

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～



令和5年（2023年）9月15日

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

この報告は、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ロードマップのローリング分科会

委員長	筑本 知子	(第三部会員)	中部大学超伝導・持続可能エネルギー研究センター教授・大阪大学レーザー科学研究所特任教授
副委員長	石原 一彦	(連携会員)	東京大学名誉教授
幹 事	小出 康夫	(連携会員)	国立研究開発法人物質・材料研究機構特命研究員
幹 事	中野 貴由	(連携会員)	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
	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
	石坂 香子	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター教授
	大矢根綾子	(連携会員)	産業技術総合研究所ナノ材料研究部門研究グループ長
	岸田 晶夫	(連携会員)	東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授
	寺崎 一郎	(連携会員)	名古屋大学理学研究科教授
	波多野睦子	(連携会員)	東京工業大学工学院電気電子系教授
	松宮 徹	(連携会員)	大阪電気通信大学監事
	安達千波矢	(連携会員(特任))	九州大学大学院工学研究院主幹教授
	一杉 太郎	(連携会員(特任))	東京大学大学院理学系研究科教授、東京工業大学物質理工学院特任教授

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務	松室 寛治	参事官(審議第二担当)(令和4年7月まで)
	佐々木 亨	参事官(審議第二担当)(令和4年8月から)
	高橋 直也	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(令和5年3月まで)
	柳原 情子	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(令和5年4月から)
	石川 絵里	参事官(審議第二担当)付専門職付(令和4年12月まで)
	池川 教乃	参事官(審議第二担当)付専門職付専門職(令和5年3月まで)
	藤田 崇志	参事官(審議第二担当)付専門職付専門職(令和5年4月から)

要 旨

1 作成の背景

本報告は、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」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。）を継承し、社会状況の変化に機敏に対応して見直し（以下、「ローリング」という。）を行った結果をまとめたものである。「夢ロードマップ 2014」では、材料工学の体系を、材料工学の基礎（コア）、ツール、応用材料工学の三段階に分け、全研究領域を総論的に示し、10 の個別の研究領域（【基礎】：材料システム工学、材料プロセス工学、材料リテラシー学、【ツール】：理論・計算材料学、材料ゲノム工学、材料解析・診断学、【応用材料工学】：社会インフラ材料学、デバイス材料学、グリーン・エネルギー材料学、医療・バイオ材料学）についてのロードマップを提案した。しかしながら、個別領域における具体的な諸課題と対応策の分析が不十分であり、ロードマップが適用されにくいという弱点があった。そこで、第 23 期となる 2014 年 10 月より本分科会を設立し、「夢ロードマップ 2014」について、応用材料工学分野の 4 領域をターゲットに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及びグリーン・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、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」[3]にまとめた。本報告では、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行った結果をまとめる。

2 現状及び問題・課題

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、これを基盤として、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。一方、30 年後の社会を見通すと、より多角的に思考できる人材の育成が急務であり、そのためには、現状の

ような基盤となる科学専門分野に重点を置いている領域型教育から全く異なる感性の人材教育へのパラダイム転換が必要であろう。

3 報告の内容

本報告では、応用材料工学の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」のロードマップについて、「30年後に達成されるであろう技術を考えて時にどのような社会が実現し、そこで考慮すべき点は何か？」という視点から、ロードマップのローリングを行った結果をまとめる。その際、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に加え、これらの技術を将来担うことになる10代の子どもたちにも夢を与えるような内容とすることに視座をおいて、検討を行った。

30年後には、現在社会実装に取り組んでいる様々な技術(リニア新幹線、高速度光伝送バックボーン、ドローン物流、自動運転、長時間保存食品、自然循環エネルギー、カーボンニュートラルの実現等)は、すでに実現しており、それにより、「安全・安心・便利な社会」構築に向けて、今よりも遥かに前進していると予測される。そこで、そのような社会において、ヒトが豊かな生活を送るために実現が望まれる技術について、以下に示す10項目を挙げ、それぞれの項目毎に、デバイス及び医療・バイオ材料分野の科学や技術を、どのように進化させていくか、またそれらの技術・研究を使う／担う人材育成についての考え方をまとめた。

・30年後の未来に向けたデバイス材料、医療・バイオ材料分野の夢・技術 10項目

- 1: 分子解析と機能制御に基づく医療技術
- 2: 精密な動作とヒトと協調できるロボットベース医療技術
- 3: ヒトの五感に匹敵する高精度画像技術、バーチャル・リアリティ構築技術
- 4: 超高速、大容量情報・エネルギー伝達システム技術
- 5: 生体情報の連続モニタリング技術
- 6: ヒトを支援する高精度AI技術
- 7: 環境対応型エネルギー製造システム技術
- 8: 完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステム
- 9: 高機能で分子を分離、除去、回収、再生、変換する高効率膜システム技術
- 10: 個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム

・30年後の未来社会の材料工学を支える人材育成

現在の社会は、様々な技術・情報が人間系も含めて相互に緊密に関連する巨大複雑システムとなっているが、30年後の社会は、さらに高度化した情報社会が実現されていると考えられる。特にAI技術の高度化により、現在ヒトが行っている経験則に基づいた判断の多くは、AI技術に委ねられることとなる。そのような社会においては、さらに豊かな未来社会の構築に向けて、多角的な視野に立ってあるべき未来の姿を描くことのできる人材の

重要性が増すと考えられ、人材育成においては、従来の「情報を教える教育」から「価値を創造できる教育」への転換が必要である。人材育成のしくみとしては、現状の基盤となる科学専門分野に主点を置いている教育を見直して、多角的な視野を持てるように学問領域選択の任意性を増やす等の高等教育の自由化や、創造力を鍛えるための初等教育の段階からの自己学習力の育成等が考えられる。

目 次

1	はじめに.....	1
2	30年後の未来社会像.....	3
3	30年後の未来に向けたデバイス材料、医療・バイオ材料分野の夢・技術.....	7
(1)	分子解析と機能制御に基づく医療技術.....	7
(2)	精密な動作とヒトと協調できるロボットベース医療技術.....	8
(3)	ヒトの五感に匹敵する高精度画像技術、バーチャル・リアリティ構築技術.....	9
(4)	超高速、大容量情報・エネルギー伝達システム技術.....	11
(5)	生体情報の連続モニタリング技術.....	12
(6)	ヒトを支援する高精度 AI 技術.....	14
(7)	環境対応型エネルギー製造システム技術.....	15
(8)	完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステム.....	17
(9)	高機能で分子を分離、除去、回収、再生、変換する高効率膜システム技術.....	18
(10)	個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム.....	19
4	30年後の未来社会の材料工学を支える人材育成.....	21
5	おわりに.....	21
	<参考文献>.....	23
	<用語の説明>.....	24
	<参考資料> 審議経過.....	25

1 はじめに

本報告は、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。)[1]、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。)[2]を継承し、社会状況の変化に機敏に対応して見直し(以下、「ローリング」という。)を行った結果をまとめるものである。

