

ナノテクノロジー・材料科学技術分野の推進方策について（案）

令和6年8月

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
第12期 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

目次

1. はじめに.....	1
2.	4
(1) データ駆動型研究開発の促進（マテリアル DX プラットフォームの推進）.....	4
(2) マテリアル分野において今後振興すべき領域.....	11
(3) 研究開発力の強化.....	20
3. まとめ.....	25

1. はじめに

現在、世界が直面している様々な社会課題・産業課題を解決するためには、エレクトロニクス、モビリティ、ライフサイエンス、環境・エネルギー等の幅広い分野からのアプローチが必要である。AI、バイオ、量子技術、半導体、電池といった重要先端技術分野の発展には、我が国が得意とする、シリコンや光ファイバーの製造技術といった、マテリアル分野の技術開発の寄与が極めて大きい。マテリアルは、横断的な基盤技術であり、その革新は、幅広い分野に飛躍的な進展をもたらす。すなわち、マテリアル分野の研究開発力は我が国の研究開発力及び産業競争力の根幹を支えるものであり、国際競争力の源泉と言える。そして、ナノテクノロジー・材料科学は、マテリアルの機能・性能を原子・分子からナノレベルで設計・制御するなど、革新的なマテリアルの創出において不可欠である。

我が国には、ノーベル賞受賞にもつながった革新的なマテリアルを多数創出してきた実績がある。これまでの我が国の自然科学系のノーベル賞受賞のうち、約半数がマテリアル関連研究での受賞である。しかしながら、近年は、他の多くの科学技術分野と同様に、論文数の国際シェアの低下¹や、学会員数の減少²等、我が国の研究力低下が指摘されて久しい。

我が国のマテリアル産業は、経済社会を支える基盤をなすとともに、世界市場で非常に高いシェアを獲得する品目が多数存在するなど高い国際競争力を有しており³、我が国の産業全体において重要な位置を占める基幹産業である。一方で近年、新興国の急速な

¹ JST 研究開発戦略センター（CRDS）の「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2024）」における「ナノテクノロジー・材料分野の論文数の国別推移」によると、2011 年から 2021 年にかけて中国が論文の量・質（上位 10%論文数）ともに大きく増加させた一方、我が国では若干の減少傾向にあり、相対的な競争力の低下が示されている。

² CRDS の「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2024）」によると、2007 年から 2022 年にかけて、日本化学会会員数は約 30%、日本物理学会会員は約 18%低下するなど、マテリアル分野における学会員数は減少傾向にある。

³ 新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成 30 年度日系企業のモノ、サービス及びソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果によると、我が国のマテリアル産業が世界シェア 60%を超える多数のマテリアルを有していることが示されている。

追い上げ等を背景に、我が国の相対的な競争力の低下が指摘されている⁴。また、我が国発の MATERIAL であっても、社会実装において他国の後塵を拝してしまうことが多く、迅速な社会実装が課題とされてきた⁵。加えて、国際情勢の不安定化や世界的な感染症拡大を背景としたサプライチェーンの強靱化⁶や製造プロセスの転換等が求められている。

政府は、MATERIAL・イノベーションを創出する力としての「MATERIAL革新力」を高めることにより、「経済発展と社会課題解決が両立した、持続可能な社会への転換に、世界の先頭に立って取り組み、世界に貢献すること」を目指し、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月閣議決定）や「MATERIAL革新力強化戦略」（令和3年4月統合イノベーション戦略推進会議決定）を策定した。我が国の MATERIAL・イノベーションに向けて、データ駆動型研究開発の促進と物事の本質の追及による新たな価値の創出が必須として、「革新的 MATERIALの開発と迅速な社会実装」、「MATERIALデータと製造技術を活用したデータ駆動型研究開発の促進」、「国際競争力の持続的強化」を柱として取組を進めてきた。本戦略に沿って、文部科学省においては、革新的 MATERIALの迅速な創出を図るためのデータ駆動型研究開発の促進に向けた MATERIALDXプラットフォーム構想⁷を立ち上げるなど、ナノテクノロジー・材料科学技術分野の取組を推進してきた。

これらの取組を開始して約3年が経過したが、この間、国際情勢の不安定化等を背景とした、希少資源の確保や重要物資の安定的な供給の確保等、経済安全保障の重要性は

⁴ CRDS の「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2024）」によると、MATERIAL分野と関連性の高いミディウムハイテクノロジー産業の貿易収支比は主要国の中で第一位であるが、1990年代中頃を境に減少傾向が続いている。

⁵ 内閣府による「MATERIAL革新力強化戦略（2021年4月）」において、開発された MATERIALが社会実装に至らない事例が多いことが指摘されており、「MATERIAL革新力強化に向けた基本方針」として「産学官共創による迅速な社会実装」が掲げられている。

⁶ 2022年4月、経済産業省、「新・素材産業ビジョン（中間整理）」において、地政学的リスクも踏まえたサプライチェーンの強靱化や2050年カーボンニュートラルに向けた生産プロセスの転換の必要性が示されている。

⁷ MATERIAL先端リサーチインフラ（ARIM）、データ創出・活用型 MATERIAL研究開発プロジェクト（DxMT）、NIMS データ中核拠点が一体となり、大規模な材料データを創出・蓄積し、その共用・利活用環境を構築することで、データ駆動型研究開発環境を全国の研究者へ提供し、我が国の材料研究を加速することを目指したプラットフォーム構想

更に高まり、また、カーボンニュートラルやネイチャーポジティブに向けた国際的な環境規制等の動きも強まっている。

また、AI 技術、量子コンピュータを始めとした量子技術、ダイナミクス計測や構造解析などの計測・分析技術等の技術の進展も目覚ましく、特に、マテリアルズ・インフォマティクスの進展により、機械学習とロボット技術の融合による実験の自律化・自動化など、従来とは全く異なる新材料創出のアプローチが提案されつつある。さらに、急速な進展が目覚ましい生成 AI は、研究開発手法を更に刷新する可能性を秘めている。

マテリアルの革新に対する要求・期待は更に高まる一方、研究開発、産業の両面において新興国の追い上げは激しく、長らく我が国の強みとされてきたマテリアル分野においても、我が国の存在感の低下傾向の継続が否定できない。特に研究現場において、研究人材⁸や研究時間の不足⁹は深刻であり、技術・ノウハウの継承も困難になりつつある。マテリアルの革新に対する要求と研究開発の現状とのギャップを埋める方策の検討が急務である。

マテリアル革新力強化戦略に基づき進めてきたこれまでの取組の重要性を改めて認識し、継続して発展させるとともに、我が国の強みを生かしつつ、積極的に新しい研究方法を取り入れ、革新的なマテリアルを持続的に創出するための新たな取組の検討が必要である。マテリアル分野の研究開発は大きな変革期に直面していることを認識し、これまでの取組を総括するとともに、今後のナノテクノロジー・材料科学技術の推進方策について検討した。

⁸ 文部科学省科学技術・学術政策研究所、科学技術指標 2023、調査資料-328、2023 年 8 月 によると、マテリアルと関連の深い理学・工学分野における、修士課程修了後に博士課程に進学する学生の人数は、2004 年をピークに、2023 年までの間に約 32%低下している。また、文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術の状況に係る総合的意識調査（NISTEP 定点調査 2023）、NISTEP REPORT No. 201、2024 年 5 月 において、「Q105：望ましい能力をもち博士後期課程を目指す人材の数は、十分だと思いますか。」の質問に対して、多くの属性において著しく不十分との認識が示されている。

⁹ 文部科学省「令和 5 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」によると、大学等教員の職務活動時間割合の推移において、研究時間の割合が、平成 14 年の 46.5%から令和 5 年には 32.1%まで低下したことが示されている。また、文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術の状況に係る総合的意識調査（NISTEP 定点調査 2023）、NISTEP REPORT No. 201、2024 年 5 月 において、大学教員の約 8 割が研究時間の不足を認識していることが示されている。

2.

