

概要

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。

本調査では、今後30年程度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、その重要性、国際競争力、実現可能性、推進方策等に関する専門家の見解を収集する。

1. 調査対象

本調査では、以下に示す8分野を調査対象として設定した。特徴は、膨大なデータ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、近年の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 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

調査対象は、「分野－細目－科学技術トピック」という階層構造を持つ。分野別に専門家10名程度からなる委員会を設置し、過去の予測調査における設定トピックや前年度に実施した将来社会ビジョン調査の結果も参照しつつ、1細目10～20件程度、1分野100～150件程度を目処として科学技術トピック(以降、「トピック」という)を設定した。各分野の細目数及びトピック数を図表S-1に示す。

図表 S-1 各分野の細目数及びトピック数

分野	細目数	トピック数
ICT・アナリティクス [ICT]	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 [健康医療]	10細目 [医薬、医療機器・技術、再生医療、コモンディージーズ・外傷・生殖補助医療、難病・希少疾患、精神・神経疾患、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

分野	細目数	トピック数
農林水産・食品・バイオテクノロジー [農林水産]	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 [未踏]	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 [環境エネルギー]	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 [マテリアル]	7 細目 [新しい物質・材料・機能の創成、アドバンスト・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 [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 [サービス]	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

2. 方法

2014年9月にウェブアンケートを実施し、専門家の見解を収集した。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に属する専門調査員、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、計 4,309 名である。設問を図表 S-2 に示す。

図表 S-2 アンケートの設問

[研究開発特性]

項目	定義	選択肢
重要度	科学技術と社会の両面からみた総合的な重要度	
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	非常に高い/高い/低い/非常に低い、から一つ選択
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	*回答を数値化し、スコアを算出(非常に高い:4点、高い:3点、低い:2点、非常に低い:1点)
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	
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	

[実現可能性]

項目	定義	選択肢
技術的実現	技術的な実現予測時期(日本を含む世界のどこかでの実現)	実現済み/実現する/実現しない/分からない、から一つ選択
社会実装	日本社会での適用、あるいは日本が主体となって行う国際社会での適用時期	「実現する」を選択した場合、実現年(2015~2050年)を回答

[重点施策]

項目	選択肢
技術的実現のため最も重点を置くべき施策	人材戦略／資源配分／内外の連携・協力／環境整備
社会実装のため最も重点を置くべき施策	備／その他、から一つ選択