「夢ロードマップ」は、理学・工学系の学協会と様々な課題について意見交換する場として、第 21 期日本学術会議第三部に設置された「理学・工学系学協会連絡協議会」(以下、「連絡協議会」という。)に参加している約 70 の学協会の協力の下に作成され、第三部の分野別委員会に対応して 11 の分野別となっている。このように、理学、工学分野が一体となり、科学者の夢をロードマップという形にするというのは初めての試みという意義があった。しかし、公表の 5 ヶ月前に発生した東日本大震災を通じて、理学・工学分野の新たな科学技術課題も数多く顕在化したこともあり、震災の 3 年後に発行された「夢ロードマップ 2014」では、「夢ロードマップ」の内容を継承しつつも、震災後の 3 年間で明確化された課題を取り込むとともに、様式の統一や内容の充実が行われた。

「夢ロードマップ 2014」は、理学・工学の各分野のビジョンと、そのビジョンに基づく科学・夢ロードマップから構成されている。材料工学分野に関しては、材料工学の研究領域を表 1 に示すように材料工学基礎 3 領域、応用材料工学 4 領域、材料工学のツールに関する分野の 3 領域に分け、それぞれの研究領域について総論的に示したが、個別領域における具体的な諸課題と対応策の詳述に及ばず、ロードマップが適用されにくい弱点があった。加えて、目まぐるしく変化する経済・社会情勢や科学技術の進化に、迅速かつ弾力的に対応して、ロードマップそのものを不断に見直すローリングも必要不可欠である。

そこで、第 23 期となる 2014 年 10 月より本分科会を設立し、「夢ロードマップ 2014」の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するとともに、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」[3]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。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 10 代の子どもたちが夢を抱けるような内容にするべく、議論を重ねてきた。

表 1 夢ロードマップ 2014 における材料工学の研究領域

	個別領域	内容
材料工学基礎	材料リテラシー学	高校並びに大学学部前期における物理学、化学、生物学等を素養にして、材料と材料工学の基本的役割について、理解、記述、説明するための学術体系
	材料システム工学	材料機能を発現する仕組みである材料システムに関する学術体系
	材料プロセス工学	目的の材料及び材料システムを創製、製造するための、物理的及び化学的な方法に関する学術体系
応用材料工学 対象分野で展開	社会インフラ材料学	土木建築、機械、電気等の応用工学が対象とする製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	グリーン・エネルギー材料学	環境負荷最小限化、再生可能エネルギーと資源の高効率有効利用のための製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	医療・バイオ材料学	医療のための、さらには生体機能を利用した製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	デバイス材料学	電子・光・磁気機能を利用した製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
材料工学のソール となる学術領域	材料解析・診断学	材料システム及び材料プロセスを時間的空間的に解析する物理的、化学的な方法の学術体系
	理論・計算材料学	材料機能の発現機構説明と設計のための、理論と理論計算の方法とその利用技術に関する学術体系
	材料ゲノム工学	これまで蓄積されてきた膨大なデータを、理論やモデリング、或いはデータ解析手法を駆使することで、効率的かつ迅速に、合目的な材料設計や材料機能創製を果たすための方法とその利用技術に関する学術体系

(出典) 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」[2]に基づき第 25 期材料工学ロードマップのローリング分科会にて取りまとめ作成

そのような考えを背景に本報告では「30 年後に達成されている技術を考えて時にどのような社会が実現し、そこで考慮すべき点は何か？」という視点から、ロードマップのローリングを行った。30 年後の 2050 年代には、現在社会実装に取り組んでいるさまざまな技術（リニア新幹線、高速度光伝送バックボーン、ドローン物流、自動運転、長時間保存食品、自然循環エネルギー、カーボンニュートラルの実現等）は実現していると予測される。これらの技術の実現により、「安全・安心・便利な社会」構築に向けて今よりも遥かに前進しており、そのような社会においてヒトが豊かな生活を送るために実現が望まれる技術 10 項目を挙げた。そして、従来の縦軸に技術あるいは社会の進化、横軸に時間という形式のロードマップは作成せず、それぞれの項目毎に、その技術の実現に資するであろうデバイス及び医療・バイオ材料分野のサイエンスや技術の現状を示すとともに、それをどのように進化させていくか、またそれらの技術・研究を使う／担う人材育成についての考え方をまとめた。こうした背景には、従来型の時間進展のロードマップでは、ややもすれば現在の技術の延長で、フォアキャスティング思考で未来を描きがちであり、技術的跳躍が生まれにくいし、また技術に対する夢も伝えにくいということがある。本報告の目的は「ありたい未来」を共通概念として示し、その実現の種となる材料工学的技術のキーワードを羅列的に示すことで、材料工学分野に魅力を感じ、「ありたい未来」の実現に向けて、いわゆるバックキャスティング思考により、自由な発想で、研究・開発に取り組んでもらうこと

にある。

2 30年後の未来社会像

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た。これを基盤として、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 年後を考えると、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、デジタル化、AI (Artificial intelligence) 化が進み、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。一方で、社会情勢の変化を考慮に入れた適切な研究・開発目標設定も、効率的な研究投資においても重要なポイントである。

さて、現状における社会課題の多くは、現在進行中の科学技術研究や社会実装に向けての開発研究においてもほぼ解決できると確信する。では、30 年後に考慮すべき点は如何なるものか？それは距離、時間、コミュニケーションなど地球人として基本的に課されている課題の克服となるであろう (図 1)。



図 1 2050 年に実現されているであろう技術と実現が望まれるであろう技術
(デバイス材料分野及び医療・バイオ材料分野)

(出典) 第 25 期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

また、これら技術、社会の進展に対応して、教育、医療、ヒトの楽しみ方に様々なパラダイム転換が求められるのは必至である（図2）。

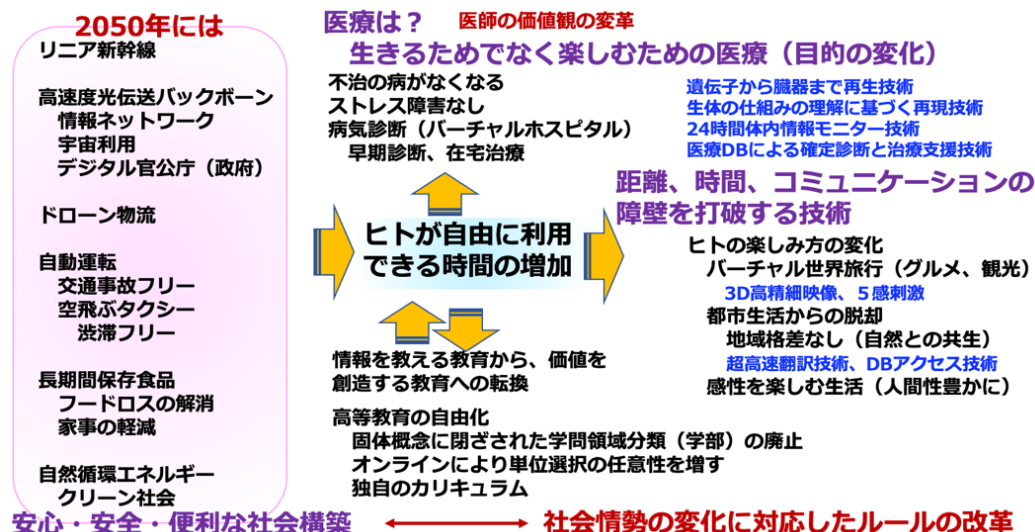


図2 2050年に実現されているであろう技術と実現が望まれるであろう技術 その2
（デバイス材料分野及び医療・バイオ材料分野）

（出典）第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

教育については、基盤研究からの技術確立には全く異なる感性の人材教育も求められることはいうまでもなく、現状のような基盤となる科学専門分野に主点を置いている教育を見直して、多角的な視野を持てるように学問領域選択の任意性を増やす等、大学における専門教育のパラダイム転換が求められることになる。より多角的に思考できる人材の育成は、30年後の社会を見通すと、急務であることは間違いない。