(1) データ駆動型研究開発の促進（マテリアル DX プラットフォームの推進）

【現状認識】

マテリアル分野におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）は、試行錯誤・経験を活かした従来の研究手法に計算科学やデータサイエンスを融合することにより、単に研究開発の効率化や高速化のみをもたらすものでなく、従来の材料科学の在り方や考え方を根本的に変え得るものと認識されつつある。我が国が今後マテリアル分野での国際競争力を維持・強化するために必須であり、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブ等、経済発展と社会課題解決が両立した持続可能な社会の実現に資する、革新的機能を有するマテリアルを創出する手法として期待されるとともに、製造プロセスにおける省エネルギー化や低環境負荷化などの効果も期待されている。マテリアル分野に限らず、研究DXの推進はいまや不可欠である。マテリアルへの社会的・技術的要求の高まり、研究人材の不足等、マテリアル分野をとりまく状況に対応するため、本分野のDXは引き続き強力に推進する必要がある。

文部科学省においては、「マテリアル革新力強化戦略」に基づき、令和3年度から、データ駆動型研究開発の促進を目的としたマテリアルDXプラットフォームの整備を開始した。マテリアルDXプラットフォームは、主にマテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）、データ創出・活用型マテリアル研究開発プログラム（DxMT）、物質・材料研究機構（NIMS）のデータ中核拠点の3事業を中心に構成されている。

ARIMでは、前身事業から実施してきた先端設備の共用に加え、データ共用のための取組が新たに追加された¹⁰。ハブとスポークを合わせ25機関からなり、1,000台を超える共用設備を有し、ユーザー数は5,000人/年以上と産学において幅広く利用されており、我が国の

¹⁰ 2021年度からスタートしたマテリアル先端リサーチインフラ事業（ARIM）では、2012年度から10年にわたり実施してきたナノテクノロジープラットフォーム事業（更にその前身事業を含む）での「最先端装置の共用」、「高度専門技術者による技術支援」に加え、装置利用に伴い創出されるマテリアルデータを全国に提供する取組みを開始。

マテリアル研究開発を支える不可欠なインフラとして機能している。共用設備から創出されるマテリアルデータは、NIMSのデータ蓄積・構造化システム「RDE」¹¹に集約され、全国の研究者に共用される仕組みとなっている。令和5年2月に、RDEへのARIMデータの登録が開始され、令和5年12月に、データ利活用に係る試験運用を開始した。令和7年度のデータ利活用の本格運用に向け、データセットの整備や体制の充実、利用の拡大に取り組んでいる。

DxMTでは、これまでの試行・経験型の研究開発にデータ科学を取り入れたデータ駆動型研究開発手法の確立を目指しており、我が国において産業競争力が高く未来社会の実現に重要な役割を担う4つの社会像（カーボンニュートラルの実現、Society 5.0の達成、レジリエンス国家の実現、Well-Being社会）を定め、その実現に向けて英知を結集した5つの拠点（「極限環境対応構造材料」や「バイオアダプティブ材料」、「エレクトロニクス材料」、「電気化学材料」、「磁性材料」）で研究が行われている。各分野におけるデータ駆動型研究開発手法の開発や、RDEへデータを登録するためのテンプレート化が進行し、これまでも、AIが研究者の「気付き」を誘導することによる電気化学の新たなサイエンスの創出¹²や耐熱材料の一見奇抜な熱処理方法の発見¹³、さらには、ハイスループット材料探索による優れた新規磁石化合物の発見¹⁴など、新材料開発に向けた世界トップレベルの成果が上がっている。共用利用・異分野連携に向けたデータ登録を開始し、また、人材育成セミナーやシンポジウムの開催を通じ、データ駆動型研究開発手法の全国への展開・普及にも取り組んでいる。DxMTには、旗艦的研究事例として、データ駆動型研究開発手法を

¹¹ 2023年1月17日、NIMS プレスリリース、「材料データプラットフォーム「DICE」のデータ収集・蓄積機能を大幅強化」においてリリースが発表された、日々実験室で生まれる研究データをオンラインで迅速に登録するための、データ蓄積・共用サービス。登録されたデータは、自動的に再利用可能な形に構造化するための各種処理が施され、データ駆動型研究開発に適した形で蓄積される。

¹² 2024年2月20日、東京大学プレスリリース、「電気化学における100年来の未解決問題に答え ―固体と液体を繋ぐ新理論の構築―」、Nature Communications 誌に掲載

¹³ 2023年9月25日、NIMS プレスリリース、「AIと材料研究者のコラボで耐熱材料を強くする ～AIの一見奇抜な「手」から納得の熱処理法を考案～」、Scientific Reports 誌に掲載

¹⁴ 2024年5月27日、NIMS プレスリリース、「磁気物性値が高い省レアアース新規磁石化合物の合成に成功」、Acta Materialia 誌に掲載

用いた世界トップレベルの成果を創出するとともに、その手法を全国に展開することにより、我が国のデータ駆動型研究開発を先導することが期待されている。

データ中核拠点であるNIMSでは、NIMSが有する世界最大級のデータベース¹⁵やARIM及びDxMTで創出されたデータを一元的に集約・蓄積・利活用するためのシステム構築（RDE）を進めている。画一されたデータ管理手法でデータ取得からデータベース化を一元的に行う取組は世界にも類を見ない。また、データ駆動型研究の統合的なプラットフォームを目指し、AI解析基盤ソフトである「pinax」の開発や、戦略的イノベーション創造事業（SIP）第1～2期に開発されたマテリアルインテグレーションシステム「MInt」の継続的な高度化に取り組んでいる¹⁶。「MInt」は性能から材料・プロセスをデザインする先進的なシステムであり、世界的に先行する取り組みである¹⁷。

国外でもマテリアル分野におけるデータ駆動型研究開発はますます活発になっており、政府・公的機関・民間主導の研究開発プロジェクトの下、材料に関するデータ基盤の整備が進んでいる。米国においては、2011年に「Materials Genome Initiative（MGI）」¹⁸を発表し、さらに2021年11月に発表された「MGI Strategic Plan 2021」¹⁹では（1）材料イノベーション基盤（MII：Materials Innovation Infrastructure）を統合すること、（2）材料データの力を活用すること、（3）材料研究開発の労働力について教育と訓練を

¹⁵ 金属信頼性データベース・KINZOKUは海外に比して圧倒的なリファレンスデータを収録。無機結晶と高分子に関して世界最大の論文抽出データベース（Atomwork Adv.、PolyInfo）を保有。研究データについてはRDEが圧倒的なデータ数を保有。一方で計算データについては米欧が先行。

¹⁶ NIMSでは、世界最大級の物質・材料データベース「MatNavi」、研究データを構造化し蓄積・共用できる「RDE」、材料に関する文献・データのリポジトリ「MDR」、AI機能を備えた解析システム「pinax」、産学官連携の統合型プラットフォーム「MInt」などのサービスを提供（NIMS材料データプラットフォームウェブサイトより）。

