

EAJ 報告書

我が国の材料研究のさらなる発展のための融
合・連携



平成30年（2018年）3月16日

公益社団法人日本工学アカデミー

材料プロジェクト

本報告は、公益社団法人日本工学アカデミー 材料プロジェクトの調査研究結果を取りまとめ公表するものである。

公益社団法人日本工学アカデミー材料プロジェクト

リーダー	加藤 隆史	正会員、東京大学 教授
PO	長井 寿	正会員、物質・材料研究機構 アドバイザー
委員	真崎 仁詩	JXTG エネルギー 中央技術研究所 フェロー
委員	吉田 勝	産業技術総合研究所 機能化学研究部門 副研究部門長
委員	伊藤 忠	富士フイルム R&D 統括本部 特命プロジェクトリーダー
委員	村上 進亮	東京大学 准教授
委員	津本 浩平	東京大学 教授
委員	穴戸 厚	東京工業大学 教授
委員	高島 義徳	大阪大学 講師
委員	大槻 主税	名古屋大学 教授
委員	足立 吉隆	正会員、名古屋大学 教授
アドバイザー	山本 尚	正会員、中部大学 教授

本報告の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

名簿

中村 道治	正会員、科学技術振興機構（JST） 顧問
曾根 純一	科学技術振興機構（JST） 研究開発センター 上席フェロー
宇田 茂雄	日本IBM グローバル・ビジネス・サービス事業 技術顧問
永野 博	正会員、政策研究大学院大学 非常勤講師
城 尚志	帝人グループ 理事、マテリアル技術本部付
川崎 卓	デンカ イノベーションセンター 先進技術研究所 副研究所長 兼構造物性研究部長
宮下 哲	科学技術振興機構（JST） 研究開発センター フェロー

【要 旨】

社会、産業にとって材料の果たすべき役割は大きい。我が国の材料は、世界的優位を保ってきたが、近年その世界的地位に揺らぎが見えている。先進諸国では、材料の根底を変えようとする国家的な取組がなされ、それぞれの世界的優位性を得るための戦略的な挑戦が進んでいる。

21世紀のこれからは、資源・エネルギー・環境制約がさらに厳しくなることが不可避であり、激化する諸制約条件の下で、従来技術の延長線上に問題解決を望むことは期待できず、高い達成目標に込えられる、根底から発想を転換した挑戦が求められる。また、できるだけ早期の問題解決も期待される。だが、人口減の時代を迎えた我が国では、少ない陣容でより高度の成果を得ることができるような、材料利用とこれらの問題の関係を正しく理解した、資源・材料利用リテラシーをもつ高度人材育成と環境構築が不可欠である。

一方、材料への要求要素は多種多様であり、したがって、新しいシーズの探索からその材料による製品が社会に実装され、産業的に成立するまでに、様々な角度からの20年以上にわたる中長期的に継続した研究開発が求められる。しかし、短期成果を求める潮流が、材料の基礎研究に対しても短期的視点での評価となりがちで、これが我が国の材料の基礎を脅かしている。

我が国では先進諸国に比して、産と学の研究連携が弱く、これがシーズから製品の社会実装に至る諸課題について、産学が認識共有し研究開発の臨むことを妨げている。

本報告書は、我が国の状況を分析し、これから求められる戦略として、「我が国の材料研究を切り開く異分野融合連携の構築」を提言し、それを実現していくための「材料エンジニアリングエキスパート研究所」を創設し、運営することを提案している。独自の研究実施サイトを持たないバーチャル組織で、ネットワーク型とすることにより、むしろ迅速な組織化や状況の変化に応じた改組も容易になる。

基本設計概念として、以下のような提案をしている。

- 大学は基礎学理を分担し、企業はデバイス化・プロセス化を担う。
- 既存の材料科学のウィングを広げて、学問の壁を取り払い、持続社会に貢献できる材料の科学を創り上げる。
- 比較的自由な研究環境を保証し、優れた次世代リーダー候補人材を中心に、少数精鋭で研究者・技術者を産学から集める。
- 立ち上げには基本的に国費をあてがい、運営資金には産業からの積極的貢献を充てる。
- 国立研究所、国立大学の付置研なども参画、貢献する。
- 知的財産の確保および成果の世界標準化を狙う。

管理運営の基軸に、時間軸を持った目標と**ガバニングボード**の機能性が重要であることを指摘している。ここでは、指導者的人材を産み出すために、**高度なりべラルアーツ教育**も施すことも大事である。

目 次

1	はじめに	1
2	材料の世界優位性が揺らいでいる	2
	(1) これからの重要視点	2
	(2) 世界トップ水準を維持してきた材料	3
	(3) 材料の重要性は変わらない	4
	(4) 材料の根底を変えようとする新しい国際的潮流	8
	(5) 世界座標から見る日本の位置	10
3	これからのために期待される展開を阻害する要因と対策	12
	(1) 学による「新たな知の探究」を短期的視点で評価しない	12
	(2) 社会要請の変化に連動して学問構造を慎重に変化させる	13
	(3) 大学と企業との共同を本質的に深化させなくてはならない	14
4	提言「我が国の材料研究を切り開く異分野融合連携構築のために」	17
	(1) 材料のライフサイクルを見据えた異分野融合・産官学連携プラットフォーム	17
	(2) 「材料エンジニアリングエキスパート研究所創立」の提案	19
	(3) 具体的プロジェクトテーマ例	20
	<参考文献>	23
	<参考資料1> 審議経過	24
	<参考資料2> 「材料プロジェクト」報告書公開検討会	25

1 はじめに

有機・高分子材料、金属・無機材料等の新素材に関する技術は20世紀の人類の生活・社会・産業の発展に大きく貢献してきた。しかし、技術成熟度は「理論的境界」に近づき、従来の延長線上に課題解決があるとするのは安易に過ぎない。21世紀のこれらにおいても、我が国の第5期科学技術基本計画の目指す Society 5.0 実現のためには、「革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる『素材・ナノテクノロジー』の強化」を図ることが期待されている。それに応えるために、克服すべき厳しい課題が横たわっている（図1）。

例えば世界で年間44億トン余、我が国で1億8千万トン余の原油を消費しているが [1]、地球温暖化リスクと言う環境制約を乗り越えるためには、人為的な温室効果ガス排出と吸収を21世紀中にバランスさせねばならない。また、未来世代のためには、そもそも枯渇性資源である化石資源からの脱却を考えなくてはならない。しかしそのために希少資源を用いれば新たな資源制約が顕在化する。こうした環境・資源制約からの脱却するために、高度でかつ持続可能性の高い科学技術体系実現に挑んでいくべきである。

21世紀のこれらを支える材料人材を確保しなくてはならない。しかし、人口減の下では従来規模の量的確保は必ずしも現実的ではない。それどころか、社会・産業に不可欠な分野の一部においては、大学での講座が激減している。今までは、それぞれの分野の専門家がそれぞれの持ち場に責任を持って対処すれば対応できていたのかもしれない。しかし、これからは、材料に関わるすべての専門家が、資源から始まる製品のライフサイクル全体、特に End-of-Life まで含めた課題への正しい理解と技術的基礎、すなわち資源・材料利用リテラシーを共有し、お互いに補完しあうことが不可欠となる。また、質的向上によって、投資対効果を抜本的に向上させる方策も講じるべきである。

本報告書は、主に「我が国の材料研究を切り開く異分野融合連携のあり方」に焦点を当てて、それを通じて、これらの諸課題を解決していく道筋を探る。

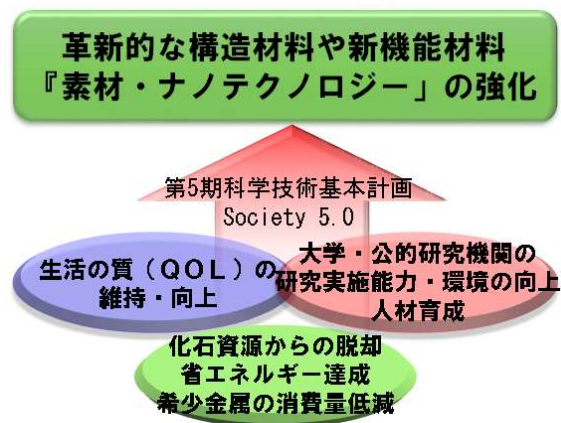


図1 現在社会における課題と材料科学への期待

（出展）本プロジェクトで作成

2 材料の世界優位性が揺らいでいる

日本は材料科学研究や材料製品において、世界の中でも高い水準を維持してきた。歴史的には日本の国内総生産（Gross Domestic Product、GDP）に反映されていた。しかし近年では、世界のGDPの中で、日本が占める割合は低下しており、「資源・環境制約」「人材育成」「労働人口」「材料研究の環境変化」などの複数の要因を、今一度、考察する必要がある。

