資料 3 － 2
科学技術・学術審議会
総合政策特別委員会
（第３１回）R元.11.7

関係部会等における検討結果

目　次

○量子科学技術委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３

○ライフサイエンス委員会／脳科学委員会・・・・・・・１５

○ナノテクノロジー・材料科学技術委員会・・・・・・・２４

○情報委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４７

○環境エネルギー科学技術委員会・・・・・・・・・・・５３

○宇宙開発利用部会・・・・・・・・・・・・・・・・・・６３

○航空科学技術委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・７３

○原子力科学技術委員会・・・・・・・・・・・・・・・・８６

○核融合科学技術委員会・・・・・・・・・・・・・・・・８９

○防災科学技術委員会・・・・・・・・・・・・・・・・・９３

○測地学分科会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０４

○海洋開発分科会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０８

○科学技術社会連携委員会・・・・・・・・・・・・・・・１１４

第６期科学技術基本計画に向けた検討について

令和元年 10 月 1 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
量子科学技術委員会

目 次

第１部　量子技術イノベーションの推進 2
１．基本認識 2
２．第５期科学技術基本計画期間中の顕著な成果と課題 2
（１）期間中の顕著な成果 2
（２）期間中の主な課題 3
３．今後、特に重点的に取り組むべき事項 4
（１）主要技術領域及び融合領域における技術開発の推進 4
（２）国際協力の強化 4
（３）産学官によるイノベーション創出体制の充実 5
（４）知的財産管理・国際標準獲得の推進 5
（５）優れた人材の育成・確保 5

第２部　量子ビームの利用・推進 7
１．基本認識 7
（１）最先端の研究施設の整備・共用の推進 7
（２）産業界の利用拡大と産学連携の促進 7
（３）国際的な連携・協力の拡大 8
２．第５期科学技術基本計画期間中の顕著な成果と課題 8
（１）期間中の顕著な成果 8
（２）期間中の主な課題 9
３．今後、特に重点的に取り組むべき事項 10
（１）研究施設の安全かつ安定的な運用を確保 10
（２）研究施設を利用した成果の最大化 10
（３）中長期的観点に立った総合的かつ戦略的な研究施設の在り方 10

第１部　量子技術イノベーションの推進

量子技術は、第５期科学技術基本計画（平成２８年１月閣議決定）において、「革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる」ことから、新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の一つとして強化を図るものと位置付けられている。

近年の目覚ましい技術進展に伴い、量子技術のフロンティアは急速に拡大しつつある。このため、政府の統合イノベーション政策強化会議においては、有識者会議を設置し、「AI 戦略」、「バイオ戦略」に続く重要技術戦略として、「量子技術イノベーション戦略」の策定に向けた検討が行われている。

本委員会においては、上記状況に鑑み、政府全体の検討と協調しつつ、量子技術が経済・社会に与えうるインパクトや我が国の強み・課題、それらを踏まえた推進方策について引き続き調査検討を行う観点から、第６期科学技術基本計画に向けた検討の視点や方向性を以下のとおり整理した。

１．基本認識

○　量子技術は、高度な情報処理から材料・ものづくり、医療まで応用範囲が広く、非連続に課題を解決できる大きな潜在力を有し、簡単にコモディティ化できない知識集約度の高い技術体系。

○　超スマート社会（Society 5.0）の実現や持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向けて、社会課題の解決と産業応用を視野に入れた革新的技術の重要性が増しており、将来の経済・社会に大きな変革をもたらしうる量子技術に対する国際的な関心は急速に上昇。

○　投資の拡大と産業応用の模索の動きが世界的に加速する中で、我が国の量子技術に関する優位性をイノベーションに結び付け、「生産性革命」、「健康・長寿社会」、「国及び国民の安心・安全」といった目指すべき社会像に貢献するためには、府省横断で政策を検討・実施すべく、国としてその推進に取り組むことが必要。

２．第５期科学技術基本計画期間中の顕著な成果と課題

（１）期間中の顕著な成果

○　第５期科学技術基本計画等を踏まえ、国として、以下のような取組を通じ、量子技術を推進。

－　平成２８年３月、文部科学省において、戦略的創造研究推進事業（新技術シーズ創出）の戦略目標として、量子関係としては１３年ぶりとなる「量子状態の高度制御による新たな物性・情報科学フロンティアの開拓」を決定し、科学技術振興機構において、これに基づく支援を開始。平成２９年度以降も、戦略目標として、「量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明」等を決定。

－　平成２８年４月、量子科学技術を一体的、総合的に推進するため、量子科学技術研究開発機構が発足。平成３１年４月、学術的なパラダイムシフトや革新的な医学・医療への応用を目指し、量子生命科学領域を新設。

－　平成２９年８月、本委員会において、「量子科学技術（光・量子技術）の新たな推進方策」を策定。これに基づき、文部科学省において、量子情報処理、量子計測・センシング、次世代レーザーを重点領域に設定し、「光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）」を開始。

○　量子技術に関する我が国の基礎研究は、国際的にも一定の存在感を有し、基礎理論や知識・技術基盤等に強み・優位性がある。例えば、超伝導量子ビット、量子計算理論、量子センサ材料、光学技術・素子など、その成果が海外で活用・展開される事例も見られる。これらは、長年にわたる研究の蓄積の成果。

（２）期間中の主な課題

○　現状、我が国には、国を挙げた戦略的な方向性が存在せず、関係府省や企業が、個別に研究開発等の取組を実施。このままでは、量子技術の発展において諸外国に致命的な遅れを取り、将来の国の成長・発展や国民の安全・安心の基盤が脅かされかねない。

○　米国、欧州、中国を始めとする諸外国においては、将来の経済・社会の変革や安全保障の観点から、量子技術を極めて重要な基盤技術として位置付け、国として戦略を策定。国はもとより産業界からも投資を大幅に拡充するなどして、研究開発を推進。

○　また、諸外国においては、研究拠点形成や人材育成等の戦略的な取組も展開。特に欧米では、量子技術に関する拠点形成が急速に進展。国内外から優れた研究者を引き付け。

○　その一方で、我が国は、量子技術に関する基礎理論や知識・技術基盤等に強み・優位性があるにもかかわらず、技術の実用化や産業化（システム化）に向けた取組に課題を抱えている状況。量子技術が未成熟な段階にあり、将来の見通しが立たないといった事由により、大企業の量子技術開発等への積極的な参画には至っておらず、システム化のためには周辺技術も含めたベンチャー企業等の役割が不可欠であるものの、大学等の技術を基にしたベンチャー企業も他国に比べて少ない。

○　また、我が国では、量子技術に携わる研究者の層が諸外国と比して極めて薄い上、研究者が様々な機関に分散して活動しており、国際的にも認知・評価されるトップクラスの研究拠点が欠如。人材獲得競争からも大きな後れを取る恐れ。

○　さらに、国際競争の激化に伴い、米国や欧州では、量子技術について、サイエンスベース（基礎研究段階）での研究開発を推進しており、同分野での我が国との連携を模索。我が国と諸外国の強み・競争力を精緻に分析・評価し、国際協力と国際競争を使い分けた戦略的な取組が不可欠。

○　併せて、我が国では、外国為替及び外国貿易法に基づき、厳格な安全保障貿易管理を推進。大学・研究機関等に対しても先進技術等の管理体制整備を働きかけてきているものの、管理体制整備や研究者への周知徹底等に課題も指摘。

○　量子技術関連の知的財産の戦略的なマネジメントや、社会実装に近い領域での量子技術や関連技術の国際標準化に向けた取組を進めていくことも我が国にとって重要。

○　上記課題に鑑み、政府全体として、目指すべき社会像を実現できるよう、技術開発からイノベーションまでを念頭に置いた、新たな戦略を策定中。今後、当該戦略を踏まえ、量子技術イノベーションに向けた幅広い取組を充実・強化していくことが必要。

３．今後、特に重点的に取り組むべき事項

（１）主要技術領域及び融合領域における技術開発の推進

○　量子技術イノベーション戦略では、中長期・短中期的な観点から、国内外の研究開発動向や我が国の強み・競争力を分析・評価の上、量子技術の基盤となる技術領域として、「量子コンピュータ・量子シミュレーション」、「量子計測・センシング」、「量子通信・暗号」、「量子マテリアル（量子物性・材料）」を「主要技術領域」に設定。加えて、国として特に重点的に推進すべき技術領域として、量子コンピュータ・量子シミュレーションについては、ゲート型量子コンピュータ（超伝導量子ビット）、量子ソフトウェア（ゲート型・アニーリング型量子コンピュータ）、量子シミュレーション（冷却原子）等を、量子計測・センシングについては、固体量子センサ（ダイヤモンドNVセンタ等）、量子慣性センサ・光格子時計、量子もつれ光センサを「重点技術課題」に設定。

○　また、同戦略では、我が国が強みを有するこれらの技術領域を基盤として、イノベーションのスピードと確度を高めるべく、量子技術と関連技術とを融合・連携させた我が国独自の新たな技術体系を構築する観点から、「量子融合イノベーション領域」として、「量子AI技術[1]」、「量子生命技術[2]」、「量子セキュリティ[3]」を設定。これらを国の最重点領域として、企業からの投資を積極的に呼び込みつつ、戦略的な取組の推進が必要。

○　重点技術課題及び量子融合イノベーション領域については、今後１０年間に取り組むべき具体的方策を示したロードマップを策定することとなっており、それに基づき、研究開発プロジェクトや研究ファンディング等の重点的な拡充が必要。

○　さらに、これまで我が国の大学・研究機関等で長年にわたり培ってきた量子技術・人材等の厚みを増す観点からも、量子技術の多様な技術領域を対象に、長期的視野に立ったサイエンスベースでの研究開発等の着実な推進が必要。加えて、上記領域を支える基礎基盤的な研究の推進や、その成果の事業化・実用化・国産化の視点も重要。

（２）国際協力の強化

○　我が国として、国及び国民の安全・安心や将来の産業・市場を見据え、欧米を中心に、価値観を共有でき、量子技術に関する高い研究・技術水準等を有する国・地域との間で、政府レベルでの協力枠組みを主体的かつ戦略的に整備・構築していくことが必要。

○　また、我が国にとっての強み・競争力、学術的なプレゼンス、研究協力に当たってのメリット・デメリットを勘案した上で、政府・大学・研究機関等での多層的な協力枠組みを整備・構築し、具体的協力を推進していくことも必要。

○　なお、産業・安全保障等の観点からは、外国為替及び外国貿易法に基づき、量子技術を含む先進技術等の厳格な安全保障貿易管理を引き続き推進することが重要。現場の負

---

[1] AI技術の一部を量子コンピュータに置換し、アクセラレータとして活用するなど、量子技術とAI技術とを融合。我が国は量子ソフトウェア開発等で強みを保持。

[2] 生命現象の原子・分子や細胞レベルでの機能解明や制御、医療・健康分野等への固体量子センサの活用など、量子技術と生命・医療等とを融合。我が国独自の学問的開拓が始まった段階。

[3] 国及び国民の安全・安心確保の観点から、ネットワークセキュリティ高度化を図るため、古典・量子技術を融合。我が国としても量子通信・中継で先進的な取組を実施。

担に留意しつつ、大学・研究機関等における法令遵守や組織内における適正管理に向けた体制整備等を促進することが必要。

（３）産学官によるイノベーション創出体制の充実

○　我が国が強み・競争力を有する技術領域を中心に、国際競争力を確保・強化する観点から、基礎研究から技術実証、オープンイノベーション、知財管理、人材育成等に至るまで、産学官共創により一気通貫で行う「顔の見える」拠点の形成が重要。このため、量子技術イノベーション戦略では、新たに形成すべき国際研究拠点として、超伝導量子コンピュータ研究拠点、量子ソフトウェア研究拠点、量子生命研究拠点、量子マテリアル研究拠点、量子慣性センサ・光格子時計研究拠点、量子通信・ネットワーク研究拠点を「量子技術イノベーション拠点（国際ハブ）（仮称）」の候補に設定。

○　同拠点においては、大学・研究機関等を中核として、国内外から研究者・技術者を結集するとともに、企業等から積極的な投資を呼び込み、大学・企業間の連携・協力体制を構築することが必要。併せて、量子技術分野の人材育成機能を設置することも必要。

○　さらに、産学官の多様なステークホルダーが集い、量子技術の現状分析や産業・社会での利活用等を検討・議論するための場を設け、協調領域でのオープンイノベーションを促進する仕組みや、量子技術に関する新たな発見や発明等を基にした大学発・企業発ベンチャーの創設を促進する環境の整備が必要。

（４）知的財産管理・国際標準獲得の推進

○　量子技術に関する研究開発の成果等について、オープン・クローズド戦略に基づき、大学・研究機関等における柔軟な権利化・利活用等の促進や、大学等が有する有望なシーズと、企業・ベンチャー等のニーズとのマッチング・事業化等の促進が必要。また、技術を俯瞰した知的財産ポートフォリオを検討することも重要。

○　また、国際的な競争力強化・市場獲得を視野に入れ、我が国が強み・競争力を有する技術領域を中心に、共通の価値観を有する米国や欧州等と協調しつつ、技術的な優位性を活かした国際標準化に向けた戦略的な取組を速やかに展開していくことが必要。

（５）優れた人材の育成・確保

○　我が国においても、量子技術関連分野の人材を質・量ともに飛躍的に充実させるため、大学を始めとする高等教育段階において、当該分野の教育・研究環境等の充実・強化を通じ、研究開発等を担う優れた若手研究者・技術者等を戦略的に育成・確保していくことが必要。その際、分野を超えて俯瞰できる能力の涵養も重要。

○　我が国の研究開発力の維持・向上や、将来の産業競争力等の確保といった観点から、「量子技術イノベーション拠点（国際ハブ）（仮称）」と連携し、国内の研究者確保はもとより、海外からも優れた研究者を招聘・確保するための戦略的な取組が必要。同時に、我が国の優れた若手研究者・技術者等が長期にわたり安定的に活躍できるポストや、海外の大学等で研さんを積む機会の確保を含め、若手研究者・学生のキャリアアップの視点が重要。

○　量子技術を使いこなす高い知識・技能を持った将来を担う研究開発人材を早期の段階

から育成・確保すべく、特に興味関心を持つ高等学校や高等専門学校の生徒等を対象に、関連する学問分野等に触れる機会を積極的に提供していくことが重要。

第２部　量子ビームの利用・推進

我が国では、これまで科学技術基本計画等を踏まえ、国が主導して、大型放射光施設（SPring-8）、X 線自由電子レーザー施設（SACLA）、大強度陽子加速器施設（J-PARC）といった世界最先端の大型研究施設を整備・運用するとともに、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」（平成６年法律第７８号）（以下、「共用法」という。）に基づき、これらの施設について、アカデミアや産業界の幅広い共用を促進してきた。

第１部の１．基本認識にもある通り、超スマート社会（Society5.0）の実現や持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向けて、社会課題の解決と産業応用を視野に入れた革新的技術の重要性は増大。放射光、中性子線やレーザー等の量子ビームは、物質・材料の構造解析や機能分析等に必須のツールであり、我が国の研究開発力や産業競争力を発展させていく上でも、量子ビームに関する世界最先端の大型研究施設は極めて重要な研究基盤・研究インフラである。米国・欧州等が、大型研究施設の整備を急速に進展させる中、我が国としても、研究基盤・研究インフラの競争力を維持・強化していくための戦略的な取組が必要不可欠である。

量子科学技術委員会では、こうした認識を共有した上で、共用法に基づく大型研究施設をはじめ、我が国の最先端の各研究施設の今後の在り方を考える観点から、第６期科学技術基本計画の策定に向けた検討の視点や方向性を以下の通り整理した。

１．基本認識

（１）最先端の研究施設の整備・共用の推進

○　我が国では、量子ビームに関する最先端の大型研究施設として、SPring-8、SACLA、J-PARC MLF を整備し、安定的な運用を行うとともに、共用法に基づく幅広いユーザーへの共用を促進。これらの施設は、世界トップレベルの施設性能を保持し、多くの研究成果を継続的に創出。さらに、本年度より、国が主導する大型の量子ビーム施設としては、約１０年ぶりとなる「次世代放射光施設」の整備を官民地域パートナーシップにより開始。

○　一方、諸外国では、新たな大型研究施設の整備や高度化等を推進。米国では次世代放射光施設として NSLS-II を 2014 年に建設し、X 線自由電子レーザー施設として LCLS のアップグレードを実施中。欧州では、Diamond（英国）、SOLEIL（仏国）、MAX IV（スウェーデン）等の次世代放射光施設の利用が進み、SwissFEL（スイス）、European XFEL（ドイツ）等の X 線自由電子レーザー施設の利用も開始。アジアでは、中国を中心に放射光施設、FEL 施設、超高強度レーザー施設、中性子線施設の計画が進展。韓国でも PAL-XFEL が利用を開始。我が国としても、最先端の大型研究施設等に関する計画的かつ戦略的な整備・更新等が不可欠。

（２）産業界の利用拡大と産学官連携の促進

○　共用法に基づく大型研究施設については、放射光や中性子線の利用・用途拡大に伴い、アカデミアのみならず、企業のユーザーが着実に増加。また、こうした大型研究施設のみならず、各大学・研究機関等が有する量子ビームに関する国内の各研究施設において

は、こうした施設を中核（ハブ）とした産学連携の枠組みやコミュニティの形成など、共同利用や共同研究の取組が拡大。今後は、企業の具体的なニーズと大学・研究機関等が有するシーズとのマッチングを拡大するための取組が重要。

○　また、放射光と中性子線など、複数の量子ビームを相補的・相乗的に活用し、製品開発や性能評価等を行うなど、目的に応じて最適な研究施設や設備を選択し、データ等を取得する取組が大きく進展。

（３）国際的な連携・協力の拡大

○　SPring-8、SACLA、J-PARC MLF といった最先端の大型研究施設については、米欧中をはじめ、海外の大学・研究機関等に所属する研究者等の利用が、近年、大幅に増加。アカデミアを中心に、こうした大型研究施設を利用した国内外の研究者による共同研究や共同利用の取組も拡大。

○　また、SPring-8、SACLA を運用する理化学研究所や J-PARC MLF を運用する日本原子力研究開発機構と、海外の関連機関との連携・協力の枠組みの構築が拡大。さらに、日米・日欧をはじめ、放射光や中性子線の利用や、これを支える加速器技術等に関する政府間の連携・協力の枠組みの構築も進展。今後とも、こうした連携・協力を一層拡大していくことが重要。

２．第５期科学技術基本計画期間中の顕著な成果と課題

（１）期間中の顕著な成果

○　最先端の大型研究施設の安定的な運用確保と利用の拡大

第５期科学技術基本計画期間中（平成 28 年度～現在）、SPring-8、SACLA 及び J-PARC MLF については施設の安定的な運転に必要な運転時間を確保し、利用者数は堅実に増加[4]。

○　同施設を利用した顕著な研究成果の創出

（物質科学・ナノテクノロジー）物質の構造や性質の解明、制御技術の開発により、新たな超伝導材料、水素貯蔵材料、高分子材料等の開発に貢献。

（研究例）次世代冷却技術につながる固体冷媒の開発、全固体型セラミックス電池材料の開発　等

（生命科学）DNA やタンパク質の構造・機能を原子・分子レベルで解明することなどにより、生命活動を理解し、病気の原因解明・予防、治療薬の開発に貢献。

[4] （参考）SPring-8、SACLA 及び J-PARC の運転時間及び利用者実績の推移

施設	運転時間	利用者数
SPring-8	H28：4952 時間 H29：5282 時間 H30：5439 時間	H28：16,113 人 H29：17,607 人 H30：17,011 人
SACLA	H28：5861 時間 H29：6281 時間 H30：6281 時間	H28：1,188 人 H29：1,219 人 H30：1,296 人
J-PARC	H28：7 サイクル H29：8 サイクル H30：8 サイクル	H28：14,350 人 H29：14,100 人 H30：15,430 人

（研究例）創薬のターゲットとなる膜タンパク質、光合成に機能する膜タンパク質やインフルエンザウイルスの構造解明　等

（産業利用）半導体などのエレクトロニクス分野、金属・高分子などの素材分野、触媒や燃料電池など環境・エネルギー分野等の製品開発に貢献。

（研究例）タイヤの相反性能を飛躍的に向上させる新材料開発技術、毛髪損傷構造の可視化　等

（地球・惑星科学）地球深部の構造や隕石・彗星の塵の組成などを解明し、地球進化や太陽系誕生の謎の解明に貢献。

（研究例）小惑星イトカワの微粒子の分析、地球深部の岩石中の水素状態の解析　等

○次世代技術開発の促進

物性測定への適応が期待される極短パルスレーザーの開発、小型高輝度中性子源システムの整備・高度化、次世代放射光施設に活用できる加速器の高性能化、小型化　等

（２）期間中の主な課題[5]

○　放射光、中性子線やレーザー等の量子ビームに関する国内の各研究施設においては経年劣化や要員不足等の課題が顕在化傾向。国際競争力を維持・強化していくためには、こうした施設の安全かつ安定的な運用を確保するとともに、適切な維持・管理や、施設・設備の更新（アップデート）を行うことが必要。また、加速器やビームライン等の高度化を図る上で、耐久性・可用性も考慮した要素技術の開発やビームライン制御における省力化など、安定的で効率的な運用や施設利用を実現するための研究開発等の取組が課題。

○　一方、共用法に基づく国の大型研究施設と、大学や研究機関等、さらには自治体が有する量子ビームに関する各研究施設との連携・協力の構築や、相互の位置づけ・役割分担の明確化等に課題。これらも含め、各研究施設の設備・機器や人材について、一部で重複や余剰等も指摘されており、より効率化に向けた取組が課題。

○　アカデミアや産業界の一層の利用拡大に課題。国内の各研究施設において、共用・共同利用に供する専用のビームラインやビームタイムの導入、利用料金制度の柔軟な見直し、実験支援から解析まで一貫して支援する体制の充実、さらには産学連携を促進するためのコミュニティ形成など、施設を利用するユーザーの裾野拡大と利用者支援の充実・強化に向けた取組が課題。

○　国内の各研究施設の整備・運用、また既存施設・設備の更新（アップデート）等を行うためには、それらに携わる研究者・技術者等の継続的な育成・確保が必要不可欠。さらに、上記のように施設の一層の利用拡大を図るためには、各研究施設において利用者支援等に携わる人材の育成・確保が課題。

[5] SPring-8、SACLA 及び J-PARC について、科学技術・学術審議会において第５期科学技術基本計画期間中の平成 29 年度に約５年ぶりに実施した中間評価も踏まえ記載。

３．今後、特に重点的に取り組むべき事項

（１）研究施設の安全かつ安定的な運用を確保

○　放射光、中性子線やレーザー等の量子ビームに関する国内の各研究施設は、最先端の研究のみならず産業競争力を発展させる上で不可欠な研究基盤・研究インフラである。共用法に基づく国が有する大型研究施設については、引き続き、安全かつ安定的な運用を確保するとともに、共用法に基づき、アカデミア・産業界等の幅広いユーザーに対する共用を推進。また、大学・研究機関、自治体等が有する量子ビームに関する各研究施設については、それぞれの位置づけ・役割分担を明確にした上で、安定的な運用や共用・共同利用等を促進するための取組を支援。

○　経年劣化対策や要員不足対策も含め、国内の各研究施設の適切な維持・管理や、施設・設備の更新（アップデート）を着実に実施するとともに、国際競争力を維持・強化する観点から、各研究施設の高度化・高性能化・高効率化に向けた加速器・測定器等における測定自動化や要素技術等に関する研究開発や、量子ビームに関する共通基盤技術の研究開発、さらには、これらを踏まえた各研究施設の整備等を推進。

（２）研究施設を利用した成果の最大化

○　量子ビームに関する国内の各研究施設を利用した成果を最大化する観点から、アカデミアや産業界等における潜在的なユーザーを開拓・拡大するとともに、こうした各研究施設を、我が国の産業・イノベーションの発展に向けた中核（ハブ）拠点として位置づけた上で、ユーザー支援の一層の充実・強化や、施設を利用した産学連携を一層促進。さらに、海外の研究機関との協力枠組みの拡大や、国内外の研究者による共同利用・共同研究等の促進など、国際連携・協力を積極的に推進。

○　SPring-8 と J-PARC MLF の相互利用など、放射光施設と中性子線施設といった複数施設の相補的・相乗的な利用や、それに向けた共通のプラットフォーム形成を促進。また、こうした国内の各研究施設で得られる資料やデータを有効活用するとともに、アカデミアや産業界等のユーザー拡大につなげる観点から、オープンデータ・オープンアクセスに関する取組を積極的に推進・拡大。

○　量子ビームに関する国内の各研究施設の開発・整備・運用や、利用分野や利用者層の裾野拡大、さらには利用者支援等に携わる研究者・技術者等の確保に向けて、中長期的観点から継続的な人材育成・確保に関する取組が極めて重要。このため、国において、国内の各研究施設における人材需要や供給源に関する総合的な調査を実施するとともに、それを踏まえた中長期的な人材育成・確保に向けた具体的方策を検討・実施。

（３）中長期的観点に立った総合的かつ戦略的な研究施設の在り方

○　上記の観点も含め、我が国の放射光施設、中性子線施設、さらには国の大型研究施設ではないものの大学・研究機関等で様々な施設が存在するレーザー施設の一体を「量子ビーム施設」として位置づけ、国、大学・研究機関、地方自治体といった設置主体の異なる各研究施設を俯瞰的に捉えた上で、今後の我が国の量子ビーム施設の在り方に関する総合的かつ戦略的な検討を開始（２０２０年度を目途に、「量子ビーム施設に関する

中長期戦略（仮称)」を策定)。

○　その際、諸外国における量子ビームに関連する施設の整備・高度化の動向、設置主体の異なる各研究施設の位置づけ・役割分担、国主導による大型研究施設の整備としては１０年ぶりとなる次世代放射光施設等の新たな施設の整備に伴う利用者動向等を適切にとらえた検討を行うことが重要。

第６期科学技術基本計画策定に向けたライフサイエンス分野としての提言

令和元年 10 月 15 日
ライフサイエンス委員会
脳 科 学 委 員 会

１．経緯

○　第５期科学技術基本計画期間（平成 28 年１月以降現在まで）において、ライフサイエンス分野は、健康長寿社会の形成を目指し、健康・医療戦略推進本部の下、健康・医療戦略等に基づき、基礎研究から応用・臨床研究、さらには実用化のフェーズに至るまでの研究開発等を着実に進めてきたところ。

○　切れ目のない研究振興施策の実現により、ライフサイエンス研究の成果が具体的に世界最高水準の技術を用いた医療という形で国民に還元される例も見られるようになってきた[1]ほか、例えば Science 誌による科学 10 大成果の中で、ライフサイエンス分野で日本人が貢献した成果が多くあげられている[2]など、世界的に大きなインパクトを与える我が国発の研究成果も多数創出されている。

○　一方、世界に目を転じると、従来の延長線上のライフサイエンス研究の振興施策のみでは我が国が世界に伍していくことは困難ではないかと予想される変化が多数起きている。

○　今般の提言は、２．で記載した世界の研究動向をはじめとした国内外の状況等を踏まえ、ライフサイエンス委員会・脳科学委員会として、文部科学省科学技術・学術審議会総合政策特別委員会における第６期科学技術基本計画策定に向けた議論に反映していただきたい内容を取りまとめたものである。総合政策特別委員会におかれては、本提言を踏まえ、基本計画策定に向けた議論が展開されることを強く期待する。

２．ライフサイエンス分野の世界の研究動向

※　科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）「研究開発の俯瞰報告書　ライフサイエンス・臨床医学分野（2019 年）」等より

○　AI をはじめとした新しい ICT 技術の進展等によって、社会の中に存在する多種多様

[1] 例えば、母体腹壁誘導にて非侵襲的に妊娠早期から胎児の心拍数の詳細な変化を捉えることができるモニタリング装置「アイリスモニタ」は、文部科学省・AMED 等からの研究費等の支援を受け、東北大学木村教授とアトムメディカル株式会社の連携によって、平成 29 年２月に厚生労働省より薬事承認を取得、平成 30 年７月には販売を開始するに至った。
[2] 例えば、2016 年の「マウスの iPS 細胞から培養で卵子を作製」、2013 年の「ミニ臓器の作製に成功」、2011 年の「光合成タンパク室の結晶構造解析」など多数。

なデータのこれまでになかった利活用が現実的になっている。

○　社会からのフィードバックを研究のきっかけとして活用することが技術的にも可能となり、改めて基礎研究から応用、小規模な実践、社会における実践へとつながり、その過程でまた仮説が生まれ基礎に立ち戻るという研究開発の循環構造の重要性が認識されている。

○　その中で、個別化医療やバイオエコノミーなどのように社会・国民を巻き込んだ研究開発が昨今世界的な大きな潮流となっている。

○　その中で、世界の研究開発政策の潮流を俯瞰すると、下記のような所に焦点が当たっていることが伺える。

- 健康・医療分野
  - ゲノム医療、個別化・層別化医療（がんを中心に）
  - 創薬：がん免疫、中枢神経系、感染症、希少疾患・難病
  - 細胞治療・遺伝子治療
  - 脳神経研究（中長期的研究）
- 食料・農業分野
  - 持続可能、気候変動、循環型、スマート
- 生物生産分野
  - 合成生物学（米英中を中心に）

○　一方で、このようなDNAシーケンサーをはじめとした計測技術やAI・機械学習等をはじめとしたICT技術の急速な進展は、ライフサイエンス分野の研究の在り方や手法のパラダイムをシフトさせつつある状況。

○　従来の個別ラボで閉じて研究を進めるスタイルは、例えば以下のような新しい生物医学分野の課題に対する研究にそぐわない面も指摘され始めている。

- 一細胞オミクス技術の隆盛と細胞社会・不均一性の理解や疾患の理解
- クライオ電顕、超解像顕微鏡・光シート顕微鏡等イメージング技術の発展による各生体スケールの解像度の向上
- ゲノム編集技術の精度の向上による医療、食料応用への展開
- AI・機械学習の生命科学、臨床への着実な浸透
- 新しい創薬等アプローチの出現

○　以上、ライフサイエンス分野における世界的な潮流として、

- 社会的要請により、研究者あるいは研究コミュニティが、研究対象として、前述の研究開発の循環構造及び生命の時空間階層を広く見ていかなければならなくなったこ

と

- 技術進展サイクルの短縮化の結果、研究単位当たりのハイスループット化、高コスト化、つまり「ビッグサイエンス化」が急速に進展していること

等を挙げたい。

○　そして、自動化、大規模化という流れは今後も続いていくと予測される。そんな中、世界では、ブロード研究所、ジャネリア研究所、BIOHUB（以上、米国）、英国フランシスクリック研究所のような新興の研究所が設立され、「オープンサイエンス＋コラボレーション（生物学・医学＋工学＋情報学、生命科学＋医科学＋病院、産＋学、国際）」体制での対応が当たり前のものになっている。

３．若手研究者が夢を持って生き生きと研究に取り組める環境整備を

○　ライフサイエンス委員会・脳科学委員会では、本提言策定に向けた議論を深めるため、それぞれの作業部会を合同で開催[3]し、これまで両委員会で議論されてきた内容をもとにした論点整理等を参照しつつ、議論を行った。その内容をまとめたものが、４．以降で記載した提言である。

○　本提言は、

- 第６期科学技術基本計画期間においても、健康・医療戦略等に記載される医療分野の研究開発が着実に推進されることを強く求めることに加えて、
- 健康・医療分野にとらわれないライフサイエンス分野全体の振興、
- 全研究分野に共通の課題であってライフサイエンス分野がリードすべき事項の振興

等を求める骨太かつ網羅的な内容となっている。

○　他方、合同部会における議論では、これまでの積み重ねである網羅的な提言も継続性の観点から大切であるが、全研究分野の中で大きな割合を占めるライフサイエンス分野として、日本の科学技術全体に対して今まさに求めることは何かとの考えに基づき、焦点を絞った形での訴えもなすべき、との意見があったところ。

○　４．以降の内容にみられるように、議論の内容は多岐にわたったものの、多くの委員の意見に共通してみられたのは、ライフサイエンスのパラダイムシフトを迎える中、科学技術基本計画がうたう知の資産の持続的創出を目指す我が国にとっては若い力が不可欠であり、若手研究者が夢を持って生き生きと研究に取り組める環境整備が緊急に必要であるというものであった。

[3] 基礎・横断研究戦略研究戦略作業部会と次期基本計画に向けた脳科学研究の推進に係る作業部会

○　そこで、４．の提言に先立ち、ライフサイエンス委員会・脳科学委員会として第６期科学技術基本計画策定に向けた議論において最も重要視していただきたい事項として、以下を掲げることとする。

○　若手研究者が自由で多様な研究に取り組むことができるよう、
- 若手研究者が応募可能な基礎研究を一層充実させること。
- 若手研究者が使用可能な研究施設・設備・機器等の整備・強化及び共用を一層促進すること。
- 各種の支援体制を充実し、若手研究者が研究に専念できる環境を構築すること。

○　その際、ライフサイエンスがますますグローバル化・ビッグサイエンス化していることに鑑み、若手研究者が留学等を通じて国際経験を重ね、世界的な頭脳循環に加わることができるようにすること。

○　４．に掲げる種々の取組一つ一つがライフサイエンス全体の振興に欠かせないものであることはもちろんだが、ライフサイエンス委員会・脳科学委員会としては、第６期科学技術基本計画は、何よりも「若手を元気にする」という観点を最重要視した議論が進むことを強く期待する。

○　その際、世界の舞台で切磋琢磨することができる意欲と能力に溢れた若手研究者を育む「場」としての大学・研究機関等が、持続的にシステム改革等に取り組み、国際水準の魅力的な研究環境を構築することが不可欠であり、ライフサイエンス分野に限らず全分野に共通の課題として、国際頭脳循環のハブとして世界に伍する大学・研究機関等の実現に向けた積極的な議論が進められることも併せて期待する。

４．ライフサイエンス委員会・脳科学委員会としての提言

（健康・医療戦略の着実な推進）

○　現行の第５期科学技術基本計画では、ライフサイエンス関係については「健康・医療戦略推進本部の下、健康・医療戦略及び医療分野研究開発推進計画に基づき、国立研究開発法人日本医療研究開発機構を中心に」研究開発を進めることと明記されているところ。

○　現在、令和２年度からの次期健康・医療戦略についての議論が進められているところ

だが、第６期科学技術基本計画においても、健康・医療戦略等に記載される医療分野の研究開発が着実に推進されることが明記されることを引き続き強く求める。

（基礎研究の一層の充実）

○　基礎研究は主に「真理の探究」、「基本原理の解明」や「新たな知の発見、創出や蓄積」などを目指す研究活動であり、現代の知識集約型社会の基盤を成す。ノーベル生理学・医学賞を受賞した日本人研究者から、基礎研究の重要性が鋭く指摘をされたことは記憶に新しい[4]。

○　ライフサイエンス分野においても基礎研究が重要であることは論をまたない。再生医療の実現に向けた iPS 細胞の作製方法の発見、アフリカや中南米における寄生虫感染症に感染した多くの人を救った「エバーメクチン」の発見、画期的ながん治療薬の創出に繋がった免疫反応にブレーキをかけるタンパク質 PD-1 の発見をはじめ、ノーベル賞を受賞し、今後、実際に多くの人の命を救うとともに生活の質の向上に寄与することが期待される多くの成果も、元を辿れば全てが基礎研究である。

○　さらに、最近では、ありのままの状態のタンパク質を解析する手法として全世界でその活用が進められているクライオ電子顕微鏡の誕生に向けた技術開発もまた基礎研究の成果の賜物[5]であり、研究成果そのものではなく、研究成果を生む研究手法の高度化のためにも基礎研究が重要である。

○　我が国が持続的に世界トップレベルの研究成果を創出し続けていくためには、ライフサイエンス分野に限った話ではないが、具体的な応用を直接的な目標とすることなく現象等に関して新たな知識を得るために行われる基礎研究を一層充実させていくことが必要である。

○　さらに、ライフサイエンス分野においては、社会実装をある程度見据えた基礎研究においても強みを有している[6]と考えられるため、出口を見据えた基礎研究についても、アプローチの多様性を確保しながら、一層充実させていくことも必要である。

○　なお、基礎研究に限らず全ての研究において、動物実験を行うに際しては、動物実験等についての基本指針等に則り、適正な動物実験等の実施を確保することが必要である。

---

[4] 令和元年版科学技術白書では、代表的な指摘として、2018 年受賞者の本庶佑氏による基礎研究における多様性と広がりの重要性の訴え、また、2016 年受賞者の大隅良典氏による現在の政府の助成対象が産業や医療への応用研究が重視されている現状について「危惧している」との指摘や「知的好奇心で研究を進められる大事な芽を大学に残してほしい」との訴え等を紹介している。

[5] 本開発を行った３人の研究者は 2017 年のノーベル化学賞を受賞。

[6] 例えば京都大学 iPS 細胞研究所の山中所長の iPS 細胞に係る研究も、科研費での成果が、出口を見据えた基礎研究事業である戦略的創造研究推進事業（CREST）につながり、ヒト iPS 細胞の樹立成功につながった。

（ビッグデータ解析などのデータサイエンスをはじめとした異分野融合研究の推進）

○　２．で指摘したとおり、ライフサイエンスはビッグサイエンス化しており、異分野融合での研究開発を進めていかないと対応ができない、または新たな発見はできない、というのが米国ブロード研究所をはじめとした世界の共通認識となっている。

○　特にハイスループット化によって得ることが可能となったビッグデータを解析するためにはデータサイエンス等との連携の必要性も多く指摘されている。

○　例えば脳科学研究においては、大規模脳画像等のビックデータ解析のために、AI 研究との連携による脳機能の数理科学研究を推進してきたところであるが、脳科学研究分野に限らず、統計科学、物理学、情報科学などを背景とする数理情報系研究者の参画を促し、ライフサイエンス分野と数理情報との橋渡しとなる枠組みを形成することがますます重要かつ急務となっている。

○　その際、ビッグデータの解析に向けて必要となる計算処理能力の向上に向けた取組が一層必要となることに加えて、ビッグデータの収集・維持管理・共有等、我が国の研究リソースとして持続的に発展させていくためのインフラ整備も必要となる。

○　また、直接的には医薬品・医療機器の開発に繋がることが想定されないような分野の研究成果が革新的な技術開発に繋がる事例なども見られることから[7]、ライフサイエンス分野内に閉じるのではなく、広く積極的に異分野融合研究が促進される仕組みが必要である。

○　さらに、ライフサイエンス研究による成果は、新たな技術開発に留まらず、全く予想しない分野への展開がなされた後に、社会を一変させるようなイノベーションや人の生活の質の劇的な向上に繋がるポテンシャルがある[8]。健康・医療分野のみならず、資源・エネルギー問題等の地球規模の課題の解決を先導するサイエンスとして発展させていくことが必要である。

（先端的な研究施設・設備・機器等の整備・強化及び共用の一層の促進）

[7] 例えば、木村建次郎神戸大学准教授による次世代乳がんスクリーニングのための「マイクロ波を用いたマンモグラフィ」の開発は、元々インフラ構造物等の工学系の検査において極めて高い性能を達成してきた計測システムをライフサイエンス分野に転じ、従来の X 線マンモグラフィの課題克服に大きく貢献した（平成 29 年第 1 回日本医療研究開発大賞日本医療研究開発機構（AMED）理事長賞を受賞）。

[8] 例えば、東大初のバイオベンチャーとして知られる株式会社ユーグレナは、食料・エネルギー問題を解決することを掲げ、そのためのミドリムシの大量培養を事業としている。また、トップアスリートが最高のパフォーマンスをするために「脳波トレーニング」を行うといった事例も見られるようになっている。

○　世界的には特に欧米においてコアファシリティ化がしっかりと根付いているほか、国の政策によってイメージングやゲノム解析等機器・機能毎の共用ネットワークが発達している。

○　日本においても、東北メディカル・メガバンク計画のように、コホート・バイオバンクや大規模ゲノム・オミックス解析によって、健康調査と解析情報を統合解析する研究拠点や創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS)、先端研究基盤共用促進事業をはじめとした解析・共用等を促進する施策は、これまでも推進されてきたものの、大学等における各研究所・研究科におけるコアファシリティは広く見られないところ。

