的な解明とその活用	3.24	2025/2030 65%/56%
サービス	デザインや創造的問題解決などの知的作業の生産性、知的協調活動における貢献度を計測・評価する手法が確立する	3.23	2025/2030 54%/54%
健康医療	胎児の生育を可能にする人工子宮	3.22	2030/2040 30%/30%
サービス	(個々の)顧客のサービスの機能と満足度の関係に関するアルゴリズムが明らかになる(機能的効用関数のようなもの)	3.22	2025/2027 48%/44%

\*技術的実現/社会実装: 上段は、技術的実現年/社会実装年。下段は、実現可能性(実現済、実現する、実現しない、わからない)について「実現済」または「実現する」と回答した者の割合

## (5) 非連続性

非連続性スコア上位 1/3 に含まれる 313 件の内訳を見ると、図 1-2-2 に見られるように、ICT・アナリティクス分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野のトピックが多く、健康・医療・生命科学分野とサービス化社会分野がそれに続く。一方、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野、環境・資

源・エネルギー分野、及び社会基盤分野は、非連続性の高いトピックが少ない。この傾向は不確実性と類似しているが、分野間の対比がより明確に表れている。

特に非連続性の高いスコア上位 100 以内のトピックについても同様の傾向が見られ、ICT・アナリティクス分野、マテリアル・デバイス・プロセス分野、サービス化社会分野の非連続性が高く、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野及び社会基盤分野が低い。この 100 件の実現可能性について技術的実現、社会実装とも実現すると考える専門家が半数に満たない(「実現する」、「実現済」の回答者割合の計が 50%未満)トピックは 11 件あり、うち、健康・医療・生命科学分野が 4 件、マテリアル・デバイス・プロセス分野が 3 件となっている。

不確実性、非連続性ともに高い(スコア 3.0 以上)トピックは 23 件あり、このうち ICT・アナリティクス分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野がそれぞれ 6 件ずつを占める。一方、不確実性は高いが非連続性は高くないトピックは 68 件あり、自然災害(地震、噴火、気象災害)の発生予測や発生機構解明に関わるトピックが代表例として挙げられる。

図 1-2-6 非連続性上位 100 以内トピックの内訳

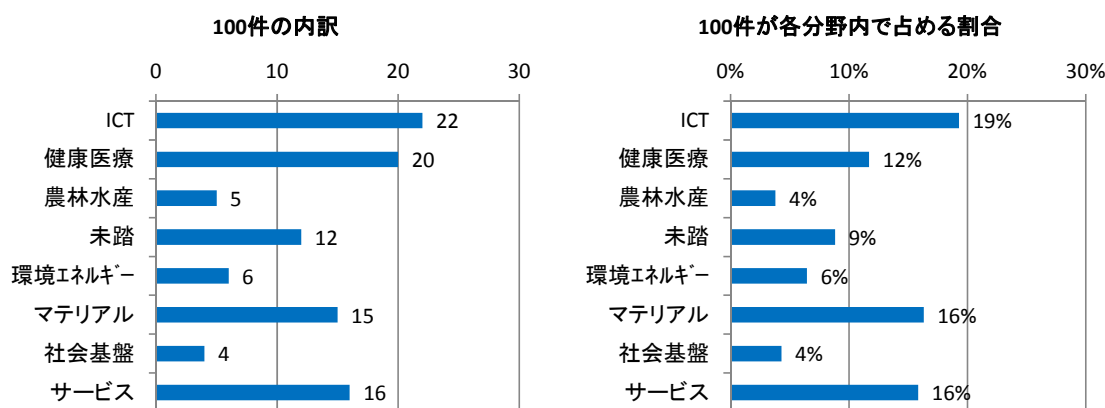


表 1-2-4 非連続性の高いトピック (上位 20 位以内の 20 件)

分野	トピック	非連続性スコア	技術的実現/社会実装*
ICT	ポスト・フォン・ノイマン HPC:超伝導単一磁束量子(SFQ)回路、カーボンナノチューブ、スピントロニクス素子、メモリスタ等のポストシリコンデバイスの実現と、それらデバイスを利用したプロセッサアーキテクチャ技術、量子コンピュータの(分子軌道計算や、組み合わせ最適化等を対象とした)HPC 計算への応用、脳機能を模したニューロンモデルを利用したコンピューティング(Neuromorphic computing)技術の確立	3.58	2026/2033 51%/48%
ICT	10k 量子ビット間でコヒーレンスが実現され従来解決困難だった問題を高速に処理できるゲートモデル型量子コンピュータ	3.56	2030/2038 52%/37%
マテリアル	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.37	2030/2040 41%/34%
健康医療	胎児の生育を可能にする人工子宮	3.33	2030/2040 30%/30%

分野	トピック	非連続性 スコア	技術的実現 /社会実装*
健康医療	投与するとがん組織を選択的に包み込んで治療することができるポリマー医療材料	3.23	2020/2025 54%/49%
マテリアル	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.22	2030/2035 38%/28%
ICT	はじめは幼児と同等の知覚能力と基礎的学習能力と身体能力をもち、人間の教示を受けて、外界から情報を取り入れながら、成人レベルの作業スキルを獲得することのできる知能ロボット	3.19	2030/2037 56%/48%
未踏	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	3.18	2040/2040 39%/33%
ICT	脳における知的処理の理論的解明とそのモデル化による、脳の能力の限界の解明	3.17	2025/2032 50%/36%
マテリアル	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な1原子/1分子が1ビットに対応するストレージ	3.15	2028/2035 60%/45%
サービス	(個々の)顧客のサービスの機能と満足度の関係に関するアルゴリズムが明らかになる(機能的効用関数のようなもの)	3.15	2025/2027 48%/44%
健康医療	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の作製	3.14	2027/2035 57%/48%
サービス	多数の顧客を対象とした個別対応型サービスをサポートするために必要な超複雑モデル(数百万超の超多数パラメータをもつモデル)を、リアルタイムで推定する統計技術が確立する	3.11	2020/2025 74%/74%
ICT	100億のニューロンと100兆のシナプスを有し人間の脳と同等の情報処理を行うことのできるニューロシナプティックシステム	3.10	2024/2030 56%/41%
マテリアル	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	3.10	2030/2035 72%/57%
環境エネルギー	核融合発電	3.09	2040/2050 64%/51%
社会基盤	スマート複合材料とモーフィング技術を活用して鳥の翼のように自在に形状を変化させ省エネルギーで飛行できる航空機	3.09	2025/2032 74%/59%
農林水産	特定の相同染色体を配偶子に持たせる技術	3.09	2025/2030 64%/56%
サービス	クリエイターの思考プロセス、手法といった“暗黙知”を“形式知”化・アーカイブ化し、教育や発想支援システムの開発に応用される	3.06	2025/2030 62%/60%
ICT	スピントロニクスの原理に基づき情報処理を行うロジック LSI	3.05	2024/2025 68%/59%

\*技術的実現/社会実装:上段は、技術的実現年/社会実装年。下段は、実現可能性(実現済み、実現する、実現しない、わからない)について「実現する」と回答した者の割合

## (6) 倫理性

倫理性スコア上位 1/3 に含まれる 312 件の内訳を見ると、図 1-2-2 に見られるように、ICT・アナリティクス分野、健康・医療・生命科学分野、サービス化社会分野の 3 分野が突出している。

特に倫理性の高いスコア上位 100 位以内のトピック 108 件に着目した場合でも同様の傾向が見られ、サービス化社会分野に倫理性の高いトピックが多いことがさらに際立つ。