(1) これからの重要視点

2015年に国連持続可能な開発サミットで採択された「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」において**持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals: SDGs)**が掲げられた [2]。持続可能な開発目標ファクトシートの中でも目標12（持続可能な消費と生産のパターンを確保する）の中で言及された「**マテリアルフットプリント**」削減、すなわち我々の天然資源採取量を減らすと言う命題は、我々が資源の一層の効率的利用を推し進めることを要求している。さらに、目標6、7、9、11ははじめとして、材料が貢献できるものは非常に多い（図2）。



図2 持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals: SDGs)

(出典) 外務省国際協力局地球規模課題 HP、

http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/about/doukou/page23_000779.html

・資源・環境制約

増え続ける世界の人口と途上国経済の発展を考えれば、当面は資源需要が減少することは考え難く、多くの鉱物・化石燃料資源の輸入国である我が国の制限制約はますます厳しくなると考えられる。さらに、国際合意、不慮の重大事故、統計予測、大きな技術革新などの、予見不能な新しい制約、新しい阻害が予期せず現れる傾向がみられる [3]。資源のライフサイクル全体に注目すれば、我が国のみならず多くの先進国、また東アジア地域における物質ストックすなわち潜在的な二次資源の増加傾向が続いており、3R (Reduce、Reuse、Recycle)の促進によるそれらの資源利用効率の向上も急務である [4]。

資源消費そのものだけではなく、地球温暖化に代表される環境制約への対応は不可避である (COP21 : 「21 世紀中に化石資源からの脱却を人類目標に掲げる」)。しかし、その対応の中で希少資源利用などの新たな資源制約を顕在化させてしまうことも多い。よって高品位原料に頼らず、低品位地下資源の活用、未着手の水圏資源開発、さらには農林・食料資源などの再生可能資源などを用いつつ、資源利用効率を向上させることで資源・環境制約双方を克服しなければならない。しかしながら、資源・鉱山研究、プロセス研究 (プラント、合成、鑄造、塑性加工、熱処理などなど) および製品安全性確保のために不可欠な検査技術、破壊・損傷研究など社会・産業に不可欠な分野の教育が失われつつある。こうした技術的分野の基礎知識と、資源・環境制約と材料利用の関係を正しく理解した、資源・材料利用リテラシーを確立し、共有していくことが必要である。

・人材育成

少子高齢化が急速に進行している我が国は労働人口の減少に直面し、一人当たりの生産能力という指標で見れば、その大幅向上が重要な課題となっている。だが、労働力不足に対応して単純に仕事量を増やすのではなく、これからの人材が大活躍できる機会が提供される絶好機と捉えるべきだろう。

人工知能 (AI) やロボット技術の急速な発展により、10~20 年後には、我が国の労働人口の 49%が人工知能やロボット等で代替可能という報告書も発表されている。この代替可能人口の割合は、英国 (39%) や米国 (47%) と比べても高くなっている [5]。この報告書の趣旨は、「必ずしも特別の知識・スキルが求められない職業に加え、データの分析や秩序的・体系的操作が求められる職業については、人工知能等で代替できる可能性が高い」というものであり、裏を返せば、「より高度な専門性と高い創造性を備えた人材を長期的視点で養成」できれば、AI との共生が現実的となるとも読める。すなわち、AI も駆使するが、AI で代替できない高度な創造的職業としての材料研究者・技術者の育成に直ちに取組み、我が国の科学技術力の維持・強化に貢献していくべきである。そのためにも、産業界と連携した大学・公的研究機関における研究環境の向上、研究実施力と人材育成力の向上が欠かせない。

(2) 世界トップ水準を維持してきた材料

我が国の材料は歴史的にも高い水準を維持してきた。我が国が寄与した材料のいくつかの事例を以下に整理しておく。

- ・ **高分子系材料**
 - 1960年 ポリアクリロニトリル系炭素系繊維の開発
発見（大工試 進藤昭男）から 50 年で東レ・帝人が本格展開
 - 1973年 導電性高分子の発明（白川英樹）
現在フレキシブルエレクトロニクスへ展開
 - 1995年 TN 型ディスプレイ用高分子光学膜の開発（富士フイルム）
- ・ **環境・エネルギー**
 - 1968年 酸化チタンを用いた光電気化学（本多—藤嶋効果）の発見
セルフクリーニング（光触媒コーティング）技術 1000 億円の産業
人工光合成に挑む基礎研究
 - 1980年 リチウムイオン電池の原型の開発
ポータブル電子機器に使用。ハイブリッド自動車、電気自動車への展開。
- ・ **磁性材料**
 - 1917年 本多光太郎 永久磁石 KS 鋼の開発。
 - 1984年 ネオジム磁石の発明（佐川真人）
風力発電、ハードディスクやMRI、そしてハイブリッド自動車、電気自動車。
- ・ **LED**
 - 1986年 窒化ガリウム（赤崎勇、天野浩）
 - 1993年 窒化インジウムガリウム（中村修二）
高輝度青色LED
- ・ **半導体**
 - 1994年 透明アモルファス酸化物半導体（細野秀雄）
 - 2004年 IGZO 開発
- ・ **炭素材料**
 - 1991年 カーボンナノチューブ（飯島澄男）

現時点ではまだまだ世界トップクラスにある我が国の材料分野であるが、このまま推移すれば、存立基盤が脅かされ、時代変化への機動的な対応もできなくなり、世界的優位も揺らぐ懸念が高まっている。わが国が強く学問的・産業的にも抜きん出ている分野、たとえば「分子技術」「複合材料」などの世界 No. 1 の地位を、他国の追い上げをかわして、さらに確固たるものとしなければならない。

新しい材料シーズを生み出し、それを製品に組み込んで社会実装するまで、多くの場合、20 年以上の継続した研究開発が不可欠だったことは無視できない。今後、社会実装までの期間を短縮する挑戦は当然必要であるが、中長期的展開を阻害してしまう要因を放置しておくことは、材料の研究開発力を急速に弱体化させるだけである。

(3) 材料の重要性は変わらない

材料には様々な分野がある。ここでは主にプロジェクトチームが関係する事例を中心に

論じる。その制約はあっても材料全般に共通的な現状認識においては大きな違いはないと信ずるが、さらなる詳細な分析については他に譲る。

① 高分子材料

ディスプレイを例にとれば、液晶と高分子からなる光学フィルムが主要性能を決定している。我が国の家電メーカーと化学材料メーカーが協力して大面積化と高精細化が進み、従来の CRT ディスプレイから主役の座を奪った。鍵は、液晶分子の開発と高性能光学フィルムの製造技術と実装技術であった。いずれも日本の企業と大学の基礎研究開発が大きな役割を果たした。

この学術的基盤となるのが、**材料の性能を司る分子構造および高次構造を設計し創り出す技術**である。従来の経験論的取り扱いから、近年、「**分子技術**」として体系化され、日本発の概念として、高分子材料のみならず、材料科学の進むべき新しい方向性として期待されている。

このように、高分子材料やそれに関連する分子技術に関する学術は世界をリードしており、これが基礎的基盤技術の柱となり、高機能性高分子材料の創製に繋がっている。また、学術の強さが、優れた人材を輩出して、例えば輸送機器、電子機器の高性能化に大きく貢献するなど産業の強さを後押ししている。

今後は、既存の価値ではなく、「**新たな価値の創造**」に注力することが強く求められている。そのためには、イノベーションを起こす製品・産業の創製、それを支える学問・知識の確立、製品・産業の標準化・トップセールス、といった**産官学による加速的な体制作り**が必要である。

さて、高分子合成・高分子溶液学は、工業的に非常に重要な位置を占め、精密高分子合成学・高分子溶液学は高分子材料の付加価値向上に重要な学問である。しかし、大学でのこの分野は縮退傾向にある。高付加価値な材料創製の基盤となるこの学術分野の継続的発展が必要不可欠である。

② 金属・無機材料

例えば、軽量柔軟かつ安価で設計自由度の高い**高分子を無機材料や金属と組み合わせた複合材料**は、航空・自動車分野で存在感を増している。炭素繊維系材料はボーイング社¹ 製次世代中型ジェット旅客機 B787 の使用部材において 50%を占める。軽量であるため低燃費であることに加え、湿度にも強いことから機内の乾燥を防ぎ快適性も向上している。自動車においても内外装で高分子の利用が増えている。軽量性による燃費向上を強い原動力として、車体やガラスの代替が検討されている。

これに限らず、電子材料、磁性材料、光学材料、構造材料、生体材料など多様な応用分野で世界を先導する材料およびそれを支える人材を我が国は輩出してきた。電磁鋼板に代表されるような工業材料（素材産業が提供し、他産業で利用される素材などを総称）はわが国の貿易収入の大きな柱ともなっている。