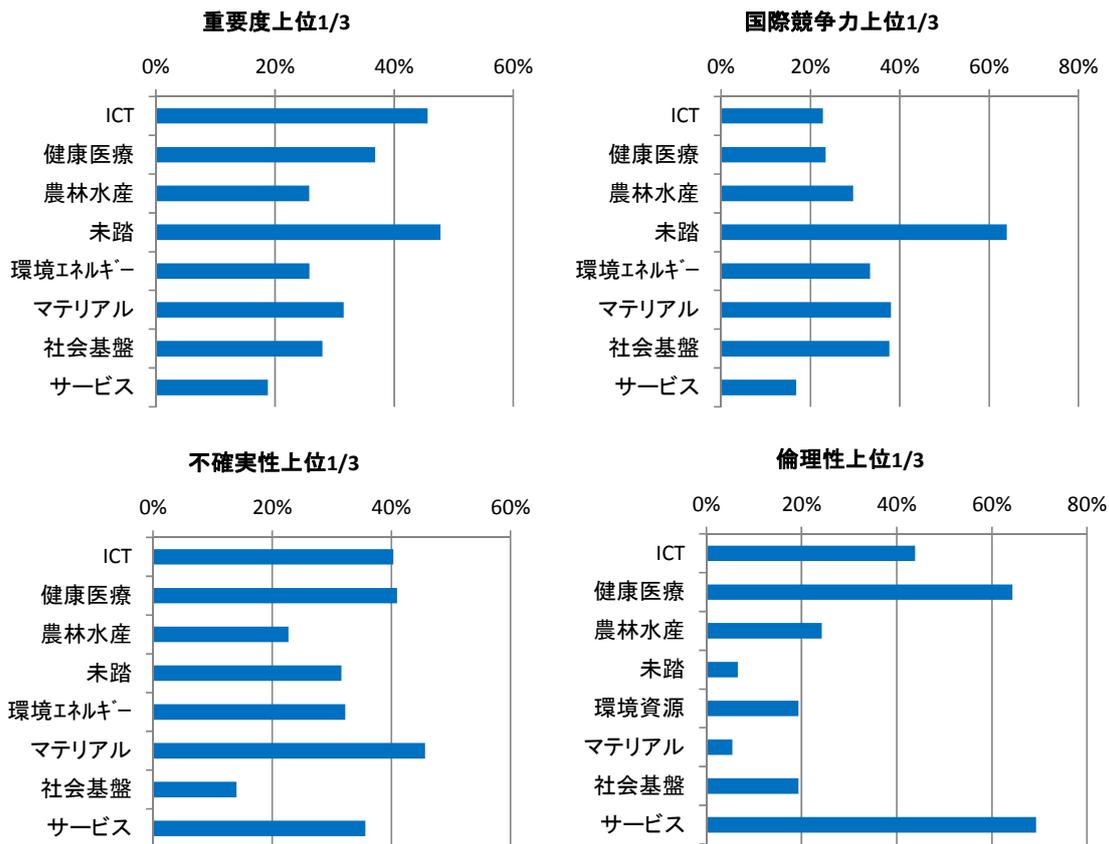
3. 全体結果

(1) 研究開発特性

各特性の回答から算出した指数の上位 1/3 に含まれるトピックを抽出し、分野分類を行った。

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て低い。また、不確実性が高く、倫理面の配慮が必要である。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。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。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い。

図表 S-3 各特性スコア上位 1/3 に含まれるトピックが各分野内で占める割合



(2) 実現可能性

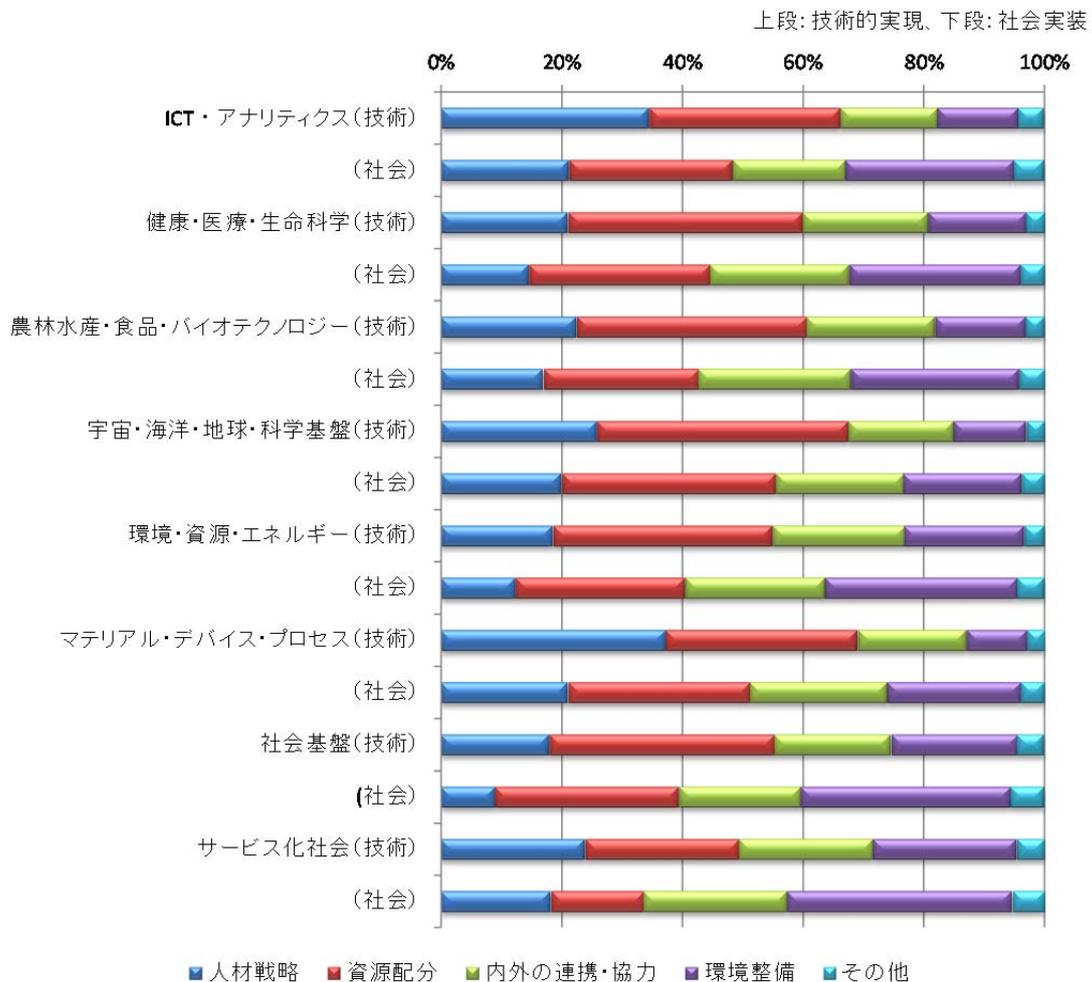
トピックの実現予測時期を見ると、技術的実現については 2020 年と 2025 年に、社会実装については 2025 年と 2030 年にピークが見られる。分野の特徴を見ると、ICT・アナリティクス分野、社

