

報 告

未来の学術振興構想に基づく材料工学の中長期研究戦略



令和8年（2026年）4月28日

日本学術会議

材料工学委員会

材料工学中長期研究戦略分科会

この報告は、日本学術会議材料工学委員会材料工学中長期研究戦略分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議材料工学委員会材料工学中長期研究戦略分科会

委員長	埴 隆夫	(第三部会員)	大阪大学大学院工学研究科特任教授、神戸大学大学院医学研究科客員教授
副委員長	小出 康夫	(連携会員)	名城大学大学院理工学研究科教授
幹事	杉浦 夏子	(連携会員)	日本製鉄株式会社技術開発本部鉄鋼研究所リーディングリサーチャー
幹事	松下 伸広	(連携会員)	東京科学大学副学長、物質理工学院教授
	尾崎由紀子	(第三部会員)	大阪大学接合科学研究所招へい教授
	中野 貴由	(第三部会員)	大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻教授
	井上 純哉	(連携会員)	東京大学生産技術研究所教授
	榎 学	(連携会員)	東京工科大学片柳研究所教授
	大竹 尚登	(連携会員)	東京科学大学理事長
	大野 宗一	(連携会員)	北海道大学大学院工学研究院教授
	折茂 慎一	(連携会員)	東北大学材料科学高等研究所 (WPI-AIMR) 所長、東北大学金属材料研究所教授
	加藤 秀実	(連携会員)	東北大学金属材料研究所教授
	河野 佳織	(連携会員)	日本製鉄株式会社フェロー
	岸田 晶夫	(連携会員)	東京科学大学名誉教授
	小山 敏幸	(連携会員)	国立研究開発法人物質・材料研究機構構造材料研究センター計算組織設計グループNIMS招聘研究員
	佐々木一成	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院機械工学部門副学長／主幹教授
	柴田 悦郎	(連携会員)	東北大学多元物質科学研究所教授
	瀬川 浩代	(連携会員)	国立研究開発法人物質・材料研究機構電子・光機能材料研究センター副センター長
	高村(山田) 由起子	(連携会員)	北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科教授
	筑本 知子	(連携会員)	大阪大学レーザー科学研究所附属マトリクス共創推進センターセンター長／教授

林 幸	(連携会員)	東京科学大学物質理工学院教授
廣本 祥子	(連携会員)	国立研究開発法人物質・材料研究機構構造材料研究センター耐食材料グループリーダー、早稲田大学理工学術院客員教授
南谷 英美	(連携会員)	大阪大学産業科学研究所ナノ機能予測研究分野教授
渡邊 聡	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻教授
松宮 徹	(連携会員(特任))	元大阪電気通信大学監事

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田 浩史	参事官(審議第二担当)
	角田美知子	参事官(審議第二担当)付参事官補佐
	鈴木 祐次	参事官(審議第二担当)付審議専門職(令和8年3月まで)
調査	辻 政俊	上席学術調査員

要 旨

日本学術会議は、2023年9月に、今後20～30年先を見据えた学術振興の複数の「グランドビジョン」と、その実現の観点から必要となる「学術の中長期研究戦略」から成る「未来の学術振興構想（2023年版）」を新たに策定し、提言として発出した。この提言は、184に及ぶ「学術の中長期研究戦略」の提案を、分類・グルーピングして策定した19の「グランドビジョン」から成り、「グランドビジョン」を推進することによって得られる自然や人間における真理や事実に関する知と、その追究と応用によって実現される成果が、地球や人類社会にもたらす貢献は極めて大きい、としている。また、この提言は、我が国の多様な学術振興の指針となるとともに、学術政策、さらに関係省庁、大学を始めとする研究教育機関等における具体的施策や予算措置に活かされることを期待しているものである。

材料工学が、物質を対象とする他の諸科学と最も異なる固有な点は、「材料化」という目的行為である。「材料化」とは、様々な物質を構造体の構成要素までに高次化することであり、それを実現するのが材料プロセスであるが、材料工学では、新物質探索の方向性を内包しつつ、材料をデザインし、与えられた条件下で材料プロセスや材料システムを実現する。また、材料に関わる機能やアプローチの多様性や、材料工学があらゆる工学領域の基盤の一部を構成している点も、その固有の特性と言える。過去30年を振り返ると、数多くの画期的な基礎研究の成果が報告されてきており、科学技術の進歩を基盤として大きな社会変革、Quality of Life (QOL) の向上、経済の変換などが期待されてきた。一部ではその兆しが見えつつあるものの、それに対して世界情勢の変革はより大きな速度で進み、結果として我が国の技術発展がかすみがちとなっている。次の30年間を考えると、この状況をいかに打破し、我が国独特の経済文化の確立と世界的な協調を図れるかが課題となる。その際に、明確に科学技術に基盤を置いた確固たる展望が必要となる。世界の技術水準では、デジタル技術及びAI (Artificial Intelligence) 技術の向上と発展がさらに飛躍的に進むことが予測され、これを支える情報技術、画像技術あるいはヒトと結びつける技術の発展と社会実装が求められる。そのためには、これまで、従来型分野分類に基づく基礎科学に重点を置いてきた、我が国の材料科学分野（材料工学のみならず材料に関する科学も含める）の研究体制をもっと柔軟な形に見直し、現代社会が求める課題解決に目標を定めて、従来の枠内に安住せずに様々な学術分野と連携し、必要なものを取り込んでハイブリッド化することにも積極的に取り組むことが必要である。つまり、基盤研究がガラパゴス化することなく、世界全体、社会全体に波及する方向に進むような科学技術計画が求められる。

この観点から「未来の学術振興構想（2023年版）」を俯瞰すると、「材料工学」に関係する課題が、幾つかのグランドビジョンに跨がって分類されており、今後20～30年先を見据えた材料工学全体の学術振興に必要な課題を把握することが困難である。グランドビジョンに記載されている課題を、材料工学の分類に当てはめると、大きく、材料デザイン革新理論と技術、材料プロセス理論と技術、材料解析理論と技術、材料社会実装のための理

論と技術、持続可能社会・環境に分類され、これらの融合によって、新材料や新機能の構築が可能になる。そこで、これまでのロードマップのローリング（社会状況の変化に機敏に対応して見直す）に係る報告「材料工学ロードマップのローリング 社会インフラ、グリーン・エネルギー分野」及び「材料工学ロードマップのローリング<デバイス、医療・バイオ材料分野>」に加えて、第三部でまとめた「夢ロードマップ」の「材料工学1～4」及び「夢ロードマップ2014」の「材料工学分野Part1、Part2」を参照しつつ、30年後の材料工学を支える基盤学術として必要な課題に関して、「未来の学術振興構想（2023年版）」のグランドビジョンに挙げられた課題から、材料工学に関係するものを抽出し、「材料デザイン革新理論と技術」、「材料プロセス理論と技術」、「材料解析理論と技術」、「材料社会実装理論と技術」、「持続可能社会・環境」の各グループに分類し直し、各課題の研究を深化させ、統合するための方策、必要性、意義についてまとめた内容を「報告」として発出した。

目 次

1	報告の作成にあたって	1
2	背景	3
(1)	未来の学術振興構想	3
(2)	材料工学に関連する学術的な状況と課題	3
(3)	材料工学革新による社会貢献	3
(4)	未来の学術振興構想における材料工学に関係する課題のグルーピング	4
3	材料工学中長期研究戦略	6
(1)	材料デザイン革新理論と技術	6
(2)	材料プロセス理論と技術	9
(3)	材料解析理論と技術	11
(4)	材料社会実装理論と技術	14
(5)	材料分野における持続可能社会・環境	16
4	意義と効果	19
(1)	学術的意義	19
(2)	社会的価値	19
5	まとめ	20
	<用語の説明>	21
	<参考文献>	25
	<参考資料1> 「学術の中長期研究戦略」から抽出した材料工学に関連する課題 とそれらの属するグランドビジョン	26
	<参考資料2> 本報告の理解に役立つ資料	28
	<参考資料3> 審議経過	29

1 報告の作成にあたって

日本学術会議は、2021年4月に取りまとめた「日本学術会議のより良い役割発揮に向けて」において示した改革の方向性を具体化すべく、今後20～30年先を見据えた学術振興の複数の「グランドビジョン」と、その実現の観点から必要となる「学術の中長期研究戦略」から成る「未来の学術振興構想（2023年版）」を新たに策定した[1]。提案された各「ビジョン」を単純に束ねるだけでなく、さらに一段高い分野横断的な視点から検討を加えることにより「グランドビジョン」を作成し、その実現に必要な「学術の中長期研究戦略」のリストを決定している。

一方、材料工学とは「材料の創製と高機能化を極める工学」と定義される[2]。「材料」とは様々な物質からなる素材からある使用目的を有した構造体の多様な構成要素までの総称であり、「材料の創製」とは、現存しない材料、あるいは、より優位に使用目的に適合する材料を工夫して造り出すこと、「材料の高機能化」とは、材料の多様な機能を社会的価値も含めて向上させること、あるいは、新たな機能を付加することである[2]。材料工学委員会においては、日本学術会議第三部が2011年8月に報告した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」（以下、「夢ロードマップ」という）[3]、及び2014年9月に報告した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ2014」（以下、「夢ロードマップ2014」という）[4]を継承し、社会状況の変化に機敏に対応して見直す（以下、「ローリング」という）、材料工学分野についてのローリングを開始した。第23期には、4つの応用材料工学の領域のうち、構造材料が中心となる社会インフラ材料学、グリーン・エネルギー材料学の2領域のロードマップのローリングを実施した。またそれを通じて、共通基礎・基盤領域である材料システム工学、材料プロセス工学、材料リテラシー学について、共通ツール領域である材料解析・診断学、理論・計算材料学、材料ゲノム工学について関連事項を整理し、報告「材料工学ロードマップのローリング 社会インフラ、グリーン・エネルギー分野」[5]にまとめた。第24期-第25期においては、応用材料工学の残りの2領域である、「デバイス材料分野」及び「医療・バイオ材料分野」のロードマップのローリングを実施した[6]。報告「材料工学ロードマップのローリング<デバイス、医療・バイオ材料分野>」[6]には、先に公表した社会インフラ、グリーン・エネルギー分野と同様に最終目標時期を2050年に定め、約30年後の社会像及び必要となる技術について、地球温暖化や人口縮小社会等の社会課題や「持続可能な開発目標（SDGs）」等の国際的活動への貢献も視座におくとともに、ゴールとなる社会像・技術について、これらの研究・開発を将来担うことになる現在十代の子どもたちが夢を抱けるような内容にするべく、まとめている。