元素戦略・希少元素代替技術、分子（制御）技術、再生エネ・蓄電池材料、電子材料、

¹ アメリカ：民間航空機と防衛・宇宙・セキュリティシステムを製造し、アフターマーケットサービスを提供する世界最大規模の企業

パワー半導体、先端構造材料、結晶成長・薄膜・真空技術など、物質創製・材料設計に我が国の歴史的特徴に基づく強みがある。そこで用いられる計測評価・分析・品質管理（電子顕微鏡、NMR、X線等）も強い。強みを生かした省エネ・環境低負荷技術にも国際的優位性がある。

新機能の金属・無機材料は、経験的手法としては組成の多様な組み合わせから探索されてきたが、**材料の性能を司る原子・分子による高次構造の設計**のためにコンピュータを駆使した科学的探索手法に移りつつある。高機能材料には、希少金属元素の利用に依存するものが多いが、科学的手法の発展によって、地上に豊富に存在する元素で代替できる材料の探索、開発にも新たな道筋が開かれる期待が高い。

この高みを持続していくためには、ニーズの把握とともに、製造プロセスの革新を達成する人材育成とそのための企業との連携が必要である。現在、セラミックス製造は、高品位な単純物質を原料として、高温高压下で反応、熔融、焼成するエネルギー消費型のプロセスによっている。高機能確保を維持しつつ、低品位原料でしかも理想的には室温近くの低温で、いわば焼かずに固めるプロセスに移行していくべきである[6]。例えば、有機分子を利用し、分子制御技術でセラミックスを精密合成する手法への挑戦などが考えられる。

ところが、そのために動員すべき基礎学理であり、産業技術として不可欠な資源・鉱山研究、プロセス研究（プラント、鑄造、塑性加工、熱処理など）、製品安全性確保のために不可欠な検査技術、破壊・損傷研究などにおいては、大学での講座が激減している。これらの基礎学理分野の縮退を放置してはいけない。

③ バイオ・製薬など

ア 医薬品

生命現象は、核酸や蛋白質のような生命高分子の機能がその中核を担っており、最近では、例えば構造生物学という名前の通り、生命高分子の原子スケールの立体構造、高次構造の記述が生命科学研究の中核の一つに位置付けられてきた。このような構造生物学の進展が、医薬品開発研究に革命をもたらしている。しかしながら、がん治療、自己免疫疾患治療を中心に顕著な成果を収めている抗体医薬においては、抗体という蛋白質を医薬品として開発するにあたり、従前の低分子創薬とは異なり、コロイド粒子を医薬品として開発する、という視点が必要であった。高分子材料物性の発想を持つ集団（主にアメリカ西海岸のバイオテク関連企業）が抗体医薬を制覇したのも、蛋白質が持つ二つの安定性、すなわち、機能発現のために必要な立体構造安定性と、コロイド粒子としての安定性の双方に精通していたからに他ならない。一方、生命科学者は、細胞、実験動物を用いて、新しい科学を切り開いてきた。しかしながら、生命科学研究から得られた知見の妥当性を確認するという発想には乏しく、米国大手製薬企業によれば、およそ70%の実験データが再現しない、との試算もあるほどである。

- a. **高分子医薬品**：生命機能の解明から、生命科学の出口としての創薬に、一気通貫の戦略が必要となる。その中で、特に、構造-物性-機能を繋げることのできる、物質・

材料科学的な発想が極めて重要である。実際、核酸医薬品を中心に、Drug-Delivery-System(DDS)に期待が集まり、一定の卓越した成果が得られている。しかしながら、DDS に関して本質的に重要であるのは、機能保持に関する安定性、という観点であり、ナノスケールでの材料開発に対して十分な戦略を有している研究集団が先導している。

- b. **中分子医薬品**：最近では、高分子医薬品開発から低分子と高分子の間に位置する、いわゆる中分子医薬品開発に注目が集まっている。例えば、ペプチド医薬品、天然物医薬品はその例である。化学構造そのものに注目が集まりがちであるが、実際には、その分子量（数千程度）を考へても、製剤研究が極めて重要であり、その結果、構造的な安定性とコロイド的な安定性の双方を常にクロストークさせる開発研究が重要となる。ここでも、高分子材料的な発想が重要であることは、高分子医薬品開発と同様である。
- c. **低分子創薬**：低分子創薬における製剤研究は、医薬品開発において本質的に重要な段階にあり、そこでは材料的アプローチが必須となる。我が国は製剤研究においても、現時点では世界トップ水準にある。抗体医薬開発に偏重すると、これらの技術力を本質的に低減させるだけでなく、人材育成という観点でも致命的なダメージを受ける。剤型、賦形剤などその果たす役割は大きなものがあり、これらに関しても、今後継続的な人材育成が要請される。製剤学研究が DDS を中心としていることを付記しておきたい。
- d. **再生医療を支える材料**：①コラーゲン、ゼラチンなど細胞療法に必須の材料、② Container-Closure に用いる材料の二つの観点が本質的に重要である。①に関しては、産業界が先導しており、結果として当該領域を担う若手の育成に遅れが生じている。新規材料開発に関しては、バイオマテリアルという観点で我が国が世界の中心の一つであるが、米国西海岸が当該領域を先導していること、その進展はさらに目覚ましいことは強調すべき点である。②に関しては、内容物の品質を確保するため親水性が要請されるが、現時点で強化ガラスの表面加工という方向性で進んでいる。シクロオレフィンポリマー（COP）樹脂の適用が検討され実用化されていることは、特筆すべきである。
- e. **人材育成の課題**：この分野は工学とは全く無関係と捉える向きも多いが、実際は溶液製剤を中心に材料科学的発想が必須である。特に、生命科学研究と医薬品開発をつなげる領域における、医薬候補品の妥当性検証では、化学的・材料的発想が必須である。例えば、予め薬品が注入された注射器（プレフィルドシリンジ）の材料開発においては、注射器における針の接着、先端ゴムの材質とその注射器との相互作用などで高度な技術が要請され、材料研究の重要性は計り知れない。これに対応できる人材育成が急務の課題である。現状は、工学者がその中心を担っている。

イ バイオミネラル

バイオミネラル研究は、バイオマスを用いた各種材料開発と同様に重要である。当該領域は、我が国が世界の中心の一つである。バイオミネラル研究は、化学領域の

基礎的進展に大きな貢献をもたらしてきたが、人工光合成など成功例はあるものの、応用展開という視点に乏しいものも少なくなかった、と言わざるを得ない。それに対して、バイオミネラル研究は、材料開発により近い位置づけにあり、その将来性に大きな期待がかかっている。

ウ 天然資源と合成技術

我が国の産業構造において、自動車産業は非常に重要な位置を占めている。発展途上国では今後さらに自動車に対する需要が高まるが、自動車用タイヤゴムの新たな製造方法とゴム自身を節約したタイヤの設計が必要となる。天然ゴムの生産量は急に増やせるものではないため、新たなゴムの原料となるバイオマス原料の開拓やこれまでゴム原料にならなかった**石油由来原料を改質する分子技術が必要**である。既に天然ゴムの需給のギャップは顕在化・拡大しており、このままでは自動車用タイヤは供給不足に陥る可能性が高い [9]。

(4) 材料の根底を変えようとする新しい国際的潮流

海外主要国においては、長期的視点に基づき、政策立案から産学連携、人材育成、労働人口の改善まで幅広い新しい挑戦や取組が既になされている。

① 1 マテリアルインフォマティクスで市場導入までを加速化

アメリカでは、2011年に発表されたマテリアルゲノムイニシアチブ (Materials Genome Initiative) において、ヒトゲノムに倣い、情報科学を駆使して新材料を生み出し、市場導入されるまでの速度を高めることを目指している。「市場導入速度 2 倍化」が目標である。具体的には、2014年より NIST(National Institute of Standards and Technology)が CHiMaD (Center for Hierarchical Material Design) を運営し、革新的素材 (樹脂、合金) を開発・設計するための次世代コンピューティングツール、データベース、および実験手法の開発と、それらの産業界への導入に着手している。

一方、欧州においても、最大規模の研究及び革新的開発を促進するためのフレームワークプログラムである「Horizon 2020」の中で、“Leadership in Enabling and Industrial Technologies”として、ナノ技術や先端材料研究の枠組を設け、イノベーションの成長を阻害する中間段階に存在するギャップを埋めるための研究開発事業が推進されており、市場導入を促す政策として位置づけられている。

なお、我が国では、「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」として、NIMS(物質・材料研究機構、National Institute for Materials Science)を中心に同様の取組が始まっている。加えて、2016年から NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構、New Energy and Industrial Technology Development Organization) が実施している「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」においても、有機系機能性材料を対象にマルチスケールシミュレーション等の計算科学を活用して、現在不足している材料の「構造」と「機能」を結びつけたデータ群を作り出し、マテリアルズインフォマティクスと融合することで革新的な機能性材料の創成・開発の加速化を目指している。