○　加えて、イメージングからオミックス解析、さらにはデータ解析までをワンストップで行う研究拠点もほぼ見られない状況となっている[9]。

○　上述のようにライフサイエンスが、基礎研究も含めビッグサイエンス化、ハイスループット化している世界的な潮流及び研究機器自体が高度化・高額化し、各研究室単位で所有・維持・利用・アップデートを行うことが困難になりつつある現状等を踏まえ、第６期科学技術基本計画全体の議論と軌を一にして、抜本的な整備・強化及び新たな共用の在り方を大胆に打ち出すことが必要である。先端的な研究機器の共用等を通じた研究基盤の強化は、ビッグサイエンス化するライフサイエンスへの対応と、その基盤を活用して行われる若手研究者による多様な基礎研究の促進を両立させる取組であることから、実効性の伴った検討が進められることを強く期待する。

○　その検討に当たっては、既存の基盤整備事業等との適切な連携を図ることが必要であるほか、共用すべき機器の設定に際しては、研究機器の汎用性や価格帯等多様な観点を踏まえた慎重かつ実質的な検討を着実に進めることが必要である。

○　また、ハード面の研究機器のみならず、質の高いバイオリソースやインシリコスクリーニング等をはじめとした技術についても、安定的な提供の実施及び技術開発による一層の高度化が必要である。

○　その際、欧米の研究現場においては研究支援人材が量的にも質的にも充実している状況等を踏まえ、必ずしもライフサイエンス分野だけの論点ではないかもしれないが、我が国においても上記研究機器の整備・強化及び共用の在り方の議論と一体的に研究支援人材のキャリアパス形成や待遇改善といった検討を深めることが必要である。

[9] 出典：科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS)「研究力強化のための大学・国研における研究システムの国際ベンチマーク」(2019 年 8 月)

（ライフサイエンス分野における若手研究者・人材育成の推進）

○　若手研究者を巡って我が国は、博士課程への進学者数の減少などの「量」及びポストの低調な流動性と不安定性をはじめとしたキャリアパスとしての「質」の双方の観点から諸外国との頭脳循環を巡る国際競争において厳しい立場に立たされているというのが現状となっている。

○　文部科学省において 2019 年４月に打ち出された「研究力向上改革 2019」の中でも研究資金、研究環境と並ぶ重要な論点として研究人材の改革が掲げられているが[10]、その改革の実行が一刻も早くなされることを強く期待する。その際、若手研究者に加えて、大学生、中高生といった次世代の子供たちが、知的好奇心を刺激されながらサイエンスの面白さを知ることができる取組も重要である。

○　さらに、ライフサイエンスがますますグローバル化・ビッグサイエンス化していることに鑑みると、研究者が最先端の研究領域の国際コミュニティに多く属し、常に最新の研究動向に触れ合える環境が大切である。そのため、若手研究者が留学等を通じて国際経験を重ね、世界的な頭脳循環に加わることができるようにする取組が必要である。また、それらの若手研究者が日本のライフサイエンスの向上に貢献できるよう、諸外国の主要な研究機関に劣らない研究機関におけるスタートアップ支援が必要である。

○　研究人材改革の総論的な改革に加えて、ライフサイエンス分野では、各種のプロジェクトにおいて、若手の野心的な研究に機会を積極的に与えるプログラム等が立ち上がっているところだが[11]、一層の充実・強化が必要となる。

○　また、上述の研究機器に係る議論に際しては、若手研究者がそれらの機器を自由に使用し多様な基礎研究を行うことができるような共用の在り方について検討が必要である。なお、特に医・歯・薬学等を中心とする保健分野においては、大学等教員の研究活動に従事する時間割合が他分野に比べて顕著に減少[12]していること等を踏まえ、研究支援人材の充実によって、研究者が研究に専念できる環境を整備することが必要である。

---

[10] 「研究力向上改革 2019」では、研究人材強化体制の構築として、「①研究者が研究に打ち込める環境の整備（研究意欲の向上）と質の向上、②様々な研究者やスタッフとの協働によるチーム型研究体制の構築を推進、③多様性・流動性を促進することで、博士人材の多面的な活躍を支援、④博士人材の多様なキャリアパスの見通しを示す等による進学（学位取得）意欲の向上、⇒これらの好循環による人材改革の実現を目指す。」とされ、具体的な方策として「若手研究者の任期長期化（原則５年程度以上に）」「優れた若手研究者へのポストの重点化」「組織における人事給与マネジメント改革の実施」等を行うとされている。

[11] 例えば、次世代の再生医療・創薬の実現に資する挑戦的な研究開発を積極的に採択する再生医療ネットワーク拠点プログラムにおける「幹細胞・再生医学イノベーション創出プログラム」等が代表的な事例としてあげられる。

[12] 大学等教員の職務活動時間割合の学問分野別推移において平成 14 年と平成 30 年を比較すると、例えば理学が 56.9%から 49.3%なのに対し、保健は 46.0%から 29.8%に減少している（出典：平成 30 年度大学等におけるフルタイム換算データに関する調査（報道発表資料）2019 年６月）。

（ライフサイエンス分野の産学官連携及びそれを担う人材育成の推進）

○　従来よりいわゆる「死の谷」の存在が強く指摘されるライフサイエンス分野において、厚生労働省との連携を強化した形で推進されてきた革新的医療技術創出拠点プロジェクト等を通じて、アカデミアシーズの実用化に向けて必要なARO[13]の基盤が整えられ、また、医師主導治験の実施が一般化するなどのシステム改革がなされたことは特筆に値する。

○　さらに、世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）の大阪大学免疫学フロンティア研究センター（IFReC）においては、中外製薬株式会社から10年間にわたって年間10億円の拠出を受ける包括連携契約が締結されるなど、基礎研究拠点においても大規模な産学連携が推進される好事例も見られるようになってきたところ。

○　これらを特別な事例として終わらせず、持続的に産学官連携による成果を創出するためには、医療分野の実用化研究に取り組む研究者がより積極的に橋渡し研究支援拠点等のAROを活用するよう国として推奨するとともに、これらAROを産学官連携の場として、産学が互いの役割を認識した上で、開発の早期から製品化段階に至るまで相互補完的に両者が並走しながら開発を進めるよう、さらなるAROの発展を促すことが必要である。

○　さらに、その実現には産学官連携の実現を担う人材育成も不可欠であり、プロジェクトマネージャー、薬事・特許担当者、CRC[14]、監査・モニタリング人材等の支援人材の待遇向上（俸給表整備、教員登用等）、若手育成、産学間・学学間の人事交流の促進等によるキャリアパス構築が必要となる。そのためには、実用化研究推進の際、支援に対する適切な対価を研究者・企業へ求めるとともに、今後、国は研究費における当該費用支出への考え方を整理すべきである。

（以上）

[13] Academic Research Organizationの略。大学等のアカデミアにおいて、橋渡し研究や臨床試験の支援を行う機関。
[14] クリニカルリサーチコーディネイターの略称。

イノベーション創出の最重要基盤となるマテリアルテクノロジーの戦略的強化に向けて
（第６期科学技術基本計画に向けた提言）

令和元年 10 月 18 日
ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

１．はじめに

現在、科学技術・学術審議会総合政策特別委員会において、第６期の科学技術基本計画（以下、「基本計画」）期間中に展開すべき政策の検討が進んでいる。そこでは、我が国の科学技術イノベーションの競争力を今後維持・強化していくために、我が国の強みを生かした研究開発戦略を構築することの必要性が指摘されている。

科学技術イノベーションは、今や世界各国で、国家の最重要政策の柱の一つとして推進されている。こうした政策の国際競争の中で、我が国は、第５期基本計画において、科学技術イノベーションを通じて経済的発展と社会課題の解決を両立し、人間中心の社会を実現するという Society 5.0 のコンセプトを提示した。また、統合イノベーション戦略を通じたその後の政策展開において、世界の国々が投資を強化し研究開発競争が加速する AI、バイオテクノロジー、量子技術といった３つの先端技術分野の強化を最優先の取組として進めている。

また、国際社会の一員として、持続可能な開発目標（SDGs）やパリ協定の長期目標の達成に向けて、我が国の科学技術イノベーションが貢献し、持続可能でインクルーシブな社会を実現していくことも益々重要となっている。

このように我が国の科学技術イノベーションの役割と国際社会からの注目が高まる中、AI、バイオ、量子といった先端技術分野の革新や、Society 5.0 及び SDGs、パリ協定の長期目標等の実現に当たって、物質や材料、デバイスに係る科学技術である「マテリアルテクノロジー」の革新と活用が共通して大きく求められている状況にある。

ここで重要となるのは、マテリアルテクノロジーの研究開発に関して、我が国が大きな強みを持つという点である。これまで我が国は、ナノテクノロジー（以下、「ナノテク」）・材料分野への投資を継続的に行い、ナノテクの進化を牽引するとともに、ナノテクという基盤に支えられた我が国発の材料やデバイスが数多くのイノベーションを生み出し、社会の変革を牽引してきた。また、我が国が生み出す材料やデバイスは、その高い技術と精緻なものづくりに裏打ちされた高信頼性を背景として、我が国の輸出産業の最重要基盤として外貨を獲得する源泉となり、このことは、世界の中で我が国がプレゼンスを示し、国際交渉力を発揮する上での生命線となっている。大学や国研、企業等の研究開発現場を見れば、優れた人材と知識、情報、データが、ノウハウ等の無形の知的資産も含めて広く膨大に蓄積されている。

他方で、こうした我が国の強みが近年危機にさらされていることは認識しなければならな

い。化学や材料、物理を専門とする博士課程学生を含めた若手研究者が大きく不足しており、大学等における研究力が低下してきている。大学等で生み出された知を卓越知へと育てる取組や、卓越知がその価値に見合う形で社会実装につながる体制整備も十分でない。

こうした中で、米国や中国をはじめとする世界の主要国・地域は、今後の最重要の基盤技術の一つとしてマテリアルテクノロジーに注目し、投資を強化し始めている。

科学技術面と産業面の双方で過去の投資や取組に基づく強みを保持している今だからこそ、我が国は、重要性が拡大し世界も注目するマテリアルテクノロジーの研究開発を、第６期基本計画期間中における次の新しい一手として戦略的に強化し、我が国発のイノベーション創出を牽引していかなければならない。

本委員会はこうした認識の下、平成 30 年８月に、産業振興と人類の幸せの両方に貢献する「マテリアルによる社会革命（マテリアル革命）」の実現を目標とした「ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略」（以下、「研究開発戦略」）を取りまとめた。その後約１年が経過し、研究開発戦略が提示した取組を実現することの重要性自体は変わらない。

今般、本委員会では、総合政策特別委員会をはじめとする第６期基本計画に向けた各方面の検討に資するべく、研究開発戦略策定以降の状況変化も踏まえた補完的な議論を行った。

本提言は、ナノテク・材料分野全体の推進方策を示した研究開発戦略の内容を基に、物質や材料、デバイスに係る科学技術である「マテリアルテクノロジー」が今後の我が国における最重要の基盤技術であることを明確に示した上で、マテリアルテクノロジーの持つ重要性や強みを基本認識として整理するとともに、今後の研究開発の推進の方向性と必要となる具体的取組について提示したものである。

２．基本認識

（１）マテリアルテクノロジーの重要性の拡大

○ 世界レベルで研究開発競争が加速する AI、バイオテクノロジー、量子技術といった先端技術分野でのイノベーションが近年重視される中、各技術の成果創出に当たって、マテリアルテクノロジーに係る革新がその鍵を握る。例えば、AI を支える半導体デバイスについては、ムーアの法則が限界に達しつつある中で、省エネ、高集積、高速で動作する革新的な次世代デバイスの登場が求められている。バイオテクノロジーに関しては、再生医療における細胞の培養・分化・移植を促進するための材料の革新、生物特有の高度な機能を実現するバイオデバイスの革新等が必要となる。量子技術分野では、量子コンピュータを構成する超電導量子ビット実現のための材料の革新や量子センサ材料の革新が不可欠であり、また、量子状態の精密制御により新たな機能を発現する量子マテリアルの研究開発を進めていくことも重要視されている。

○ Society 5.0 の実現に当たっては、サイバー空間とフィジカル空間とをつなぐ技術基盤を整備することが不可欠となる。サイバー空間技術の強化だけでは十分でなく、例えば、

フィジカル空間に大量かつ多様に存在する物理、化学データに対応でき、環境やエネルギー、人体に優しく、従来とは性能が大きく異なるセンサやデバイスといったマテリアルテクノロジーの革新と活用が求められる。

○ 地球規模課題の解決を通じた国際社会への貢献も重要な役割となる。持続可能でインクルーシブな社会の実現に向けた SDGs の 17 の目標に注目すると、例えば、大気や水を綺麗にするシステム、太陽電池や環境発電の効率的利用等、マテリアルテクノロジーの革新なしには達成できない目標が数多く含まれている。パリ協定の長期目標の実現をはじめとする環境・エネルギー問題への対応においても、革新的な電池技術や希少資源に依存しない新材料等が不可欠となる。我が国が今後重視するバイオエコノミーの形成に向けては高機能バイオ素材、バイオプラスチックといった新材料に基づくイノベーションが注目されており、自然災害からの安全確保やモビリティの向上といった課題に対しては高性能な構造材料の登場が期待されている。

○ このように、我が国が重視するほぼ全ての政策及び技術領域において、マテリアルテクノロジーのイノベーションが共通して求められている。こうした挑戦的かつ魅力的な技術課題に、マテリアルテクノロジーに係る研究者が切磋琢磨しながら取り組んでいくことが必要となる。

（2）マテリアルテクノロジーの我が国の強みとしての実績

○ 我が国がマテリアルテクノロジーの研究開発を積極的に推進していくことで、イノベーションが次々と創出されていくことが期待できる。これを裏付けるのは、マテリアルテクノロジーが持つ科学技術面と産業面の大きな強みである。

○ 我が国を牽引する製造業の付加価値の源泉は、競争力のある材料・デバイス技術である。現在、我が国の輸出総額のうち工業素材が約２割を占めており、世界市場において５割以上のシェアを有する製品も多数存在する。ものづくりがグローバルバリューチェーンの中で実施される現在において、こうした材料・デバイス産業の強みが世界における我が国のプレゼンスと国際交渉力発揮の生命線となっている。

○ 科学技術面を見ると、我が国発の材料・デバイスの発展が、これまでの社会の変革の原動力になってきたという数多くの実績がある。例えば、セラミックス技術の進展により透明性の高い石英ガラス等を用いた光ファイバーが誕生し、情報化社会の実現や高度化につながった。微細加工技術の高度化や巨大トンネル磁気抵抗効果の発見等が磁気記録による超高密度ストレージを実現し、AI やビッグデータ技術が実現した。リチウムイオン電池はモバイル機器に搭載され、その爆発的な普及が現在の AI・IoT・ビッグデータ時代を切り拓いた。日本発の材料やデバイスは、こうした情報化社会の進展のみならず、ハイブリッド自動車に搭載されているネオジム磁石、航空機や自動車に広く採用されている炭素繊維強化プラスチック、照明技術に革新をもたらした青色発光ダイオード等、環境分野をはじめとする広範な分野の発展の原動力にもなってきた。また、こうした実績の背景には、大学や企業等における長期にわたる研究開発への投資があったことも重

要な点である。2014 年に青色発光ダイオード、2019 年にリチウムイオン電池がノーベル賞を受賞したことは、我が国のマテリアルテクノロジーの強みと貢献が世界に認められている証しである。また、社会変革への実績のみならず、ナノカーボンやスピントロニクスといった魅力的な機能を持つマテリアルの研究開発でも現在我が国が世界を牽引している。さらに、魅力的な機能を持つマテリアルが、当初想定していた応用領域とは異なる方向で社会実装される事例も多数生まれてきている。

○ このように世界の中でも突出する実績を上げることができた理由として、アジア諸国の中でいち早く高等教育制度を整えたことで人材や基礎研究力が育まれたという歴史的背景に加え、マテリアルテクノロジーに関連する研究手法が、細かい点に良く気付く、粘り強くあきらめずに実験するといった日本人の気質、日本らしさに良く合致したからではないかとの指摘がある。

○ マテリアルテクノロジーを支える我が国の研究開発環境、特に、SPring-8 等の最先端の共用研究施設が国内に複数存在し、ナノテクノロジープラットフォーム等を通じて微細構造解析、微細加工、分子・物質合成に関する先端研究設備・機器の効果的な共用体制が全国的に整備されていることも我が国の大きな強みである。こうした共用研究施設・設備等を通じて、異分野融合や産学官連携が促進され、また、独自に大型施設・設備等を保有できない若手研究者が活躍できる機会が提供されている。加えて、物質・材料を研究開発対象とする物質・材料研究開発機構（以下、「NIMS」）が現在我が国に３機関しかない特定国立研究開発法人に指定され、世界トップクラスの研究業績を継続して上げていることも、物質・材料分野の研究開発に対して我が国が強みを持つ理由である。

○ さらに、我が国全体の研究者や研究費獲得実績を俯瞰した際に、マテリアルテクノロジー分野が一つのボリュームゾーンとなっている。特に、ハイレベルな研究開発活動においてその傾向は顕著であり、国内ではこの分野に優れた研究者が数多く存在していることが確認できる。マテリアルテクノロジーを研究開発活動の中核に掲げる大学も幾つも存在する。このことは、マテリアルテクノロジーを対象とした取組を強力に進めることの重要性はもちろん、我が国におけるマテリアルテクノロジーの推進の在り方自体が、今後の我が国の科学技術イノベーション活動全体の趨勢をも決定付ける可能性を持つことを示唆している。

○ ナノテクが果たしてきた役割は大きい。21 世紀以降のナノテクへの継続した投資は、ナノテクを我が国の強みとなる世界トップレベルの基盤技術として育て上げるとともに、理学と工学、医学と工学といった異分野融合を牽引した。その結果、ナノスケールで現象を解明し、ナノスケールに起因する機能開拓を目指すという草創期の使命を果たし、ナノテク自身が体系化されたツールとなることで新たなイノベーションを創出する基盤へと進化した。今後は、スケールの対象を、ナノから量子への発展や、ナノからマクロへの包括的な理解・制御へと発展させることにより、これまでのナノテク分野への投資の蓄積を活用した異分野融合を通じた新たなイノベーションの創出が大きく期待できる。

（３）研究開発現場を取り巻く状況

○ 研究開発現場における我が国の国際競争力の低下が懸念される状況にある。特に、マテリアルテクノロジーを構成する基礎学問分野である化学、材料科学、物理学分野の論文指標がこの 10 年間で質・量ともに低下しており、国際的シェアも地位を下げてきていることは、これら３分野が他の学問分野と比較して相対的に高い国際競争力を引き続き有しているとは言え、大きな懸念である。材料分野の国際会議において日本人研究者、特に中堅・シニア研究者は高い存在感を示しているものの、若手については存在感を高める必要があるとの指摘も多い。若手人材に関して、大学等において研究開発活動の中核を担う博士課程学生やポストドクターの確保が困難になってきており、特に、日本人でアカデミアを志向する学生が近年大幅に減少傾向にある。こうした研究開発現場の次世代を担う人材の不足状況に正面から向き合う必要がある。大学教員が研究時間を十分に確保できておらず、それが研究力の低下のみならず、アカデミアを志向する学生の減少にも影響していることが示唆される。

○ 民間企業の研究開発が短期化傾向にある中で、企業内で人材や技術を育む土壌が失われつつある。このため企業は、大学や国研に対して多くの役割を期待するようになっており、知の社会実装の促進に向けて、オープンイノベーションを加速するための産学官共創の場の形成、意思決定スピードの速い大学発ベンチャーの設立といった取組がこれまで以上に重要となっている。しかし、大学における研究者の産学連携活動に対する支援体制がいまだ不十分であること等から、大学で生み出された卓越知を、その潜在的価値に見合う形で、スピード感をもって社会実装につなげることが必ずしもできていないとの指摘がある。また、産業界の基盤技術を支える化学工学、溶接工学といった学問分野において、大学での人材の育成・確保が、企業の人材需要に対して危機的状況であることへの懸念も指摘されている。

○ 政府の課題解決型の研究開発支援の取組において、大学等の研究開発現場に対して、単線的な目標設定に基づく成果創出と応用展開を急ぎ過ぎる傾向があり、イノベーションを生み出す種となる卓越知が十分に育めていないとの指摘も多い。

○ デジタル革命による AI やビッグデータの発展が材料開発手法を大きく変革しており、2011 年に米国が打ち出した「マテリアルズ・ゲノム・イニシアティブ」以降、材料データを用いて材料開発期間の短縮、低コスト化を目指すデータ駆動型材料開発の取組が世界各国で進められている。そうした中で、世界的に卓越した良質かつ豊富な材料のデータベースを NIMS が長年にわたり蓄積、整備してきたことは我が国の大きな強みとなっている。

（４）諸外国の政策動向と影響

○ 諸外国の政策動向についても注視する必要がある。米国や欧州、中国、韓国といった世界の主要国・地域が、様々な政策・技術領域におけるイノベーションの鍵を握るマテリアルテクノロジーの重要性に気付き、重点投資を実施し始めている。特に中国は、2015

年に発表した「中国製造 2025」を契機に、半導体や部材を 2025 年までに自給 7 割とすることを目標に掲げ、大規模投資を行っている。政府全体の科学技術予算の大幅な伸びとあいまって、我が国をはじめとする世界各国の高度人材や卓越知を積極的に取り込もうとする動きが活発化している。米国でも、2018 年に国防高等研究計画局が開始した「Electronics Resurgence Initiative（電子技術復活イニシアティブ)」に代表されるように、半導体・電子材料に対する取組を政府として近年強化しており、希少鉱物対策に向けた新たな検討も進んでいる。韓国は、2019 年に材料・部品・装置の自立化に向けた 2020 年以降の政府投資の大幅拡充を発表しており、今後の材料・デバイス産業のグローバルバリューチェーンへの影響が予想される。米中の技術覇権争いを契機とした技術安全保障の動きは近年世界全体へと波及しており、希少資源や材料を国内で戦略的に確保することの重要性が一層高まっている状況にある。

３．基本的な推進の方向性

○ 我が国のマテリアルテクノロジーは、人材や投資の蓄積があり世界最高水準の研究基盤を持つといった科学技術面の強みと、輸出競争力の高い出口産業を有するといった産業面の強みを兼ね備えることから、投資に対する費用対効果が非常に高いことが推察され、マテリアルテクノロジーの重要性が拡大する中で、今後の一層のイノベーション創出が期待できる。

○ このため、第 6 期基本計画においては、マテリアルテクノロジーをイノベーション創出に向けた最重要基盤技術の一つとして位置付け、関連する科学技術イノベーション活動を政府が戦略的かつ一体的に推進していくことが不可欠である。我が国の優れた研究者のボリュームゾーンを占めるマテリアルテクノロジーの知のポテンシャルを活用し、異分野融合、産学官融合の２つの融合促進を通じて、イノベーションの創出を強力に先導していくことが求められる。また同時に、次世代人材の不足をはじめ、マテリアルテクノロジーの強みが危機にさらされている中で、優れた人材を引き付け、その能力が最大限発揮できる環境を整備することで、我が国の強みとなる多様な知の創出力を将来にわたって蓄積していくことも重要となる。

○ こうした観点から、政府には、今後以下の４つの取組を進めていくことが求められる。研究開発の推進に当たっては、マテリアルテクノロジーに対する具体的要請から導かれる重要技術領域を育成、実装していくことと、マテリアルの魅力を追求する研究開発を腰を据えて推進していくことの２つのアプローチが基本となる。加えて、研究開発活動の生産性向上のための取組をはじめ、必要となる関連取組を総合的に推進することで、我が国のマテリアルテクノロジーからイノベーションが創出される可能性を最大限に高めていくことが望まれる。なお、政府はこれら４つの取組を単独で推進するのではなく、それぞれの取組を有機的かつ一体的に推進していくことが求められる。

① イノベーション創出を牽引するマテリアルテクノロジーの重点技術領域の推進

② 魅力的なマテリアル創出基盤の構築

③ 研究開発の効率化、高速化、高度化を通じた生産性の向上

④ マテリアルテクノロジーの強化に必要となる施策の推進

４．具体的取組の方向性

（１）イノベーション創出を牽引するマテリアルテクノロジーの重点技術領域の推進

○ マテリアルテクノロジーの革新が持つ大きな役割に応えるために、大学等の研究開発現場から生み出される多様な知を、戦略的かつ重点的に育成するとともに、スピード感をもって社会実装につなげていくことが求められる。

○ 重点技術領域の抽出に当たっては、AI、バイオテクノロジー、量子技術といった先端技術分野の革新、Society 5.0 の実現や SDGs の達成、パリ協定に基づく長期目標の達成など環境・エネルギー問題への対応、国及び国民の安全・安心の確保、健康長寿社会やバイオエコノミーの形成、農業の革新といった国内外の重要課題の解決等に向けて、マテリアルテクノロジーの革新が鍵となる技術領域を抽出することが重要である。その際、人的資源も含めたこれまでの投資や実績の蓄積、それらの蓄積を効果的に活用できるかどうかといった視点も重要となる。

○ 例えば、以下のような技術領域が挙げられる。これらについては、今後、第６期基本計画の検討の進捗状況に合わせて、更に詳細な検討を進めていく必要がある。

・トリリオンセンサ時代に対応し、Society 5.0 実現の鍵を握る、革新的かつ統合的な「センサ技術」

・AI や量子技術の革新の実現や、サイバー空間とフィジカル空間をつなぐ基盤の構築等に貢献する、桁違いの低消費電力化や高耐久性、親環境性、多機能性等を実現する革新的な「素子・デバイス技術」

・再生医療や高度診断機器等を通じた健康寿命延伸の実現への貢献を目指し、マテリアルと生体との一体化や、人間の能力拡張等につながる新しい「バイオ材料・デバイス」

・大幅なエネルギーの変換・貯蔵・高効率利用を実現し、二酸化炭素排出量の削減にも貢献する次世代「電池技術」

・自然災害からの安全確保や国土強靭化、核融合等の次世代エネルギー技術の実現、宇宙・海洋空間での科学技術イノベーション活動の発展に不可欠となる、高耐熱性、高強度、高信頼性等を実現する「極限性能材料」

・モビリティの高度化や省エネルギー・低炭素社会の実現等に不可欠となる、複合マテリアルの界面の高度な理解と制御を目指す「接着・接合技術」

・持続可能な社会の実現やバイオエコノミーの形成に向けて、様々な物質のリサイクルや循環、高純度化、浄化等に利用される「分離・分解技術」

・元素・物質の循環型社会の実現と希少元素依存からの脱却への戦略的対応につながる、元素の未開拓の新機能創出を目指す次世代型「元素戦略」

・幅広い応用領域の革新につながる、物質を自在に設計・制御することで新機能を創出する「分子技術・空間空隙制御技術」

○ こうした技術領域の推進に当たっては、中長期的な視点から技術目標を設定することが求められる。ただし、各技術については単線的な課題解決を目指すのではなく、それぞれが多岐にわたる方向への応用可能性を有することを踏まえた上での柔軟な目標設定が望まれる。

○ 重点技術領域における知の育成に当たっては、大学や国研が中核となり、国内外に開かれた環境の下で、異分野の優れた人材が結集・融合し、切磋琢磨を図ることで、イノベーションの種となる卓越知が育成、創出されていくことが重要である。

○ 重点技術領域における知の社会実装に当たっては、産学官の横断的な連携の下で、社会実装に向けた研究開発と基礎研究とが相互に刺激し合いスパイラル的な融合型研究開発を進めていくことが重要な手法となる。

○ なお、革新的な材料を効果的・効率的に社会実装につなげるためには、実際に企業等で使われるデバイスやシステムの段階においても革新的な機能が上手く発揮される必要がある。こうした新材料の生産規模拡大とシステム化のためのプロセス技術は、材料の複雑化に伴い、新たな学理とサイエンス基盤、いわゆるプロセスサイエンスの構築を必要としていることから、大学や国研を中核としたオープンイノベーションの仕組みにより、プロセスサイエンスの取組を推進していくことも重要である。

○ 現在、こうした視点に基づき、マテリアルテクノロジーの研究開発活動を戦略的かつ一体的に支援する政府の取組は十分でなく、取組の一層の強化が求められる。

（２）魅力的なマテリアル創出基盤の構築

○ 研究者の探求心に基づき、腰を据えてマテリアルの魅力を追求することは、マテリアルテクノロジーの根幹となる活動である。魅力的なマテリアルは魅力的な機能を宿し、その後、当初誰もが想定し得なかった応用領域のイノベーション、時にゲームチェンジをもたらす破壊的イノベーションを実現することにもつながる。また、こうしたマテリアルが我が国の強みのコアとなり続ける。

○ 破壊的イノベーション創出の可能性を最大限に高めるためには、挑戦心を持った優れた研究者、特に若手研究者が、短期的な成果の有無にとらわれることなく一定期間腰を据えて研究を実施し、また、自らの研究時間を十分に確保できる環境を整備することが重要である。その際、研究者の国際連携活動や人的交流を積極的に促していくことや、様々な応用領域等からの着想を獲得するために異分野融合の場を設けることなども重要となる。マテリアルの魅力を追求できる研究者数を大学等の研究開発現場において拡大でき

るような政府の取組が求められる。

（３）研究開発の効率化、高速化、高度化を通じた生産性の向上

○ 我が国の強みである研究基盤の蓄積に、AI、IoT、ビッグデータ等のサイバー技術の発展等に伴う新しいアプローチを導入することにより、研究環境と研究手法の改革を戦略的に進め、研究開発の一層の効率化、高速化、高度化を実現することが求められる。これにより、我が国におけるマテリアルテクノロジーの研究開発活動の生産性を徹底的に高め、我が国の研究開発環境が、世代、性別、セクター、国籍を越えてあらゆる研究者にとって魅力的になることが求められる。

○ マテリアルテクノロジーに係る研究開発活動で利用する先端設備・機器は極めて重要な存在であり、そうした設備・機器の共用とネットワーク化を、これまでのナノテクノロジープラットフォームの成果と高度な専門性を有する人材の蓄積を生かしながら継続的に強化していくことが不可欠である。その際、異分野融合による研究開発が今後主流となり、スケールの対象もナノから量子、ナノからマクロといった包括的な理解・制御が求められる中で、これまで以上に複雑な現象を計測、分析できるような最先端の研究機器が必要となることが想定される。このため、今後の共用ネットワークの発展に当たっては、既存設備・機器の老朽化、陳腐化への対応はもとより、最先端の計測・分析機器、さらには加工・プロセス装置の開発取組とも連携して推進していくことが重要となる。また、研究機器の実験のハイスループット化への対応を進めるとともに、効率的な地域別の共用体制の整備、計算・データ基盤やソフトウェア開発の取組との連携強化といった、新たなニーズや研究開発の潮流に沿った取組についても検討していく必要がある。

○ AI や IoT、ロボット技術等を活用し、研究者の創造力を最大限発揮できる環境整備と研究成果の創出加速の双方を目的とするスマートラボラトリの取組を普及していく必要がある。実験室での繰り返しの単純作業から研究者を解放し、次の時代にふさわしい魅力的な研究スタイルへの転換を促すとともに、質の高い実験データを効率的に収集・蓄積することで研究成果の創出が加速する事例を蓄積し、そこで得られたデータから更に発展的な研究開発へと利活用していくことが重要である。

○ マテリアル創出の高速化に向けて、データ駆動型の研究開発を強化することが重要である。NIMS が持つデータベースの世界的強みを十分に生かしつつ、各機関においてデータ利活用を促進するためのアプリケーション開発等の取組や、革新的な材料開発手法の研究開発などを推進し、マテリアルに関するデータ駆動型の研究開発において我が国が世界の主導権を握っていくことが求められる。

（４）マテリアルテクノロジーの強化に必要となる施策の推進

○ マテリアルテクノロジーの強化に当たっては、研究開発現場の諸課題を解決し、国際情勢を含めた社会・経済の変化に適切に対応する取組を総合的に進めていく必要がある。

○ イノベーションの創出に当たっては、大学の産学連携支援体制がいまだ十分に整備されていないこと等により、大学で生み出されるマテリアルテクノロジーの新たな知が、結果的に社会実装に至らず、知の持つ価値を十分に発揮できない要因になっている。URAや知財人材、プロジェクトマネージャーといった大学教員の社会実装活動を支援する人材の育成・確保や、多面的な教員・研究者評価の在り方の検討・導入など、関連する組織的取組を強化していくことが求められる。

○ 国際的な取組に関して、マテリアルテクノロジーを巡る国際動向を継続的に調査・分析し、適切な国際連携の在り方を明らかにしていくとともに、グローバルでのオープンな活動への参画を積極的に進めていくことが重要となる。また、卓越した研究活動の推進には多様性が不可欠であることから、優れた外国人研究者を我が国に引き付け、定着を促すための取組を充実していくことも重要となる。他方で、マテリアルテクノロジーの特性に鑑み、産学官の関係者は、機微技術の国外流出等に対するセキュリティや安全保障貿易管理についてルールに基づき適切に管理していくことが求められる。

○ マテリアルテクノロジーの推進に当たっては、常に未知・新規のマテリアルの登場が伴うことから、こうしたマテリアルが社会に与える影響を推定・評価し、分野や世代、国を越えてコンセンサスを形成していく取組が重要である。

○ 次世代を担う人材の確保に関しては、マテリアルテクノロジーに関連する研究の面白さ、マテリアルの魅力等についての研究開発現場からの発信を強化するとともに、政府もマテリアルテクノロジーを、未来ある科学技術、未来を創り出す科学技術として発信していく必要がある。また、マテリアルテクノロジーに関連する学位を持つ人材は産学官の至る所で活躍しており、いわゆるポスドク問題は生じておらず、むしろポストドクターや博士課程学生は研究開発現場で不足している状況にある。こうした状況を踏まえつつ、博士学位取得や研究職の魅力について、関係者は総力を挙げて広く社会、国民へと発信するとともに、コミュニケーションを重ねていかなければならない。また、大学等において、マテリアルテクノロジーに取り組む博士課程学生や研究者の処遇を欧米並みに充実していくことも、我が国が国際競争力を維持・向上していく上で重要な取組となる。

５．おわりに

本提言は、第６期基本計画に向けた検討の参考となることを目的として暫定的に取りまとめたものであり、今後も本委員会では、来年夏頃までを目途に、４．で記載した具体的取組を中心に更なる検討を行う予定としている。

なお、我が国が本格的にマテリアルテクノロジーの強化を図っていくためには、産学官共通のビジョンの下で、大学や国研の取組のみならず企業の取組の方向性も含めた、政府全体のマテリアルテクノロジーの推進方策の検討が進められていくことが重要であり、今後、関係府省が連携した検討の実施が望まれる。

第１０期　ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員名簿

五十嵐正晃	日鉄ケミカル&マテリアル株式会社常務執行役員
射場　英紀	トヨタ自動車株式会社先端材料技術部 電池材料技術・研究部担当部長
上杉　志成	京都大学化学研究所教授 物質－細胞統合システム拠点連携教授・副拠点長
加藤　隆史	東京大学大学院工学系研究科教授
菅野　了次	東京工業大学科学技術創成研究院教授
栗原　和枝	東北大学未来科学技術共同研究センター教授
瀬戸山　亨	三菱ケミカル株式会社エクゼクティブフェロー Science & Innovation Center, Setoyama Laboratory 所長
高梨　弘毅	東北大学金属材料研究所長・教授
滝田　恭子	読売新聞東京本社編集局次長
武田　志津	株式会社日立製作所専門理事 兼 研究開発グループ技師長 兼 基礎研究センタ日立神戸ラボ長
常行　真司	東京大学大学院理学系研究科教授
中山　智弘	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企画運営室長・フェロー
納富　雅也	東京工業大学理学院物理学系教授
長谷川美貴	青山学院大学理工学部教授
宝野　和博	国立研究開発法人物質・材料研究機構理事
馬場　嘉信	名古屋大学大学院工学研究科教授
前田　裕子	株式会社セルバンク取締役 国立研究開発法人海洋研究開発機構監事
◎三島　良直	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター長
湯浅　新治	国立研究開発法人産業技術総合研究所 スピントロニクス研究センター長
吉江　尚子	東京大学生産技術研究所教授
萬　　伸一	国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センターコーディネーター

（◎：主査、敬称略、五十音順）

参考資料・データ集

ナノテク・材料科学技術分野に対する社会的要請の例（１）

【出典】第10期ナノテクノロジー・科学技術委員会（第4回）資料1-4　CRDS　中山智弘氏作成資料より

ナノテク・材料科学技術分野に対する社会的要請の例（２）

貧困の撲滅	・衣：合成繊維（ナイロン、ポリエステル、など） ・食：脱脂粉乳、人工甘味料、など ・住：合板（ベニヤ、木質ボード）
飢餓の撲滅	・ナノ食材（吸収性・安定性・溶解性向上、食味改善、など） ・衛生技術（ナノバブルを用いた殺菌・滅菌・洗浄、など）
健康と福祉	・バイオチップ（診断デバイス） ・ナノドラッグデリバリーシステム ・ウェアラブルデバイス ・人工感覚器 ・生体材料（再生医療材料）
水とトイレ	・逆浸透膜 ・イオン交換材料 ・ゼオライト吸着材料 ・ナノ多孔質材料 ・光触媒
エネルギー クリーン	・電子エネルギー変換 太陽電池、LED、熱電変換、など ・化学エネルギー変換 光触媒、燃料電池、二次電池、など ・発電用材料 タービンブレード用超耐熱材料、など ・エネルギー輸送・転換材料 超伝導材料、磁気冷凍材料、永久磁石材料、軟磁性材料、パワー半導体、アクチュエータ、など ・バイオ燃料 バイオエタノール、廃棄物利用、など ・クリーンプロセッシング 吸着材料、分離膜、排ガス触媒、など
労働 経済成長	・産業用ロボット・ロボットスーツ（軽量化材料） ・ナノセンサ・アクチュエータ

製造消費	・大量生産：オートメーション、ロボット ・消費：迅速な大量輸送（道路、輸送機器）
気候変動	・（衛星搭載）地球観測センサ ・スーパーコンピュータ（地球シミュレータ）
海洋資源	・計測技術 ・レアメタル、レアアース
陸上資源	・木質耐火材 ・レアメタル・レアアース活用 ・バイオマス（燃料・素材）
産業技術革新	◎技術革新＝材料イノベーション ・鉄鋼⇒蒸気機関、鉄道、アルミ⇒大型航空機 シリコン⇒半導体、炭素⇒プラスチック ◎次のナノテク・材料発イノベーション ・半導体（グラフェン、カーボンナノチューブ、など） ・原子スイッチ ➢ Beyond CMOS（CMOSと異なる動作原理、その物理限界を超える性能。スピントロニクス、など）
不平等の是正	・パソコン、インターネット ・輸送網（道路、輸送車両・・・）
持続可能都市	◎建築土木資材 ・鉄鋼 ・コンクリート ・プラスチック

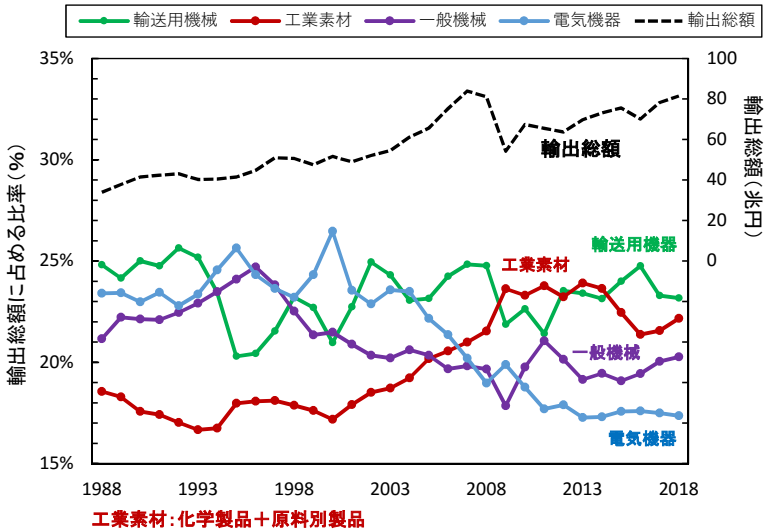
2018.2.16 ナノテクノロジー総合シンポジウム
岸輝雄 外務大臣科学技術顧問資料をCRDSが改変

【出典】第10期ナノテクノロジー・科学技術委員会（第4回）資料1-4　CRDS　中山智弘氏作成資料より
（2018.2.16ナノテクノロジー総合シンポジウム 岸輝雄 外務大臣科学技術顧問資料をCRDSが改変）