この観点から「未来の学術振興構想（2023年版）」[1]を俯瞰すると、「材料工学」に関係する課題が、幾つかのグランドビジョンに跨がって分類されており、今後20～30年先を見据えた材料工学全体の学術振興に必要な課題を把握することが困難である。グランドビジョンに記載されている課題を、材料工学の分類に当てはめると、大きく、材料設計理論と技術、材料プロセス理論と技術、材料解析理論と技術、材料社会実装のための理論と技術、持続可能社会・環境に分類され、これらの融合によって、新材料や新機能の構築が可能に

なる。そこで、これまでのロードマップのローリングに係る報告「材料工学ロードマップのローリング 社会インフラ、グリーン・エネルギー分野」[5]及び「材料工学ロードマップのローリング<デバイス、医療・バイオ材料分野>」[6]に加えて、第三部でまとめた「夢ロードマップ」の「材料工学1～4」[3]及び「夢ロードマップ 2014」の「材料工学分野 Part1、Part2」[4]を参照しつつ、30年後の材料工学を支える基盤学術として必要な課題に関して、「未来の学術振興構想（2023年版）」のグランドビジョンに挙げられた課題から、材料工学に関係するものを抽出し、材料工学中長期研究戦略分科会でまとめた内容を「報告」として発出するものである。

2 背景

(1) 未来の学術振興構想

「未来の学術振興構想（2023年版）」（以下、「提言」という）の策定に当たっては、科学者コミュニティから自由な発想に基づくボトムアップを重視し、まずそれぞれの「学術の中長期研究戦略」の提案を求めた。取りまとめ過程においては、各提案にある「ビジョン」を単純に束ねるだけでなく、さらに一段高い分野横断的な視点から検討を加えて、最終的に19の「グランドビジョン」として明確化した[1]。また、「未来の学術振興構想（2023年版）」の実現に必要な「学術の中長期研究戦略」を付録として具体的に示しており、我が国の多様な学術振興の指針となるとともに、学術政策、さらに関係省庁、大学を始めとする研究教育機関等における具体的施策や予算措置に活かされることを期待している。「未来の学術振興構想（2023年版）」の方式による提言策定は初めての試みであり、本提言でカバーされていない分野及び課題等について、今後の継続的検討が必要な事項が残っている。各「ビジョン」を実現するための「学術研究構想」をさらに充実することが望まれるが、このように不完全な部分を今後補うとともに、学術の進展、社会や環境の変化に伴い、将来しかるべき時期に更新されるべきである、としている。

(2) 材料工学に関連する学術的な状況と課題

材料についての基礎的知識、材料機能を説明する方法を与える材料リテラシー学、材料の機能を発現させるための材料製造方法と新物質創製を含む材料プロセス工学、固有の機能を有する物質を材料化して材料の機能を発現させる基本的な仕組みを理解するための材料システム工学といった学問体系の様々な原理や諸課題は、多種多様な材料について考察するための最も重要な基礎となる[2]。材料の可能性と限界を原理的に理解し、それに基づいた現実の個々の事象に関して適切な材料と材料システムの設計方法を判断するためには3章に後述のような「材料デザイン革新理論と技術」が重要である。また、材料製造方法と新物質創製を含む「材料プロセス理論と技術」と材料が持つ原理的な複雑性や多面性を評価する「材料解析理論と技術」は、新機能材料の研究・開発に必須である。これらは、現実の材料が使われる複雑な利用環境やその条件下で必要となる諸機能、多様な材料化の理論的特徴及びその長所と短所、材料システムの現実的応用とその方法、幅広い分野にわたる材料の応用が生み出す帰結に関する理論と技術となる。さらに、これらを実用化するための「材料社会実装理論と技術」が必要であり、持続可能社会の構築に貢献するための「材料分野における持続可能社会・環境」に関する課題も考慮することは必須である。

(3) 材料工学革新による社会貢献

材料の進化は、人類の歴史の中で常に、新しい科学、新しい技術や新しい産業の発展の基盤として人類の繁栄と社会の進歩に貢献してきた。他方、社会の進歩は、材料のさらなる進化を求め続け、有史以来の材料と社会の相補的かつ相乗的關係が今日の文明社

会を築き上げてきたと言える。21 世紀に入って、電子材料、環境材料、医療材料のように、複数機能の調和ある材料の発展への期待に対応するだけに留まらず、入手容易性、安定供給性、経済性、さらには環境性能など、極めて多様な経済的、社会的視点からも最適化が求められている。また、工学が解決しなければならない課題に対して材料が果たすべき役割や課題の解明、現代の材料が実現しなければならない革新的機能、材料化や材料システムの課題に関する体系的分析が必要となる。

我が国が高い競争力を維持するためには、その基盤である世界的に優れた我が国の材料工学分野において、大学等の研究機関の基礎研究を奨励し、その研究成果を企業に移転し、産業化を図ることが鍵となる。21 世紀においては、ボトムアップ型の材料開発に加え、問題解決型・新分野開拓型の材料工学へのニーズが高まる。

(4) 未来の学術振興構想における材料工学に関する課題のグルーピング

各課題の材料工学への貢献を例示すると図 1 のとおりである。なお、これらの課題解決にあたって、科学教育・社会科学面からの取組みも重要であり、国民の新しい価値観の創造や多様な領域に関係する材料工学の担い手となる人材を継続的に育成することも必要である。これらの詳細については 3 章で述べる。

3 材料工学中長期研究戦略

(1) 材料デザイン革新理論と技術

未来の学術振興構想の内、「材料デザイン革新理論と技術」に関するものとして、人工知能 (AI)、マテリアルズインフォマティクス・マテリアルズインテグレーション (MI)、プロセスインフォマティクス (PI)、デジタルトランスフォーメーション (DX)、及び量子コンピューティング(量子情報)に着目すると、下記を挙げることができる。

【AI・MI・PI・DX】

79 教育・学習ビッグデータ駆動型教育による学習変革

82 データ基盤から知識基盤へ

60 どこでも AI メタバースによる Society 5.5 の現出

62 Society 5.0 において国民の安全・安心を確保しイノベーション・価値創造を加速するソフトウェアエコシステムの革新的基盤技術

【量子情報】

86 スピントロニクス・量子情報学術研究基盤と連携ネットワーク

89 量子情報科学

また「材料プロセス理論と技術」と重複する課題としては、材料素反応データベースの構築と量子マテリアル製造技術(量子コンピュータ、高温超電導材料等)を挙げることができる。以上の背景の下、近未来の材料工学における必須の課題として、ここでは、『材料工学における生成 AI の可能性』に着目したい。以下では初めに上記の個々の構想概要をまとめ、続いて生成 AI 技術によって実現される近未来予想について述べる。最後に当該分野における材料工学の中長期研究戦略について言及する。

まず「教育・学習ビッグデータ駆動型教育による学習変革 (79)」は、教育・学習ビッグデータを集約する研究・教育拠点を形成し、AI を活用した教育・学習ビッグデータの解析に基づく教育・学習支援に関する研究を行うことを目的としている。LX (学習革命) 時代に求められる人材育成システムを構築する構想である。

「データ基盤から知識基盤へ (82)」は、深層学習に基づく AI 基盤モデルをベースとする知識基盤の構築を目的としている。AI 基盤モデルが学術分野の垣根を超えた連携を支援する未来において、世界における日本文化の地位を守る意味でも、我が国における AI 基盤モデル構築・運用体制の確立は重要であろう。

「どこでも AI メタバースによる Society 5.5 の現出 (60)」は、①AI 間の協調・対話に関する研究、②AI プラットフォームを実現する半導体技術の研究、③メタバースを実現するデジタルインフラの構築、の三本柱で構成される構想である。期待される効果としては、AI ネットワークとメタバースが融合し、金融・医療・教育などへの応用研究が展開する、誰もがユビキタス AI 開発に参入し日本の製造業発展と経済に大きく寄与する、さらに安全安心な弱者見守り、健康管理や生産性向上、および視聴覚障害者の不自由のない社会を実現する等である。

「Society 5.0 において国民の安全・安心を確保しイノベーション・価値創造を加速するソフトウェアエコシステムの革新的基盤技術 (62)」は、学術振興ビジョン実現に向けた学術研究を、下記の3つの視点、①アート思考・デザイン思考、②デジタルツイン、及び③Human in the Loopにて推進するものである。高品質のソフトウェアを社会全体で蓄積・共有・循環可能とし、多様な分野に存在する知識をソフトウェアとそのエコシステムとして具体化する手段ならびにダイバーシティや働き方改革等への現実的解の提供を目指す構想である。

「スピントロニクス・量子情報学術研究基盤と連携ネットワーク (86)」は、電荷とスピンを用いた将来の量子情報エレクトロニクスの中核となるスピントロニクス分野において、多数の卓越した国内研究機関を連携ネットワークで結び国際共同研究拠点として整備し、イノベーションを引き起こす構想である。スピントロニクスは、物理学、化学、材料科学（材料工学のみならず材料に関する科学も含める）、電子工学、磁気工学、情報工学及びそれらを融合する学際領域で世界的に大きな潮流となっており、将来の革新的情報技術の構築への貢献が期待できる。

「量子情報科学 (89)」は、国内の量子情報科学の研究機関の学術研究の連携体制を構築し、国際的な連携強化に繋げ、量子情報科学の学術フロンティアを開拓し、多様な量子人材育成を行う構想である。