¹⁷ 2023年、出村雅彦、鉄と鋼、109、490-500、「マテリアルズインテグレーションの挑戦」において、Mintシステムは専門家の知恵をモジュールとワークフローの形で蓄積することを特徴とした、いわばアカデミアの集合知をデジタル化したシステムであり、産学連携プラットフォームとして機能するようにデザインされていることが、レビューとして述べられている。

¹⁸ オバマ政権の主導で開始した国家プロジェクトであり、2011年6月に公表された「Materials Genome Initiative for Global Competitiveness」において、先端材料の発見から実用化の迅速化・低コスト化を目指すことや、データ共用・利活用の重要性が述べられている。

¹⁹ 2021年10月、National Science and Technology Council、「MATERIALS GENOME INITIATIVE STRATEGIC PLAN」

行い繋げていくことの3つのゴールを掲げている。MGIで創出された計算データベースサイト「Materials Project²⁰」は無償で公開されており、当該サイトで提供される物質データや分析アプリケーションは世界の材料分野や情報分野の研究者に利用されている。欧州においても、2024年2月に「Communication on Advanced Materials for Industrial Leadership（先端材料に関するコミュニケーション（指針））」²¹を発表し、「European digital infrastructure for advanced materials R&I（先端材料の開発の加速に向けた欧州デジタル基盤）」の構築を掲げており、データインフラ間の相互運用と利活用の動きが加速する見込みである。

加えて、従来のデータ蓄積・管理・活用のみならず、生成AIによる新物質探索に代表されるようなデータ活用に関する技術的発展が目覚ましい。データやAIとロボティクスを組み合わせた自動・自律実験の成果も次々に報告されている。自動・自律実験の導入は、人力では困難な膨大な数の条件での高速な実験や、人間の認知限界・バイアスを越えた仮説探索・検証を可能とするため、従来とは、量的のみならず、質的に異なる科学的発見を導き出す可能性も示唆されている。例えば、2023年にはGoogle DeepMindがAIを用いた材料探索により、約200万種の安定無機化合物を同定したとNatureに発表し²²、加えて米カリフォルニア大学バークレー校とローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)の自動・自律実験システムによって、この候補物質から41個の無機物質を合成したとNatureに発

²⁰ MGIの取組みの一部であるMaterials Projectは、計算データの作成、検証、配布、解析といった計算による材料設計プロセスをサポートするオープンアクセスのデータベースとして、2011年にマサチューセッツ工科大学とローレンス・バークレー国立研究所が共同で開始した。第一原理計算のデータを中心とした公開データは13年間継続的に増加し、現在では32万件を超える材料データを公開している。

参考：2013年、APL Materials Vol. 1「The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation」

²¹ 2024年2月、欧州委員会(EC)によって発表された「Communication on Advanced Materials for Industrial Leadership」において、先端材料を迅速に市場に出すための材料エコシステムを確立することを目的としていることが述べられている。この中で、「4. Fast track from lab to fab」では、先端材料のスケールアップと製造を加速するために、デジタル化を促進し実験設備へのアクセスを改善することを目指して、持続可能な欧州のデジタル基盤の構築を目標とすることが述べられている。

²² 2023年にNature誌に発表された論文(Nature 624, 80-85 (2023))において、GoogleのAI研究部門DeepMindとローレンス・バークレー国立研究所のチームは、彼らが開発したAIシステム「GNOME (Graph Networks for Materials Exploration)」を用いて材料探索を行ったことが報告されている。

表した²³。また、カナダのトロント大学を中心とした自動・自律実験の大型拠点である Acceleration Consortium には 2023 年から 7 年間、年間 2 億ドル（約 220 億円）の政府支援が決定され、約 100 名の研究者・技術者が活動を行っている²⁴。英国でも、リヴァプール大学の Materials Innovation Factory に対する大型投資が開始されている²⁵。

【課題】

マテリアルDXプラットフォームの目的は、データ駆動型研究開発を進めるための基盤整備にとどまらず、研究開発手法の刷新により我が国全体のマテリアル・イノベーションを創出する力を底上げすることによって、革新的な材料の創出による社会課題の解決等を加速することである。その目的を達成するためには、関係者がビジョンを共有し、構成する主な事業の部分最適に陥ることなく、分野を俯瞰する視点で事業間を連携し、周囲を巻き込み、マテリアルDXプラットフォーム全体を推進することが重要である。

また、我が国全体のマテリアル・イノベーションを創出する力を底上げするには、データ駆動型研究開発手法を全国の研究者に普及させるとともに、データ駆動型研究開発により創出された研究成果の社会実装を加速することが重要である。そのためには、DxMT等でデータ駆動型研究開発手法を確立するとともに旗艦的な研究成果を創出することに加え、成果の社会実装を加速するための取組を推進する必要がある。

また、プロジェクト参画研究者以外の全国の研究者へデータ駆動型研究開発を展開するためには、マテリアルズ・インフォマティクスに係る人材の育成が重要である。我が国ではデータサイエンスや計算科学と材料科学も分かる人材が不足していることが指摘され

²³ Szymanski N.J., Rendy B., Fei Y. et al. An autonomous laboratory for the accelerated synthesis of novel materials. Nature 624, 86-91 (2023).

²⁴ 2023 年 4 月 28 日、U of T News、「U of T receives \$200-million grant to support Acceleration Consortium's 'self-driving labs' research」

²⁵ 2018 年 10 月 5 日、University of Liverpool News、「Materials Innovation Factory officially opened by President of the Royal Society」において、8100 万ポンドを投じた Material Innovation Factory が、リヴァプール大とユニリーバの共同で開設したことが報じられている。世界で最もオートメーションロボを集めた施設の 1 つであることが紹介されている。

ている²⁶。人材育成セミナーや成果シンポジウム等の開催に加え、データ駆動型研究開発手法を導入する上での心理的・技術的な障壁を無くす仕掛けの検討が必要である。

マテリアル DX プラットフォームの推進にあたり、データ利活用のみに着目しがちであるが、基礎・基盤研究や人材育成の基盤であり、高品質かつ大量のデータを創出する基盤である先端共用設備の充実が極めて重要である。量子技術や次世代半導体等の先端技術に対する社会的要請も踏まえつつ、進化するユーザーニーズに応えられるよう、戦略的に先端共用設備やシステムの整備・高度化を継続することが必要である。

また、データ駆動型研究開発の手法は進化途上であり、情報分野等材料分野以外の研究者の参画による進展が期待される。特に LLM や生成 AI の急激な進展等を踏まえ情報分野の研究者の参画を促進するためには、開発したアルゴリズムを実践することが可能なオープンな共通基盤データや利便性の優れたシステムが整備されていることが必要である。そのためには、大量のデータを蓄積するための、データ提供者へのインセンティブの検討やデータ共用の文化の醸成などが必要である。

さらに、研究人材や研究時間の不足を補いつつ、研究活動を維持・発展させるため、また、我が国の強みである高品質なマテリアルデータを大規模に創出・活用するためにも、自律・自動実験や、生成 AI・量子技術の活用など最新の研究開発手法を取り入れることは不可欠である。一方で、自動・自律実験の導入の加速については、設備投資など多額の初期投資がかかるほか、ロボティクス、データサイエンティスト、システムインテグレーションなどの専門分野の横断的なチームが必要となるため、我が国の研究開発現場での導入・活用が進まない現状がある。