また、医療については、その目的を“ただ生かす（平均寿命を延伸する）”ことから、より楽しい時間を増やし、その間に豊かな感性を味わうことができる方向に向けることは、“長生きする＝良い人生”という考えからのパラダイムシフトである。それには日頃の診断結果をデータとする確実な診断と疾病前の予防が不可欠となる。そのための正確な医療データの蓄積と、簡便で非侵襲もしくは低侵襲な予防医療・治療医療（製剤を含む）が、並列で達成されなければならない。疾病に陥ってから治療は、結果的に根本的治療とならず、延命に終始することとなることに留意すべきである。

加えて、時間や空間を意識しない生活を実現する意味において、感性に直接アクセスする技術の確立は大きな研究対象となる。これまでの映像、情報伝達技術の進化で、その場においても多くの情報と接触する機会ができた。この分野はほぼ完成に近づいていると言えるが、さらにデジタル化やAI化が進むことで、よりヒトの感性を豊かにすることが強く求められる。ヒトとヒトとのコミュニケーションが瞬時にでき、さらに情報データベースへのアクセスも容易になれば、学習方法に関しても変革することが必然であり、より思考や視野を深め、感性を豊かにする学習が可能となる。これに関連する具体的な基盤技術としては、高速、大容量情報伝達を安全かつ安定に実施できるバックボーンシステムの構築である。一般的に工学の根幹といわれる材料、電子・電気、機械、化学分野のような基礎

領域及びこれらの総合的な融合科学分野の拡充・変革は国家戦略としてなされることを期待する。自明であるが、ヒトの営みが豊かになることは、地球規模で問題となっている環境、エネルギー、食料などの課題を克服することが最優先の条件である。

これらを受けて、デバイス材料分野及び医療・バイオ材料分野に関する 30 年後の未来に向けた夢・技術として、距離、時間、コミュニケーションの壁をなくしヒトの楽しみ方をより豊かにするためのデバイス技術、また、その豊かな生活をより長く楽しむための医療・バイオ材料技術について、以下の 10 項目を挙げる。

(1)分子解析と機能制御に基づく医療技術

遺伝子やタンパク質、細胞などの反応、機能、連携を読み解く分子イメージングや高精度画像処理と大量の情報を解析、処理する技術とこれを基盤とした分子医療・創薬技術の開拓。

(2)精密な動作とヒトと協調できるロボットベース医療技術

内視鏡下においても繊細な動きと確実性を有するセンシング技術、アクチュエータ技術を基盤とし、熟練した医師の治療、手術操作をオンタイムで模倣できる制御、伝送技術の確保が含まれる。この技術は、労働人口減少、危険作業、遠隔地輸送などを補填するロボット技術への展開できる。

(3)ヒトの五感に匹敵する高精度画像技術、バーチャル・リアリティ構築技術

視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚などヒトの有する感覚はイオンの動きで高精度に制御されている。またこれに関わる生体組織は再生が可能であるため、常に新鮮である。この五感に匹敵する要素を考案し、これを実現する技術に基づき、バーチャル・リアリティ構築ができれば、時空間やヒューマンコミュニケーションの障壁を取り払って、ヒト同士が感覚や体験を共有できる社会の構築ができる。

(4)超高速、大容量情報・エネルギー伝達システム技術

情報社会が形成されると、それを維持する情報伝達システムとそれを支えるエネルギー伝達システムが必要となる。従って、これらを安定にする技術の確立と社会実装技術の開発が急務である。これらの技術の実現により、瞬時に情報にアクセスでき、遠隔地（宇宙も含む）の生活環境、逐次エネルギー補給などインフラ整備に資することで、地域格差を軽減できる。

(5)生体情報の連続モニタリング技術

ヒトの健康を守り、疾病に陥った際にも重篤な状況になる前に個別に判断（検査、診断、投薬）ができる連続モニタリングシステム及び携帯型治療デバイスの開発。

具体的には、生体内外に安心して装着できるセンサ、バッテリー（生体内環境での充電、温度差による発電と充電）、小型非接触伝送システム、生体情報を取得、解析、データベース構築するシステム等がこれにあたる。この生体モニタリング技術は生態系（環境）モニタリングへの展開が可能である。

(6)ヒトを支援する高精度 AI 技術

大量の情報を解析し、ヒトの生活を適切に支援する AI に関わる基本技術の構築。

大量の正確なデータベースを構築することと、アクセスが高速かつ大容量にも耐える様なシステムに資する基盤技術（データ処理、伝送、表示を含む）。ヒトの生活のみならず、大容量かつ高速演算処理による地球環境シミュレーターなども視野に入れる。

(7)環境対応型エネルギー製造システム技術

社会インフラを作り出すためには、大量のエネルギーが不可欠であるが、特に環境に対応して製造する技術の進歩は火急の課題となる。自然エネルギーを基盤として、高効率製造と安定供給をするためのシステム技術。例えば、光、熱、振動（運動エネルギー）などを効率的に電気エネルギーへと直接変換する技術や、コンピュータ、大型機械など発熱量が多いデバイスからの直接的なエネルギー回収など。

これらの技術の実現による地球環境を保全するエネルギー製造、遠隔伝送（輸送）、保存（備蓄）システムの構築は、さらなる宇宙利用などにも関連する。

(8)完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステム

生体内埋め込み型の医療機器を製造する上で欠かせない、成長・再生する生体組織に対して完全に適合（一体化）し、組織機能障害や欠損を生涯にわたり治療できるバイオマテリアル技術。単に組織再生医療のみならず、生体情報をモニタリングするバイオインターフェイス、体内外を貫通するカテーテル、ブラッドアクセス（経皮血液循環）、自動投薬システムなど医療機器の安全性と、治療効果を高めるために必要な材料・デバイスシステム。

これらの技術は動物由来食糧生産などにおける管理、監視にも応用でき、食料問題の解決に適用できる。

(9)高機能で分子を分離、除去、回収、再生、変換する高効率膜システム技術

血液中の有害物質の除去、ウィルス・細菌除去、環境中からの有害分子の除去、CO₂除去、O₂やH₂の製造、バイオマスからの有用物質製造とその廃棄物処理、海水からの有益物質の獲得などに資する低エネルギー作動型膜システム。

この技術は、バイオ・医療関連、環境関連、エネルギー関連などでの資源循環や炭酸ガス排出低減などの現状の問題を解消できるポテンシャルをもっている。また、環境を制御して農作物を育成し、高効率で生産する技術への展開が可能である。