我が国の輸出における産業分野の割合

我が国の「工業素材」の輸出総額に占める割合は自動車と並んで20%を越えている。また、約30年間の輸出品目の変化を見ても、部素材が常に一定の割合を占めている。

輸出総額に占める概況品各分野の比率



工業素材：化学製品＋原料別製品

【出典】財務省貿易統計（概況品）より文部科学省作成

輸出上位10品目の移り変わり

順位	1990年 輸出総額 41兆4,569億円		2000年 輸出総額 51兆6,542億円		2010年 輸出総額 67兆3,996億円		2018年 輸出総額 81兆4,788億円	
1	自動車	17.8%	自動車	13.4%	自動車	13.6%	自動車	15.1%
2	事務用機器	7.2%	半導体等電子部品	8.9%	半導体等電子部品	6.2%	半導体等電子部品	5.1%
3	半導体等電子部品	4.7%	事務用機器	6.0%	鉄鋼	5.5%	自動車の部分品	4.9%
4	映像機器	4.5%	科学光学機器	5.1%	自動車の部分品	4.6%	鉄鋼	4.2%
5	鉄鋼	4.4%	自動車の部分品	3.6%	プラスチック	3.5%	原動機	3.6%
6	科学光学機器	4.0%	原動機	3.2%	原動機	3.5%	半導体等製造装置	3.3%
7	自動車の部分品	3.8%	鉄鋼	3.1%	船舶	3.3%	プラスチック	3.1%
8	原動機	2.7%	映像機器	2.7%	科学光学機器	3.0%	科学光学機器	2.8%
9	音響機器	2.3%	有機化合物	2.3%	有機化合物	2.8%	電気回路等の機器	2.6%
10	通信機	2.1%	プラスチック	2.0%	電気回路等の機器	2.6%	有機化合物	2.5%

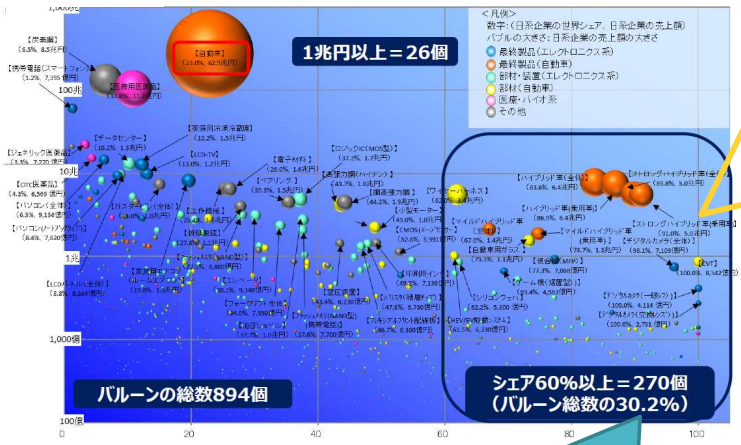
【出典】日本貿易会『日本貿易の現状と課題』より抜粋、文部科学省において一部付記http://www.jftc.or.jp/kids/kids_news/japan/item.html

我が国の部素材産業の世界シェア

文部科学省

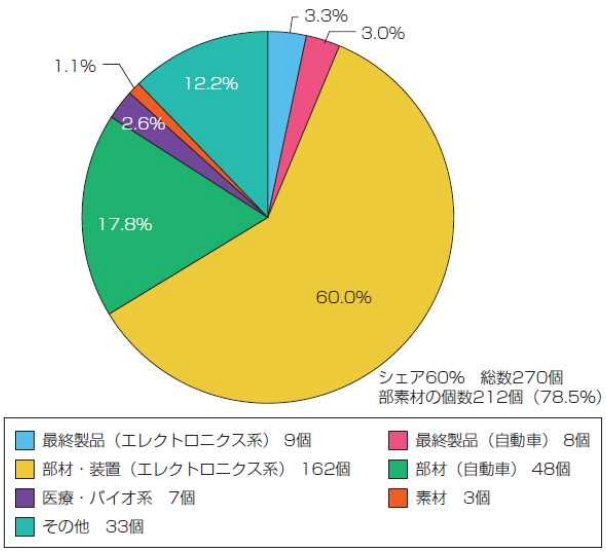
我が国の部素材産業は、主要な輸出品目であるだけでなく、世界市場において高いシェアを有する。日系企業が世界シェアの6割以上を占める製品のうち、8割近くが部素材である。

日系企業が生み出した主要先端製品・部材の世界市場規模及び世界シェア（2016 年）



【参考】全バルーンのうちシェアが60%以上のバルーンの割合
日本：30.2%、アメリカ：19.8%、欧州：8.9%、中国：13.8%

シェア60%以上に含まれる製品群の内訳



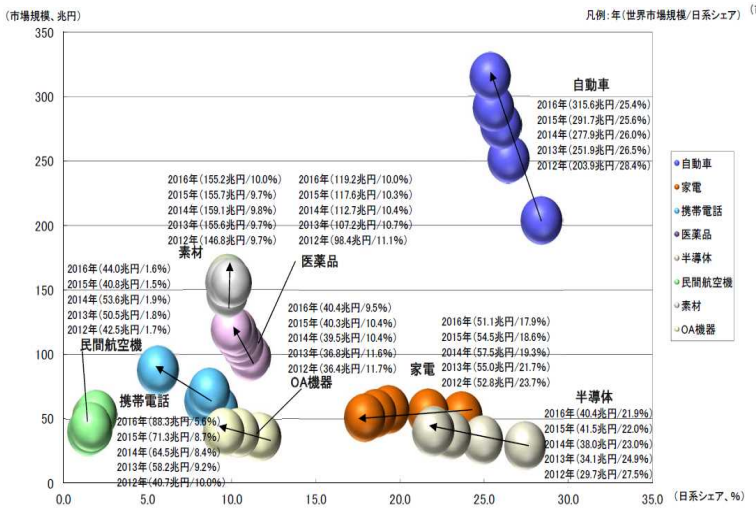
【出典】経済産業省『2019年版ものづくり白書』第2章第2節より抜粋、文部科学省にて一部付記

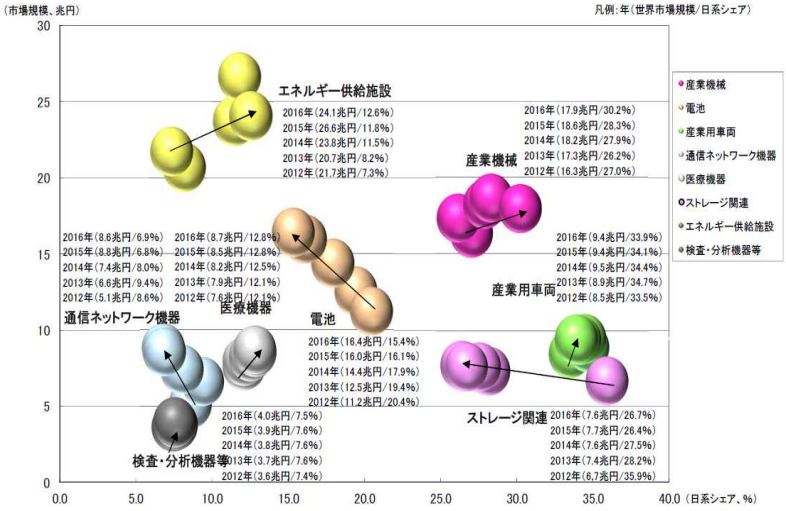
主な産業の世界シェア推移

文部科学省

世界市場において素材分野はシェアを維持している。

2012年～2016年カテゴリ別市場規模及び日系シェア推移
（3兆円以上30兆円未満：2016年市場規模）





【出典】国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）『平成29年度成果報告書　日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集　情報収集項目(1)「モノを中心とした情報収集と評価」（委託先 株式会社富士キメラ総研）より

材料が社会的・経済的なインパクトをもたらした例

磁石
本多光太郎（世界初合成磁石@1917）
佐川眞人（世界最強の永久磁石@1984）
→モーター、電気自動車、風力発電、HDD

炭素繊維強化複合材料
進藤昭男（PAN系炭素繊維@1961）
→航空機・自動車用CFRP

光触媒
本多健一、藤嶋昭（TiO_2光触媒@1968）
橋本和仁（@1994）
→光触媒ｺｰﾃｨﾝｸﾞ、環境浄化

触媒（有機合成）
根岸英一、鈴木章（ｸﾛｽｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ@1970年代）
野依良治（不斉合成反応@1986）
→創薬、農薬、香料、アミノ酸

超伝導材料
前田弘（Bi系110K、線材応用@1988）
秋光純（40K金属系@2000）
細野秀雄（32K鉄系@2008）
→超電導線材、超高磁場NMR

カーボンナノチューブ
飯島澄男（ｶｰﾎﾞﾝﾅﾉﾁｭｰﾌﾞ発見@1991）
遠藤守信（CVDによる大量合成@1988）
→Liイオン電池材料、ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ

スピントロニクス
岩崎俊一（垂直磁気記録方式@1977）
宮崎照宣（TMR素子室温動作@1995）
湯浅新治（MgOバリアで巨大MR@2004）
→超高密度磁気ｽﾄﾚｰｼﾞ、MRAM

青色LED, LD
赤崎勇、天野浩（GaN単結晶、p型@1989）
中村修二（高輝度青色LED、LD@1993）
→LED照明、ﾃﾞｨｽﾌﾟﾚｲのﾊﾞｯｸﾗｲﾄ、信号機

酸化物材料
細野秀雄（IGZO材料、TFT動作@2004）
→透明電極、LCD・OLEDﾃﾞｨｽﾌﾟﾚｲ駆動TFT

その他にも、リチウムイオン電池（吉野彰）@1983 、
Erドープ光ファイバー増幅器（中沢正隆）@1989等
ノーベル物理学賞受賞者11名、化学賞受賞者8名

【出典】JST研究開発戦略センター『研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2019）』より抜粋、
文部科学省にて一部改変

我が国の自然科学分野でのノーベル賞

自然科学分野ではこれまでに24人受賞しているが、そのうちのほぼ半数は材料・ナノテク関連分野である。

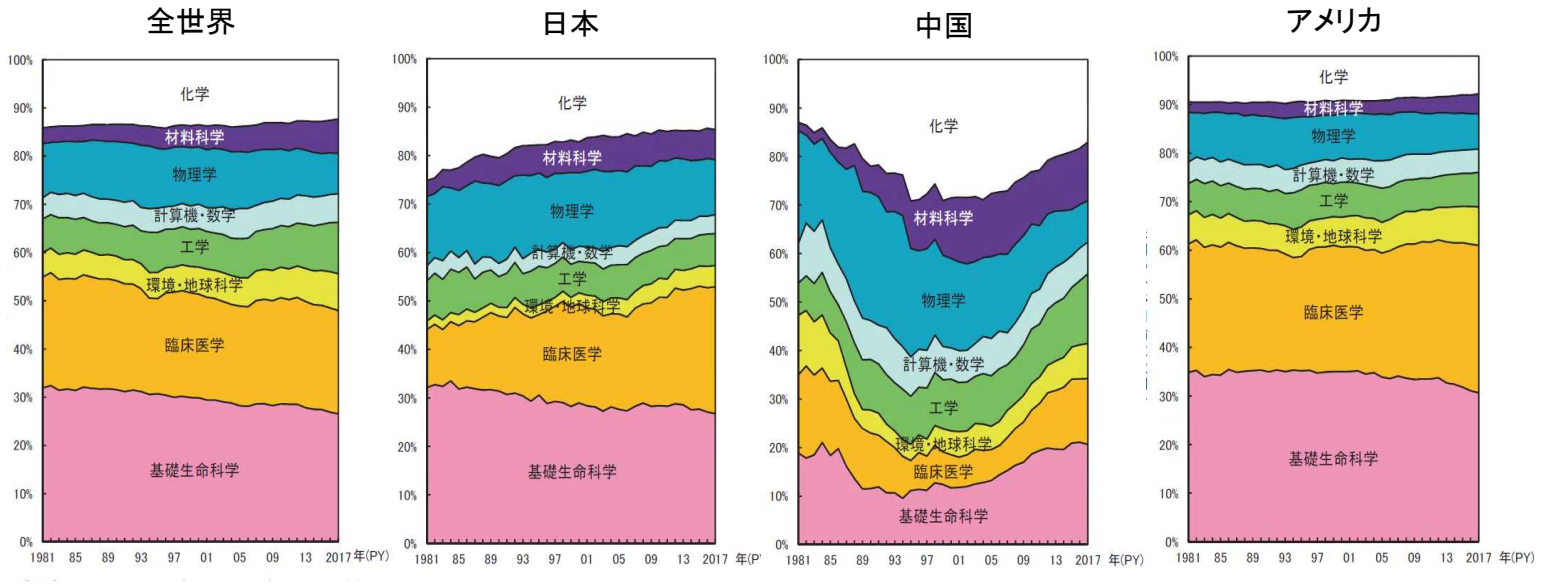
受賞年	氏名（受賞時年齢）	部門	対象研究
1949	湯川　秀樹 (42)	物理学賞	核力の理論的研究に基づく中間子の存在の予想
1965	朝永　振一郎 (59)	物理学賞	量子電磁力学の分野における基礎研究と素粒子物理学についての深い結論
1973	江崎　玲於奈 (48)	物理学賞	半導体内および超伝導体内の各々におけるトンネル効果の実験的発見
1981	福井　謙一 (63)	化学賞	化学反応過程の理論的研究
1987	利根川　進 (48)	生理学・医学賞	抗体の多様性に関する遺伝的原理の発見
2000	白川　英樹 (64)	化学賞	導電性高分子の発見と発展
2001	野依　良治 (63)	化学賞	キラル触媒による不斉反応の研究
2002	小柴　昌俊 (76)	物理学賞	天文物理学、特に宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献
2002	田中　耕一 (43)	化学賞	生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発
2008	南部　陽一郎 (87)	物理学賞	素粒子物理学における自発的対称性の破れの発見
2008	小林　誠 (64)	物理学賞	小林・益川理論とCP対称性の破れの起源の発見による素粒子物理学への貢献
2008	益川　敏英 (68)	物理学賞	
2008	下村　脩 (80)	化学賞	緑色蛍光タンパク質（GFP）の発見と生命科学への貢献
2010	根岸　英一 (75)	化学賞	有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング反応の開発
2010	鈴木　章 (80)	化学賞	
2012	山中　伸弥 (50)	生理学・医学賞	成熟細胞が、初期化され多能性を獲得し得ることの発見
2014	赤崎　勇 (85)	物理学賞	明るく省エネルギーの白色光源を可能にした効率的な青色発光ダイオードの発明
2014	天野　浩 (54)	物理学賞	
2014	中村　修二 (60)	物理学賞	
2015	大村　智 (80)	生理学・医学賞	線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見
2015	梶田　隆章 (56)	物理学賞	ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見
2016	大隅　良典 (71)	生理学・医学賞	オートファジー（自食作用）のメカニズムの解明
2018	本庶　佑 (76)	生理学・医学賞	負の免疫制御の抑制によるがん治療の発見
2019	吉野　彰（72）	化学賞	リチウムイオン電池の開発

【出典】文部科学省にて作成

分野別に見た論文数の割合

我が国の分野別論文数割合を見ると、6.2%を材料科学、さらに化学と物理学を合わせると32%を占めている。

分野別論文数割合の推移

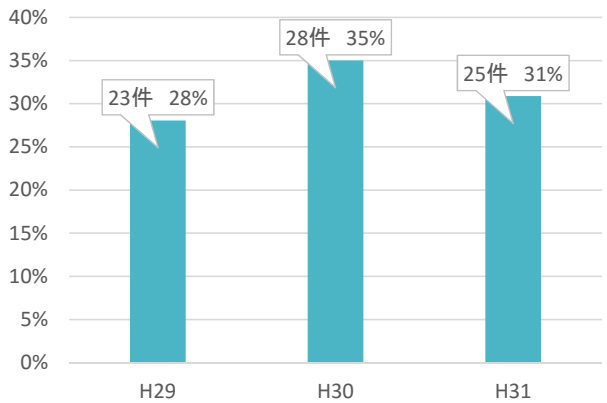


【出典】NISTEP『科学技術指標2019』より

科研費におけるナノテク・材料関連研究について（１）

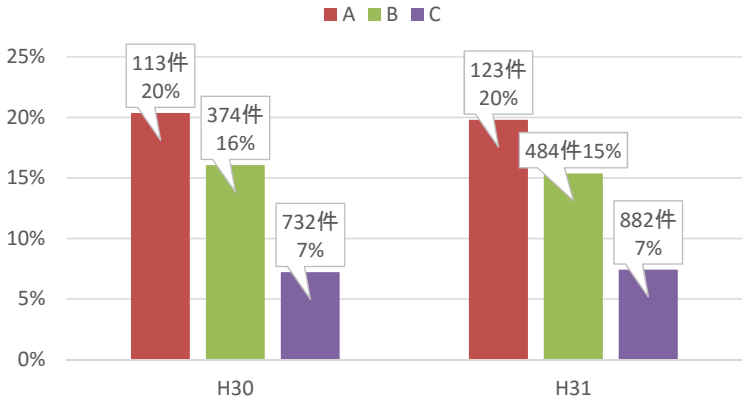
科研費の基盤研究（S、A、B、C）におけるナノテク・材料に関係すると考えられる採択課題の集計結果は以下の通り

科研費の基盤研究（S）においてナノテク・材料が関係すると考えられる採択課題が全体に占める割合



ナノテク・材料に特に関係していると考えられる「固体」、「凝固」、「磁石」、「電子化物」、「スピン」、「CMOS」、「エネルギー変換」、「ナノ構造体」、「イオン導電体」、「金属」、「反応」、「化学」、「分子」、「トポロジカル相」、「強相関電子系」、「熱光発電」、「エレクトロニクス」、「有機半導体」、「原子間力」、「量子ドット」、「界面」、「計測」、「トンネル顕微鏡」、「光」、「材料」、「触媒」、「電池」、「超電導」、「センサ」、「結晶」、「imaging」、「電子相」、「合成」、「スピン」、「チタン」、「電磁波吸収体」、「メタマテリアル」、「物性」、「磁束回路」、「電気工学」、「量子ホール」、「ヘテロ接合」、「物性」、「凝縮相」、「ナノ」、「レーザー」、「デバイス」のキーワードが採択課題名に含まれる研究課題を機械的に集計。

科研費の基盤研究（A、B、C）においてナノテク・材料が関係すると考えられる採択課題が全体に占める割合



科研費における審査区分の「物性物理学およびその関連分野」、「材料力学、生産工学、設計工学およびその関連分野」、「材料工学およびその関連分野」、「化学工学およびその関連分野」、「ナノマイクロ科学およびその関連分野」、「応用物理物性およびその関連分野」、「応用物理工学および化学分野」から機械的に集計。

【出典】文部科学省参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付において科学研究費助成事業データベースよりナノテク・材料に関連する審査区分を抽出し作成
（抽出日：2019年10月15日）

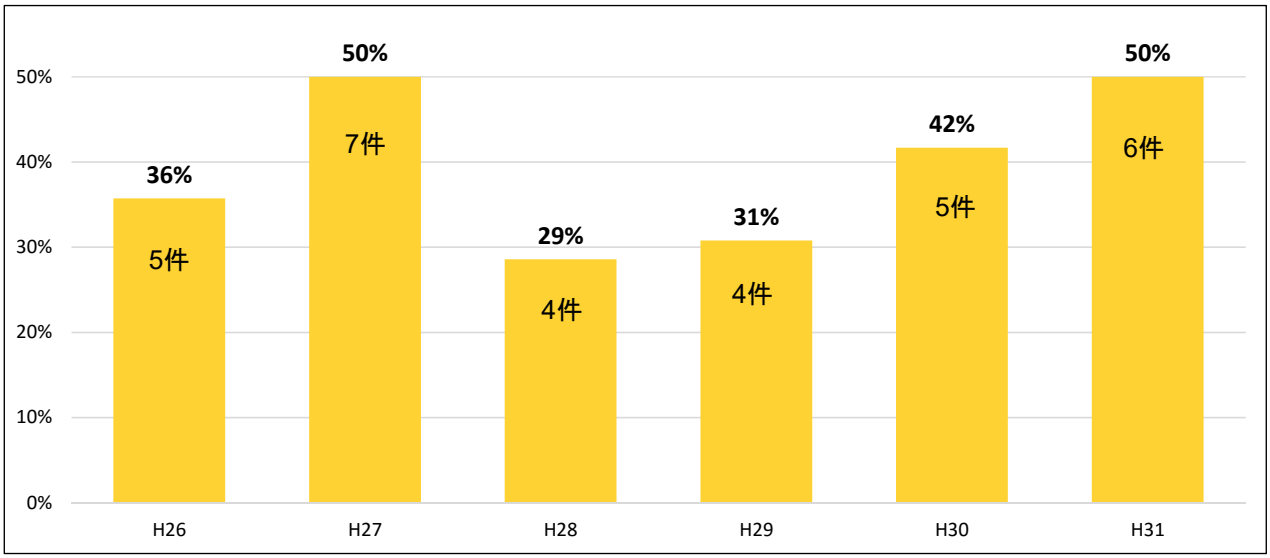
科研費におけるナノテク・材料関連研究について（２）

文部科学省

科研費の特別推進研究におけるナノテク・材料に関連する採択課題の集計結果は以下の通り

科研費の特別推進研究における新規採択課題のうちナノテク・材料関連が占める割合

※科研費の研究課題からCRDS　中山智弘氏がナノテク・材料関連課題として抜粋



【出典】第10期ナノテクロノジー・科学技術委員会（第4回）資料1-4　CRDS　中山智弘氏作成資料より、文部科学省参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付において編集

ＪＳＴ戦略的創造研究推進事業（CREST）における ナノテク・材料関連研究の動向

文部科学省

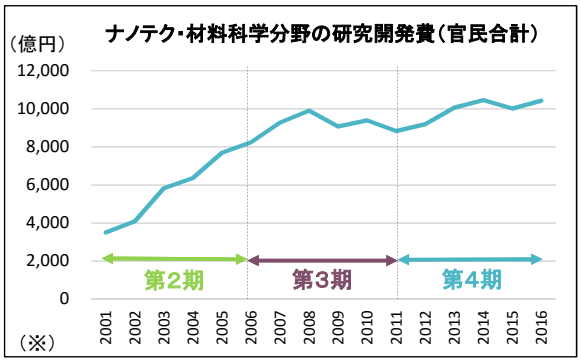
ナノテク・材料に関連する文部科学省戦略目標設定の変遷は以下の通り

文部科学省における戦略目標の変遷（ナノテク・材料関連）

【出典】第10期ナノテクロノジー・科学技術委員会（第4回）資料1-4　CRDS　中山智弘氏作成資料より抜粋、文部科学省において一部改変

我が国のナノテク・材料科学分野への投資

基本計画において、第2期及び第3期では「ナノテク・材料」が重点分野として位置づけられ、第4期では横断的な基盤技術の一つとして位置づけられている。第5期においては、ナノテクノロジー・素材が超スマート社会を支える「重要な基盤技術」として位置づけられている。



第1期
1996～2000年度

第2期
2001～2005年度

第3期
2006～2010年度

第4期
2011～2015年度

第5期
2016年～2020年

重点分野としてのナノテク・材料
※第２期と第３期ではライフ、情報、環境と共に重点４分野のひとつ

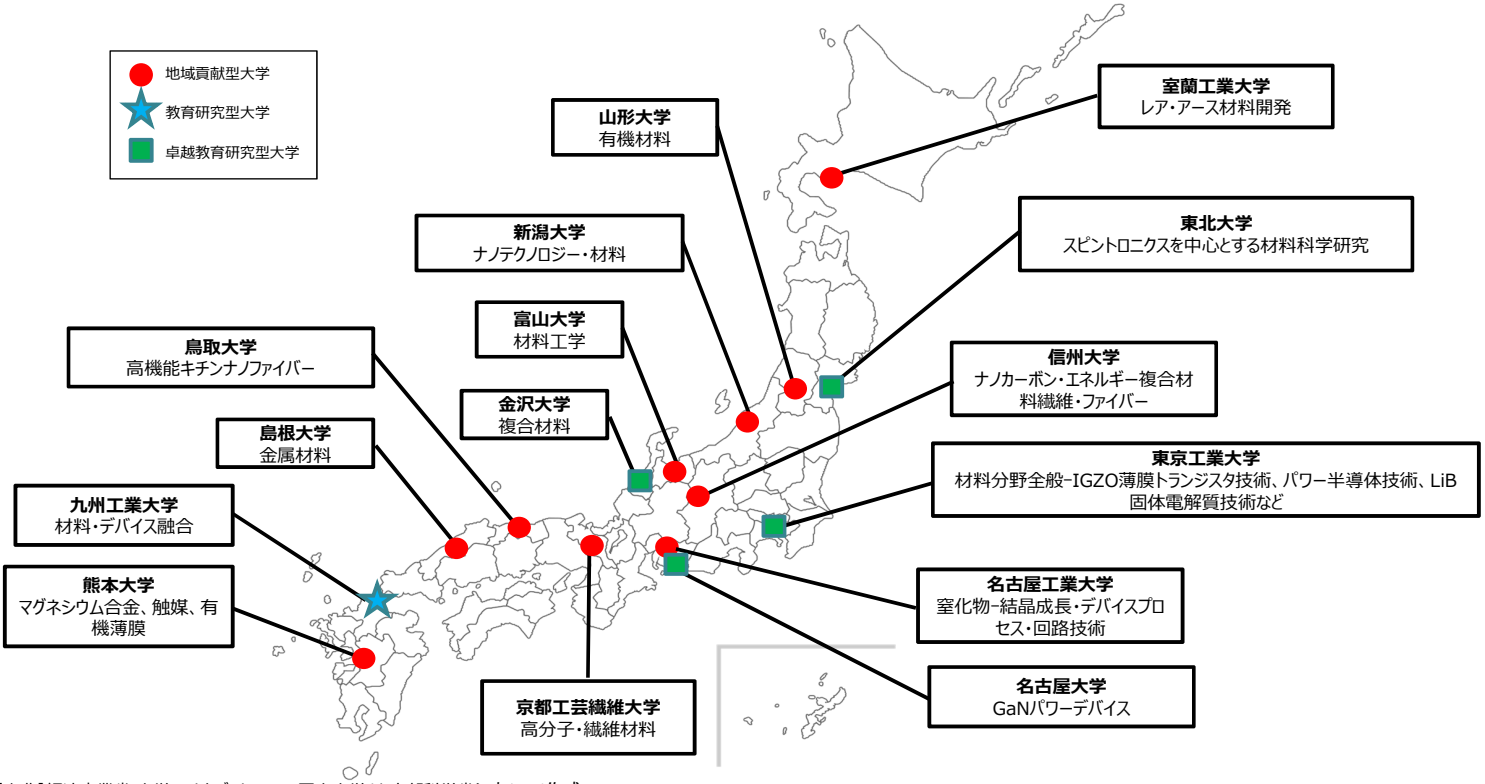
・産業競争力の強化に向けた**共通基盤**としての先端材料や部材
・社会的課題解決に必要な横断的な**基盤技術**としてのナノテク

※【出典】JST-CRDS『研究開発の俯瞰報告書ナノテクノロジー・材料分野（2019年）（概要）』より文部科学省において一部改変
（総務省『科学技術研究調査』をもとにCRDSが作成）

「材料」を強みとする主な国立大学

材料を研究開発活動の中核に掲げる主な国立大学は以下の通り。

（注）大学ファクトブック「大学の得意分野とその具体例」に“材料”もしくは“具体的な材料名”のキーワードが表記されている大学を選定



【出典】経済産業省 大学ファクトブック2019 国立大学より文部科学省において作成
https://www.meti.go.jp/policy/innovation_corp/kokuritsu_daigaku.pdf

化学、材料科学、物理学分野の論文数、Top10%論文数の推移

文部科学省

我が国の化学、材料科学、物理学分野の論文数はこの10年間で減少しシェアを下げている。トップ10%論文数でも同様の傾向にある。

2005−2007年（平均）

化学	PY2005年 − 2007年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	23,462	18.7	1	20,253	16.1	1
中国	21,195	16.9	2	19,979	15.9	2
日本	11,593	9.2	3	10,533	8.4	3
ドイツ	9,661	7.7	4	7,313	5.8	4
インド	7,251	5.8	5	6,634	5.3	5
フランス	6,663	5.3	6	4,889	3.9	7
英国	6,370	5.1	7	4,799	3.8	8
ロシア	5,943	4.7	8	5,128	4.1	6
スペイン	5,124	4.1	9	4,063	3.2	9
イタリア	4,452	3.5	10	3,567	2.8	10

化学	PY2005年 − 2007年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	4,024	32.0	1	3,554	28.3	1
中国	1,749	13.9	2	1,569	12.5	2
ドイツ	1,187	9.5	3	889	7.1	4
日本	1,132	9.0	4	993	7.9	3
英国	865	6.9	5	643	5.1	5
フランス	734	5.8	6	520	4.1	6
スペイン	576	4.6	7	445	3.5	7
イタリア	483	3.8	8	357	2.8	10
インド	476	3.8	9	424	3.4	8
カナダ	456	3.6	10	357	2.8	9

【化学】
論文数：3位→4位
Top10%：3位→6位

2015−2017年（平均）

化学	PY2015年 − 2017年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
中国	53,643	29.8	1	48,898	27.1	1
米国	27,631	15.3	2	21,049	11.7	2
インド	13,317	7.4	3	11,699	6.5	3
ドイツ	12,197	6.8	4	8,500	4.7	5
日本	10,949	6.1	5	9,256	5.1	4
英国	8,009	4.4	6	5,010	2.8	10
フランス	7,953	4.4	7	5,154	2.9	9
ロシア	7,653	4.2	8	6,551	3.6	6
韓国	7,056	3.9	9	5,880	3.3	7
スペイン	6,385	3.5	10	4,406	2.4	11

化学	PY2015年 − 2017年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
中国	6,873	38.1	1	5,959	33.1	1
米国	4,156	23.1	2	3,100	17.2	2
ドイツ	1,457	8.1	3	977	5.4	3
英国	1,140	6.3	4	703	3.9	5
インド	1,025	5.7	5	813	4.5	4
日本	878	4.9	6	646	3.6	6
韓国	754	4.2	7	563	3.1	7
フランス	739	4.1	8	457	2.5	8
スペイン	702	3.9	9	448	2.5	9
イタリア	554	3.1	10	353	2.0	11

材料科学	PY2005年 − 2007年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
中国	10,224	21.0	1	9,484	19.5	1
米国	7,831	16.1	2	6,614	13.6	2
日本	5,294	10.9	3	4,671	9.6	3
ドイツ	3,437	7.0	4	2,594	5.3	4
韓国	2,824	5.8	5	2,466	5.1	5
フランス	2,397	4.9	6	1,732	3.6	8
英国	2,326	4.8	7	1,745	3.6	7
インド	2,275	4.7	8	2,048	4.2	6
ロシア	1,501	3.1	9	1,250	2.6	10
台湾	1,379	2.8	10	1,291	2.6	9

材料科学	PY2005年 − 2007年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	1,448	29.7	1	1,242	25.5	1
中国	799	16.4	2	696	14.3	2
ドイツ	439	9.0	3	312	6.4	4
日本	435	8.9	4	364	7.5	3
英国	352	7.2	5	261	5.4	5
フランス	291	6.0	6	206	4.2	7
韓国	267	5.5	7	221	4.5	6
カナダ	194	4.0	8	151	3.1	9
インド	177	3.6	9	154	3.2	8
スペイン	147	3.0	10	107	2.2	10

【材料科学】
論文数：3位→5位
Top10%：3位→9位

材料科学	PY2015年 − 2017年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
中国	36,245	36.9	1	32,256	32.8	1
米国	14,658	14.9	2	10,384	10.6	2
韓国	6,876	7.0	3	5,788	5.9	3
インド	6,428	6.5	4	5,638	5.7	4
ドイツ	5,284	5.4	5	3,519	3.6	6
日本	5,001	5.1	6	3,887	4.0	5
英国	4,067	4.1	7	2,409	2.4	8
フランス	3,505	3.6	8	2,232	2.3	9
イラン	3,022	3.1	9	2,675	2.7	7
ロシア	2,729	2.8	10	2,219	2.3	10

材料科学	PY2015年 − 2017年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
中国	5,032	51.2	1	4,171	42.4	1
米国	2,457	25.0	2	1,620	16.5	2
韓国	755	7.7	3	560	5.7	3
ドイツ	608	6.2	4	346	3.5	4
英国	524	5.3	5	276	2.8	6
オーストラリア	467	4.8	6	255	2.6	7
シンガポール	402	4.1	7	242	2.5	8
日本	391	4.0	8	232	2.4	9
インド	372	3.8	9	284	2.9	5
フランス	266	2.7	10	147	1.5	12

物理学	PY2005年 − 2007年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	28,071	26.4	1	21,333	20.0	1
中国	13,525	12.7	2	11,918	11.2	2
ドイツ	12,460	11.7	3	7,464	7.0	4
日本	12,382	11.6	4	10,266	9.6	3
フランス	8,965	8.4	5	5,368	5.0	6
英国	8,240	7.7	6	4,887	4.6	7
ロシア	7,899	7.4	7	5,397	5.1	5
イタリア	6,737	6.3	8	4,474	4.2	8
韓国	4,178	3.9	9	3,316	3.1	9
スペイン	4,037	3.8	10	2,372	2.2	11

物理学	PY2005年 − 2007年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	4,765	44.8	1	3,616	34.0	1
ドイツ	1,837	17.3	2	995	9.3	2
英国	1,256	11.8	3	648	6.1	5
フランス	1,150	10.8	4	600	5.6	6
日本	1,078	10.1	5	750	7.0	3
中国	968	9.1	6	724	6.8	4
イタリア	719	6.8	7	385	3.6	7
カナダ	505	4.7	8	248	2.3	8
スイス	501	4.7	9	224	2.1	10
スペイン	492	4.6	10	240	2.3	9

【物理学】
論文数：3位→4位
Top10%：3位→6位

物理学	PY2015年 − 2017年（平均） 論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	29,624	24.0	1	19,735	16.0	2
中国	28,883	23.4	2	24,320	19.7	1
ドイツ	14,081	11.4	3	7,171	5.8	5
英国	10,555	8.5	4	4,954	4.0	8
ロシア	10,175	8.2	5	7,369	6.0	3
日本	10,113	8.2	6	7,345	5.9	4
フランス	9,766	7.9	7	4,958	4.0	7
イタリア	7,035	5.7	8	3,781	3.1	9
インド	6,961	5.6	9	5,522	4.5	6
スペイン	5,334	4.3	10	2,461	2.0	11

物理学	PY2015年 − 2017年（平均） Top10%補正論文数					
	整数カウント			分数カウント		
国・地域名	論文数	シェア	順位	論文数	シェア	順位
米国	5,157	41.7	1	3,194	25.8	1
中国	2,983	24.1	2	2,074	16.8	2
ドイツ	2,451	19.8	3	1,020	8.2	3
英国	1,919	15.5	4	688	5.6	4
フランス	1,441	11.7	5	529	4.3	5
イタリア	1,116	9.0	6	442	3.6	7
日本	1,075	8.7	7	518	4.2	6
スペイン	955	7.7	8	305	2.5	8
スイス	898	7.3	9	267	2.2	12
カナダ	775	6.3	10	286	2.3	9

【出典】NISTEP『科学研究のベンチマーキング2019-論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況-』より抜粋、文部科学省において一部付記

分野毎の論文数の伸び率

文部科学省

我が国の化学、材料科学、物理学における論文数の伸び率は他分野と比較して落ち込んでいる傾向にある。

分数カウント	論文数		
分野	PY2005−2007年（平均値）	PY2015−2017年（平均値）	伸び率
化学	10,533	9,256	↓ −12%
材料科学	4,671	3,887	↓ −17%
物理学	10,266	7,345	↓ −28%
計算機・数学	2,478	2,417	→ −2%
工学	4,663	4,143	↓ −11%
環境・地球科学	2,292	2,731	↑ 19%
臨床医学	13,141	16,272	↑ 24%
基礎生命科学	18,443	17,179	↓ −7%

分数カウント	Top10%補正論文数		
分野	PY2005−2007年（平均値）	PY2015−2017年（平均値）	伸び率
化学	993	646	↓ −35%
材料科学	364	232	↓ −36%
物理学	750	518	↓ −31%
計算機・数学	107	127	↑ 19%
工学	267	204	↓ −24%
環境・地球科学	120	165	↑ 37%
臨床医学	746	1,030	↑ 38%
基礎生命科学	1,143	971	↓ −15%

分数カウント	Top1%補正論文数		
分野	PY2005−2007年（平均値）	PY2015−2017年（平均値）	伸び率
化学	72	64	↓ −11%
材料科学	32	28	↓ −12%
物理学	64	40	↓ −37%
計算機・数学	8	9	↑ 17%
工学	18	19	↑ 8%
環境・地球科学	12	14	↑ 21%
臨床医学	44	63	↑ 44%
基礎生命科学	106	88	↓ −17%

分数カウント法とは、1件の論文が、日本の機関Aと米国の機関Bの共著の場合、日本を1/2、米国を1/2と数える方法。論文の生産への貢献度を示している。

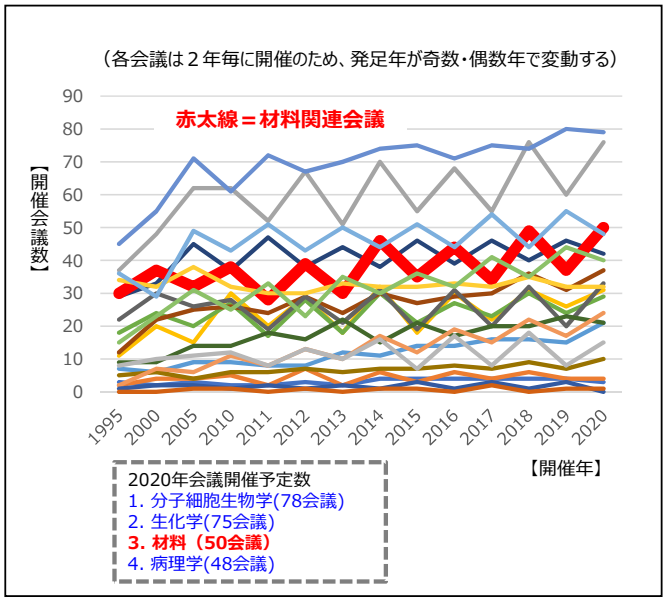
（注1）PYとは出版年（Publication year）の略である。Article, Reviewを分析対象とした。分数カウント法を用いた。
（注2）論文の被引用数（2018年末の値）が各年各分野（22分野）の上位10%（1%）に入る論文数がTop10%（Top1%）論文数である。Top10%（Top1%）補正論文数とは、Top10%（Top1%）論文数の抽出後、実数で論文数の1/10(1/100)となるように補正を加えた論文数を指す。
クラリベイト・アナリティクス社　Web of Science XML (SCIE, 2018年末バージョン)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

【出典】NISTEP『科学技術のベンチマーク2019』より抜粋、文部科学省において一部付記

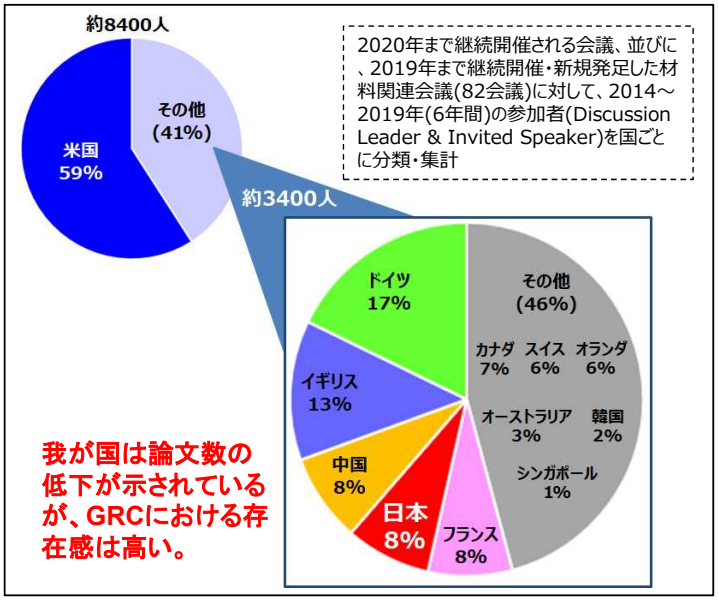
ゴードン会議（Gordon Research Conference：GRC）動向分析

