

2024年11月1日

内閣府
科学技術・イノベーション推進事務局
担当殿

ナノテクノロジービジネス推進協議会
事務局長 石井伸晃

第7期科学技術・イノベーション基本計画に向けた
産業界（NBCI）からの提言

- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 1. 社会課題解決 | p.2 |
| 1-1. 社会課題解決の重要性の認識と研究開発の推進 | |
| 1-2. 社会課題解決のための社会科学的側面を研究する機関の整備 | |
| 2. ナノマテリアル産業の振興 | p.3 |
| 2-1. ナノ材料・ナノ構造が寄与する機能の解明 | |
| 2-2. 製造業へのバイオ技術の導入支援 | |
| 2-3. 税制によるスタートアップの初期需要創造 | |
| 3. ナノマテリアルの社会実装 | p.5 |
| 3-1. ナノ材料のリスク管理ルールの整備 | |
| 3-2. ナノ材料の安全性評価体制の整備 | |
| 4. マテリアル創出 | p.6 |
| 4-1. マテリアルズ・インフォマティクス(MI)の推進環境の整備 | |
| 4-2. 自律自動実験システムの開発、導入の推進 | |
| 4-3. AIで効果的に活用できる情報インフラの整備 | |
| 5. 産学連携 | p.8 |
| 5-1. 全国横断的な産学連携窓口の整備 | |
| 6. 人材育成 | p.9 |
| 6-1. 「社会実装を担う人材」の育成 | |
| 6-2. 大学での「標準化」の教育 | |
| 6-3. 企業内での「博士人材」の活用 | |
| 6-4. 学校教育での「尖った人材」の育成 | |

1. 社会課題解決

1-1. 社会課題解決の重要性の認識と研究開発の推進

政府は2020年10月に、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」を目指すことを宣言した。また、「カーボンニュートラル」への取り組みが進む中、温室効果ガス排出削減と資源枯渇等の社会課題への対応として「サーキュラーエコノミー」への移行が推進されている。

これら「カーボンニュートラル」、「サーキュラーエコノミー」の実現に必要な測定法（海洋や土壌など新たに炭素吸収源として認めるための測定法、バイオマスプラスチックの生態系内での挙動など）、評価法、標準の整備のための研究開発を政府中心で進めるべきである。

「サーキュラーエコノミー」にとってLCAは重要で、製品のLCA算出には多大な時間と費用が必要となる。LCA算出には、サプライチェーン全体を把握し、一部ノウハウ情報等も含むため、民間主導では、推進困難な部分が存在する。情報の共有化には、共有基盤の整備、データフォーマットの共通化、共有化のインセンティブ、サプライチェーン内での仕組み作りの推進が重要である。

1-2. 社会課題解決のための社会科学的側面を研究する機関の整備

「カーボンニュートラル」、「サーキュラーエコノミー」の実現を始めとする社会的課題解決のためには、技術開発への支援が必要となるが、倫理的課題、法的課題、運営組織の体制、住民の意識、行動経済学などの様々な課題を踏まえて調整していくことが必要となる。よって、必要となる技術要件の設定や開発された技術の社会実装を支援するルール形成、政策支援などの社会科学的アプローチも必要である。このため、技術開発の支援のみならず、社会科学的アプローチについて自ら研究し、必要な助成を行う公的研究・提案組織の整備が必要である。

2. ナノマテリアル産業の振興

2-1. ナノ材料・ナノ構造が寄与する機能の解明

ナノ材料・ナノ構造が寄与する機能の解明が必要な事例の一つとして、LIBにおいて導電助剤として用いられているCNTのように、CNTを増やすと耐久性が増すなどの現象は共通認識となっているものの、何故そのような効果が発現するのか、という機能に関する問いへの共通認識は十分でない状況。このため、より効果的なCNTに対する開発方針も立てられない状況である。

ナノ材料において国際競争力を有している我が国としては、現状の競争力を維持・強化するためにも、マテリアル先端リサーチインフラなどの枠組みのもと、産学官連携で、これらナノ材料・ナノ構造が寄与する機序の解明を進めるべきである。

具体的には、機序解明テーマを産業界に広く公募し、選定されたテーマについて、マテリアル先端リサーチインフラ事業および東北ナノテラス利活用の一環として大学・研究機関の研究者に研究委託することが考えられる。