次に『材料工学における生成 AI の可能性』では、推論能力の高い大規模言語モデル (LLM) と画像生成 AI 等のマルチモーダル環境を、材料工学における各種ツール（ソフトウェア、分析・解析、自動自律実験によるデータ取得など）と結びつけ、これを AI エージェント化することで、新材料開発や既存材料の最適化を著しく加速する未来を想定している [9, 10]。近年における AI の進化は、生物の進化過程に例えると、「①眼の誕生（機械学習における認識・分類能力の獲得で、生物ではカンブリア期に相当）」⇒「②コミュニケーション能力の獲得（大規模言語モデル (LLM) の確立で、人類では言語の誕生に相当）」⇒「③外部リソース・ツールの活用（これは言わば、LLM のエージェント AI への突然変異で、外部記録と外部の道具を活用できる LLM の出現を意味し、人類の進化では、例えばグーテンベルグの活版印刷及び産業革命に相当）となる。」。したがって、今後の AI の発展速度はこれまでの常識を超えたスピードになることが容易に予想される（エージェント AI を束ねるスーパーバイザー AI を実現するノウハウも現在すでに確立されている）。重要な点は、従来、工学において各種ツール（ソフトウェア、分析・解析、自動実験など）を活用する場合、プログラミング技術、専門スキルの習得、また専門マニュアルの学習等が必要であったが、これらノウハウを全てエージェント AI に任せることが、近未来的に可能となる点である。すなわち研究者・技術者は、単に自然言語でやりたいことをエージェント AI に指示すればよい。見方を変えると、これは研究のあらゆる場面で、“自然言語によるプログラミング” が可能となる事に等しい。

他方、エージェント AI を普遍的に実現するシステム・環境整備も日進月歩にて進展しており、特に Model Context Protocol (MCP) の標準化に伴い、ツールの部分を MCP サーバーに集約する環境が出現しつつある [11]。これは、先に説明した進化過程で記した「③外部

リソース・ツールの活用」において、リソース・ツールの構築・活用手法の国際標準化を意味するので、社会実装の面で当該インフラの整備スピード及び規模も、今後拡大の一途を辿ると考えられる。

材料工学の面では、すでに Google や Microsoft をはじめとした巨大 IT 企業が、材料探索分野に参入し始めており [12-14]、ここで活用される AI エージェントは、近未来において研究開発のアシスタントやスタッフの役割を果たすことから、材料研究の方法論自体が大変革する可能性が高い。また以上の新しい環境を縦横に活用できる人材の育成も、教育課程改革も含め、急務であろう。

以上を踏まえ、未来の学術振興構想の個々の分野は、図 2 に示すように、それぞれ「基盤研究・学習革命」、「ソフトウェア・ツール」、及び「拠点形成」に集約され、材料工学の中長期研究戦略としては、『材料工学における生成 AI の可能性』をその中核に位置付け有機的に相互を連携させる流れが必須と考える。

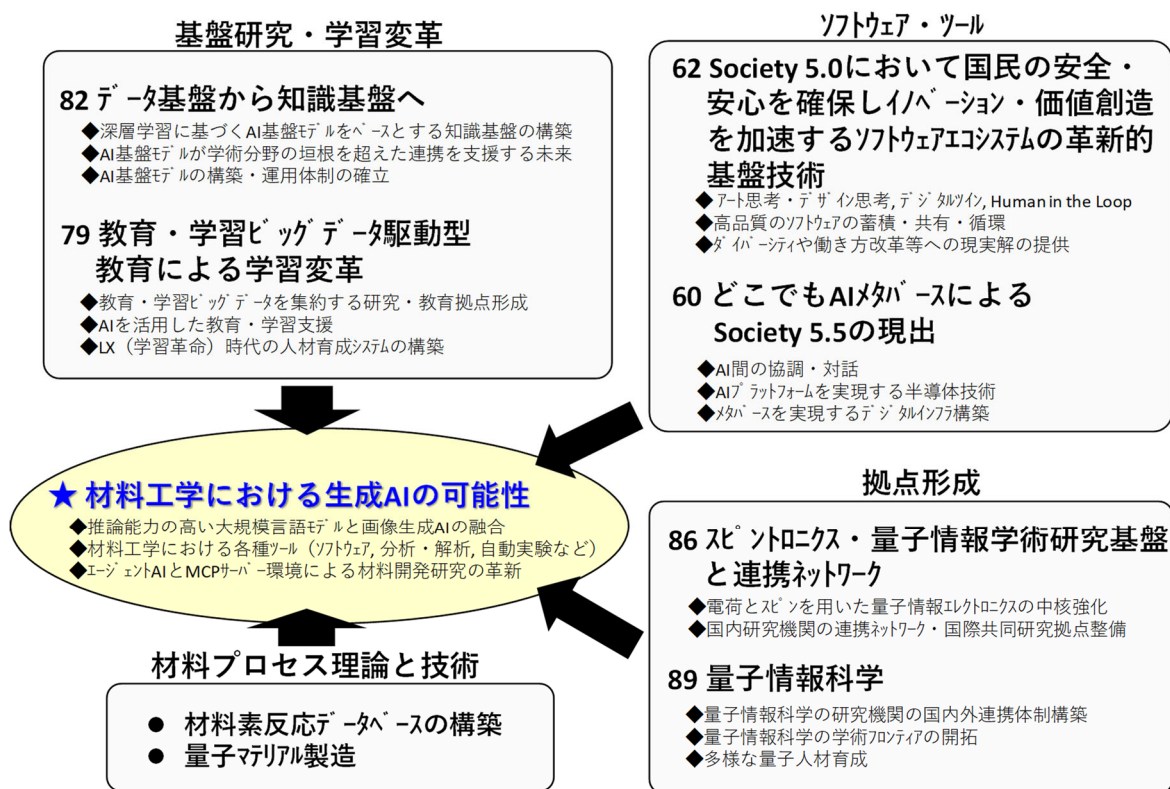


図 2 材料デザイン革新理論と技術に関連する構想のまとめ

(出典「提言 未来の学術振興構想 (2023 年度版)」における「学術の中長期研究戦略」の課題から「材料デザイン革新理論と技術」に関連する課題を抽出し材料工学中長期研究戦略分科会で作成)

(2) 材料プロセス理論と技術

「材料プロセス理論と技術」として、材料に作用する物理的外場（物理場）である圧力場、電磁場に関わる以下の構想が挙げられる。ただし、圧力場として機械的応力場に着眼した構想は見られなかった。また、電磁場により励起状態にある物質から発生するレーザー光及び電子ビーム、あるいは物質の励起状態であるプラズマも副次的物理場として電磁場に分類した（図3）。この他、温度場に関わるプロセス開発の可能性についても本項目に追記する。材料創成における多様な外場の制御は、物質の構造や機能を自在に設計する基盤となる。電磁場、圧力場、温度場、さらにはレーザーやプラズマなどの二次的外場システムを統合・複合的に高度化することにより、固相・液相・気相の多相反応や溶液反応を制御し、新材料創製を指向する未来型材料プロセス科学の確立が期待される。

【圧力場】

- 102 革新的な高圧技術に基づく地球深部物質科学と材料科学の新たな学際融合分野の創成
- 124 表面科学と真空技術のシナジー効果による次世代科学技術の推進

【電磁場】

- 132 未踏強磁場科学による物質材料研究の飛躍
- 118 低温プラズマの学術とイノベーション推進のための研究戦略

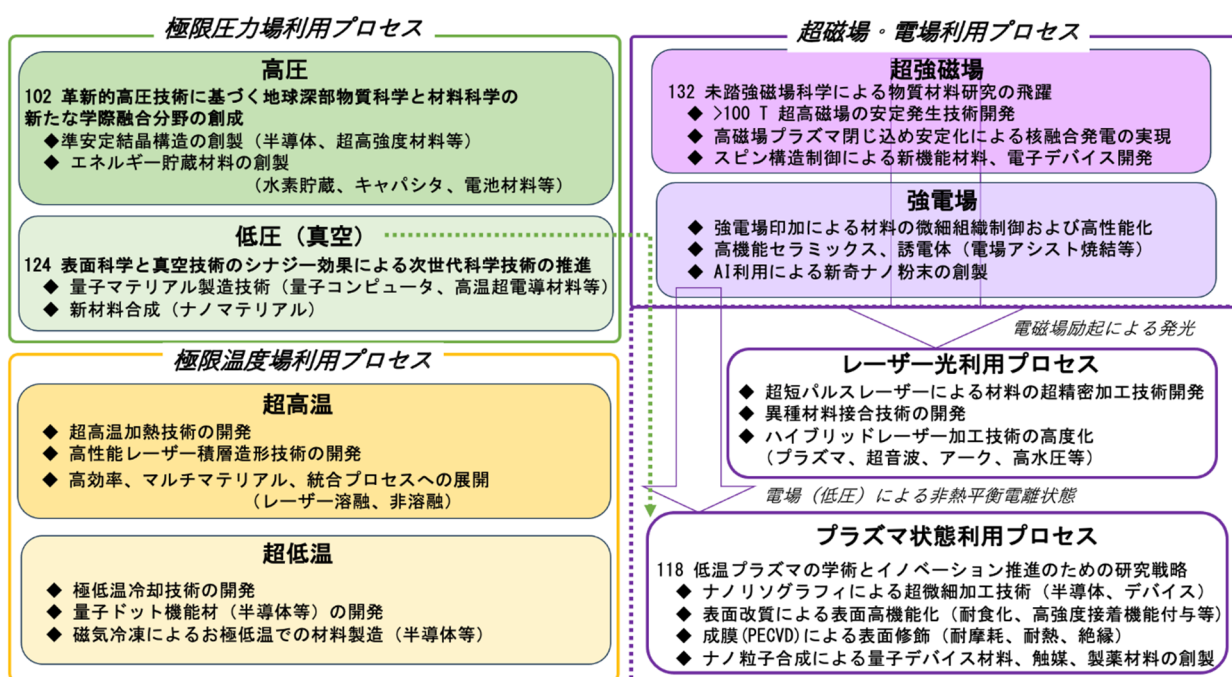


図3 材料プロセス理論と技術に関連する構想のまとめ

（出典「提言 未来の学術振興構想（2023年度版）」における「学術の中長期研究戦略」の課題から「材料プロセス理論と技術」に関連する課題を抽出し材料工学中長期研究戦略分科会で作成）