GRCは、サイエンスの分野で歴史と権威があり、広く知られている研究集会の一つで、生物、化学、物理、工学、およびそれらのインターフェース分野における最新・最先端の研究のプレゼンテーションとディスカッションのための国際会議を提供している(2018年：会議開催数=203件)。材料に関連する会議も多く開催されており、その中で日本人研究者は一定の存在感を示している。

分野別の開催会議数変化



材料関連会議の各国参加者

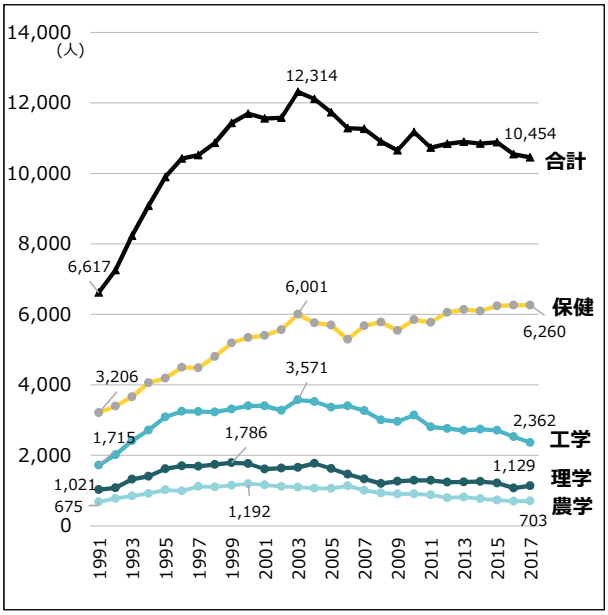


（出典）Gordon Research Conferences（https://www.grc.org/）よりJST-プログラム戦略推進戦部で分析・作成

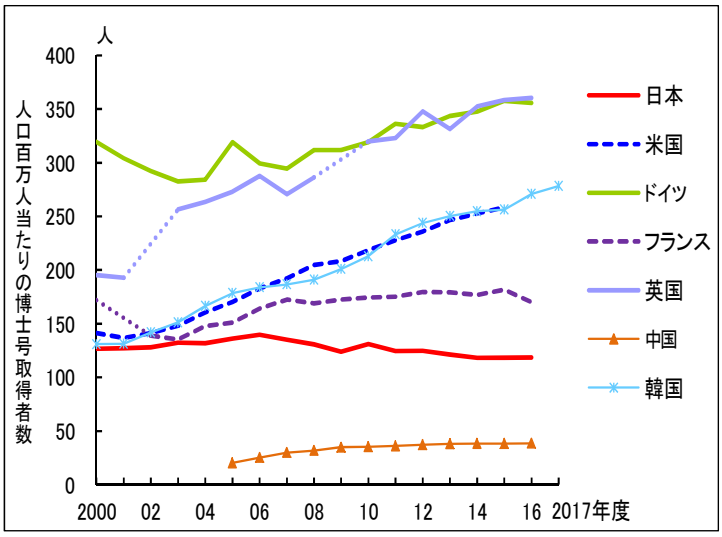
博士号取得者の推移

自然科学系の博士課程入学者は減少傾向にある。また、我が国の人口百万人あたりの博士号取得者は主要国の中で唯一減少傾向にある。

博士課程入学者数の推移（自然科学系4分野）



人口百万人当たりの博士号取得者数

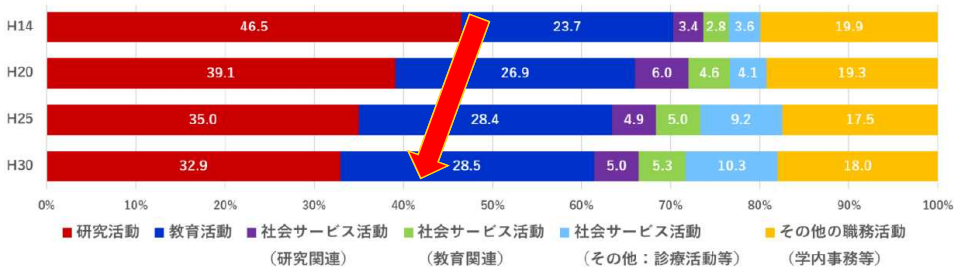


【出典】第68回学術分科会『日本の研究力低下の主な経緯・ 構造的 要因案 参考データ集』より抜粋、文部科学省において一部付記

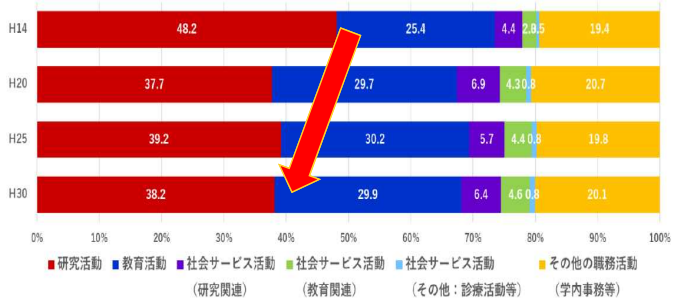
大学教員の研究時間

大学教員の職務活動時間における研究活動の割合は減少傾向にある。理工学分野についても同じく減少傾向にある。

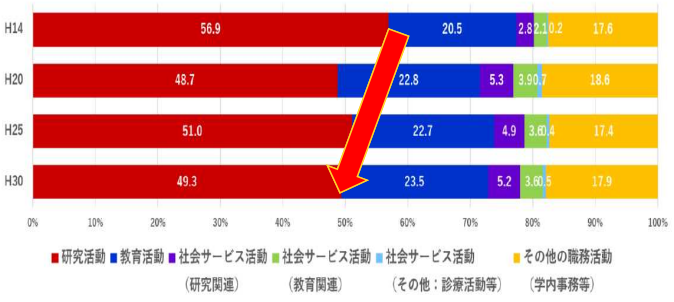
大学等教員の職務活動時間割合の推移



工学分野における大学等教員の職務活動時間割合の推移



理学分野における大学等教員の職務活動時間割合の推移

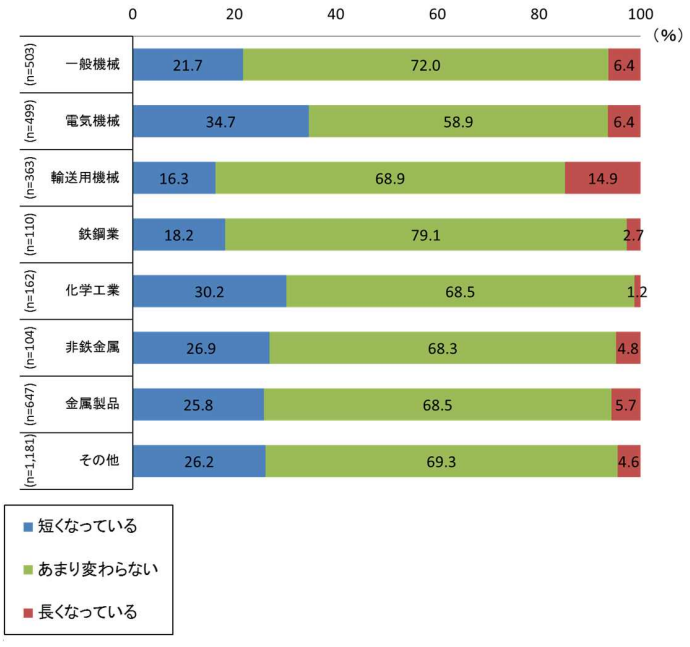


【出典】『概要「大学等におけるフルタイム換算データに関する調査」について』（令和元年）より抜粋、文部科学省において一部付記

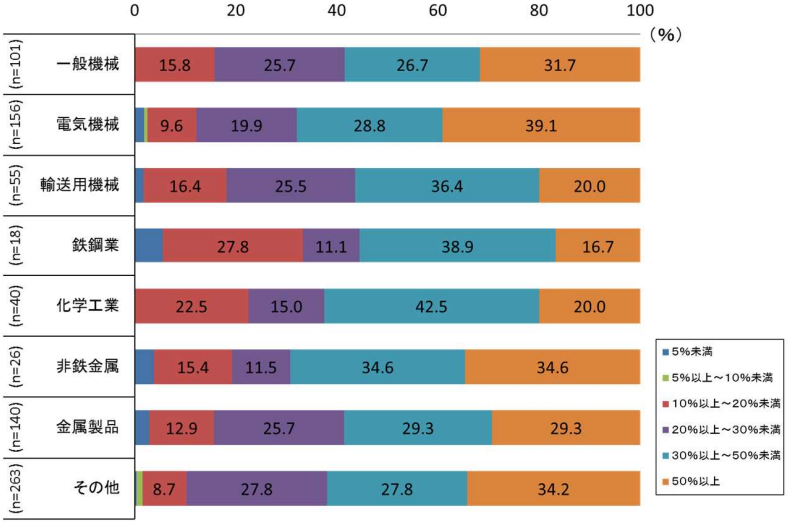
工業製品のライフサイクル

工業製品のライフサイクルは産業種を問わず短縮傾向にある。

10年前のライフサイクルとの比較



「短くなっている」と回答した企業におけるライフサイクルの短縮率

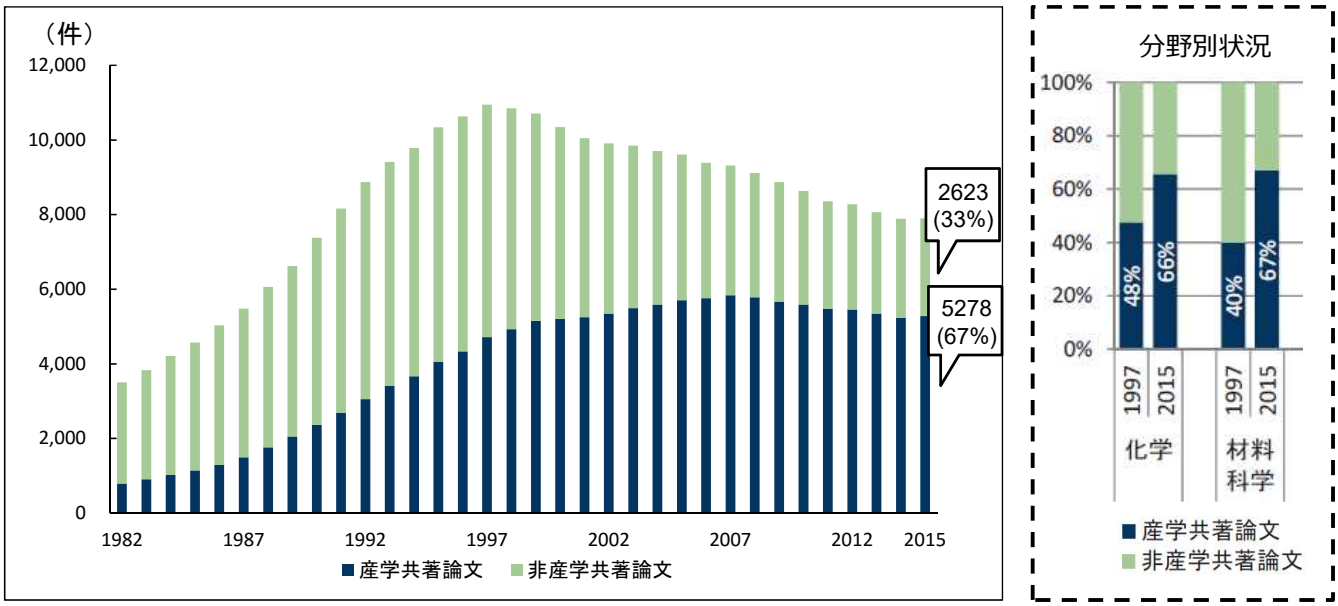


経済産業省調べ（2015年12月）
【出典】ものづくり白書2016年版第1部第1章3節より

大学と企業の共著論文数の推移

日本企業の科学論文数が減少する中で、大学との共著論文割合は増加し、３分の２を占めている。

日本の企業部門における産学共著論文の状況

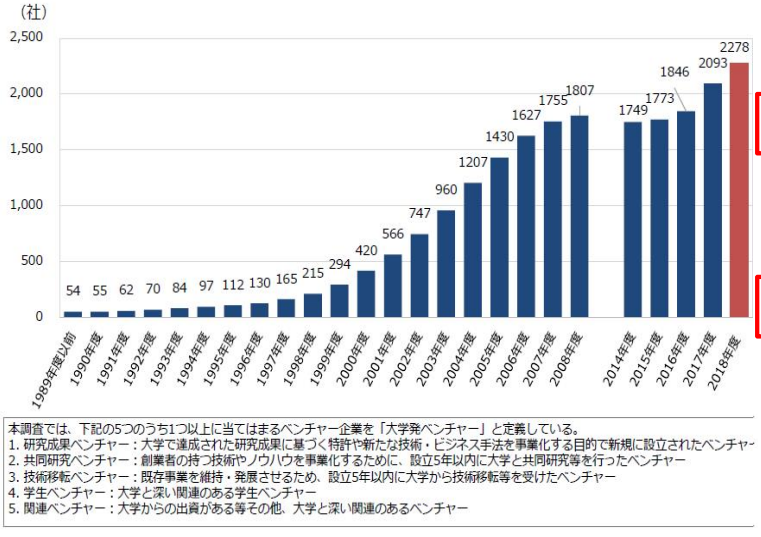


【出典】科学技術・学術政策研究所『科学技術指標2018』より文部科学省において一部加工・作成

大学発ベンチャー数の推移

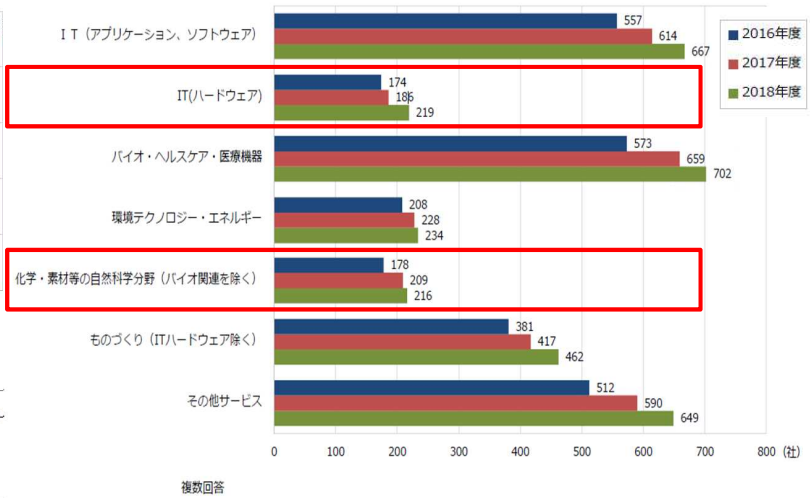
大学発ベンチャー企業の数は年々増加している。また、物質、材料、デバイス系のベンチャー企業も規模は小さいものの順調に増加している。

大学発ベンチャー数の推移



本調査では、下記の5つのうち1つ以上に当てはまるベンチャー企業を「大学発ベンチャー」と定義している。
1. 研究成果ベンチャー：大学で達成された研究成果に基づく特許や新たな技術・ビジネス手法を事業化する目的で新規に設立されたベンチャー
2. 共同研究ベンチャー：創業者の持つ技術やノウハウを事業化するために、設立5年以内に大学と共同研究等を行ったベンチャー
3. 技術移転ベンチャー：既存事業を維持・発展させるため、設立5年以内に大学から技術移転等を受けたベンチャー
4. 学生ベンチャー：大学と深い関連のある学生ベンチャー
5. 関連ベンチャー：大学からの出資がある等その他、大学と深い関連のあるベンチャー

業種別ベンチャーの推移



【出典】経済産業省『平成30年度産業技術調査（大学発ベンチャー実態等調査）調査結果概要』より抜粋、
文部科学省において一部付記

パテントファミリーと論文の引用関係

日本の論文は、パテントファミリーに引用されている割合が相対的に高い。一方で、日本のパテントファミリーが、論文を引用している割合は相対的に低い。

論文を引用しているパテントファミリー数（上位10か国・地域）

整数カウント		2007-2014年(合計値)			
		(A)論文を引用しているパテントファミリー		(B)パテントファミリー数全体	
順位	国・地域名	数	(A)における世界シェア	数	論文を引用しているパテントファミリー数の割合 (A)/(B)
1	米国	104,121	28.1	385,307	27.0
2	日本	44,395	12.0	487,764	9.1
3	ドイツ	38,415	10.4	218,430	17.6
4	フランス	22,339	6.0	86,402	25.9
5	中国	19,235	5.2	118,596	16.2
6	イギリス	18,950	5.1	66,823	28.4
7	韓国	14,042	3.8	158,298	8.9
8	カナダ	11,422	3.1	43,207	26.4
9	オランダ	10,018	2.7	33,016	30.3
10	インド	9,159	2.5	27,139	33.7

パテントファミリーに引用されている論文数（上位10か国・地域）

整数カウント		1981-2014年(合計値)			
		(A)パテントファミリーに引用されている論文		(B)論文数全体	
順位	国・地域名	数	(A)における世界シェア	数	パテントファミリーに引用されている論文数の割合 (A)/(B)
1	米国	386,655	35.5	7,773,669	5.0
2	日本	80,785	7.4	1,977,900	4.1
3	ドイツ	76,259	7.0	2,021,362	3.8
4	英国	75,755	7.0	2,014,621	3.8
5	フランス	49,942	4.6	1,473,247	3.4
6	中国	42,482	3.9	1,823,178	2.3
7	カナダ	40,565	3.7	1,123,128	3.6
8	イタリア	32,793	3.0	1,021,471	3.2
9	オランダ	26,419	2.4	600,059	4.4
10	スイス	22,646	2.1	454,920	5.0

・日本のパテントファミリーの中で論文を引用しているものの割合は相対的に低い

・パテントファミリーに引用されている論文数 →日本は世界第2位

・パテントファミリーに引用されている日本の論文数の割合は相対的に高い

注：論文を引用しているパテントファミリー数についての指標は、日本はパテントファミリーにおける技術分野のバランスにも影響を受ける。
日本の「環境・地球科学」、「臨床医学」、「基礎生命科学」の論文分野では、自国より、米国のパテントファミリーから引用されている割合が多い。米国のパテントファミリーから引用されている割合は、それぞれ、56.3%、50.3%、47.3%である。
欧州特許庁のPATSTAT(2018年秋バージョン)、クラリベイト・アナリティクスWeb of Science XML(SCIE, 2018年末バージョン)
クラリベイト・アナリティクス Derwent Innovation Index(2019年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

【出典】『NISTEP科学技術指標2019』より

諸外国におけるナノテク・材料科学技術分野の政策動向

日本		◆ 第5期科学技術基本計画、Society5.0の実現へ向けた11のシステムの一つに「統合型材料開発システム」を特定。新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術として「素材・ﾅﾉﾃｸﾉﾛｼﾞｰ」「光・量子」など ◆ Q-LEAP（2018-）を開始、「量子技術イノベーション戦略」を検討中
米国		◆ National Nanotechnology Initiative（2001-） - 第6次NNI戦略ﾌﾟﾗﾝ（2016-）省庁横断ﾃｰﾏNational Signature Initiativeを更新 - National Strategic Computing InitiativeやBRAIN Initiativeと連携し、Future Computing GCを特定 ◆ Materials Genome Initiative（2011-2016）、Electronics Resurgence Initiative（2018-）、National Quantum Initiative（2019-）、Critical Minerals Executive Order発令(2017末)
欧州	EU	◆Horizon 2020（2014-2020） - Key Enabling Technologies（KETs）として、ナノテクノロジー、先端材料、先進製造技術、バイオテクノロジーを選定 - Future and Emerging Technologies（FET）として、2018年よりQuantum Flagshipを開始 ◆ELSI/EHS（およびRRI）に関する取組を世界的に主導
	独	◆ハイテク戦略2025（2018-） - マイクロエレクトロニクス、材料、バイオテクノロジー、人工知能を「未来技術」と位置付け ◆Action Plan Nanotechnology 2020（2016-2020） ◆Quantum Technologies –from basic to markets (2018-2022、最長2028)
	英	◆UK Nanotechnologies Strategy（2010-） - BIS（現BEIS）が中心となって策定した省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略 ◆UK COMPOSITES STRATEGY（2009-） - BISを中心に航空機、自動者向けの耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の開発 ◆ UK Quantum Technologies Programme (2014-)
	仏	◆SNR France Europe 2020（2015-） - 10の社会的課題に対する重点的研究方針として、希少資源への依存度減少、化石燃料からの脱却、新材料設計、センサーを特定
中国		◆国家中長期科学技術発展計画綱要（2016-2020） - 先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学研究4分野の一つに「ナノ研究」 - 第13次五ヶ年計画 2030年を見据えた15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「量子通信・量子コンピュータ」「スマート製造・ロボット」「航空エンジン・ガスタービン」等を指定 ◆国家重点研究開発計画の一つとして「材料ゲノム工学のｷｰﾃｸﾉﾛｼﾞｰと支援ｷｰﾃｸﾉﾛｼﾞｰ」を開始（2016-） ◆中国製造2025 半導体自国化へ向け投資拡大。R&D投資を対GDP比で1.5%程度から3%程度へ引き上げる ◆世界初の量子科学実験衛星「墨子号」を用いた量子暗号通信（2017）、北京-上海間の量子通信NW「京滬幹線」構築（2017）、合肥に量子科学技術国家実験室を建設中（2020年完成予定）
韓国		◆第4期ナノ技術総合発展計画（2016-2025）米国の技術レベルを100%としたときに、92%まで到達させる ◆第3次National Nanotechnology Map（2018-2027） - 70のコアテクノロジーを同定。ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ人工知能、ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ無線通信、無人飛行機、超急速充電電池などの開発を推進 ◆未来素材源泉技術確保戦略を公表し、「30の未来素材」を導出（2018） ◆素材・部品・装備（装置や設備）産業の自立を目指し、2179億ウォン（約200億円）の政府投資を発表（2019.9）

【出典】JST研究開発戦略センター作成

今後の情報分野の研究の進め方について

令和元年 11 月５日
科学技術・学術審議会
情　報　委　員　会

＜要旨＞

次世代の AI やデジタル化を支える基盤的分野の強化とスマート研究プラットフォームの構築

○　近年、情報科学技術の応用分野への注目が集まっているが、我が国が世界に先駆けて Society 5.0 が描く社会を実現していくためには、次世代の人工知能（AI）技術や様々な分野での革新的な情報化を支える基盤的分野（OS、プログラミング、セキュリティ、データベース、通信、高性能コンピューティング、分散コンピューティング、アーキテクチャ、ハードウェア等）の研究や人材育成を強化し、情報分野が先導する日本発のイノベーション創出を活性化させていくことが重要である。

このため、基盤的分野をベースとし、Society 5.0 が目指す知識を基盤とする人間中心の社会の構築に向けて、自然科学や工学だけでなく人文・社会科学や教育等も含む多様な研究分野との連携や産学官での連携、あらゆる分野の知識・情報の共有が有機的に行われる「スマート研究プラットフォーム」の構築を進めることが重要である。その際、エネルギー効率とセキュリティを実現するデザイン等を重視すべきである。

○　スマート研究プラットフォームにおいては、応用分野の研究者等との密な連携により、ニーズが研究にフィードバックされ、新たな成果が生み出される情報研究エコシステムを構築（大学等を実証の場として活用）することが重要である。

○　人工知能に関する研究についても、AI 戦略等に基づき、着実に進めていく必要がある。

○　大学・大学共同利用機関法人・国立研究開発法人・民間企業等の情報研究拠点とスーパーコンピュータ「富岳」及び多種多様な大学等の先端的計算資源、多様なデータが、大容量、高速、セキュアな情報ネットワーク（SINET）で接続され、全国規模のスマート研究プラットフォームとして一体的かつ有効に機能するよう、一層の機能・体制の強化を図っていくことが重要である。

○　社会課題の解決につながるソフトウェアの開発等への貢献実績や学際的・分野横断的な活動実績を評価する等、論文業績以外の様々な取組を積極的に取り込んだ評価システムの構築により、多様な才能の糾合、若手の新たな挑戦を促進することが重要である。

データ基盤及び研究におけるデータ活用ルールの整備

○　社会や科学の発展におけるデータの価値の高まりを踏まえ、国の重要な資源として研究データ基盤の整備に取り組むべきである。その際、民間データとの連携、各種データの連結など相互通用性の確保にも取り組むことが重要である。

○　研究におけるデータ活用の促進に向けて、情報法等の専門家その他の ELSI （Ethical, Legal and Social Issues)の専門家や様々なステークホルダーと連携しつつ、ルールの整備に取り組むことが重要である。

○　特に、研究におけるパーソナルデータの取扱いについては、社会受容性の向上に向け、個人が納得・信頼できる保護、活用のルールや仕組みを、国際的にも通用する形で整備することが重要である。

１．基盤的分野の強化とスマート研究プラットフォームの構築

（現状・課題）

・近年、情報科学技術については、人工知能（AI）等の急激な発達等を受け、ますます国際競争が激化している。我が国においても AI 戦略を策定するなど重点的に取り組んでいるが、どちらかといえば情報科学技術の応用分野への注目が集まっており、AI 技術や様々な分野の情報化を支え、競争力の源泉ともなる情報科学技術の基盤を構築する分野への研究開発投資や人材育成が十分に行われている状況にはない。

・情報科学技術の発達の速度が極めて速く、国際競争も激しい中で、我が国が世界に先駆けて、Society 5.0 が描く社会を実現していくためには、次世代の情報科学技術を支える基盤的分野の研究や人材育成を強化し、情報分野が先導する日本発のイノベーション創出を活性化させていく必要がある。また、我が国は、例えば、製造業における IoT やロボットの活用などにおいて強みを有しており、今後もこうした強みを伸ばしていくためにも、それを支える基盤的分野が重要となる。

・一方、今後、Society 5.0 時代の社会システムを動かすアプリケーションは、ますますスケールアップし、統合的なものとなっていくことが想定される中で、我が国では、情報分野の研究が要素や分野毎に分かれており、それぞれの間の連携が弱い。

・また、情報科学技術の基盤的分野に関しては、論文で成果を表すのが困難な場合も多く、適切な評価のあり方が課題となっている。

（取組方針）

・次世代の AI 技術の発展や様々な分野での革新的な情報化を支える基盤的分野（OS、プログラミング、セキュリティ、データベース、通信、高性能コンピューティング、分散コンピュ

ーティング、アーキテクチャ、ハードウェア等）の研究や人材育成を強化することが重要である。

同時に、Society 5.0が目指す知識を基盤とする人間中心の社会の構築に向けて、基盤的分野をベースとし、自然科学や工学だけでなく人文・社会科学や教育等も含む多様な研究分野との連携や産学官での連携及びあらゆる分野の知識・情報の共有が有機的に行われる「スマート研究プラットフォーム」を構築することが重要である。

スマート研究プラットフォームの構築において、情報科学技術分野における基礎段階から応用段階までの研究者の連携、多様な分野間での融合、海外の優秀な研究者との連携等を図り、いわゆるビッグサイエンス的な研究のスケールの拡大と連携強化を強力に推し進めることが重要である。

・これらにより、Society 5.0の実現に向けたイノベーション創出の活性化と社会実装、新産業創出の加速を目指すことが重要である。その際、エネルギー効率とセキュリティを実現するデザイン、適切なパーソナルデータの扱いやデジタルアイデンティティ管理への配慮等が重要である。

・同時に、AIに関しても、現在の深層学習では太刀打ちできない課題（不完全なデータからの学習、説明可能性、信頼性等）を解決する機械学習手法等の理論及び技術について、AI戦略に基づき、サイエンスの加速や、社会課題解決に資するべく、関連分野との連携を進めながら、研究開発の加速を図る必要がある。

・情報分野への優秀な若手研究者の参画や、新たな研究領域への挑戦を促すため、評価においては、多様な取組を勇気づけ、励ます視点が重要である。例えば、社会課題の解決につながるソフトウェアの開発、データの整備等に貢献した実績や、学際的・分野横断的な活動の実績を高く評価するなど、論文業績以外にも多様な評価軸を導入することにより、多様な価値観に対応できる、新たな科学技術評価への先導事例とすることが重要である。また、このような評価を通じて、キャリアパスの重層化の進展も期待される。

２．大学をテストベッドとする情報研究エコシステムの構築

（現状・課題）

・大学等の情報システムを支えるインフラに対する要請は、教育、研究のみならず、経営の観点からも非常に多様化、拡大している。また、データの価値の高まりやデータサイエンスの進展を背景に様々な分野の研究においてデータの活用ニーズが高まり、それぞれの研究の場に情報分野の研究者やデータ解析の専門家の参画や支援が求められるなど、大きな期待が寄せられている。

・一方、大学等におけるシステムや研究活動等における情報分野への期待が大きくなっている中で、データ解析、情報システムの設計、アプリケーション開発を担う人材は大きく不足し

ている。

・大学等において、情報科学技術はもとより、情報基盤、さらには情報分野の専門家の知見に対する期待に応えていくとともに、情報分野そのものの研究の深化を両立させることができる最先端の環境を構築していくことが重要である。

（取組方針）

・大学等を Society 5.0 実現に向けたテストベッド（実証の場）とし、国際動向も見据えつつ、若手研究者や学生、民間企業等も巻き込んで先導的な取組にチャレンジできる環境を整備し、社会実装を進めていくことが重要である。また、情報分野の研究者が、そうした活動や情報システムを支えるインフラに係るサービス提供、人文・社会科学系を含めた他分野との融合研究等を通じて、継続的に、様々な社会・研究ニーズや課題等を研究にフィードバックさせ、さらにソリューションを提供していくというエコシステムを構築することが重要である。その際、必要に応じ、オープンソースやオープンスタンダード等の手法を活用することも有効と考えられる。

・そのようなエコシステムの構築に当たっては、必要な人材の集積とサービス提供を継続できる仕組み等を検討することが重要である。例えば、国内のいくつかの大学の情報系のセンターを拠点として研究者やリサーチエンジニア、リサーチプログラマー等を集積し、他の大学や民間企業等に対して、最先端の知見に基づくサービスを提供することも一案と考えられる。

・また、大学等において、他分野との融合研究に参画する情報分野の研究者を適切に評価するとともに、データ駆動型研究を支えるデータサイエンティストや情報分野の研究成果の保存・管理、実装に係る専門家（図書・情報系人材、プログラマー、法律などの専門家等）の確保・キャリアパスの構築に取り組むことが重要である。

３．次世代計算基盤とデータ基盤及びそれらを繋ぐ全国ネットワークの整備

（現状・課題）

・「京」コンピュータを中核に、国内の大学の情報基盤センター等のスーパーコンピュータを含む多種多様なシステムが、高性能ネットワークである SINET で結ばれ、全国の利用者が一つのユーザーアカウントでニーズに応じて利用できる革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）は、我が国独自の優れた研究基盤である。

・この HPCI を継承し、システムとアプリケーションとの協調開発等によって「京」よりも使い勝手を向上させた「富岳」を中心とした HPCI を、シミュレーション研究者はもとより、データサイエンスの研究者や産業界の研究者、民間企業やベンチャーにも最大限利活用されるよう、サービス・制度を充実させることが必要である。

・先端的計算資源を含む全国の情報インフラを有機的に結合させ、高速・大容量のデータ流通を可能にする SINET の重要性が増大しており、引き続き通信性能の強化と運用の安定性確保、ネットワークサービスの高度化等が必要である。

・また、今後、量子コンピュータが最適化問題や暗号計算などに強みを発揮する可能性が指摘されているように、特定分野に強みを発揮する専用的な計算資源がそれぞれの分野の高性能計算機として役割分担するような計算の形態が増えてくることが想定される。専用のハードウェアアーキテクチャを用いる場合もあれば、汎用性の高いハードウェア上に仮想化技術で実装される場合も想定される。

（取組方針）
・スーパーコンピュータ「富岳」及び国内の大学等が有するスーパーコンピュータをはじめとした多種多様なシステムが、高性能ネットワークである SINET で結ばれ、全国の利用者が一つのユーザーアカウントで、ニーズに応じて利活用できる仕組みを、科学技術・学術研究発展の研究基盤として強力に推進し、これをスマート研究プラットフォームとしてさらに発展・普及させ、シミュレーションはもとより、AI、データサイエンスなどの情報科学技術を、全ての学術分野の研究者や産業界の研究者、民間企業やベンチャーにも、最大限活用されるよう取り組むことが重要である。

・また、社会や科学の発達における研究データの価値の高まりや研究情報ネットワークの強化に対する要請を踏まえ、スマート研究プラットフォーム内で研究データの収集、各種データベースの活用、データ解析が円滑に行えるような機能の充実も含めた SINET の発展的な拡充に取り組むほか、我が国における学術情報及び研究データ基盤の構築・運用を担う体制の充実・強化を図るとともに、それらを活用した先端研究を推進することが重要である。

・これらの取組に関しては、我が国の科学技術・学術研究の発展に不可欠な計算インフラの全体像を俯瞰し、利用者ニーズと創出される成果を考慮し、世界トップクラスの性能を維持しつつ多様なシステムから構成されるバランスの取れた次世代計算基盤及びデータ基盤が、我が国全体のスマート研究プラットフォームとして一体的かつ有効に機能するようにしていくことが重要である。

・さらに、今後、量子コンピュータや特定分野に強みを発揮する専用的なシステムも含め、応用分野別にシステムとアプリケーションを協調的に設計するコ・デザインを高度に適用したシステム開発と、利用できる計算資源を柔軟に組み合わせてスマート研究プラットフォーム内で利用することを可能とするソフトウェア技術の開発について、国際動向、民間の動向、国が保持すべき基幹技術の継承等の観点を踏まえつつ、検討することが重要である。

４．データ基盤及び研究におけるデータ活用に係るルールの整備

（現状・課題）

・急速なデジタル化の進展に伴い、社会や科学の発展に向けて、パーソナルデータを含め、データの価値がますます高まっており、国の競争力の源泉のひとつとなってきている。我が国は、信頼ある自由なデータ流通（Data Free Flow with Trust, DFFT）に関する国際的なルール作りでリーダーシップを取っている。

・一方で、各種データの収集や管理・活用基盤の整備、データ間の連結や学官民でのデータの相互活用は十分に進捗していない。また、プライバシー侵害やセキュリティの懸念が増大している中、欧州の一般データ保護規則（GDPR）との関係整理も含め、大学等の研究におけるパーソナルデータの取扱い等に関するルールの整備が進んでおらず、研究や産学連携を行う際の課題となっている。各種のデータを有効に活用できる基盤やルールの整備は、優れた研究の成果やイノベーションの創出へとつながる重要な要素であり、着実に進めていくことが必要である。

（取組方針）

・研究におけるデータ活用の促進に向けて、ユーザーニーズを踏まえた公共データのオープン化や民間データとの連携、多様なデータの連結による相互運用性の向上や価値の向上、それらを支える研究データ基盤の整備等に取り組むことが重要である。

・研究におけるデータの活用の促進に向けて、研究におけるデータの取扱いに関するルールの整備を、情報法、知的財産法等の法学の専門家その他の ELSI (Ethical, Legal and Social Issues)の専門家や様々なステークホルダーとも連携して進めることが重要である。特にパーソナルデータについては、社会受容性の向上に向け、個人が納得・信頼できる保護、活用のルールや技術を、国際的にも通用する形で整備することが重要である。また、個人の関与の下、安心・安全にパーソナルデータを流通・活用させる仕組みの構築も重要と考えられる。

・産学官連携による共同研究等が円滑に進むよう、大学等においては、適切な情報の保護・管理体制の整備、データポリシーの整備・実施、サイバーセキュリティ対策の実施等に取り組むことが重要である。その際、国が一定の方向性を打ち出すことが望まれる。

今後の環境エネルギー科学技術分野の研究開発の在り方（素案）

Ⅰ　環境エネルギー分野の研究開発を取り巻く状況の変化

＜*SDGs の広がり*＞2015 年９月の国連サミット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」に示される「持続可能な開発目標」（SDGs）においては、気候変動、環境保全、エネルギー問題等の相互に関連する課題に係る、持続可能な世界を実現するための 17 のゴールと 169 のターゲットが定められた。この SDGs のコンセプトは、産業界や金融界を含む社会の各セクターにおいて広がりを見せている。

＜*気候変動に関する国際的な動き*＞中でも気候変動は、国際的な関心の高い差し迫った課題であり、非常事態（Climate Emergency）とも言うべき状況である[1]。2015 年のパリ協定においては、世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも２℃高い水準を十分に下回るよう抑えることと、1.5℃高い水準までとなるよう抑える努力を継続することを各国共通の目標とした。また、2018 年には「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の「1.5℃特別報告書」において、人間の活動は工業化以降約１℃の地球温暖化をもたらしたと推定されており、現在の進行速度では 2030～2052 年に 1.5℃上昇に達する可能性が高いこと、1.5℃に抑えるためには人為的な二酸化炭素排出量を 2050 年前後に正味ゼロにする必要があること等が示された[2]。本年９月の「国連気候行動サミット 2019」でも若者が対策強化を求める声を上げ、2050 年に正味ゼロ・エミッションを達成するため各国が具体的な計画を示すことが促された。この場で 65 カ国が 2050 年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロとすることを表明しているように、近年の国際社会の趨勢は、2050 年における正味ゼロ・エミッションの達成となりつつある。また、産業界においても、TCFD[3]の取組や、それらの情報に基づき環境エネルギー分野への企業の取組等を考慮して投資行動をとる ESG 投資が国際的に進んでいる[4]。

＜*気候変動に関する我が国の対応（緩和策）*＞このような状況の中、我が国としても国を挙げた喫緊の対応が求められている。我が国では、2016 年の地球温暖化対策計画（2016 年５月閣議決定）において温室効果ガスの 2030 年度までの 2013 年度比 26%削減と 2050 年度までの 80%削減を掲げており、さらに本年６月には、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2019 年６月閣議決定）（以下「パリ協定長期戦略」という。）を策定するとともに、今世紀後半のできるだけ早期の脱炭素社会（ゼロ・エミッション）の実現目標を掲げた。

---

1 世界経済フォーラムの「第 14 回グローバルリスク報告書」（2019 年１月）によると、将来的に影響が大きいリスクの第２位から第５位が気候変動関係であった（第１位が「大量破壊兵器」、第２位が「気候変動」、３位の「異常気象」や４位の「水危機」、５位の「自然災害」）。

2 本年８月の「土地関係特別報告書」では気候変動が与える土地への影響が人間の健康や生態系の健全性、インフラ、食料システムに対する既存リスクを悪化させる可能性が、同年９月の「海洋・雪氷圏特別報告書」では今世紀末にも最大 1.1mの海面上昇の可能性が示されている。

3 気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures）

4 気候変動等の影響は企業活動にとっても大きなリスクであるという観点から、投資家は、企業が気候変動等の影響が顕在化してもビジネスを継続できるか、長期投資に値するかという観点から企業に対して気候関連の情報開示を求めるようになるなど、環境（Environment）・社会（Society）・ガバナンス（Governance）の要素を考慮した ESG 投資の動きが拡大している。

この中でキーコンセプトとして提唱された「環境と成長の好循環」は、G20 大阪首脳宣言（2019 年６月）において政府間合意を実現し、その具体化のため、年内に「革新的環境イノベーション戦略」を策定することとなった。また、同年 10 月には産業界、学術界、金融界の世界のトップリーダーを集めた３つの国際会議[5]やグリーンイノベーション・サミット[6]を開催し、気候変動問題における国を超えた産官学連携を我が国がリードする決意を示した。

＜気候変動に関する我が国の対応（適応策）＞また、パリ協定においては気候変動対策として緩和策のみならず適応策も位置付けるが、国内においても、昨年に気候変動適応法（平成 30 年法律第 50 号）が成立し、国、地方公共団体、事業者、国民が連携・協力して適応策を推進するための法的仕組みが整備された。同法では、国の気候変動適応計画や影響評価報告書の策定義務、また自治体の適応計画策定の努力義務などが定められるとともに、自治体による適応計画策定のための基盤的情報として役立つ気候変動予測等に関する科学的知見の充実と活用に係る国の責任が明示された。