図 1-2-7 倫理性上位 100 位以内トピックの内訳

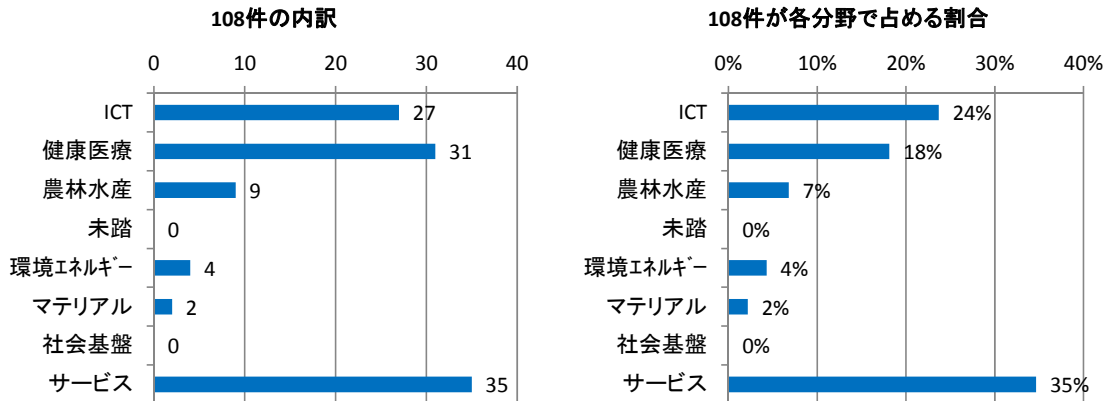


表 1-2-5 倫理性の高いトピック（上位 20 位以内の 20 件）

分野	トピック	倫理性スコア	技術的実現/社会実装*
健康医療	ヒト iPS 細胞から分化誘導した生殖細胞を用いる不妊治療	3.89	2025/2035
サービス	健やかな高齢社会に向け、高齢者の趣味、健康状況、医療データ、生活行動情報などがデータベースとして管理・分析される	3.70	2020/2025
サービス	従業員の行動履歴から従業員間の人間関係を自動的に判定できるシステムが開発される	3.66	2025/2026
サービス	クレジットカード会社や銀行のように個人の行動情報（センサ情報、購買履歴など）を代理管理する業種が誕生し、一般的に利用される	3.62	2018/2021
健康医療	胎児の生育を可能にする人工子宮	3.60	2030/2040
健康医療	動物性集合胚（動物の胚に人間の細胞を注入したキメラ胚）から作出された、ヒト幹細胞由来の移植用臓器	3.56	2022/2032
健康医療	胚性幹細胞（ES 細胞）移植を用いた再生医療技術	3.55	2020/2025
ICT	医療・食生活・運動など個人に関するあらゆる健康データを解析し、予測・予防医療を行うサービス。	3.53	2021/2025
ICT	エビデンス情報（provenance 等）を提供しつつ、個人データを保護し、安全に個人ビッグデータを統合的に利活用するための技術	3.52	2020/2024
ICT	機械（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）。その結果、機械の経済への貢献が 40%になる。	3.49	2025/2030
マテリアル	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	3.47	2025/2035
ICT	ライフログデータや身体データを大量に蓄積し、個人の日常的なデータの記録・管理・検索・分析する技術（ナチュラルユーザインタフェースで利用できるウェアラブルな外部脳機能システムとして提供される）	3.46	2020/2025
ICT	全てのセンサ類が ID 管理され、自分の行動が誰にどのようにセンサされているかを把握可能にすることで、プライバシーと利便性のバランスが柔軟に設定できるプライバシー管理技術	3.45	2020/2025
健康医療	公共財としての医療・ゲノムデータベースの利活用に関わる基本ガイドラインの確立	3.45	2020/2025

分野	トピック	倫理性 スコア	技術的実現 /社会実装*
サービス	脳科学や認知科学の知見にもとづいて、個人の“最適な学習方法”を発見する技術が確立し、学習における生産性が向上する	3.42	2025/2030
環境資源	低線量放射線リスクに関する合意形成手法の確立	3.42	2025/2027
ICT	SNS などのソーシャルメディアのデータを分析し、行動予測するシステム(例:犯罪予測や消費者の購買行動予測)	3.40	2020/2022
ICT	介護・医療の現場で、患者の状態をリアルタイムに把握し、その状態に最適なケアを低コストで提供するシステム(医療・介護の社会的費用の年々の増加が停止)	3.40	2021/2025
サービス	大規模データを利用した個別世帯別バイズ型需要予測技法が確立する	3.40	2022/2025
ICT	自閉症・認知症・引きこもりなどの精神疾患を持った人たちとのコミュニケーション技術(非言語情報の把握・理解・概念体系の把握などを含む)	3.39	2025/2030

\*技術的実現/社会実装: 技術的実現年/社会実装年

## 2-2. 実現可能性

取り上げたトピックの実現見通しについて、技術的実現、社会実装の各々について、実現可能性及び実現する時期を尋ねた。

### (1) 実現可能性

各トピックの実現可能性について、回答者は「実現済」「実現する」「実現しない」「わからない」のうち一つを選択した。ここでは、「実現済」の選択割合(%)と「実現する」の選択割合(%)の計を「実現可能性割合」として取り上げ、実現可能性と関係が深いと考えられる、不確実性、非連続性、倫理性の三つの研究開発特性との関係を考察する。

実現可能性割合と研究開発特性との全般的な関係を見ると、技術的実現、社会実装とも、不確実性と負の相関(相関係数  $r=-0.63$ 、 $-0.61$ )が見られる。特に、ICT・アナリティクス分野( $r=-0.74$ 、 $-0.74$ )、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野( $r=-0.81$ 、 $-0.78$ )、マテリアル・デバイス・プロセス分野( $r=-0.70$ 、 $-0.71$ )において関係が強い。

技術的実現と社会実装の実現可能性割合を比較すると、いずれの分野においても社会実装において実現可能性割合が低下している。技術的実現においては、全トピックの半数が実現可能性割合 80%以上であるのに対し、社会実装では 3 割程度である。全般的には、マテリアル・デバイス・プロセス分野に実現可能性割合の低いトピックが多い。

技術的実現の実現可能性割合が 50%未満のトピック(22 件)を見ると、健康・医療・生命科学分野が 6 件と最も多く、マテリアル・デバイス・プロセス分野 4 件、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野 3 件と続く。それらの研究開発特性を見ると、不確実性スコアが高い(3.0 以上)ものが 14 件と 6 割を占め、非連続性スコアが高い(3.0 以上)ものが 6 件(いずれも不確実性スコアも高い)、倫理性スコアが高い(3.0 以上)ものが 2 件(いずれも不確実性スコアも高い)となっている。3 特性のスコアのいずれも高くない(3.0 未満)トピックは 8 件である。

社会実装の実現可能性割合が 50%未満のトピック(66 件)の内訳は、ICT・アナリティクス分野

10件、健康・医療・生命科学分野13件、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野12件、マテリアル・デバイス・プロセス分野9件となっている。不確実性スコアが高い(3.0以上)ものが30件と半数を占め、非連続性スコアの高い(3.0以上)ものが14件(いずれも不確実性スコアも高い)、倫理性スコアの高い(3.0以上)ものが13件(このうち不確実性スコアも高いものが6件)となっている。3特性スコアのいずれも高くない(3.0未満)トピックは27件である。

技術的実現において不確実性の高さの影響が若干大きいこと、及び、社会実装において倫理性の影響が表れることが、特徴として挙げられる。

実現可能性割合が低いトピックの例を表1-2-6に示す。

図1-2-8 実現可能性割合の分布

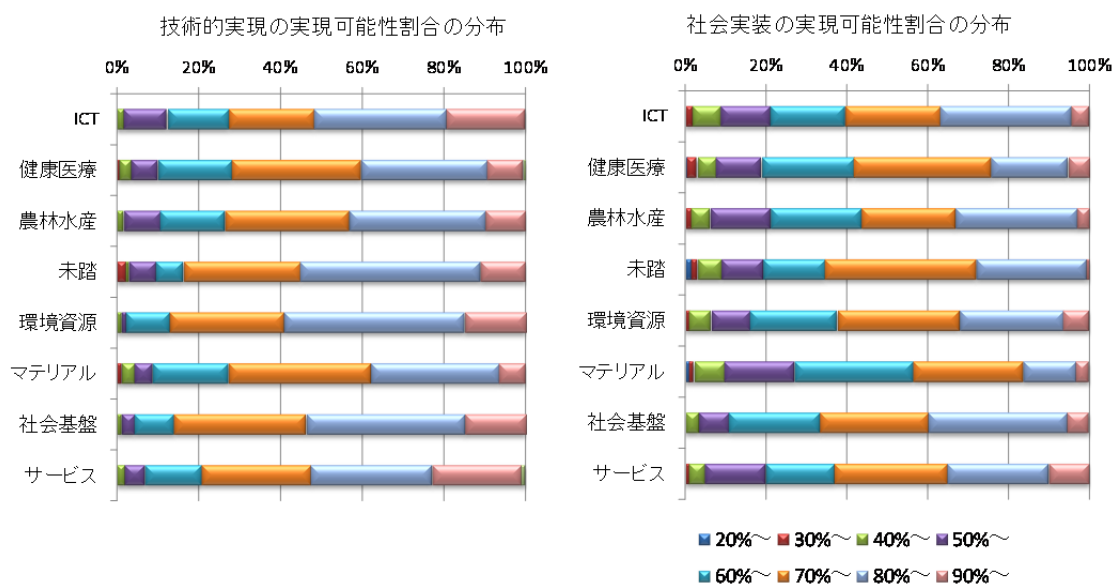


表1-2-6 実現可能性割合の低いトピック

分野	トピック	割合(%)*
健康医療	胎児の生育を可能にする人工子宮	30/30
未踏	M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	30/29
未踏	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術	36/31
マテリアル	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	38/28
未踏	地上(海上)ステーションと静止軌道上ステーションをつなぐ宇宙エレベーター	39/33
マテリアル	強相関電子を用いた室温超電導材料	41/34
健康医療	動脈硬化性病変を完全に修復できる薬物療法	43/39
未踏	動物実験なしに化粧品・医薬品等の開発を可能にする、薬物動態シミュレーション	43/42
サービス	AMA(American Marketing Association)などの世界の主要なマーケティング関連組織のマーケティング定義が、サービスにおける価値共創を主軸とするものに改訂される	43/43

分野	トピック	割合(%)*
健康医療	意識、社会性、創造性等の高次の精神機能における神経基盤の全容解明	44/40
健康医療	蛋白質の細胞内蓄積の阻害による、プリオン病の治療法	44/28
農林水産	家畜の雑種強勢のメカニズム解明と、それを利用した生産のための系統の作出	47/33
環境エネルギー	宇宙太陽発電システム	48/34

