

ナノテクノロジー・材料科学技術の推進方策（案）

目次

1. はじめに

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）

（２）マテリアル分野において今後振興すべき領域

（３）研究開発力の強化と人材育成

3. まとめ

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。マテリアルは、これらの分野の横断的な基盤であり、マテリアルの革新は、このような分野に飛躍的な進展をもたらすものである。例えば、AI、バイオ、量子技術、半導体といったこれまでの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、マテリアル分野の寄与が極めて大きい。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と言える。

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。これまで自然科学系では22人がノーベル賞を受賞しているが、その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や、学会員数の減少等、我が国の研究力低下が指摘されて久しい。

また、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、我が国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。我が国発のマテリアルであっても、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。加えて、国際的な不安定性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やカーボンニュートラル実現に向けた製造プロセスの転換等が求められている。

政府は、マテリアル・イノベーションを創出する力としての「マテリアル革新力」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「マテリアル革新力強化戦略」（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。我が国のマテリアル・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、「革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装」、

「マテリアル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、革新的マテリアル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マテリアルDXプラットフォーム構想を立ち上げるなど、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。これらの課題に対応するためには、最終製品の構成物・各種機能の源泉であるマテリアルの革新が一層不可欠である。

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ことが必要である。一方で、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い。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、自動化と創出される大量データの解析を実現する、従来とは全く異なる材料研究手法や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。研究者人口や研究時間の減少が課題として指摘される中、高まるマテリアル・イノベーションへのニーズに対応するためには、積極的に新しい研究手法を取り入れ、革新的なマテリアルを持続的に創出していくことが不可欠である。

マテリアル研究は大きな変革期に直面していることを踏まえ、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。

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）

※四角囲み内は削除予定

○「論点と検討の方向性」における記載内容

【課題】

- ・マテリアル DX プラットフォームの実現には、構成する主な事業の連携にとどまらず、プラットフォーム本来の目的の実現（データ駆動型研究を活用した社会課題の解決に貢献する新材料の開発や革新的なイノベーションの創出等）に向けた議論が重要。
- ・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、マテリアル DX プラットフォームの構築を加速することが引き続き重要である一方、データのみに着目するのではなく、マテリアル分野の研究開発と人材育成を支える基礎・基盤研究、先端設備の共用、革新的マテリアルの創出（成果の社会実装）に向けた取組を忘れてはならない。
- ・マテリアル DX プラットフォームの構築は着実に進捗している一方、データ駆動型研究の全国への普及が必要。
- ・生成 AI や量子技術の進展を含め、データ駆動型研究の手法は進化途上であることに留意。

【取組の方向性】

- ・マテリアル DX プラットフォームの目的は、データ駆動型研究を進めるための基盤整備にとどまらず、研究手法の刷新による、社会課題の解決に貢献する新材料の開発や革新的なイノベーションの創出等の加速。プラットフォームを構成する各事業の部分最適に陥らず、マテリアル分野全体を俯瞰する視点で推進することが必要。
- ・マテリアル DX プラットフォームの構築を加速し、作る、ためる、活用する、それぞれの過程の手法を革新するためには、構成する主な事業の推進・連携が引き続き重要。短期的には、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、連携に向けた課題を抽出し、具体的な対処方針をまとめ、実践することを各事業に期

待。その際、データ利活用人材の育成・確保、データ基盤の持続性・使い勝手の向上、オープン＆クローズ戦略を含めたデータ利活用ポリシー等の検討も必要。

- ・研究開発や人材育成の基盤である、高品質かつ大量のデータを創出可能な先端設備の整備・高度化を引き続き行う。その際、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を踏まえること、また、人材の不足等を補い、研究活動を維持・発展させる観点からも、自律・自動実験や生成 AI・量子技術の活用等の最新の研究開発手法の取組を取り入れることが有効。
- ・データ駆動型研究による成果の社会実装の加速に向け、DxMT 等で開発されつつあるデータ駆動型研究の手法をプロジェクト参画研究者以外の全国の研究者へ展開するとともに、協働可能な領域でのコンソーシアムを形成するなど産学連携を進めることが必要。
- ・データ駆動型研究の手法が進化途上であることに鑑み、情報分野等材料分野以外の研究者の参画等の取組とともに、その裏付けとなる学理的なアプローチや基礎・基盤研究も推進。

【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、ネイチャーポジティブやウェルビーイング等に資する、革新的機能を持つ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。