まず、圧力場に関する構想「革新的な超高压技術に基づく地球深部物質科学と材料科学の新たな学際融合分野の創成 (102)」では、超高压技術の革新と量子ビームラインの高度化を通じ、従来の限界を打破する圧力発生や新材料開発などを推進する。独自技術を基盤とした他分野との連携により、地球深部物質科学の新たな発展と融合分野の創成を図り、従来の技術的限界を超えた圧力領域の探究や新材料の開発を推進するものである。革新的な超高压技術に基づく本構想は、地球深部物質科学と材料プロセス技術との学際融合を通じて、従来到達し得なかった極限環境下での物質合成や相転移制御を可能にするものである。特に、未踏の超高压環境下での反応プロセスの構築は、新たな結晶構造や物性の実現、あるいは液相を経由した新材料の創製に資する。さらに、多分野の研究者からなるコンソーシアムを通じて、研究基盤を強化し、巨大地震発生機構の解明や先端機能材料の製造技術革新にも貢献する。

一方、極低圧場である真空環境に関する構想「表面科学と真空技術のシナジー効果による次世代科学技術の推進 (124)」では、表面・界面での原子・電子構造の解明と制御による材料発見、高性能電池等のエネルギー材料やバイオ材料の開発と、それを支える高度な真空技術の協奏により、国際競争力の高い先端材料やデバイスを開発する。原子・電子スケールでの表面・界面構造の精密理解と制御プロセスの創成により、表面改質による表面高機能化、新材料の発見や高性能電池を含むエネルギー・環境・バイオ分野の革新的デバイス開発の推進を目指す。高度な真空技術と最先端の観測・解析手法の協奏に加え、AI 技術を活用した普遍的解析技術の開発を基盤とした、新材料・新機能の原理解明と応用、次世代真空技術の開発、人材育成を三本柱とする学際的取組を進める。先端真空解析技術による材料表面の精密な理解は、宇宙環境の活用、SDGs の達成や省エネルギー化に貢献する。物理的外場の他に、加工や反応の対象となる場所としての「場」も材料創製プロセスに重要な視点である。本構想で対象とする表面・界面に加え、点欠陥、転位、粒界、微細組織などの微視構造の視点も反応プロセス理論の構築に不可欠であることを追記する。

次に、電磁場に関する構想「未踏強磁場科学による物質材料研究の飛躍 (132)」では、未踏領域の強磁場科学推進するために、革新的強磁場環境を構築し、物質・材料研究への貢献を通じて、物質・材料研究の飛躍的発展を担う国際的に卓越した強磁場科学研究機構への発展過程が提案されている。強磁場コラボラトリーを中核として、超強磁場・精密強磁場環境の整備を進め、物質科学、宇宙物理、生命科学、量子情報など多領域にわたる学際的研究の融合、強磁場と極低温の融合した極限環境下での観測・制御技術の開発は、物質の新たな相や機能の発見、量子センシングや加速器技術の革新にもつながる。強磁場をプロセス場として活用することによって、スピン状態や電子軌道状態を動的に制御した新材料の合成、磁場誘起相転移を活用した結晶成長、磁場アニーリングなど、高度な機能性材料の革新的プロセス創成の他、高磁場プラズマ閉じ込め安定化による核融合発電の実現など新エネルギー技術への発展が期待される。

この他、電場を利用する電場援用による拡散制御プロセスは、セラミックスや超硬等の高融点材料の焼結促進現象として着目される。拡散促進機構の解明を進めることによって、異種材料の接合、あるいは傾斜材料の創製への展開が可能となる。

電磁場による励起によって物質から発生するレーザー光や電子ビームを利用する研究開発も重要であり、積層造形・微細構造加工・異種材料接合など幅広い先端加工製造における更なる展開が期待される。特に超短パルスレーザーやレーザーとプラズマ、超音波、アーク、高水圧等を複合化したハイブリッドレーザー加工技術は、微細構造制御により、機能性・強度・信頼性を両立した高性能部材の製造を可能にする。

また、電場による物質の励起状態（非熱平衡電離状態）であるプラズマ状態の利用に関しては、「低温プラズマの学術とイノベーション推進のための研究戦略（118）」の中で、低温プラズマの科学的解明と社会実装を両輪とする研究戦略に基づき、持続可能な未来社会の構築に資する新たな学術とイノベーションの推進を目指している。未解明な非平衡プラズマ反応の原理を探究し、工学的制御技術とDXの融合により、プラズマ科学の社会的応用を拡大する。プラズマを用いた薄膜形成、表面改質、微細加工といったプロセス技術の革新によって、高機能材料や環境調和型プロセスの実現に貢献する。そのためには、高信頼性の反応データの収集・体系化を行い、非平衡反応場における活性種の生成・反応機構・選択性の解明、計測・シミュレーション技術の高度化、素反応データベースの構築などを通じて、低温プラズマ科学の体系化を図る。

上記の他、材料プロセスに深く関わる温度場については、超高温あるいは極低温といった極限環境を実現する技術の進展により、新たな材料創製の可能性が拡大する。例えば、超高温溶融・凝固プロセスの高度化により、非平衡相あるいは準安定相組織の制御が可能となる。また、超高温からの急峻な温度勾配を伴う積層造形はマルチマテリアル化による新奇組織形成を実現しうる。一方、磁気冷凍などの極低温環境の整備は、量子ドットや超伝導体などの量子マテリアルの物性解明や高精度評価を加速させ、その知見は次世代半導体デバイスや量子技術の開発基盤となる。

「材料デザイン革新理論と技術」と重複する課題として、材料素反応データベースの構築、量子マテリアル製造技術（量子コンピュータ、高温超電導材料等）、また、「材料解析理論と技術」と重複する課題として、革新的超高压技術の開発による地球・惑星物質の組成・形成過程の解明、「材料社会実装理論と技術」と重複する課題として、大型パワーレーザー施設による国際中核拠点の構築、高磁場プラズマ閉じ込め安定化による核融合発電の実現、表面改質による表面高機能化（耐食化、高強度接着機能付与 etc.）、

「材料解析理論と技術」及び「材料社会実装理論と技術」と重複する課題として、高度な表面・界面観測・解析技術が挙げられる。また、「材料分野における持続可能社会・環境」については、粉末焼結法の革新的創成技術開発が重複する。

(3) 材料解析理論と技術

材料工学の中長期的戦略における材料解析技術として超高分解能電子顕微鏡技術が挙げられるが、未来の学術振興構想の中で「材料解析理論と技術」に関するものとして、

図4に示すように、放射光、量子ビーム、パワーレーザー、及び超高压電子顕微鏡に着眼して下記が挙げられる。

【放射光】

140 新学術分野の創成と社会課題の解決を実現する先端放射光科学

145 紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とする国際研究・人材育成拠点の形成と動的局所構造解析による量子物質科学・量子生命科学推進

【量子ビーム】

141 大強度低速陽電子ビームによる物性科学・基礎科学の革新的展開

【パワーレーザー】

142 世界を先導できる大型パワーレーザー施設による国際中核拠点の構築

【超高压電子顕微鏡】

125 超高压電子顕微鏡を基軸とした革新的計測分野の創出 産業課題解決を志向した本邦だけが成し得るオペランド・三次元ナノ観察技術開発

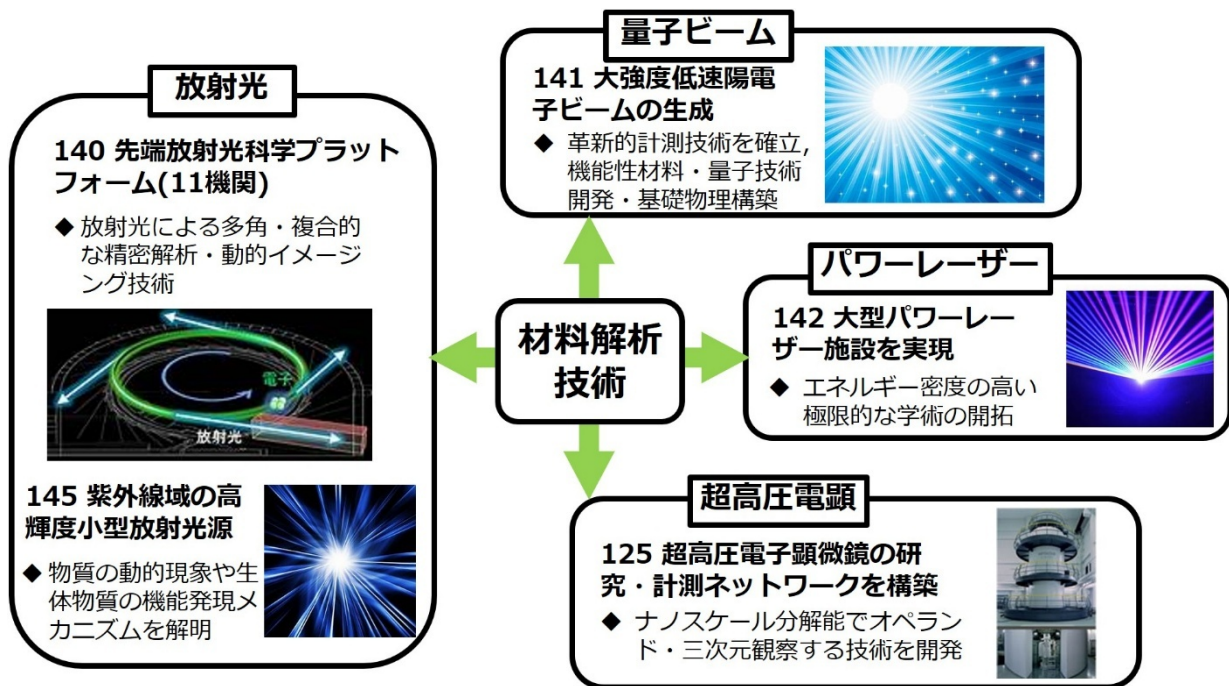


図4 材料解析理論と技術に関連する構想のまとめ

(出典「提言 未来の学術振興構想 (2023年度版)」における「学術の中長期研究戦略」の課題から材料解析理論と技術に関連する課題を抽出し材料工学中長期研究戦略分科会で作成)

