

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	第5章 総括
他言語論題 Title in other language	Chapter 5, Conclusion
著者 / 所属 Author(s)	関谷 毅 (SEKITANI Tsuyoshi) / 大阪大学産業科学研究所教授、長井 寿 (NAGAI Kotobu) / 国立研究開発法人物質・材料研究機構名誉研究員
書名 Title of Book	マテリアル科学—最先端と未来への選択肢— 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Materials Science: The State of the Art and Future Options)
シリーズ Series	調査資料 2023-6 (Research Materials 2023-6)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2024-3-27
ページ Pages	85-88
ISBN	978-4-87582-924-9
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	第1章から第4章までを概観し、報告書の内容を総括する。

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

第5章 総括

マテリアル（材料、ナノテクノロジー、デバイスを総称する。）は現代の生活、産業の土台である。マテリアル科学（マテリアルに関する科学的な研究、試験を総称する。）は、多方面に波及する新しい価値を生み出すもので、ウェルビーイング向上の推進力であり、我が国の国際競争力の源泉として、その力を発揮してきた。ところが近年、国際状況は急速に大きく変化している。そこで、本報告書は、各国のマテリアル科学の振興策、特にマテリアル科学におけるデジタル・トランスフォーメーション（DX）などの最新の動向について、文献、有識者ヒアリング、訪問（付録参照）などによって、調査、比較、分析した。

マテリアル科学が、我が国の産業競争力、国力の源泉であり、国際的に優位性を保ち、多方面に波及する新しい価値を生み出すという点で、譲ってはならない科学技術分野であるという確固たる認識が有識者の間で広く共有されていることが分かった。同時に、現状を座視しておれば更なる急速な低下は避けられず、ここで早急に戦略を立て直すべきであると指摘された。その際、経済成長が見込まれる諸国と比べて量的優位を得るよりも、新しい付加価値で勝ち抜く戦略を持つ大事さが強調された。そのためには、我が国の優位点を確かめいかすこと、同時に弱点を見つめ直してその克服を図ることにつながるような、未来への選択肢を考えるべきとされた。

我が国の優位性としては、国際シェアが100%のようなマテリアルが数多くあること、DXを適用する際に不可欠なデータは、その信頼性と規模を誇ることなどが確認された。これらの優位性をいかし、知的財産を論文、特許などで公開するか、秘匿管理するかを見極めるオープン・クローズ戦略によって、サプライチェーンを強靱（きょうじん）化したり、データを含めDXの成果の国外流出を防いだりすることが期待される。

その結果に基づき、我が国の未来への選択肢を多面的に見つめ直した。その際、量的優位を目指すよりも新しい付加価値を生み出して勝ち抜く質的発展戦略を持つ視点を基本とした。すなわち、我が国の優位点を確かめていかしつつ、現状の弱点を見つめ直し、それらを克服することで、確実に持続的な質的前進を図ることとした。

I 各章のまとめ

第1章は、我が国のマテリアル科学に関する成長戦略に焦点を当てた。我が国の経済は、マテリアル関連のミディウムハイテクノロジーへの依存が高まり、特に新型コロナウイルスの影響と社会の急速なデジタル化により、その重要性が一段と際立っている。この傾向は多くの国に共通して見られる。その中で我が国の相対的なプレゼンスが経済だけでなく学術面でも低下している。それに対して、我が国が既に有する卓越したマテリアル科学と関連産業の連携を、デジタル技術の駆使によって更に強化するための着実な基盤が築かれ始めている。今後、このマテリアルDXの基盤を強化し、国際競争における優位性を保つために、研究開発への支援と人材育成への投資が不可欠となっていることを示した。

国際的な動向を見ると、デジタル技術及びバイオテクノロジーの進展においても、マテリアルが中心的な役割を果たしていることが明確になった。この中で、国際的な研究連携の必要性

が一段と増している。我が国はこれらの分野で積極的な国際協力を進め、お互いに補完しあって力を発揮することが求められていることを述べた。

政府が進めている「マテリアル革新力強化戦略」の導入は、国内のマテリアル関連研究開発を促進するための重要な指針となっている。これを具現化するためには、産学官一体の協力の下でDXをいかし、高品質なマテリアルデータの蓄積・活用を進めることが必要である。総じて、我が国のマテリアル科学と関連産業はその卓越した基盤をいかし、持続可能な未来の構築に欠かせない存在であると認識されている。国内外との協力を深め、次世代人材育成とともにマテリアル技術と知識の発展に邁進（まいしん）していくことが必要であることを述べた。