(10)個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム

高度な個人認識が可能となることで、多くの確認作業が不要となる、一方で、その情報を効率よく安全に取り扱うシステムが求められる。時間と空間を意識しないで生活を営むためには、“生活の質を向上させ、それを守る”必要がある。高度情報化社会の到来は、得られる情報の質を担保しかつ安全に運用できることから始まる。デジタル化社会を構築する上で不可欠であり、高精度、高効率、高速の作動に関連する。

各項目に関する技術の現状と、これらの技術の実現にむけて材料工学がどのように貢献できるか等の詳細を次章にまとめる。

3 30年後の未来に向けたデバイス材料、医療・バイオ材料分野の夢・技術

(1) 分子解析と機能制御に基づく医療技術

現在の医療を支えている診断・治療のための材料・装置の高機能化のために解決すべき問題は、生体と材料との相互作用の理解の深化とそこから得られた知見を材料に還元する技術の確立である。生体と材料との相互作用の理解のためには、表面科学や物性科学だけでなく発生学、遺伝子工学、細胞生物学、分子生物学、免疫学などの生命科学系の分野で得られた最新の成果及び解析技術を応用することが重要である。また、それらの生命科学系の解析技術を革新させる材料研究も重要であると考えられ、分野を超えた連携研究の推進による知見の集積が期待される。以下に材料が関与している医療技術の問題点と相互作用理解によって可能となるものと期待される医療技術を列挙する。

①**人工臓器**：人工臓器のうち人工心臓は補助型（自分の心臓は残した状態で左室（または右室）から血液を吸引して大動脈（または肺動脈）に送り出す働きを補助していく形式）、全置換型（自分の心臓（心室部分）を取り除いて、2つの血液ポンプに置換する形式）ともに臨床応用に至っているが、血栓の形成の防止、つまり抗血栓性は現在においても問題である。恒久的な抗血栓性の担保のために、材料表面と血液との相互作用について、年単位の時間スケールで、かつタンパク質や脂質メディエーター等の生理活性物質の分子レベルでの定量解析が必要である。また、人工心臓と一体となったモニタリングシステムや高感度センサなど複合的な技術が必要である。その他、人工心臓を駆動するためのエネルギー伝送の問題もある。リード線を用いた経皮的なエネルギー伝送では感染リスクが不可避のため、高効率なモーターなど人工心臓の素材の改良とともに体内設置型バッテリー及び非接触給電等の伝送システムの改良・発明によって、心疾患の治療法として人工心臓が第一選択となることも可能である。

肺、腎、肝などの毛細血管による物質移動が重要な臓器を人工的に構築するためには、人工心臓と同様に高い血液適合性が必要である。さらにガス、イオン、低分子の輸送や毒性物質の代謝などの機能代行も必要である。例えば、現在の透析器や人工肺を装着型あるいはより進歩した形態で体内埋め込み型にするためには、表面の生体反応を抑制するだけではなく、目的とする物質を選択的に輸送できる膜材料、ヒトの正常血圧で循環可能な低循環抵抗の微小環流システムなど、材料工学、流体力学、微細加工技術の高度化が望まれる。また、医療システム全体の小型化、軽量化も達成しなければならない課題である。これらにより、あるいは再生医療との組み合わせで埋め込み型の人工腎臓、人工肺、人工肝臓の開発が進むと期待される。

②**脳・神経系の治療技術**：脳・神経系の治療に資する技術開発では、神経と接合可能な材料表面の開発が望まれる。神経活動の電気信号を、極細ワイヤーを介して遠方に伝える技術が開発できれば、中枢神経機能の再生が可能となり、半身不随の患者の治療が可能となる。また iPS 細胞（induced pluripotent stem cell）由来の神経細胞を用いた脳の再生技術においても、細胞の脳内空間への超精密配置技術が必要となる。マイクロロボティクスやそれを可能にする微細加工技術が望まれる。

③**ナノ病院**：現在の薬物送達システムを集積化・高機能化した生体内で機能する「ナノ病院」のコンセプトが提案されている[4]。これを実現するためには、生体内での薬の合成技術だけでなく、集合状態の精密制御、効果を時間及び空間特異的に発現させる機能、外部からの光・電磁波によるナビゲーション・機能スイッチング、情報伝達の機能などの技術が望まれる。これにより、診断・治療の低侵襲化、簡便化及び高度化が図れ、遠隔治療や事故・災害対応の高度化を図ることができる。

体外においては、同様の技術の応用として超早期に疾病の兆候を察知するためのタンパク質、脂質、核酸などの病因物質・マーカー物質の迅速かつ超高感度で経時的な定量法の開発が期待され、生活習慣病の管理だけでなく、がん、アレルギー、循環器疾患などの治療に画期的な新技術を提供できる。

④**再生医療**：再生医療を加速する技術として、iPS 細胞由来の臓器形成細胞を三次元(3D)空間に精密配置する技術が必要である。そのためには、例えば細胞レベルの解像度でリットルサイズのユニットを高速に構築可能なバイオ3D プリンティング、微細積層構造を作り出す細胞(バイオ)インクジェットプリンティング技術等の製造技術の開発が望まれる。

⑤**画像診断技術**：画像診断の高機能化のために、明瞭な画像を得るための造影用材料が望まれる。健常組織とがんなどの疾患組織の明確な区別だけでなく、悪性度や転移能などの情報も同時に得られるような機能が必要である。

⑥**整形外科治療**：材料自体の高機能化による医療デバイスの開発・改良も期待できる。金属材料の表面やバルクの原子組成・構造の改変による摩耗、腐食、破折のない超長寿命でかつ周辺軟組織との力学的・生物学的適合性に優れた整形外科用インプラントの開発が可能となり再手術の可能性がゼロになる。また治療後直ちに生体骨と同等の力学強度を発揮し徐々に自家骨に置換可能なセラミクス製人工骨補填材・接合剤により、入院することなく即時に社会復帰が可能となり、高齢者医療に革新をもたらす。また生体組織と完全一体化でき、さらに成長に伴ってサイズが拡大する高分子材料の開発により、小児医療の問題が解決できる。

最後に、上記の技術の実現のためには、材料と生体分子との相互作用の分子レベルでの解析が必要である。材料に吸着したタンパク質の吸着方向、立体配座(コンフォメーション)変化、長期間にわたる経時的な変化、二次元マッピングなどの解析技術の発展が望まれる。これらの解析により、バイオマテリアル・インフォマティクスが充実し、それによる材料設計が行われる、いわゆるバイオマテリアル・デジタルトランスフォーメーション(DX)が創成され、新しい材料開発指針となる事が期待される。

(2) 精密な動作とヒトと協調できるロボットベース医療技術

車の自動運転はすでにほぼ実現している。医療や材料工学研究においても自動化・自律化が鍵となる。ここで、自律とは、コンピュータが状況を把握し、次になすべきことを判断し、ロボットがその判断に応じた行動を行うことを指す。それにより、人間の関与無く、タスク処理が進む。