＜気候変動以外の課題＞人間活動が地球に及ぼす影響は気候変動にとどまらない[7]。例えば、アマゾンで大きな問題となっている熱帯雨林の大規模火災に代表されるように、人間の土地利用により雨林の植生が変化し、二酸化炭素の吸収源が減少し、熱帯雨林固有の多様な生態系が損なわれているほか、水や土壌の保全機能が失われ土地災害を引き起こす一因ともなっている。また、生活排水による水質汚染や埋め立て等は珊瑚を減少させ、地球温暖化の影響による水温上昇や海洋酸性化は珊瑚の白化を加速し、生態系の損失と温暖化の更なる悪化を引き起こしている。我々が日々の生活で恩恵を受けているプラスチックは海洋や河川を汚染し、海洋生態系を揺るがす存在となっている[8]だけでなく、マイクロプラスチック化したものや、マイクロプラスチックが包含・吸着する化学物質の生命への影響は未だ明らかになっていない。また、プラスチックは、化石資源を原料とし、その製造プロセスにおいても燃料として化石資源を消費するため、エネルギー問題や気候変動問題との関連も無視できない。こうした様々な問題のシナジー（相乗作用）とトレードオフの関係にも留意する必要がある。例えば、1.5℃目標達成に必要な研究開発を進めるために土地等を開発することが必

---

[5] 金融界・産業界のリーダーを結集して ESG 投資等について議論する TCFD サミット、産学官のリーダーが気候変動緩和に向けたイノベーション創出について議論を行う ICEF、クリーンエネルギー技術に関する G20 の研究機関のリーダーがクリーンエネルギー分野における国際連携等を議論する RD20。

[6] TCFD サミット、ICFE、RD20 の３つの国際会議の代表者等を官邸に招聘し、各分野の成果を聞き取るとともに気候変動に関する総理のイニシアチブを発信した会合。

[7]2009 年にヨハン・ロックストローム氏が提唱した「プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）」に係る研究によれば、「気候変動」、「生物圏の一体性」、「土地利用変化」、「生物地球化学的循環」については、人間が安全に活動できる限界レベルに達しているとされる。なお、生物多様性については、2010 年 11 月に愛知県名古屋市で開催された「生物多様性条約第 10 回締約国会議」において「愛知目標」が採択されたことを契機に、生物多様性や生態系サービスの現状や変化を科学的に評価し、政府の生物多様性に関する政策に科学的な基礎を与えることを目的とした「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム」（IPBES）が設立され、この分野の国際的議論の土台となる知見を創出している。

[8] プラスチックごみは世界全体で年間 478～1275 万トン、途上国が大宗を占め、我が国からは年間２～６万トンが海洋流出されていると推計されている。（「プラスチックごみ対策アクションプラン」（2019 年５月海洋プラスチックごみ対策の推進に関する関係閣僚会議））

要である一方、それが生物多様性・環境保全等に与える負の影響を併せて考慮する必要がある。我々は、環境エネルギー分野の多様で複雑に絡み合った諸問題と向き合わなければならない。

*＜自然災害等への対応＞*国内における自然災害等への対応も重要な課題である。例えば、日本における豪雨の発生頻度は 30 年前と比較して 1.4 倍と、異常気象についても一部の領域で変化が既に顕在化している。国や自治体の災害対策やエネルギー対策は国内における喫緊の課題であり、科学技術による知見を活かして早急に対応をしていく必要がある。

*＜環境・エネルギー科学技術の究極の目標等＞*環境科学技術及びエネルギー科学技術における究極の目標は、持続可能な社会の実現である。2050 年以降の早期のゼロ・エミッション達成等を始めとする様々な地球環境問題に係る高い目標を達成するには、環境エネルギー分野におけるすべての政策の基盤となる科学的知見の創出とともに、こうした現在の技術では困難な目標を乗り越えることのできる、これまでの延長線上にない革新的イノベーションの創出が不可欠である。本年のノーベル化学賞には、リチウムイオン電池の開発者である吉野彰氏を含む３名が選ばれた。吉野氏による 1983 年当時の革新的な電極材料開発はリチウムイオン電池の実用化を現実のものとし、現代のモバイル社会を支える基礎となるとともに、再生可能エネルギーの普及を通じた環境問題への貢献も期待されている。

*＜政策による経済インセンティブ＞*また、革新的なイノベーションを社会実装や課題解決に結び付けるには、経済インセンティブの付与や誘導策等の政策作りも有効である。環境問題に対する倫理観の高まりや金融界・産業界における ESG 投資の普及も、イノベーションの更なる創出や社会実装への展開が期待されるため、これを後押しする政策が必要である。

*＜投資＞*グリーンイノベーション・サミットにおいて、政府は環境エネルギー分野の研究に 10 年間で 30 兆円の官民投資を行う考えを示した。圧倒的な規模の研究開発分野への投資を行う中国や、社会システム全体として環境問題解決に力を入れている欧州各国が存在感を高める中、日本としても、政府一体となって本分野における官民投資の拡大を始め、あらゆる施策に機動的に対応し、高い科学技術力を活かして世界を牽引することが重要である。

Ⅱ　文部科学省が推進すべき環境エネルギー科学技術の研究開発課題

文部科学省では、気候変動や環境保全、生物多様性といった様々な地球環境問題やエネルギー問題の解決に向けた基礎・基盤的な研究開発に取り組んでいる。環境科学技術とエネルギー科学技術[9]の双方が共通して貢献し得る重要課題の一つとして気候変動対策があり、主要な取組として、地球環境対策の基盤的技術による適応策への対応と、脱炭素化技術に係る基礎研究等の推進による緩和策への対応があげられる。今後は、これらの現行の取組の成果も踏まえ、環境保全等の多様な観点からの基礎・基盤的研究を更に推進していくことも重要である。

[9] エネルギー基本計画（2018 年 7 月閣議決定）においては、基本的方針の一つとして掲げるエネルギー自立の考え方について「パリ協定等に基づく脱炭素化への世界的モメンタムと重なる」としており、エネルギー政策において低炭素化技術に係るイノベーションが必要であることを示している。

また、我が国の産業構造を見れば、エネルギー機器、運輸、化学等の環境エネルギー分野と関連の深い産業が国の収益の大部分を占めており、こうした産業の振興・我が国の競争力強化への貢献も視野に入れ、研究開発を着実に推進していく。

１．主に気候変動対策に係る研究開発の推進

（１）気候変動対策等に資する基盤的情報の創出

＜*基盤的情報の重要性*＞気候変動等の地球環境問題への対策の基礎となるのが、地球環境問題について実際に何が起きているかを観測・監視して現状を把握し、今後それがどう変化するかを予測し、我々にどのような影響を与えるかを評価する科学的知見である。ビッグデータ等の技術革新が世界的に進む中、昨今はどの分野においてもデータサイエンスの可能性や重要性が指摘されており、効率的な財政投資と政策効果の向上のためには客観的な根拠や分析に基づく政策立案が不可欠である。気候変動対策等においても、ビッグデータ等の蓄積や分析、それにかかわる研究開発を通じて多様な情報を創出し、すべての政策分野に活かしていくことが期待されている。これらの情報は、気候変動に関する IPCC や国連気候変動枠組条約[10]（UNFCCC）等の国際的な枠組みや国にとっての基盤的情報であるとともに、後述するように自然災害等の多様な地球規模の課題解決に不可欠な基盤的情報ともなるため、これを生み出すとともに実際の対策に役立てる技術の高度化が重要である。

＜*気候変動情報のニーズの高まり*＞近年、気候変動予測や影響評価に係る情報の需要は更に高まっている。国や各自治体は、2018 年の気候変動適応法に基づき気候変動適応計画を策定するために、将来的な気候変動等による農業、水産、健康被害、異常気象等に関する影響評価等に関する情報をますます必要とするようになった。また、近年の世界的な ESG 投資の取組の普及に伴い、企業等も環境リスクを踏まえた中長期的な戦略を立案するための情報をより強く意識するようになっている。企業等が多様な予測情報や影響評価情報に基づき持続可能な価値創造シナリオを生み出せるようになることは企業の投資価値創出につながり、ESG 投資の更なる普及にも貢献し得る。このように、気候変動対策等のための基盤的情報の高度化・精緻化に対するニーズは更に高まっており、国内の持続的な成長のための指針の一つとして不可欠である。また、今後、パリ協定によるグローバル・ストックテイク[11]の仕組みに基づき、二酸化炭素の排出削減目標の達成に向けた各国の進捗を定期的に確認するため、各国がそれぞれの取組等に係る報告を行うこととなっている。これに基づき長期的な削減目標を精確に設定するためには、気候モデルの高度化や気候変動メカニズムの解明などによる気候感度（二酸化炭素が倍増したときの気温上昇）などに係る不確実性の低減が不可欠である。

＜*基盤的情報創出のための取組*＞このような背景も踏まえ、気候変動に係る観測、予測・影響評価、情報発信の観点から、それぞれ以下の取組を推進する。

---

[10] 1992 年に採択された、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目標とする条約。同条約に基づき、1995 年から毎年、気候変動枠組条約締約国会議（COP）が開催されている。

[11] パリ協定における長期目標と比較した国際社会全体の温暖化対策の進捗を、各国による温暖化対策等の取組状況や IPCC の最新報告書などの情報を基にして、5 年ごとに評価するための仕組み。最初のグローバル・ストックテイクは 2023 年に予定されている。

・（観測）気候変動や防災対策等の課題に対して、衛星や地上、船舶、航空機等を通じて気象や温室効果ガス等の地球観測を継続的に実施する。
・（予測・影響評価）ビッグデータ等を活用したデータサイエンスも駆使し、気候モデルの高度化等を通じて、全球的な気候変動メカニズムの更なる解明等の研究を進めるとともに、不確実性の低減により気候変動予測情報の精度向上などを図り防災・農業・医療分野等の影響評価、適応策等に活かす。また、過去からのビッグデータの継続的な蓄積や、利用者のニーズを踏まえた予測情報の整備も推進する。
・（情報発信）上記取組を通じて得られた科学的知見の充実を図り、国内外に広く効果的に発信し、地球環境に係る研究開発や企業や自治体等における適応策検討などのニーズに貢献する。この際、環境省等とも密に連携を図り、自治体等の適応計画に創出した情報の活用を進めていく必要がある。また、必要な地球環境ビッグデータ（地球観測・予測情報等）の学術、国際貢献、産業利用を促進するため、データ統合・解析システム（DIAS）の整備を進めるとともに、ニーズに応じたアプリケーション開発を推進する。

*＜国際連携等＞*これらの取組に加え、我が国が先導してきた地球観測に関する政府間会合（GEO）の国際連携枠組みを活用するとともに、「フューチャー・アース」[12]構想に基づく取組等を通じて国内外のステークホルダーとの協働による研究を推進する。

（２）脱炭素社会の実現に向けた研究開発の推進

*＜多様なシーズ創出の必要性＞*急速な脱炭素化等を始めとした地球規模の課題解決には革新的なイノベーション[13]が必要となる中、その鍵となる基礎研究の推進は重要であり、イノベーションの担い手である大学等研究機関にしっかりと投資をしていく必要がある[14]。特に、環境エネルギー分野を巡る状況については、現下の状況から一貫して研究開発に強い期待が寄せられているものの、SDGs や TCFD 等の拡大 AI、IoT 等の技術革新等による研究開発手法の変化など、脆弱性・不確実性・複雑性・不透明性（VUCA）をはらむ現代の影響を受け、変化し続けている。未来への予測不可能性が高い中、文部科学省としては、特定の分野に限定するのではなく、幅広く投資をしていくことで、多様なシーズ創出を推進する必要がある。その際、材料、バイオ等の各領域の研究者による先端的研究手法を融合・駆使・発展させた挑戦的な取組への支援や、他分野との連携など新興領域の開拓も必要である。

*＜社会的ニーズの高い分野への投資＞*また、幅広い投資による多様なシーズ創出に加え、将来的に大きな社会的ニーズを生み出す課題について、基礎研究の段階からそのポテンシャ

---

[12] 2012 年の国連持続可能な開発会議において、国際科学会議等の８機関により提唱された構想。地球規模課題の解決のため、自然科学・人文科学・社会科学の分野間連携と、企業、自治体、大学・研究機関等のステークホルダーとの連携の必要性を謳う「トランス・ディシプリナリー研究」の考え方に基づく国際的な共同研究を推進する。

[13] イノベーションには、既存の技術等の延長として市場が受けとめることのできる急進的（radical）なイノベーションのほか、誰もが想定し得ない技術等の創発により既存の市場が脅かされるような破壊的（disruptive）なイノベーションも存在することに留意する必要がある。

[14] 2018 年にノーベル経済学賞を受賞したウィリアム・ノードハウスは、気候変動問題の解決に向けて、エネルギーやその関連分野の基礎科学技術に対し政府が支援を続けることは絶対不可欠であるとし、その上でどのような科学的発展が利益をもたらすことになるかは分からないため、「幅広く、賢く」投資することの重要性を強調している。

ルを見出し、長期的な視点で投資することも重要である。すなわち、これまでの科学的発展の延長線上の成果創出にとどまらず、将来のあるべき姿を描いてそこからバックキャストすることにより、社会を大きく転換するようなゲームチェンジングな革新的技術の創出に向けた研究開発の推進に取り組む必要がある。例えば、地球温暖化の解決や産業競争力の強化につながる次世代半導体等の日本が世界先端を誇る技術を活用した省エネルギー技術の研究開発も推進する。その際、社会実装に向けて、特定の部品の技術向上のみに着眼するのではなく、システムとして設計されたときの当該部品のパフォーマンスも見通した上で、システム全体としての機能の向上を図るような成果を創出する。

*＜具体的な重点化分野＞*このほか、「エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会」において特定された水素やCCUS、蓄電池、エネルギーマネジメント等の重点化分野についても、パリ協定長期戦略や「革新的環境イノベーション戦略」の成果を踏まえて今後更に推進する。このほか、今後の社会や研究動向を踏まえて、必要とされる研究開発にも積極的に取り組んでいく。

２．環境保全等に向けた多角的な研究開発の推進

*＜環境保全、自然災害対策等の観点＞*気候変動に加え、環境保全や自然災害対策等の観点から求められる基礎・基盤的研究の推進の重要性は高まっている。例えば、環境保全の観点では、海洋プラスチックごみ問題において、海洋汚染の実態把握や対策を進めるための第一歩として、日本周辺の海に存在するプラスチックの分布状況等のデータを一元化し、情報提供ツールを開発することが必要である。また、植物や微生物の能力や機能を活用し、バイオマス資源からバイオプラスチックを高効率に合成する手法の開発や、微生物の能力を活用し、海洋プラスチックごみや回収したプラスチックごみを高効率に分解する手法の開発等を通じて、プラスチックの代替素材の開発や回収素材の分解等のイノベーションを実現することができる。また、気候変動予測に関するデータは国や自治体の治水計画を始めとする災害対策等にも重要な役割を果たしており、この観点でもデータサイエンス等も活用し、取組を加速していく必要がある。また、微細化したプラスチックの生態系や人間の健康への影響評価に貢献するためにも、科学技術基盤を強化することが考えられる。環境エネルギー分野における多角的なアプローチによる課題解決を始め、SDGs の目指す持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現に貢献していくことが重要である。

Ⅲ　研究開発の推進に当たっての重要事項

文部科学省の取り組む基礎・基盤的研究の成果が社会的な課題解決に結び付くよう、特に以下のような観点を重視しながら、研究開発の推進等に取り組んでいく。

（１）分野融合した幅広い知見による研究開発の推進

*＜社会実装の際の他分野の知の必要性＞*研究開発による成果を社会実装する際には、多様な分野の知が必要となる。例えば、環境問題の外部不経済性の解消、倫理観や価値観の選択、他の政策分野の関係、研究成果の社会システムへの適合性、サーキュラーエコノミー（資源循環）等の観点からは人文社会科学の知見の活用が必要であり、分野を超えた対話と協働

を行うことが重要である。特に、目的志向型（needs-driven）の研究開発の推進において、円滑な社会実装を促す観点から分野融合による研究アプローチを推進するため、技術の送り手と受け手の対話の場を設けることも重要である。

＜*技術の評価手法の検討*＞また、技術の評価においては、LCA（Life Cycle Assessment）やテクノロジー・アセスメントなどにより、技術的成果のみならず、製造工程も含めた全体の環境的な貢献や負荷、当該技術の社会実装による社会・経済等への影響も総合的に評価した上で、研究開発の在り方や政策の意思決定に活かす手法を検討してくことも重要である。評価結果の基礎研究へのフィードバックを行うことで、研究テーマの取捨選択等も含めた研究開発の在り方等の検討に貢献し得る。なお、環境負荷に関する評価においては、特定の企業に対する評価のみならず、全体のバリューチェーンの中での最適化を目指す視点も重要である。また、社会・経済への影響評価に当たっては人文・社会科学のデータの活用も必要となることに留意する必要がある。

＜*シナリオ分析の研究開発*＞さらに、人文社会科学分野との連携による脱炭素社会実現に向けたシナリオ分析により、環境規制や制度等を含めた社会システムを提案していくことも重要である。

（２）関係省庁及び産業界との連携

＜*研究成果の円滑な社会実装に向けて*＞文部科学省の実施する基礎・基盤的研究は、関係省庁（経済産業省、環境省等）における実証研究や具体的政策に活用されることで社会に結び付くことが多い。例えば、文部科学省の持つ地球観測データや予測情報は、国や各自治体における治水を含めた都市計画や農林・水産分野等の適応計画の策定のために活用される。また、脱炭素化技術に関する基礎研究の成果は、経済産業省や環境省の実施する実証事業等に橋渡しされることで、社会実装につなげることができる。これまでも、基礎研究等の多様な成果を他省庁の事業につなぐ仕組みづくりやニーズの共有等に取り組んできたが、今後は更に、基礎研究から社会実装までを見通した一貫した研究開発や研究成果の一層円滑な実用化に向けた体制を整える。具体的には、環境エネルギー分野の事業について、省庁を越えて政府一体となって基礎から実用化まで一貫したものとして運用する体制を構築し、切れ目なく研究開発を推進することが考えられる。これにより、実用化研究からフィードバックされる新たな基礎研究の開拓や基礎研究の早期実用化を見据えた支援、企業等との連携強化と研究成果の円滑な橋渡しなどが期待される。

＜*政策との一体的推進*＞また、関係省庁と連携し、研究開発と政策を一体的に推進することも重要である。研究成果を社会実装する観点からは、経済性の補完や制度の変革、官民投資の在り方等の政策的事項も併せて検討する必要がある。技術的課題と政策的課題の双方を捉えたアプローチが重要である。

＜*産学官の連携強化*＞さらに、研究開発の加速に向けた産学官の連携強化も引き続き重要である。特に具体的な社会実装に向けた研究開発については、産業界のニーズを踏まえた技術開発につながるよう、大学等の研究機関と企業等の連携による産学官連携拠点の構築を支援する。また、産業界が真に大学等に求める基礎・基盤的研究の把握・共有や、我が国の産業の基盤を強化するなど方向性の共有が非常に有益である。

（３）ESG 投資を通じた金融界による研究開発投資の誘発

＜*民間投資の促進*＞環境エネルギー分野の研究開発への民間投資の促進も重要である。近年、G20 の金融安定理事会により設立された TCFD における議論や ESG 投資の拡大など、投資家が企業の環境面への配慮を投資の判断材料と捉える試みが拡大している。気候変動等への備えを強く意識した行動原理の下で経済社会は動き始めており、環境問題への対応に積極的な企業に資金が集まり、次なる成長へとつながる「環境と成長の好循環」とも呼ぶべき状況が生まれている。このような流れの中、例えば異常気象予測に関する研究開発と損害保険[15]などの分野に代表されるように、大学等研究機関の環境問題に関する研究開発への投資が促進されることが期待される。産業界や金融界の協力も得ながら、関連するセクターのニーズと大学等の科学技術シーズのマッチングを積極的に進めるなど、産学官金一体となったイノベーション創出を後押しする仕組みを検討していく。

（４）研究開発人材等の育成

＜*人材育成の必要性*＞日本の他の学術分野と同様、環境エネルギー分野においても研究者コミュニティの減少が懸念されている。特に関連の深い工学系専攻を中心に大学院進学者が減少しているほか、論文数等からも基礎・基盤的研究の弱体化がうかがえる。気候変動対策、脱炭素社会の実現等に向けたイノベーション創出が喫緊の課題である中、また、産業競争力強化のためにも、工学系人材を始め、将来に渡り優れた人材を輩出するための長期的視点からの人材育成への継続的な取組が望まれる。その際、人材育成を目的とするだけでなく、我が国の基礎・基盤的研究力の向上等の多角的な視点を盛り込むことも必要である。

＜*研究開発人材の育成*＞また、基礎研究から実用化までの研究開発を俯瞰することのできる幅広い知識と自らの専門性とを兼ね備えた人材を実践的な教育や OJT などを通じて育成し、若手を含めた優れた研究人材の輩出に貢献することも必要である。例えば、世界最高水準の教育力・研究力を結集した博士課程プログラムである「卓越大学院プログラム[16]」を始めとする好事例の取組の横展開を図ることにより、人材育成に係る機運の醸成にも貢献することが考えられる。特に大学院生や若手研究者は大学における研究開発の担い手であり、将来の最先端科学技術を担う人材である。文部科学省が打ち出した「研究力向上改革 2019」も踏まえ、こうした若手有能人材の育成・支援に取り組む必要がある。

＜*国際交流*＞環境エネルギー課題は世界共通の社会課題である。同じ分野に強みを有する国等との連携による研究者交流、海外人材の活用等を通じて、研究者の国内外のネットワークの強化や、若手研究者への多様な活躍と知見獲得の機会創出が期待される。

＜*研究開発人材以外（受け手）の育成*＞研究開発人材以外にも、国や大学が創出した科学

---

15 産業界による災害時の保険料負担が各産業のリスク管理に資している観点からは、災害予測等に関する情報創出をする学術界とこれを活用する産業界との連携により災害対策に資していると捉えることもできる。

16 文部科学省の実施する博士課程プログラムに関する公募事業。例えば、平成 30 年度に採択された早稲田大学の「パワー・エネルギー・プロフェッショナル（PEP）育成プログラム」では、電力エネルギー分野の専門性・分野融合力、産学連携力等を活かし、生産から消費までの産業全体を一気通貫する次世代人材育成を目指す。

的知見を読み解き、専門家とコミュニケーションをとり、ニーズに落とし込むことのできる環境分野の知見・技術を有する人材が少ないという課題がある。例えば、適応策策定や環境問題の解決に必要な知識は社会・経済・産業にわたり広範であるため、複数の専門分野に知見を持ち、各分野の専門家と協力しながら環境問題対策に取り組める人材の育成が必要である。また、環境問題の解決に向けて、イノベーションを起こすための創造力やデータを読み解くための基本的な力、全体を俯瞰して分野横断的に解決策を導き出す力が育つよう、大学を始めとした学校教育や社会人教育などを通じて、学際領域に対応できる人材を育てる取組を行うことも考えられる。

（５）利用者のニーズを踏まえた基盤的情報の創出等

*＜ニーズを踏まえた情報創出＞*地球観測・予測情報等や海洋環境保全等に資する膨大なデータを最大限利活用するため、国内外の産学官のユーザーに長期的・安定的に活用される持続可能な地球環境情報プラットフォームを構築・運用し、過去から蓄積したビッグデータを維持していくとともに、引き続きデータを蓄積し利活用していくための環境整備も進めていく。また、国・各自治体による気候変動適応計画に貢献するため、ニーズを踏まえた予測情報の精緻化や時間・空間分解能の高度化等の研究開発を行う。

*＜リテラシー向上、人材育成、情報発信＞*その際、利用者側のリテラシー向上に向けたデータ活用に関する普及啓発や、データを継続的に運用していくための人材育成も併せて行うことが効果的であると考えらえる。また、一部の自治体においては、国の支援のもと、それぞれのニーズや課題に即した気候変動影響評価のための予測手法開発やシミュレーション評価に取り組んでおり、こうしたモデルとなる自治体の好事例の横展開を図ることも重要である。こうした取組も含めて、環境省とも密に連携しながら、自治体への適応策支援のための情報発信を進めていく必要がある。なお、この際、科学的知見が受け手において効果的に活用されるよう、研究成果の可視化等の情報発信の工夫や、情報が誤解なく伝わるような説明への配慮等に留意するなど、ニーズに耳を傾けながら効果的な情報発信を行うことが重要である。

（６）国際的な取組の推進

*＜国際貢献＞*日本は、環境エネルギー分野でも世界トップレベルの科学技術力を有しており、これまでも国際貢献を続けてきた。例えば、気候変動の科学的知見に関する国際的枠組みである「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の評価報告書（AR5）においては、日本の気候変動モデルが全世界の中で最も活用されており、その国際的信頼性の高さを示している。また、世界各国の地球観測システムをつなぐネットワーク作りを推進する「地球観測に関する政府間会合」（GEO）においても日本は先導的な役割を果たしている。さらに、DIAS を通じた発展途上国等への国際貢献についても、DIAS を活用し、南部アフリカ地域の感染予警報システムによるマラリア感染予防への貢献、降雨・洪水予測データの視覚化システムによるスリランカ洪水対策への貢献、カンボジアの川流域のイネ収量変化情報等の提供による水管理・農業支援などの取組を行ってきた。今後も、こうした国際貢献を引き続き行っていくとともに、各種会議への参加等の機会を通じ、その成果を国内外に強調していくことが重

要である。

＜*国際共同研究の推進等*＞また、気候変動を始めとした地球規模課題解決に貢献するため、「フューチャー・アース」構想などを通じて、ステークホルダーと連携した学際的な国際共同研究を推進することも重要である。さらに、海外とのシンポジウムの共同開催等を通じて、国内の研究者の人材育成の場とするとともに、国際的な研究のネットワークの場を広げていくことが期待される。

次期科学技術基本計画、次期宇宙基本計画に向けた文部科学省宇宙開発利用部会の考え方（概要）

今後の宇宙分野の見通し

- 地球規模課題解決に向けた達成目標がパリ協定やSDGs等で具体化してきたことから、今後は宇宙の広域性・多様性を活かした課題解決に向けた取組の重要性が増す
- 新たな融合領域の創出に向け、宇宙に関わる研究者や宇宙技術の利用者の増加・多様化を図っていく必要がある

国家安全保障上の諸課題への対応に向けた重要領域として「宇宙空間」を盛り込むべき
※防衛大綱に新たに「宇宙」が記載

我が国の産業競争力の強化の文脈において「成長産業としての宇宙」を盛り込むべき
※宇宙に携わる新たな民間事業者等が増加

関連施策・事業は我が国だけでなく他の国にも裨益し、延いては、国際社会に必要不可欠な社会基盤になることも目指して実施すべき

宇宙技術等が、我が国の科学技術全体の水準向上に大いに貢献し、今後も更なる科学技術の発展に寄与しうることも盛り込むべき

＜今後の宇宙技術の技術基盤発展の考え方＞
- ✓ 宇宙技術の研究開発を進めるに当たっては、地上の先端的な技術（人工知能、バイオ、光・量子等）を活用
- ✓ 地上の技術に革新をもたらす起爆剤として、宇宙技術を活用

宇宙開発利用に関する研究力の向上に向けた研究者や利用者の増加・多様化を見据えた対応

宇宙の魅力を活かして、我が国の研究力の向上や、分野越境・異分野融合によるイノベーションを先導

◎次期科学技術基本計画のシステム関連（研究人材・資金・環境等の改革）に盛り込むべき宇宙特有の観点

＜挑戦的・長期的・分野融合的な研究の奨励＞
長期的に見て、他の技術への波及効果が大きく見込める分野へのファンディングの充実、複雑化する資金の管理・循環体制の構築

＜世界最高水準の研究環境の実現＞
先端大型研究施設については、ISSの一部である「きぼう」のように、研究成果という価値に限らず、外交政策上の意義、価値等にも留意

＜若手研究者の自立促進・キャリアパスの安定＞
大規模かつ長期的プロジェクトでリーダーシップが発揮できる人材の育成、大学・国研のシームレスな連携による多様な研究環境の提供

＜国際連携・国際頭脳循環の強化＞
宇宙環境保全等を牽引する人文・社会科学を含む総合的研究の推進、SDGsに貢献する宇宙技術活用の推進（国際宇宙協力のノウハウ活用）

【参考】宇宙開発利用部会の検討範囲について（次期宇宙基本計画、第6期科学技術基本計画）

次期宇宙基本計画

宇宙安全保障環境の変化及びこれらを踏まえた**平成30年12月の新たな防衛大綱の策定**、民間における**新たな宇宙活動の担い手の登場**や、**国際宇宙探査や宇宙科学・探査分野における各国の動向の変化**、我が国の宇宙開発の進展などを踏まえて検討。

宇宙政策の目標（現行の計画）

❶宇宙安全保障の確保

①宇宙空間の安定的利用の確保

②宇宙を活用した我が国の安全保障能力の強化

③宇宙協力を通じた日米同盟等の強化

❷民生分野における宇宙利用推進

①宇宙を活用した地球規模課題解決と安全・安心で豊かな社会の実現（国土強靱化等）

②関連する新産業の創出（G空間情報の活用等）

第6期科学技術基本計画

❸産業・科学技術基盤の維持・強化

①宇宙産業関連基盤の維持・強化

②価値を実現する科学技術基盤の維持・強化

❷未来社会デザインとシナリオへの取組

✓宇宙・海洋・地球・科学基盤関連（月面資源、誘発地震、観測技術等）等

❸デザインを実現する先端・基盤研究、技術開発

⑤我が国の強みを生かした研究戦略の構築

＜例＞

- 科学的卓越性（真理の探究・基本原理の解明・新発見）の重視など我が国に強みのある基礎研究文化の維持・発展
- 科学と産業(出口)に強みを持つ分野の戦略的推進と知財戦略、オープン・クローズ戦略
- 社会課題の解決・未来社会ビジョンからのバックキャストと、科学技術の潮流からのフォアキャストの双方の視点を考慮した研究戦略の立案　　等

総政特検討論点（6月27日）

総政特論点まとめ

❶研究力向上に向けたシステム改革

(1)研究人材　(2)研究資金　(3)研究環境

総政特検討論点（6月27日）

① 挑戦的・長期的・分野融合的な研究の奨励
② 若手研究者の自立促進・キャリアパスの安定
③ 世界最高水準の研究環境の実現
④ 国際連携・国際頭脳循環の強化

次期宇宙基本計画、科学技術基本計画に向けた宇宙開発利用部会の考え方について（まとめ）

令和元年９月２６日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会

宇宙開発利用部会では、科学技術・学術審議会から要請を受け、宇宙分野に関する次期科学技術基本計画に向けた検討を行い、考え方を整理した。

また、現在、内閣府宇宙政策委員会が次期宇宙基本計画の改訂に向けた検討を関係府省・機関等の出席を得て進めることとしており、本考え方が宇宙政策委員会（及び関連部会等）に文部科学省としての宇宙政策の方向性を提示する際の基礎となることを求める。

０．導入（宇宙開発利用の現状と将来の見通し）

科学技術基本計画における宇宙分野は、第２期（平成 13～17 年度）において、フロンティア分野のみの位置づけであったが、第４期（平成 23～27 年度）では、国家安全保障・基幹技術にも位置づけられ、さらに、第５期（平成 28 年度～）では、その位置づけは気候変動の監視や測位などの実利用を含む幅広い分野にも広がってきている。

また、平成 28 年に閣議決定された宇宙基本計画では、「宇宙安全保障の確保」、「民生分野における宇宙利用推進」、及びそれを支える「産業・科学技術基盤の維持・強化」が政策目標として示され、防災・安全保障等に向けた衛星利用や、新たな産業の創出等に向けた民生利用も広がりつつある。

さらに、今日では地球規模課題解決に向けた達成目標がパリ協定や SDGs 等で具体化してきたこともあり、今後は宇宙の利用範囲の広域性・多様性を活かした様々な課題解決に向けた取組の重要性が増すことや、社会課題の多様化や非常に速い時代変化に対応するため、これまでの宇宙分野の枠組みにとどまらない新たな融合領域の創出などが求められることから、宇宙分野に携わる研究者や宇宙技術の利用者の増加・多様化を図っていく必要がある。

科学技術基本計画及び宇宙基本計画は、これらの宇宙に関連する中長期的な情勢変化を踏まえることが重要と考えられる。

１．中長期的視点に立った宇宙政策の目標の考え方

現行の宇宙基本計画の３つの政策目標は、次期宇宙基本計画の検討においても新たな環境変化を踏まえた必要な取組にも留意しつつ、重要なテーマとして審議される見込みである[1]ことを考慮し、次期科学技術基本計画についても、宇宙政策の目標については、この方針と連動させるべきと考えられる。

そのため、

○ 現行の第５期科学技術基本計画において、国家安全保障上の諸課題への対応に向けて「宇宙空間」が重要な領域として記載されていること、及び平成 30 年 12 月に閣議決定された防衛大綱等に新たな領域[2]として宇宙が記載されたことなどを踏まえると、引き続き、安全保障上の重要分野として宇宙を盛り込むべきである。

○ また、宇宙に携わる新たな民間事業者等が増えていることから、我が国の産業競争力の強化の文脈においても「成長産業としての宇宙」を明確に盛り込むべきである。

○ さらに、次期宇宙基本計画において、安全保障、民生利用を支える宇宙開発利用のための総合的な基盤技術や、宇宙環境利用等が、我が国の科学技術全体の水準向上に大いに貢献[3]し、今後も更なる科学技術の発展に寄与しうることも盛り込むべきである。

なお、これらの考え方に基づく様々な施策・事業等を進めるに当たっては、

○ パリ協定や SDGs 等の国際社会全体の動きも踏まえ、我が国だけでなく他の国にも裨益し、延いては、国際社会に必要不可欠な社会基盤となるものを目指すという観点も盛り込むことが重要である。

また、宇宙技術と宇宙政策の目標は必ずしも一対一の関係だけではなく、例えば、宇宙技術が安全保障と民生利用の双方の政策目標の実現に貢献する[4]ものがあることにも留意する必要がある。

---

[1] 6 月 24 日の宇宙政策委員会において、次期宇宙基本計画改訂に向けた検討を行う基本政策部会が設置。部会の検討事項として（１）安全保障環境を踏まえた新たな宇宙安全保障への取組み、（２）民間における宇宙利用の進展や新た産業の登場を踏まえた宇宙の民生利用の取組み、（３）国際宇宙探査や宇宙科学・探査などの新たな展開を踏まえた今後の宇宙産業・科学技術基盤の強化への取組み、（４）その他、新たな環境変化を踏まえた必要な取組み、が挙げられている。(8 月時点)

[2] 新たな領域として「宇宙・サイバー・電磁波」の領域が追加。国研として唯一、JAXA が追加。

[3] 例えば、微小重力環境下での科学実験や宇宙線を使った計測技術（ミュオグラフィ）など

[4] 例えば、衛星のリモートセンシング技術は、防災・災害監視を含む安全保障に有用であるとともに、その中でも高分解能の光学衛星等は、産業利用価値も高い。また、スペースデブリ対策に向けた技術として、宇宙状況把握（SSA）などの観測・モデル化技術は、防衛省を中心に全体システムを構築しており、宇宙安全保障に大いに貢献する一方で、除去技術については、ビジネス（民生利用）として進めていく動きも見られる。

２．将来の見通しを踏まえた宇宙技術の技術基盤発展の考え方

フロンティア開拓を第一次目標として進めていた時期（萌芽期）の宇宙技術は、システム工学として最先端かつ高信頼性の技術を組み合わせて発展してきた。それにより生まれた先端的な宇宙技術は、今日の地上の技術にスピンオフされ社会に様々な価値を提供してきた。

他方、既存の民間事業者等の技術の成熟・高度化とともに、近年、新たな民間事業者等の参入が拡大してきていることから、人工衛星・宇宙輸送機（ロケット）及びそのシステム等の低コスト化・高効率化に向けた研究開発も進んできており、宇宙技術に革新を起こすという観点からも、他分野技術の活用が求められるようになってきている。

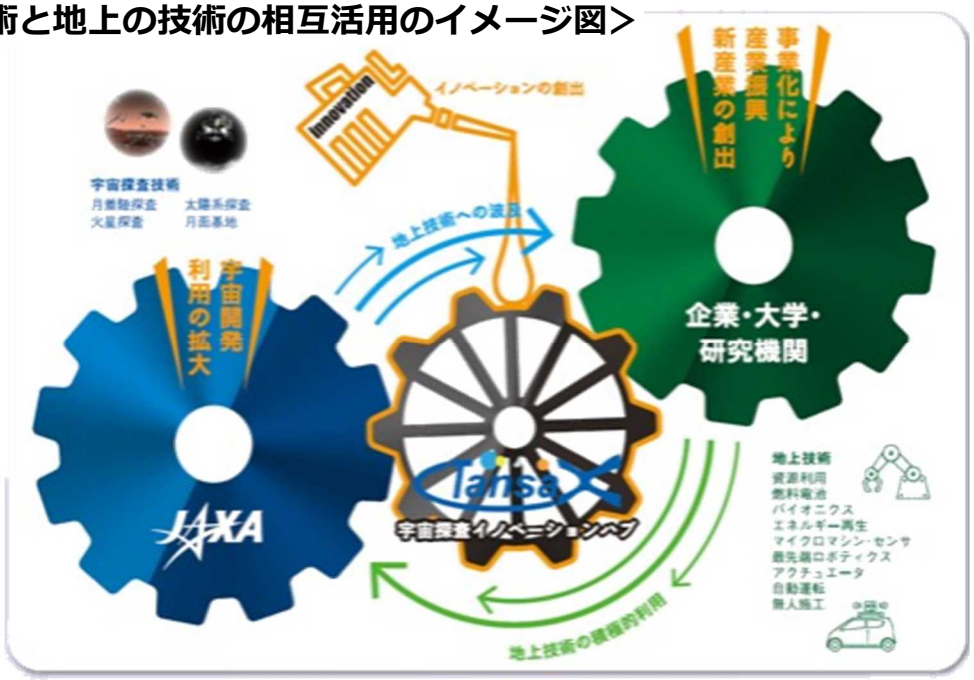
特に、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）が高度に融合された社会（Society5.0[5]）の実現に向け、宇宙技術の研究開発においても地上の先端技術を活用が強く求められてくることから、

○ 宇宙技術の研究開発を進めるに当たっては、地上の先端的な技術（人工知能、バイオ、光・量子等[6]）の活用が重要となることを盛り込むべきである。

○ また、宇宙技術が地上の技術に革新をもたらす起爆剤となりうるという観点も盛り込むべきである。

なお、今後、宇宙技術と地上の先進的な技術の相互活用により更なる発展が考えられる技術の例は＜別紙＞の通りである。

＜宇宙技術と地上の技術の相互活用のイメージ図＞



（出典：JST イノベーションハブ構築支援事業 JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業）

[5] 第５期科学技術基本計画では「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細やかに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスが受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、活き活きと快適に暮らすことのできる社会」としている。

[6] 「統合イノベーション戦略 2019」における今後イノベーションの核となる主要３技術

３．宇宙開発利用に関する研究力の向上に向けた研究者や利用者の増加・多様化を見据えた対応の考え方

今年、月面着陸から 50 周年を迎えた米国のアポロ計画では、前項のとおり、宇宙開発が地上の技術を育てただけでなく、若者に宇宙や科学技術等に対する夢と希望を与え、多くの科学者・研究者も育ててきた[7]と言われている。

宇宙は遠い存在でありながらも、空を見上げれば、全ての人が身近に感じることができ、今後、このような多くの人が共感しやすいフロンティア開拓を進めるためには、学際的、文化的なアプローチを含む幅広い視野を持った次世代の研究者が必要となってくる。

また、近年、我が国でも宇宙分野への参入の制度的ハードルが下がりつつあること等から、これまで宇宙分野と関係が少なかった分野の研究者や利用者（人材）の参画が、顕著に増加している。

このような状況を踏まえると、

○ 人々の参画意欲を掻き立てるという宇宙の魅力を活かして、我が国の研究力の向上や、分野越境・異分野融合によるイノベーション創出を先導していくことも宇宙分野の今後の重要な役割として盛り込むべきと考えられる。

それにより、宇宙分野に携わる人材の流動性を確保し、これまで大学・国立研究開発法人（JAXA[8]等）で行ってきた研究開発活動についても、今後、民間事業者等を含む産学官の効果的な連携・役割分担を図ることが、我が国全体の宇宙分野の研究力の向上にあたり非常に重要な視点となってくる。

文部科学省では、これまで宇宙分野を専門とする大学や民間事業者等と我が国の宇宙開発利用基盤を構築[9]してきている。また、近年では、宇宙分野を専門としない人材の宇宙分野への参画を促し、資金及び新たな発想等を取り込む環境を JAXA に整備することで、宇宙分野の研究開発の多様性・裾野を広げ、新たな価値創造を促進する枠組みも構築[10]している。