第2章の「マテリアル科学とデジタルトランスフォーメーション」では、マテリアル科学におけるDXの現状について、国内外の動向をまとめ、未来への選択肢として重要な課題について概観している。我が国が世界と比較しても競争力を有するマテリアルは、新しい産業や付加価値が生まれる分野として重要であり、データ活用とDXによって競争力を更に高められる展望を示した。その鍵はAIの活用とそのためのデータ管理にあり、それを実現するための不可欠なインフラストラクチャとしてデータプラットフォームの構築の重要性を述べた。その機能はデータを「つくる」「ためる」「つかう」の大枠で分類され、さらに、マテリアル分野で共通的に理解される見方の下でデータ共有や活用が効率的に進められる。各国の動向として、データプラットフォーム構築に関する活動が活発化しており、データ記述法の発展、データの管理と利用にかかる共通ルールの策定、データを使いこなせる人材の育成が共通する重要課題であることを述べた。

第3章の「マテリアル科学と資源」では、マテリアル科学に関わる全ての関係者が理解すべきと思われる資源問題について概説している。かつては資源の枯渇や偏在性に起因した安定供給の確保が主たる話題であった。近年では、資源品位の低下を強く意識すべき状況となっている。例えば、以前と同じ効能を得るために同量の原料を利用する場合、資源品位が低下しているため必要な鉱石は増え、その結果、環境や社会への負の影響が拡大してしまう。このように資源品位低下による問題をどう回避するかが地球規模での持続可能性に対する一つの課題になっている。また社会に対するほかの負の影響としては倫理的な問題などがあり、マテリアル科学に対する倫理的・法的・社会的課題(ELSI)としての整理を試みた。未来への選択肢への方向性として、資源デカップリングの概念を紹介し、その実現の一つのアプローチとしてサーキュラーエコノミーを論じた。その上でそこから導かれるマテリアルのライフサイクルの望ましい姿とそこに対するマテリアル科学への期待を整理した。

第4章の「マテリアル科学と失われる資産」では、災害や事故などによって数々の貴重な資産が失われる原因が、巨視的には構造物や製品などの故障、破壊であり、微視的にはそれらを構成するマテリアルの性能劣化に起因することを明らかにした。マテリアルの性能劣化は原理的に不可避なため、構造物等の故障、破壊を完全に避けることはできない。この点を正しく理解し、失われる資産の最小化を図るためには、マテリアルの「つくる側」と「つかう側」が連携して、マテリアルの信頼性データを取得、蓄積する必要がある。特に時間依存型性能劣化の試験は重要であり、我が国はこの点で世界をリードしている実績がある。しかし、性能劣化に真正面から取り組むマテリアル研究者層が急速に希薄になっている。そこで、未来への選択肢として、失われる資産の最小化に貢献するマテリアル科学への社会的関心を高めるための展開策を示した。

各章での分析を見通すと、幾つかの極めて重要な共通項が紡ぎ出される。基本的には国内外の多様な価値観や利害関係をありのままに理解した上で、それぞれが抱える問題の解決に資する独創的で個人的で創造的なアイデアを導き出していく方策は何かという点に帰結する。その際、重要な点は「つよみ」を伸ばし、「よわみ」を克服していく方向性を堅持することである。特に「よわみ」の的確で冷静な分析ができるかどうか岐路になる。すなわち、次に述べる未来への選択肢における共通項は、客観的な「自己批判」から導き出した結果であることが、一つの新規性とも言える。

II 円環連鎖のDX化による新しい価値創造戦略

マテリアルには「つくる側」と「つかう側」があり、マテリアルの価値は「つかう側」でこそ試され、発揮される。マテリアルの「生涯」には、原料調達、マテリアル製造、部品加工、製品組立て、一般消費者へのサービスの段階があり、また、原料、マテリアル、部品、製品には、それぞれ在庫管理、配送、販売、消費と一連の物流があり、多様な関係者が関与する。これを「供給」面の最適化方策を分析するサプライチェーン（Supply Chain：供給連鎖）、得られる「価値」の最大化方策を分析するバリューチェーン（Value Chain：価値連鎖）などの手法で分析することが功を奏し、無駄を省き、新しい組合せ・ルートを選択することを指摘、示唆してくれる。これらの手法を内包したマテリアル科学のDXの開発と展開が強く期待される所以（ゆえん）である。

マテリアル科学のDX推進の立場からみると、現行の供給連鎖、価値連鎖手法の持つ幾つかの弱点が浮かび上がる。すなわち、

- ・「つかう」段階でのマテリアルの価値とそのリアルな時間変化を十分に考慮していない。
- ・サーキュラーエコノミーにおける資源循環を内包できていない。
- ・「つかう側」若しくは「出口」における課題の発見こそがイノベーション・新規開発の貴重な契機になり得ることを内包していない。