【具体的な取組】

○マテリアル DX プラットフォームの継続と発展のための推進体制の構築

²⁶ JST 研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 論文・特許データから見る研究開発動向（2024 年）」によると、論文著者数から見たデータ駆動型物質・材料開発領域の研究者数において、日本は米国の約 1/4、中国の約 1/5 であることが示されている。

国内外動向を踏まえ、マテリアル革新力強化戦略に基づき進めてきたマテリアルDXプラットフォームの取組の重要性を改めて認識し、引き続き強力に推進・発展させることが必要である。

今後は特に各事業が部分最適に陥らず、また、マテリアル分野全体を俯瞰して推進するため、例えば、本委員会が、マテリアルDXプラットフォームを構成する主な事業のPD・P0と連携した体制を構築することが必要である。その際、すでに各事業において、これまで様々な取組を実施してきたことを踏まえ、各事業への十分な理解と実態を把握したマネジメントが求められることに留意する。

その上で、マテリアルDXプラットフォームを構成する主な事業においては、令和7年度のデータ利活用に係る本格運用の開始に向けて、事業間の連携を含む課題を抽出し、具体的な対処方針をまとめ、迅速に実践することが期待される。例えば、データ駆動型研究開発に取り組む研究者やデータコーディネータ等のデータ利活用人材の育成・確保、先端設備の利用支援を行う高度専門人材の育成・確保、データ登録及び利活用へのインセンティブ検討や情報分野の研究者の参画促進も想定した、ユーザビリティに優れた利用環境等のデータ基盤の持続性・使い勝手の向上、分野を越えたデータを利活用に向けたデータ記述方法の検討や、オープン&クローズド戦略を含めたデータの有効的な利活用を促すためのデータ利活用ポリシーやセキュリティ確保等に、国際的な動向も考慮しつつ取り組むことが期待される。

○データ駆動型研究開発の全国展開に向けた取組

DxMTは、令和7年度からデータ駆動型研究開発による新材料・新手法の成果創出フェーズへ移行する予定である。データ駆動型研究開発手法の確立及び旗艦的な成果の創出にむけて、大規模なデータの創出、解析ツールの開発を行うとともに、創出された成果の社会実装を加速するために、協働可能な領域での産学コンソーシアムを形成するなど、社会実装に向けた課題抽出とその解決に取り組むことが期待される。

データ駆動型研究開発手法の全国展開に向けては、旗艦的な成果を広く発信するとともに、マテリアルズ・インフォマティクスに係る人材の育成に取り組むことが不可欠である。従来の人材育成セミナー等の継続に加え、データサイエンス等の情報分野と材料分野の研究者交流やマッチングなど、協働促進に向けた仕組み作りが必要である。人材育成にあた

ってはキャリアパスの形成も重要であり、産業界を巻き込んだ取組を検討することが必要である。

○先端共用設備の整備・高度化に向けた取組

基礎・基盤研究や社会的要請の高い研究開発を支えるとともに、我が国の強みである高品質なマテリアルデータを生み出す基盤として、進化するユーザーニーズに沿った、ARIMの先端共用設備の整備・高度化や高度専門人材による共用設備の利用支援の強化が期待される。

○マテリアル DX プラットフォームの更なる発展に向けた取組

データ駆動型研究開発による革新的なマテリアルの創出に向けて、マテリアル DX プラットフォームの更なる発展が必要である。例えば、我が国の強みである高品質な材料データを大規模に創出する自動・自律実験環境の整備や、生成 AI・量子技術の活用などの新しい研究開発手法の導入が不可欠である。データ駆動型研究開発の手法は進化途上であり、情報分野等材料分野以外の研究者を巻き込んだ取組が重要である。

研究人材や研究時間の不足に対応しつつ、マテリアル分野の研究開発を発展させるためにも、自動・自律実験の導入の加速は今後不可欠である。海外の大型プロジェクトが先行している印象があるが、実験プロセスの自律化や外挿領域での材料探索はいまだ発展途上と考えられる。オープンな共通基盤データの蓄積を加速するとともに、我が国の強みである質の高いデータ（質の高いマテリアルと質の高いマテリアルから生み出されるデータ）を活用することによって、高精度な自律実験による、人間の認知バイアスを越えた領域での発見が生まれることが期待される。我が国の強みを見極めた、具体的な取組を引き続き検討する必要がある。

（２）マテリアル分野において今後振興すべき領域

【現状認識】

地球温暖化はその影響の規模や影響の及ぶ期間などから、地球環境問題の中でも最も喫緊な課題であり、地球温暖化の科学的事実と対策の必要性は、世界的な共通認識になって

いる²⁷。また、マイクロプラスチック²⁸や有機フッ素化合物PFAS²⁹に代表されるように、海洋、土壌などの地球環境中に拡散・蓄積し、生態系や人の健康に悪影響を及ぼす可能性があるマテリアルが国際社会の大きな懸念事項の一つになっている。このように、現代文明の発展を支えてきた科学技術・マテリアル分野においても、SDGsなど人類的課題に対する社会の価値観の変革を背景に、「発展性」「豊かさ」だけではなく、「持続性」「強靱性（レジリエンス）」などの諸概念が重要視されるようになっている。産業界でも環境対策を構造転換と成長に繋げる機運が高まっており、環境負荷低減を可能とする資源循環システムの自律化・強靱化が求められている³⁰。

デジタルトランスフォーメーション（DX）は持続可能な社会を構築するための重要な手段の一つと考えられている半面、DXの進展によって世界中で増え続けるデータ量が、環境負荷を増大させてしまう課題も指摘されている³¹。DXと低環境負荷の両立の観点でもICT機器の高性能・低消費電力化や電力需要における再生可能エネルギー比率の拡大や省エネ技術開発が重要視されている。これらの課題克服においても、マテリアル分野の技術革新の寄与は大きい。

また、国際情勢の不安定化や社会経済構造の変化等から、経済安全保障の重要性が急速に増大する中、自国や同志国・地域内において半導体や電池等の重要物資を確保する動きが加速している。特定国への依存度の高い資源の使用量削減、新供給国探索、代替の検討が進んでおり、マテリアル・サプライチェーンの変革が起こっている。そこで、各国では

²⁷ 2023 年、環境省、令和 5 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書 要約

²⁸ 2019 年、環境省、中央環境審議会水環境部会（第 46 回）資料、「海洋プラスチックごみ問題の動向及び対策について」

²⁹ 2023 年 7 月、環境省、PFAS に対する総合戦略検討専門家会議、「PFAS に関する今後の方向性、参考資料」

³⁰ 2023 年 3 月 31 日、経済産業省、「成長志向型の資源自律経済戦略」

³¹ 2023 年 1 月、McKinsey & Company, Inc. により報告された「Investing in the rising data center economy」によると、データセンターによる電力消費量は、2022 年から 2030 年の間、年率約 10%で増加すると見積もられている。

将来の技術優位性を確保するため、量子や先端半導体、次世代電池、水素等の先端技術に積極的な投資が行われている³²。

米国は、2022年にCHIPS・科学法³³により、半導体製造基盤の成長とマイクロエレクトロニクスの研究開発のため、520億ドル以上の予算を計上した。続く2024年3月に発表された「マイクロエレクトロニクス研究に関する国家戦略」（OSTP）では、今後5年間に取り組むべき4つの目標を設定しており、具体的な項目として、「新機能や機能強化をもたらす材料の研究開発の加速」や「プロセスと計測技術の開発」などが掲げられている³⁴。