また、マルチスケール・不均質系の原子・ナノレベルの構造分析手法の開発、大規模（不均質系の）第一原理計算やマルチスケールシミュレーションやインフォマティクス・AIの技術進歩、不均質系を扱うための数学的フレームワーク（パーシステント・ホモロジーなどの応用数学技術との融合や不均質な構造の表現方法のコンセンサス作り）が必要と考える。

2-2. 製造業へのバイオ技術の導入支援

素材製造の中に、温室効果ガス（GHG）削減に優位となるバイオ技術を活用したプロセスを導入しようとする流れが世界で起きており（米国や中国では既に数兆円規模の補助金が投入されている）、バイオマス資源やCO₂を原料としたバイオリファイナリーとケミカルリサイクルとの融合によるカーボンリサイクルの推進が重要である。日本でも補助金により技術開発を後押ししているが、バイオ技術と無縁の企業にとっては補助金よりも技術導入のハードルが高く、何らかの支援が無いと実際の導入は厳しい。日本の伝統的な発酵技術や大量培養生産技術の強みを活かして、国を仲介役とした、バイオ生産技術保有企業による非保有企業へのサポート体制の構築が必要である。

ナノテクノロジーを活用した医工連携研究の推進は重要である。核酸医薬やペプチド医薬といった新モダリティーへの市場ニーズが高まる中、バイオ領域ナノ材料の開発・管理にはナノ領域の計測技術が必要不可欠である。理学・工学と医学・薬学の緊密な連携による新しい薬剤に対する複合的な計測評価技術の確立と国際標準化、省庁横断的なコンセンサスの形成が必要である。

また、これらを推進するための分野横断的なコーディネート組織の構築、積極的・戦略的な関与が必要である。

2-3. 税制によるスタートアップの初期需要創造

イノベーションの社会実装のためには、その推進主体であるベンチャー企業が市場を獲得し、成長していくことが重要。その際に留意すべきは、諸外国と比較して、日本市場において大きな位置を占める既存企業や政府・自治体等公的機関がベンチャー企業提供商品、サービスの調達に関して極めて慎重であるということ。実績が少ないベンチャー企業の信頼性が低いことから、調達担当者が組織内での説明が難しいと考え、調達対象からはずすことが多いという実態がある。このマインドセットの変更がベンチャー企業育成、イノベーションの社会実装にはおいては極めて重要である。既存企業に関しては、ベンチャー企業からの調達額を対象とした減税措置の導入が効果的な方法として考えられる。公的機関による調達促進については、ベンチャー優先枠の設定などが考えられる。

3. ナノマテリアルの社会実装

3-1. ナノ材料のリスク管理ルールの整備

欧州におけるナノ材料に関する管理強化の動きは、適切な暴露管理により社会的に有用なナノ材料を安全に活用することを妨げる可能性がある。ナノマテリアルの規制は欧州主導のハザード（ゼロリスク）管理ではなく、リスク（有害性×暴露量）管理のルール形成が重要である。リスク管理のルール形成については、社会的な合意形成を含め、個々の企業ではなく、日本の産業界として官民一体となって取り組み、我が国として妥当性・納得感あるルールを作り、欧州を始めとする国際社会との交渉を通じて共通認識形成・標準化を目指すことが重要である。

ナノマテリアル（ナノテクノロジーを活用した先端材料）の社会課題解決につながるベネフィットを理解して、社会全体で受け入れて貰えるように「安全を考慮した持続可能性」とする概念の元に、規制当局の受容性向上を目的として、OECD や国際ナノテク団体とも連携していくことが重要である。「ハザード」ではなく「リスク評価重視」や「科学的なエビデンスに基づくグルーピング」の考え方、およびそれを実行するための ISO 認証のような体制と組織創り、それを担う人材育成も含むマイルストーンを整理していくことが重要である。

3-2. ナノ材料の安全性評価体制の整備

ナノ材料が確実に社会で受け入れられ、事業化をいち早く実現するためには、国際標準化とともに、安全性を評価する体制の構築が必用である。毒性評価の設備を各企業が持つことは、技術的、経済的にも困難であり、国の試験機関などが委託試験を受注できる横断的組織・運用体制の整備が必要である。

ナノ材料の環境、健康に及ぼす影響は技術の進歩とともに変化すると考えられ、標準化、規制の部分で国の試験機関や各企業等で実施された安全性試験データの共有化、それに伴うインセンティブの設定、インフォマティクスに基づいたナノ材料の安全性評価手法の開発、共有化されたデータを用いて AI を活用してメカニズムベースの安全な材料設計・開発を国が主体となって進めてもらいたい。また、リサイクル性を含めた、材料およびそれを用いた最終製品としての LCA の定量視点を組み込んだ材料利用の方向性の検討が必要である。