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。

(3) 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」又は「内外の連携・協力」の順となっている。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、すべての分野において、「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。

図表 S-4 重点施策

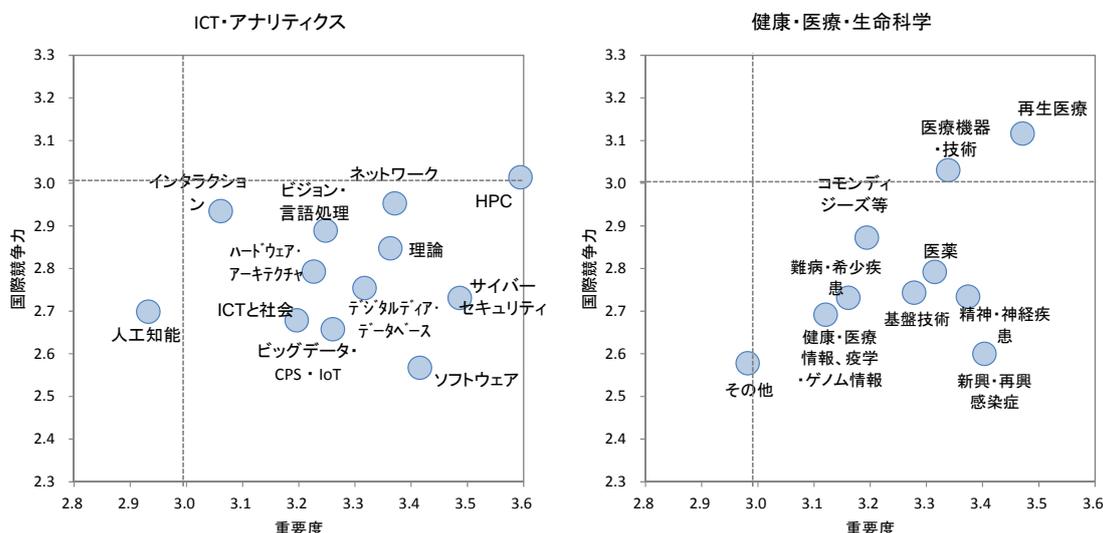


(4) 総合分析

重要度が高いと評価されたにもかか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、その潜在可能性から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、重要度もあまり高く評価されていない。

図表 S-5 重要度と国際競争力 (ICT・アナリティクス分野、健康・医療・生命科学分野)