「新学術分野の創成と社会課題の解決を実現する先端放射光科学 (140)」に関する構想は、「放射光による多角・複合的な精密解析・動的イメージング技術でデバイス・触媒・生命組織等の状態・機能・動作原理を解明する先端放射光科学プラットフォームを築き、学術・科学技術・産業分野の重要課題を解決すること」を目的とする。「国内11放射光施設で、先端光源・手法開発とそれを担う研究技術者人材育成、各種量子ビーム・各先端計測・理論研究との学術連携、物質・生命インフォマティクス基盤の構築を推

進し、国際協調体制の強化も行う。」放射光科学の光源と計測手法開発技術分野が、材料工学分野でのブレークスルーの礎になる。

「紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とする国際研究・人材育成拠点の形成と動的局所構造解析による量子物質科学・量子生命科学推進（145）」は、紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とした、材料の動的現象などの機能発現メカニズムを解明する国際研究拠点、及び放射光先端計測・AI・DX 技術を一貫して学ぶことができる人材育成拠点を構築する構想である。高輝度小型光源によりスピン・電子構造解析の空間分解能を 1000 倍向上し、材料の局所電子状態の動的変化を解明する。基底状態から励起状態までの一貫した電子状態計測による高温超伝導等の量子現象解明等により、量子論的な材料科学研究に新展開をもたらすことが期待される。高輝度放射光を広く共同利用に供し、産学官連携強化による地域振興や SDGs やカーボンニュートラル実現に向けた学術・応用研究、また放射光先端計測、AI・DX 技術に通じた材料科学の専門人材育成にも貢献する。

「大強度低速陽電子ビームによる物性科学・基礎科学の革新的展開（141）」は、高強度低速陽電子ビーム技術を活用し、材料解析を革新する構想である。nA レベルの低速陽電子ビームを実現することで、原子空孔やサブナノ空隙の三次元マッピングが可能となり、材料の微細構造や欠陥を非破壊で解析することが可能になる。陽電子回折技術を用いて材料表面の電子状態やスピンの空間分布を詳細に検出し、量子技術や先進材料開発に貢献すること、特に、ポジトロニウムの分光を活用した物質内部の詳細解析を通じ、材料の機能性を効率的に評価・改善することが期待されている。

「世界を先導できる大型パワーレーザー施設による国際中核拠点の構築（142）」に関する構想は、オールジャパン体制で、我が国の強みを活かした競争力ある独自の大型パワーレーザー施設を実現し、エネルギー密度の高い極限的な学術の開拓で世界を先導するとともに、産業構造の変革や人材育成に大きく貢献することを目的とする。パワーレーザーを利用した材料科学で世界を先導するために、我が国の強みを活かした国際競争力ある大型パワーレーザー施設（J-EPoCH）を実現し「国際的な連携を推進する要」となるプラットフォームを構築する。大型レーザーの繰り返し動作を飛躍的に上げることで、超高压による新奇量子材料の創製などにつながることを期待される。

「超高压電子顕微鏡を基軸とした革新的計測分野の創出 産業課題解決を志向した本邦だけが成し得るオペランド・三次元ナノ観察技術開発（125）」に関する構想では、ナノ分解能で観察でき、表面効果を受けない材料本来の反応素過程を三次元的に観察できるオペランド計測を目指している。さらに、さまざまな産業分野における新材料やデバイスの開発に貢献し、20～30 年後に直面しうる様々な産業課題を解決できる手法の構築を目的としている。また、高精度の三次元画像を通じて、鉄鋼の変形、半導体の劣化、電池のイオン伝導など、材料科学上のブレークスルーを可能にする。これにより、高強度な新材料や次世代デバイスの開発が促進され、持続可能な未来社会の実現に寄与する。この学術構想は、日本の先進的な研究機関が連携し、超高压電子顕微鏡の技術革新を押し進め、新しい計測技術を確立することで、世界に貢献し続けることを目指している。

(4) 材料社会実装理論と技術

材料工学の中長期的戦略によって創出される新材料・新機能の社会実装としては、輸送機器、土木建築構造物、化学プラント、電気電子機器、半導体、エネルギー、環境、医療などが考えられるが、未来の学術振興構想では、「材料社会実装理論と技術」に関するものとして、図5に示すように、下記を挙げている。

【エネルギー】

119 物性科学連携研究体～エネルギー技術革新を通じて 22 世紀の理想社会実現の基盤形成に貢献する研究ネットワーク・オブ・ネットワークス～

121 総合知としての核融合エネルギー学の創出

【医療】

24 「いのち彩る医療」を実現するバイオマテリアル界面科学の構築

25 健康・幸福寿命の延伸に資するスマート歯科医学・歯科医療の実現

27 実健康寿命延伸・QOL 向上のための ICT 人工臓器研究開発の進展

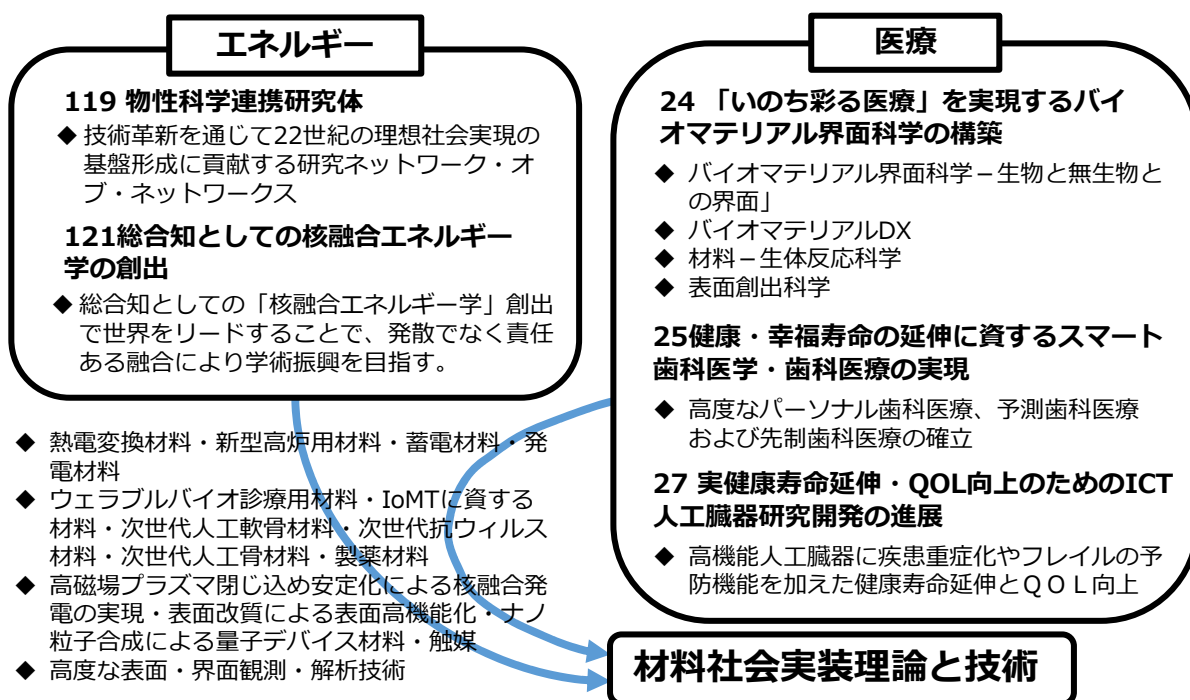


図5 材料社会実装理論と技術に関連する構想のまとめ

(出典「提言 未来の学術振興構想 (2023 年度版)」における「学術の中長期研究戦略」の課題から「社会実装理論と技術」に関連する課題を抽出し材料工学中長期研究戦略分科会で作成)

「物性科学連携研究体～エネルギー技術革新を通じて 22 世紀の理想社会実現の基盤形成に貢献する研究ネットワーク・オブ・ネットワークス～ (119)」は、22 世紀の理想社会の形成に貢献する物性科学研究の展開と若手研究者の育成を図る構想であり、材料工学との関わりを挙げている。物性科学研究をけん引する大学共同利用機関と共同利用・共同研究拠点が主体となって、全国の研究者をつなぎ、戦略的な物性科学連携研究の展

開を可能とする共創研究体制を構築し、物性科学の深化と未踏の融合学術分野創成を推進し、エネルギー問題の解決に資する新物質・新物性の創造にもつなげる。

「総合知としての核融合エネルギー学の創出 (121)」では、核融合学術が細分化を脱却し、材料工学が関わる総合知としての「核融合エネルギー学」創出で世界をリードすることで、世界に伍する研究力を維持し、発散でなく責任ある融合により学術振興を目指す若手ビジョンを示すことを目指す構想である。「核融合オープンイノベーション学術拠点」を中心に、トップサイエンス領域で幅広い先進学術成果が見込まれるエクサスケールコンピューティングによる統合シミュレーション研究、ニュートロニクス設備の整備による核融合炉に特有な環境と照射が重畳する「場」の再現実験、そして官民パートナーシップによる統合プラントシステム研究を推進し、理論と技術の両面から社会実装されることにつなげる。

『いのち彩る医療』を実現するバイオマテリアル界面科学の構築 (24) は「生きがいを持ち楽しむための医療」を目指す構想で、材料工学が深く関わっている。ある。界面反応データの収集と蓄積により界面現象にアプローチする「バイオマテリアル DX」、材料相と生物相との界面現象を空間的・時間的階層性を持って解明する「材料-生体反応科学」、生体適合表面・生体機能表面をデザインする「表面創出科学」を実施し、生体材料を理論と技術の両面から社会実装することにもつなげる。

「健康・幸福寿命の延伸に資するスマート歯科医学・歯科医療の実現 (25)」は超未来型の歯科医学と歯科医療を実現し、高度なパーソナル歯科医療、予測歯科医療及び先制歯科医療の確立を目指す学術振興を構想している。もちろん、その中で材料工学が重要な役割を示すことが記載されている。近年、「健康寿命」と「幸福寿命」の延伸が訴求されており、その実現には口腔保健の維持増進は必須であり、そのための生体材料の役割は大きい。