4. マテリアル創出

4-1. マテリアルズ・インフォマティクス (MI) の推進環境の整備

マテリアル創出において MI の推進は必要不可欠である。そのためには、MI で活用されるデータを取得するための計測・分析装置およびシミュレーション・機械学習のための計算機の利用環境整備が重要である。

MI 時代において、我が国のマテリアル創出における強みを維持するためにキーとなる施策としては、先端計測装置、高度分析装置（ナノテラス、SPring-8-II など）の整備、これらを組織を越えて利活用できるプラットフォームの構築、MI 情報の高度利用のためのデータ共有、日本の強みであるプロセス構築へのインフォマティクスの活用、MI を活用してマテリアル創出を推進できる人材の育成が挙げられる。

これまでの施策により、先端計測装置、高度分析装置に関して共有化が進んでいるものの、利用効率の継続的向上・機器の更新と高度化・イノベーションにつなげる人材育成の面で不十分であり、日本の研究競争力の大幅な向上・イノベーション創出につなげる開発基盤とすべく、共用拠点の抜本的な改革と強化が求められている。

MI 情報は一部共有化が進められているが不十分で、異次元の推進が必要である。MI 情報の共有化には、共有基盤の整備、データの組織を越えた相互利用のための標準化、共有化のインセンティブ、サプライチェーン内での仕組み作りの推進が重要である。

人材育成施策としては、計算科学の素養を持ったマテリアル研究者の育成、幅広い研究者がマテリアルデータへ自由にアクセス出来る環境の構築、計測・分析インフォマティクス人材の育成、論文や流通するプログラムとして残らない失敗事例を利活用する仕組み作りなどが考えられる。

さらに、量子化学計算による材料シミュレーション、または複雑な構造（多層膜など）やプロセス等の最適化計算に向けた量子コンピュータの適用技術開発は、将来の研究開発に多大なインパクトを与える可能性を持っており、適用先の検討、開発事例の創出に取り組むべきである。

4-2. 自律自動実験システムの開発、導入の推進

AI とロボット技術の進展により、東京大学の一杉太郎教授の研究に代表される「自律自動実験」が注目を集めており、海外では強力的に推進されている。労働集約的な実験を自動実験ロボットにより効率化することは、重要な側面は持つが、新規マテリアルの効率的な創出による日本の競争力強化には、MI と自動実験ロボットの融合による自律型の自動実験システムの開発、導入推進が不可欠である。

しかしながら、マテリアルの研究開発現場に、「自律自動実験」が普及して行くには様々な課題が存在している。その課題解決に向けた施策の展開が必要である。当面は、自律自動実験システムの技術課題解決に向けた集中的な研究開発が必要と考えられるが、それを産業基盤とするには、様々な機関への普及が必要であり、それを加速するために、補助金、税制措置、

規制緩和特区の活用などの政策パッケージの策定が望まれる。また、自律自動実験システムによるイノベーションの創出には新たな感性とスキルを持った人材（サイエンスを理解したシステムインテグレーター）が必要と考えられる。そのような人材の育成も合わせて推進すべきである。

4-3. AI で効果的に活用できる情報インフラの整備

生成 AI 技術の進展により、AI が取り込む情報の質の向上、量の拡大が科学技術の発展やイノベーションの創出に極めて重要な意味を持つようになってきている。しかしながら、マテリアル領域においては、AI に利用できるデータが少ないという課題が立ちはだかっている。そのため、少ないデータから精度良く物性を予測するモデルの研究やシミュレーションを併用する方式が試みられているものの、質の高いデータをより多く活用できるようにすることの重要性は益々増大している。

まず取り組むべきことは、マテリアル領域における研究成果の価値基準の重要な項目として、より質の高いデジタル化されたデータの提供を位置づけることである。その上で、質の高いデジタル化されたデータに必要な記述ルールの策定やフォーマットの標準化を推進すべきである。そのデジタル化されたデータは人の手を介さず自動で作成されるべきであり、そのための研究環境・情報インフラを整備すべきである。これによって、研究者を創造的な活動に集中できるようにし、その活動の過程で得られた質の高いデジタル化されたデータが AI と人で共有され、それを何度でも活用することで、研究成果の指数関数的向上を図る。