重要度の高い上位 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類型化を行った (図表 S-6)。

カテゴリ I は、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。

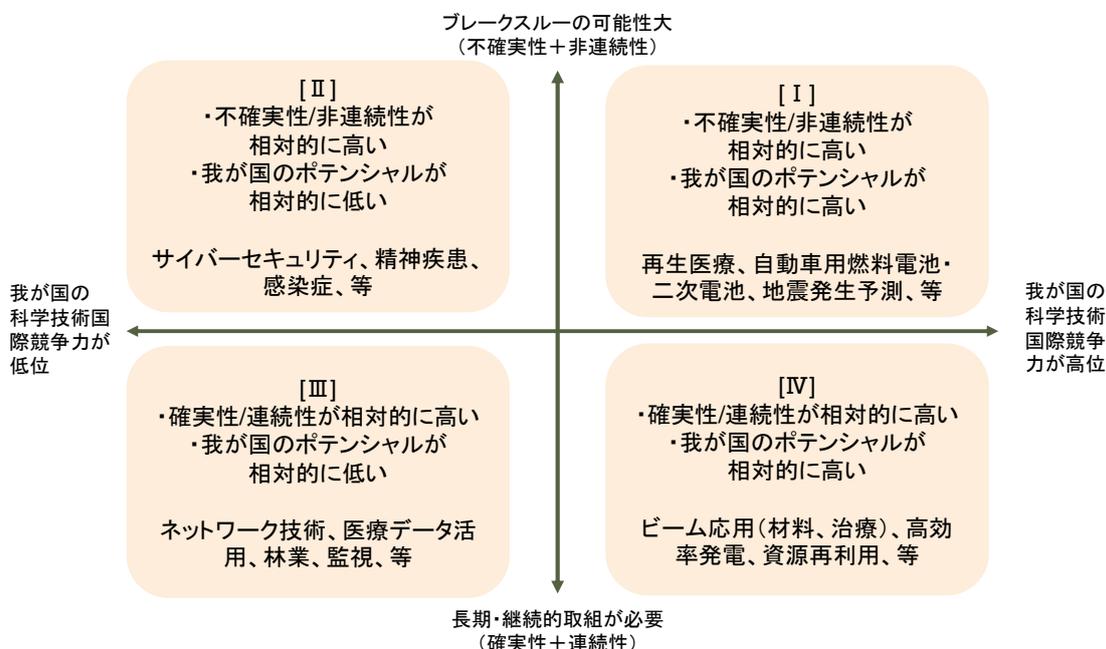
カテゴリ II は、研究開発投資のリスクを許容した支援が求められる領域と言える。また我が国のポテンシャルが相対的に低いことを考慮した上での推進方策が求められる。例として、サイバーセキュリティ、精神疾患、感染症等が挙げられる。

カテゴリ III には、長期的視点で着実に進めていくべきトピックが分類され、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と言える。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べきトピックが含まれ、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相応の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。

図表 S-6 重要トピックの類型化



4. 各分野の概要

(1) ICT・アナリティクス

分野細目の設定に当たっては、まず、米国計算機学会(ACM)や情報処理学会等の学術団体が設定した研究分野を参考にして基礎的な研究分野を設定した。さらに、上記の研究分野分類ではまだ取り上げられていないが、今後急速に重要性が高まると期待される分野を付け加えることとした。その結果、(a) 計算機の必須構成要素である「ハードウェア」、「ソフトウェア」及び必須処理対象に対応する「デジタルメディア・データベース」、(b) 計算機同士あるいは計算機と人間・社会をつなぐ「ネットワーク」、「インタラクション」、(c) 現時点で人間の知能に優位性がある分野を中心に計算機の能力向上を目指す「人工知能」、「ビジョン・言語処理」、(d) 極めて大規模あるいは高度に複雑な計算・データ・システムに焦点をあてた「HPC」、「ビッグデータ・CPS・IoT」、(e) 社会との関係を考え、良い意味でのICTのブレーキ役も果たす「サイバーセキュリティ」、「ICTと社会」、そして、(f) インパクトが大きな研究の基盤となる「理論」の計12細目である。

アンケートの結果、総じて重要度が高い、または非常に高いと評価された課題が多かった。重要度に関して回答者の平均点が高かった上位10課題を分類すると、HPCやビッグデータに関するもの5件、セキュリティ・プライバシーに関するもの2件、医療・介護・高齢者支援に関するもの2件、防災・減災に関するもの1件であった。HPCやビッグデータにより新たなフロンティアを開拓するとともに、我が国で特に問題となっている超高齢社会や災害などに備え、安全・安心な社会を実現することが求められていると考えられる。