医療においては、機械学習技術と疾患治療のデータベース構築に伴い、多くの病状を的確に判断し、手術も自動的・自律的に行う「ロボット医師・医療」が主流となる。高齢者や障がい者の介護においても、直接コミュニケーションが可能な自動・自律ロボットが身の周りの世話をしてくれる。実際のところ、現在でも、化学や生化学の研究において分子合成や解析を自動的・自律的に行う例が増加しており、この流れは今後ますます発展すると考えられる。さらには、今は単なる過去の事例を判断基準としている機械学習技術に、独自の思考アルゴリズムが加わることにより独創的な科学的知見を生み出す「ロボット科学者」が実現し、ノーベル賞級の成果を挙げることでも夢ではないだろう。

上記を実現するには、機械学習技術とロボットを組み合わせ、臨機応変に状況に対応するロボット技術が重要となる。人間は視覚、嗅覚、聴覚、そして触覚の入力情報を元に、臨機応変に総合判断しているが、人間と同様にロボットシステムが自律的に判断する技術が確立して、世の中の様々な場面で活躍しているだろう。

ロボット技術を細分化すると、アクチュエータ、センサ、演算・通信に分けることができる。アクチュエータにおける駆動機構は多様である。材料技術を最大限活用することで、新たなアクチュエータが期待される。その際、軽量化、高強度、フレキシブル、生分解性、耐腐食性、耐熱性など様々な性能を複数有する必要がある。駆動のためには電力が必要であり、軽量・小型・高容量・高出力な電池も必要である。また、半導体による電子回路により構成されるセンシング／演算・制御／エネルギー供給・アクチュエータシステムを置き換え、生体の機能を模倣してイオンの機能だけで作動する人工イオン回路システムなどの生体機能デバイスの開発も盛んに行われるようになるであろう。

センサ部分は半導体技術に立脚するセンサに加え、生体中の分子や細胞と相互作用することにより電気信号へと変換するセンサも望まれる。Si 等の無機半導体デバイスに加え、より生体との親和性の高いことが期待できる有機分子ベースのデバイス（有機エレクトロニクス）の開発が望まれる。

微小なセンシングデバイスを体内に埋め込むことも普及していることだろう。その場合、演算と通信が可能なデバイスが必要となる。クラウドとエッジ共に演算性能と通信速度は速ければ速いほど良く、無機及び有機材料による高速演算／通信デバイスの開発が急務である。それらデバイスのエネルギー源として、高効率なエネルギー伝送システム、あるいは生体分子反応系を利用した体内発電などの実用化が期待される。

今後の研究の方向性として、それぞれのデバイスの尖鋭化（高分解能、高感度、高精度）に加えて、高性能なデバイスのシステム化により価値を生み出すことがますます重要となる。デバイス一つでは全うできないタスクでも、複数のデバイスを集積化・システム化することにより、全体として新しい価値を生み出すことがポイントである。それが自律化ということであり、そのようなデバイスシステムが 2050 年には活躍しているだろう。

(3) ヒトの五感に匹敵する高精度画像技術、バーチャル・リアリティ構築技術

半導体エレクトロニクスの進展により、2050年には2020年に比べて100倍以上の超高速・大容量の無線及び光通信や撮像・画像処理技術が実現され、現実物理空間に完全対応するバーチャル・リアリティ空間が構築される。同時にヒトの五感に匹敵するセンシング技術やデバイスの実現により、脳内の思考現実が映像やロボット動作に完全に反映できる。これにより、自動運転、リアルタイム自動翻訳、バーチャルトラベル、遠隔診療・手術、遠隔リンクオーケストラ、テレオフィス、無人配達、無人工場が出現する。即ち、人、モノ、情報、物流、モビリティの革新が進行し、仕事、家庭、娯楽、金融などパーソナルサービスが充実化される。

このような仮想現実を進める上で、無機半導体の進展に加え、本質的に高い生体親和性を有する可能性を秘めている有機エレクトロニクスの大きな寄与が期待される。有機材料を用いるもう一つの重要な視点は、将来的に、有機材料で入力から通信、演算、記憶、出力部分までの全てを一気通貫の技術でカバーできる可能性がある点である。これにより、既存の技術の置き換えではなく、これまでにない新しいコンセプトのデバイス群の創出が期待できる。例えば、情報入力部分においては、有機フォトダイオードのみならず、鳥が方位を認識する器官で用いられている磁気センシングなどの生体センシング機構のデバイス化、通信においては有機半導体レーザーによる高密度通信や励起子輸送を用いた情報通信、出力においては有機LED (Light Emitting Diode) や有機レーザーを用いた高精細フレキシブルディスプレイのみならず、網膜ディスプレイなどの次世代先進表示デバイスへの展開も期待される。これらの技術を統合することで、2050年頃には、様々な環境へのエレクトロニクスの浸透が期待でき、いつでも必要なときに利用できるアンビエントエレクトロニクスの展開が期待できる。

有機系デバイスについては、「水・酸素との共存」が本質的に可能な耐環境性を有する材料が開発されれば、図3に示すように、環境・エネルギー分野から、生体内への埋め込み等によるバイオ・健康医療分野への応用など、幅広い分野への展開も可能となる。

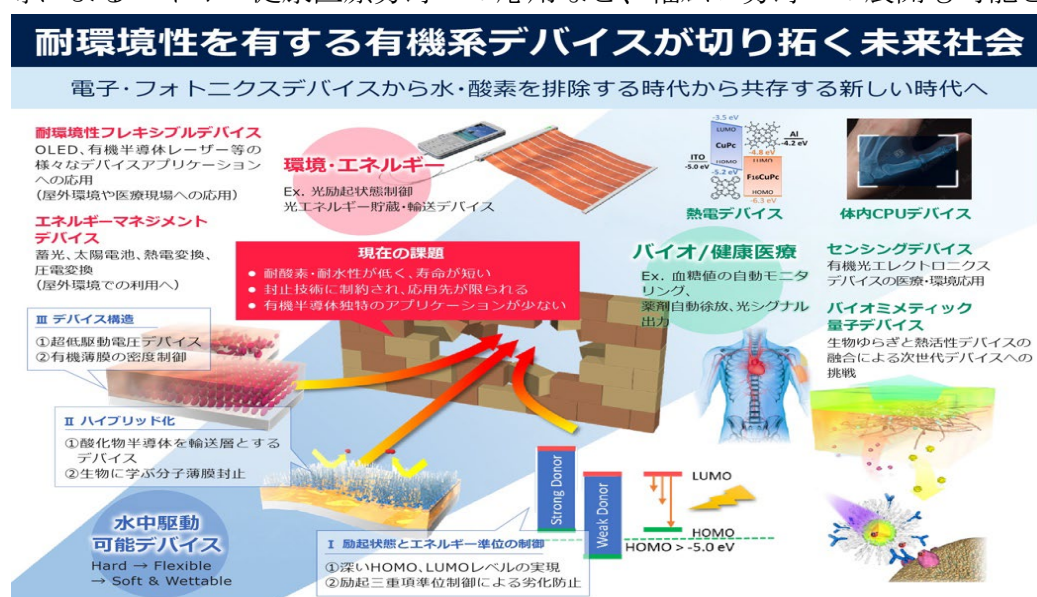


図3 耐環境性を有する有機系デバイスが切り拓く未来社会

(出典) 第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(4) 超高速、大容量情報・エネルギー伝達システム技術

