

今後のナノテクノロジー・材料科学技術の方向性に係る若手研究者へのアンケートに関する結果（一部抜粋）

（1）基盤技術としてのナノテクノロジー、材料科学のあり方について

■ 今後、重要となるナノテクノロジーの切り口や材料科学技術の活用方策

- 「先鋭化」と「融合化」は二極化し役割を明確化した上で、重み付けをし、「システム化」することこそが、正確さと几帳面さを特徴とする我が国の技術を更に高める上で必要不可欠である。
- MI やバックキャスト等の考え方をより深めるとともに、材料専門家と機械専門家等がともに描いた形こそが「システム化」された MI の中身となるべきものである。
- すでに産業応用されている技術の中には、作用原理が解明されていないもの多くあり、解明されれば、材料信頼性の向上や作業工程の効率化にもつながる。ビジネスの創出という意味では、新しい出口を探すだけでなく、既存の産業技術をナノテクノロジーの視点で見直すことで、機能や性能、施工性等の大幅な改善が期待できる。
- 活用方策案として、極限を追求した材料開発（防衛分野、宇宙分野等）や多機能性を有する材料開発（バイオ分野）。
- Nano Tech ⇔ True Nano ⇔ Realization of Nano（3つの重要な切り口）
 - True Nano: ナノ領域で初めて発現する特有の現象・特性を活かすナノテクノロジーの中でも、従来の延長線上ではない、不連続な進歩（ジャンプアップ）が期待される創造的な研究開発や大きな産業応用が見通せる研究開発。
 - Realization of Nano: 産業応用されている分野の中でナノ領域に展開することで、ギャップを超える。バックキャスト＝実用研究＝目的志向研究という発想ではなく、理論的限界やギャップを超える研究への挑戦。
- 材料の横展開を促進する必要がある。もっとコミュニケーションが必要。
- 「先鋭化」の一言で片付けられているが、ナノテクノロジーやナノ材料を極めていくということは基礎固めであり、継続して力を入れていくべき。
- これまでの基盤技術としてのナノテクノロジーから、使える技術としてのナノテクノロジーへのパラダイムシフトを図るにあたり、まずは個別の技術を評価・活用する仕組みを大きく変える必要がある。
- IoT は世界の科学技術の進むべき方向性ではあるが、まずは、ビッグデータを産出するナノデバイスの開発や、それを支えるエッジコンピューティングシステムとナノデバイスの融合が必須である。
- 日本ならではの強みを活かした研究開発戦略を考えることが肝要。インパクトファクターや H-index、各種ランキングといった欧米天下り指標ではなく、分野ごとの目利きによる「真のイノベーションにつながる次世代技術」の発掘・開拓・展開が必要である。
- 適切なハンドオーバーフェーズ、及び、分野をまたぐ横方向への展開をしやすいような研

究システムを設定していくことであると考えている。腰を据えて幅広い分野における研究シーズを探索するとともに優れた成果が得られた場合に直ぐにそれを次にステージに繋げる仕組みを構築また、幅広い分野に精通したコーディネーターを養成することが必要である。

- ナノサイズ効果により物理的・化学的性質の点で有望な材料を実用化へとつなげていくデバイス化・システム化が不可欠である。ナノサイズ・レベルの加工プロセスや評価・解析技術については、より多様な材料や雰囲気への対応といった柔軟性や冗長性を持つ方がよい。
- 「実験室の産業革命」を起こすという点であるマテリアルズインフォマティクスと連携した実験室の産業革命が不可欠である。
- ナノテクの特化領域に求められているところは、ナノ構造を基盤としつつマクロスケールに跳ね返せるレバレッジ効果である。ナノを作りこむナノプロセスだけでなく、性能に直結する、ものづくりプロセスを「科学」とするような転換がないと、ものづくりとして結実しない可能性がある。