技術的実現のための重点施策に関しては、全般的に「人材戦略」、「資源配分」の回答比率が高かった。特に、「理論」と「ソフトウェア」は「人材戦略」の比率が高く、「ネットワーク」は「資源配分」の比率が高い。一方、社会的実装の段階になると「環境整備」の比率が増えてくる。特に高いのは「ビッグデータ・CPS・IoT」である。社会に深く浸透するタイプの技術は、価値が極めて高い可能性がある反面、既存の制度等との不整合が生じやすく「環境整備」が大きな問題となるものと考えられる。研究の領域やフェーズによってかなり違った施策が必要となることが、アンケート結果からうかがえる。

実現・実装の時期に関しては、約 95%の課題の平均値として 2025 年までには技術的に実現され、2030 年までには社会的に実装されるとの回答があった。なお、これらの平均値は「実現しない」や「わからない」という回答を除いて計算されており、「実現しない」や「わからない」の回答比率が高い課題も少なからず存在する。2050 年頃までの予測を行うことを想定して課題を作成したが、予想に反して実現時期の早いものが多かった。ICT は特にイノベーションの加速化が進展している分野であることから、10～15 年以上先のことは専門家に聞いても確信をもって判断することが困難であることを反映していると考えられる。

(2) 健康・医療・生命科学

本分野の細目の設定に当たっては、平成 26 年 7 月 22 日に閣議決定された『健康・医療戦略』で重点化されている研究開発領域を基本とした。健康・医療戦略で重点化されている「がん」については、他の主要疾病等と合わせて拡張し、「コモンディゼーズ、外傷、生殖補助医療」とした。加えて、研究開発を支える上で重要な「生命科学基盤技術」、及び ELSI(倫理的・法的・社会的問題)等を含む「その他」の細目を設けた。

細目間の関係は、疾患の軸としての「コモンディゼーズ、外傷、生殖補助医療」「難病・希少疾患」「精神・神経疾患」「新興・再興感染症」の 4 細目に対し、解決手段の軸としての「医薬」「医療機器・技術」「再生医療」「健康・医療情報、疫学・ゲノム情報」「生命科学基盤技術」「その他」の 6 細目が交わる。

回答結果の全体的な傾向として、細目内のトピック平均を細目間で比較すると、重要度と国際競争力の双方について、「再生医療」がともに最も高かった。文部科学省、厚生労働省、経済産業省が進めてきたプログラムでの取組が、高い国際競争力につながっていると専門家が考えていることが推測できる。一方、「再生医療」に次いで重要度が高かった「新興・再興感染症」については、「その他」を除くと国際競争力が最も低いと考えられていた。近年、感染症対策は国際的な公衆衛生上の課題として重要視されていることから、我が国でも感染症疾患の制御に向けた研究開発の一層の推進が必要だと考えられる。

トピックの技術的実現のため最も重点を置くべき施策として、「コモンディゼーズ、外傷、生殖補助医療」を筆頭に、資源配分が最も高い割合で選ばれた。しかし、トピックによるばらつきが大きく、トピックごとに他の施策(人材戦略、内外の連携、環境整備)の重要性を見極めていくことが求められていると言える。

(3) 農林水産・食品・バイオテクノロジー

農林水産・食品・バイオテクノロジー分野は、本分野への社会的注目が高まっていることを受け、多くのトピックを抽出・設定した。以前の調査で用いられたトピックに加え、農業の 6 次産業化、ICT 技術の活用等最近の課題を反映したトピックも盛り込んだ。

重要度が高く、国際競争力が低いと評価されているトピックには、森林に関するトピックが比較的多く含まれていた。戦後に植林され、成長した樹木の「収穫」技術と、収穫後の森林造成技術の開発は、我が国の林業従事者の高齢化ともあいまって喫緊の課題と認識されていると考えられる。研究開発方策立案に当たり、短期的な競争力の低さととらわれない長期的な視点が求められる。