これらの活動の今後の取組方針等も見据え、次期科学技術基本計画のシステム関連（研究人材・資金・環境等の改革）の部分[11]についても、下記の宇宙特有の観点を盛り込むべきと考える。

---

7 NASA「Histroical Studies in the Societal Impact of Spaceflight」、及び米国行政管理予算局「“Space Activities of the U.S. Government,” 2002.」より

8 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

9 宇宙航空科学技術推進委託費(宇宙航空人材育成、宇宙利用技術創出及び宇宙研究拠点形成)

10 JST イノベーションハブ構築支援事業（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業)、及び宇宙イノベーションパートナーシップ事業（J-SPARC）

11 総合政策特別委員会「中間取りまとめに向けた検討案（令和元年 8 月 22 日資料)」における「第 2 章 価値創造の源泉となる基礎研究・学術研究の卓越性と多様性の戦略的な維持・強化」部分

＜挑戦的・長期的・分野融合的な研究の奨励＞

今後、競争的資金の審査等における挑戦性が重視され、研究評価等においても、当初目標の達成状況のみならず、当初想定されていなかった成果やスピンオフを創出したことなどを肯定的に評価していく動向を踏まえ、

○ 宇宙分野のように長期的に見て、他の技術への波及効果が大きく見込める分野へのファンディングを充実していくことも重要であるという観点

また、新興・融合分野を促進するための競争的研究費の充実が求められる中で、

○ 宇宙分野のように投資家を含む多様な利用者も参画する分野においては、複雑化する資金の管理・循環体制の構築が課題となってくるという観点

＜若手研究者の自立促進・キャリアパスの安定＞

キャリアパスの多様化や流動性の向上により、世界水準の研究・マネジメント能力を身に付け、世界で活躍できる研究リーダーの戦略的育成が求められる中で、

○ リーダーシップが発揮できる人材を育成するに当たっては、宇宙分野のような大規模で長期的なプロジェクト・マネジメントの能力も重要であるという観点

○ 宇宙分野のような長期的に人材を育成する必要がある分野では、大学・国立研究開発法人がシームレスに連携し、多様な研究環境を提供するという観点

＜世界最高水準の研究環境の実現＞

我が国が、最先端の大型研究施設・設備をオールジャパンで利用できる拠点を戦略的に整備していく動きの中で、

○ 「きぼう」[12]のように、最先端の研究を行える施設・設備という側面に限らず、国際宇宙ステーションの一部として外交政策上の意義、価値等を有する先端大型研究施設[13]もあることにも留意しつつ整備する必要があるという観点

＜国際連携・国際頭脳循環の強化＞

人材の国際的な獲得競争が激化し、国際頭脳循環が加速する中、国際社会においてリーダーシップとプレゼンスを発揮し、多様な人材が求められる中で、

○ 特定の国が所有しない宇宙空間の環境の保全などを目指した総合的な研究（宇宙工学に加え、環境工学、人文・社会科学等を含む）を推進し、我が国が国際協力をリードするという観点

○ 地球規模課題解決のための国際的な共通言語である SDGs の達成に向けた宇宙技術活用を国際宇宙協力[14]のノウハウを活かして推進するという観点

12 国際宇宙ステーション（ISS）の「きぼう」日本実験棟

13 国立研究開発法人等に重複して設置することが多額の経費を要するため適当でないと認められる大規模な研究施設であって、先端的な科学技術の分野において比類のない性能を有し、科学技術の広範な分野における多様な研究等に活用されることにより、その価値が最大限に発揮されるもの

14 例えば、現行の「国際宇宙基地協力協定（IGA）（1998 年署名）」に基づく協力など

＜別紙＞宇宙と地上の相互活用により更なる発展が期待できる技術例

今後、宇宙適用を想定した技術開発や宇宙分野の知見活用等により革新が期待できる地上の技術や、地上の技術の適用により発展可能な宇宙技術は、以下の通りと考えられる。

なお、これらの技術開発を進める際には、厳しい社会経済情勢や財政状況の中、限られた資源・財源で研究開発を行わなければならない実情を踏まえ、我が国として戦略を持って進める必要があり、加えて、当初予想されなかった革新的技術が現れることにも留意し、機動的な対応も必要と考えられる。

1. 宇宙と地上をつなぐ宇宙輸送技術（ロケット）

（ア）共通技術

① IoT センサ等を活用した打上げ・運用データのフィードバックによる設計改良技術

② 先端技術（3D プリンタ、スーパーコンピュータ、ロボティクス等）を活用した製造技術

③ 電力・通信等システム小型効率化・低消費電力化のための先端部品技術、ワイヤレス技術、MEMS 技術

④ 従来のドメイン知識に加えて、AI（特に機械学習）等を活用した故障診断技術、デジタルツイン技術

（イ）宇宙輸送機（ロケット）技術【ハード輸送】

① 射場整備、自律飛行制御等の運用効率化につながる AI（特に、データマイニングや機械学習）技術

② エンジン電動化（電動ポンプ等）のための EV 技術等のモータ技術、2 次電池、駆動力制御システム等の技術

③ 地上の水素ステーション等における液体水素の輸送・貯蔵技術に貢献する宇宙用液体水素技術

（ウ）宇宙通信技術【ソフト輸送】

① AI（特に最適化アルゴリズム）等を活用した複数衛星の運用自動化・省力化技術

2. 地球規模課題解決に貢献する衛星技術

（ア）共通技術

① 光通信、ライダー、測距用レーザ等向けの宇宙用レーザ・光増幅器技術
② 衛星通信や合成開口レーダ、マイクロ波放射計観測向けの大型アンテナ展開技術
③ 従来のドメイン知識に加え、AI（機械学習、時系列データ解析）等を活用した電力・姿勢制御・軸受等の長寿命化技術
④ テラヘルツ高周波利用技術（通信、センサ等）
⑤ 小型・超小型衛星の量産開発を見据えたデジタルツイン技術
⑥ 軽量・低コスト・超寿命の太陽電池パネル、バッテリ技術
⑦ 地上での宇宙線対応等に貢献する電子部品・機器などの耐放射線技術

（イ）地球観測衛星（リモセン）技術

① 大型光学システム、高分解能イメージセンサ技術、補償光学技術を活用した静止観測技術の高度化
② AI（特に機械学習）等を活用したオンボードデータ処理技術
③ 観測衛星と地上センサ・データプラットフォーム・数値モデル等を活用・統合した統合ソリューション開発手法

（ウ）通信衛星技術

① 量子通信技術の今後の高度化を見据えた衛星バス技術
② 地上の５Ｇネットワークとシームレスにつながる高速、大容量、多地点接続、高信頼性かつフレキシブルな衛星通信技術(小型化・高性能化、宇宙通信 IP 化対応技術等)及び先端部品技術
③ 地上技術と相互発展する小型･高性能アンテナ･増幅器等の通信技術

（エ）測位衛星技術

① 地上の測位サービスの高信頼性・高精度化のための精密原子時計技術や誤差補正技術
② 地上の測位信号利用の脆弱性リスク対応のアンチスプーフィング技術

3. 宇宙環境を保全する技術

（ア）宇宙状況把握（ＳＳＡ）技術

① AI（機械学習、エミュレータ）等を活用した光学望遠鏡画像解析や衛星位置同定技術

（イ）スペースデブリ対策（除去・発生抑制）を含む軌道上サービス技術

① 3D プリンタ等による大型構造物の宇宙空間における製造技術
② 地上のロボティクス技術等と相互発展する大型スペースデブリ除去技術や発生を抑制する宇宙空間における衛星修理・燃料補給技術

4. 人類の知的資産を創出する宇宙科学・探査

（ア）宇宙科学に関する技術

① 低熱膨張セラミック材やCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)等の材料技術・鏡面形成技術による軽量光学系技術
② 地上の半導体プロセス技術を活用した高感度検出器技術
③ 超伝導技術の活用により地上の冷凍技術と相互発展する宇宙用冷凍機

（イ）宇宙探査に関する技術

① AI（特に、機械学習による画像認識・解析、軌道・経路と電力等の管理最適化）等を活用した自律航行技術
② 地上ロボティクス技術を活用した天体表面・惑星上移動技術
③ 半永久的に使えるエネルギー等を利用した自律的な発電技術
④ プラズマプロセス技術を応用した電気推進技術
⑤ 高効率水素液化・断熱技術を活用した軌道間輸送システム（推進薬貯蔵）
⑥ 地上の省電力化に貢献するIoT(Internet of Things)技術を活用した低消費電力探査技術

5. 持続的な月探査等の国際宇宙探査の実現に必要となる技術

（ア）重力天体離着陸技術

① 地上の AI 等を活用した離着陸誘導制御技術（特に、機械学習による画像認識・解析、軌道・経路・推進系の管理最適化）
② 地上の自動車・航空機などの衝撃吸収技術と相互発展する着陸技術

（イ）重力天体表面探査技術

① 地上の自動運転技術や電気自動車（耐摩耗回転機構やバッテリー・燃料電池等）の技術を活用した無人探査ローバ技術
② 地上の建設機械技術を活用した重力天体における掘削技術
③ 地上のクリーンエネルギー技術を活用した日陰や夜間の極低温環境での機器の越夜のための技術

（ウ）有人宇宙滞在技術

① 地上の環境浄化技術と相互発展する環境制御技術
② 地上の高齢者医療や国民の健康向上にも貢献しうる、骨・筋減少、免疫低下等対策技術を含めた宇宙飛行士の健康管理技術
③ 地上の遠隔操作ロボット技術等を活用した宇宙飛行士を支援するロボット技術

（エ）深宇宙補給技術

① 地上の自動運転技術等と相互発展する画像センサ技術や、深宇宙航法機能や耐放射線対策を含めた深宇宙向けのランデブ・ドッキング技術
② 打上げ回数を低減する、軌道上宇宙機の再利用を目指した燃料補給技術

航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン中間とりまとめ（概要）

現状

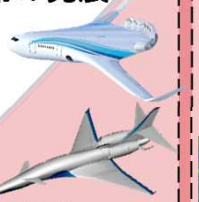
○航空機産業界が国際的な優位技術を有する先進材料分野等、JAXAが有する世界最先端レベルの超音速機のソニックブーム低減技術、コアエンジンの低環境負荷技術、数値解析技術等及び他産業分野が有する電動化技術、生産技術、情報技術等が我が国の強み。
○航空機産業における研究開発には、一般的に、多額の費用と長い開発期間が必要であり、諸外国でも公的機関が国費を投入。**科学技術行政には民間企業等にはリスクの高い研究開発や企業単独で保有の難しい大型試験設備の整備等の対応が求められている。**

知識集約型社会への大転換（モノからコトへ）を加速し、Society 5.0を実現

調和的創発

未来社会デザイン・シナリオ

○既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展
－持続可能性と利便性を両立した需要増、社会課題（環境問題、災害等）深刻化
－安全性、信頼性、環境適合性、経済性等、社会共通の要求への対応
－「より速く」、「より正確に」、「より快適に」、「より無駄なく」等のユーザー個々のニーズへの対応



○次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用
－人間中心の交通ネットワークの実現、単なる移動手段にとどまらないインフラの変革
－ドローンの活用拡大や、より身近で手軽な移動手段として空飛ぶクルマの実現により可能となる物流、災害対応をはじめとする更なるユーザーニーズへの対応

デザイン・シナリオを実現する研究開発基盤技術整備の方向性

○優位技術を考慮した研究開発戦略
－我が国の技術的優位性の適切な認識に基づく超音速機等の次世代の航空機・運航技術等、基盤技術の研究開発、産業界・関係行政への技術支援
－優位性維持、施策実現のための継続的なリソース投入、関係機関との連携

○異分野連携も活用した革新技術創出
－航空機電動化や空飛ぶクルマ等革新技術の実現に不可欠な電機産業や情報産業等との協働、更なる産学官の連携体制
－AI・ロボット・IoTの航空機製造・運航等への効果的な活用

○出口を見据えた産業界との連携
－技術移転先（デュアルユース、施策を含む）との密接なコミュニケーションを通じた適切な計画の策定
－実用化・製品化のためのシステムインテグレーションの機会の増強・知見の蓄積

デザイン・シナリオの実現方策を支えるシステム改革

○研究人材の改革
－求められる人材（重点分野のスペシャリストであり続ける人材、国際的感覚を有する視野の広い人材）育成の環境・仕組み構築　等

○研究環境の改革
－産業の取組を後押しする個別の機関では導入が難しい飛行実証用航空機等の大型実験施設の整備・維持又は強化　等

○研究資金の改革
－効率的に成果を出すためのリソース投入の重点化
－産学官連携や異分野連携を含む民間企業との協働　等

○研究開発実施組織の改革
－イノベーション創出につながる研究者の業績の適切な評価基準・若手研究者の活躍を後押しする仕組みづくり　等

文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン中間とりまとめ

2019 年 10 月

目次

１．はじめに

２．我が国の航空分野の現状

３．航空科学技術分野における未来社会デザイン・シナリオの実現方策
　３．１　未来社会デザインとシナリオ
　３．２　デザイン・シナリオを実現する研究開発、基盤技術整備の方向性

４．実現方策を支えるシステム改革
　４．１　研究人材の改革
　４．２　研究資金の改革
　４．３　研究環境の改革
　４．４　研究開発実施組織の改革

５．おわりに

１．はじめに

我が国では平成 28 年度からの 5 か年計画である第 5 期科学技術基本計画において、科学技術イノベーション政策を経済、社会及び公共のための主要な政策として位置付け強力に推進してきた。同計画では、情報通信技術（ＩＣＴ）の急激な進化やグローバル化の更なる進展等の社会・経済の構造の大変革期にあること、エネルギー問題をはじめとする世界が抱える課題の増大・複雑化が起こりつつあることから、そのような中で我が国及び世界の将来にわたる持続的な成長のため、目指すべき国の姿及びこれを実現するための政策が示されている。

これを受けて文部科学省では、研究計画・評価分科会において、今後実施すべき「重点的に実施すべき研究開発の取組」及び「推進方策」について検討し、「研究開発計画」を策定した。同計画においては、「社会からの要請に応える研究開発」、「次世代を切り開く先進技術の研究開発」、「航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発」の 3 点を航空科学技術分野の研究開発における取組の柱とするとともに、これらの推進のために、人材育成、オープンイノベーション（産学連携）の推進、大型試験設備の整備等に着実に取り組んできた。

この研究開発計画に基づく取組の実施により、文部科学省における航空科学技術分野の取組は一定の成果を挙げてきたが、デジタル革命等による資本集約型社会から知識集約型社会への大転換（モノからコトへ）の加速、また、Society 5.0 の実現に向けたイノベーション創出のプロセスの変化が進む社会においては、今後も航空に対する社会要求がより一層高まっていくことが想定される。令和 3 年度からの第 6 期科学技術基本計画や次期研究開発計画等の関連する計画は、こうした点も十分留意して作成される必要がある。

そこで、文部科学省では、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会航空科学技術委員会において、第 6 期科学技術基本計画期間を含む今後の 10 年程度を見通しつつ、航空科学技術分野の現状や今後文部科学省として推進すべき研究開発の方向性等について次章以降に整理した。

２．我が国の航空分野の現状

航空機はその最大の特徴である高速性を生かし、旅客や貨物の輸送、観測等の様々な部門における利活用を通じ、既に経済社会の発展及び国民生活の向上のために必要不可欠な社会インフラとなっている。そして、世界の経済発展、これに伴うグローバル化の進展、ＬＣＣの市場の成長を背景に、航空需要のますますの増加が見込まれている。日本航空機開発協会による「民間航空機に関する市場予測」（2019 年 3 月）では、2018 年から 2038 年の 20 年間で旅客移動需要が 2.3 倍以上になるとされている。これに伴って航空機の運航機数も約 1.7 倍になるとされている。

世界の旅客機産業は、ここ 20 年ほどボーイング社とエアバス社の複占状態であり、2 社

以外では、100 席以下のリージョナルジェットにエンブラエル等の企業が参入している程度である。航空機産業全体として長期的に堅調な成長が見込まれる中、特に中小型機の需要拡大、とりわけアジアでの需要拡大が顕著であると見込まれている。一方で我が国の航空機産業の市場規模は 1.8 兆円前後で推移している状況である。機体構造やエンジンについては、日本航空機開発協会や日本航空機エンジン協会のもと重工各社が連携して国際共同開発へ参画しているが、機体構造についてはボーイングの中大型機以外の機体（ボーイングの小型機やエアバス等の機体）への参画、エンジンについてはコアエンジン（高温高圧部）への参画に新たな開発分担を獲得する余地があると考えられる。一方で、機体・エンジン以外の構成要素である装備品については、機体価格の約 4 割を占めるにも関わらず、内装品、飛行制御、降着装置などの一部は欧米企業と競合しているが、全体としては参入が限定的と言わざるを得ない。加えて、技術をパッケージングしてシステム化するシステムインテグレーションの分野でも実績を重ねる機会が少ないと言える。政府としては 2030 年に航空機産業の売上高３兆円を達成する目標を掲げているが、その達成にはこれらの状況や欧米においては航空機産業の技術発展を先導する研究開発にＮＡＳＡ等の公的研究機関が重要な役割を果たしていることも踏まえ、次世代航空技術の研究開発においては航空科学技術行政（文部科学省／ＪＡＸＡ）によるより一層の取組が必要である。

航空機は自動車に比べ部品点数が約 100 倍に及ぶ複雑なシステムを有し、また、安全性や信頼性に関して非常に厳格な要求がなされるため、開発には高い技術が要求される。よって、航空機産業は、他の産業分野での取組を含む我が国がこれまで蓄積してきた高い技術力を集約することで、世界に対して更に貢献していくことが可能な分野であると言える。そのためには、我が国が有する技術的な強みを把握し、どの分野の研究開発に注力していくべきかを見極めることが重要である。具体的には、まず、既に我が国航空機産業が国際的な優位技術を有するＣＦＲＰ（炭素繊維強化プラスチック）をはじめとする先進材料分野が挙げられ、これらは引き続き国際的な優位性を維持することが必要である。これに加え、超音速機のソニックブーム低減技術、コアエンジンの環境負荷低減技術、機体の低騒音化技術、数値解析技術に代表されるＪＡＸＡが有する世界最先端レベルの技術及び自動車産業や電機産業等の関連する産業分野が有する電動化技術、自動化などの生産技術、情報技術における優位性の維持が重要である。これらは今後の学術界における研究成果や航空機産業の動向を見極めた上で、産学官の連携体制のもと、適時適切に実用化・製品化することで新たな開発分担の獲得に繋げられるよう取り組むべきである。また、装備品等での参入遅れの一因となっているシステムインテグレーションの分野での実証機会が少ないことについても、より一層の技術レベルの底上げやシステム実証の機会の提供などの対策が求められている。

これらは、利便性向上や環境負荷低減等、今後多様化していく航空に対する社会要請を満足させつつ進めていく必要があるが、航空科学技術行政には産業界・学術界から以下の役割が期待されている。

①民間企業が取り組むにはリスクの高い研究開発への取組

航空機産業における研究開発には、一般的に、多額の費用を要するとともに長い開発期間が必要である。そのため、民間企業での研究開発では十分な投資を行いづらく、短期間で成果が出る既存技術の改良のようなローリスクなテーマとなりがちで、革新的な成果が上がりづらい傾向にある。我が国の競合相手となる欧米等の諸外国においても公的機関が国費を用いた研究開発により民間企業を支援していることも踏まえると、我が国の航空機産業が世界に伍していくためには、航空科学技術行政には必要な資金を確保し、民間企業のみでは取り組むことが難しいハイリスクな先進的技術や短期間で成果の出にくい基盤技術の研究開発を戦略的に実施し、我が国の航空機産業を下支えすることが求められる。

②企業単独で保有の難しい大型試験設備の整備・拡充及び効率的な運用

風洞、実証用航空機等の大型試験設備は新技術の実用化までの過程において必要不可欠な設備であるものの、整備あるいは維持に多額のコストを要することから、企業単独で保有することは企業の競争力維持の観点で困難であるケースが多い。また、今後我が国の航空機産業がより広範囲の設計分担の獲得や、システムインテグレーションが可能なより上位のパートナーとなっていくにあたっての知見やノウハウの蓄積の観点でも我が国に大型試験設備があることは有意義であり、その役割が航空科学技術行政に求められている。

③産学官連携や国際連携におけるリーダーシップ

我が国は、前述のとおり個別の技術では優れたものを有する一方で、システム技術等ではこれまで実績を積み重ねる機会が少なかったと言える。このような我が国全体で十分な知見の無い分野あるいは航空機電動化のような新たな価値創造が必要な分野については、産学官が連携して協調領域を中心とした我が国の技術レベルの底上げや標準・規格策定などについて国際連携を図っていく必要がある。そのため、最先端の技術に関する幅広い情報に接することができ、かつ、国際民間航空機関（ＩＣＡＯ）における国際標準の検討に参画するなどの実績を有する航空科学技術行政には、こうした役割を担うことが求められている。

④基礎力と応用力を身につけた人材の育成

航空科学技術分野は、極めて成熟した技術レベルが求められる一方で、最新技術が積極的に取り入れられるという特徴があり、求められる人材のレベルも高くなる。そのため、航空機産業の長期的発展にとって、人材確保が重要な課題となっている。基礎力と応用力それぞれに高い能力を身につけた将来を見通せる人材が必要であり、若年層から高等教育にわたる人材育成の取組が航空科学技術行政に求められている。

３．航空科学技術分野における未来社会デザイン・シナリオの実現方策

３．１　未来社会デザインとシナリオ

経済社会の発展及び国民生活の向上のために必要不可欠な社会インフラである航空機の利活用は、**今後のグローバル化の進展、ＬＣＣの市場の成長を背景に 20 年間で世界の旅客需要が 2.3 倍以上になる**と見込まれている。グローバル化の進展に関連して、ＩｏＴ技術の発展等によりコミュニケーション方法が多様化することが想定されるが、コミュニケーションの全体量の増加に伴い、対面でのコミュニケーションが必要な機会も増えていくものと予想される。また、少子高齢化に伴い、航空輸送の担い手不足も深刻化していると考えられる。

一方で、より身近で手軽な移動手段として、近年**次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用の可能性**に注目が集まっている。我が国における代表的な動きとして、ドローンによる離島・山間部での物流サービスが始まろうとしていることや、いわゆる“空飛ぶクルマ”の実現に向けた技術開発や制度整備等に関する官民共同の検討が挙げられ、これらに対して航空科学技術は着実に貢献することが求められている。

また、**地球温暖化に伴う気候変動による大規模災害の増加、高齢化社会の進展による救急医療が必要なケースの増加など社会課題が深刻化することに伴って、航空に対してこれらの解決手段を提供する社会要請が高まる**ことが想定される。

さらには、世界全体として経済のグローバル化や少子高齢化をはじめとする社会変化が進み、**持続可能な人間中心の交通ネットワークの実現**が求められる中で、科学技術には第４次産業革命と称される**ＩｏＴ、ロボット、人工知能（ＡＩ）、ビッグデータ等のデジタル技術とデータ活用によるイノベーション創出のプロセスの変革を活用し Society 5.0 を実現することが求められている**。

こうしたより豊かな社会の実現に向け航空に求められる「コト」が高度化・多様化していく情勢を踏まえ、それらに応える我が国における航空の未来像を、航空科学技術が「モノ」である航空機等の技術の高度化の側面から貢献していくことを念頭に、①既存形態の航空輸送・航空機利用の発展、②次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用の大きく二つの視点から考えることとする。

①既存形態での航空輸送・航空機利用の発展

前述のとおり、日本航空機開発協会による「民間航空機に関する市場予測」(2019 年 3 月)では、2018 年から 2038 年の 20 年間で世界の旅客需要が 2.3 倍以上になることが見込まれているところであり、これは有償旅客キロメートルにして年平均 4.4%の伸び率に相当する。これにより運航される機体数も 20 年間で約 1.7 倍になることが予想されている。しかしながら、地球規模での課題となっている環境問題への対応のため、CO_2やＮＯｘに代表される排出物削減の要求が一層強まることが予想され、交通ネットワークの持続可能性と利便性の両立が更に求められることとなろう。また、国内においては、大規模災害の増加や救急医療の高度化への要請の増大が見込まれることから、従来型の輸送以外の場においても航空機の果たす役割の重要性は増すことが考えられる。

こうした将来においては、**安全性、信頼性、環境適合性、経済性等の社会共通の要求への対応が追求された上で、「より速く」、「より正確に」、「より快適に」、「より無駄なく」といったユーザー個々のニーズに細かく対応したサービスが提供されることが必要**であろう。これには、これまで我が国において蓄積してきた航空科学技術にデジタル技術やデータ活用技術等を高度に融合させつつ、更に追求していくことが不可欠であろう。

そのためには、安全性や信頼性については大型機の事故の原因の約半数を占める乱気流等の気象現象や約 4 分の 1 を占める誤操作等のヒューマンエラーに対応し、航空事故を大幅に削減できる革新技術、あるいは航空機運航の遅延や欠航を極力減らすことができる革新技術が開発されること等により、乗員乗客はもとより空港周辺の住民も含めた全ての関係者が不安なく航空輸送の発展を受け入れられていなければならない。また、環境適合性や経済性については、ＩＣＡＯにおける環境規制の厳格化やパリ協定での長期目標の達成などへの対応、航空会社における燃料コスト削減に対する要求等を満足するための航空機の電動化技術をはじめとする省エネ（脱炭素化）技術とともに空港周辺における環境負荷の低減等に関する革新技術等も開発されている必要がある。これらは、進歩した航空機がその性能を存分に発揮できる運航環境の実現と併せて進められるべきである。そして、これらを前提としつつ、一例として「より速く」というニーズに対する超音速旅客機の提供等、各方面におけるユーザーニーズに対応する技術が開発されることによって、航空輸送がより身近で便利なものとなっていることが予想される。併せて、大規模災害や救急医療等における航空の活躍の場が拡大されていることや、ＡＩやＩｏＴを活用した自動化・省人化といった社会問題への対応も進められるべきである。

②次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用

成長戦略フォローアップ（令和元年 6 月 21 日閣議決定）において、**小型無人機（ドローン）やいわゆる“空飛ぶクルマ”が空における次世代モビリティ・システムとして位置付け**られ、技術開発や必要な安全基準をはじめとする制度の整備を進めることとされている。これらの実現に向けた官民を挙げた取組が進められている。具体的には、小型無人機（ドローン）については小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会による空の産業革命に向けたロードマップにおいて 2019 年度中の離島・山間部での物流サービス及び 2022 年度を目途とする有人地帯での目視外飛行による荷物配送などのサービスの実現を、いわゆる“空飛ぶクルマ”については空の移動革命に向けた官民協議会による空の移動革命に向けたロードマップにおいて 2023 年からの事業開始の実現をそれぞれ目標として進められていること等が挙げられる。そのため、今後 10 年間或いは更にその先の時代では、**こうしたシステムが持続可能な人間中心の交通ネットワークの実現とともに、災害対応や農林水産業をはじめとする様々な分野においても既存形態の航空機にはないメリットも生かしつつ、これまで航空に対して向けられていなかったユーザーのニーズを満たすような性能を持ち、かつ安全な運航を可能とする技術が、電機産業・自動車産業をはじめとする航空以外の分野の**

技術やデジタル技術とデータ活用に関する技術等と融合しつつ確立されていることが予想される。

また、次世代モビリティ・システムの実現は、単なる移動手段の高度化をもたらすだけでなく、飛行ルートの設定、離着陸場所やそこへのアクセスのためのインフラ整備などまちづくりの在り方などについても大きな変革をもたらす可能性もある。

上記の **2 つの視点による社会の変化は独立して起こるものでは必ずしもなく、例えば既存形態での航空による大都市間輸送と次世代モビリティ・システムによるローカル輸送の組合せなど、両者が融合した更なる空の利用が広がっていく**ものと推定される。

３．２　デザイン・シナリオを実現する研究開発、基盤技術整備の方向性

前節に掲げた２つの未来社会デザイン・シナリオを実現するため、航空科学技術行政には、ユーザーニーズ（市場動向）を踏まえた戦略に基づき、**我が国航空機産業界或いはＪＡＸＡが有する世界に対する優位技術を更に発展**させることを中心に据えつつ、**航空以外の分野の技術やデジタル技術とデータ活用に関する技術等とも積極的に融合**を図りながら、国としてどの技術分野に注力していくかを見出していく必要がある。そして、これらは**デュアルユースや異分野への技術移転なども含めた出口を常に見据えて行う**べきである。同時に、これらの優位技術は、航空機全体や運用を含めて価値創造をする本質的な視点から、航空機システム全体の安全性・信頼性を確保する**システムインテグレーション技術を伴って設計も含めて確立**されるよう取り組むべきである。

①我が国の優位技術を考慮した研究開発戦略

我が国が今後どの技術分野に注力していくかを見出すためには、我が国の優位技術を適切に認識する必要がある。ＪＡＸＡは既に超音速飛行に関するソニックブーム低減技術やエンジンに関する環境負荷低減技術、機体の低騒音化技術等に関し世界に対し技術的優位性を有しており、いずれも前節の社会要求への対応を追求するための切り札となり得るものである。これらは今後の技術移転に向けた技術実証を進めていく段階にあることから、引き続き産業界とも連携し、技術移転及び実用化に向けた取組を進めていくべきである。加えて、ＪＡＸＡは航空機設計に欠かせない数値解析技術についても強みを有しており、これまでも我が国航空機メーカーの機体形状の設計に対し技術支援を行ってきた。さらに、ＪＡＸＡは、我が国における航空交通量の増大等に的確に対応した効率的な航空サービスを実現するための国の取組にも積極的に参画しているところ。今後も**産業界等に対し、次世代国産旅客機の開発や旅客機の国際共同研究開発等への戦略的な参画、次世代運航システムの実現等をしていくための技術支援とともに、我が国の技術的優位性の維持あるいは国の施策の実現を図るための継続的なリソースの投入**が望まれる。

我が国航空機産業においては、航空産業ビジョン（平成 27 年 12 月 11 日、基幹産業化に

向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議決定）に掲げられているとおり、素材・材料分野は我が国が強みを有する分野の一つとなっている。文部科学省／ＪＡＸＡは、ＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）において、材料科学・工学と情報工学を融合し、欲しい性能から材料・プロセスをデザインする研究開発に、ＪＡＸＡの有する複合材料（ＣＦＲＰ）の知見を生かし、産学と連携して取り組んでいるところであるが、**今後も関係機関との連携を継続し積極的に取り組んでいくべき**である。

また、航空産業ビジョンにおいては、大型機の事故の原因の約半数を占める乱気流等の気象現象や約 4 分の 1 を占める誤操作等のヒューマンエラーへの対応も課題として掲げられている。ＪＡＸＡにおいては、これまで検知が不可能だった晴天乱気流を検知できる、航空機搭載用のドップラーライダーの研究開発を行い、現在はメーカーが実用化に向けた検討を進めている。航空科学技術行政では、こうした気象・ヒューマンエラー等の**主な航空事故要因に対応する技術開発を今後も推進していくべき**である。

②異分野連携も活用した革新技術の創出

我が国の強みを生かした革新技術の創出には、航空以外の分野の技術等とも積極的に融合を図っていくべきである。例えば、航空輸送による環境負荷の革命的な低減や次世代モビリティの実現のためには、航空機の電動化技術が不可欠である。電動化航空機の設計開発においては、ＪＡＸＡや航空機産業界の有する空力解析や構造解析、システム設計技術が中心的な要素となる。しかし、高出力のモーター、大容量のバッテリーなど、主要な構成要素ではあるが航空機産業界のみでは必ずしも十分な知見を有しないものもある。ＪＡＸＡは電機産業をはじめとする関連産業を含む産学官連携の体制（航空機電動化（ＥＣＬＡＩＲ）コンソーシアム）を構築し、世界に誇る国内の電動要素技術などを航空機技術と糾合するオープンイノベーションの手法によって、抜本的にCO_2排出削減が可能なエミッションフリー航空機の実現と新規産業の創出に向けた活動を進めている。また、無人航空機の分野においても、電機産業や情報通信業等との更なる協働を図りつつ、離島・山間部での物流サービスや有人地帯での目視外飛行による荷物配送などのサービスを実現していくことが必要である。

さらには、**ＩｏＴ、ロボット、ＡＩ、ビッグデータ等のデジタル技術とデータ活用が進む今後の社会においては、航空機製造、装備品技術や運航技術の開発にはこれらの効果的な活用が必須となる時代が到来**すると想定される。そのため、**異分野連携、糾合を更に積極的に進めつつ、革新技術の創出を図っていくべき**である。

③出口を見据えた産業界との連携

産業界との連携については、ＪＡＸＡと産業界の役割分担の在り方についても考える必要がある。一般に、ＪＡＸＡは開発リスクの高い先進的技術の研究開発を行い、いわゆる「死の谷」を越えた段階、すなわちメーカーによる実用化・製品化への開発リスクが過度でなく

なった段階で技術移転をし、メーカーは当該技術の製品化を果たしている。しかしながら、この「死の谷」がどこにどの規模で存在するかは、技術の分野や技術移転先となるメーカーの経験等の複雑な要素によるため一概に決めることができない。そのため、**研究開発の初期段階から技術移転先となりうる民間企業との密接なコミュニケーションを図り、課題の取捨選択を含む出口（実用化・製品化）を見据えた研究開発計画を立てる必要がある**。また、この出口については、ターゲットとなる製品（大型の旅客機、小型機、無人航空機、あるいは防衛産業とのデュアルユースや他の産業分野への技術移転、国の施策への貢献等）によって、求められる技術成熟度レベル等が異なる可能性がある。研究開発成果を効率的に産業界へ還元する観点から、この点を研究開発のプロセスを設計する際に考慮するべきであると考えられる。

また、実用化・製品化という点では、**航空機システム全体の安全性・信頼性を確保するための安全認証技術を含むシステムインテグレーションに関し、これまで我が国は実績を積み重ねる機会が少なかった**ことから、仮に優れた要素技術を開発しても実用化・製品化の段階で再び大きなハードルにぶつかる結果となってしまう。ＪＡＸＡはこうした問題を解決するため**産学官共同で国内の知見を蓄積する取組**である航空機装備品ソフトウェア認証技術イニシアティブでの活動に現在中核メンバーとして参画しているが、こうした取組を積極的に推進していくべきである。

４．実現方策を支えるシステム改革

前章の未来社会デザイン・シナリオを実現する研究開発・基盤技術整備を的確に進めるためには、研究開発を支える人材、資金、環境等のシステム改革に関する多面的な取組が必要である。特に航空科学技術分野においては、要求される技術レベルの高さ、研究開発期間の長さ、大規模な試験設備が必要となることなどの特徴があることから、これらに留意したシステム改革を進めるべきである。

４．１　研究人材の改革

航空科学技術分野は、最終的な製品である航空機等に対する高い安全性・環境性・信頼性の要求から極めて成熟した技術レベルが求められる一方で、新素材、自動化、電動化をはじめとする最新技術が積極的に取り入れられるという特徴がある。そのため、**航空科学技術分野を背負って立つ研究者には、時代の変化に対応し、常に重点分野のスペシャリストであり続けることが求められる**。加えて、航空機或いは航空機のシステムの開発は海外機関との国際共同開発が主流であり、ＩＣＡＯの定める安全性・環境性に関する国際標準等の国際的な基準に適合する必要がある。さらに、航空機の利用の発展を見据えると、従来の航空機開発に係る工学分野に留まらない、より学際領域的な視点での連携が必要となってくる。そのため、専門分野によらず、**国際的感覚を有し、国内関係者（機関）を調整し、一つにまとめ上げることのできる視野の広い人材であることも併せて求められる**。さらに、航空産業ビ

ジョンにおいて、人材育成に関する継続的又は中長期的に取り組むべき施策として、担い手の多様化・裾野拡大を想定した教育体制が掲げられていることも踏まえ、航空科学技術行政としてもより一層戦略的に貢献していく必要がある。

具体例としては、まず、大学進学前の学生や文系を含む航空関係の専攻でない学生等の若年層全体に対しては、宇宙航空科学技術推進委託費の「宇宙航空人材育成プログラム」やＪＡＸＡにおける広報活動などを通じた裾野の拡大に関するより一層の取組が挙げられる。そして、航空を専攻した学生に対しては、航空関係の研究開発職等に就くことを志すこととなるよう、航空科学技術行政は大学に対する教育支援ツールの提供や研究現場への学生の受け入れ等を通じた実用に繋がる研究開発に携わる機会の提供等、広い視野を持つ実用志向の研究者を育成する取組を継続していくことが挙げられ、これらを総合的に取り組むべきである。

４．２　研究資金の改革

航空科学技術分野は、求められる技術のレベルが高いことから、新技術の研究開発には長い期間を要し、それに伴い必要な研究資金も他分野と比較して大きくなりがちである。そのため航空科学技術行政は、**長期性・不確実性・予見不可能性が高い、民間企業が取り組むことが困難であるハイリスクなテーマに重点的に取組み、革新的な成果を上げていくことが求められる。**一方で、その研究開発費用は国家予算から捻出されるものである以上、**限られた予算・期間で効率的に成果を出すことができるよう、研究開発の初期段階からの民間企業など技術移転先となりうる相手方との密接なコミュニケーションを図り、研究開発課題の取捨選択を含む出口を見据えた研究開発戦略を立て、リソース投入を的確に重点化**することや、ＪＡＸＡの研究開発の成果を活用する**民間企業との研究開発段階での協働等を通じた適切な費用分担**などを通じて必要な研究資金を確保するなどあらゆるリソースをより効果的・効率的に活用することで、国費を用いた研究開発としての意義を最大化するよう取り組むことが重要である。具体例としては、ＪＡＸＡ航空技術イノベーションチャレンジやＪＡＸＡ次世代航空イノベーションハブでのコンソーシアム活動等の我が国の航空宇宙分野の研究開発の中核機関としてのＪＡＸＡの機能強化やＳＩＰ（戦略的イノベーション創造プログラム）への参画等、府省の枠を超えた取組にも積極的に取り組んでいくことが挙げられる。また、**研究開発の成果を他分野にスピンアウトすることにより早期の実用化を図ることで、研究開発に投じた資金が効果的・効率的に社会還元**されるよう取り組んでいくことも必要になってくると考えられる。

さらに、リソースを効果的・効率的に活用しつつ革新的な成果を上げるには、デジタル技術とデータ活用の更なる推進などに一層取り組んでいくべきである。

４．３　研究環境の改革

航空科学技術分野においては、研究開発を進めるにあたり、風洞をはじめとして個別の民

間企業や大学等では整備が難しい大規模な試験施設が必要となるケースが多い。航空産業ビジョンにおいても、ＪＡＸＡの有する試験設備に関して、運用開始から約５０年経過し老朽化が著しい風洞設備について継続的に対策を講じること、エンジン実証設備の整備、実証用航空機の老朽化対策・機能向上等による研究開発環境の整備が掲げられていることを踏まえ、**産業界や学術界のニーズも踏まえた戦略的な試験施設整備**を進めることが望まれる。また、航空機設計の効率化のために不可欠なＣＦＤ（数値流体力学）等のソフト面のインフラ整備も必要である。特に我が国においては、前述のとおりシステムインテグレーション技術を伴った技術力の向上が急務であり、そのためには**システムレベルでの実証を行うための設備が不可欠**であることから、航空科学技術行政は令和元年度にＪＡＸＡに導入したエンジン実証設備であるＦ７エンジン、ＪＡＸＡが有する実証用航空機をはじめとする設備を、今後の我が国の航空機産業における旅客機事業を含む産業界や学術界の多様なニーズに対応できるよう、適切に維持・管理又は強化し、我が国の航空機産業における研究開発環境の高度化に貢献すべきである。

４．４　研究開発実施組織の改革

航空科学技術分野は、多様な技術の集合体であり、かつ求められる技術のレベルが高いことから、他分野と比較して新技術の研究開発には多額の資金・長い期間を要する傾向となることが避けられない。一方で、研究者（指導教官としての側面も含む）個人としては、身分の保証のためにも着実に業績を上げることも必要となっていることも否めず、これがイノベーション創出という観点からマイナスに働く可能性がある。よって、航空科学技術分野の研究開発実施組織においては、**異分野との協働の促進や研究者間での交流の活性化によりモチベーション・創造力を向上させる取組など、研究者が効率的かつ意欲的に研究に取り組むことができる仕組みが重要**である。