このようにこの分野はそれぞれの主要国において、これからを占う必争点となってお

り、我が国としても独自性を保ち、かつ世界的に先進的な成果を確実にものとしていかなければならない。

② 化学系企業における大規模な事業再編の動き

工業的に材料製造を担う欧米の大手化学系企業は、従来の石化事業からの転換を図る傾向が顕著であり、アグリ（種子、農薬）、バイオ、ニュートリション、パーソナルケア、コンシューマー分野に注力すべく、大規模かつ大胆な事業再編の動きがある [7]。例えば、米国の DuPont 社²は、長く主力であった低採算の石油事業を売却しつつ、第一次産業への関連が大きい「食糧」や「安全」をキーワードに、事業ポートフォリオを転換し、より高付加価値素材に事業転換しつつある。ドイツの BASF³も同様に、ポリオレフィン等のバルクケミカルから撤退する一方で、上流のオイル&ガスや農業関連事業など、機能材料関連事業を強化している。これらの大手企業の動向には高い関心を払う必要がある。世界の動きに取り残される恐れが強い。

近年、製薬会社は低分子有機化合物の医薬品合成から、メルク⁴のキイトルーダや小野薬品オプジーボに代表されるように、抗体医薬の開発に舵を切っている。低分子創薬は軒並み縮小傾向にあり、大学の研究においても伝承の危機にある。基礎有機合成の学問が縮小されると、極めて幅広い学問領域において、分子合成技術が継承されなくなる。医薬品合成が特定の国に集中すると、国民の命を第三国に握られるリスクが生まれるので、対応策を講じるべきである。

③ 大学と企業の連携による技術創生の「優等生」ドイツ

ドイツは産官学の連携が多様な形態で回っており、それらの仕組を単純化して理解することは避け、冷静にそれらの仕組と動向を継続的に調査、分析し、取り入れるべきは取り入れるべきである。

接着剤分野を例にドイツと我が国の状況を比較してみる。ドイツでは、燃費向上に高分子接着剤は極めて重要とされ、素材メーカーからエンドユーザーの自動車会社まで繋がりが、研究目的を明確にして取組んでいる。ヘンケル⁵などの接着剤メーカーが自動車の軽量化による燃費向上を目的に、構造接着技術に強く関与している。

一方、我が国では、接着分野が「地味」な学問分野と評価され、学生の興味も低い。日本接着学会の活動への企業の参画は多いが、大学の参加が少ないアンバランスがある。このままでは世界の動きに取り残される恐れが強い。

④ 主要国における重点研究分野の選択と集中 [8]

主要国では、上記の点を含み、材料・ナノテクノロジーの関連する分野で、多くの重

² アメリカ：世界第9位規模の化学系複合企業。近年、ナイロン事業や医薬品事業などを売却し、農業科学・栄養健康・産業用バイオサイエンスなどにも展開している。

³ ドイツ：ハーバー・ボッシュ法の発明でも知られる、150年の歴史を持つ世界最大の総合化学メーカー。「ビーエーエスエフ」が正式だが「バスフ」とも呼ぶ。

⁴ アメリカ：世界的な製薬会社。北米においてのみ「メルク (Merck)」を名乗り、それ以外では「MSD (Merck Sharp and Dohme)」を名乗っている。ドイツのメルクとは別会社。第一次世界大戦時、同社の在米資産をベースに独立した経緯がある。

⁵ ドイツ：大手総合化学会社。1876年設立。家庭用および各種業務用洗剤を中心に業務を展開。接着剤は老舗。

点研究が進められている（図3）。

米国：データドリブンの材料設計（マテリアルズインフォマティクス）に注力している。

EU：ナノテクノロジー、先進材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトニクス、バイオテクノロジー、先進製造である。

英国：耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の創製がキーワードに上がっている。

中国：先端技術8分野の一つ

に「新材料技術」、重大科学研究4分野の一つに「ナノ研究」が上げられており、2030年を見据えた15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「量子通信・量子コンピュータ」「スマート製造・ロボット」「航空エンジン・ガスタービン」等が指定されている。

韓国：30重点国家戦略技術の一つに「先端支持技術（無機、有機、炭素等）」があげられており、材料の先端技術が戦略的に研究

されている。

重点研究分野の選択と集中：主要国

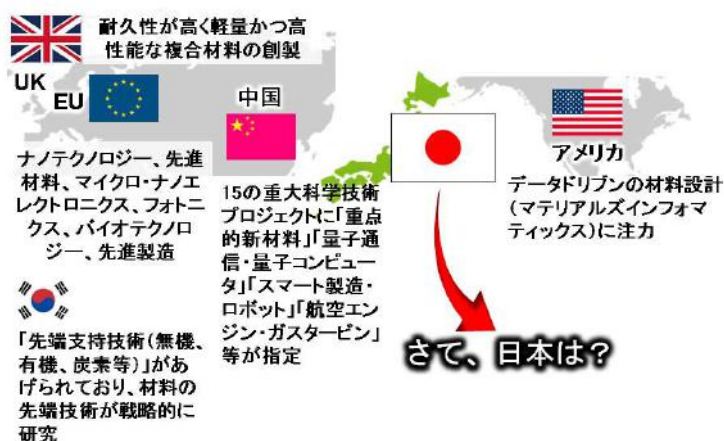


図3 主要国における材料研究の動向

（出展）参考文献 [8] などを元に、本プロジェクトで作成

(5) 世界座標から見る日本の位置

世界経済の中で、日本の存在感は弱まりつつあり、世界のGDP（Gross Domestic Product、GDP）において、日本が占める割合は、1980年に9.8%だったが、1995年には17.6%まで高まったものの、2010年には8.5%に低下しており、IMF（国際通貨基金）の予測値によると2018年には6.0%まで低下する傾向にある [10]。このような状況を変える必要がある。

① 世界市場指標でみる国際的地位の低下

世界市場指標では、とりわけかつて我が国が隆盛を誇った電子材料の分野では、アジア企業の追い上げが熾烈であり、我が国が徐々にシェアを失いつつある。また、全世界機能性素材市場の9割以上は、高い成長潜在性を持つ栄養食品や化粧品原料等であるが、これらの領域では、日本勢の存在感が薄く、欧米勢に後塵を拝している（参考：「機能性素材産業政策の方向性」経済産業省資料（2015年6月））。

② 学術論文指標で見る国際的地位の低下

学術的な指標では、世界における日本の分野別高被引用論文数において、材料科学、化学の両分野で5位以内に、物理は6位に入っており、これらの分野において、日本が

世界の研究コミュニティの中で、大きな存在感を示していることは明らかである（トムソンロイター、プレス発表（2016年4月））。しかし、一方で、2005年から2015年の10年間で、日本では、11分野で論文数が減少し、材料科学や工学では10%以上減っているとの報告もある（トムソンロイター、プレス発表（2017年3月））。すなわち、従来日本が「強い」とされてきた分野での研究活動が、材料分野のみならず全体として停滞している懸念が高く、その底上げが喫緊の課題である。

③ 世界と比較した日本の産学共同研究

一般社団法人日本経済団体連合会（経団連）は、「産学官連携による共同研究の強化に向けて」という提言を出し、これからは研究者と企業との単発的な小さい共同研究ではなく、大きな組織対組織の共同研究ができるようにすべきという趣旨である [11]。他の国と比べると、日本の大学への企業からの投資が少ないので、10年後の2025年には3倍に増やすとも表明している。

経団連の提言に「**資金・知・人材の好循環**」がある。大学は必要な経費を民間から受け入れて研究の活動経費として有効に活用し、さらには、将来必要な投資にも回せるようにしていくことが重要である。このような好循環を実現するには、大学と企業の二つの枠組だけでなく、その間を取り持つ「**人材の好循環**」を実現する枠組が必要であるとされている。

3 これからのために期待される展開を阻害する要因と対策

材料には中長期的な展開が不可欠であり、その展開を阻害する要因は、材料研究を急速に弱体化させる。短期的な研究評価の重視化、資源とプロセスエンジニアリング分野など社会、産業にとって不可欠な学問領域を「既に終わった」と速断し、学術分野を縮退させることなどがそれに当たる。成果評価や成熟分野見直しが不要と主張するものではないので、より建設的に問題点の抽出を試みたい。

(1) 学による「新たな知の探究」を短期的視点で評価しない

いったん「既に終わった」と言われたフォトレジスト技術が、化学増幅レジストの発明で見直され、現在ではほとんどのエレクトロニクス製品製造に不可欠な技術となり、その成果が高く評価されている(www.japanprize.jp/data/prize/2013/j_1_achievements.pdf)。産業的に存在価値が低くなっても、「引き出しに仕舞っておく」ことが大事で、「ゴミ箱に捨てる」と研究者は新発明、新発見のチャンスを逸することにもなる。

また、「2-3年で実用化しないと撤退する」としたら、炭素繊維や海水淡水化膜は目の目を見なかったのではないだろうか。材料シーズが出てから20年以上の研究を経て、利益を生む事業となる例は極めて多い(www.toray.co.jp/ir/pdf/lib/lib_a357.pdf)。