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。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する。ユーザー数は5,000人/年以上、産学において幅広く利用されており、我が国のマテリアル研究開発を支えるインフラとして機能している。NIMSのデータ蓄積・構造化システム「RDE」へのデータ蓄積が開始され、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利用の増加に取り組んでいる。

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、「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」の5つの研究拠点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へデータを蓄積するためのテンプレート化が進行し、共用利用・異分野連携に向けたデータ蓄積を開始している。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普及に取り組んでいる。DxMTには、旗艦的研究事例として優れた成果を創出することにより、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。

データ中核拠点では、ARIMやDxMTのRDEへのデータ登録が進み、AI解析基盤（pinax）の開発が進んでいる。

国外でもマテリアル分野におけるデータ駆動型研究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)」を発表し、さらに2021年11月に発表された「MGI Strategic Plan 2021」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行い繋げていくことの3つのゴールを掲げている。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）」）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・管理を中心とした機能のみならず、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律実験の成果も次々に報告されている。自律・自動実験の導入は、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・バイアスを超えた仮説探索・検証を可能とするため、従来とは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、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）の自律・自動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 Science に発表した。また、カナダのトロント大学を中心とした自律・自動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。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している。

【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、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、構成する主な事業の部分最適に陥ることなく、事業間で連携し、分野を俯瞰する視点でマテリアル DX プラットフォーム全体を推進することが重要であるが、そのための体制を強化する必要がある。

マテリアル研究開発の手法を刷新し、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、人材セミナーや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組みが必要である。

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されがちであるが、マテリアル分野の基礎・基盤研究や人材育成の基盤である高品質かつ大量のデータが創出可能な先端共用設備の充実した環境整備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の整備・高度化を継続することが必要である。

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の参画等を推進する必要があるが、現時点で十分とは言えない。また研究者や研究時間の不足を補いつつ、研究活動を維持・発展させるためにも、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律・自動実験の整備や、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。

【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

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、継続して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・PO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、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、テンプレートの最適化や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、従来の人材育成セミナーやシンポジウムにとどまらない、データ駆動型研究開発手法導入にあたっての技術的・心理的障壁を払拭するための取組の検討も必要である。

○先端共用設備の整備・高度化に向けた取組

基礎・基盤研究開発を支え、また、社会的要請の高い研究開発ニーズに応えるため、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・高度化や技術支援人材による共用設備の利用支援などを強化する。

また、先端材料の研究においては、加工・分析等にかかる機器の進化が不可欠であることを踏まえ、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の機能拡大が期待される。

○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律・自動実験環境の整備や、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も重要である。引き続き具体的な検討を深める必要がある。

(2) マテリアル分野において今後振興すべき領域

○「論点と検討の方向性」における記載内容

【課題】 【取組の方向性】

- ・ 持続可能な社会の実現や、今般、急速に重要性が増大する経済安全保障の観点から次世代材料の開発を加速する必要。
- ・ 同時に、多様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、我が国のマテリアル分野における基礎・基盤研究の現状や強み、産業への寄与等を踏まえながら、長期を見据えた幅広く横断的な基礎・基盤研究の推進が必要。次世代材料の開発には、異分野を融合した取組が重要であるとともに、社会実装の観点から社会ニーズを踏まえた課題設定が有効。これらを踏まえ、振興すべき領域や手法については今後更なる議論が必要。
- ・ また、新しく開発した材料の社会実装の加速（社会実装に至る事例の確率が増加）が重要であることから、プロセスサイエンスの構築による製造プロセスの最適化や新材料の製造プロセスの確立、スタートアップや大学・研究機関発ベンチャーの増加等の取組を推進。また、アカデミアと産業界の協働を促す人材交流の取組も有効。

【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。また、マイクロプラスチックや有機フッ素化合物PFAS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。

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。このことから、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。

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、代替の検討も進んでおり、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。

米国は、2022年にCHIPS・科学法により、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。

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））」を公表した。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されている。

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年の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、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。このように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、我が国発のマテリアル・イノベーション創出に対する期待は大きい。

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）、さきがけ「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、マテリアル分野で多くの興味深い基礎的な成果が創出された。2022年に実施された事後評価では、成果を評価されつつも、知財戦略をより明確にすべきだった点や、元素戦略コンセプト定着に向けた今後のサポート体制への懸念点が示されている。