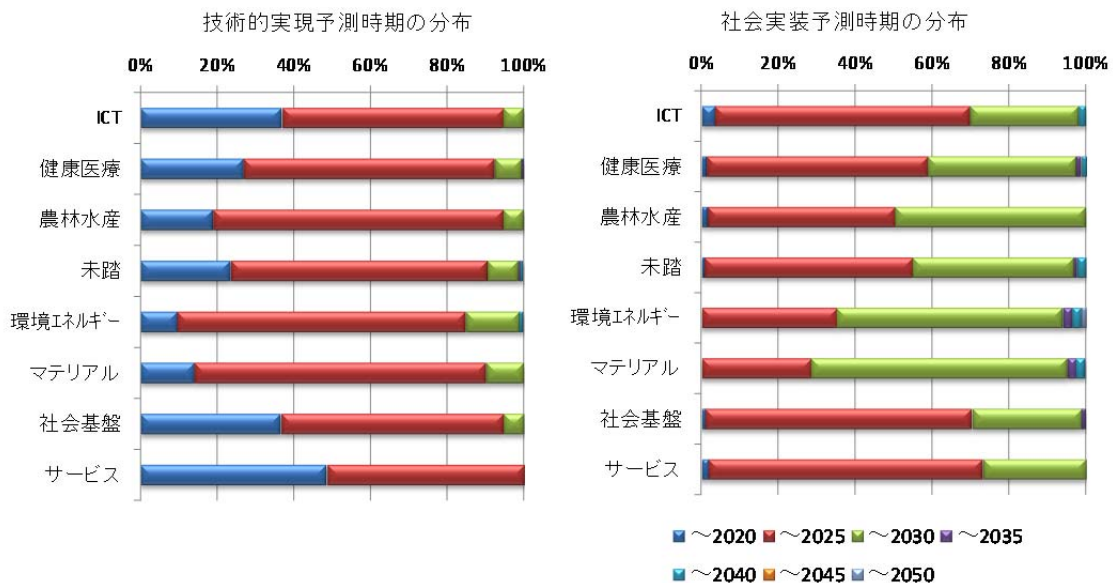
\*技術的実現の実現可能性割合の最も低い10課題と社会実装の実現可能性割合の最も低い10課題(一部重複)を例示。割合の欄は、技術的実現の実現可能性割合(%)/社会実装の実現可能性割合(%)

## (2) 実現・実装予測時期

実現・実装予測時期の分布を図 1-2-9 に示す。いずれの分野においても、ほとんどのトピックが 2025 年頃には技術的に目処が立ち、その 5 年後である 2030 年頃には社会実装されると予測されている。技術的実現については 2020 年と 2025 年に、社会実装については 2025 年と 2030 年に回答のピークが見られる。

分野の特徴を見ると、ICT・アナリティクス分野、社会基盤分野、及びサービス化社会分野において早い実現が予測されたトピックが多く、環境・資源・エネルギー分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野のトピックの実現は、遅めに予測されている。

図 1-2-9 実現・実装予測時期の分布

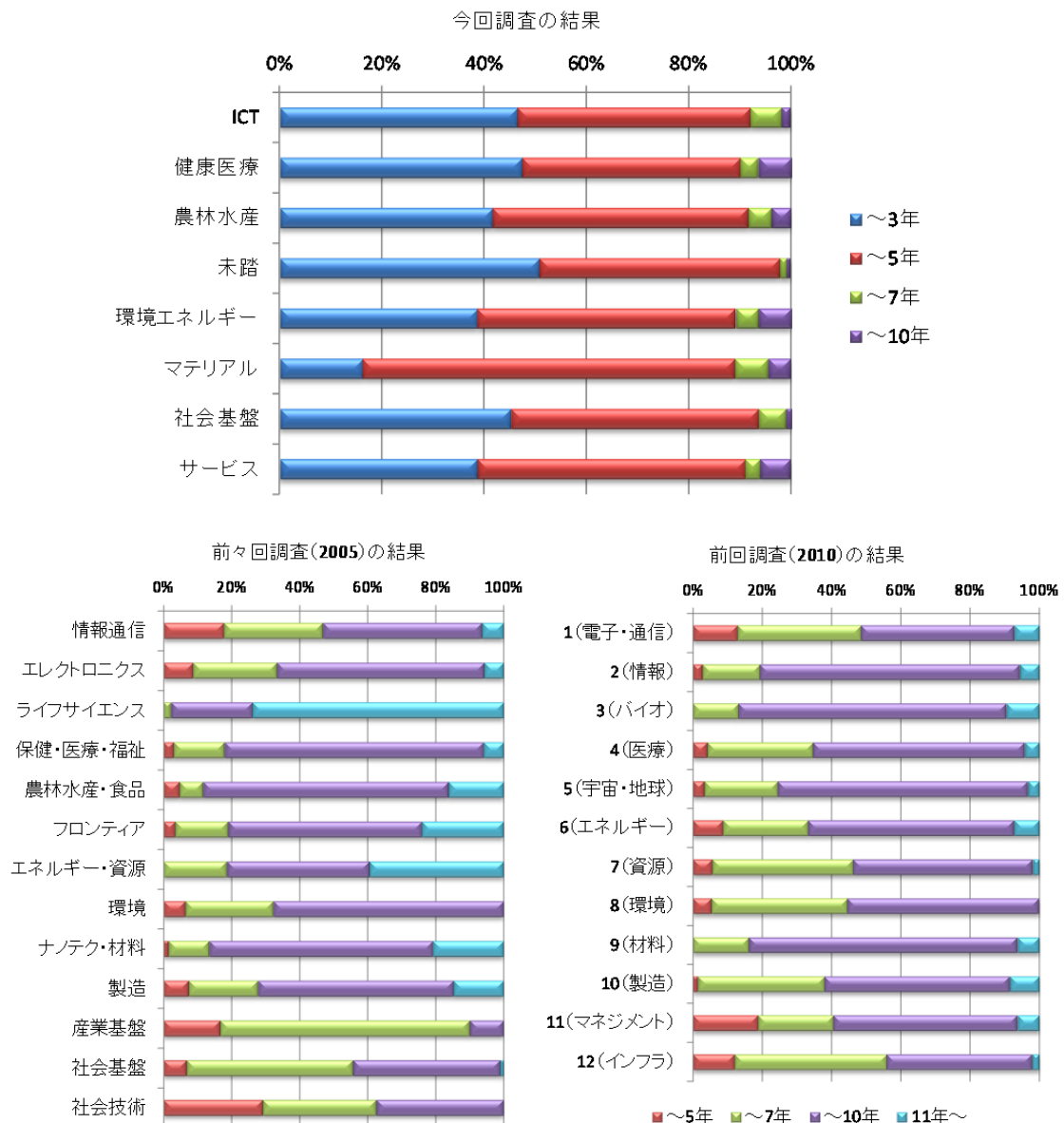


技術的実現から社会実装までの期間を見ると、図 1-2-10 に示すように、ほとんどのトピックにおいて 5 年以内となっている。5 年を超えるトピックは 75 件と、全体の 1 割に満たない。分野による大きな違いは見られないが、マテリアル・デバイス・プロセス分野においては、3 年以内のトピックが 20%に満たず、他の分野と比べて社会実装までの期間が長い。

前回の第 9 回調査(2010 年)においては、社会実装までの期間が 5 年以内のトピックは全体の 6%、6~10 年とするトピックがほとんどであり、技術的実現から社会実装までの期間が短縮したよう

に見える。しかし前回調査では10年後以降(2021年～)の実現については10年間隔の選択肢を設けており、前回調査とは選択肢が異なる。そこで、前回調査の結果を基に、①技術的実現については10年間隔の後半5年を選択した、②社会実装については10年間隔の前半5年を選択した、との仮定の下で、社会実装までの期間を試算した。その結果、技術的実現から社会的実現の期間は大きく減じ、69%のトピックが5年以内に収まり、平均は4年となったが、それでも今回の結果である92%には及ばない。また、前々回調査(2005年)と前回調査(2010年)との比較においても、前回調査において社会実装(前回は、「社会的実現」と表記)までの期間が短縮していた。

図 1-2-10 技術的実現から社会実装までの期間の分布



社会実装に向け様々な取組がなされていることから、回答者が社会実装までの障壁が解消されつつあると認識したことが推察される。ただし、定義は同一であるものの、今回調査では「社会的実