欧州の「Communication on Advanced Materials for Industrial Leadership（先端材料に関するコミュニケーション（指針））」³⁵は先端材料における欧州の産業リーダーシップ確保のための包括的な戦略であり、5本柱の取組（①レジリエンスと開かれた戦略的自律性の確立に向けた先端材料研究開発（4つの重点領域：エネルギー、モビリティ、建築・建設、エレクトロニクス）、②基礎研究（lab）から産業（fab）への迅速な展開、③設備投資と資金アクセス拡大、④先端材料の製造と使用の促進、⑤包括的なガバナンス体制の構築）を掲げ、先端材料開発、実装能力への支援を通じて欧州の長期的な競争力向上を図るとしている。

我が国でも、エネルギー・環境、情報・通信、半導体、電池、AI、量子、ロボット、バイオ等の経済安全保障への貢献が期待される分野を強化する必要性が拡大し、それらの分野の共通的な基盤技術となるマテリアルの新規開発・イノベーション創出が求められている。また、2050年カーボンニュートラル実現に向けて多面的な投資がなされるとともに、

³² 2023年3月、CRDS「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2023年）、世界の潮流と日本の位置づけ」

³³ 2021年1月、国防授權法の一部に含まれるかたちでCHIPS for America Actが成立し、国内半導体製造に対する連邦資金の付与が認められ、その後、2022年8月にCHIPS for America Actの補助金の枠組みに予算措置を講ずる法律として、CHIPS and Science Act（CHIPS・科学法）が成立。半導体企業による米国内への投資に補助金が支給されることとなった。

³⁴ 2024年3月15日、ホワイトハウス科学技術政策局（OSTP）国家科学技術会議国土安全保障委員会マイクロエレクトロニクス小委員会（Subcommittee on Microelectronics Leadership Committee on Homeland and National Security of the National Science and Technology Council）、「National Strategy on Microelectronics Research」

³⁵ 2024年2月、欧州委員会（European Commission）、「Communication on Advanced Materials for Industrial Leadership」

経済安全保障上の重点施策として設定されている半導体、量子、電池などに関する戦略も実行フェーズに入り、関連する政府研究

開発投資が実施されており、各戦略においても、革新的なマテリアルの創出は最重点項目の一つとして位置づけられている。

革新的なマテリアルの創出は、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブ等、経済発展と社会課題解決が両立した持続可能な社会の実現に不可欠であり、また、急速に重要性が増大している経済安全保障の確保にも直結するといっても過言ではない。マテリアル分野においても、他国に過度に依存することなく、国民生活および社会経済活動の基盤を強靱化する「戦略的自律性」と国際社会にとって我が国が不可欠となるような「戦略的不可欠性」の拡大がその重要性を増しており、マテリアル・サプライチェーンの変革等に対応していくためにも、我が国発の革新的なマテリアル創出に対する期待は大きい。

一方で、マテリアル分野の特性として、成果が得られるまでに長期間を要する継続的な研究開発が必要であることに加え、新しい材料が開発されても社会実装に至らない事例や、社会実装で他国の後塵を拝する事例もある。マテリアル産業の現在の輸出規模は以前と比べて縮小はしていないものの、世界市場に占める割合は、新興国の経済成長に伴い低下している³⁶。

我が国は、計測、分析、加工・合成技術について高い技術力を有している。これらの技術力は質の高い競争性のあるマテリアルの創出を支える基盤であり、我が国が強みを有するノウハウの塊である。計測、分析技術は、我が国には世界的装置メーカーが多数存在することからサポートを得られやすい環境が構築され、大規模研究施設や大規模研究拠点に限らず、中小規模の研究拠点においても良質な研究装置を維持・運用しており、マテリアル分野のボトムアップ型研究の開発力や多様なシーズの創出を支える源泉となってきた。加工、合成技術についても同様であり、材料の創出における新規プロセスや社会実装に至るマルチスケールなプロセスなど様々なプロセスを産学一体となり創出してきた。計測、

³⁶ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術指標 2023、調査資料-328、2023 年 8 月 によると、マテリアル分野と関連性の高いミディウムハイテクノロジー産業の貿易収支比は主要国の中で第一位であるが、1990 年代中頃を境に減少傾向が続いている。

分析、加工・合成技術等の基盤技術は、これまでも材料の研究開発とともに表裏一体で成長してきたものであり、近年、シミュレーション技術、リアルタイム・プロセス計測技術、ロボット技術等が進展してきている。例えば、オペランド・マルチモーダル計測は、触媒分野だけでなく、生きた細胞や組織などの生体試料から、半導体、蓄電池などの実デバイスにまで測定対象は急速な広がりを見せ、学术界と産業界の両方において不可欠な研究手法となりつつある。加えて、合成・製造プロセスは、対象ごとに手法が異なるため、通常、一般化が困難であり、またプロセスを制御するパラメータが非常に多いことから、最適化するのにも膨大な実験が必要であったが、データ科学的側面からアプローチすることにより、合成・製造プロセスにおける理解と効率化や最適化が可能となるような研究環境が整ってきている。

文部科学省は、令和元年度より、材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業（Materealize）により、ナノ材料と酸化物型全固体電池を対象に、プロセス上の課題を解決する学理・サイエンス基盤の構築に取り組んできた。プロセスに関する新たな理論体系が構築されつつあるとともに、プロジェクトで構築された体制が産学官からの相談先としても機能するなど、成果が着実に創出されている³⁷。例えば、機能性多孔材等に用いられるナノ材料を対象として、これを擬似分子として扱う「ナノ材料の化学工学熱力学」を体系的なサイエンスとして世界に先駆けて確立するとともに、この新たなコンセプトに基づく多様なプロセス—構造相関式を構築することで、ナノ材料における製造プロセスを最適化する設計基盤を構築し、化学工学便覧の一部として出版する準備が進められている。

また、マテリアル研究を支えるインフラとして先端設備の全国的な共用体制を整備する事業を平成14年度以降、20年以上に渡って実施してきており、令和3年度からは、ARIMIにおいてデータを収集・蓄積・利活用するための取組が進んでいる。また、令和6年4月より高輝度放射光施設ナノテラスが運用開始しており³⁸、SPRING-8、SACLA、J-PARCやスーパ

³⁷ 2023年8月、文部科学省第12期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会（第1回）「材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業（Materealize）概要説明」において、5年目のステージゲート時点までに累計126報の論文が発表されていること、累計223件の産学官からの相談を受けていることなどが示されている。