「実健康寿命延伸・QOL向上のための ICT 人工臓器研究開発の進展 (27)」は次世代人工臓器機能として、抗感染性・生体親和性、小型化・高性能化、低エネルギー駆動及びエネルギー伝送・生成システム、自律制御・常時情報交換 (ICT 化) の研究推進に関する構想であり、材料工学が深く関わっている。高機能人工臓器の実現により、健康寿命延伸と QOL 向上を図り、生体情報の Real time ビッグデータベースを構築し、ヘルスケアに活用するものである。

未来の学術振興構想に挙がっていないが材料工学において必須の課題として、下記が挙げられる。熱電変換材料、新型高炉用材料、蓄電材料・発電材料、ウェアブルバイオ診療用材料、IoMT (Internet of Medical Things) に資する材料、次世代人工軟骨材料開拓、次世代抗ウイルス材料、次世代人工骨材料。また、「材料プロセス理論と技術」と重複する課題として、高磁場プラズマ閉じ込め安定化による核融合発電の実現、表面改質による表面高機能化、ナノ粒子合成による量子デバイス材料、触媒、製薬材料の創製が、「材料解析理論と技術」及び「材料プロセス理論と技術」と重複する課題として、高度な表面・界面観測・解析技術が、挙げられる。

(5) 材料分野における持続可能社会・環境

未来の学術振興構想のうち、「材料分野における持続可能社会・環境」に関するものとして、図6に示すように、下記が挙げられる。

【エネルギー問題の解決に資する新物質創成・元素戦略・省資源・リサイクル】

- 66 データ駆動型社会に向けた力学基盤の強化による社会的・産業的課題解決への貢献
- 127 世界をリードする粉末焼結法の革新的創成技術開発～外場焼結、積層造形、焼結理論、超合金、焼結磁石の研究とSDGs（リサイクル等）への波及
- 126 材料科学・工学アライアンスに基づくクローズドループリサイクル材料開発戦
- 128 持続可能な地球環境と社会幸福に貢献する高分子フロンティア
- 129 オールバンド光電子融合分野の開拓
- 130 元素戦略 2.0:融合的要素活用と元素循環
- 131 資源循環と環境負荷低減の両立のためのサーキュラーエコノミー研究戦略

【カーボンニュートラル】

- 119 物性科学連携研究体～エネルギー技術革新を通じて22世紀の理想社会実現の基盤形成に貢献する研究ネットワーク・オブ・ネットワークス～
- 121 総合知としての核融合エネルギー学の創出
- 123 2050年以降への持続的カーボンニュートラル社会を実現する低温工学および超電導工学体系の創出

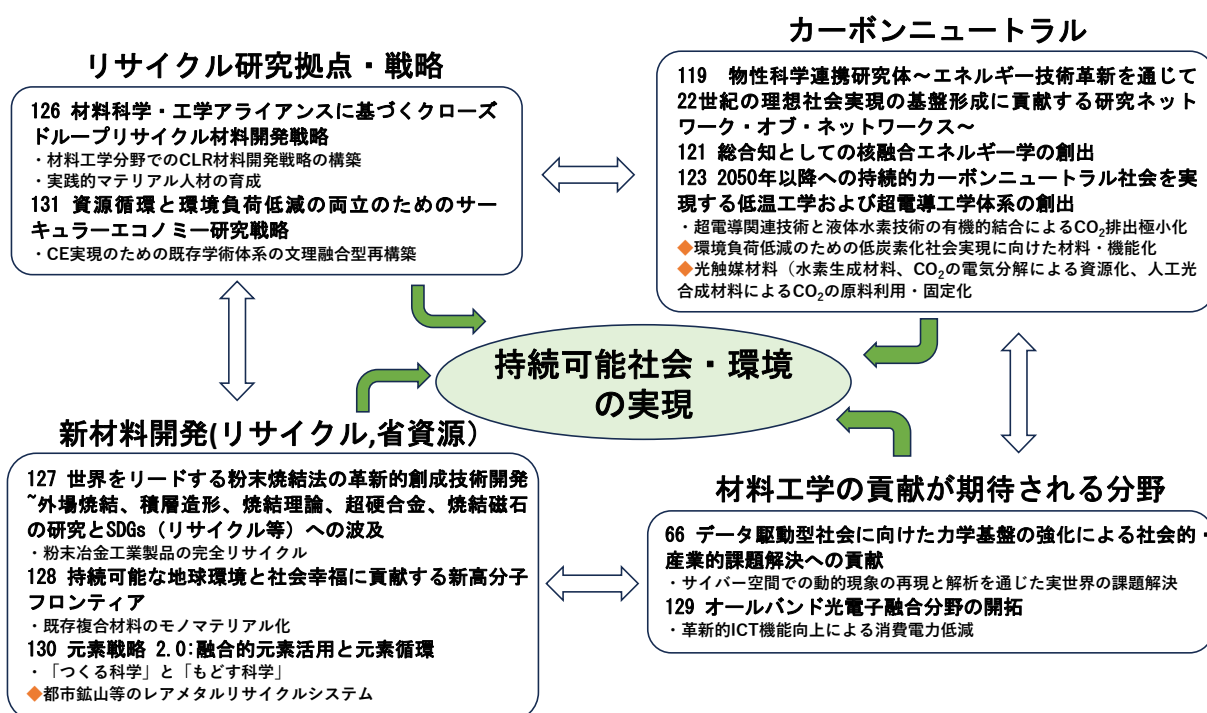


図6 材料分野における持続可能社会・環境に関連する構想のまとめ

(出典「提言 未来の学術振興構想(2023年度版)」における「学術の中長期研究戦略」の課題から「材料分野における持続可能社会・環境」に関連する課題を抽出し材料工学中長期研究戦略分科会で作成)

「データ駆動型社会に向けた力学基盤の強化による社会的・産業的課題解決への貢献 (66)」は、バーチャルツイン等のデータ駆動科学手法を取り入れ、サイバー空間における動的現象の再現と解析を可能とし、力学及び力学を基盤とする工学との融合を図ることで、カーボンニュートラル等の実世界の課題解決に貢献する力学の新しい研究・教育体制の構築を目指すものである。

119、121 は既に (4) 節で材料工学の中長期的戦略によって創出される新材料・新機能の社会実装としてエネルギー分野に効果大きいことを述べたが、119 で創出される創・蓄・省エネルギー材料は再生可能エネルギーの適用拡大に効果が期待され、121 で創出される低放射化材料は核融合発電の実現性を向上させる。

「世界をリードする粉末焼結法の革新的創成技術開発〜外場焼結、積層造形、焼結理論、超硬合金、焼結磁石の研究と SDGs (リサイクル等) への波及 (127)」は、粉末焼結法の革新的な創成技術の開発を研究する構想である。粉末焼結技術は低エネルギーでの材料合成、複雑形状の形成、画期的な特性(強磁性、高強度等)の創出が期待できる非常にポテンシャルの高い素形成技術である一方、多元系組成のため、回収後の分離・リサイクルが困難という課題がある。これらの異なる課題の解決に向け本構想の中で包括的に活動する。

「材料科学・工学アライアンスに基づくクローズドループリサイクル材料開発戦略 (126)」では、リサイクルが容易な元素からなる材料や希少元素を必要としない材料の創製・開発を材料科学・工学アライアンスを基盤として推進し、クローズドループリサイクルの仕組みを構築し、「循環可能な材料設計・創製」、「多機能・複雑系の材料設計・プロセス」、「データ駆動型材料設計・創製」、「オペランド計測」の4領域に関する実践的マテリアル人材を育成する。

「持続可能な地球環境と社会幸福に貢献する新高分子フロンティア (128)」は高分子化学を分子科学として再構築し、高分子の剛性、物性、加工、分解を分子レベルで制御するとともに、データサイエンスに基づく新しい制御法を開発することで、持続可能な地球環境と社会幸福に資する次世代材料を開発し、高分子学術フロンティアを開拓する構想である。

Society5.0 の実現とカーボンニュートラル両立のためには、AI システムの革新的機能創発・性能向上と消費電力の低減の両立が重要となる。

「オールバンド光電子融合分野の開拓 (129)」は、人間の脳の様に高機能・高速・低エネルギー消費で動作し柔軟な判断が可能な知的電子システムと、電波と光、電子と光子の統合的な取り扱いが可能となるオールバンドシステムに関する研究を推進し、革新的 ICT 機能向上とカーボンニュートラルの両立を目指すものである。

「元素戦略 2.0: 融合的元素活用と元素循環 (130)」では有機化学・無機化学・金属材料科学といった物質に含まれる元素に応じた学理を超越し、あらゆる元素間での結合形成を通じた融合型物質の合成を探索する「つくる科学」の実現を目指す。加えて、元素の循環再利用のため、作った材料を「もどす科学」の学理構築を目指す。

「資源循環と環境負荷低減の両立のためのサーキュラーエコノミー研究戦略（131）」はサーキュラーエコノミーを実現のため、既存学術体系を資源循環とそれを支える基礎学術「資源循環学」として再構築する構想である。そのために中核センターを設置し、要素研究・技術開発では俯瞰が困難なエネルギー・資源・廃棄物・環境負荷の各制約を、長期的な視点で両立することを最上段の目的とした研究戦略の推進を図る。

「2050年以降への持続的カーボンニュートラル社会を実現する低温工学および超電導工学体系の創出（123）」は核融合発電、超電導送電、超電導発電機、超電導エネルギー貯蔵、超電導限流機などと液体水素技術（冷熱利用も含む液体水素の製造・輸送・貯蔵利用技術）を有機的に結合しCO₂排出を極小化する総合的な超電導工学体系を創出し、2050年以降の持続的なカーボンニュートラル社会の実現への貢献を目指す構想である。

なお、未来の学術振興構想には挙げられていないが、材料工学において重要な課題としては、レアメタルリサイクルシステム、低炭素化社会実現に向けた材料の開発・高機能化、光触媒材料などが挙げられる。