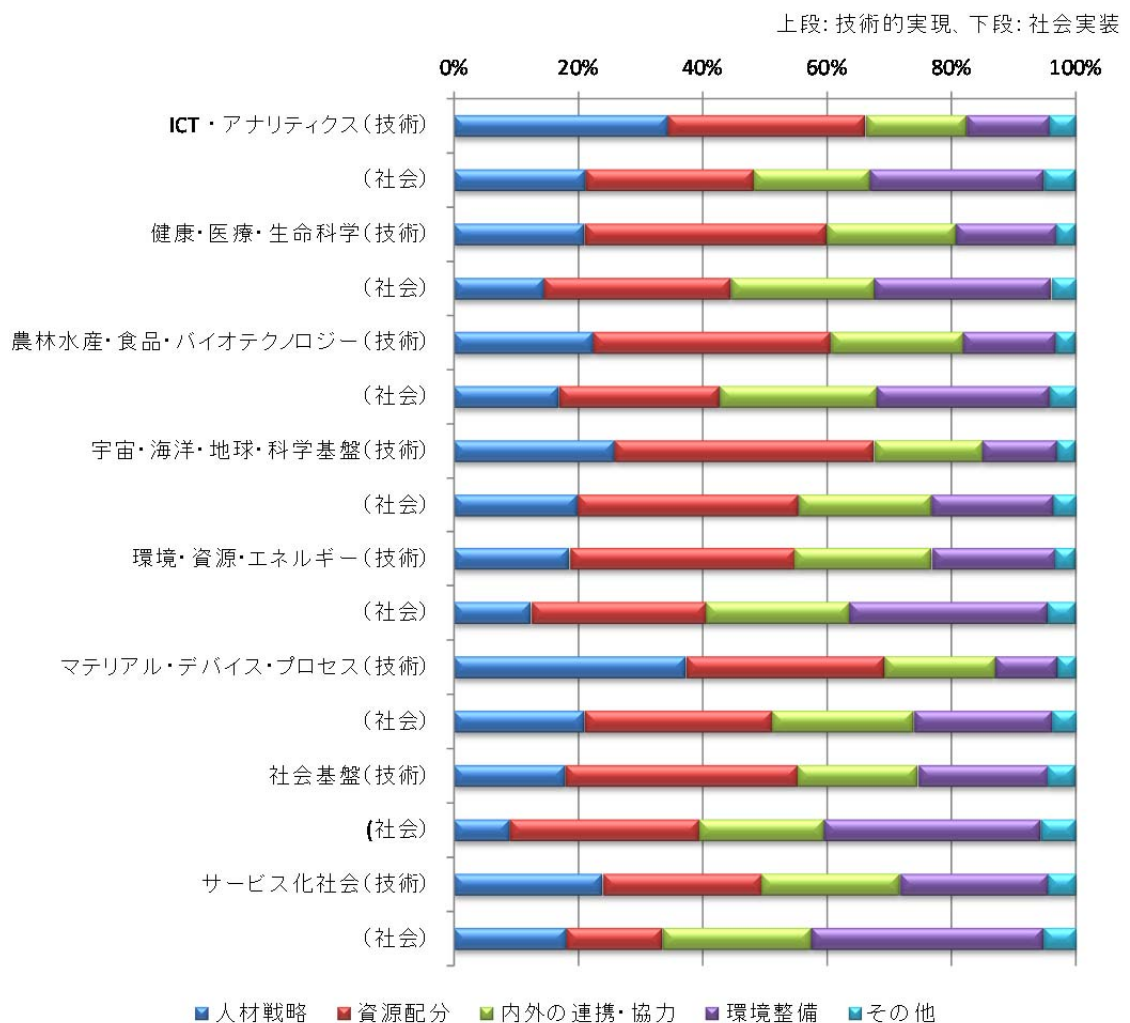
現」から「社会実装」へと表記を変更している。この変更により回答者が想定する実用化のレベルが変わり、普及の概念が薄れたことが影響している可能性もある。

### 2-3. 重点施策

#### (1) 全般的な傾向

当該トピックの技術的実現あるいは社会実装に向けた重点施策の選択肢は、人材戦略、資源配分、内外の連携・協力、環境整備、その他、である。

図 1-2-11 技術的実現/社会実装のための重点施策



技術的実現のための重点施策を見ると、ほとんどの分野において「資源配分」が最も多く選択されており、次いで、「人材戦略」または「内外の連携・協力」の順となっている。特に、施設の建設及び維持に費用を要する宇宙・海洋・地球・科学基盤分野において資源配分の選択された割合が大きい。ICT・アナリティクス分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野においては、技術的実現に

向けて「人材戦略」が最も重要とされている。

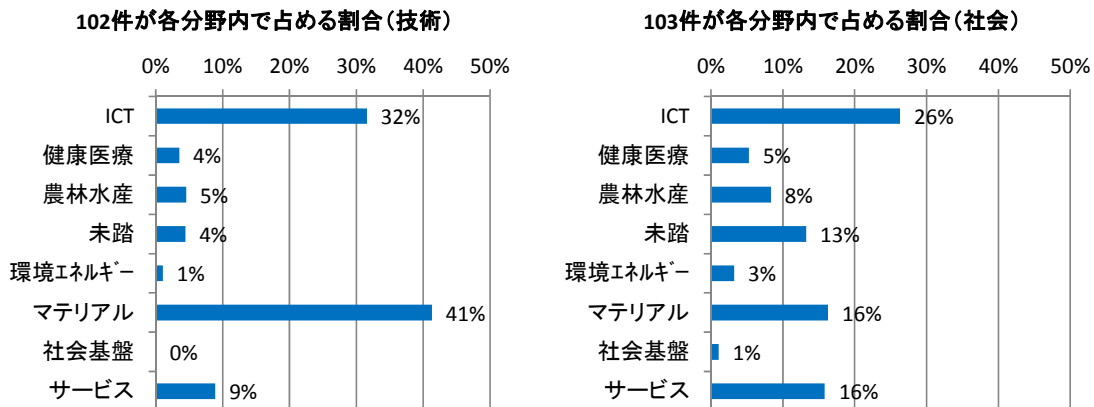
一方、社会実装のための重点施策では、全ての分野において、「人材戦略」及び「資源配分」の割合が技術的実現の場合よりも減少し、代わって「環境整備」の割合が増加する。「内外の連携・協力」は、技術的実現と社会実装の間、及び分野間の違いが小さく、いずれも 2 割程度である。技術的実現において「人材戦略」が多く選択された ICT・アナリティクス分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野においても「人材戦略」は 20%程度に留まり、「環境整備」の割合が増加している。「環境整備」の割合が高い分野は、サービス化社会分野、社会基盤分野、環境・資源・エネルギー分野である。

## (2) 人材戦略

人材戦略は、(1)で述べたように、技術的実現に当たっては ICT・アナリティクス分野及びマテリアル・デバイス・プロセス分野において重要とされている。

「人材戦略」の選択割合が高い上位 100 位以内トピックの内訳を見るとその傾向はさらに顕著である(図 1-2-12)。技術的実現については、上位 100 件中 36 件が ICT・アナリティクス分野、38 件がマテリアル・デバイス・プロセス分野と、2 分野で全体の 7 割を占める。ICT・アナリティクス分野では「理論」細目、マテリアル・デバイス・プロセス分野では「モデリング・シミュレーション」細目のトピックが多く含まれる。社会実装については、ICT・アナリティクス分野が 30 件と依然として最多であり、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野(18 件)、マテリアル・デバイス・プロセス分野(15 件)、サービス化社会分野(16 件)が続く。

図 1-2-12 「人材戦略」上位 100 以内のトピックの内訳



割合(%) = 上位 100 位トピックのうち当該分野トピックの数 / 当該分野トピック総数

表 1-2-7 「人材戦略」の選択割合が高いトピック

技術的実現、社会実装、双方において上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
ICT	計算困難性の解明における新しい計算モデルの実現：計算困難な問題を理論的に解けるモデル(対話計算、量子計算、確率的証明検証モデルなど)を基盤にした現実的かつ限界的な問題解決プラットフォームの構築(革新的モデル構築に向けた理論探究を含む)	80	47
マテリアル	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	65	47
ICT	数理計画法による問題解決パラダイムのスケーラビリティの改善(地球規模の最適化問題をリアルタイムで求解する数理計画法技術)	65	43
ICT	大規模ソフトウェアの自動検証と軽微なバグの自動修正を可能とする技術	80	47
ICT	バグの発生頻度を 100 万行あたり 1 個程度以下まで抑えることを可能とするソフトウェアの開発技術	65	47

技術的実現のみ上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
ICT	自ら経験し自習する計算システムのアルゴリズム理論構築	65	32
マテリアル	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	59	42
ICT	大規模ソフトウェアの仕様の網羅的記述と妥当性確認を一般的な開発者が誤りなく行えるように支援する技術	58	43
ICT	大規模ソフトウェアにも適用可能で、確率的挙動(ハードウェア障害や環境の揺らぎへの対応、乱数や確率的アルゴリズムの利用など)を考慮した検証技術	57	40

社会実装のみ上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
ICT	一般に使われているコンパイラ・OS・基本ライブラリの正しさ(スペック通り動作すること)を保証する技術	55	47
環境資源	エネルギー供給技術・システムについてコンセンサスが得られる双方向型リスクコミュニケーションの確立	44	46
マテリアル	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	56	46
マテリアル	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	57	44
農林水産	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	31	44

### (3) 資源配分

資源配分は、(1)で述べたように、技術的実現についてはほとんどの分野で最も多く選択された施策であり、社会実装においてもその割合は低下するものの他施策と同程度に重要と認識されている。

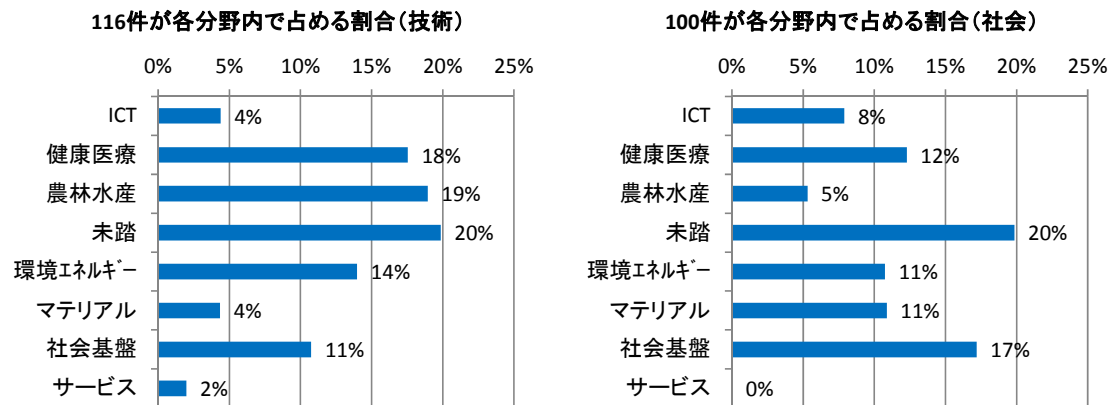
「資源配分」の選択割合が高い上位 100 位以内トピックの内訳を見ると、技術的実現においては、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野(27 件)、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野(25 件)、健



康・医療・生命科学分野(30件)のトピックが多く、社会実装においては、宇宙・海洋・地球・科学基盤分野(27件)及び社会基盤分野(16件)のトピックが多く含まれる(図1-2-13)。