³⁸ 2024年4月1日、QSTプレスリリース、「3GeV 高輝度放射光施設ナノテラスが稼働—日本の競争力の強化に大きく貢献—」

ーコンピュータ「富岳」と同様に、今後の我が国のナノテクノロジー・材料分野の開発競争力の強化に繋がることが期待されている。

【課題】

社会課題の解決に向けては、半導体や電池等の各分野における短期的な出口を明確にしたマテリアルの研究開発が重要であると同時に、持続的に革新的なマテリアルを創出することが必要であり、そのためには、将来の成果につながる、長期を見据えた幅広く横断的な基礎・基盤研究の推進が不可欠である。社会実装までを見据えた、幅広く横断的な基礎・基盤研究については、我が国においては「元素戦略」の研究コンセプトのもと、2007年より開始された文部科学省「元素戦略プロジェクト〈産学官連携型〉」および経済産業省「希少金属代替材料開発プロジェクト」の府省連携施策を皮切りに、JST戦略的創造研究推進事業CREST「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出」（2010～2017年度）、さががけ「新物質科学と元素戦略」（2010～2016年度）、文部科学省「元素戦略プロジェクト〈研究拠点形成型〉」（2012～2021年度）」が進められ、重希土類を用いずに高温で高い保磁力を発現するネオジム磁石、希少元素を大幅に削減する排気ガス触媒、高性能なペロブスカイト発光ダイオードを実現する半導体材料、金属材料の強度に関する新たな指導原理、など多くの成果が創出された³⁹。アカデミアから産業界への橋渡しにより、社会実装につなげる成果を上げただけでなく、マテリアル分野横断的な共通的なコンセプトの下、シニアから若手まで重層的に研究開発が行われ、基礎・基盤研究の推進とコミュニティの育成にも寄与した⁴⁰。

基礎・基盤研究の推進にあたっては、研究や技術の進展により、近年新たに取り扱うことが可能となった様々な知見を横断的に活用することが重要である。例えば、これまで、原子・分子からマクロ構造までを俯瞰したマルチスケールに渡る階層的構造の設計や、ダイナミクスに基づき材料の機能を制御した材料開発を行うことは困難であったが、近年では、計測、分析技術やシミュレーション技術が発展し、従来取り扱うことが難しか

³⁹ 2022年2月3日・4日、文部科学省元素戦略プロジェクト第5回シンポジウム、アブストラクト

⁴⁰ 2022年11月24日、文部科学省、第11期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会（第8回）配布資料「元素戦略プロジェクト〈拠点形成型〉事後評価票」

った空間・時間スケールで材料をとらえ、材料の構造や機能を理解することが可能となった。また、経験や暗黙知に大きく依存していた物質の合成・加工プロセスに関する科学的な理解も進んできた。社会的要請の高い先端半導体をはじめとする種々の半導体デバイス・電子デバイスでは、原子サイズの領域に迫るナノサイズでの加工、制御、評価技術が必須となるなど、原子・分子、ナノレベルでの物質設計と機能制御は、世界が直面する重要な課題へ対処する上で不可欠な技術である。米国「2021年版国家ナノテクノロジー・イニシアチブ戦略計画」においても、「ナノテクノロジー」や「ナノサイエンス」の発展は医療、食糧、水、エネルギー等諸問題の解決に貢献するものとして、重要性が再確認されている。

また、自動・自律実験の導入をはじめとしたAI技術やロボティクスを活用し、人力では困難な膨大な数の条件での高速な実験や、人間の認知限界・バイアスを越えた仮説探索・検証等を行い、従来とは質的に異なる科学的アプローチに挑戦することも重要である。その際、従来とは異なる学術領域との連携・融合が不可欠である。カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブなど社会課題に対応したマテリアルやシステムの開発や導入の検討にあたっては、例えば、環境負荷や影響を定量的に把握し低減するための設計・評価・管理に関するライフサイクルアセスメント（LCA）、物質ストック・フロー分析（MFAs）、産業連関分析（IOA）、各種フットプリントやラベリング等、技術・システム・仕組みの導入による効果の予測を可能とするシミュレーションなど幅広い検討が必要になる。情報科学はもとより、経済・社会・政治・文化・倫理までもを含めた、幅広い分野との異分野・多分野連携を進める必要がある。

基礎・基盤研究の成果として新しく開発された材料を社会実装に繋げ、新しい市場を創出していくことが重要である。マテリアル分野においては、他分野と比較してアカデミアの成果が産業界において活用されてはいるものの⁴¹、橋渡し機能の強化等により新しく開発した材料が実用化に至る確率を上げるなど、社会実装を加速するための取組が必要である。社会実装の加速にあたっては、プロセスサイエンスの構築による製造プロセスの最適

⁴¹ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術指標 2023、調査資料-328、2023年8月によると、日本のパテントファミリーにおいて自国の論文を引用している割合は、理工系8分野の中で材料科学分野が2番目に高く、他分野に比べてアカデミアの成果が国内企業に活用される割合が高いことを示唆している。

化や新材料の製造プロセスの確立が有効である。Materealizeは、採択課題数が2件と少なく産学連携の窓口が限定的であったものの、プロセスサイエンスの構築や産学官からの相談先として機能するなどの成果を挙げている。現事業終了後の取組について検討する必要がある。また、スタートアップや大学・研究機関発ベンチャーの増加や基礎・基盤研究の成果を応用研究や実用化に繋げるための橋渡し機能の強化等の取組が有効である。

さらに、革新的マテリアルの開発や長期を見据えた基礎・基盤研究において、計測、分析、合成・加工等の先端設備は不可欠なインフラである一方、個々の研究室や研究者が常に先端設備を導入し維持・運用することは困難であり、機器の高価格化等もこの状況を加速している。ARIMにおいて、利用ニーズに沿った先端設備の整備・高度化や、高度支援人材による利用支援の充実に取り組み、先端設備の最適な運用を実現する環境を整備することにより、大規模な研究拠点への支援のみならず、多数の中小規模の研究活動を支援することで、マテリアル分野における研究開発力の裾野を維持・向上させることが重要である。

また、計測、分析、合成・加工技術は、材料研究開発を支える我が国の強みであり、新たな材料を創出する上で材料研究開発と表裏一体で発展してきた技術だが、電子顕微鏡などのマテリアル研究における重要な計測・分析機器が世界シェアを下げつつある。産学の研究者が協働で最先端機器の研究開発を進めることのできる環境が必要である。

【具体的な取組】

○革新的マテリアルの持続的創出に向けた取組

国際情勢や社会が目まぐるしく変化し、マテリアルに対する要請が多様化する昨今の状況においては、長期的な視野から、社会課題・産業課題の解決に貢献するマテリアルについての重要課題を明確に予測することは極めて困難である。加えて、様々な目的に利用できることがマテリアルの本質であることに鑑みると、長期的には基礎・基盤研究の成果が、当初は想定されていなかった社会課題・産業課題の解決につながることも大いに期待される。短期的な出口を明確にしたマテリアル研究を進めることのみならず、将来の成果につながるような、長期を見据えた幅広く横断的な基礎・基盤研究を、不断の努力で強力に推進することが必要である。

「ナノテクノロジー」の重要性を再認識し、これまで取り扱うことが難しかった空間・時間スケールでの材料の構造や、機能、経験や暗黙知に大きく依存していた物質の合成・

加工プロセス、自動・自律実験の導入をはじめとした AI 技術やロボティクスの活用等、これまでに得られた様々な知見を横断的に活用した、材料研究に横断的に共通して重要となる課題に取り組む。重層的な支援により若手を育成するとともに、既存の学術領域を超えた異分野・多分野連携によりサイロ化を打破し、マテリアル分野の発展が図られるような取組となるよう、引き続き具体的な検討を深める必要がある。

○社会実装の加速に向けた取組

社会実装の加速において、プロセスサイエンスの構築は不可欠である。「社会に出るものづくり」のための学理的理論、評価分析技術、プロセスデータ基盤、ノウハウ・知財を蓄積した産官学協働活動の継続が必要である。

物質・材料研究に特化した国立研究開発法人であるNIMSや大学等において、産学によるプラットフォームやコンソーシアムの構築・活用、先端設備の整備・高度化を図り共有化を促進することなどにより、アカデミアから産業界への基礎・基盤研究の成果の橋渡し機能を強化する。