しかし、製品ライフサイクルの短縮化が顕著な時代では、新製品の社会実装化までの期間短縮化は必至である。それに伴い、各企業に短期の研究開発投資の比率を高める傾向が生まれるのは理解できるが、それが中長期的な視点をないがしろにすれば、早晚各企業が持つ競争力基盤を切り崩すことになるので、適切な判断が求められる。

① 産学の本格的連携の政策的奨励策が必要

このような状況においては、学(大学および公的研究機関)による「新たな知の探究」への期待はますます高まる。また、特に工学においては、学理を追求する学と学理を応用する産の協業はいよいよ重要となる。産学の役割の原則的な違いを忘れ、産の短期課題へ学を参画させることが目立つようになると、学のあり方を否定しかねない。我が国ではあまり成功例が見られない「**産では絶対にできない長期的視野での、学理の根底からの取組が必要な研究を学が担い、その成果を企業が本気で社会実装する**」本格的な取組を奨励し、それを支援する仕組みづくりを真剣に考えていきたい。

② 商業誌の価値判断に左右されない研究評価＝ピアレビューこそ

一般的に原著論文をまとめ公表することは研究者の社会的責務である。さらに専門分野の権威ある学会誌への原著論文発表する意義は極めて高い。しかし、少なくとも材料分野では、専門分野を代表しない「ネイチャー」、「サイエンス」などの「商業誌」の価値観に引きずられた評価が、新たな学理を追求する上で大きな効果があったとは言い難い。

評価の必要性に疑義はないが、短期的な指標による評価では評価作業が必要以上となり、投資効果自体を低下させることが明らかである。長い歴史の中で定着してきたピアレビュー(仲間同士の評価)は、評価を通じて仲間同士の力量向上にも役立つ効果も持っている。社会全体の投資効果を最大化する観点からの評価のあり方の見直しを進める中で、既存権威に囚われない自主的なピアレビュー文化を醸成し、既存概念

に囚われない自由な発想の発露を歓迎し、その展開を支援できるようにしていきたい。

③ 「成熟分野」を疎外しないために、産学官それぞれ工夫が必要

限られた資源（資金、人材など）の枠内では、新しい分野を生まれやすくするという点でも、すべての学術分野を従来と同じ資源投資規模で維持していくことは不可能である。しかし、この調整を「自然淘汰」に任せるようでは戦略性がない。

えてして、学における新しい学術分野を立ち上げ多くの学生を集めても、社会（特に産業）にその受け皿がない、新しい枠を作るために「成熟分野」をたたむ、もしくは縮小すると、社会の需要に十分な人材が供給されないなどの需給アンバランス事例が発生する。

これを避けるためには、産学官の長期的な視点での冷静でバランスの取れた問題意識共有が不可欠である。舵を切って問題が大きくなれば、それに応じて改善策を講じ、徐々に最適化していくという考え方もあり得るが、社会状況が大きく変化する局面では、後手後手に回って、結果、本質的な弱体化に落ち込む懸念が高い。

「**成熟分野を疎外せず、新しい分野を開拓する**」という難しい境界条件の下で、産学官の対話を進めるとともに、産学官それぞれにおいて相当の工夫や苦心を出せる仕組みを構築すべきである。これへの対応は、次項以降でさらに突っ込んでいきたい。

(2) 社会要請の変化に連動して学問構造を慎重に変化させる

「新素材が社会を変える」というスローガンは、材料研究の一つの魅力を的確に表している。しかし、どのような新素材であっても自動的に新しい製品を生み出すというわけではない。新機能をアピールしても、とりあえずは新製品のアイデア、ニーズに繋がらないことがままあり得る。新製品に使いたいとしても、社会実装に必要なすべての要求を新素材が満たすとは限らず、結局社会実装されない場合も多い。単純に単価が合わない、事業規模が経営戦略に合わないなど様々な理由で社会実装に行きつかない新素材が多いのが実態である。「産に応用力がない」「海外で応用される」という声も聞くが、それでは解決の光明は見えてこない。まずは、産学いずれの側の材料研究者も、社会ニーズにできる限り敏感となり、幅広い関心を払うべきである。所属企業や専門分野だけからの視点ではこの弱点を克服できない。社会ニーズの変化は必然的に学問構造の変化をもたらすことになる。

① 材料のライススタイル全体に関心を払う

また、「素材は自分の手を離れたら終わり」ではない。最終製品に行き着くまでの様々な工程との適合性（摺合せ技術）、使用中の劣化、損傷、破壊などの不具合の問題解決なども実は、材料研究者の課題である。しかし、この「自分の手を離れた」フェーズでの特に学の材料研究者による取組は不足している。

② 社会実装する産業との連携を強める

特に、学の材料研究者には、社会実装する企業との連携を強めることを奨励する。新シーズの社会実装のために克服すべき課題を総合的に把握しているのは最終実装する企業だからである。また、最終実装する企業には、積極的に学の材料頭脳を活用した共同研究に取り組むことを奨励する。当然、素材産業の参画を前提としている（図4）。

このような連携を進めるためには、秘密情報保護を前提に、ある大学に対して、その企業が持っているありとあらゆる問題を提案するフォーラムを開き、その課題に対して、大学の総力を挙げて解決するプラットフォームの設置などが考えられる。

人口構造や産業構造などの社会構造の変化への対応は、大学が、工学だけでなく人文社会系分野を含めて総合力を発揮して取り組むプラットフォームを産の側と構築すべきである。文系の教員も積極的に関与し、社会課題をどうやって解決していくかを大学と企業で一緒に議論し、具体的研究課題に落とし込んでいくことが必要となる。

(3) 大学と企業との共同を本質的に深化させなくてはならない

政府や大学産学連携部門は大学教員に対し、企業との共同研究を推進しており、共同研究件数は増加している。共同研究を前向きに捉えながら、様々な問題点や期待感が指摘されている。

- ・ 基本特許のない共同研究や学識の蓄積に繋がらない共同研究は基礎研究の疲弊に繋がるため適切ではない。
- ・ 大学の頭脳に期待する民間企業には、学問の発展への寄与にも目を向けて欲しい。
- ・ 大学教員の中には、共同研究費を奨学寄附金と同じように受け止めていないか。
- ・ 外部との連携は研究のパフォーマンス向上に有効だが、契約事務作業とか実務的な負荷を超えるベネフィットを得られない。
- ・ マネジメント経験がない段階での共同研究は負荷がかかり過ぎて、パフォーマンスが下がる。

上述には、「**「産」には負担の大きい学理の根底から取組が必要な長期的視野での研究は「学」が担い、その成果を企業が本気で社会実装する**」、という本格的な取組を含み、特に大学における産学共同研究を正しく展開させるためには、細心の注意を払うべきである。



図4 最終実装する企業を含んだ材料連携

(出展) 本プロジェクトで作成

① 大学の頭脳が快く答えられる連携にする

企業は大学に基礎的な研究内容・知見を期待している。その目的が円滑に進められるようにするためには、両方に有益な形で情報交換が不可欠である。産側が学をエンジニアリング会社への外注と同じように考える姿勢は全く好ましくない。

学にとって経験や知見の無い材料サンプルの評価・実験・計測そのものの中に、工業的・社会的に解決し難い問題が多く含まれ、新しい可能性を内包している可能性が高い。これをサイドワークとして捉えるのではなく、本質的問題に発展する可能性があるものとして連携する姿勢を保つことが、双方の良好な関係構築のための鍵となる。

企業は、現時点での製造過程や商品性能に種々問題を抱えているだけでなく、夢として期待される機能・性能、ニーズについて多くの情報を持っているが、大学はこれらの情報に疎い。これらの情報が両者で適切に共有されれば、大学教員の知見や発想に基づいて、比較的、容易に解決できる可能性もあるし、新しい本質的なアイデアに結実していくことでさらに大きなメリットを将来生み出す期待が高まる。

大学においては、基礎研究に対する政府および政府機関からの研究費が減少傾向にあり、基礎研究の基盤を脅かしている。それに対して、企業と大学の共同を通じて、全く新しい本質的なアイデアに双方が接近することは、疑いなく両者のメリットにつながり、かつ大学の基礎研究能力の増進に大きく貢献すると確信する。

新しい本質的なアイデアに繋がるのは、いわゆる最先端分野の教員とは限らず、むしろ伝統的分野の知見が役立つ場合も多いはずである。問合せおよび対応可能な多様な分野の教員・頭脳が参画できることが極めて大事で、安易に伝統的分野を縮小することは貴重な財産を失い、我が国の基礎研究力を土台から崩すことになりかねない。

このような産との連携は、基礎研究の有効性を広く社会に認知してもらうことにも通じる。多様な基礎研究分野を保持するためには、科学研究補助金との有効な関連を考慮しつつ、大学の頭脳に期待した産学共同を振興していきたい。