このような価値基準の転換施策は政府の研究開発委託事業から進め、論文、学会発表、特許などの研究成果の発表機会に適用していくべきであり、これらの研究成果を AI で活用するための情報インフラを官民共同で整備してゆくことこそ、日本の研究開発力が世界に互していくための重要な施策と考える。

5.産学連携

5-1. 全国横断的な産学連携窓口の整備

大学等における産学連携への意識は高まっているが、企業側にとっては、自らが有する課題に関する適切な研究者に巡り合うのは、依然として難しい状況である。このため、日本の大学・研究機関（可能な範囲で高専や海外の研究機関も含む）の研究者情報を集積した窓口機関を政府主導で整備し、企業からの産学連携相談にワンストップで対応できるようにすることが重要である。TIA（産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、東京大学、東北大学の6機関が参加）の「かけはし」事業でこれに近いことが6機関を対象に行われている。こうすることで、民間企業側の相談にかかる負担を劇的に減らすことが可能となり、相談件数、マッチング件数の増大につながることを期待される。また、当該部署が相談を受けることにより構築する産業界とのネットワークを活用し、大学・研究機関側からの産学連携希望にも対応できるようになることが期待できる。

6. 人材育成

6-1. 「社会実装を担う人材」の育成

日本にはアカデミアを中心に優れた材料技術シーズ並びに優秀な研究者が存在する一方、シーズをアプリケーションとして社会実装するためのノウハウ・経験を有する人材が相対的に不足しており、人材のバランスに課題がある。ゆえに、シーズを社会実装にシームレスに繋がられる人材育成により注力し、適切な人材バランスを実現する必要がある。特に、社会課題解決に関わる社会実装は、権限が地方自治体に移譲されている場合が多く、地方の大学、高専、工業試験場などが担う体制が望ましい。また、クロスアポイントメント制度により、産学の人材交流を進めようとする取り組みがあるが、大学によってはさまざまな制約があり、制度活用に関わりついていない。制度活用を進めるためには国からのさらなる旗振り、指導等が必要である。

6-2. 大学での「標準化」の教育

「三流の国は製品を作り、二流の国は技術を開発し、一流の国は標準を作る」という言葉が流布されている。標準化はバリューチェーンの創出を先導し、市場拡大をアシストするものである。優れた製品やサービスを開発しても、標準化で負けることで市場から排除されてしまう場合もある。欧米では標準化が文化として定着しており、中国は国策として強力に標準化を推進している。一方、国内の企業においては標準化の重要性への意識は必ずしも高くはなく、標準化を担う人材は不足している。日本人には「ルールは上から与えられるもの」と考える傾向があり、自らルール形成を行う意識が低いことが一因と考えられる。標準化を担う人材育成は企業などでの実務経験が必須ではあるが、この状況を変えるには、日本の大学教育で標準化に関する講義カリキュラムを拡充し、皆が標準化の重要性を認識し、積極的に標準化に関与するようになることは、日本の科学技術の発達、産業振興に重要である。

6-3. 企業内での「博士人材」の活用

高度な知識・能力を有する博士人材の企業における活用が十分進んでいない。一定数活躍している人材がいるものの、それが拡がらないのには、需要と供給のミスマッチが存在するものと考えられる。そのギャップを明らかにし、ギャップを解消するための施策を推進する必要がある。博士人材のミスマッチ解消のために、まずは詳細な進路を調査し、人材の流れを把握することが重要である。業界団体主導の調査は網羅的ではなく、政府主導で行うことが望ましい。ギャップ解消の具体的施策としては、全国横断的な博士人材紹介基盤を立ち上げ、学位論文、研究業績などの検索・閲覧を可能にし、「博士課程在学中の学生」および「ポスドク」の企業活用を推進する。また、博士人材の企業へのインターン派遣を支援し、企業採用の後押しを推進する取り組みが考えられる。

6-4. 学校教育での「尖った人材」の育成

日本ではこれまで画一的な学校教育を行ってきた。しかし変化の激しい時代においては、人とは違った視点や能力を持ち、既成の枠組みにとらわれない「尖った人材」が必要とされている。そのためには、多様性を尊重する（小学校からの）学校教育の強化、DX/AI 教育に特化した学校（中高一貫、専門学校）の創設推進、大学での飛び級（入学、進級、大学院進学のための卒業）要件の緩和・拡大、グローバル視点の学校教育・人材育成が必要である。