技術的実現における上位10件と社会実装における上位10件に共通するトピックは存在しない。上位100件を見るとおよそ半数が重複する。技術的実現、社会実装とも、上位10件のほとんどを健康・医療・生命科学分野が占める。

図1-2-13 「資源配分」上位100以内トピックの内訳



割合(%) = 上位100位トピックのうち当該分野トピックの数 / 当該分野トピック総数

表1-2-8 「資源配分」の選択割合が高いトピック

技術的実現のみ上位10位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
健康医療	他の生体防御機構には影響を与えない、罹患アレルギー疾患特異的な免疫調節薬	74	47
健康医療	エピジェネティックな遺伝子の発現制御のモニタリングによる、がんや難病の発症リスクの診断法	73	42
未踏	11,000m級有人潜水船	73	53
健康医療	免疫抑制剤を用いない同種移植技術	70	40
健康医療	日常生活に支障なく短期間でのがん治療を可能とする、強度変調型小型粒子線照射装置を用いた治療法	69	31
健康医療	臓器機能回復を可能にする新規抗線維化薬	68	47
未踏	係留索を用いない定点時系列観測技術	67	53
健康医療	前がん状態からの発がんを抑制する予防薬	67	43
社会基盤	災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに動画通信が可能な無線通信システム	67	38
健康医療	外傷性眼球損傷に対する、眼球移植による視機能回復	67	33

社会実装のみ上位10位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
社会基盤	線状構造物(トンネル・縦坑等)の断層変位対策技術	53	61
未踏	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	60	58

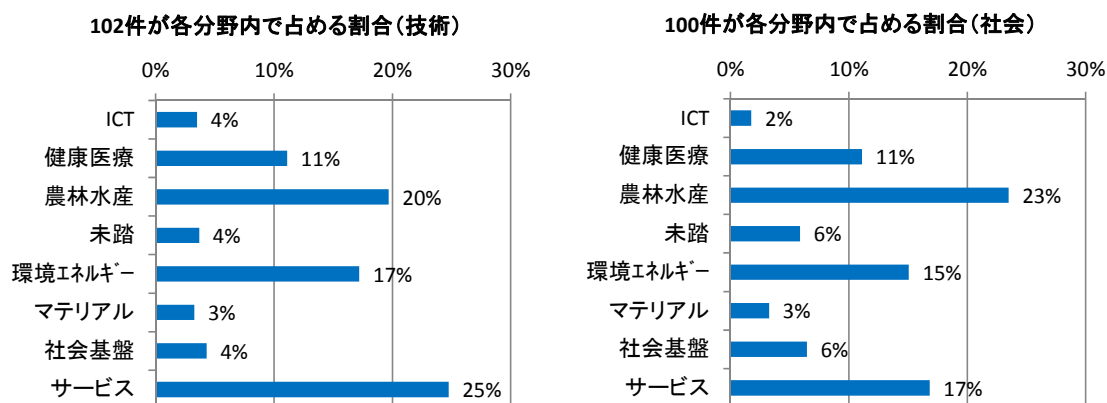
分野	トピック	技術(%)	社会(%)
環境エネルギー	チタンを現在の 50%以下のコストで製錬する技術	46	58
未踏	自律無人探査機(AUV)同士が協調して作業する技術	51	57
健康医療	サルコペニアのメカニズム解明によるロコモティブシンドロームの効率的予防法	65	56
未踏	1秒間の演算速度が10エクサ=10 <sup>19</sup> 回を超えるスーパーコンピュータ	62	56
健康医療	特発性造血障害(再生不良性貧血、骨髄異形成症候群等)の発症予防法	56	56
健康医療	慢性疼痛の病態解明による分子標的薬の開発	53	56
健康医療	新規病原体に対して迅速に中和抗体を作製して、大量生産する技術	64	55
ICT	転送データ量あたりの消費電力が現在の 1/10 程度に低減されたバックボーンルーター	60	54

#### (4) 内外の連携・協力

内外の連携・協力は、(1)で述べたように、分野平均を見た限りでは分野による違いや技術的実現と社会実装の違いは見られない。

「内外の連携・協力」の選択割合が高い上位 100 位以内のトピックを見ると、技術的実現においても社会実装においてもサービス化社会分野(25 件、17 件)及び農林水産・食品・バイオテクノロジー分野(26 件、31 件)のトピックが多く含まれており、特に上位 10 件にはこの 2 分野のトピックが集中している。上位 10 件中 5 件が技術的実現と社会実装で共通している。

図 1-2-14 「内外の連携・協力」上位 100 位以内トピックの内訳



割合(%) = 上位 100 位トピックのうち当該分野トピックの数 / 当該分野トピック総数

表 1-2-9 「内外の連携・協力」の選択割合が高いトピック

技術的実現、社会実装、双方において上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
農林水産	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の開発	53	56
サービス	設計、開発、生産、品質管理、製造といった一連のプロセスがデジタル化することでデジタルパイプラインが実現し、統一フォーマットによって社内外でのオープンイノベーションが活発化する	50	47
農林水産	完全不妊養殖魚の開発とその利用の促進	46	50
農林水産	都市と農村が連携して窒素循環を有効に機能させ、流域の窒素負荷を軽減する循環型地域社会	44	47
サービス	法令情報検索により、提案するサービスが国ごとの法令に適合するかを確認し、提供可能条件を国ごとに明示するシステムが構成される	44	53

技術的実現のみ上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
農林水産	水棲バイオマスプラントリーションによる水環境浄化とバイオ燃料・ケミカル併産システム	55	27
サービス	製品サービスシステムによる提供者と受給者の間の多様な契約形態を支援する契約設計手法、契約設計支援ツールが開発・整備される	43	36
健康医療	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	42	33
社会基盤	環境負荷低減に寄与する多数の移動体(バス、電車、新幹線、飛行機、船等)からの情報を一元的に管理するネットワーク制御、運用技術	41	33
サービス	製品サービスシステムによる提供者と受給者の間の多様な契約形態を支援する契約設計手法、契約設計支援ツールが開発・整備される	40	30

社会実装のみ上位 10 位以内

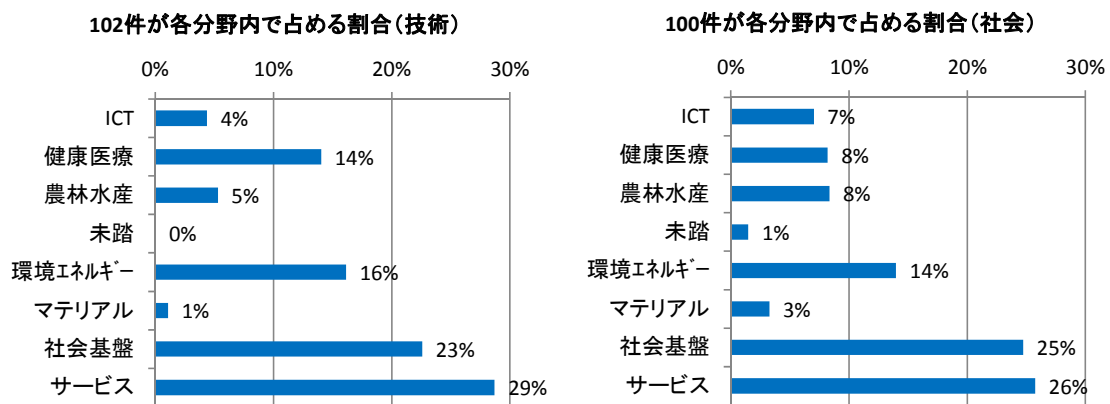
分野	トピック	技術(%)	社会(%)
農林水産	沿岸域の環境(離島を含む)に適した海草・海藻資源の持続的利用データベース構築	33	50
農林水産	「美味しさ」を簡便に再現するための、味覚・香り・食感(テクスチャ)を考慮した認知科学・言語学・化学など分野融合的なアプローチによる研究成果の国際的なデータベース化	33	50
農林水産	熱帯林破壊防止と再生活動のための観測・評価技術	37	47
農林水産	マーケット・イン型の持続可能な農業の 6 次産業化ビジネスモデルの構築と実証	36	47
農林水産	個人の健康診断及び嗜好などのデータに基づいて食事メニュー(必要素材及び調理法を含む)を提案するシステム	29	46

(5) 環境整備

環境整備は、(1)で述べたように、全般的に社会実装に向けて有用な施策と認識されており、特にサービス化社会分野では環境整備が重要なトピックが多い。

「環境整備」の選択割合の高い上位 100 位以内のトピックを見ると、技術的实现、社会実装双方において、社会基盤分野及びサービス化社会分野のトピックが多い。次いで、技術的实现に向けては環境・資源・エネルギー分野及び健康・医療・生命科学分野が、社会実装に向けては環境・資源・エネルギー分野のトピックが多い。技術的实现と社会実装の上位 100 位以内トピックのうち 58 件が重複している。

図 1-2-15 「環境整備」上位 100 位以内トピックの内訳



割合(%) = 上位 100 課題のうち当該分野トピックの数 / 当該分野の総トピック数

表 1-2-10 「環境整備」の選択割合が高いトピック

技術的实现、社会実装、双方において上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
環境エネルギー	全国の温泉地で地熱を利用した発電が普及する	57	62
環境エネルギー	自動車に搭載されている蓄電池や燃料電池を用い、家庭や需要家等への給電・配電制御を可能とするシステム	50	62
社会基盤	走行する道路の場所と時間(または混雑程度)によって課金される道路利用料金システム	48	65