② 教育・研究環境を発展させる互恵的共同研究を

企業が期待している成果と大学側が認識する成果に乖離が生じることは、共同研究の発展を阻害する大きな原因になる。この点で、近年増えている「技術相談型共同研究」を有効に活用することが有益である。これを前段階的に大いに活用し、互いに理念とゴールを共有し、WIN-WIN の関係を築く土台とすることができる。

共同研究実施が、大学の研究環境を疲弊させるようでは困る。大学では過去のように「講座として複数の教員および技術職員がいる」状況ではなく、有体に言えば「一人の教員と学生のみ」と言って過言でない。共同研究実施においては、学生に頼るのではなく、企業から専属の担当者・研究者および社会人博士が参画する

ことを強く主張したい。このような「混合チーム」は、シーズ育成ならびに人材育成ともに役立ち、大学の研究環境の疲弊から脱却する現実的な方策である。

③ 大学の知的財産の効果的な活用のために

材料分野では、地方も含めて世界トップクラスの大学は多数有り、世界で戦える知的財産も多数あるが、大学および知的財産の維持が国からの助成金の削減により、専門的な職員の充足度を含めて、管理・維持が厳しい状況に直面している。

また大学では、知的財産化に手が回らず、研究成果を公表してしまうことを見逃している状況もまだまだある。基礎研究の重要性を見極め、基幹特許となる重要な研究に対し、国からの支援の下、大学の知財部を中心として、戦略的に知財管理を行う必要がある(図5)。基礎研究＝基本特許の関係を見極められる研究者の育成やシーズ発見のための専門家の配置も有効である。このような基本特許から実用特許に繋がる特許ポートフォリオ形成のための支援も必要である。知財戦略の充実と実績づくりは、大学産学連携部門によるマーケティングで企業との共同研究により繋げ、実用化に繋げ、国費投資を社会還元する好循環が生まれるように発展していくべきである。



図5 大学等公的機関が持つ知的財産の有効活用

(出展) 本プロジェクトで作成

4 提言「我が国の材料研究を切り開く異分野融合連携構築のために」

以上の検討結果に基づき、我が国が直ちに取組むべき具体的な提案を示し、本報告書のまとめとする。

(1) 材料のライフサイクルを見据えた異分野融合・産官学連携プラットフォーム

① 材料性能は理論的には設計可能

物質科学・材料工学の理論は、あらゆる資源を「原子・分子スケールから有用材料へ」**変換できる**ことを示している（例：図6における「分子技術」）。未検討課題は、資源濃度（賦存量）、反応過程などの多様性に応じて、この理論を産業技術化することにある。低濃度資源が対象となる場合や、自然界のような低温プロセスを志向する場合の課題は、**変換の時間効率**が低いことであり、これを桁違いに高める挑戦が求められる。資源効率を社会的に見れば、利用の時間効率を抜本的に高める、すなわち材料を桁違いに**長寿命化**する事も効果的である。多様なライフスパンを持つ諸製品に対して3Rを前提とすることで、無駄のない持続性の高い社会を構築する。また、材料性能は必ず時間依存で劣化する。自然界における水分、光、熱、人為的な繰り返し荷重による劣化は避けられない。ここに鋭い科学の目を当てる必要がある。図6で言えば、今までの「分子技術」の対象のウィングを資源側および社会実装側に広げることを意味する。

② 「情報分野」と融合し、研究開発期間の物理的な短縮

国際競争の面からは、単独企業では賄いきれない研究開発を対象に、投資対効果を高めて行うべきである。その最も良い例は、マテリアルズインフォマティクスによる材料開発、物質探索の革新的加速に集中的に取り組むことである。化学工学、バイオ分野に比べて、材料工学ではインフォマティクスの適用が遅れたが、急速に体制が整えられつつある。ここでは、探索ツールの研究開発が先行すると思われるが、情報工学、数学、材料工学の複数異分野を縦横に使いこなせる若手人材を育成することが急務である。これには、既存の学問の枠組をいじるのではなく、既存枠は維持し、異分野融合できるバーチャルな新しい枠を作ることが現実的である。図6ではこの枠組を資源側および社会実装側に拡大することが求められる。その対象は以下ようになる。分子の設計、変換・合成、集合・複合構造の創成・制御、機能発現制御、材料化、デバイス化・プロセス化などが挙げられる。さらに、横断的研究・共通基盤性の高い計測・解析などとの融合も当然となる。

③ 社会のリーダーを育成する

経営や社会のリーダーを主として文科系から得るとする暗黙の社会合意はわが国以外の先進国では見当たらない。むしろ、工学系人材が経営や社会のリーダーとして活躍している主要国は多い。経営を学び実行するのは40代以降である場合が多いので、より高い経営力を備えた人材を多数育成するには、将来の日本を支える工学系人材が若手の段階から経営の基礎を学ぶ必要がある。

その場合は座学に留まらず、OJT(On-the-Job-Training)を伴うことが不可欠である。

最先端の科学技術に携わる技術者や研究者が技術と学理の価値評価と将来展望を意識しながら研究開発を進めることにより、俯瞰力の涵養・イノベーションの確率増加・弾力性に富む組織経営が実現する。将来的には、定量化された価値のみに基づく欧米の経営を超えて、日本の固有文化を内包した新たな経営を構築実行することにより、利害関係者のさらなる幸福がもたらされる。図6がそのような場や場面も同時に提供されることが望ましい。

④ 新しい試みから社会に提供されるバリュー・メリット

材料・製品のライフサイクル全体、特に End-of-Life をよく認識できる資源利用リテラシーを身につけることで、資源制約の心配がなく、安全で、環境負荷を最小限化した、快適な生活を自分自身で設計し、実践できるようになる。また、日本の資源自給率が高まり、政治経済的に安定化する。さらに、新材料開発を通して、いわゆる枯渇性資源のみならず、世界の食糧・水の安定供給に資することが可能になる。

AIに代替されえない職業としての、材料研究者、材料技術者の育成が可能になる。これにより、我が国の科学技術力が維持強化される。

企業投資の活性化により、大学・公的研究機関の研究実施能力・環境が向上し、人材育成へ大きく貢献する。

「マテリアル」を鍵として、未着手の水圏資源、農林資源、食料資源などの可能性に光を当て、これら資源を最大効率化しベストミックスすることにより持続可能性を確保できる社会が実現する。