上述のような社会情勢において、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、学会員数も減少している。また、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も多く、社会実装で他国の後塵を拝する場合も多い。産業についても、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、新興国の経済成長および研究開発投資の強化に比して低下している。

一方で、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おり、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。このような基盤技術は、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みせ、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。

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、ARIM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、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と期待されている。

また、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）では、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。

【課題】

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・サプライチェーンの変革に対応し、成長と両立した持続可能な社会を実現するためにも、戦略的不可欠性及び自律性を確保し、我が国の強みである、技術力と知識を総合して、我が国発のマテリアルを創出することに加え、高機能・高品質なマテリアルに資する基盤を強化することの意義は非常に大きい。一方、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。

持続可能な社会の実現や経済安全保障等の社会的要請をはじめ、多様な目的に対応した革新的なマテリアルの開発には、半導体、電池、量子、バイオ等各応用分野における、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重要である。

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、ダイナミクスの理解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。加えて、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ことなどが挙げられる。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、革新的マテリアルの開発に必須の計測、分析、合成・加工等の先端設備は重要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る。そのため、持続可能な社会の実現や経済安全保障等の社会的要請を始め、多様な目的に対応した革新的マテリアルの開発のための基礎・基盤研究を支えるためにも、先端設備の共用を行うARIMIにおいて、先端設備の整備・高度化や、これまで取り組んできた技術支援人材による利用支援を継続するなど、先端設備の最適な運用を実現する環境整備が必要である。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であり、産学の研究者が協働で最先端機器の研究開発を進める必要がある。

加えて、自律・自動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・バイアスを超えた仮説探索・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有効である。

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は極めて重要である。これまでも、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、研究成果として得られた優れた材料が必ずしも社会実装されるわけではない。そのため、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。

社会実装を加速するためには、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。マテリアル分野のスタートアップ等にとっては革新的マテリアルの研究開発において先端設備の利用が可能な環境が必須であるとともに、応用研究や実用化に資する先端設備が不可欠である。ARIMにおいて、スタートアップを含めた幅広いユーザーに対し先端設備の共用や技術支援人材による利用支援を継続することはスタートアップ育成の観点からも重要である。さらには、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必要がある。

なお、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の持続可能な社会の実現へ向けた技術・システムの開発や導入を検討するためには、環境負荷や影響を定量的に把握し低減するため設計・評価・管理に関するライフサイクル管理（設計・評価・運用）も重要である。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による、現状の把握から、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、経済・社会・政治・文化・倫理など幅広い分野での多分野連携が必要である。

加えて、プロセスサイエンスの構築による製造プロセスの最適化や新材料の製造プロセスの確立が社会実装の加速に有効である。プロセスサイエンスの構築を目的とした事業で

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。社会実装を加速させるためにも、プロセスサイエンスの構築は不可欠であり、現事業終了後の取組について引き続き検討していく必要がある。

また、社会実装の加速の観点からも、アカデミアと産業界の協働を促す人材交流の取組も有効である。

【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（仮称）

持続可能な社会の実現や経済安全保障等の社会的要請に資するとともに、我が国の国際競争力の源泉となる、革新的なマテリアルの創出に繋がる、長期を見据えた横断的な基礎・基盤研究に、重層的に取り組むことが必要である。「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、自律・自動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必要があり、引き続き具体的な検討を深める必要がある。

○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るために、ARIMの先端設備の整備・高度化や技術支援人材による利用支援を継続的に進めるとともに、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、先端設備の最適な運用を実現する共用環境整備を行う。

○社会実装の加速に向けた取組

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・高度化を図り共用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。

また、プロセスサイエンスの構築は不可欠であり、現事業終了後の取組について引き続き検討する。特に、戦略的自律性・不可欠性やサーキュラーエコノミーを意識したプロセスの基盤技術を強化する。日本の強みであるプロセス技術を更に発展・強化するには、従来の勘・コツ・ノウハウを見える化し、効率的に活かす取組みが重要である。その一つにはプロセスのデジタル化・形式知化を推進し、共通基盤化していくことが挙げられるため、その可能性について検討する。

(3) 研究開発力の強化と人材育成

○「論点と検討の方向性」における記載内容

【課題】

- ・我が国の急激な人口減少に鑑み、研究開発人材の確保が課題。
- ・優秀な研究開発人材の確保が困難な状況の中、我が国がこれまで強みを有してきた技術の継承や、研究者が想像力を最大限に発揮するために必要な時間を確保する対策、学生や若手研究者の研究開発力の育成、処遇の改善等が急務。
- ・国際的な研究者コミュニティにおいて我が国の研究者が減少している中、我が国のプレゼンスを高めるための取組が必要。