技術的实现のみ上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
サービス	個人が身に付けるセンサや、街に配備されるセンサを利用し、自然な出会いを装うような出会い支援サービスが普及する	57	58
サービス	クレジットカード会社や銀行のように個人の行動情報(センサ情報、購買履歴など)を代理管理する業種が誕生し、一般的に利用される	56	56
社会基盤	我が国における、農作物の 50%以上を生産する効率的な企業化された農業	51	55

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
サービス	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で初めて訪れる店舗でもある程度カスタマイズされたサービスを受けられる	50	55
健康医療	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
サービス	地域の課題に対し地元民同士で助け合う形態から、ソーシャルネットワークサイトを通じて問題意識をもった地域外の者が有志で解決するというような、生活における共助の体制が広域化・オープン化する	50	39
サービス	従業員評価において、長期的な顧客との関係性、引いては顧客ライフタイムバリューへの貢献や社会への貢献という観点を加えた新たな指標に移行する企業が全企業の半数を超える	49	43

社会実装のみ上位 10 位以内

分野	トピック	技術(%)	社会(%)
サービス	自動運転技術が普及し、人が運転する必要のない道路が増えることで、物流効率が劇的に向上する	42	78
環境資源	燃料電池車が新車販売の 10%以上になる	44	69
健康医療	胎児の生育を可能にする人工子宮	33	67
農林水産	遺伝子組換え活性の完全制御による難形質転換生物(真核植物・真核藻類等)での外来遺伝子発現技術	17	67
ICT	道路での交通信号を事実上撤廃できるような、人間・車両間の通信による協調移動システム	33	63
マテリアル	国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	47	62
健康医療	卵子の老化抑制・機能的若返りによる不妊の予防・治療法(卵巣機能温存、老化抑制薬剤等)	43	62

### 3. 総合分析

#### 3-1. 重要トピックの特徴

本章では、研究開発特性のうち重要度に着目し、国際競争力、不確実性、非連続性との関連性を考察する。

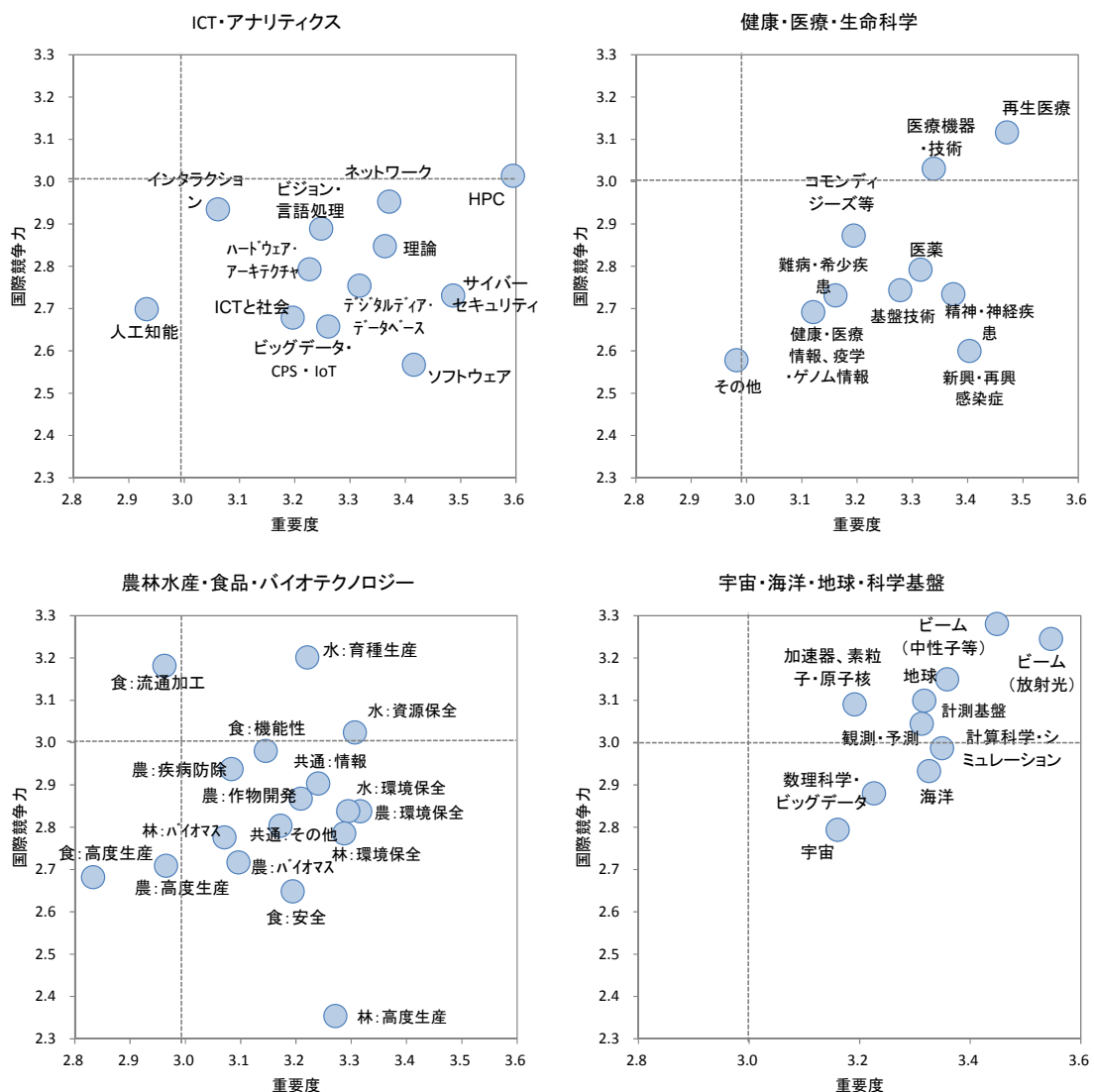
##### (1) 国際競争力との関連性

細目平均を用いて重要度と国際競争力の関係をプロットしたのが、図 1-3-1 である。宇宙・海洋・地球・科学基盤分野及び社会基盤分野において重要度と国際競争力に若干の相関が見られるのみで、一般的には重要度と国際競争力には相関は見られない。ほとんどの分野において、国際競争力は細目間に差が見られるが、マテリアル・デバイス・プロセス分野では細目間の国際競争力の差が小さい。

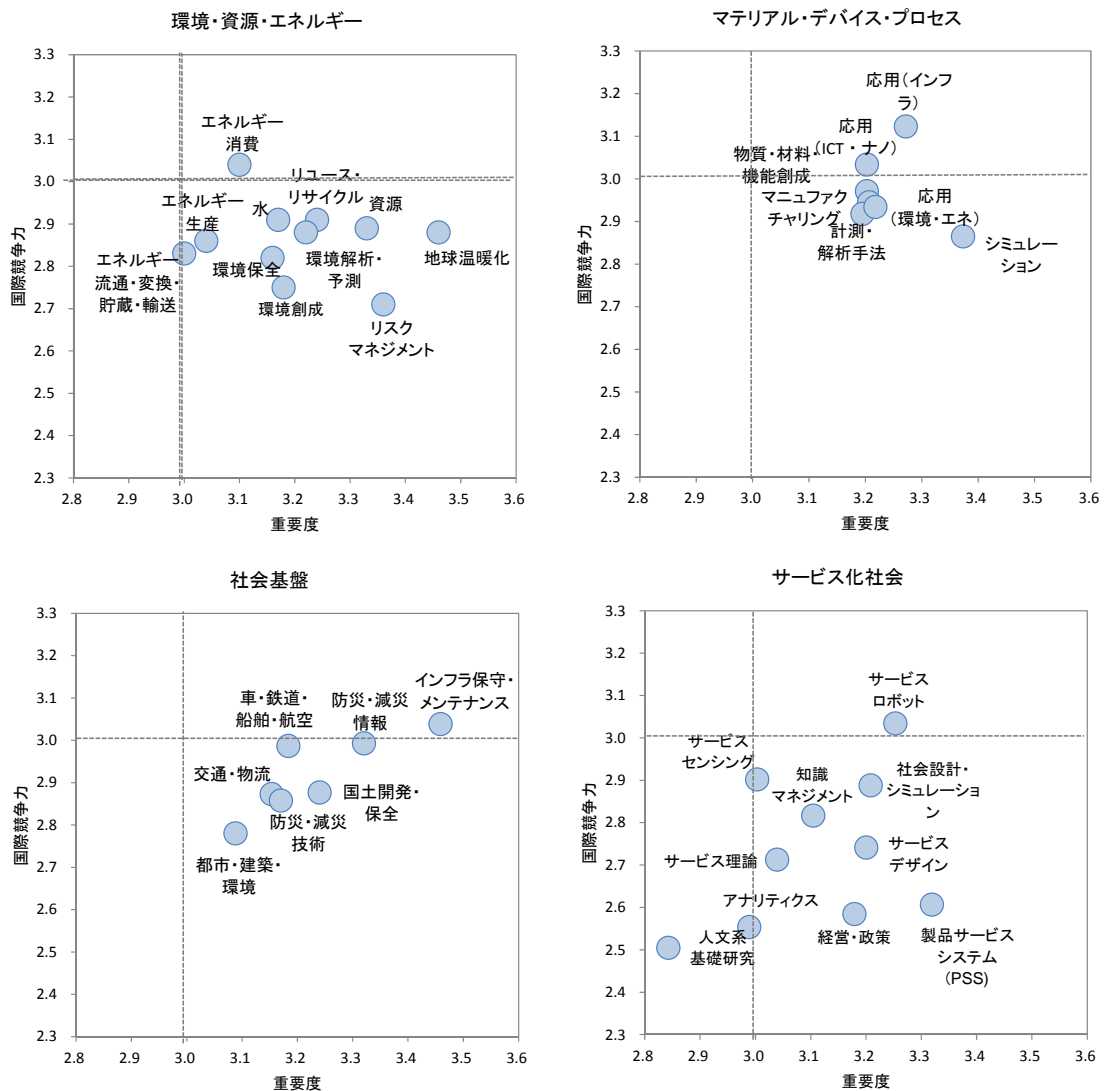
重要度が高いとされたにも関わらず国際競争力が相対的に低い細目として注目されるのは、「ソフトウェア」「サイバーセキュリティ」(ICT・アナリティクス分野)、「新興・再興感染症」(健康・医療・