また、航空科学技術分野に限らない一般論として、組織における研究開発人材の的確な育成には、**若年層に対する教育環境、若手研究者のキャリア形成に資する魅力ある環境・仕組みづくりが必要**である。具体例として、研究開発の分野における安定したポストの確保、若手研究者の流動性が確保されるような産官学の各セクターにおけるキャリアパスの構築及びその活用を促進する取組など若手研究者の成長を後押しする取組や、若手研究者が能力を十分に発揮できるよう自由度・自主性が担保されるような制度整備についても併せて検討が必要であると考えられる。さらに、**研究者の業績を適切に評価できる基準・方法等の仕組みが必要**であり、そこにおいては、所属する組織やグループの評価がそのまま研究者個人の評価となることがないよう留意する必要がある。加えて、研究開発成果の組織外部への波及効果を最大化するとともに組織の各取組に好循環をもたらすよう、研究開発の成果が適切に情報発信されるべきである。

５．おわりに

本中間とりまとめでは、文部科学省全体での第 6 期科学技術基本計画の検討に対応した形で、第 6 期科学技術基本計画期間を含む今後の 10 年程度を見通しつつ、航空科学技術分野の現状や今後文部科学省として推進すべき研究開発の方向性等について整理した。

世界の経済発展及びこれに伴うグローバル化が進み、環境問題、少子高齢化をはじめとする地球規模の課題が深刻化する中で、航空科学技術行政には、我が国の航空分野が有する安全・環境等に関する国際的な優位技術について民間企業が取り組むにはリスクの高い研究開発等を更に進めるとともに、技術イノベーション創出のプロセスの変革を活用することで、持続可能性と利便性を両立した交通需要増への対応及び人間中心の交通ネットワークの構築等を通じた Society 5.0 の実現への貢献が求められている。こうした情勢を踏まえ、航空の未来像として交通需要増に対応する超音速旅客機や電動航空機も含む「既存形態での航空輸送・航空機利用の発展」、人間中心の交通ネットワークの主要な要素となる無人航空機やいわゆる空飛ぶクルマを含む「次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用」の 2 つを想定し、これら２つの未来像を実現する方策を「我が国の優位技術を考慮した研究開発戦略」、「革新技術の創出に向けた異分野連携」、「出口を見据えた産業界との連携」の 3 つの視点から整理するととともに、それらの方策を的確に進めるためのシステム改革の方向性について人材、資金、環境、研究開発実施組織の改革の面から整理した。

今後、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会航空科学技術委員会では、第 6 期科学技術基本計画を踏まえて研究計画・評価分科会で来年度以降に具体的な検討が進められる次期研究開発計画の策定を念頭に置きつつ、航空科学技術行政において実施していくべき研究開発の取組について、最終的なとりまとめに向けてより具体的な検討を進めていくこととする。

第６期科学技術基本計画策定に向けた原子力科学技術の推進方策について

令和元年１０月２４日
原子力科学技術委員会

第５期科学技術基本計画では、我が国の持続的な成長のため、エネルギーの安定的な確保と効率的な利用を図る必要があり、現行技術の高度化と先進技術の導入の推進を図りつつ、革新的技術の創出にも取り組むことが示されており、具体的に、原子力科学技術については以下の通り記載されているところ。

〇安全性・核セキュリティ・廃炉技術の高度化等の原子力の利用に資する研究開発を推進する。さらに、将来に向けた重要な技術である核融合等の革新的技術、核燃料サイクル技術の確立に向けた研究開発にも取り組む。

我が国におけるエネルギーの確保と利用に関しては、平成 30 年７月に「第５次エネルギー基本計画」が閣議決定された。本計画では、「第４次エネルギー基本計画」で位置付けられた

〇軽水炉の安全性向上に資する技術や信頼性・効率性を高める技術等の開発
〇廃炉の工程において必要な技術開発や人材の確保
〇放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術開発

等の研究開発等の取組の重要性に加えて、

〇再生可能エネルギーとの共存、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーションを促進するという観点が重要

であるとされた。

また、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和元年６月閣議決定）においても原子力関連技術のイノベーションの重要性が明記され、安全性・経済性・機動性に優れた炉の追求、バックエンド問題の解決に向けた技術開発の実現を目標として、関連する技術として、高速炉、小型モジュール炉、高温ガス炉、溶融塩炉、加速器を用いた核種変換等が例示されている。

このような状況を受け、文部科学省では、エネルギー政策を所管する経済産業省と連携し、原子力関連技術のイノベーションに関する検討を開始したところである。また、これに連動する形で、経済産業省においても、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会で、エネルギー政策の観点における原子力関連技術のイノベーションについて議論が開始されている。

イノベーションに向けては様々な施策の連動が必要になるところ、原子力科学技術委員会では、その下に原子力研究開発・基盤・人材作業部会を設置し、放射線利用等の、エネルギー利用以外を含めた幅広い原子力利用に関する研究開発の在り方、原子力機構等が保有する研究基盤の在り方、更に大学等を中心とした原子力人材育成の在り方について、総合的に課題をとらえ、一体的に今後の政策の方向性を検討してほういくこととしている。

これらの状況を踏まえ、現時点において、第６期科学技術基本計画に向けて、原子力科学技術分野で新たに必要となる観点は以下の通り。原子力科学技術委員会においては、経済産業省を中心としたエネルギー政策の検討の動向も見据えつつ、原子力科学技術に関する施策の詳細について、検討を深めていくこととする。

【第６期科学技術基本計画に向けて、原子力科学技術分野で新たに必要となる観点】

１．原子力関連技術のイノベーションに向けた基礎基盤研究

文部科学省においては、原子力分野の幅広い基礎基盤研究を推進し、原子力科学技術を維持・向上してきたが、福島第一原子力発電所事故以降は、安全基盤技術及び放射性廃棄物減容・有害度低減技術を対象とした研究を実施してきた。昨今のエネルギー政策の動向を踏まえ、多様な社会的要請に応えつつ、原子力関連技術のイノベーションを支える基礎基盤研究を戦略的に推進することが新たに必要である。

その際、戦略的なテーマ設定が重要となるが、①経済産業省や民間が進める技術開発の方向性との連動、②異分野との融合の促進を視野に入れた周辺分野の最新の科学技術動向との連動、といった観点が重要と考えられる。

２．我が国全体の人材育成機能の維持・強化

エネルギー・原子力政策の動向によらず、優れた原子力人材の育成は、我が国にとって今後とも必要である。そのような中、原子力に係る学部・学科の減少や改組、原子力を専門とする教員および人材育成の場となる研究施設の減（廃止措置施設の増）等により、個別の大学等の原子力人材育成機能がぜい弱化している状況にある。これまで、文部科学省では、各大学等の個別の人材育成プログラムを幅広く支援してきたが、今後、我が国全体として継続的に人材育成機能を維持・強化するための施策が必要である。

このためには、①我が国全体として弱体化している原子力に係る基礎・基盤的教育、②研究施設を活用した実習・演習、③海外での研鑽機会の付与、④産業界や他分野との連携・融合による教育といった機能を有する人材育成拠点を、各大学等が連携して一体的に実施する体制を構築していくことが重要であると考えられる。

なお、具体の取組内容やその進め方については、関係者の意見をよく聴取しながら検討していくこととしている。

３．原子力研究基盤の維持・強化、利活用の高度化

試験研究炉をはじめとした研究施設は、原子力研究や人材育成の場として重要な役割を果たしてきた。しかし、施設の老朽化や福島第一原子力発電所事故の影響等を受け、原子力機構においては、平成２９年３月に、約半数の研究施設を廃止する方針を決定した。また、個別の大学においても、原子力施設の運営・維持が困難になってきている。そのような中、存

続する研究施設の出来る限り早期の運転再開と、限られた研究施設を我が国全体としてより効果的・効率的に活用することが重要である。

このためには、高度な研究施設の大部分を運用し、原子力に関する多様な人材・知見が集う原子力機構の在り方を検討する必要があると考えられる。具体的には、従来の研究開発の主体としての役割に加え、今後は、高度な研究基盤の担い手としての役割に重点を置き、大学や産業界との連携の場として、我が国の人材育成・研究開発を支えていくハブとしての役割を追及することが重要と考えられる。その一貫として、効果的で使い勝手の良い施設共用の仕組みの構築等が期待される。あわせて、国内のみならず、海外の原子力施設の利活用に向けた取組も重要である。

４．その他

上述の１～３の研究開発、人材育成、研究基盤に関する取組は相互に関連するものとして、一体的にとらえて今後の進め方を検討するべきである。例えば、原子力研究開発や人材育成施策と、その場を担う研究基盤施策は、密接に関連するため、相互に好影響を及ぼすような形での、個別施策の連動が重要となる。

また、原子力に係る新たな技術の研究開発にあたっては、早い段階から、①社会との対話や協創を進めること、②規制や標準化、リスクに関する議論について、課題の解決へ向け、人文学・社会科学と自然科学の協働を促進することが重要である。

更に、第５期科学技術基本計画や従来からエネルギー基本計画においてすでに記載されている、福島第一原子力発電所事故を受けた廃炉技術の高度化や、安全性・核セキュリティの高度化、核燃料サイクルに関する研究開発を、社会環境の変化に応じ推進していくことは引き続き重要である。

以　上

第６期科学技術基本計画策定に向けた
核融合科学技術委員会の考え方について

令和元年 10 月 23 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
核融合科学技術委員会

１．背景

第６期科学技術基本計画策定に向け、総合政策特別委員会は令和２年３月に検討結果の最終取りまとめを行う予定であり、同委員会での検討に資するため、研究計画・評価分科会直下の関係委員会等においては、個別分野に関する第６期科学技術基本計画に向けた検討を行うこととしている。

核融合科学技術分野については、第５期科学技術基本計画に盛り込まれている他、第５次エネルギー基本計画（平成 30 年７月）、パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（令和元年６月）、統合イノベーション戦略（令和元年６月）において、エネルギー確保の観点及び知の基盤の強化等の観点からその重要性が述べられている。

第６期科学技術基本計画期間（2021-25 年）における核融合科学技術分野の推進方策について、本委員会における政策文書である「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」（平成 29 年 12 月）、「原型炉研究開発ロードマップ」（平成 30 年７月）等を基に、核融合を取り巻く昨今の動向を踏まえて検討を行い、当面の核融合研究開発推進の方向性として以下のとおり取りまとめた。

２．現状と課題

核融合エネルギーは、資源量・供給安定性（核融合の燃料となる重水素は海水中に豊富に存在し、三重水素はリチウムより生成可能。１グラムの燃料は、石油約８トン分のエネルギーの相当。）、安全性（燃料の供給や電源を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することが可能。）、環境保全性（発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素が発生しない。発生する放射性廃棄物は低レベル放射性廃棄物。）等の特徴を有する。

国際的に見ても脆弱なエネルギー供給構造である我が国において、核融合エネルギーはエネルギー問題と環境問題を根本的に解決しうる、魅力的な将来のエネルギー源の候補として、計画的な推進がなされてきた。今後、科学的・技術的実現性の確立や、技術

的実証・経済的実現性の検証を進め、その固有の安全上の特性を生かした上で、社会に受け入れられるエネルギー源として実現できるよう、研究を推進していくことが期待されている。

また、昨今、世界の潮流として持続可能な開発目標（SDGs）は共通言語となり、持続可能な開発目標達成のための科学技術イノベーション（STI for SDGs）は、有限のリソースを最適化して発展を図る手段として国際的な期待が高まっている。核融合研究開発はSDGsの達成に資する観点から推進していくことも期待されている。

なお、核融合研究開発は長期的な目標に向けて計画的・段階的にビッグプロジェクトを進めていく分野であり、AI、ビッグデータ、量子、バイオ、オープンイノベーションにより創生される成果等、短期的に社会を変えうる科学技術とは異なるといった特徴がある。公的投資に対する社会からの要請に応えるため、長期的観点に立った研究とともに、技術プラットフォームとしての核融合研究開発、産学連携や異分野融合による波及効果の創出に留意していく必要がある。

３．推進の方向性

パリ協定に最終到達点として掲げた脱炭素化に向けた野心的削減目標を達成するため、２℃目標のような長期目標の下で、核融合発電は我が国における費用対効果のある対策オプションの一つとして評価されており[1]、国は引き続き長期的視野に立って核融合研究開発を推進すべきである。今世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化に目処を得ることを目標に、当面推進すべき事項として、以下が挙げられる。

- 国際協力で進められているITER計画や幅広いアプローチ(BA)活動の実施、原型炉に向けたアプローチ（原型炉では持続的な核融合反応を高効率で実現。経済合理性を有する施設規模で高出力を得る。そのために必要な研究開発や核融合に関する規制の検討。）
- ヘリカル方式・レーザー方式や革新的概念の学術研究（研究の多様性や知見の蓄積確保する観点）の実施
- 「原型炉開発ロードマップ」に基づく戦略的かつ定期的なチェックアンドレビュー
- 産学官の緊密な連携のもと我が国における核融合研究開発に係る人材・技術を維持するための取組

[1] 文部科学省　第19回核融合科学技術委員会　資料3（公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 秋元氏講演資料）「地球温暖化対応の状況を踏まえた核融合エネルギーの経済性評価」（令和元年10月8日）

また、核融合研究開発の推進にあたり、第６期科学技術基本計画の下での科学技術イノベーションシステムの目指すべき方向性との関係で、以下のような取組に注力することが重要と考えられる。

＜国際共同研究プログラムとしての価値の発揮＞

核融合エネルギーの実現に向けた研究開発は、ITER 計画や幅広いアプローチ(BA)活動など、リソース的に我が国単独で必要な研究を全て実施することが困難であり、保有すべき技術の戦略や課題の優先度、国内研究開発との相補性を考慮して、国際協力での実施が効率的と考えられる事項については、他国・組織との大型国際共同研究として研究開発を実施している。こうした核融合分野の大型国際共同研究は、国際頭脳循環の場となるなど、以下のような多様な観点で重要である。また、国際的な取組の中でいかに国内に裨益するかを総合的に勘案し、我が国全体として戦略的に研究開発を推進すべきである。

- 効果的・効率的な研究開発及び人材育成（日本から海外及び海外から日本に研究者が往来し、産業界を含めた世界の頭脳循環におけるハブ機能を保持。グローバルな知見及び独創的な開発経験を持つ人材を産学官コミュニティーの中で養成。また、他分野人材の誘引、核融合人材の他分野への貢献により、分野融合研究の推進や産業界への波及効果の創出に資する。）
- 海外からの人材や投資呼び込み（BA 活動は、日本がホストとなる日欧国際プロジェクトであり、欧州からの投資や人材の流入がある。）
- 日本が「強み」がある分野の研究を世界に先行して進め、国際的優位性を確保・強化（原型炉に向けたブランケット、高速中性子に耐える先進材料開発に必要な核融合中性子源等の技術基盤の構築）。また、「弱み」は自前主義に拘泥せずにこれを補填する国際協力を確保。
- 国際プロジェクトで主導的立場に立つことによる波及効果（ITER 計画や BA 活動における成果や協力の実績を、日本と参加極と間の外交ツールとして活用）

＜データ駆動型研究開発システムの活用と貢献＞

核融合のような長期研究計画であっても、情報科学技術や近年急速な発展を見せる新興分野を取り入れていくことによるメリット、また、核融合研究から情報科学技術等に貢献することを念頭に、時代に即した研究開発の在り方を模索すべきである。

- 情報科学技術を適時インテグレートすることによる研究開発の生産性の向上（例：世界の主要な核融合プラズマ実験結果というビックデータを基にする人工知能を活用した運転条件の最適化研究や新たな核融合炉材料の研究開発、高度なシミュレーション技術など）
- 核融合分野は先端の情報科学技術を活用するための人材育成に資するとともに、産業界を含め関連人材の受け皿として貢献

＜産業への展開と多様な資金の活用＞

SDGs が世界の潮流となり、環境・社会・企業統治に配慮している企業を重視した投資を行う ESG 投資が拡大する中、国が推進する国家プロジェクトにおいても可能な限り他分野へのスピンオフを活用することも含めて産業界等からの新たな投資を得る仕組みを検討すべきである。

- 更なる外部資金活用の促進（核融合燃料の生産に必要となるリチウム回収技術開発。スピンオフした新技術を活用し、自動車用大型リチウム電池のリサイクル、国内でのリチウムの資源循環の達成を目指したアライアンスを推進等）
- SDGs の実現に向け ESG 投資やベンチャー投資などを通じた研究開発投資を積極活用（持続性の確保に向けた課題に挑戦する企業を増加させるなど）
- 大学発ベンチャー等を通じた産業界との連携（最先端技術・極限技術等のスピンオフを積極的に活用することで、社会への貢献のみならず産業界からの核融合関連技術への投資を促進）とサプライチェーンの育成・多様化

＜長期間にわたるビッグプロジェクトに国費を投ずることへの理解促進＞

核融合エネルギーが国民に選択され得るエネルギー源となるには、核融合エネルギーの特性や有用性・安全性に関し、社会との情報の共有と不断の対話が必須である。有用性・安全性等について最新のデータに基づく適時の再検証を行いつつ、国民への戦略的かつ統合的なアウトリーチ活動を継続的に実施すべきである。

第 6 期科学技術基本計画に盛り込むべき防災科学技術分野の施策等について
（提言概要）

令和元年 10 月
防災科学技術委員会

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予測され、これらの地震により国難ともいえるほどの被害が発生するとの被害想定が公表されている。気象災害に関しても、時間雨量 50mm を超える雨が頻発する等局地化・極端化しており、地球温暖化に伴い土砂災害、洪水被害の頻発化、激甚化が顕著になると指摘されている。これらをはじめとする様々な自然災害に対応した、災害レジリエンスの強化は、SDGs への貢献を含め国内外の持続可能な発展の要であり、防災科学技術によって、国民の安全・安心を確保し持続可能な発展を支える防災力の高いレジリエントな社会の構築が必要である。次期科学技術基本計画期間において、防災科学技術分野は、「持続可能な発展を支える防災力の高いレジリエントな社会の実現」を目指すべきである。

このため、防災科学技術の各分野の知の深化を促進するとともに、複数の分野の研究者及び実務を担うステークホルダーが研究の設計から実行まで協力して課題解決を図る共創の体制を確立し、以下に挙げる具体的な事項への取組みを行う。

１．総論（防災科学技術のみならず科学技術一般に関する論点）

- SDGs を踏まえ、経済発展一辺倒ではなく、「誰一人取り残さない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、持続可能性に資する国内外の科学技術を従来よりも重要視し、その実現に向けた研究開発を推進すべきではないか。その際、科学技術の知見を社会システムに適用することで具体的な社会課題の解決を図る社会技術としての防災科学技術は極めて重要である。
- 異分野共創が適当な研究領域について特定し、当該領域における共創を重点的に推進すべきである。単に複数の分野の研究者が参加するだけでは共創は起きないため、異分野の研究者同士の直接の議論によって新たな分野を開拓する等、それぞれの分野を横断して技術を適用することが必要である。さらに、科学技術コミュニティと実務を担うステークホルダー（政府、地方自治体、企業、住民等）が、課題解決を図るために研究の設計から実行まで協力する共創の体制の確立も必要である。同時に、その基盤となる、各ドメイン（分野）における研究も引き続き重要である。各ドメインの研究を進めることが、共創の体制の確立を進めることにつながるものであり、両者の拡充を目指すべきである。
- 昨今は研究開発投資に対する直接的な成果（収益（リターン）等）が重視されているが、防災科学技術分野のように、研究開発投資によって将来のコストや被害の削減への貢献が見込まれるものについても、それらの定量化を含め積極的に研究開発を推進すべ

きである。

- 防災科学技術分野に限らず、いわゆる「理系離れ」「博士離れ」が大きな課題となっており、それにより、既存の研究分野が維持できなくなる可能性を認識すべきである。また、理系・文系の区別を排し、社会問題の解決に貢献できる総合的な科学技術を担う人材も求められている。我が国にとって重要でありながら存続が危ぶまれる分野及び今後伸ばすべき分野については、研究者（女性研究者、外国人研究者含む）の育成・確保に向けて国が一歩踏み込んだ支援をすべきである。

２．各論（防災科学技術に関する論点）

（ドメイン知（分野別知）の拡充）

- 国難災害を避けるためには、地震や火山噴火が、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は、これらによる災害に科学的に対処するに当たり最も基本的で重要なことである。そして、その成果を災害軽減に結びつけるために、地震や火山噴火がもたらす災害要因を高精度に予測することも重要である。このため、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）の推進について」（平成 31 年 1 月 30 日　科学技術・学術審議会）[1]に基づき、地震・火山現象の解明及び予測に関する研究を進める必要がある。
- これに加え、ハザード別に各段階（ハザードの予測、脆弱性・曝露量の把握と改善、災害対応の在り方等）の研究開発を進める必要がある。
  - 地震については、その発生時期・規模を予測することは、極めて大きい不確定性を伴うため、不確定性を小さくする研究とともに、その不確定性を踏まえた社会的な取り組みの推進方策を研究する必要がある。
  - 津波については、特に巨大津波のシミュレーション・予測に関する研究開発をより一層加速させるため、地震学との連携を深めつつ、ハザード評価の高度化を進めることが必要である。
  - 風水害については、ハザードの理解を進めるため、近年注目されている線状降水帯等の大きな被害をもたらす気象現象の発生メカニズムの解明を進めるとともに、その予測技術を向上させることが必要である。測器の高度化その他の技術開発により、水蒸気の時空間分布・変動の探知能力を向上させ、リアルタイムでの気象予測＋洪水・浸水予測＋被害予測の結合をより進展させるべきである。
  - 火山については、避難が最大の防御策となるため、前兆現象の把握ができるよう研究開発を推進することが重要である。既に前兆現象の把握がかなり進んでいる火山においては、立入り規制や避難の意思決定に至るまでのプロセスの高度化が必要である。その際、他のハザードに関する研究開発等から得られた知見を火山災害に適用し、融合研究をこれまで以上に進展させることも有効である。また、堆積火山灰の処理も復興時の大きな課題となり得る。

[1] http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2019/01/30/1413116_01.pdf

- この他、風水害・地震等で発生する斜面崩壊や液状化などの地盤変状についても、広域的かつ定量的に予測することが必要であり、その技術開発を促進するべきである。

- 国難災害を乗り越えるために、災害対応に当たる各機関は、必要となる災害対応業務を事前に洗い出し、そのうち対応手順の標準化が有効な業務については標準化を進めることが効果的であり、これを促進するための防災科学技術の研究開発等を推進すべきである。

（分野横断知の拡充）

- 南海トラフ地震や首都直下地震は、豪雨・豪雪などと同時に起こる可能性もあり、大火災を引き起こす恐れもあるため、そのような複合災害下での応急対応・復旧・復興を可能とする研究開発等を推進すべきである。
- ハザードに対する脆弱性やレジリエンス力を評価する手法の開発が必要である。そのためには、復興過程の実証的な解明と復興に関する定量的な指標に関する研究が必要であり、理学（地震、火山、津波、気象）・工学（耐震、シミュレーション）・情報学・社会科学それぞれの科学的知見を総動員した知の統合が必要である。
- 地震をはじめとする観測データやハザード関連データの利活用推進のための共通のプラットフォームの構築が必要である。
- 研究者を含めた多様なステークホルダーが関係している防災科学技術分野においては、知の統合を推進するハブ的な機能を確保し、リスク情報プロダクトを介して防災に関する科学技術コミュニティと、政府、地方自治体、企業、住民等のユーザーを結び付け、課題抽出と研究開発、社会実装とその効果を評価する活動が持続的に回る社会システムを構築すべきである。

（新たな科学技術の積極的な活用）

- 近年の情報科学分野を含む科学技術の著しい発展も踏まえ、従来の技術による研究開発に加え、5G 通信の利用、量子コンピュータ等の新たな科学技術を活用して、例えば組合わせ最適化問題として適切な避難経路の選定を可能にすること等により、防災・減災の観点から社会に対して更なる貢献をしていくことが期待されている。さらに、従来の防災科学技術の高度化だけではなく、全く新しい発想に基づく防災科学技術の展開も推進すべきである。例えば、長期にわたる海面上昇に対して都市機能を維持する技術、台風等のハザードのエネルギーを発電に利用する技術、重要な区画や建物を地震動から完全に遮断する技術、量子科学、AI 等の技術により地殻変動を把握する技術などの開発に取り組むことは考えられないか。
- また、従来の研究開発における方法論にとらわれず、AI 技術を利活用することにより、これまで実現できなかった情報プロダクトや、想定していなかった情報プロダクトを作成する研究開発も実施すべきである。

（持続可能な発展を支える防災科学技術）

- SDGs 等の趣旨を踏まえ、地域等の特質に適した対応策を防災科学技術の知見を使っ

て計画・実施できるような仕組みを構築すべきである。例えば、インフラ（防災関連施設のみならずライフライン施設等を含む。）の補強などの国土強靭化を進める際に、画一的なものにせずに地域ごとのハザードやニーズの特性を踏まえることを可能とするきめ細かな防災対策を実現できる技術開発を目指すべきである。

- 従来、自然災害は短期的な事象、環境問題は長期的な事象として別々の研究コミュニティが構成されているが、短期長期にかかわらず、地球規模の環境適応において議論が進むにつれ双方の分野が融合してきており、長期的な環境変化の中で発生する災害（例えば気候変動によって激甚化する気象災害）、さらには健康被害にどのように対応していくのかという視点も取り入れていく必要がある。自然災害に関する研究と環境問題や健康問題に関する研究を融合することは重要であり、これにより、それぞれの研究分野から共通の指標で SDGs に貢献することができる。
- 防災科学技術分野の研究開発は「公助」の強化に寄与してきた。今後も「公助」の強化に取り組むことが必要であるが、大規模災害における「公助」の限界も認識しなければならない。災害に対する社会全体のレジリエンスの向上を図るには、社会を構成する一人一人の防災力向上と、それを支える社会システムの構築が不可欠であり、そのために「公助」の強化に加え、「自助」、「共助」の強化をサポートする防災科学技術のさらなる開発や活用が望まれる。

以上

第 6 期科学技術基本計画に盛り込むべき防災科学技術分野の施策等について
（提言）

令和元年 10 月
防災科学技術委員会

１．はじめに

第 5 期科学技術基本計画では、超スマート社会[2]を未来の社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を更に進化させつつ“Society5.0”として強力に推進し、実現を目指すこととされている[3]。そして、次期科学技術基本計画は、2030 年から 50 年のあるべき国家像からバックキャストして構想し、長期的持続可能な社会の実現に向けた政策提言となるべきであり“Society5.0”という構想を継承し、科学技術イノベーション（STI）による持続可能な開発目標（SDGs）の達成というビジョンを明示する必要がある旨が、総合科学技術・イノベーション会議において示されたところである[4]。

SDGs に「防災」自体がゴールとして位置づけられているものではないが、災害リスク軽減が持続可能な発展に不可欠であるという点において、SDGs と防災には重要な結びつきがある。このことは、2016 年 G7 伊勢志摩サミットに向けて日本学術会議と各国の学術団体が取りまとめた「持続可能な発展を支える災害レジリエンスの強化」[5]において指摘されている。

これらのことから、災害発生時に、また災害発生に備え、様々な情報を取得・解析すること等により、個々の被災者に最善の支援を提供しつつ、社会全体としても経済活動への影響を含めた損害が最小化されるような国家像が期待されていると考える。次期科学技術基本計画期間において、防災科学技術分野は、「持続可能な発展を支える防災力の高いレジリエントな社会の実現」を目指すべきである。

２．防災科学技術の現状と課題

これまでの研究開発により、基盤的防災情報流通プラットフォーム（SIP4D）による災害対応に係る情報共有、実大三次元振動破壊実験施設（E-ディフェンス）による耐震性等に関する実験、気象レーダーの活用の高度化などが成果を上げてきた。また、理学、工

---

[2] 必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、活き活きと快適に暮らすことのできる社会
（第 5 期科学技術基本計画 第 2 章（2）① https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf）
[3] 第 5 期科学技術基本計画　第 2 章（2）　https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf
[4] 次期科学技術基本計画に向けて（総合科学技術・イノベーション会議（第 43 回）資料 2-2）
https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui043/siryo2-2.pdf
[5] G-Science Academies Statement 2016:Strengthening Disaster Resilience is Essential to Sustainable Development　http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-gs2016-2.pdf（仮訳：http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-gs2016-2j.pdf）

学、社会科学の各分野で連携し首都圏を中心とした地震に対するレジリエンス力を向上させるための取り組みや、気象分野での産官学連携のプロジェクトが進められている。ただし、これらの技術によってカバーされる部分は防災全体の一部に過ぎず、このような学際的連携、産官学連携の取り組みもまだ不十分であると言わざるを得ない。

防災のために最終的に必要とされる知見は、ハザード（災害原因事象）への効果的な対応策（正確なハザードのふるまいの予測方策、災害を発生・拡大させないための予防方策、効果的な応急対応、復旧・復興のための対応方策）である。効果的な対応策の立案に当たっては、ハザードの規模・頻度、人間が構築したシステムの社会的脆弱性、そのハザードへの曝露量（被災可能性のある人や資産など）を組み合わせて得られる災害リスクを理解するという考え方が基本となる。災害リスクを小さくするには、事前に施設設備などのハード面及び避難などのソフト面を強化しておくこと、実際に災害が発生した後の応急対応や復旧・復興を迅速に行うことが重要であり、そうすることでトータルでの損害を最小化することができる。ハザードの一つとして地震を例にすると、耐震化されていない（脆弱性）建物が多く存在している状態（曝露性）自体が災害リスクを拡大する要因であり、これらの要因に対して、事前に耐震補強（ハード面の予防的措置)、避難計画（ソフト面の予防的措置)、事後に応急対応、復旧・復興などの対応策を適切に講じることにより、地震という自然現象による損害を小さくすることができる。

そこで、①ハザードの予測、②脆弱性・曝露量の把握と改善、③災害対応の在り方、④その他に大別して、現状、必要な知見が得られているか否かについて概略整理を試みる。

（ハザードの予測）

地震、火山、気象等の各ハザードの予測については、各分野でそれぞれ予測性能の向上が見られるものの、その予測精度の不確実性から、適切な防災対策や避難行動に直結するレベルにまでは達していない。このため、ハザード毎に必要十分な精度と防災対策等のための時間を確保できるような予測が可能となるよう観測・実験・シミュレーション等の研究開発を更に推進する必要がある。

（脆弱性・曝露量の把握及び改善）

建物の耐震性、大雨による洪水浸水範囲などの一次的な脆弱性を評価するための手法はおおむね開発されているものの、直接的被害が波及的に影響して生じる長期的及び広域的な間接被害の正確な定量的評価を可能とするほどの知見は得られていない。1995 年の阪神・淡路大震災の復興におおむね 10 年を要し、2011 年の東日本大震災の復興がいまだ途上である。東日本大震災でも同年にタイで発生した大洪水でも、サプライチェーンが寸断され、その経済的影響が一国にとどまらず世界中に波及した。このように、大規模災害の影響は長期にわたり、また、国内外の広範囲に及ぶものであり、その全体像の解明が求められる。

ハザードに対する社会全体としての総体的な脆弱性やレジリエンス力を測定する手法や指標を開発しなければ、災害を総体的視野でとらえることができない。このことが、防災科学技術の研究開発がもたらす減災効果に説得力を持たせられていない一因である可能性がある。

（災害対応の在り方）

効果的な応急対応や迅速な復旧・復興を実現するためには、災害対応の標準化が効果的であるが、研究開発途上である。

地方自治体、企業、地域住民にとっては、情報活用スキルが不十分であると、情報を活用して効果的な対応策を選定・実行することが難しい。このため、情報の在り方については、正確であることはもとより、「アクセスしやすい」、「わかりやすい」、「受け入れやすい」などの観点が重要である。したがって、情報を活用する側に立った研究開発等が望まれる。さらに、既に利用可能な科学技術及びその知見を活用できる環境を整備すべきである。

（その他）

ハザードの予測、脆弱性の把握、災害の予測、対応策の立案はそれぞれ個別に研究開発が進められているものの、相互の連携は十分に行われていない。また、予測や対応策がハザード別の研究となっており、マルチハザードを視野に入れた研究が十分に行われているとは言えない。

３．防災科学技術をめぐる環境の変化と課題

現行の科学技術基本計画においても指摘されているが、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地震調査研究推進本部により示されている。中央防災会議では、これらの地震により国難ともいえるほどの被害が発生するとの被害想定を公表している。次期科学技術基本計画の期間は、これらの国難災害への備えに充てることのできる最後の機会となるかもしれない。また、備えなく国難災害が発生した場合、我が国の持続的な発展への大きな障害となるほか、科学技術分野全般の一時的な停滞を引き起こすこととなる。そのような切迫感及び使命感をもって、防災科学技術の研究開発等を進める必要がある。

気象災害に関しても、近年は時間雨量50mmを超える雨が頻発するなど、雨の降り方が、局地化・極端化しており、地球温暖化に伴い土砂災害、洪水被害の頻発化、激甚化が顕著になると指摘する研究者もいる。このような気象災害に対しても、国民の安全・安心を確保してレジリエントな社会を構築する取組は引き続き推進していかなければならない。

また、我が国は力強い経済を取り戻すための重要な成長分野の一つとして観光に注力し、観光立国の実現に向けて邁進しており、年々訪日外国人観光客は増加している。2018 年は、訪日外国人観光客数が 3119 万人と、この 5 年間で約 2.3 倍の伸び率となっている。このような中で 2018 年には台風 21 号の際の連絡橋の損傷等による関西国際空港の閉鎖や北海道胆振東部地震による新千歳空港の閉鎖が生じ、外国人観光客に対する避難誘導等の災害情報の提供方法が問題となった。このように、増加し続ける訪日外国人観光客への災害発生時における対応が新たな課題となりつつある。

さらに、人口減・高齢化・インフラの老朽化が更に進んでいることが災害対応、災害復

旧・復興に大きな影響を与える懸念がある。特にインフラの老朽化は、自然災害の被害をより拡大させる可能性がある。老朽化したインフラの状態を適切に診断し、有効かつ効率的な対策を行うための技術開発が求められている。また、高齢者や障害者など、避難等に困難を伴う可能性がある方を考慮し、誰一人取り残さないための視点も重要である。

他方、2015 年に策定された SDGs は、地球規模課題解決への挑戦であるとともに、我が国が直面している社会的課題の解決も包摂したものであるが、災害レジリエンスの強化が社会の持続可能な発展の要となることから、防災科学技術分野の貢献も期待されているところである。2015 年には「仙台防災枠組 2015-2030」「気候変動に関するパリ協定（パリ協定）」も策定されており、地球規模での災害リスクへの対応が求められている。欧州・ロシアでの熱波災害のように、日本国内では健康問題（熱中症）としている事象についても、新たな気象災害として考慮すべき状況になりつつある。

こうした状況の中で災害を防ぐためには、「公助[6]」の重要性は変わらないものの、これのみに頼るのではなく「自助[6]」、「共助[6]」の強化をサポートする必要がある。そしてそれを支える情報共有基盤や社会インフラの在り方等について、科学技術的な手法と社会システムが融合した社会技術としての防災科学技術の研究開発によって明らかにしていくことが重要である。

次世代の研究開発を担う若手研究者の育成も重要な課題である。環境の変化が進む中での防災科学技術分野における若手研究者の減少は、防災科学技術の水準の停滞だけにとどまらず将来的に取り返しのつかない損害となってその影響が現れる懸念がある。若手研究者・女性研究者の自立促進・キャリアパスの安定等の対策を強化し、外国人留学生も視野に入れて、若手研究者等を安定的に確保していく仕組みを整備する必要がある。

４． 次期科学技術基本計画に盛り込むべき事項

【総論（防災科学技術のみならず科学技術一般に関する論点）】

- SDGs を踏まえ、経済発展一辺倒ではなく、「誰一人取り残さない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、持続可能性に資する国内外の科学技術を従来よりも重要視し、その実現に向けた研究開発を推進すべきではないか。その際、科学技術の知見を社会システムに適用することで具体的な社会課題の解決を図る社会技術としての防災科学技術は極めて重要である。
- 異分野共創が適当な研究領域について特定し、当該領域における共創を重点的に推進すべきである。単に複数の分野の研究者が参加するだけでは共創は起きないため、異分野の研究者同士の直接の議論によって新たな分野を開拓する等、それぞれの分野を横

6 「自助(じじょ)」…自分の身は自分で守ること
「共助(きょうじょ)」…地域や身近にいる人どうしが助け合うこと
「公助(こうじょ)」…国や地方公共団体が行う救助・援助・支援
（防災に関する世論調査（平成 29 年 11 月調査）資料 2　https://survey.gov-online.go.jp/h29/h29-bousai/3_chosahyo.html）

断して技術を適用することが必要である。さらに、科学技術コミュニティと実務を担うステークホルダー（政府、地方自治体、企業、住民等）が、課題解決を図るために研究の設計から実行まで協力する共創の体制の確立も必要である。同時に、その基盤となる、各ドメイン（分野）における研究も引き続き重要である。各ドメインの研究を進めることが、共創の体制の確立を進めることにつながるものであり、両者の拡充を目指すべきである。

- 昨今は研究開発投資に対する直接的な成果（収益（リターン）等）が重視されているが、防災科学技術分野のように、研究開発投資によって将来のコストや被害の削減への貢献が見込まれるものについても、それらの定量化を含め積極的に研究開発を推進すべきである。
- 防災科学技術分野に限らず、いわゆる「理系離れ」「博士離れ」が大きな課題となっており、それにより、既存の研究分野が維持できなくなる可能性を認識すべきである。また、理系・文系の区別を排し、社会問題の解決に貢献できる総合的な科学技術を担う人材も求められている。我が国にとって重要でありながら存続が危ぶまれる分野及び今後伸ばすべき分野については、研究者（女性研究者、外国人研究者含む）の育成・確保に向けて国が一歩踏み込んだ支援をすべきである。

【各論（防災科学技術に関する論点）】

（ドメイン知（分野別知）の拡充）

- 国難災害を避けるためには、地震や火山噴火が、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は、これらによる災害に科学的に対処するに当たり最も基本的で重要なことである。そして、その成果を災害軽減に結びつけるために、地震や火山噴火がもたらす災害要因を高精度に予測することも重要である。このため、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）の推進について」（平成 31 年 1 月 30 日　科学技術・学術審議会）[7]に基づき、地震・火山現象の解明及び予測に関する研究を進める必要がある。
- これに加え、ハザード別に各段階（ハザードの予測、脆弱性・曝露量の把握と改善、災害対応の在り方等）の研究開発を進める必要がある。
  - 地震については、その発生時期・規模を予測することは、極めて大きい不確定性を伴うため、不確定性を小さくする研究とともに、その不確定性を踏まえた社会的な取り組みの推進方策を研究する必要がある。
  - 津波については、特に巨大津波のシミュレーション・予測に関する研究開発をより一層加速させるため、地震学との連携を深めつつ、ハザード評価の高度化を進めることが必要である。
  - 風水害については、ハザードの理解を進めるため、近年注目されている線状降水帯等の大きな被害をもたらす気象現象の発生メカニズムの解明を進めるとともに、そ

[7] http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2019/01/30/1413116_01.pdf

の予測技術を向上させることが必要である。測器の高度化その他の技術開発により、水蒸気の時空間分布・変動の探知能力を向上させ、リアルタイムでの気象予測＋洪水・浸水予測＋被害予測の結合をより進展させるべきである。

- 火山については、避難が最大の防御策となるため、前兆現象の把握ができるよう研究開発を推進することが重要である。既に前兆現象の把握がかなり進んでいる火山においては、立入り規制や避難の意思決定に至るまでのプロセスの高度化が必要である。その際、他のハザードに関する研究開発等から得られた知見を火山災害に適用し、融合研究をこれまで以上に進展させることも有効である。また、堆積火山灰の処理も復興時の大きな課題となり得る。
- この他、風水害・地震等で発生する斜面崩壊や液状化などの地盤変状についても、広域的かつ定量的に予測することが必要であり、その技術開発を促進するべきである。

- 国難災害を乗り越えるために、災害対応に当たる各機関は、必要となる災害対応業務を事前に洗い出し、そのうち対応手順の標準化が有効な業務については標準化を進めることが効果的であり、これを促進するための防災科学技術の研究開発等を推進すべきである。