重要度が高いと評価されたトピックには、地球温暖化による環境の変化への対応策として、頻発する災害のリスク管理や、病虫害の増加を含む耕作不適環境でも収穫が期待できる作物の開発に関するものが多い。同様に、省力・低コスト栽培が可能な作物の育種や遺伝子組み換え技術等、将来に懸念される食糧不足に対応したトピックも重要度の評価が高い。マイワシ・マグロ等主要漁業資源の確保が現実の重要課題となっていることは周知のとおりであり、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も、早期の実現が望まれながらなかなか実現していないトピックといえる。また、資源保護と関連して、データを活用した環境の評価に関するトピックも重要度が高いという評価を受けた。

(4) 宇宙・海洋・地球・科学基盤

本分野の関連では、これまでの調査において宇宙、海洋、地球関連の科学技術を中心に引き上げてきた。今回調査においては、国が推進の主体となるものであり、かつ、イノベーション、科学技術発展、国民の安全確保の実現に向けた科学的な基盤を担う科学技術を扱うことを基本方針として、範囲の検討を行った。その結果、上述の従来細目、並びに、ビーム応用、計算科学・シミュレーション、数理科学・ビッグデータ、計測基盤を内容とする「科学基盤」細目を本分野の対象として設定することとした。

本分野は、全般的に、重要度、国際競争力とも高く評価され、また、重要度が高いトピックは国際競争力も高いとされる傾向が見られる。重要度及び国際競争力が特に高いと評価されたのは、ビーム応用関連のトピックである。その他、火山、地震、洪水など、災害の予測・シミュレーション技術も同様に重要度並びに国際競争力が高い評価とされたが、地震発生予測は不確実性が高いとされ、「実現しない」との回答も多かった。

一方、重要度は高いが国際競争力が相対的に低いと評価されたのは、海洋観測・探査関連トピックである。その他、安全で低コストの宇宙利用、大量データ利用技術も同様の傾向が見られる。

技術実現に向けて政府に求められる施策としては、全般的に「資源配分」が最も重要とされ、特に、海洋関連及び加速器関連において顕著である。次いで重要とされたのは、宇宙関連では「内外連携・協力」、その他は「人材戦略」である。

(5) 環境・資源・エネルギー

環境・資源・エネルギー分野は、日常生活から産業を支える基盤の全てに関連し、内容も多岐にわたっている。世界人口の増加、産業の発展に伴いエネルギー、資源の需要は増加し、環境へ

の負荷が大きくなることが予想される。持続的な社会の発展を念頭に、科学技術一辺倒ではなく、コンセンサスを得るための基礎データの収集、コミュニケーション技法、制度・法律の整備なども視野に入れトピックを設定した。

なお本調査では、人の身体に直接関係するものは「健康・医療」、農林水産物や個別の生物については「農林水産・食品・バイオテクノロジー」、具体的な個別の機器については「マテリアル・デバイス・プロセス」で扱うなど、関連性を考慮しつつトピックを各分野に割り振った。

重要度の高いトピックは、鉱物資源、水資源、汚染の除去、異常気象に関するものであった。特に地球温暖化関連のトピックが注目された。

エネルギー生産に関しては、大規模プラントでの生産とともに、再生可能エネルギーから、次世代の水素エネルギーの生産・利用に関しての注目度が高い。さらに、中・小規模で地域の状況に合わせたエネルギー生産に関して、賛否両論はあるものの関心の高さが伺えた。エネルギー消費に関しては、省エネ技術など我が国のエネルギーマネジメント技術の高さを踏まえて、重要度及び国際競争力が高いと認識されている。

資源に関しては、途上国での水の利・活用に関心が高く、鉱物資源の採取・採掘には、不確実性、非連続性が高いとの回答が多かった。

環境に関しては、気象災害の減災に寄与すると思われる観測・予測技術への関心とともに、放射線物質の除染、ウィルスの侵入やテロ対策のための微量物質の迅速検出などのトピックで重要度が高く、期待度の高さが伺える。技術的には2025年頃までには実現し、短期間で社会実装されるとの予測が多い。反面、気候変動の要因は複雑であることから、不確実性、非連続性が高いとの回答が多いことも特徴である。