これらの弱点の克服を考えるとところから、円環連鎖（Circular Chain）と呼ぶべき全く新しい手法のアイデアが浮かび上がる。これらを内包したDXシステムとなった円環連鎖上でマテリアルデータのキャッチボール（円環往来）が日常的になれば、社会、マーケットの課題の解決に結び付き、新しい価値、競争力の源泉となるマテリアルとそれを利用したイノベーションを生み出す基盤ができる。円環連鎖を実現するためには、多様な利害関係者が集うプラットフォームの構築が必要である。そこでの円滑な研究開発の推進は、得られた知見や関連情報のオープン・クローズ管理運営が成否を握る。さらに、その成果を社会実装する推進力として、高いモチベーションを持ったイノベータを育成し、彼らを巻き込み自己発展していくエコシステムの形成が期待される。

III 一人一人のインテリジェンス活動による情報戦略

人材育成の観点からは、一人一人の情報戦略も抜本的に見直すのが良い。日本人の国際会議への参加、海外機関での滞在などが低調になったと言われて久しく、「情報鎖国」状態とも言われている。マテリアル科学に携わる者には、グローバル化した今日、国家であれ、企業や団

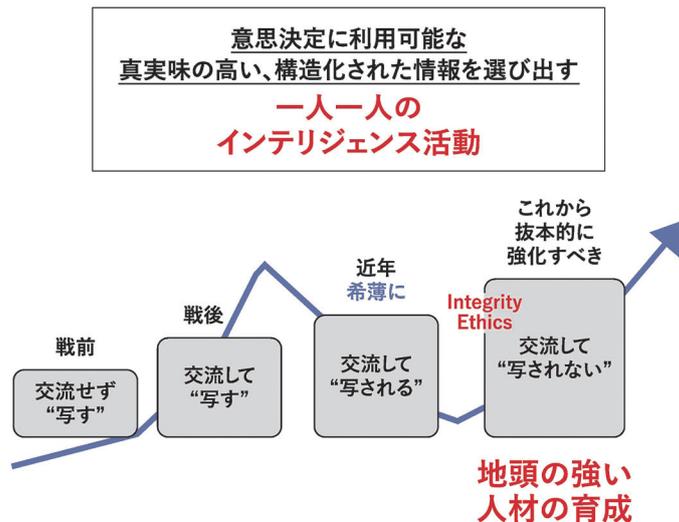
体であれ、その問題解決に資する独創的で個性的で創造的なアイデアを得るために、単に情報収集を行うだけでなく、一人一人が高い知性・倫理感を持って、守るべき知財、得るべき情報を見極めつつ、組織の意思決定に利用可能な真実味の高い、構造化された情報を選び出す、いわゆるインテリジェンス活動（図）を進めることは元来不可避で、国際活動では特に大事である。これを行政だけに任せずに、研究者、技術者によるボトムアップのインテリジェンス活動とその成果共有が図れる仕組みの構築が期待される。

一人一人のインテリジェンス活動について、本報告書で強調されたことの一つは資源問題が持つELSI課題である。我が国では資源自給率が低いことも相まって、資源の採掘現場はマテリアル科学の専門家からも遠い存在となっている。しかし、世界的には資源をめぐる深刻なELSI問題が多い。操業における児童労働の横行、操業による自然環境及び住民への深刻な被害、武装勢力や軍による鉱物の資金源化とそれによる紛争の継続などについて、まず自覚的な状況把握が求められる。

また、マテリアル科学の基本姿勢についての基本的な反省も資源問題の考察から導かれる。すなわち、マテリアル科学が「より多くの資源投入で、より多くの利便性」を得る姿勢では、力量の違いによる地域格差を助長するだけである。また、現実化する資源の品位低下を甘受し、同量の原料投入のために採掘資源量を増加させることを是認とすると、その分、採掘現場への負荷増（非鉱物の採掘量の増大など）を招くことになる。このように、資源利用には、社会的に正の効果と負の効果が常に同時に発生することを正確に認識し、負を減らし、正を増やす技術開発を未来への選択肢とするのが望ましい。資源からの恩恵を世界が公平に受けられる技術に高めていきたい。

高い知性と倫理感を持った情報戦略を進めることがこれらの方向性への推進を強めることとなる。また、そのことが経済安全保障の観点からも有益なものとなる。

図 一人一人が高い知性・倫理感を持って、守るべき知財、得るべき情報を見極める



(出典) 筆者作成。

執筆：「マテリアル科学」調査委員会 共同代表者 せきたに つよし ながい ことぶ 関谷 毅、長井 寿