スタートアップについては、令和5年度から戦略的イノベーション創造事業（SIP）第3期で「マテリアルイノベーションエコシステム事業」が開始され、マテリアルユニコーンを創出するためのエコシステムの構築に取り組んでいる⁴²。文部科学省も「研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム（BRIDGE）」を活用して、本SIPと連動した「マテリアルスタートアップインキュベーション促進事業を実施し、マテリアル分野のスタートアップにおける事業化のための研究開発を支援している。スタートアップは研究成果の社会実装の手段としてみならず、社会実装を他者（スタートアップ）に託すことで、研究者が社会実装に伴う多岐に及ぶ業務から解放され、基礎研究に集中する手段にもなり得る。また学生がスタートアップに参加するなど、人材育成の手段としても有効である。マテリアル分野のスタートアップ育成に、引き続き府省連携で取り組むことが必要である。

⁴² 2023年9月14日、内閣府、マテリアル事業化イノベーション・育成エコシステムの構築推進委員会（第2回）配布資料「SIP第3期「マテリアル事業化イノベーション・育成エコシステムの構築」について」

○先端設備の整備・高度化に向けた取組

革新的マテリアル開発のための基礎・基盤研究やスタートアップ等による研究開発を支え、マテリアル研究の裾野の維持・拡大を図るため、ARIMにおいて、利用ニーズに沿った先端設備の整備・高度化や、高度専門人材やデータ人材による利用支援の充実に取り組む。

また、材料研究開発を支える我が国の強みである計測、分析、合成・加工技術の発展には、産学の研究者が協働で最先端機器の研究開発を進めることのできる環境が必要である。ARIM の設備共用の場が、産学の研究者が協働で最先端機器の研究開発を行う場としても機能するなど、ARIM の機能拡大が期待される。

（３）研究開発力の強化（人材育成、国際連携等）

【現状認識】

マテリアル分野の研究開発に対する期待や重要性が高まる一方、依然として、我が国のマテリアル分野の研究開発力は、他国の著しい進展に対して相対的に低下傾向にあり、関連の学会員数も減少している⁴³。

研究開発力を維持・強化するためには、国内外から優秀な人材を確保・育成することが必要であるが、博士課程の学生の減少等⁴⁴を背景に、全体として困難な状況が続いており、マテリアル分野においても、我が国の強みである技術の継承が困難な状況となりつつある。

⁴³ JST 研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 2024」によると、2007 年から 2024 年にかけて、日本化学学会員数は約 30%、日本物理学会員は約 18%低下するなど、マテリアル分野における学会員数は減少傾向にある。

⁴⁴ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術指標 2023、調査資料-328、2023 年 8 月 によると、マテリアルと関連の深い理学・工学分野における、修士課程修了後に博士課程に進学する学生の人数は、2004 年をピークに、2023 年までの間に約 32%低下している。また、文部科学省科学技術・学術政策研究所、科学技術の状況に係る総合的意識調査（NISTEP 定点調査 2023）において、「Q105：望ましい能力をもち博士後期課程を目指す人材の数は、十分だと思いますか。」の質問に対して、多くの属性において著しく不十分との認識が示されている。

また、研究者が創造力を最大限に発揮するために必要な研究費、研究時間、研究開発に関わる先端設備を扱う研究支援人材の不足⁴⁵が指摘されている。

研究人材の確保においては、研究評価の在り方にも課題がある。例えば、共用装置の技術支援やデータ基盤の整備といった、マテリアルDXプラットフォームの推進に不可欠な業務は、現在の研究者の評価において十分適正に評価されているとはいえず、必要な人材の確保を困難にしている一因となっている⁴⁶。国際的には、雑誌ベースの数量的指標が、個々の論文の質や研究の多様な側面における質を示すことができないことから、論文（特にインパクトファクター）に偏重しない評価導入を進める議論がなされており⁴⁷、我が国においてもJST、東京大学などが「研究評価に関するサンフランシスコ宣言（DORA）」に署名⁴⁸するなど、研究者本来の活動に焦点をあて、研究開発を公平に評価するための取組が進んでいる。

優秀な人材の確保・育成や優れた研究成果の創出には、良好な研究環境や処遇が不可欠である。我が国は様々な研究推進事業や人材育成事業を実施してきた。例えば、戦略的創造研究推進事業（さきがけ、CREST、ERATOなど）や創発的研究支援事業などを通して、人材育成及びシーズ創出へ取り組み、多数のイノベーションが生み出されている。人材育成については、特に優秀な博士後期課程学生への経済的支援の強化や、博士人材

⁴⁵ 文部科学省「令和4年度版 科学技術要覧」によると、研究者一人当たりの研究支援人材数は、例えば中国が1.29、ドイツが0.63である一方、我が国は0.26であり、主要国に比べて低い水準にある。

⁴⁶ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術の状況に係る総合的意識調査（NISTEP 定点調査2023）、NISTEP REPORT No. 201、2024年5月において、「Q112：研究者の業績評価において、論文のみでなく様々な観点（書籍の出版、教育、社会貢献等）からの評価が十分に行われていると思いますか。」および「Q113：業績評価の結果を踏まえた研究者への処遇（給与への反映、職位・職種への反映、研究環境の改善、サバティカルの付与等）が十分に行われていると思いますか。」の質問に対して、前者は概して十分であるとの認識が示されている一方、後者は不十分と認識されていることが示されている。

⁴⁷ 「研究評価に関するサンフランシスコ宣言（DORA）」は、ジャーナルインパクトファクターに頼らない研究評価を目指した一連の勧告として、2012年の米国細胞生物学会の年次総会において公表され、2024年5月時点で25,000件を超える組織と個人の署名を集めている。DORAの2023-2026戦略計画では、研究評価改革のための具体的方策の策定の加速を目指している。

⁴⁸ 2023年12月1日に東京大学が、4月11日にJSTが「研究評価に関するサンフランシスコ宣言（DORA）」に署名したことを公表した。

の多様なキャリアパス整備など、処遇向上と研究環境確保に取り組んでいる⁴⁹。また、マテリアルDXプラットフォームは研究環境整備を通じた我が国の研究開発力の強化だけでなく、人材育成の場としても貢献してきた。ARIMにおいては、若手研究者やスタートアップ企業等の、十分な研究設備を持たない研究者に、質の高い技術支援と先端設備を提供することで、研究開発の裾野の維持・向上に貢献しているとともに、約400名の高度専門人材の育成にあたって職能制度を導入し、研究支援に携わる人材のキャリアパスの形成に努めている。⁵⁰DxMTにおいても、セミナーやシンポジウムを通じ、データ駆動型研究開発に関する人材育成に取り組んでいる。

また、各国が国際協力の重要性を認識し、研究の国際化が進む中において、我が国では国際共著論文の割合が他国より低いことや研究人材の流動性が低いこと、国際共同研究相手としての我が国の位置づけが低下していること⁵¹、マテリアル分野においても、主要な国際会議において日本人の招待講演者数が減少していることなどが指摘されている。また学会活動においても主要な国際学術誌における日本人エディターの減少や国際会議におけるセッションオーガナイザーが減少傾向にあることなど⁵²、国際的な研究コミュニティでの我が国の存在感の低下が指摘されている。