(6) マテリアル・デバイス・プロセス

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、環境・エネルギー、ライフサイエンス、インフラ等の社会課題解決のための分野横断的な基幹科学技術として位置づけられる。当分野における科学技術トピックは、コア(新材料創成、プロセス開発)、ツール(理論・計算、計測・解析)、応用(デバイス・システム)として、基礎から応用へシームレスに体系化できる。今回の調査では、各フェーズにおける主要トピックを網羅的に取り上げるとともに、デジタルファブリケーションやインフォマティクスなど、当分野の最近の課題に関するトピックも盛り込んでいる。なお本調査では、ターゲットが比較的明確な医療・バイオ等への応用に関しては、他分野(健康・医療、バイオテクノロジー等)で扱うこととした。

重要度が高いとされたのは、「応用デバイス・システム」の二次電池・太陽電池・燃料電池に関するトピック、並びに、高性能かつ低消費電力のLSIやメモリ関連のトピックであり、いずれも環境・エネルギーに関する社会課題解決に直結したトピック群である。また、コアやツールに属するトピック群に比較し、ICT・ナノテク、環境・エネルギー、インフラの各分野に対応する「応用デバイス・システム」のトピックは、全般的に重要度が高く、かつ国際競争力も高いと評価されており、我が国の強みを生かす重点化の方向性として注目される。一方、ツールとなる「モデリング・シミュレーション」は、重要度は高いが、国際競争力が低いとされたトピックが多数を占めている。これらについては、重点施策として技術実現・社会実装ともに、人材戦略が重要とする割合が非常に高く、我が国とし

での強化の方向性が示唆されている。2025年までに、全92トピック中90%が技術的実現、26%が社会実装され、2030年までには、全てのトピックが技術的に実現し、87%が社会実装されるとの結果となっている。

(7) 社会基盤

社会基盤には、その分野特性から社会情勢が色濃く表れた結果となり、重要度に関しては廃炉に関する技術に大きな注目が集まり、インフラのメンテナンスに関する技術、災害予測、災害救助に関する技術、航空関連の技術群が続いた。

予測年で見ると、自動運転自動車関連、避難行動を支援する情報インフラに関連する技術の実現が2020年前後に集まり、航空関連のトピックに関しては2030年以降の遅い実現予測となった(トピック60、31、61)。航空関連のトピックについては、不確実性と非連続性も高いとされた。

また、日本が国際競争力を持つとされたトピックとして、環境に配慮した鉄道や船舶の技術、災害救助に続いて、道路インフラにおけるセンサ関連技術が続き、国際競争が低いとされたトピックには、農業関連の技術が挙げられた。

(8) サービス化社会

欧州などで盛んに研究されている製造サービスシステム(Product-Service Systems: PSS)の議論、イノベートアメリカで取り上げられ脚光を浴びたサービス科学の議論などを踏まえ、今回新設した分野である。有形物の「製造」の製造・使用プロセスを対象とする考察に端を発し、無形物である「サービス」も含め、様々な主体の間で交換される価値や、そのプロセス、構成方法などを取り扱う分野であり、21世紀におけるシステムの科学ともいえる。

予測調査のフレームでは、これまで“科学技術予測調査”では取り扱われてこなかった、経済系のトピックや、人文系のトピックも取り扱う点などに特徴がある。特に、細目「経営・政策」及び「知識マネジメント」は回答者数も多く、政策を含めた“マネジメントの工学的支援”への期待・意気込みの高さが伺える。

重要度と国際競争力の観点では、「サービスロボット」をはじめ、「社会設計・シミュレーション」、「サービスセンシング」に関するトピックは重要度・国際競争力両面で高いポイントを得ており、継続的な支援によって今後も我が国が優位を保持し続けられる可能性が見える。

一方、「製造サービスシステム(PSS)」は重要度が高い一方で、国際競争力は低いと評価されている。回答者の自由コメントの中には、「欧州の Horizon2020 などではサービス・PSS 分野に手厚い予算が割り振られている現状を鑑み、我が国が最低限の国際競争力を維持する上でも積極的な支援が必要ではないか」といった趣旨のコメントも見られた。

また、分野の歴史が浅いため研究者層の厚みが薄い、といった指摘も見られ、個別のトピック・細目の評価もさることながら、分野自体の振興を求める意見も多く見られた。