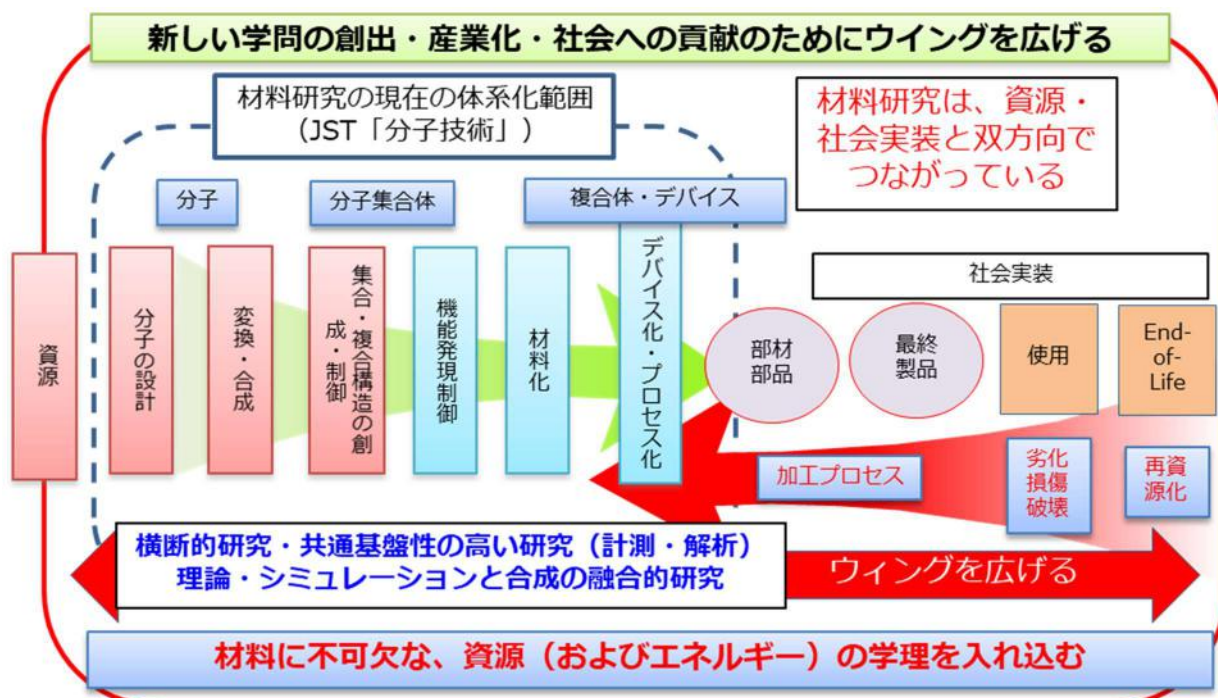


図6 新しい学問の創出・産業化・社会への貢献のため組織構築

(出展) 本プロジェクトで作成

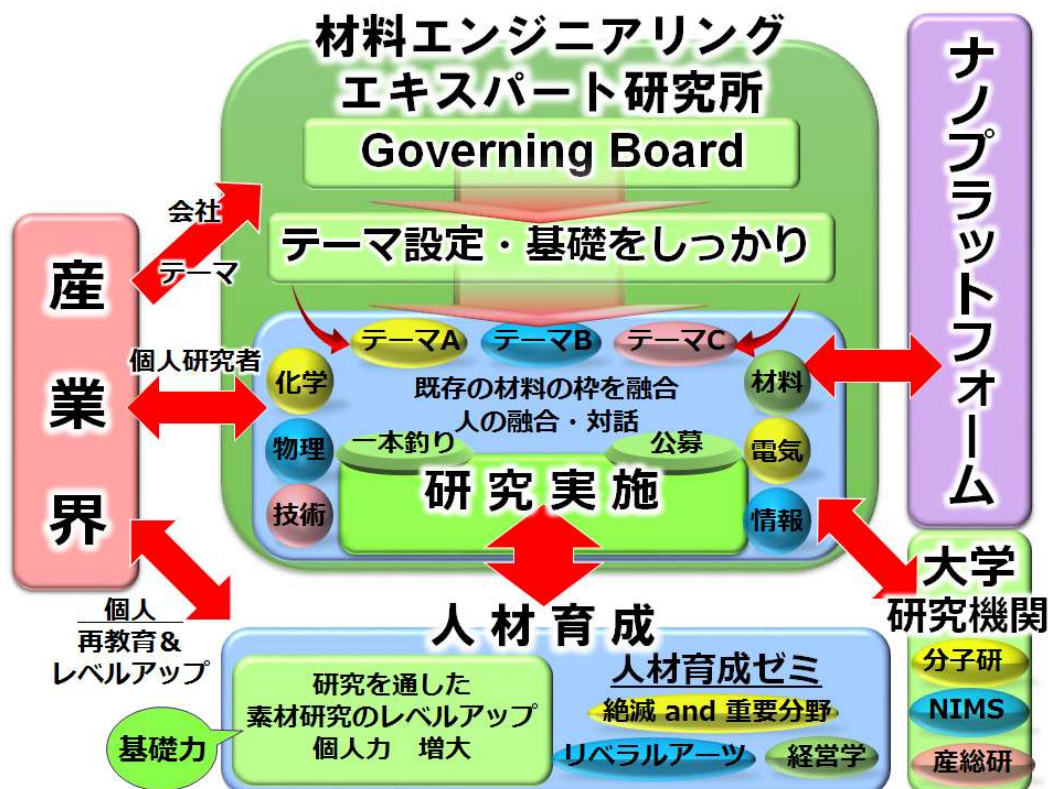


図7 材料エンジニアリングエキスパート研究所の研究実施体制図
(出展) 本プロジェクトで作成

(2) 「材料エンジニアリングエキスパート研究所創立」の提案

材料のライフサイクルを見据えた異分野融合・産官学連携プラットフォームの具体的実施プロジェクトとして、「材料エンジニアリングエキスパート研究所」を創立し、材料全般を見通せるエキスパート人材を養成する長期的なプロジェクトを提案する。

ここでいう「材料エンジニアリングエキスパート研究所」は、バーチャルで独自の研究実施サイトを持つ必要はない。ネットワーク型とすることにより、むしろ迅速に組織化することも可能であり、必要に応じて、改組することも容易になる。(図7)

① 基本設計概念

- 既存の材料科学のウィングを広げて、学問の壁を取り払い、持続社会に貢献できる材料の科学を創り上げる。
- 比較的自由的な研究環境を保証し、優れた次世代リーダー候補人材を中心に、少数精鋭主義で研究者・技術者を産学から集める。
- 立ち上げには基本的に国費をあてがい、運営資金には産業からの積極的貢献を充てる。
- 国立研究所、国立大学の付置研なども参画、貢献する。
- 企業（もしくは企業群）は、大学内にバーチャル協働研究所を設立し、独自の課題に集中的に取り組む。代表企業が関連企業・大学に参画を促し、社会実装に取り組む。大学は基礎学理を分担し、企業はデバイス化・プロセス化を担う。
- 知的財産の確保および成果の世界標準化を狙う。

② 時間軸を持った目標とガバニングボードによる管理運営

- 製品によってはライフスパンが 100 年にも及ぶので、長期的展望を不可欠とする。最終製品の利用段階での我が国の強みを「見える化」するためには、長寿命製品・システムでの国際競争力を高める目標設定が求められる（特に社会インフラストラクチャなど）。
- まずは、2030 年までを第一次区切りとし、水圏資源、農林資源、食料資源から 30% の資源確保を実現する。2050 年までに 50% を目標とする。応用分野は取り扱う量が大きい土木・建築分野を中心に想定する（これは同時に前項にも関係する）。
- 研究テーマを絞り、研究開発段階から上市までの期間の短縮を意識する。この点で、ガバニングボードの役割が鍵を握る。長期的戦略性をもった柔軟な差配ができるかどうかを試される。

④ 人的連携の展開：

- 資源側および最終製品側など他分野との融合連携は、課題解決に資するにとどまらず新しい資質の人材を育成する機会を与える。資源とプロセスエンジニアリングに関わり、絶滅が危惧されている学理と技術に詳しい人材を集結させる。例：レオロジー、繊維（1 次元加工）、単位操作、鋳造、鍛造、加工、損傷・破壊、鉱山、非鉄製錬など
- EU の Circular Economy のようにマクロ経済政策の一環として、資源の高効率利用を目指し、技術開発、人材育成も含めるような統合的な枠組が必要である。これを実現させるためには政策担当者と材料研究者の情報交換、意思疎通が不可欠であり、相互に分かりやすい情報提供が求められる。
- 経営や国の指導者的地位に就く人材を産み出すためにも、高度なリベラルアーツ教育も施す必要がある。

(3) 具体的プロジェクトテーマ例

プロジェクトチームで挙げたジャストアイデアであるが、イメージの具体化に役立つと考え、それらの中からいくつかのものを以下に例示する。これは今後の議論を縛るものではなく、さらに多くの方々が参画し、アイデアを掘り下げ、練り上げていただくことを期待して、報告書の最後に提示するものである。

● サービス産業の生産性向上のための材料（感性に訴える材料デバイス）

サービス産業の生産性の低さを解消するために、その質を高めるための材料デバイスに着目する。現在のものづくりは、高度に体系化された分子物質の電気電子・光学・力学・磁気・熱等の機能発現を設計戦略基盤としている。一方、サービス産業の要となる人の行動や交流に付加価値を与えるためには人間の感性に訴える材料の開発が求められるが、感性は極めて定性的であり未だ体系化されていない。感性を定量化体系化し技術と学理へ昇華することにより、世界に先駆けて感性に訴え満足感ひいては幸福感を提供する材料デバイスを実現する。

● 安全な水やクリーンなエネルギーのための材料

SDGs における目標 6 で謳われるように、安全な水をいつでもどこでも入手可能にするためには、水処理膜などの材料開発を続け提供していくことが必要である。材料科学分野は、これまでもクリーンなエネルギーをクリーンに生み出すことに大きく貢献してきたが、その重要性はますます大きくなっている。

- **農業・林業・畜産業・漁業など第一次産業（食料確保）に貢献する材料**

農学研究は、特に食品に代表される農林水産業における各種要請に応える研究に、多くの研究費が投じられてきた。農学生命系研究では、そのような要請に応えつつも、工学的な発想での研究、特に材料研究が展開されている。セルロース関連に代表されるバイオマス研究、バイオミネラル研究はその顕著な例である。農学と工学の戦略的融合を図ることは、国家戦略としてきわめて重要であり、材料科学研究が、その融合において大きな位置づけにある。

機能材料を農業者に直接提供して、安全安心・高品位質の食料生産と農業の新しい発展に貢献する。素材を高度に理解した加工技術。農業からの原料調達も視野に入れる。生物由来材料の活用、生物由来材料に学んだ新材料技術に着目する。

実施例：フタムラ化学⁶ セルロース素材 農業用フィルム・シートなど

- **持続可能な都市・インフラ構築に貢献する材料**

SDGs における目標 9、11 などで謳われるように、都市、インフラをより持続可能でかつレジリエントなものにしていくことは世界共通の課題である。ここでも材料が果たしてきた役割が今後とも大きいことは明らかである。