■重点的に推進すべき研究開発領域について

- 火力発電、航空機産業に必要な耐熱・軽量材料の研究開発。
- 日本が従来強みを持っている産業（鉄鋼業、自動車産業、重電）を高めるための、ナノプラのような塑性加工技術開発のプラットフォーム化など。同時に、今後芽が出る可能性がある領域も常に目を配っておくことも必要。
- 我が国のメーカーが優位性を保てる領域、・生命とエネルギー、情報とエネルギーなど複数領域のオーバーラップがある領域、・川上から川下（材料からシステム）で進めれば課題解決が加速される分野。
- フォノンエンジニアリング・量子フォノンクス、原子層半導体デバイス工学および材料工学、量子オプトメカニクス、スピフォトンクスおよびスピフォノンクスなど。
- 先端計測、光・量子技術分野では、研究課題の転換や困難な課題への挑戦、オリジナル技術の開拓。また、センサー、素材、ナノテクノロジー分野では、企業あるいは機械系研究者等による、新材料が真に使える材料なのかをいち早く精査する仕組み。
- 出口を医療デバイスにフォーカスした材料開発。
- バイオをターゲットとするナノデバイスの開発。特に、バイオデバイスから得られるビッグデータと疾病の相関は、医科学や生物学の進歩のみならず、創薬にも大きく貢献すると期待される。
- スピントロニクス、炭素膜材料開発、Zスキーム光触媒、メソポーラス材料の応用、ペロブスカイト太陽電池など。逆に、MOFやゼオライト、ゼオライト膜、有機太陽電池（除くペロブスカイト）、二次電池などやり尽くされているものは企業に委ね、文科省・JSTがサポートすべきではない。
- センサー、エネルギーハーベスト、無線、統計解析に関わる材料研究。
- 大気中で不安定な材料群の材料開発。イオンの移動を制御し、機能を発現する研究。蓄電

池を扱う電気化学という学問分野は、量子力学やナノ技術の適用が遅れており、今後の一層の発展の余地を残している。電気化学(触媒、蓄電池等)に、固体物理の概念を融合させた技術分野の開拓が必要。

- 機能—性能を橋渡しするプロセス自体を、独立した学術領域（たとえば、ここに特化したインフォマティクスを育てるなど）として育成すること。

(2) 「システム化・統合化」の中で求められる物質・材料研究のあり方について

■物質・材料研究において「システム化」「統合化」の取組が有効な具体的事例

■これらの取組を行うにあたり現在の物質・材料研究の体制・推進方策等に不足しているもの。また、その実現必要な具体的取組。

- マテリアルインテグレーションにより、材料基礎物性-組織-特性-要求性能を統合することで部材要求性能（未来のニーズ）と3Dカラープリンターで元素・マイクロ組織を配置し、部材を構築する「システム」が必要不可欠である。
- 極めて単純と思われる二元系合金の固溶強化の理論モデルや、まだ未解明部の多い金属材料の強化機構等の基礎研究を重点的に行わなければならない。また、MIシステムの外装にない、人類が誰も探索していない未開のデータは今後も探索し続ける必要があると考える。分野を横断・一部統合する組織的研究の枠組みが必要である。
- 金属材料、無機材料、有機・高分子材料研究の本当の意味での分野融合ができていない。特に接着においては、機械分野（材料の力学特性）と化学（材料の合成・分子レベルでのメカニズム解明）、プロセス（材料の成形加工）の融合研究が行える体制が必要である。
- 異材接合は本質的に重要になると思われる。これまでに蓄積されたナノ計測技術や非破壊検査技術を駆使することで、異材接着のユニバーサルなメカニズムを解明し、産業応用に繋げていくことが必要になると考える。
- Backcast、その分野を俯瞰できる人間が不足している。
- 元素戦略各研究拠点のような体制を構築し、一つの問題に対して、各大学や研究所の人員・物資を最大限活用するとともに、それを束ねることでシステム化ができるのではないか。
- 一連の材料系で複数の用途が考えられるもの。例えばペロブスカイトであれば太陽電池、誘電体、光触媒など多くの用途がある。構造を最適化できる合成屋、物性構造相関を理論的に追跡できる計算科学屋、構造を分子・原子レベルで解析できる先端解析屋、物性を正確に評価できる物理化学屋、デバイス構造を考えられる技術屋を統合化することで技術の縦横展開が可能になる。
- 各研究者がチームワークの中で研究を進めることに対する喜び・動機（研究者の意識の問題）。複数年、腰を据えてチャレンジングな課題に取り組む研究環境。30年、50年先にモノになるかどうかわからないけど、モノになれば大きなインパクト（社会構造を変えられる、イノベーション創出）があることを大学研究者が担うのがよい。我が国においては、計算科学研究者と材料研究者の交流がなさすぎる。