生命科学分野)、「リスクマネジメント」(環境・資源・エネルギー分野)、「製品・サービスシステム(PSS)」(サービス化社会分野)である。また、その潜在可能性が注目されているビッグデータ・データアナリシスに関わる細目、「ビッグデータ・CPS・IoT」(ICT・アナリティクス分野)、「健康・医療情報、疫学・ゲノム情報」(健康・医療・生命科学分野)、「アナリティクス」(サービス化社会分野)、や人工知能に関わる細目「人工知能」(ICT・アナリティクス分野)については、国際競争力が低めであるばかりでなく、重要性もあまり高く評価されていない。専門的評価と社会の注目度合との差が見て取れ、技術的可能性と社会応用の可能性・問題点の見極めのための多様な関係者による議論が求められる領域と言える。

図 1-3-1 重要度と国際競争力



(図 1-3-1 続き)



(2) 国際競争力、不確実性・非連続性との関連性

重要度の高いスコア上位 1/3 に含まれる 312 トピックを対象として、国際競争力、不確実性、非連続性の観点から四つのカテゴリに類型化を行った(図 1-3-2)。不確実性及び非連続性は、ブレークスルーの可能性か着実な進展かの指標と解釈した。以下の方法により、上位あるいは下位トピックを抽出し、それぞれのカテゴリの特徴を見た。なお、特性スコアに基づく順位付けによる抽出・分類を行っているため、「高い、低い」の評価は絶対的なものではなく、本調査で取り上げたトピックの中での相対的な位置付けである。

- ① 重要度の高い 312 トピックの中から、不確実性スコアと非連続性スコアの合算値の高い 30 件(上位 10%)及び合算値の低い 30 件(下位 10%)を抽出。
- ② 上述で抽出した上位 30 件、下位 30 件を、それぞれ国際競争力スコアに応じて順位付け。

- ③ 合算値の高い上位 30 件のうち、国際競争力スコアの高い 10 件と低い 10 件をカテゴリ I と II に分類。合算値の低い下位 30 件のうち、国際競争力スコアの高い 10 件と低い 10 件をカテゴリ III と IV に分類。

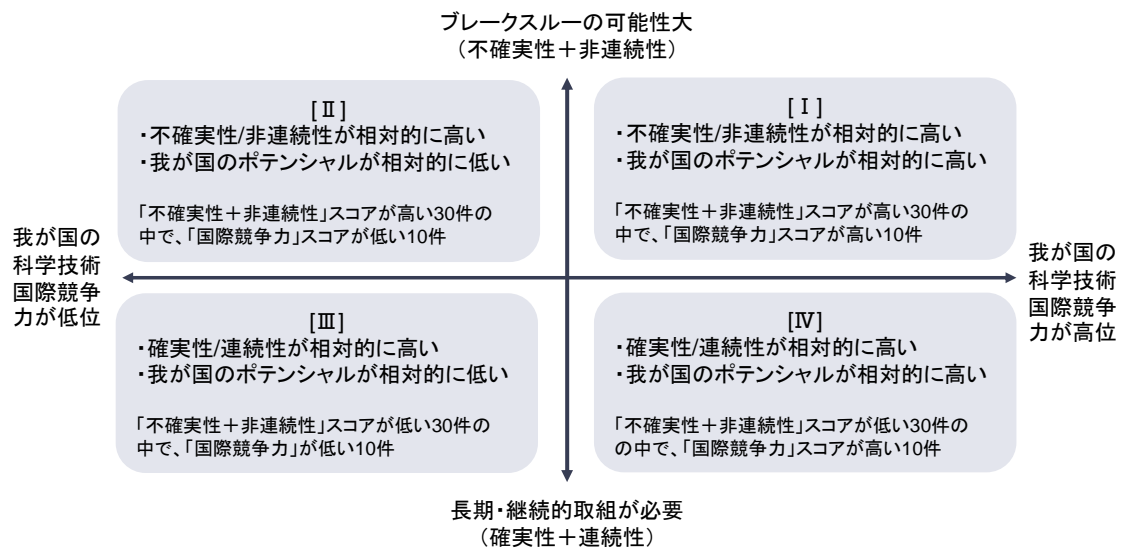
カテゴリ I は、不確実性・非連続性が相対的に高く、我が国のポテンシャルが相対的に高いトピックが分類される。研究開発投資リスクを許容する支援システムにより、我が国において画期的な成果が生まれる可能性がある領域と言える。例として、再生医療、自動車用燃料電池・二次電池、地震発生予測等が挙げられる。

カテゴリ II は、不確実性・非連続性が相対的に高く、カテゴリ I 同様、研究開発投資のリスクを許容した支援が求められる領域である。我が国のポテンシャルが相対的に低いことを考慮した上での推進方策が求められる。例として、サイバーセキュリティ、精神疾患、感染症等が挙げられる。

カテゴリ III は、確実性・連続性が相対的に高いことから、長期的視点で着実に進めていくトピックが分類される。カテゴリ II と同様、我が国のポテンシャルが相対的に低いことから、戦略性を持って進めていく必要がある。例として、ネットワーク技術、健康・医療データ活用、林業、監視等が挙げられる。

カテゴリ IV は、カテゴリ III と同様、長期的視点で着実に進めていくトピックが含まれる。我が国のポテンシャルは相対的に高いことから、継続的な支援を行うことにより成果が見込める領域と言える。例として、ビーム応用(材料、治療)、高効率発電、資源再利用等が挙げられる。

図 1-3-2 重要トピックの類型化





カテゴリ I のトピック

分野	トピック	実現/実装*
ICT	ナノフォトニック技術などにより、転送データ量あたりの消費電力が現在の1/1000に低減されたネットワークノード	2025/2030
健康医療	分化細胞の初期化メカニズムの全容解明	2023/2025
健康医療	分化細胞から遺伝子導入によらず iPS 細胞などの幹細胞を作成する技術	2020/2025
農林水産	物流において生鮮食料品を1週間程度、冷凍・冷蔵せずに保存する技術	2023/2025
未踏	M7以上の地震の発生時期(1年以内)、規模、発生地域、被害の予測技術	2030/2032
未踏	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、M8以上の大規模地震の発生を予測する技術	2030/2030
マテリアル	強相関電子を用いた室温超電導材料	2030/2040
マテリアル	変換効率 50%を超える太陽電池	2025/2030
マテリアル	現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上, 出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	2025/2030
マテリアル	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	2025/2030

カテゴリ II のトピック

分野	トピック	実現/実装*
ICT	計算困難性の解明における新しい計算モデルの実現: 計算困難な問題を理論的に解けるモデルを基盤にした現実的かつ限界的な問題解決プラットフォームの構築	2027/2035
ICT	攻撃者の攻撃パターンの動的変化を認識して、その攻撃に適した防御を自動的に施す技術	2020/2022
ICT	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	2020/2024
健康医療	低分子化合物・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬	2024/2025
健康医療	統合失調症の脳病態解明に基づく、社会復帰に繋がる副作用の少ない新規抗精神病薬	2027/2031
健康医療	うつ病の脳病態による亜型診断分類に基づく、即効性で再発のない新規抗うつ治療法	2025/2029
健康医療	双極性障害の脳病態解明に基づく、再発予防が可能な副作用の少ない新規気分安定薬	2028/2030
健康医療	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	2025/2030
健康医療	ウイルス抗原変異等の影響なく、数回の接種で生涯感染予防が可能なインフルエンザワクチン	2025/2030
マテリアル	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	2025/2030

カテゴリⅢのトピック

分野	トピック	実現/実装*
ICT	時々刻々と利用可能状態が変化するネットワークへのアクセスを、媒体の変化を利用者が意識することなく提供可能な、有線・無線統合ネットワークの自動構成技術	2020/2022
ICT	システム内部や外部の動作状況に動的に適応するネットワーク仮想化技術によって、所望のサービスが高信頼かつ無停止で提供されるネットワーク	2020/2020
健康医療	ライフスタイルビッグデータ活用による疾病予防法	2020/2025
健康医療	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	2020/2022
健康医療	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	2022/2025
農林水産	遺伝子改変作物や動物の安全性評価法の確立	2024/2025
農林水産	人工林が間伐期から主伐(皆伐)期になってきていることに対応し、伐採後の再生産を確保するための森林造成技術	2021/2025
農林水産	オフィスビル等中高層木造建築物を実現するための高強度木質部材・木質耐火構造の開発	2020/2025
未踏	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	2025/2025
社会基盤	低高度で自律飛行可能な領海監視・災害監視・救難補助用など多様に活用できる無人航空機	2020/2025