⁴⁹ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学技術の状況に係る総合的意識調査（NISTEP 定点調査 2023）、NISTEP REPORT No. 201、2024 年 5 月 において、「Q106：望ましい能力を持つ人材が博士後期課程を目指すための環境の整備は十分だと思いますか。」および「Q107：博士号取得者がアカデミックな研究職以外の進路も含む多様なキャリアパスを選択できる環境の整備に向けての取組は十分だと思いますか。」に対して、2022 年度から十分度を上げた理由として、「博士後期課程学生を対象とした経済的支援（JST SPRING 等の政策プログラム及び学内の独自プログラムを含む）が充実してきたため」、「多様なキャリア形成のための講義やイベントを実施している」といった意見が多く見られたことが述べられている。

⁵⁰ 2024 年 1 月、文部科学省第 12 期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会（第 3 回）配布資料「マテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）」中間評価票」

⁵¹ 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、科学研究のベンチマーキング 2023、調査資料-329、2023 年 8 月 によると、米国における国際共著相手国としての日本の順位はほとんどの分野で低下している。

⁵² 例えば、幅広い分野の材料研究者が集まる Materials Research Society の国際会議（2023 MRS Spring Meeting & Exhibit では 8 日間で 4,000 件を超えるプレゼンテーションが実施された）では、日本人のセッションオーガナイザーの人数が他国に比べて相対的に減少傾向にある。半導体関連のトップ研究者が集まる IEEE の国際会議、International Electron Devices Meeting（IEDM）では、日本人の招待講演者が 2015 年頃に比べて近年では半数以下に減少している（学会ウェブサイトの情報を元に CRDS で集計）。

【課題】

幅広い社会課題・産業課題の解決につながる分野横断的な基盤であるマテリアル分野における研究開発力の低下は、我が国の研究開発及び産業における国際競争力の低下に大きな影響を与えることから喫緊の課題として対応が必要である。

研究開発力の向上には、大学や国研における基礎・基盤研究の強化や、優秀な国内外の人材の確保・育成が必要である。

優秀な人材の確保・育成においては、研究者・研究支援人材の処遇改善や魅力的な研究環境の整備等優秀な人材を我が国に確保するための取組、研究者が創造力を最大限に発揮するために必要な時間を確保するための取組、学会活動（国際会議の委員、国際学術誌におけるエディターなども含む）や人材育成、データ基盤整備など研究者の多様な活動に焦点をあてた、論文数等の数値指標に偏重しない評価制度、マテリアル分野を志す学生・若手研究者の育成や安定した雇用環境の整備、産学官が連携したキャリアパスの形成が急務である。また、多様なアイデアによる価値を創出する上では、優秀な留学生や外国人研究者、女性研究者を含めた多様な技術的・文化的な背景をもった人材の確保に向けた取組も必要である。さらに、研究支援人材に関しては、産学共同研究をコーディネートする人材など、技術者以外の支援人材の確保も重要である。マテリアルDXプラットフォームにおける人材育成については、成果を上げている一方で、事業の進捗によって、蓄積されたデータを活用するためのマテリアルズ・インフォマティクス人材の不足やデータ駆動型研究開発の裾野を広げ成果を社会実装につなげるための人材等の不足が明らかとなってきた。

研究開発における国際的な存在感の低下は、国際的な研究コミュニティへの影響力の低下や研究交流によるイノベーション創出の機会の低下、優秀な人材確保の機会の低下をもたらす。戦略的な国際共同研究により、国際連携を強化し、国際的な研究ネットワークにおいて存在感を発揮していくことが重要である。また、大学や研究機関において、若手も含めた研究者の学会活動（国際会議の委員、国際学術誌におけるエディターなども含む）が適切に評価されることが期待される。

【取組の方向性】

○優秀な人材育成・確保に向けた取組

大型研究施設も含め、国研や大学等における魅力的な研究環境の整備や、研究者・研究支援者の処遇改善、若手研究者の育成、外国人研究者や女性研究者を含む多様な研究人材確保に継続的に取り組む。

マテリアル研究の発展には、関わる人材の裾野拡大が重要であり、学生や若手研究者等を対象としたマテリアル分野の魅力の発信や研修等の取組を強化する。

マテリアルズ・インフォマティクス人材の育成につながる異分野連携を促進するとともに、マテリアルDXプラットフォームの推進には、研究のみならず、従来の研究評価指標では十分適正に評価されていない、装置共用にかかる技術支援やデータ基盤の整備、マテリアル分野の裾野を広げる活動など多様な取り組みが重要であることを踏まえ、こうした活動の支援・適正な評価に取り組む。

研究支援人材については、マテリアルDXプラットフォームのARIM事業において推進されている研究支援に係る資格制度等、高度専門人材のキャリアパスの充実化を図る取組を、マテリアル分野における人材育成・確保のモデルケースとして強化する。

○戦略的な国際共同研究の推進と国際的なプレゼンスの強化

国際状況の変化等によりマテリアル分野の重要性がますます高まっている状況において、研究開発力の強化の観点のみならず「戦略的不可欠性」や「戦略的自律性」確保の観点においても、国際共同研究に戦略的に取り組むことが重要である。我が国の強み弱みを分析し、研究現場の意向も十分踏まえ、連携分野を戦略的に検討することが必要である。

国研や大学等において、世界トップレベルの成果を創出する、国際的に「目に見える」拠点を形成するとともに、先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）などの国際交流・共同研究事業の積極的な活用により、マテリアル分野における国際頭脳循環を加速させ、国際的なトップ研究コミュニティへの参画を促し、世界で活躍できる人材を育成する。その際、国際的な学会活動（国際会議の委員、国際学術誌におけるエディターなども含む）に対する適正な評価の導入により、国際的な研究コミュニティにおける我が国研究者の活躍を後押しすることも重要である。

3. まとめ

マテリアル分野の研究開発力は我が国の国際競争力の源泉であり、その重要性は、経済安全保障や国際的な環境規制の強化等、国内外状況の変化を背景に、近年益々高まっている。研究開発力や産業競争力において、我が国の強みは一定程度維持されている一方で、諸外国の追い上げや伸びに比して遅れをとっており、相対的な強みは低下傾向にあると言わざるを得ない。また、研究現場において研究人材や研究時間不足の問題は深刻であり、現時点で強みと言える技術の継承も今後困難になりかねない。

マテリアル革新力強化戦略策定から3年を経過し、「マテリアル DX プラットフォーム」をはじめとする文部科学省の取組は着実に成果をあげてきたが、今後に向けた課題も明らかとなった。マテリアル DX プラットフォームの目的の達成に向けては、マテリアル分野を俯瞰した、より効果的な事業連携体制の構築やデータ駆動型研究開発の成果の社会実装の加速、マテリアルズ・インフォマティクス人材の不足や情報分野の研究者の参画促進、先端共用設備の充実、自動・自律実験の導入・活用の促進などである。我が国の強みである高品質なデータ、計測、分析、加工・合成技術等を生かし、「マテリアル DX プラットフォーム」の強化・発展に取り組むことが必要である。また、今後推進すべき領域や研究開発力の強化については、長期を見据えた横断的な基礎・基盤研究の推進等による、研究開発力の裾野維持向上、社会実装に向けたプロセスサイエンスの構築や橋渡し機能の強化、優秀・多様な人材の確保・育成、国際的なプレゼンスの向上等の必要性が明らかとなった。国際状況の変化等も踏まえ、マテリアル分野の研究開発力の重要性を改めて認識し、危機感をもってこれらの課題に迅速に取り組むことが必要である。