- システム化・統合化を実現するために最も重要なのは、幅広い視野と知識を持ち全体を俯瞰および理解することができる人材。日本人が苦手とするところで、研究者ではごく一握りだろう。この限られた人材を集め、ブレインストーミングを行うような取り組みが必要。日本はとにかくアイデアを競って出す機会がほとんど無いのが問題だ。博士課程での訓練が足りていない。中長期的には人材育成の問題だ。
- 日本中の公的研究機関が保持する先端技術・材料の基礎物性と実用材料としての性能（触媒活性など）を一元管理する拠点や機構があるとよい。個別の技術や材料に関し、位置づけや実用性をアセスメントするため、異分野の研究者らによって評価するシステムが必要。
- ナノテク材料の医療応用という観点からは、真の医工連携が必要。医学部・病院の中に材料・デバイスの作製が可能なクリーンルームを設置して、医工の両方の中堅・若手メンバーから構成される融合プロジェクト（あるいは常設）を発足させる。作製した材料・デバイスをすぐに臨床試験に適應できる仕組みを作る必要がある。
- システム化を行い、その性能を確かめるためには、ある程度の量の均一なデバイスを作製することが必須となる。均一なデバイスをウエハ単位で作る体制が無い。企業が求める概念実証に至らず、埋もれている基礎研究成果があると考えられる。ナノプラットフォームにおけるデバイス開発から試作量産に至る橋渡し研究を実施できる体制の構築がイノベーション創出の鍵を握る。
- システム化のためには俯瞰的に見える基礎研究者を育てることが肝要。そのためには、日本のように閉じた人事制度が問題となる。ドイツのように、産学の人事が交流できれば、システム化の視点を持った基礎研究者が育つ。クロスアポイントメントの本格的な導入、企業を交えた制度設計が重要。
- あちらこちらで生まれた技術シーズの中から有効な物を探して「システム化」「統合化」するという取組は、非常に有効であるが、それを初めから設定して、(基礎)研究者に目的を縛って研究を実施させることは弊害の方が大きくなる懸念もある。例えば上位組織を作り、大学と法人とか、省庁間等の利害にとらわれず、自由な立場で日本全体の最適化のために動ける権限と責任を持たせる。
- 課題抽出の取組としては、自動車や家電のメーカーのようにトップダウン的に仕様を決定できる企業に対し、研究シーズだけでなく用途イメージを示し、当該企業と相談の上、研究目標を設定する方法が挙げられる。良いものを組み合わせで新しいものをつくる取組としては、異分野同士の専門家の積極的な交流が有効である。
- STM と酸化物薄膜作製装置を統合化した装置。ほんのちょっと分解能を上げることをもって「最先端」としてきた。その考えからパラダイムシフトをしなければならない。つまり、「最先端」とはこれまでまったく見えなかったものを見えるようにするという定義にする。
- マテリアル・インフォマティクスを、基礎物性だけを元にして、製薬のように混ぜ合わせだけすれば材料ができる、という物性中心主義で行ったのでは、社会に普及するだけの「もの」は作れない。漠然とした「ものづくり」工程を「科学」の一領域にするために、「ビッグデータ」化や、各種製造技術が本質的に含む「非平衡」、「有限温度」、「実時間スケール」