カテゴリⅣのトピック

分野	トピック	実現/実装*
健康医療	日常生活に支障なく短期間でのがん治療を可能とする、強度変調型小型粒子線照射装置を用いた治療法	2025/2030
未踏	海底ケーブルシステムが敷設されていない海域でのブイ式津波・地殻変動観測技術	2020/2025
未踏	軟X線領域でSPring-8を凌駕する中型高輝度放射光施設	2020/2020
未踏	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・ひずみ分布等を可視化し、その場観測する技術	2020/2022
未踏	光ファイバーネットワークによる周波数リンク技術によって、高精度標準、基準信号、位置情報などを遠隔でも同等に利用できる技術(光キャリア周波数を用いたファイバーリンク技術、光コム伝送技術、タイミング同期によるGPS技術の高安定化、超高精度化技術など)	2021/2025
環境資源	効率46%(HHV基準)を実現する720℃級超臨界圧火力発電	2022/2025
環境資源	大規模で高効率のガスタービン(入口温度1700℃以上)による大型複合サイクル発電	2021/2025
環境資源	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	2022/2026
環境資源	途上国で一般利用できる経済性のある汚染水浄化・再利用技術	2020/2025
サービス	認知症の徘徊者をはじめ一般消費者が自然に身につけることのできる見守り端末技術が普及する	2020/2022

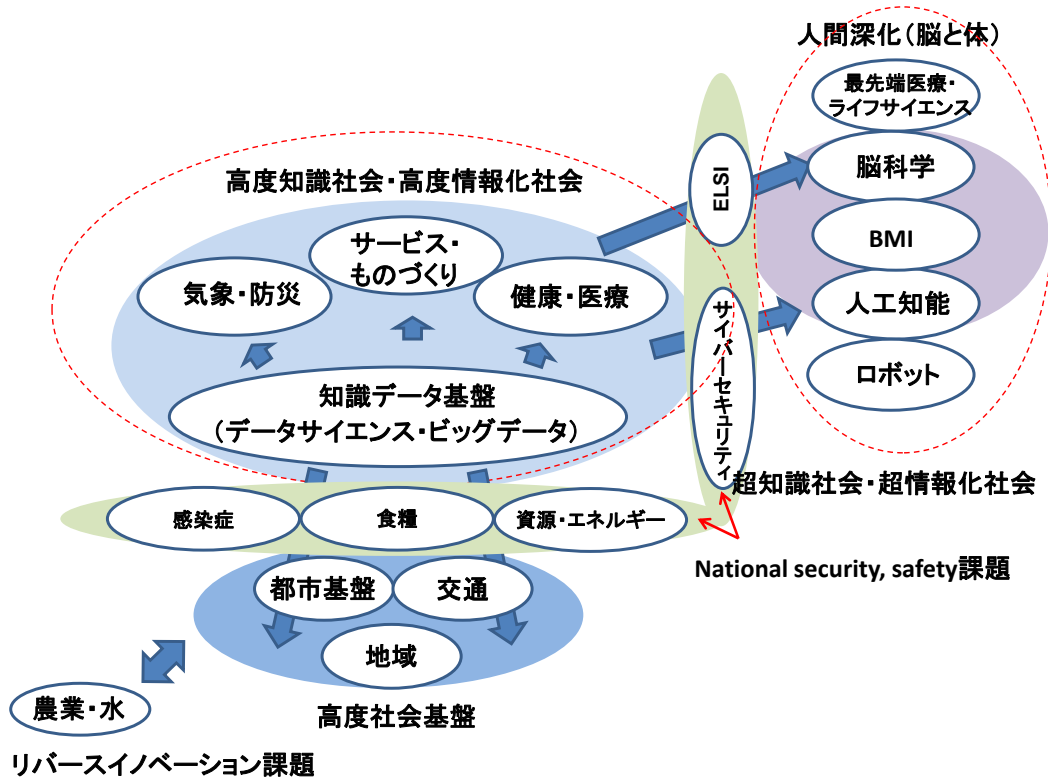
\*実現/実装: 技術的実現年/社会実装年

### 3-2. 発展の方向性

#### (1) 全体像

本調査においては、ICT の急速な発展を背景に知識データ基盤・データサイエンスを一つの焦点として各分野の課題設定を行った。実現・実装時期も加味して取り上げたトピックを俯瞰すると図1-3-3のようになる。

図 1-3-3 科学技術発展の方向性



まず、知識データ基盤の発展により、高度知識社会・高度情報化社会への方向性が想定される。そこでは、膨大なデータから導き出された有用な情報が各所で利活用される。例えば、気象予測や防災・減災の領域においては、膨大な観測データの整備や非定型データの活用により、事象発生の予測から発生後の状況把握・救助・生活支援に至るまで各所での適正化が図られる。サービス・ものづくりの領域においては、有形の製品と無形のサービスが合体した新たな価値の提供が期待される。また、健康・医療の領域においては、膨大な個人データの収集及び解析に基づき、新たな予防医学や治療が検討されるであろう。さらにその先には、脳科学や人工知能のさらなる発展により、機械が人間の能力にどんどん近づく超知識社会・超情報社会が待ち受ける。その途中には、倫理的・法的・社会的問題(ELSI)やサイバーセキュリティなどへの取り組みが必至である。一方、知識データ基盤は、社会に浸透した現行のシステムや構造物ゆえに急激な変化が難しい社会基盤にも高度化をもたらす。その方向性の鍵となるのは、新興国発展や世界人口増を背景とした食糧、資源・エネルギー問題、また、グローバル化がもたらす新興・再興感染症の世界的拡大への対

応である。また、農業や水問題は、生きる上での最も基本的な要素であり、インフラの未整備な地域が目線での開発がその地域の問題解決に寄与するばかりでなく、想定した地域外でも便益をもたらす可能性がある。

以下では、知識データ基盤の応用先として、図に示した方向性に関連するトピック例を挙げる。

表 1-3-1 将来の方向性に関連するトピック例

○高度知識社会、高度情報社会

分野	トピック	実現/実装*
未踏	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	2025/2025
未踏	津波の即時評価と連動した避難指示システム	2020/2025
社会基盤	ターミナル駅や地下街、複合大規模施設における災害時の避難行動モデル	2020/2024
ICT	エクサ〜ゼタバイトスケールの HPC・ビッグデータ処理技術の社会現象・科学・先進的ものづくりなどへの適用による革新（例：全地球規模社会シミュレーション・病理診断や治療に繋がる脳や人体の機能シミュレーション・通常のシミュレーションの数万倍の大量な計算を要する逆問題を解くことによる設計最適化）	2022/2025
マテリアル	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	2025/2030
サービス	設計、開発、生産、品質管理、製造といった一連のプロセスがデジタル化することでデジタルパイプラインが実現し、統一フォーマットによって社内外でのオープンイノベーションが活発化する	2025/2026
ICT	医療・食生活・運動など個人に関するあらゆる健康データを解析し、予測・予防医療を行うサービス	2021/2025
健康医療	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	2022/2025
健康医療	レシピ情報と電子カルテ情報等の統合により作成した全国規模の医療行為・結果データベースに基づく、疾患・治療・アウトカムイベントの即時悉皆型の多次元集計システム	2020/2022

○超知識社会、超情報化社会

分野	トピック	実現時期
ICT	危険を伴う道路・鉄道・電線などのメンテナンス作業を、専門知識とスキルをもつ多数の作業員と連携しながら行うロボット	2023/2025
ICT	HPC 技術によるロボットなどに活用できる真の携帯可能な人工知能（例：単なる機能を実現するだけでなく、高度な人工知能により人との関わり合いを実現する、高度な介護・育児などのロボット等の実現。現在の世界トップパソコンの性能を弁当箱程度の大きさでデスクトップ PC 程度の消費電力で実現する。）	2025/2030
健康医療	個人ゲノム情報、臨床情報、生活行動情報、環境情報などの統合による、個人単位での疾病発症・重症化予測、生活習慣改善介入、診断や治療効果判定を可能にする情報システム	2023/2025
ICT	発話内容や話者の関係を理解し、途中から自然に会話に参加できる人工知能	2025/2030
ICT	はじめは幼児と同等の知覚能力と基礎的学習能力と身体能力をもち、人間の教示を受けて、外界から情報を取り入れながら、成人レベルの作業スキルを獲得することのできる知能ロボット	2030/2037

分野	トピック	実現時期
健康医療	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運動機能補完ロボット	2025/2029
健康医療	記憶・学習、認知・情動など特定の脳機能を支える神経基盤の全容解明	2030/2035
健康医療	意識、社会性、創造性等の高次の精神機能における神経基盤の全容解明	2035/2040

○高度社会基盤

分野	トピック	実現時期
社会基盤	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	2025/2027
社会基盤	渋滞抑制、環境負荷低減、道路管理コスト低減等、社会的負荷を総合的に抑制し道路ネットワーク全体を最適化するシステム	2022/2029
社会基盤	信号等の道路インフラおよび走行車両から得られるビッグデータを動的に活用した交通管制サービスシステム	2020/2025
環境資源	途上国で一般利用できる経済性のある汚染水浄化・再利用技術	2020/2025
農林水産	農業データ(収量データ)と気象データとの整合にもとづいた地域レベルの気候変動、季節予測シミュレーションと連携した収量予測技術	2025/2030
環境資源	気候変動による食料生産への影響の予測技術	2025/2027
農林水産	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の開発	2025/2028
健康医療	ワクチン・薬剤等の迅速な開発が困難な新興感染症に対する戦略(医療的な介入および注意喚起・行動変容を促すこと等の非医療的な介入)の立案を支援する、リアルタイムシミュレーションシステム	2025/2028