4 意義と効果

(1) 学術的意義

未来の学術振興構想は、今後 20～30 年先を見据えた学術振興の複数の「グランドビジョン」と、その実現の観点からなる「学術の中長期研究戦略」をまとめたものである。これらの「学術の中長期研究戦略」は、既に学術的意義の高いものであり、これらから「材料工学」に関係するものを抽出し、新材料・新機能の研究開発に重要な材料デザイン、材料プロセス、材料解析、材料社会実装、持続可能社会・環境に分類してまとめ直した本報告は、材料工学の中長期的学術研究の発展に資するものである。

「材料デザイン革新理論と技術」においては、「基盤研究・学習革命」、「ソフトウェア・ツール」、及び「拠点形成」に集約され、材料工学の中長期研究戦略としては、『材料工学における生成 AI の可能性』をその中核に位置付け、有機的に相互を連携させる流れが必須と考える。「材料プロセス理論と技術」においては、材料に作用する物理的外場（物理場）である電磁場、圧力場および温度場が重要である。「材料解析理論と技術」においては、放射光、量子ビーム、パワーレーザー、超高压電子顕微鏡及び超高分解能電子顕微鏡の利用とこれらによる解析技術の高度化が必要である。「材料社会実装理論と技術」においては実用例として、輸送機器、土木建築構造物、化学プラント、電気電子機器、半導体、エネルギー、環境、医療などが考えられる。「材料分野における持続可能社会・環境」では、材料デザイン、製造プロセス、社会実装、廃棄の全てのステージで、省資源、省エネルギー、リサイクル、及びカーボンニュートラルへの対応が必要となる。

(2) 社会的価値

今後 30 年の間に起こる技術革新に鑑みると、材料工学の基盤となる材料設計理論、材料プロセス技術、材料解析技術、地球環境保全への持続的配慮が、材料工学の発展のために必要となり、その基盤となる学術を構築する必要がある。社会インフラの整備・維持・保守、自動車などの輸送機器、航空宇宙分野など、社会生活、産業基盤イノベーションに、材料工学の学術構築は不可避で喫緊な課題である。新たな材料工学技術がもたらす恩恵は、財政面でも社会安定の面でも計り知れないものがある。経済安全保障の強化に向け、政府がまとめた「特定重要技術」に関する基本指針の 20 分野[7]に対して、材料工学は、基盤技術・素材供給として貢献するものである。

SDGs においては、SDGs に挙げられている番号と項目のうち、「3 すべての人に健康と福祉を」、「7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに」、「8 働きがいも経済成長も」、「9 産業と技術革新の基盤をつくろう」、「12 つくる責任つかう責任」、「13 気候変動に具体的な対策を」の 6 項目を実現する基盤となり得る。この他にも材料工学が関わる項目があるが、本報告では他の具体的 SDGs の項目を省略する。

5 まとめ

- 「未来の学術振興構想（2023年版）」のグランドビジョンに挙げられた課題から、材料工学に関するものを抽出した。
- 抽出した課題を、材料工学に関する学術領域である、材料デザイン革新理論と技術、材料プロセス理論と技術、材料解析理論と技術、材料社会実装理論と技術、材料分野における持続可能社会・環境に分けてまとめた。
- 各課題について、材料工学的視点から解析を行い、材料が果たすべき役割や課題の解明、現代の材料が実現しなければならない革新的機能を明らかにし、将来の材料工学の課題に関する体系的分析を可能とした。
- 「材料デザイン革新理論と技術」においては、それぞれ「基盤研究・学習革命」、「ソフトウェア・ツール」、及び「拠点形成」に集約され、材料工学の中長期研究戦略としては、『材料工学における生成 AI の可能性』をその中核に位置付け有機的に相互を連携させる流れが必須と考える。
- 「材料プロセス理論と技術」においては、高信頼性の反応データの収集・体系化を行い、非平衡反応場における活性種の生成・反応機構・選択性の解明、計測・シミュレーション技術の高度化、素反応データベースの構築などを通じて、低温プラズマ科学の体系化を図る。
- 「材料解析理論と技術」においては、「材料工学の中長期的戦略における材料解析技術として、放射光、量子ビーム、パワーレーザー、及び超高压電子顕微鏡に着眼していくことが必要である。
- 「材料社会実装理論と技術」においては、「輸送機器、土木建築構造物、化学プラント、電気電子機器、半導体、エネルギー、環境、医療などが考えられる。
- 「材料分野における持続可能社会・環境」においては、エネルギー問題の解決に資する新物質創成・元素戦略・省資源・リサイクル及びカーボンニュートラルにおいて貢献できる。

<用語の説明>

・圧力場

空間内において圧力が物質に作用し得る空間。

・医療機器

薬機法第2条第4項において以下のとおり定義されている。「人若しくは動物の疾病の診断、治療若しくは予防に使用されること、又は人若しくは動物の身体の構造若しくは機能に影響を及ぼすことが目的とされている機械器具等（再生医療等製品を除く。）であって、政令で定めるものをいう。」バイオマテリアルも医療機器の一種である。

・オペランド計測

材料やデバイスが実際の使用環境や動作環境で機能を発現している状態を、直接的かつリアルタイムに観測する計測技術のこと。

・核融合発電

重水素や三重水素などの軽い原子核同士を衝突させて融合する際に生じる核エネルギーを活用する発電方式。従来の重い原子核（ウラン、プルトニウム等）の核分裂反応を利用する原子力発電とは異なり、太陽が輝く仕組みと同じで、持続可能で環境に優しいエネルギー源として期待されている。

・クローズドループリサイクル

生産・使用・廃棄・回収・再利用と、製品の流れが循環しており、またその循環を生産者が自社内で完結していること。

・材料工学

材料の創製と高機能化を極める工学。ここで「材料」とは様々な物質からなる素材からある使用目的を有した構造体の多様な構成要素までの総称であり、「材料の創製」とは、現存しない材料、あるいは、より優位に使用目的に適合する材料を工夫して造り出すこと、「材料の高機能化」とは、材料の多様な機能を社会的価値も含めて向上させること、あるいは、新たな機能を付加することである。

・焼結

粉末状の材料を融点よりも低い温度で加熱することによって材料を固化する技術。金属やセラミックスの固化に広く利用されている。

・磁気冷凍

作用する磁場を弱めると磁性体の温度が下がる現象を利用した冷却技術。

・創発

個々の要素の単純な合計では説明できない、全体として新たな性質や振る舞いが現れること。予期せぬ状況に対応する中で自然に生まれる機能など、個々の相互作用から全体で生まれる協調的な動きや、多様なアイデアが統合されて生まれるイノベーションなどを指す。

・超硬（超硬合金）

タングステンと炭素からなる非常に硬い化合物（炭化タングステン）の粉末を、コバルトなどの金属粉末とともに焼結することによって製造される材料の総称。鋼を大きく上回る硬さと耐摩耗性を有し、金属加工用の切削工具やドリル、金型などに広く用いられる。

・転位

結晶格子内において原子が線状に欠損した欠陥構造。金属材料の塑性変形には転位の運動が必要であり、転位の運動を妨げることで材料を強化できる。

・点欠陥

結晶格子内における原子の離散的な欠損部。

・電磁場

空間内において電場及び/または磁場が物質に作用し得る空間。

・データ駆動型社会

デジタル技術と累積した大量のデータを活用して、意思決定や問題解決を行う社会。現実世界とサイバー空間を緊密に連携して、作り上げた知識を現実世界において生かしていることが特徴。

・バイオマテリアル

バイオマテリアル（生体材料）とは、医学・歯学分野において、主にヒトの生体に移植することを目的とした素材のことである。具体的な生体材料としては人工関節や歯科インプラント、人工骨及び人工血管用の素材などが該当する。最近では、予防、診断、治療の医療行為全般に使用する材料に加えて、生物研究に使用する材料も含む。金属、セラミックス、高分子のような人工材料のみではなく、生体分子、細胞、組織などの生体由来材料もバイオマテリアルとして扱う。

・バイオマテリアル界面科学

医療機器、人工臓器、人工器官などを構成する固体材料（ハードマテリアル）及び生体機能ゲルや DDS 担体を構成する超分子などのソフトマテリアルの生体適合性と生体機能性（組織形成能、抗菌性、抗血栓性など）は、非生物材料表面と生物相間の界面反応の結果として発現する。すなわち、バイオマテリアルの性能を支配する生体適合性や生体機能性は、材料表面と生体組織との物理化学・生化学反応によって支配される。その機構解明は連続的に機能する生体機能界面の創製につながる。この分子レベルから細胞・組織レベルまでを包含した界面反応を統一的・体系的に理解し、その制御指針を構築しようとする学術研究を、「バイオマテリアル界面科学」と呼ぶ。

・バーチャルツイン構築

リアル空間から収集したデータをもとに、バーチャル空間上に全く同じ環境を再現する技術。

・非熱平衡電離状態

電子と、中性粒子（原子）や電子を放出したイオンなどの重粒子の温度が異なる非平衡的な電離状態。

- ・ **物理的外場（物理場）**

圧力、温度、電場、磁場などが物質に作用し得る空間。

- ・ **物質・生命インフォマティクス**

機械学習や情報科学を用いた物質・材料開発の効率化やゲノムデータの分析から生命現象の解明、更に新しい治療薬を開発する方法。

- ・ **プラズマ及び低温プラズマ**

電磁的高エネルギー場（大電流、高電圧、高周波電磁波、高強度レーザーなど）の作用によって、構成する複数種の粒子（電子、イオン、中性原子）が高い運動エネルギーを有する状態（高温状態）にある気体を指す。全ての種類の粒子が一様に高温状態にある熱平衡プラズマと、電子のみが高温状態にある非熱平衡プラズマとに大別される。前者は高温プラズマ、後者は低温プラズマと呼ばれる。