などの“物理”をきちんと扱える学理およびこれらを含んだ現実味のある計算・シミュレーション技術開発により、前述の「ものづくり＝科学」を集積することが重要。

(3) その他意見・コメント

- ナノテクノロジーを基盤とした産業創出においては、異材接合がすべての事例に共通する問題となってくる。幅広い分野から異材接合に関する課題を吸い上げて、議論する場を企画してほしい。
- 産業競争力を高めるとして、どの産業を強くしていくか。十分な議論が必要なのではないか。システム化、統合化がクローズアップされる背景に、要素技術を磨くことができるような場の構築を期待したい。
- 産業界の若手も含む自分の領域以外の研究を理解して取り組みたいという意欲のある人を集めることが肝心。人を集めるときのポイントは物理・化学・生物などの学問体系（教科）に縛られることをなく、幅広い視野をもった人材が重要。
- 研究で最も大事なものは人。日本の科学技術政策は人を大事にするという基本を疎かにしている。大学全体の評価でなく専攻レベルでの国際競争力評価とそれに基づいた教員・学生定員の機動的な見直しでもしないと抜本的には変わらない。優秀な若手研究者が能力に見合ったポストに就けていない現状は、特に問題視すべき。博士課程の支援もアメリカとは雲泥の差であり、検討すべき。
- 物質・材料研究は、その物質・材料の応用が重要。同じ課題・同じ目的に多くの研究者が参入して競争的に開発を進めるということも重要であるが、応用の可能性を広げるという意味で異なる課題に取り組むことも重要。人的なリソースを、振り分けるということも考える必要があるのではないか。異なるシーズを持つ若手・中堅を中心としたプロジェクトを進めることも有効ではないか。
- ナノファンダリとこれに続くナノプラットフォームは、日本のナノ科学の研究に大きく寄与し、多くの基礎研究成果が生み出された。IoT分野で世界のイニシアチブをとるためには、ここに行けば必ず基礎研究デバイスを試作量産し、ビッグデータ産出まで行えることを保証する専用機関が必須である。
- 視野の広い目利き人材をつくり育てることが、長い目で見ると最も国にとって国を利する研究開発となる。ものづくりとシステム化は、ひとづくりと人のシステムづくりから入ることが肝要ではないか。基礎研究の成果を発掘し、システム化の視点を持った人とマッチングをはかり、企業の手金（本気）を出させて育て上げることが重要。
- 「やる気がある大学教員を伸ばす」施策である。研究者の意欲を下げる施策を排除しなければならない。つまり、研究者がフルにパフォーマンスを発揮できる環境を整える事が重要である。継続的に成果を挙げている人材には、もっとフレキシブルに人事、場所、研究費の面で環境を整えるべき。
- 複数の異分野スペシャリスト同士を連携する「水平な連携」が現在の異分野連携の典型タイプであるが、例えば、一人の人間が第一原理計算から鋳造凝固までできるようなジェネ

ラリストを育てる方向性や「物理と冶金を両立できる人材」、「化学と混連を両方できる人材」を複数組み合わせる「垂直な」連携の育成もあり得る。

(参考)

今後のナノテクノロジー・材料科学技術の方向性に係るアンケート

平成 27 年 9 月
研究振興局参事官付
(ナノテクノロジー・物質・材料担当)

現在、文部科学省科学技術学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料科学技術委員会において、第五期科学技術基本計画も見据え、今後のナノテクノロジー・材料科学技術の方向性について議論を行ってきているところです。今後の方向性の議論に当たっての参考とするため、以下のアンケートにご回答頂ければ幸甚です。現在、取り組まれている研究領域にこだわらず、広い視点から将来の本分野のあるべき姿についてご回答頂ければと思います。

(1) 基盤技術としてのナノテクノロジー、材料科学のあり方について

第五期科学技術基本計画に向けた中間とりまとめ(平成27年5月28日)において『『超スマート社会』の実現に向けて、センサー、ロボティクス、先端計測、光・量子技術、素材、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等、我が国が技術面で強みを有し、幅広いビジネス創出の可能性を秘める基盤的な技術を更に強化する。』とされている一方で、具体的な推進方策については今後検討とされているところです。そこで、以下の点についてご質問です。(欄は適宜拡大して頂いて構いません。)

- ・今後、重要となるナノテクノロジーの切り口や材料科学技術の活用方策
- ・重点的に推進すべき研究開発領域について



(2) 「システム化・統合化」の中で求められる物質・材料研究のあり方について

第五期科学技術基本計画に向けた中間とりまとめにおいて、「(略) 新たな社会においては、個別の製品や要素技術のみならず、これらが有する個々の機能を組み合わせ、一つの統合体として機能させる「システム化」によって、新たな価値が生み出されると考えられる。」とされており、政府戦略においても、「システム化」や「統合化」といった言葉がキーワードとなっております。一方で、その具体的な実現方策等については今後検討されることとなっております。ナノテクノロジー・材料科学技術委員会においては、これまで、「未来社会を切り開く製品に要求する機能を発現するためのデバイス、プロセス、またはそれを実現するための **BackCast** 的な課題抽出を行うための場やプロジェクトの設定。良いものを組み合わせる新しいものをつくる仕組みやそのために必要な最先端科学のグルーピング等が必要。」といった議論がなされております。そこで、以下の点について質問です。

- ・物質・材料研究において「システム化」「統合化」の取組が有効な具体的事例について。
- ・これらの取組を行うにあたり現在の物質・材料研究の体制・推進方策等に不足しているものは何か。
- ・また、具体的にどのような取組が必要となってくるか。

(3) この他、ご意見ございましたらご自由にご記載ください。