（分野横断知の拡充）

- 南海トラフ地震や首都直下地震は、豪雨・豪雪などと同時に起こる可能性もあり、大火災を引き起こす恐れもあるため、そのような複合災害下での応急対応・復旧・復興を可能とする研究開発等を推進すべきである。
- ハザードに対する脆弱性やレジリエンス力を評価する手法の開発が必要である。そのためには、復興過程の実証的な解明と復興に関する定量的な指標に関する研究が必要であり、理学（地震、火山、津波、気象）・工学（耐震、シミュレーション）・情報学・社会科学それぞれの科学的知見を総動員した知の統合が必要である。
- 地震をはじめとする観測データやハザード関連データの利活用推進のための共通のプラットフォームの構築が必要である。
- 研究者を含めた多様なステークホルダーが関係している防災科学技術分野においては、知の統合を推進するハブ的な機能を確保し、リスク情報プロダクトを介して防災に関する科学技術コミュニティと、政府、地方自治体、企業、住民等のユーザーを結び付け、課題抽出と研究開発、社会実装とその効果を評価する活動が持続的に回る社会システムを構築すべきである。

（新たな科学技術の積極的な活用）

- 近年の情報科学分野を含む科学技術の著しい発展も踏まえ、従来の技術による研究開発に加え、5G 通信の利用、量子コンピュータ等の新たな科学技術を活用して、例えば組合わせ最適化問題として適切な避難経路の選定を可能にすること等により、防災・減災の観点から社会に対して更なる貢献をしていくことが期待されている。さらに、従来の防災科学技術の高度化だけではなく、全く新しい発想に基づく防災科学技術の展開も推進すべきである。例えば、長期にわたる海面上昇に対して都市機能を維持する技

術、台風等のハザードのエネルギーを発電に利用する技術、重要な区画や建物を地震動から完全に遮断する技術、量子科学、AI 等の技術により地殻変動を把握する技術などの開発に取り組むことは考えられないか。

- また、従来の研究開発における方法論にとらわれず、AI 技術を利活用することにより、これまで実現できなかった情報プロダクトや、想定していなかった情報プロダクトを作成する研究開発も実施すべきである。

（持続可能な発展を支える防災科学技術）

- SDGs 等の趣旨を踏まえ、地域等の特質に適した対応策を防災科学技術の知見を使って計画・実施できるような仕組みを構築すべきである。例えば、インフラ（防災関連施設のみならずライフライン施設等を含む。）の補強などの国土強靭化を進める際に、画一的なものにせずに地域ごとのハザードやニーズの特性を踏まえることを可能とするきめ細かな防災対策を実現できる技術開発を目指すべきである。
- 従来、自然災害は短期的な事象、環境問題は長期的な事象として別々の研究コミュニティが構成されているが、短期長期にかかわらず、地球規模の環境適応において議論が進むにつれ双方の分野が融合してきており、長期的な環境変化の中で発生する災害（例えば気候変動によって激甚化する気象災害）、さらには健康被害にどのように対応していくのかという視点も取り入れていく必要がある。自然災害に関する研究と環境問題や健康問題に関する研究を融合することは重要であり、これにより、それぞれの研究分野から共通の指標で SDGs に貢献することができる。
- 防災科学技術分野の研究開発は「公助」の強化に寄与してきた。今後も「公助」の強化に取り組むことが必要であるが、大規模災害における「公助」の限界も認識しなければならない。災害に対する社会全体のレジリエンスの向上を図るには、社会を構成する一人一人の防災力向上と、それを支える社会システムの構築が不可欠であり、そのために「公助」の強化に加え、「自助」、「共助」の強化をサポートする防災科学技術のさらなる開発や活用が望まれる。

以上

測地学分科会における第６期科学技術基本計画に向けた検討結果

○社会課題の解決の視点から求められる研究開発

・我が国では、東日本大震災のような巨大な災害をはじめ、平成 26 年の御嶽山噴火災害、平成 30 年の大阪府北部の地震や北海道胆振東部地震など、地震や火山噴火による災害が多発、大きな人的・経済的被害が生じている。今後も南海トラフの巨大地震や首都直下地震など、人的・経済的被害をもたらす地震や火山噴火の発生が懸念されており、地震、火山噴火及びこれらによる災害を科学的に解明することにより災害軽減に貢献することが求められている。

・地震や火山噴火による災害から国民の生命・財産を守り、安全・安心な社会の実現に貢献するという目的をもって実施・推進されている調査研究（例えば、政府の地震調査研究推進本部により推進されている各種の地震調査研究や、文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトなど）と、それらの科学的・技術的な裏付けとなる学術的研究の双方が相互作用しながら進展することが重要である。

・また、学術的研究の成果は、政府機関が実施する監視観測業務における活用など、社会に実装されることで国全体の防災対策の高度化に貢献してきており、今後も、観測・予測等に必然的に含まれる不確実性の影響を考慮した上で、社会実装を意識した研究開発を進める必要がある。

○上記の目的を達するための推進方策

・地震や火山噴火に関する学術研究は、測地学分科会で議論し科学技術・学術審議会において建議された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）」（令和元年度～５年度）に基づき、国立大学法人や国立研究開発法人等において実施。

・第６期科学技術基本計画の下においても、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）」に基づく地震及び火山噴火に関する学術研究を、基本計画の趣旨にのっとり実施していく。特に、従来の地震学・火山学の枠に捉われることなく、災害や防災に関連する理学、工学、大規模数値シミュレーションやデータサイエンス、人文・社会科学、歴史学・考古学など幅広い分野の研究者との連携のもと、研究者の内在的動機に基づく先端的な研究を推し進めるとともに、観測データや研究成果の共有（研究データ基盤の充実）、基礎研究の成果を発展させた応用研究・開発研究の可能性や成

果の社会実装についても検討を進めていくことが、災害軽減に着実につなげていくために重要である。

○「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次)」の概要

・地震や火山現象の解明と予測に関する理学的研究を、地震・火山災害に科学的に対処するための基礎と位置付けて引き続き発展させるとともに、災害の軽減に貢献することを意識した研究を推進するという視点を明確にし、関連研究分野との一層の連携強化や、観測研究の成果を活用して災害軽減に役立てるための方策の研究等を進める。

・本計画の推進にあたっては、地震・火山災害軽減のための課題に直面している地震調査研究推進本部や行政機関等との連携をさらに進めて、学術の成果をもって社会に貢献することを目指す。

・特に「南海トラフ沿いの巨大地震」「首都直下地震」「千島海溝沿いの巨大地震」「桜島大規模火山噴火」「高リスク小規模火山噴火（火山学的には小規模でも、発生すると大きな被害が生じうる噴火)」については、地震・火山学的な見地のみならず災害科学的な重要性も考慮して、複数の研究分野を横断する「総合的な研究」として実施する。

・本計画で実施する観測研究の概要は以下のとおり。

１．地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山現象の根本的な理解を深めるために、低頻度大規模現象を含む多様な地震・火山現象の特性を把握し、それらが発生する仕組みや発生する場を観測・理論・実験に基づいて解明する。

２．地震・火山噴火の予測のための研究

多様な観測データや、活動履歴、地震・火山噴火の物理・化学過程の数理モデルに基づき、地震・火山噴火の発生予測手法や活動の推移予測手法を開発する。特に、近年進展がみられる「地震発生の新たな長期予測」「地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測」「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」に関する研究については、将来の社会実装を目指す重点的な研究と位置付けて推進する。

３．地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震・火山噴火の解明・予測研究の成果を災害軽減に結びつけるために、震源過程・火山噴火現象の複雑さを考慮し、地震や火山噴火がもたらす災害誘

因を事前及び発生後即時的に、高精度に予測する手法の開発を進める。同時に、災害誘因予測を災害情報につなげる研究にも取り組む。

４．地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

地震や火山噴火による災害事例に基づく災害発生機構の解明を行うとともに、地震・火山現象に関する社会の共通理解を促すための効果的な手法の確立を目指す。

５．研究を推進するための体制の整備

参加機関や研究分野間の連携を強化し、研究を総合的・効率的に推進する体制を整備する。観測網、データ流通網、データベース、解析ソフトウェアなどの研究基盤を整備・拡充するとともに、新たな観測・解析技術の開発、国際共同研究の推進、社会との共通理解の醸成と災害教育、研究者・技術者などの人材の育成を組織的に行う。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の概要

東北地方太平洋沖地震が与えた影響

東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（H25.1建議）

［社会のための，社会の中の科学技術］
→人文・社会科学も含めた研究体制の構築など総合的かつ学際的な推進

第１次計画

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画
（H26～30）（H25.11建議）

長期的視点に立ち災害科学の一部として推進

地震・火山現象の解明のための観測研究	地震・火山噴火の予測のための観測研究	地震・火山噴火の災害誘因予測のための観測研究

研究を推進するための体制の整備

前計画への評価「方向性の継続とさらなる発展」

評価された事項　**外部評価報告書（H29.7）**
・世界の地震学・火山学をリードする研究成果を生み出している
・災害科学としての一歩を踏み出した
指摘された事項
・災害の軽減に貢献するための研究の一層の推進
・理学，工学，人文・社会科学の研究者間のより一層の連携強化
・研究目標と目標に対する達成度の明確化
・社会や他分野の研究者のニーズ把握とそれに合致した研究の推進
・火山の観測研究を安定して実施する体制の整備

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）H31-35

地震・火山噴火及びこれらによって引き起こされる災害の科学的解明等を通じて災害軽減に貢献

ポイント

- **地震・火山現象を解明**し，**予測の高度化**を推進するとともに，その成果を活用して地震や火山噴火による**災害の軽減**につながる研究を推進
- **「重点的な研究」として，地震発生の新たな長期予測，地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測，火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測の研究を推進**
- **南海トラフ沿いの巨大地震，桜島大規模火山噴火**等をターゲットとして，地震学・火山学・災害科学上の重要性に鑑み分野横断で取り組む**「総合的な研究」**を実施
- 地震学・火山学を中核として，理学，工学，人文・社会科学の防災関連研究者が連携。**防災リテラシー向上のための研究にも新たに取り組む**

①地震・火山現象の解明のための研究

地震や火山噴火の過去の発生事例，物理・化学過程等の研究を進め，地震・火山現象の根本的理解を深化。
史料，考古・地質データに基づき低頻度大規模の地震・火山現象の特徴・多様性を把握。
・地震・火山現象に関する史料・考古データ，地質データ等の収集と解析
・低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
・地震発生過程の解明とモデル化
・火山現象の解明とモデル化
・地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

②地震・火山噴火の予測のための研究

地震や火山現象の科学的理解を踏まえ，地震発生や火山噴火の長期から短期にわたる予測のための研究を推進。
観測とシミュレーションによるプレート境界地震の予測手法を開発。
噴火事象系統樹に物理・化学過程の理解を導入した火山噴火予測手法を開発。
・地震発生の新たな長期予測
・地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
・先行現象に基づく地震発生の確率予測
・中長期的な火山活動の評価
・火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

重点的な研究
（下線の項目）

③地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

災害誘因の事前予測手法及び大地震による災害リスク評価手法の高度化。
地震動，津波，火山噴出物の即時的予測手法の高度化。
災害誘因情報の受け取り側に配慮した効果的な発信方法に関する研究の推進。
・地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
・地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
・地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

分野横断　　研究成果

社会的要請の高い**地震・火山噴火による災害リスク**に対する研究の実施・成果の発信

総合的な研究
- 南海トラフ沿いの巨大地震
- 首都直下地震
- 千島海溝沿いの巨大地震
- 桜島大規模火山噴火
- 高リスク小規模火山噴火

分野横断

④地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

地震・火山災害事例に関して災害発生機構や要因を解明。社会における防災リテラシーの実態調査等に基づき，災害軽減に対して効果的な知識体系要素を探求。
・地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
・地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

社会的要請の高い**災害に関する共通理解の醸成・人材育成**のための研究の実施・取組の強化

⑤研究を推進するための体制の整備

研究推進体制の整備	研究基盤の開発・整備	国内外の関連分野との連携	研究成果への理解醸成と人材育成
推進体制の整備	分野横断で取り組む総合的研究の推進体制	研究基盤の開発・整備	関連研究分野との連携強化	国際共同研究・国際協力	社会との共通理解醸成と災害教育	次世代を担う人材の育成

第６期科学技術基本計画に盛り込むべき海洋科学技術分野の施策等について
（提言案）

令和元年 10 月１日
科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

１．はじめに

世界は今、人工知能（AI）、IoT、ビッグデータ、５Ｇ等の「デジタル革命」のまっただ中にあり、社会・産業構造の大きな転換期を迎えている。米中の経済覇権争い等グローバルな競争が激化する中、「モノ」づくりを主軸とする資本集約型社会から、「モノ」のサービス化と「コト」に基づく価値創造が主軸となる知識集約型社会へと転換しつつあると言われている。

また、気候変動・地球環境問題やエネルギー問題、貧困・食糧問題、感染症等健康医療に関わる問題など人類共通の課題や、我が国が抱える少子高齢化、人口減少・労働力不足等の社会的課題への対応が急務とされている。

我が国が、これらの直面する様々な課題を克服するための方策を提示し世界をリードしていくためにも、その大きな鍵となるのが、デジタル化を原動力とした「Society 5.0」の実現である。総合科学技術・イノベーション会議においても、次期科学技術基本計画は、2030 年から 50 年のあるべき国家像からバックキャストして構想し、長期的に持続可能な社会の実現に向けた政策提言となるべきであり、第５期科学技術基本計画で提唱した「Society 5.0」という構想を引継ぎ、科学技術イノベーション（STI）による「持続可能な開発目標（SDGs）」の達成というビジョンを明示する必要がある旨が示されている。

海洋分野に目を向けると、地球最大の多様な生態系を有する海は、古くから輸送・資源確保の場として人類の社会・経済活動を支えてきただけでなく、近年では、音波探査技術、ロボット技術、掘削技術などの様々な先端技術開発の場として人類の知的生産活動を支えてきた。一方で、時として海洋は、地震・津波等により人類に大きな脅威を与えるとともに、近年、人間活動に伴う海洋環境の変化（地球温暖化、海洋酸性化、海洋貧酸素化）や海洋生態系の劣化も懸念されている。

このように、自然災害や人間活動により海洋環境や生態系が変化している今日、海洋の持続可能な開発・利用・管理の実現が強く求められている。このため、海洋分野においても、Society 5.0 の実現に向けた取組を強力に推進し、海洋の状況や海洋環境変動の実態を理解・解明し、持続可能な海洋の開発・利用と安全・安心の確保に貢献していくことが必要である。

２．海洋科学技術を取り巻く国内外の状況

四方を海で囲まれた我が国においては、国土面積の約 12 倍に及ぶ世界第６位の領海・

排他的経済水域を有しており、経済社会の発展、国及び国民の安全・安心の確保など、海洋の果たす役割は極めて重要である。こうしたことから、第５期科学技術基本計画（平成 28 年１月 22 日閣議決定）において、海洋科学技術は、国家戦略上重要な科学技術として位置付けられるため、長期的視野に立って継続して強化していく必要があると明記された。

また、平成 19 年に海洋基本法が制定され、同法では海洋の開発及び利用、海洋環境の保全等が適切に行われるためには「海洋に関する科学的知見の充実が図られなければならない」と明記されている。同法に基づき平成 30 年５月に閣議決定された第３期海洋基本計画では、新たに、「海洋状況把握（MDA)」体制の確立等の総合的な海洋の安全保障に関わる取組や「北極政策」の推進に係る項目が追加されるとともに、第２期海洋基本計画に引き続き、「海洋に関する科学的知見の充実」を重要な政策として取り組むことが示されている。中でも、海洋の調査や観測により収集される膨大な海洋情報から、AI やビッグデータ解析技術等を活用して新たな価値を創造し、経済発展や社会的課題の解決につなげていくなど、海洋分野においても Society 5.0 の実現に向けた研究開発がより一層重要になってきている。

国際的な状況についてみると、2015 年９月の国連総会で採択された「持続可能な開発目標（SDGs)」では、17 の目標の一つとして、持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用すること（SDG14）が盛り込まれ、2017 年７月の国連総会で目標の達成指標が採択された。また、SDGs の目標を達成するために、同年 12 月の国連総会で「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年（2021-2030)」が決議され、政府間海洋学委員会（IOC：Intergovernmental Oceanographic Commission）の主導の下、2021 年までの３年間で活動準備や実施内容の検討が行われる予定であり、我が国としてもこれに貢献することが求められている。

さらに、2016 年５月のＧ７科学技術大臣会合（つくばコミュニケ）では、科学的根拠に基づく海洋及び海洋資源の管理、保全及び持続可能な利用に向けて、地球規模の海洋観測の強化、海洋アセスメントのシステムの強化、オープンサイエンスの推進やグローバルなデータ共有インフラの向上など国際協力を強化することを合意するとともに、Ｇ７伊勢志摩サミット首脳宣言（2016 年５月）でも、海洋プラスチックごみへの対処を再認識するとともに、科学的知見に基づく海洋資源の管理、保全及び持続可能な利用のため、国際的な海洋の観測及び評価を強化するための科学的取組を支持することが盛り込まれたところである。

また、国際社会における北極域の重要性に鑑み、2016 年９月に第１回北極科学大臣会合が開催され、北極の急速な変化への対応のため、北極の科学観測、観測データ共有及び研究に関する国際協力の構築・強化が重要であることを参加国で合意した。2018 年 10 月には第２回会合が開催され、北極における観測網の強化・統合・維持や北極の変化の地域的・全球的ダイナミクスの理解に係る国際協力の強化等に関する共同声明が取りまとめられた。2020 年の第３回会合はアジア初となる日本開催が予定されている。

３．海洋科学技術の現状と課題

これまで我が国は、海洋科学技術が、地球環境問題をはじめ、災害への対応を含めた安全・安心の確保、資源開発といった我が国が直面する課題と密接に関連することを踏まえ、関係省庁や研究機関、産業界等と連携を図りながら、海洋科学技術分野の調査観測及び研究開発を推進してきた。

しかしながら、面積３億6,000万㎢に及び、約77%が水深3,000m以上の深海である海洋は、その広大さとアクセスの困難さ複雑さゆえ、今なお人類に残されたフロンティアであり、海洋環境や生態系の状況把握や変動予測のため、あるいは、海域で発生する地震等の自然災害への対応のために不可欠な科学的知見がいまだ不足している。

このため、海洋に関する様々な観測や研究開発、必要となる基盤技術の開発など、海洋科学技術の推進がますます重要となっている。とりわけ、デジタル革命が深化していく中、海洋調査・観測により得られた膨大な海洋情報（海洋ビッグデータ）を高度な数理解析手法を用いて統合・解析することにより、海洋・地球・生命間の複雑なメカニズムや相互関連性等を発見・解明し、人類共通の地球規模課題や我が国が直面する経済的・社会的課題の解決につなげていくことが求められている。また、これらの膨大な海洋情報を効率的に取得・統合し、解析していくためには、その基盤となるプラットフォーム等の研究基盤・研究システムの効率的・効果的な運用及び共用の在り方や、将来的な調査観測システムの在り方等についても、早急に検討する必要がある。

このような海洋科学技術を取り巻く最近の状況や国内外の政策動向を踏まえ、海洋開発分科会では、次期科学技術基本計画において、

①持続可能な開発目標（SDGs）の達成

②膨大な海洋情報からの新たな価値創造（Society 5.0社会の実現）

③研究開発を支える研究基盤・研究システム及びプラットフォーム等の改革

の３項目について、今後重点的に取り組む必要があるテーマとして議論することとした。

４．次期科学技術基本計画に盛り込むべき事項

（１）持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向けて

○人類、社会、海洋をとりまく状況は目まぐるしく変化している中、科学的根拠に基づく海洋及び海洋資源の持続可能な開発・利用が不可欠となっている。このためには、海洋環境の変化の実態を把握する必要があるが、今日、地球温暖化、生態系変動、海洋酸性化や海洋貧酸素化等、海洋に関わる現象が同時並行で発生するなど、複雑な様相を見せているにもかかわらず、これらを適切に解析・評価する手法や技術が確立されていないといった課題がある。

○北極域は、海氷の急速な減少をはじめ地球温暖化の影響が最も顕著に現れている地域であるにもかかわらず、その環境変化のメカニズムに関する科学的知見は不十分である。持続可能な社会の実現に向けて、北極域の急激な環境変化の実態把握と我が国を含む人間社会に与える影響の評価、気象気候予測の高度化・精緻化など

の先進的な研究開発に取り組むことが重要である。

○海洋生態系の構造と変動機構、特にレジリエンス（復元力、回復可能性）の理解も重要である。生態系にはどのようなレジリエンスがあるのかを明らかにし、その機能が回復可能な状態を維持することが求められており、環境の保全や修復に資する知見の蓄積と技術開発が必要である。

○また、海洋汚染問題、特に海洋プラスチックごみ問題への対策も急務となっている。世界経済フォーラムでは、2050 年にはプラスチック生産量が現在の約４倍になるという予測が発表されるなど、環境に大きな負荷をかけた従来の経済発展を早急に見直す必要性が指摘されている。

○一方、我が国の周辺海域には、多様な生物、鉱物、エネルギー資源等の海洋資源が存在すると考えられるものの、必ずしも実態や機能の解明が進んでいるわけではない。この中には人類社会において有用なものも存在し得ることから、これらを持続的に利用していくためにも、海洋生物資源の定量的把握とその機能の解明や、有望な海底資源の存在する海域や賦存量の把握を進める必要がある。

○このほか、我が国の周辺海域においては、大規模災害をもたらすおそれのある海溝型地震や海域火山活動の可能性が指摘されており、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び海域で発生する地震の長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分にそろっていない。今後は、調査観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が必要である。

これら諸課題に対する取組は、SDG14（海洋資源）のみならず、同 13（気候変動）、同 11（持続可能な都市）をはじめ、SDGs の多くの目標達成に貢献するものであり、引き続き全球規模及び重点海域での観測等を強化していくことによって、地球環境の保全と SDGs 等に貢献するための科学的知見の提供を目指すことが重要である。その際、海洋開発に関しては資源確保等の各国の権益に係わる面もあるが、海洋分野全体を見渡せば、海洋環境や生態系の問題など一国だけでは対応できない課題が多いため、国内外の民間資金の投入による社会実装の推進や国際的な協調・連携が重要と考えられる。

（２）膨大な海洋情報からの新たな価値創造に向けて（Society5.0 社会の実現に向けて）

人間の経済・社会活動が多岐にわたり、生態系と生物多様性の破壊、気候変動、海洋酸性化など、人間活動が地球システムの機能に大きな影響を及ぼすに至った今日において、持続可能な開発目標（SDGs）を実現していくためには、海洋の調査・観測等により収集される膨大な海洋情報を読み解き、海洋環境変化を把握し、気候変動や生態系へ与える影響等を解明することが不可欠である。近時の AI やデータ解析技術等の高度化は、非常に複雑なふるまいを示す地球システムを複雑なまま解析することを可能としており、地球システムと人間活動との相互関連性の発見・解明に貢献す

ることが期待されている。

第３期海洋基本計画でも、「海洋状況把握（MDA）」体制の確立等に係る項目が新たに追加され、多種多様な海洋ビッグデータを活用して新たな価値を創造し、経済発展や社会的課題の解決につなげていくことの重要性が盛り込まれたところである。

これら新たな価値創造を Society 5.0 社会の実現につなげていくためには、様々な分野の研究者・技術者や国内外の関連機関が連携・協力して、海洋・地球・生命に関する情報・データを効率的に収集、蓄積するとともに、高度化したデータ解析技術等を駆使してこれらのデータを整理、統合、解析して、ユーザーのニーズに対応した新たな付加価値情報として創生していくことが必要である。このために必要と考えられる課題は、以下のとおりである。

（データの取得）

○効率的にデータの取得・蓄積をしていくためには、取得されたデータが利用可能な形式になっているかという点が重要である。また、データ品質の確保や信頼性維持の観点からも、計測システムとしてのトータルな性能向上が必要である。

○これまで取得されつつもその場限りで破棄されてきたデータを蓄積し、安価かつ有効なデータセットとして活用するための仕組み作りが必要である。

（データの保管・管理）

○これまで取得されたデータがどのように管理されているか整理すること、また今後も増え続ける膨大な海洋情報について、適切に維持・管理する方法を検討することは民間における産業化促進の観点からも重要である。

○一方、データを格納するプラットフォームについては、データの保存・共有の機能のみならず、今後はデータの連結・統合・解析を効果的に行うことができ、また、利用者にとって使いやすいものにすべく、必要な検討を行うべきである。

○我が国は、信頼できるルールの下でのデータの自由な流通（DFFT[1]）を提唱しており、研究データや社会の多様なデータについても、DFFT の理念も踏まえた、データの取得・保管・利活用のルール作りが重要となる。研究データのシェアリングに当たっては、オープン・クローズ戦略[2]にも留意しつつ、「誰にどこまでデータを公開すべきか」というルール作りが必要である。

（データの利活用等）

○AI 等を用いて得られた膨大な量の海洋情報を解析していくと、これまでには見えなかったものが見えてくるはずである。これこそが MDA における Awareness に当たるものであることから、収集したデータを多様な観点から読み解く力も強化すべきである。

---

1 Data Free Flow with Trust：世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）（2019 年 1 月 23 日）において、安倍総理大臣が提唱した。

2 知的財産のうち、どの部分を秘匿又は特許などによる独占的排他権を実施（クローズ化）し、どの部分を他社に公開又はライセンスするか（オープン化）を、自社利益拡大のために検討・選択すること。

○数多くの海洋調査等を行ってきた我が国において、Society 5.0 社会の実現に向けて、今後どのような海洋産業を新たに発展させていくべきかということについて整理しておくことは、今後海洋科学技術分野における種々の取組を進めていく上での土台となり得る重要なことである。

（3）研究開発を支える研究基盤・研究システム及びプラットフォーム等の改革

上述の「持続可能な開発目標（SDGs）の達成」と「Society5.0 社会の実現」に向けた研究開発や各種方策の実行に当たっては、これらを支える研究システム・プラットフォーム等の改革が必須と考えられる。その中でも特に重要と考えられる課題は以下のとおりである。

○海洋の調査研究・開発にとって、各種データを取得するための海洋観測網や船舶等プラットフォームの強化が重要であることは言うまでもないが、財政事情が厳しい中、これらの持続可能で安定的な運用体制の構築が課題であり、無人省力化観測技術の高度化、船舶等プラットフォームの国内外における共用の在り方も含め、将来的な調査観測システムの在り方等の検討が必要である。

○現在、Internet of Laboratory[3]の実現が必要とされている中、海洋調査・観測においては、リアルタイムでの大容量のデータ通信を行えていない。特に、今後の外洋等の海洋調査・観測においては、無人省力化観測技術の向上が不可欠であり、廉価な大容量の通信インフラの構築及び利活用が必要である。

○海洋の調査研究・開発を支え得る人材の育成については、第３期海洋基本計画にもその重要性が明記されており、大学や国立研究開発法人、民間企業が連携してオールジャパンで取り組む必要がある。中でも、女性の海洋分野への進出については十分とは言い難く、より一層の取組が必要である。

○また、人材の育成を強化していく上では、国民の海洋に対する理解向上も重要である。四方を海に囲まれた我が国において、他国と協調しつつ、国際競争力をより一層高めていくためにも、国民の海洋リテラシーの普及促進に取り組んでいくことが必要である。

○我が国の技術発展のためには、民間への技術移転の観点からも、開発の段階から民間企業にも加わってもらい、開発した機器が優れた製品として広くスタンダードに使われるようになる仕組み作りが必要である。

3 種々の機器やデータ等がネットワークインフラでつながり、場所を問わずシームレスに研究活動を行える仕組みのこと。

第６期科学技術基本計画策定に向けた科学技術社会連携委員会における検討結果

令和元年 10 月 18 日
科学技術社会連携委員会

１．背景

（１）科学技術イノベーションと社会の関係の深化に向けた取組の推移

科学技術基本計画における科学技術イノベーションと社会の関係に関しては、科学技術に関する国民の*理解増進*（第１期：平成８年～）、科学技術と社会との間の*双方向のコミュニケーション*（第２期：平成１３年～）、研究者等と国民の*対話*（第３期：平成１８年～）、国民の*政策過程への参画*（第４期：平成２３年～）、様々なステークホルダーによる対話・協働による*共創*（第５期：平成２８年～）へとその関係の深化が提唱されてきた。

こうした関係深化に向けた取組によって、Society5.0 の実現、SDGs の達成や様々な社会課題の解決に寄与し、さらに科学技術の急速な進展に伴って生じる法制度の未整備や人々の価値観や順応性とのずれなど倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI：ethical, legal and social implications）への適切な対応を図ることで、科学技術イノベーションによる新たな価値の創造に貢献することが期待されてきた。

あわせて、近年の東日本大震災やそれに伴う原子力発電所事故、研究不正の発覚等は、科学技術と社会との関係を改めて見直す契機となった。

（２）海外における科学技術イノベーションと社会の相互作用の拡大

欧米では、ELSI を発展的に継承した概念として、科学技術の影響を共有することとなる市民に開かれた議論、研究者とステークホルダーの相互協働を行い、システムや制度の変更も視野に入れた「責任ある研究・イノベーション」（RRI：Responsible Research and Innovation）[1]が提唱され、これは EU における科学技術政策の基本計画である Horizon2020 にも取り込まれるに至った。更に欧州では、Horizon2020 に続く、Horizon Europe の検討の過程において、フロンティア研究の支援に係る「オープンサイエンス」、社会課題の解決に係る「グローバルチャレンジ・産業競争力」、市場創出の支援に係る「オープンイノベーション」の三つの柱が検討されており、RRI は、これらに引き継がれていると考えられる。また、研究者とステークホルダーの対話・協働の一つの具体例としては、フューチャーアースプロジェクト（FE：Future earth project）のようなトランスディシプリナリーリサーチ（Transdisciplinary research）が行われている。

令和元年 11 月にブダペストで開催された世界科学フォーラム（WORLD SCIENCE FORUM）においても、科学技術の倫理と責任について議論[2]されており、海外でも ELSI へ対応が、引き続き重要視されている。

---

[1] 科学技術イノベーション政策における社会との関係深化に向けて、2019、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
[2] https://worldscienceforum.org/programme

２．科学技術コミュニケーションについて

（１）科学技術コミュニケーションに係る取組の多層性

前述のとおり、これまでの科学技術基本計画が提唱する取組は、「理解増進」「双方向コミュニケーション」「対話」「政策過程への参画」「共創」へと推移してきたところである。

次期科学技術基本計画においては、科学技術イノベーションと社会との関係の深化に当たって、これらの取組を「共創」のみに着目する単線的な推移モデルと捉えるのではなく、理解増進、双方向コミュニケーション、対話、参画も含む五つの取組全体を俯瞰し、その中から研究開発内容の特性や周辺状況に適合する取組を的確に組み合わせて実施する多層的なモデルとして捉えるべきである。

（２）科学技術イノベーションと社会との関係深化に必要となる多層的な科学技術コミュニケーション機能の強化

科学技術イノベーションと社会との関係深化のためには、ジェンダー、文化、宗教などの社会の多様性及び地域住民や地方自治体、NPO（Non-Profit Organization）や NGO（Non-Governmental Organization)、中小・ベンチャーを始めとする企業などのステークホルダーの重要性を認識して科学技術コミュニケーションを多層的に進める必要がある。その上で、特に社会課題の解決に向けた多層的な科学技術コミュニケーションのためには、研究者を始めとした様々なステークホルダー同士をつなぐ科学技術等に関する知識の翻訳機能、中立的な立場で議論を収れんさせ、建設的な議論を進める対話・調整機能やコーディネーション機能を適宜強化していくことが望ましい。

このような、科学技術コミュニケーション機能の強化は、科学館、博物館等に限らず、企業、大学、公的研究機関の研究開発や国、地方自治体の政策形成の現場においても求められる。

そのための人材を育成するに当たっては、人文社会科学を含む広範な知識、社会貢献の意識、課題探索力、解決方策の構想力、立場の異なる人々をつなぐコミュニケーション能力の向上を重視した取組が求められる。

３．各ステークホルダーの取組について

多層的な科学技術コミュニケーションのためには、国民が、初等中等教育の段階から生涯を通じて、科学技術リテラシーを深めるための取組を推進する必要がある。その際、科学技術リテラシーの不可欠な要素として、科学技術のもたらす恩恵だけではなく、その限界や不確実性の理解が含まれることを認識しなければならない。

国民の科学技術リテラシーの醸成において、科学館、博物館等には理解増進や対話等の能動的な取組に加え、多層的な科学技術コミュニケーションの取組の強化が、メディアにはできる限り客観的な科学技術情報を多角的な視点から提供することが期待される。

研究者には、研究の公正を確保するとともに、社会リテラシーを向上させ、研究の内容やその成果が社会に及ぼす影響等に係る説明責任を果たすことにより、社会との信頼関係を

構築し、社会のための科学技術の共創に向けて戦略的に取り組むことが期待される。

４．ELSI に係る取組について

科学技術イノベーションには、Society5.0 の実現、SDGs の達成や様々な社会課題の解決に貢献することが期待されている。

一方で、AI の自動走行における事故発生時の責任の所在や、ゲノム編集技術のヒトや動物への適用範囲などに示されるように、科学技術の急速な進展に伴い、法制度の未整備、人々の価値観や順応性とのずれなど ELSI への対応が必要とされている。

このためには、科学技術との結びつきが強い社会課題だけでなく、広く様々な社会課題に対しても科学技術がどれだけ貢献できるかという視点で捉え直し、科学技術に新たな価値を生み出し、社会変革を促すようなソーシャル・イノベーション[3]を進める必要がある。

あわせて、これらの取組の推進に当たっては、科学技術イノベーションのみでは社会課題を解決できないという限界や、企業、大学、公的研究機関の研究開発におけるジェンダーなど多様性や社会との対話の重要性を認識する必要がある。

ELSI への対応とは、社会との調和、受容可能性を考慮することであり、科学技術イノベーションによる社会課題の解決において必要不可欠な取組であって、研究開発のブレーキと捉えるべきではない。こうしたことを踏まえた上で、特に社会の関心が高い社会実装を目指す科学技術プロジェクトにおいては、初期段階から、テクノロジーアセスメント（TA：Technology Assessment）、科学技術の進歩に的確に対応した法制度の整備、社会の科学技術リテラシーの向上の取組など ELSI に関する取組を並行的に進めるべきである。

また、上記取組を進めるに当たって、社会技術[4]や国際科学技術協力[5]に関するトランスディシプリナリーリサーチに係る取組も重要である。

このような科学技術イノベーションに係る ELSI の解決に当たっては、特に自然科学系の専門知識を一定程度備えつつ、人文・社会科学の知識を深めた文理融合人材を育成する取組が重要である。

５．政策形成における科学的知見の活用

Society5.0 の実現、SDGs の達成などに向けた政策形成において、科学的知見が果たす役割は、これまで以上に大きくなっており、近年の国際動向も踏まえ、科学的知見の活用の仕

---

[3] 谷本寛治・編著、「ソーシャル・エンタープライズ―社会的企業の台頭」, 2006, 中央経済社）によれば、ソーシャル・イノベーションは、「社会的課題の解決に必要とされる社会的商品やサービスの提供、あるいはその提供の仕組みの開発」と定義。

[4] 「社会技術の研究開発の進め方について」（平成 12 年 12 月「社会技術の研究開発の進め方に関する研究会」（座長：吉川弘之・日本学術会議会長＜当時＞）によれば、社会技術とは、「自然科学と人文・社会科学の複数領域の知見を統合して新たな社会システムを構築していくための技術であり、社会を直接の対象とし、社会において現在存在しあるいは将来起きることが予想される問題の解決を目指す技術」と定義。

[5] 国立研究開発法人科学技術振興機構における Future Earth に対する取組や、同機構と独立行政法人国際協力機構における地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）の取組がその例である。

組みと体制等の充実を引き続き図っていく必要がある。

そのためには、政策形成者は、科学技術リテラシー（特に科学技術の限界や不確実性の理解）を身につけるとともに、研究者が独立の立場から利害関係や政治的意図に左右されず科学的知見を提供できる環境を整備する必要がある。そこで提供された科学的知見は、政策形成過程において尊重されるべきものであるが、政策決定の唯一の判断根拠ではない。したがって、政策形成者が、科学的知見を提供する研究者のみに政策決定を委ね、その責任を負わせることは適切ではない。一方、科学的知見を提供する研究者は、科学的知見の質の確保に努めつつ、科学技術の限界や不確実性を明確に説明する責任ある対応などを通じて、社会からの信頼と理解を得る必要がある。

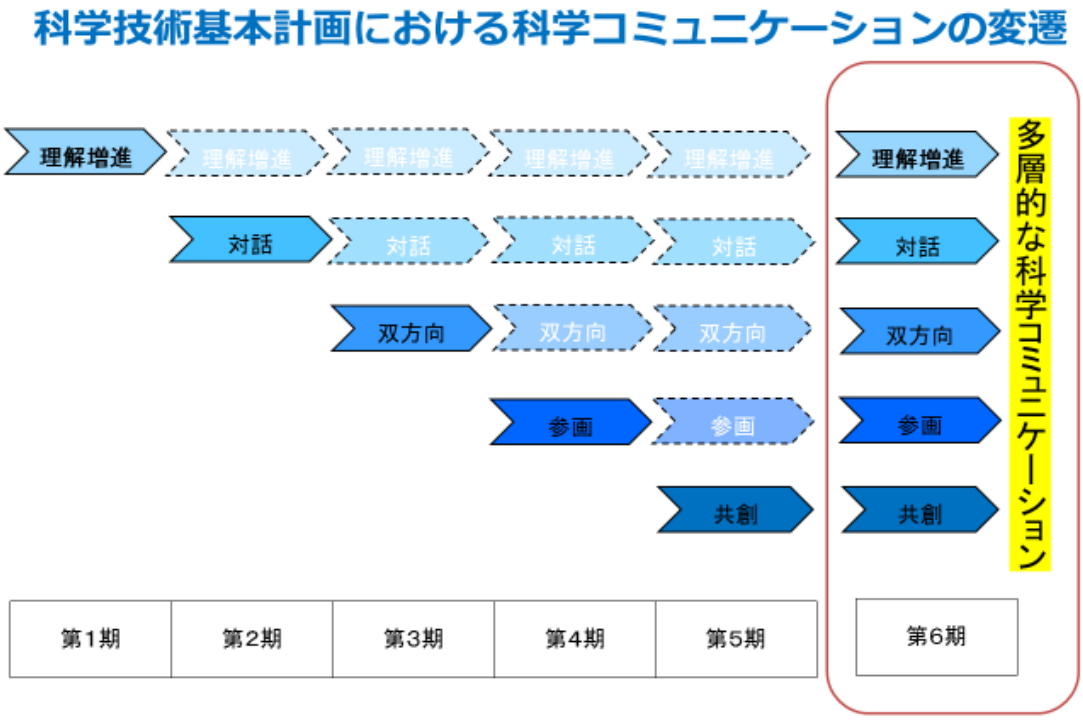
６．研究の公正性の確保

研究活動は、社会からの信頼と負託の上に成り立っており、研究者と社会の多様なステークホルダーの信頼関係の構築には、研究の公正性の確保が前提となる。研究不正行為に対する不断の対応が社会的な信頼や負託に応えることにつながり、ひいては科学技術イノベーションの推進力を向上させるものであることを強く認識しなければならない。

このため、研究者は、研究倫理を不断に意識し、自ら実践している研究倫理を後進に伝えること等を通じて、研究の公正かつ適正な実施に努めることが求められる。また、研究機関は、研究分野、職種、職責に応じた継続的な研究倫理教育、研究不正行為の疑惑に対する迅速かつ的確な調査、研究不正行為に対する原因究明及び再発防止、並びにこれらに必要な規程・体制の整備に引き続き努めなければならない。さらに、国及び資金配分機関は、研究不正行為の防止に必要な取組を推進するとともに、学術コミュニティと連携して、我が国の研究公正に係る取組を国際社会に対して積極的に発信しなければならない。

研究分野の細分化や専門性の複雑・多様化等の実態を踏まえると、研究の公正性の確保のためには、法令やガイドラインの遵守だけではなく、研究室や研究機関の垣根を越えて、自由闊達に議論が行われる研究環境を創ることが重要である。研究活動について様々な角度から科学的に検証し、周囲と気軽に相談できる機会を現場レベルで持つことが、信頼できる研究成果へとつながる。科学に対する社会の期待の高まりや競争環境の激化に伴い、研究者に責務や負荷が加わることに配慮しつつ、研究者が研究活動に集中できる研究環境を構築することが求められる。

（参考）


科学技術基本計画における科学コミュニケーションの変遷
理解増進
理解増進
理解増進
理解増進
理解増進
理解増進
対話
対話
対話
対話
対話
双方向
双方向
双方向
双方向
参画
参画
参画
共創
共創
多層的な科学コミュニケーション
第1期
第2期
第3期
第4期
第5期
第6期