30年後の未来社会は高度に発達した情報化社会となっていることが予測され、その構築・安定維持のための超高速、大容量情報伝達及びエネルギー伝送システム技術の確立と社会実装技術の開発が求められる。2030年には情報通信技術関連の電力消費量が、全世界の電力需要の20%を超えるとの予想もあり、その内訳としてデータセンターにおける電力消費量のみならず、データの送受信に係る電力消費量が大幅に増加するといわれている[5]。従って、さらに20年後の2050年には2023年比において100倍以上の超高速大容量かつ100分の1以下の超低消費電力の無線及び光通信、並びに情報処理技術や大規模ネットワークシステムの実現が必要となると推測される。

大容量の情報伝達のための大規模ネットワークシステムは、光・無線伝送ネットワークと超安全な量子暗号通信技術によって構成される。

大容量光伝送においては、光ファイバ1本当りの伝送容量の向上のため信号の波長、振動方向、位相などを変化させる技術等の開発が進められ、これらを組み合わせることにより複数の信号を混じることがなく同時に送ることが可能となり、大容量化が飛躍的に進んだ[6]。さらなる大容量化の鍵となる技術はデジタル信号処理の超高速化、信号源の半導体レーザー光源の線幅の狭化及び波長可変特性の向上、光ファイバを含む伝送装置を冷却する等による熱雑音の低減、フィルター特性の向上、AI技術を用いた機械学習によるシステム最適化等が挙げられる。革新的な半導体レーザー光源に加え、光ファイバのマルチコア化や異なる波長の光の同時伝送特性を高める素材開発などに材料工学の貢献が必要である。また熱雑音の低減に関しては、現在空冷・水冷等が用いられているが、水素社会の構築に伴う吸熱冷却システムとの連動による高効率冷却等の検討も必要である。

一方、無線伝送ネットワークの大容量化のためには、デジタル信号処理の超高速化に加え、THz帯の開拓が必要となる。THz帯のフィルター、カップラー、変調・増幅デバイス等の材料として、フォトリソニック結晶、グラフェン、メタマテリアル、超伝導材料、表面プラズモン波など新しい材料が次々と提案されてきており、実用化に向けて材料工学の果たす役割は大きい。

エネルギー伝送システムに関しては電力そのものを直接伝送する方法に加え、電力を水素等燃料に変換して流通する方法が考えられるが、ここでは電力そのものを直接伝送する方法について取り上げる。電力エネルギーの伝送においては、バックボーンとなる電力ネットワークとして既存の交流高電圧送電網に加え、再生可能エネルギーや交流送電網同士を結ぶ直流送電網が協調して世界規模の送電網が構築されることにより、気候変動、季節変動に対して、世界規模でのエネルギー供給の安定化、平準化を図ることが可能になる。直流送電網の構築においては、自励式交直変換器及び直流遮断器の高速化、信頼性の向上等が必要であり、材料工学を基盤としたパワー半導体デバイスの高性能化が鍵を握る。またレジリエンスの強化に向けたAI技術とセンシング技術等を組み合わせた精度の高い送電設備の診断技術の構築も必要である。直流送電に関しては、高温超伝導ケーブルを用いることにより送電ロス的大幅低減、低電圧化、大容量化が可能とな

る。低電圧化により変電所が削減され、送電システムの簡略化及び変電ロスの削減による高効率化につながる。高温超伝導ケーブルの社会実装にむけては、冷却コスト削減のため、より高い超伝導臨界温度をもつ材料の発見等が期待される。

これらの大電力バックボーンから移動体やセンサ等への電力供給はマイクロ波無線電力送電を行う。電磁誘導や電界結合を用いた近接結合型無線給電（伝送距離数 10 cm 程度）については、身近なところでは携帯電話ではすでに実用化されており、電気自動車や超電導リニア等では試験段階となっている。一方、10m 以上離れたデバイスに電力伝送を行う空間伝送型については、伝送効率が低く、小さな電力しか送れないため、現状では、マイクロ波を用いたセンサ等への給電についての社会実装が始まったばかりであるが、2050 年には社会実装が進んでいるであろう。宇宙発電等については、レーザー光を用いた光伝送が検討されているが、高効率化を目指した材料開発が求められる。

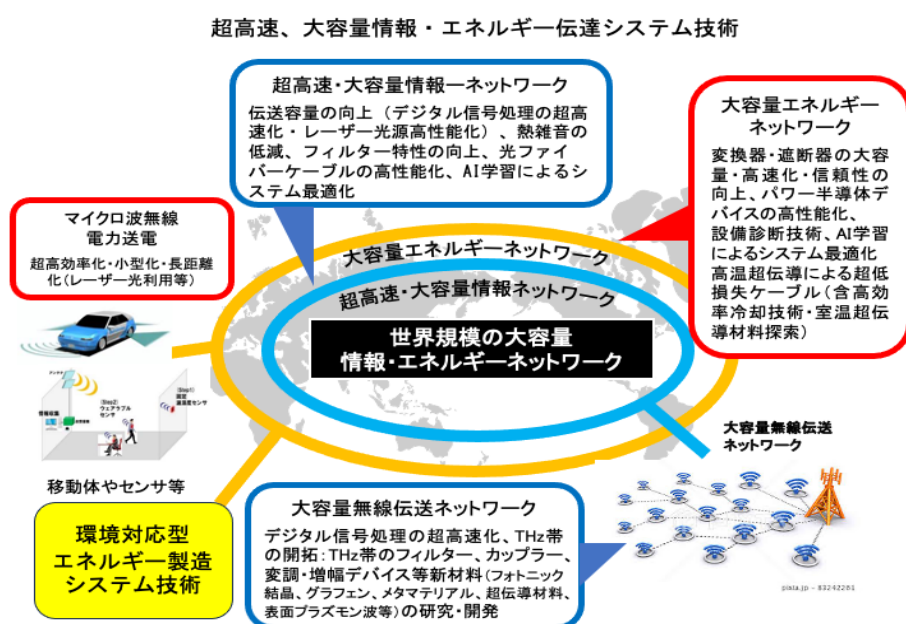


図4 超高速、大容量情報・エネルギー伝達システム技術構築の俯瞰図

(出典) 第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(5) 生体情報の連続モニタリング技術

健康寿命を平均寿命と同等にまで延伸し、生涯に渡って高い生活の質を維持すると共に、健康の維持・管理に関する距離・時間・コミュニケーションの壁をなくすためには、安全で効果の高い治療技術や予防技術（ワクチン等）の開発に加えて、生体情報の連続モニタリング・分析に基づく健康管理、疾病に至る前段階や加齢による機能低下を含む健康リスクの早期検知、最新の医療情報・エビデンスに基づく健康リスク低減のためのセルフケア（温湿度・栄養・行動等の管理）と予防医療（予防的投薬や手術等）、疾病の早期診断と早期治療、個々の遺伝情報や体質・状態に応じた治療や介護・リハビリテーションの最適化等が必要となる。