【取組の方向性】

- ・大学や国研における基礎・基盤研究の強化や処遇改善に向けた取組を推進するとともに、優秀な留学生や外国人研究者を含めた多様な人材の確保に向けた取組も有効。
- ・マテリアル DX プラットフォームにおいて人材育成の機能を拡充・強化。データ利活用人材については、幅広い学生や若手研究者等を対象とした研修等の取組を強化するとともに、研究支援人材については、研究支援に係る資格制度等、研究支援人材のキャリアパスの充実化を図る取組を推進。

- ・技術の継承や、研究者が先端研究に取り組める環境を整備する観点からも、自律・自動実験や生成AI・量子技術の活用等の最新の研究手法を取り入れることが有効。
- ・国際的なネットワーキング等、国際的な研究者コミュニティにおいて活躍する我が国の研究者が増加する取組を検討。

【現状認識】

前述のとおり、我が国の研究力低下が指摘されて久しい。国際競争力を維持・強化するためには、国内外から優秀な人材を確保することが必要であるが、研究人口の減少等を背景に、困難な状況が続いている。加えて、研究者が想像力を最大限に発揮するために必要な時間の不足、研究開発に関わる先端設備を扱う研究支援人材の不足、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。マテリアル分野の重要性や魅力が十分に伝えられておらず、マテリアル分野の研究開発を志す学生が減少しており、人材確保や我が国の強みである技術の継承が困難な状況である。

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。特に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言い難く、必要な人材の確保を困難にしている一因となっている。

これらの問題に対し、我が国は様々な人材育成施策や研究推進事業を実施してきた。研究開発においては戦略的創造研究推進事業（さきがけ、CREST、創発、ERATOなど）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。

マテリアルDXプラットフォームはデータ駆動型研究の普及だけではなく我が国の研究開発力の強化や人材育成の場としても貢献してきた。マテリアル研究開発のインフラとして機能しているARIMにおいては、質の高い研究開発を担保するために約400名の技術支援人材が先端設備の利用を支援しており、若手研究者やスタートアップ企業等が研究に必要な先端設備を利用することで、我が国の研究開発力を強化するための人材育成の場として貢献している。また研究支援人材の職能制度を導入し、キャリアパス形成に努めている。DxMTでは、データ駆動型研究開発に関するセミナーやシンポジウムを通じ、人

材育成にも取り組んできている。一方で、蓄積されたデータを活用するためのデジタル人材の不足やデータ駆動型研究の裾野を広げ成果創出するための多様な人材の不足が、マテリアルDXプラットフォームの進捗によって、更に明らかとなってきた。

研究評価については、雑誌ベースの数量的指標に偏重せず、多様な活動が評価されるための取組が必要である。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いる。我が国においてもJST、東大などが「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。

【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を我が国に引き付ける取組、マテリアル分野を志す学生・若手研究者の育成が必要である。優秀な人材確保においては、研究者・研究人材の処遇改善、魅力的な研究環境の整備、研究者が想像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対策、国際的な活動や人材育成なども評価されるような、論文数等の数値指標に偏重しない評価制度、産学官が連携したキャリアパスの形成、安定した雇用環境の整備が急務である。

研究開発における国際的なプレゼンス低下は、国際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をもたらす。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。国際的な研究コミュニティにおいて活躍する研究者の増加につながる取組が必要である。

【取組の方向性】

○優秀な人材育成・確保に向けた取組

マテリアル分野における国際競争力を高めるためには、国内外から優秀な人材を確保することが必要である。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、若手研究者の育成に継続的に取り組むことが期待される。

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、研究支援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。

一方で、我が国の人口減等を背景として、優秀な人材確保は容易に克服できる課題ではない。我が国の強みである技術の継承や、研究者が先端研究に取り組み、革新的な材料が創出される環境を整備する観点からも、自律・自動実験や生成AI等を活用した、研究手法の刷新に取り組むことが必要である。

○国際的なプレゼンスの強化

大学や国研における基礎・基盤研究を強化するとともに、国際的な研究者コミュニティにおいて活躍する研究者の増加に取り組む。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利用により、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。

3. まとめ

後ほど記載予定