- ・ **ポジトロニウム**

1つの電子と1つの陽電子が互いに引きつけ合って形成された最も単純な原子で、電磁相互作用により結合しており、水素原子の陽子を陽電子で置き換えた原子。

- ・ **メタバース**

コンピュータ 内に構築された 3 次元の仮想空間やそのサービス。AR (Augmented Reality : 拡張現実)、VR (Virtual Reality : 仮想現実)、MR (Mixed Reality : 複合現実)、XR (Cross Reality/Extended Reality : 現実世界と仮想世界を融合させた技術) などがある。

- ・ **陽電子回折技術**

陽電子（電子の反粒子）を物質に照射し、陽電子が物質の原子構造と相互作用して生じる回折パターンを解析することで、物質の表面構造や性質を調べる技術。

- ・ **粒界**

異なる結晶方位の結晶粒同士の境界面。

- ・ **量子計算（量子コンピューティング・量子アニーリング）**

量子力学の原理を利用して、(主に)最適化問題を解く計算手法。

- ・ **レーザー光**

励起状態にある電子が、外部から入射した光子の影響で放出する、同一波長・同位相・同方向に進む光（電磁波）。

- ・ **励起状態**

原子または分子などが物理的外場の作用によってエネルギーを得て、元の状態よりも高いエネルギーをもつ状態。

- ・ **AI（人工知能）**

知的（認識、推論、言語運用、創造など）な行為を可能とする情報処理システム。具体的機能としては、「認識」、「分類・クラスタリング」、「生成（回帰・補間・予測）」、「最適化（逆問題）」など。

・AI エージェント

大規模言語モデル (LLM) を使用して、ツール (アプリケーション) のタスクフローを決定・実施・最適化するシステム。

・DX (デジタルトランスフォーメーション)

デジタル技術 (AI, MI, PI) を活用した変革を通じ、競争優位性を確立すること。デジタル技術による業務や価値創造の構造的変革。

・ICT 機能

Information Communication Technology の略。情報技術と通信技術を組み合わせた概念を指し、インターネット、クラウドサービス、データベース、通信ネットワーク等が含まれる。

・IoMT

Internet of Medical Things の略。医療機器やヘルスケア機器をインターネットに接続し、データを収集・分析・共有する技術や概念を指す。医療データのリアルタイムモニタリング、患者の健康管理向上、医療現場の効率化、予防医療の促進、そして新しい治療法や医学的知見の獲得など、多岐にわたるメリットが期待されている。ウェアラブル端末や遠隔医療システムなど、様々な形で IoMT は医療の質向上と効率化に貢献すると期待されている。

・MI (マテリアルズ・インフォマティクス, マテリアルズ・インテグレーション)

材料の研究開発を効率化・最適化するために、実験科学、理論科学、計算科学、データ科学 (機械学習) などの技術を統合的に活用する手法。またマテリアルズ・インテグレーションでは、経験則など、工学的な知見も縦横に活用する。

・PI (プロセス・インフォマティクス)

製造プロセスを最適化するために、実験科学、理論科学、計算科学、データ科学 (機械学習) などの技術を統合的に活用する手法。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議、提言「未来の学術振興構想（2023年版）」2023年9月25日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-25-t353-3.html>
- [2] 日本学術会議材料工学委員会材料工学将来展開分科会、報告「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 材料工学分野」2014年9月1日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h140901-1.pdf>
- [3] 日本学術会議第三部拡大役員会・理学・工学系学協会連絡協議会、報告「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」、2011年8月24日、
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-21-h132.html>
- [4] 日本学術会議第三部、報告「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ 2014」、2014年9月25日、
・材料工学分野 Part1 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h201-3-11-1.pdf>
・材料工学分野 Part2 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h201-3-11-2.pdf>
- [5] 日本学術会議材料工学委員会材料工学ロードマップのローリング分科会、報告「材料工学ロードマップのローリング 社会インフラ、グリーン・エネルギー分野」、2017年8月30日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170830.pdf>
- [6] 日本学術会議材料工学委員会材料工学ロードマップのローリング分科会、報告「材料工学ロードマップのローリング<デバイス、医療・バイオ材料分野>～30年後の未来に向けた夢・技術～」、2023年9月15日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-h230915-1.pdf>
- [7] 閣議決定「特定重要技術の研究開発の促進及びその成果の適切な活用に関する基本指針」、2022年9月30日、
https://www.cao.go.jp/keizai_anzen_hosho/suishinhou/doc/kihonshishin3.pdf
- [8] 日本学術会議、回答「研究力強化—特に大学等における研究環境改善の視点から—に関する審議について」、2022年8月5日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k328.pdf>
- [9] “特集：科学者に迫る人工知能”、日経サイエンス、No. 2, (2025), 34-55.
- [10] 西見公宏, 吉田真吾, 大嶋勇樹, “LangChainとLangGraphによるRAG・AIエージェント [実践] 入門”、2024
- [11] 御田稔, 大坪悠, “やさしいMCP入門”、秀和システム、2025
- [12] “マテリアルズ・インフォマティクス、世界の動向は?”、
<https://techblitz.com/tech-trend/ai-new-materials/>
- [13] “材料生成AIモデル「MatterGen」について理解する”、
https://qiita.com/k_t_09099/items/0e0c7fd8b9f768b88747
- [14] “特集：2024年度ノーベル賞”、現代化学, 東京科学同人, No. 645, (2024), 17-30.

＜参考資料1＞「学術の中長期研究戦略」から抽出した材料工学に関連する課題とそれらの属するグランドビジョン

参考資料表

No.	「学術の中長期研究戦略」の名称
⑤ 生命現象の包括的理解による真のWell-beingの創出	
24	「いのち彩る医療」を実現するバイオマテリアル界面科学の構築
25	健康・幸福寿命の延伸に資するスマート歯科医学・歯科医療の実現
27	健康寿命延伸・QOL向上のためのICT人工臓器研究開発の進展
⑧ 超スマート社会における人の能力拡張とAIとの共生	
60	どこでもAIメタバースによる Society 5.5の現出
⑨ サイバー空間の構築・活用による価値創造	
62	Society 5.0において国民の安全・安心を確保しイノベーション・価値創造を加速するソフトウェアエコシステムの革新的基盤技術
66	データ駆動型社会に向けた力学基盤の強化による社会的・産業的課題解決への貢献
⑩ データ基盤と利活用による学術界の再構築	
79	教育・学習ビッグデータ駆動型教育による学習変革（LX:Learning Transformation）の推進拠点の形成
82	データ基盤から知識基盤へ
⑪ 数学・数理科学・量子情報科学が切り拓く未来社会	
86	スピントロニクス・量子情報学術研究基盤と連携ネットワーク
89	量子情報科学
⑫ 観測技術革新による地球システムの理解と地球変動予測への展開	
102	革新的な高圧技術に基づく地球深部物質科学と材料科学の新たな学際融合分野の創成
⑭ エネルギーと環境の両立的課題解決	
118	低温プラズマの学術とイノベーション推進のための研究戦略
119	物性科学連携研究体～エネルギー技術革新を通じて22世紀の理想社会実現の基盤形成に貢献する研究ネットワーク・オブ・ネットワークス～
121	総合知としての核融合エネルギー学の創出
123	2050年以降への持続的カーボンニュートラル社会を実現する低温工学および超電導工学体系の創出
124	表面科学と真空技術のシナジー効果による次世代科学技術の推進
125	超高圧電子顕微鏡を基軸とした革新的計測分野の創出～産業課題解決を志向した本邦だけが成し得るオペランド・三次元ナノ観察技術開発
⑮ 持続可能社会に資する革新的な物質・材料の開拓	
127	世界をリードする粉末焼結法の革新的創成技術開発～外場焼結、積層造形、焼結理論、超硬合金、焼結磁石の研究とSDGs（リサイクル等）への波及
128	持続可能な地球環境と社会幸福に貢献する新高分子フロンティア
129	オールバンド光電子融合分野の開拓
130	元素戦略2.0：融合的元素活用と元素循環
131	資源循環と環境負荷低減の両立のためのサーキュラーエコノミー研究戦略
132	未踏強磁場科学による物質材料研究の飛躍

⑩ 量子ビームを用いた極限世界の解明と人類社会への貢献	
140	新学術分野の創成と社会課題の解決を実現する先端放射光科学
141	大強度低速陽電子ビームによる物性科学・基礎科学の革新的展開
142	世界を先導できる大型パワーレーザー施設による国際中核拠点の構築
145	紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とする国際研究・人材育成拠点の形成と動的局所構造解析による量子物質科学・量子生命科学の推進

＜参考資料 2＞本報告の理解に役立つ資料

- 材料工学の温故知新, 学術の動向, 18 卷 4 号, 2013.
- 材料工学の人材育成, 学術の動向, 19 卷 2 号, 2014.
- 材料の創製と高機能化を極める研究と展望, 19 卷 12 号, 2014.

＜参考資料3＞審議経過

2024年

- 3月29日 第26期第1回材料工学中長期研究戦略分科会で、未来の学術振興構想に基づく中長期研究戦略に関する意思の表出を行うことを決定。
- 6月4日 材料工学中長期研究戦略分科会拡大幹事会で、未来の学術振興構想から材料工学に関わる課題を抽出。
- 6月17日 第26期第2回材料工学中長期研究戦略分科会で、意思の表出作成に必要な高分子材料の専門家として岸田晶夫連携会員の分科会参加について承認。
- 8月20日 材料工学中長期研究戦略分科会拡大幹事会で、材料工学に関わる課題を、未来の学術振興構想グランドビジョンから、材料工学の要素に再分類。
- 12月25日 材料工学中長期研究戦略分科会拡大幹事会で、意思の表出の構成を確認。

2025年

- 1月8日 第26期第3回材料工学中長期研究戦略分科会で、意思の表出を「報告」として発出すること、科学者委員会学術研究振興分科会の承認を得た後に執筆作業を開始することを承認。
- 2月4日 材料工学中長期研究戦略分科会拡大幹事会で、意思の表出に係る作業分担を確認。
- 7月1日 材料工学中長期研究戦略分科会拡大幹事会で、「報告」案を検討し、修正プロセスを確認。
- 8月21日 第26期第4回材料工学中長期研究戦略分科会で、「報告」案及び提出を承認。