これらを実現するためには、生体情報モニタリング機能を搭載したIoT家電・家具（歯ブラシやトイレ、寝具等）からなる健康スマートハウスの高性能化・普及に平行して、

必要な生体情報を高精度かつ連続的にモニタリングできる装着型（ウェアラブル型）及び埋込型（インプラント型）のデバイス開発が必要である。既に、体温・血圧・脈拍・心電図・血中酸素濃度・血糖値等のモニタリングデバイスが開発されているが、今後、さらなる感度・応答性の向上と高精度化に加えて、様々な疾患の原因となる物質や病原体（ウイルス、細菌等）、関連バイオマーカー等の検出・定量・モニタリング機能の開発が求められる。また、これらのデバイスは生体に接触して使用されることから、高い安全性・生体親和性はもちろんのこと、一層の軽量・小型化、フレキシブル化、通信機能の向上等も求められる。加えて 30 年後の生体情報モニタリングデバイスには、自家給電機能、セルフチェック・クリーニング機能、投薬機能、有害物質の回収・分解機能、（役目を終えた後に）生体内で分解吸収される機能といった、モニタリング以外の機能付加による高性能化・多機能化、さらには、他の医療機器や医薬品との複合化・連携も求められよう。

例えば、モニタリング機能を搭載したスマート医療機器によれば、個々の生体情報に基づいた治療効果や合併症の確認だけでなく、高精度な予後予測、後続治療や介護・リハビリテーションの最適化、不具合（細菌感染等）の早期発見・治療等が可能となる。また、個人情報である生体情報を安全に収集・分析して医療・創薬研究や公衆衛生活動に応用したり、必要な情報を本人ならびに連携する医療機関・家族等に適時フィードバックしたりするための、高速・大容量通信技術、高度な情報管理・データベース化システム、AI 技術によるビッグデータ解析技術等も必要となる。これらの新しい技術は、深層学習型のニューラルネットワークや物理リザーバーコンピューティングを高度に利用するセンシング技術や、シナプティックスイッチなどを用いた脳型コンピュータや人工神経網デバイスなどの飛躍的な発展が支えることになるだろう。

これらの技術開発には、「デバイス材料」や「医療・バイオ材料」を中心とした材料工学分野の協調的発展が必須であるが、加えて、収集された生体情報の利活用と、それに基づく疾患の発症・進行等の機構解明、バイオマーカーの発見・解析等が重要であることから、情報科学、医学、薬学、分子生物学等の関連分野との密な連携・協業も必要となる。各々の分野を担う高度専門人材の育成、ならびに分野横断的な学修システム、人材・技術交流制度の整備も求められる。



図5 生体情報の連続モニタリング技術構築の俯瞰図

(出典) 第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(6) ヒトを支援する高精度 AI 技術

安全で安心して暮らせる社会を形成するためには、疾病、災害、事件などのリスクを低減し、さらにこれらが起こりにくいシステムを構築しなければならない。また、ヒトに頼っているさまざまな確認、検証などの作業自体をそれぞれ連動し、一元化するとともにセキュリティに関しては最大限の配慮がなされることが求められる。そのためには、ヒトの暮らしの中に、これを支援する高度な安全保障システムを組み込み、さらに社会的な利便性を高めることが必要となる。これらの情報システムには、センシングやモニタリングによる情報の入力過程、得られたデータを解析し、判断・検証する情報プロセッシング過程、これらを統合してデータを保管するとともに効率的に利用する情報保管・取出し過程が素過程として求められ、さらにこれらを高速に連携するシステムの構築が不可欠となる。現在のように、画像データを主とした情報取得における課題を解決するためには、省電力、高精細、高感度のカメラの必要性が高い。材料としては解像度が 10 K レベルの高輝度モニター、数 nm 半導体を利用した高密度センサ、高輝度発光体などが不可欠となる。さらには 1Tbps～100 Tbps の 6 G レベルの高速通信システムを支える耐熱性、低放熱性、絶縁性、成形性に優れた電子部品が求められる。伝送システムは光伝送が確実に情報を伝達できるシステムであるが、情報量が多くなった際には伝送ファイバをマルチコアとし、さらには異なる波長の光の同時伝送特性を高める素材が不可欠である。これらの材料の実現は急務である。同様に情報を判断するためのデータベースが拡充されているであろう 30 年後には、これらを有機的に統合して、明確な判断に結びつける支援システムが AI 技術の高度利用により実現されなければならない。AI 技術自体は自己学習型アルゴリズムの展開により急速に進歩すると予想できるが、ソフト面とハード面との双方が必要であることは言うまでもない。多くのデータベースから必

要な情報を抽出し、判断できるコンピュータシステムを、省エネルギーで構築し、アクセスが滞らないような伝送システムは欠かすことができない。そのためにはコンピュータ自体のハード性能を高めることや、低消費電力で高い性能を発揮する量子コンピューティング技術や脳型コンピュータの開発が必要である。

一方、省エネルギーでコンピュータを安定に動作する新しいアーキテクチャーが不可欠となる。また、高速計算処理に伴う熱エネルギーの除去は大きな課題であるが、水素社会の構築に伴う吸熱冷却システムとの連動も考慮できる。未来におけるヒトの生活支援は、これまでの平均的な支援体制から、より個人に適した支援を提供へと移行しなければならない、このことは顔や指紋認識あるいは眼底認識のような画像データによる判断だけでなく、他のセンシング技術で得られるデータとの協調性を高める必要がある。例えば、生体から生じる情報として、匂い（気相）、汗の成分（液相）あるいは究極の個人情報としての遺伝子情報などを効率よくセンシングできる技術の発展は効果的である。LED を利用した赤外分光による分子構造同定や水晶振動子マイクロバランズ（QCM）を利用したナノグラムオーダーの質量分析などは、生体関連分子のセンシングに応用できる技術である。遺伝子情報も分光系を利用して、一塩基変異も含めて短時間で直接解析するデバイスは必要となる。これらの新しいセンシング技術は疾病の確定診断のみならず、大気中や海中の成分分析にも展開できるために、環境・エネルギーなどの地球規模の問題を正確に分析、解明できるシステムとなる。

ヒトを支援する高精度AI技術：安全・安心な社会と生活

安全・安心獲得のための成長型AI支援システム

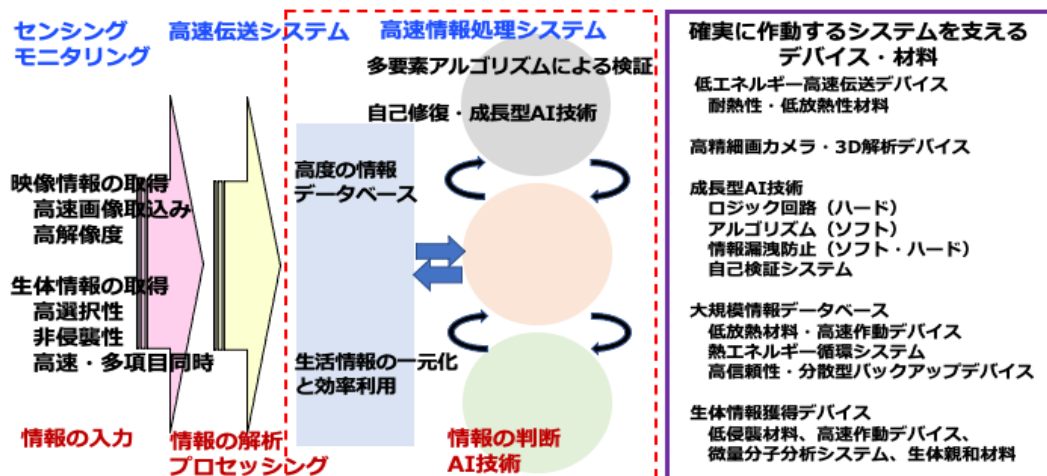


図6 ヒトを支援する高精度AI技術構築の俯瞰図

（出典）第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(7) 環境対応型エネルギー製造システム技術

パワー半導体や新しい無機電子材料の発掘と普及により、エネルギーマネジメント技術が進展し、LED照明の省エネルギー化、再生可能エネルギー（風力、水力、太陽光、地熱等）の効率的エネルギーマネジメント、熱電発電の高効率化や振動を中心とする環境発電技術の高効率化によるモバイル電池の普及、高効率インバータ技術による電気自動