- **天然資源の劣化（品位・組成）に対応する材料科学を通じた資源確保**

国内で最大限の資源循環活用を図ったとしても、海外からの資源調達は不可避である。他方で、使いやすいものから使ってきた天然資源は、より欲しい元素の含有量（品位）は低く、忌避元素の含有量の高いものへと（組成の悪化）急速に劣化している。供給安定性を考慮すると鉱山開発から始まり鉱排水に代表される環境面での管理など総合的な関与によって産地側から歓迎されることが望ましい。また、一次資源の低品位化、副産物までを含めた組成変動に対応する新しい技術開発も求められる。これらに総合的に対応するためには、鉱床学、採鉱、選鉱、土木、冶金、化学などの知恵を総動員しなくてはならない。

資源再利用、アップサイクルにより、元材より高機能化、ニーズに対応した新機能付与などの材料技術を開発し、資源循環性を高めるアプローチも期待される。

材料ユーザーと直結した材料研究を展開し、ユーザー視点を直接取組んで展開することが強く期待されるが、第三次産業分野では材料研究者が直接、材料ユーザーに接する機会は少ない。

今後ますます品位が低下し、希薄となった天然資源からの回収に際して、膜等の材料技術を用いることでこれまで不可能であった品位からの回収を目指す。

- **ナノからマクロへの機能増幅を意識した分子物質材料設計とプロセス開発**

異なる技術の掛け合わせからイノベーションが生まれやすい点が異分野融合を

⁶ 名古屋に本社。セロハン、包装用フィルム、活性炭製品などを製造販売し、海外企業も買収している。

後押ししている。日本には大企業から中小企業まで規模と分野の広がりを持った製造業と国研・大学が比較的近距离に集積している点に強みがある。

分野・規模の広がりや立地の優位性にも関わらず、欧米と比較して日本の産官学連携は立ち遅れているのが現状である。国研・大学では、各学問分野でそれぞれ形成したコミュニティの組織力の強さと規模の大きさや、異なる学問分野間のコミュニケーション不足が異分野連携の妨げになっている。加えて、産業界においても、近年取り扱う分子物質材料の多様化により学問分野の垣根を超えたプロセス開発の重要性が認識されているが、方法論の提示と共有には至っていないため、試行錯誤に基づく非効率な取組になりがちである。

既存の学問分野として分類された化学・物理・電気・機械などのみでは今後の社会に求められる高機能材料デバイスの実現に貢献しえない。異種物質を融合統合し、所望のアプリケーションに必要な機能材料を設計し社会実装するための多様な基礎学理を提供する必要がある。既存の学問分野にとらわれず、分子物質が材料デバイスへと集積され社会実装されるプロセスで鍵となるナノスケールからマクロスケールとその拡張プロセスに着目することにより、合目的的な学理の構築と材料設計指針の提供が可能となる。大学・国研から産業界へのシームレスなナノからマクロへの材料化と社会実装が異分野を跨いで実現する。

<参考文献>

- [1] BP 世界エネルギー統計 2017 年版
<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>)
- [2] 国連広報センター 持続可能な開発サミット: 人々と地球のために、私たちの世界を
転換させよう (2015 年 9 月 25-27 日)「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ
採択 -- 持続可能な開発目標ファクトシート」
(http://www.unic.or.jp/news_press/features_backgrounders/15775/)
- [3] 我が国ものづくりが直面する課題と展望「資源・環境制約への対応」経済産業省
(<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g80610a05j.pdf>)
- [4] 循環型社会形成推進基本法 (平成 12 年 6 月 2 日法律第 110 号)
(e-GOV で全文検索可能。<http://elaws.e-gov.go.jp>)
- [5] 野村総合研究所レポート、2015 年 12 月。
(https://www.nri.com/~media/PDF/jp/news/2015/151202_1.pdf)
- [6] 平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 戦略策定調査事業 ナノテクノロジー・材
料技術分野の技術ロードマップ 2016 の策定に関する調査 (NEDO).
(http://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201603/20150000000770.html)
- [7] 参考:「機能性素材産業政策の方向性」経済産業省資料 (2015 年 6 月).
(http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/downloadfiles/kinouseikagaku/150619kinousei-seisaku.pdf)
- [8] 研究開発の俯瞰報告書ナノテクノロジー・材料分野 (2017 年)、国立研究開発法人科
学技術振興機構研究開発センター
(<https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2016-FR-05.html>)
- [9] 『世界と中国における天然ゴム産業レポート (Global and China Natural Rubber Industry
Report) 2017-2021』
- [10] 「IMF(国際通貨基金)のデータベースの「World Economic Outlook Database」の公開値.
(<https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/02/weodata/index.aspx>)
- [11] 「産学官連携による共同研究の強化に向けて ～イノベーションを担う大学・研究開
発法人への期待～」 2016 年 2 月 16 日 一般社団法人 日本経済団体連合会
(http://www.keidanren.or.jp/policy/2016/014_gaiyo.pdf)

＜参考資料 1＞ 審議経過

以下のとおり、チーム会議を6回開催した。

第1回	2016年12月28日	水曜日	13:00-17:00
第2回	2017年01月29日	日曜日	13:00-17:00
第3回	2017年07月07日	金曜日	10:30-11:30
第4回	2017年08月14日	月曜日	16:00-17:30
第5回	2017年08月17日	木曜日	15:00-18:00
第6回	2017年10月01日	日曜日	13:30-16:30

報告書ドラフトをとりまとめ、特に産官側から意見徴集のためにJSTと共催で以下の公開検討会を開催した。

2018年2月9日 報告書公開検討会開催（参考資料2）

報告書の最終とりまとめは以下のように進めた。

2018年3月16日	報告書とりまとめ最終案を提出
2018年3月22日	政策提言小委員会で査読開始
2018年3月26日	政策提言小委員会からの査読意見送付
2018年4月10日	報告書改訂版を提出
2018年4月11日	政策提言小委員会で審議
2018年4月19日	企画・運営委員会で審議
2018年5月15日	理事会で審議結果報告

以上

＜参考資料2＞「材料プロジェクト」報告書公開検討会

主 催：日本工学アカデミー材料プロジェクト・JST-CRDS 共催

開催日時：2018年2月9日 1:00 PM から 6:00 PM

開催場所：JST 東京本部別館 2階会議室 A-2

【プログラム】

13:00 開会挨拶

13:10 「ドイツの産学連携について」永野 博氏（政策研究大学院大学前教授、正会員）

14:20 「最新 IT 分野の動向について」宇田 茂雄氏（日本 IBM 技術顧問）

15:30 「材料プロジェクト報告書案について」加藤 隆史プロジェクトリーダー（東京大学教授、正会員）

15:50 材料プロジェクトに関する討論

17:40 閉会挨拶



プロジェクト外の有識者からの助言、意見を報告書に反映するために、「報告書公開検討会」を JST-CRDS の共催を得て開催し、民間企業、政府機関、大学、研究機関等からの幅広い参加を得て、意見交換を行った。

加藤プロジェクトリーダーが司会を務め、プログラム通りに進行した。話題提供として、永野博会員からドイツでの様々な仕組みでの産業界と学界の連携を教示いただき、我が国との鮮明な比較ができた。次に、情報分野の動向について、日本 IBM 宇田茂雄技術顧問から鳥瞰的な概観を示していただいた。材料分野からは極めて貴重な紹介となり、今後も双方で交流を継続すべきとの認識を確認した。以上を受けて、加藤リーダーが、これまでの調査結果を報告書案に基づいて紹介し、参加者から様々な観点から見ての評価・修正・補足すべき点や、今後の提言に必要となる活動等について、多くの意見、助言を得た。

エキスパート研究所への大きな期待を得たが「バーチャルであることを強調する」「ガバニングボードが鍵でここがよく見えるようにする」「最終的にはどのような研究開発課題に絞り込むかで決まる」などが参加者から共通して表明された重要点である。

国家戦略策定に生かす視点から、中村道治氏（JST）、曾根純一氏（JST）、産業界の動向と関連付けるための視点からは、宇田氏のほかに、伊藤忠氏（富士フイルム）真崎仁詩氏（JXTG エネルギー）、城尚志氏（帝人）、川崎卓氏（デンカ）、産学連携を推進する組織の在り方について、吉田勝氏（産業技術総合研究所）、津本浩平教授（東京大学）、宍戸厚教授（東京工業大学）の諸氏から助言があった。また、村上進亮准教授（東京大学）は鉱山開発など天然資源採取にかかる分野で顕在化している課題について、高島義徳講師（大阪大学）は異分野融合や最終組み立て企業との産学共同研究に関する有効性についてコメントした。文部科学省研究振興局坂元亮介参事官にも参加いただいた。最後に加藤リーダーが、全体を総括し、今後の「材料研究のさらなる発展のための融合・連携」に向けた決意を述べ閉会した。終了後も会場にて活発な議論が長く続き、今後のプロジェクトの推進にきわめて有効な機会となった。

以上

本資料の内容の転載を希望される場合は、(公社)日本工学アカデミー事務局までご相談ください。

編集発行

(公社)日本工学アカデミー

〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F

TEL : 03-5442-0481 FAX : 03-5442-0485

E-mail : academy@ej.or.jp

URL : <http://www.ej.or.jp/>