車の完全普及、電力制御技術の進展によるオール電化ハウスの普及が実現される。同時に、宇宙太陽光発電とマイクロ波地上送電による新しい発電システムの普及、光電力伝送や無線電力伝送による家庭、工場、オフィスビル、町空間の無電線ケーブル化等が実現される。一方で、医療・健康、農業、環境、社会インフラなどあらゆる分野をモニターするトリリオン・センサの普及によって、莫大な数の微弱電源が必要とされる状況にある。身の回りの微弱な熱を吸収し電力に変換する熱電素子や、微弱光で高い変換効率を示す有機光電変換素子の活用が期待される。

加えて、有機LEDは、過去30年間に渡って徹底的な材料・デバイス開発が進み、現在では、大型TVやスマートフォン等に幅広く使われ、実用化に至っている。有機LEDの開発過程で、有機半導体材料の特異な性質も解明されてきた。通常、p型、n型半導体特性の性質の異なるアモルファス薄膜を数10nmの膜厚で積層することで、無機半導体のLEDに匹敵する性能が得られている。この過程で、アモルファス膜は分子がランダムに配置しているわけではなく、双極子の配向が生じていることが明らかとなっている。そして双極子の配向により膜内部には電界が発生し、時には 10^6 V/cmに匹敵する大きな電界強度をもつエレクトレットが形成される。この特性を利用して、最近では、振動発電素子が報告されている[7]。さらに有機光電変換素子では、興味深いことに、太陽光のような強い照射下ではなく、室内における微弱な室内光下の方が高いエネルギー変換効率を得られることがわかっており、センサ用の電源としての活用が期待される。また、有機熱電素子においては、pn接合を活用することで、温度差なしでの発電が可能であることが報告されている。これらの萌芽的なデバイスをトリリオン・センサの微弱電源技術としても利用できる可能性もある。



図7 環境対応型エネルギー製造システム技術

(出典) 第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(8) 完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステム

生体組織は絶えずモデリングとリモデリングにより、生体の成長・代謝、周囲の環境変化に適合している。この適合現象は健全な機能を維持している時だけでなく、疾病、損傷、環境の悪化等においても変化する。宇宙での長期間滞在が骨粗しょう症の発症を促し、疾病回復後にはリハビリテーションが必要になることはその代表例である。再生医療が実現し難い原因の一つは、組織・臓器の再生時に生体内環境から受ける場の再現の困難さにある。完全に生体組織と適合する材料やデバイスシステムは、人工物であっても、“あたかも生体内環境下で完全な生体組織として振る舞う”ことが必須条件となる。そのためには遺伝子情報に組み込まれた組織適合性を持つ材料・デバイスシステムの創製に加えて、生体機能を引き出すための人工的なシステム基盤の構築が不可避である。生体機能発現のためには、生体組織適合までのルートが発生学に基づく先天的な生命現象に基づく場合であっても、後天的な人工的作用や刺激を与えるものであっても良い。この実現には生体现象を原子・分子・遺伝子・タンパク・細胞・臓器で階層的に包括して解明・理解し、それに基づく生体内での場（応力場・電場、磁場、温度場、濃度場など）を人為的な手法も含めて、生体内で（in vivo）、生体外で（ex vivo）、試験管内で（in vitro）完全に再現する技術が望まれる。

完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステムは、万人に共通するものではない。個々の生体における遺伝学的背景や食生活を含む生活スタイル、疾病・投薬歴など同一なものとはあり得ない。モノづくりが大量生産・大量消費の時代から、多品種・少量生産へと変化しているように、生体そのものがオンリーワンであり、完全な生体適合性を実現するにはカスタムデバイス・個別化医療により疾病ゼロの時代へ向かっての変革を進める必要がある。30年後には生体毎の膨大で高品質なデータベース（生体情報：投薬履歴も含むあらゆる時空間を超えた広義の生体情報）蓄積のもと、疾病ゼロもしくは疾病発生後であっても、人工物を用いつつ完全な生体機能を取り戻せるような個別化医療実現が望まれる。そのためには、生体の遺伝子情報からライフスタイルに至るまで個別の高品質な生体情報データをフォーマットに基づき集約的に蓄積し、それを利活用し、即座に判定するための量子コンピュータ技術や順逆問題解析技術、さらにはそのフィードバックのためのDX技術・AI技術の高度化が必須となる。

3Dプリンティングでも知られるAM（Additive Manufacturing）は個別化医療の一翼を担う。バイオAMでは生体個体の細胞や細胞外マトリックスなどを用いて完全に適合する軟組織の創製を実現、もしくは完全に機能や適合性の一致した人工臓器・組織・器官などの創製を可能にするものと期待される。こうした技術は人工肉に代表される生体由来食品の実現と今後発生する食糧問題の解決にもつながる。一方、金属・セラミクスAMでは、硬組織の形状や機能が完全一致することにより未来型硬組織デバイスシステムの実現につながる。四次元AMへの進化は、生体の成長や年齢の変化に対して、個別対応するための時間軸を完全一致させたデバイスシステムを実現する。そのために時々刻々と変化する生体情報をインプロセスモニタリングにより制御すると同時に、早期機能最適化・低侵襲治療実現のための体内外貫通型カテーテル、ブラッドアクセス（経皮血液

循環)、自動投薬システムなど医療機器の安全性と、治療効果を高めるために必要な材料・デバイスシステムの開発が必要となる。

こうした個別化医療実現のための必要情報は高度化したサイバーセキュリティーシステムのもとで管理・運営・活用される。自動投薬システムで導入される薬剤やその薬剤送達用担体は、最適な時空間で作用する技術的課題を完全に克服し、個別化・DX化されることで、副作用のない完全に生体適合化された高度個別化医療が実現される。すなわち、疾病の予防、早期発見・診断の発達に加え、疾病発生時でも生体への侵襲性を最小限にとどめ、個別に最適な治療法を即時に判定し、短期間で治療・回復を可能とする未来型医療システムが最先端のデバイス材料及び医療・バイオ材料の飛躍的発展により実現することが望まれる。

言い換えれば、個別化医療により疾病リスクが低く、疾病が発症しても早期に完全回復可能な時空間を超えたワールドワイドな医療システムが構築され、健康寿命と天寿が完全に一致する時代が訪れることが期待される。

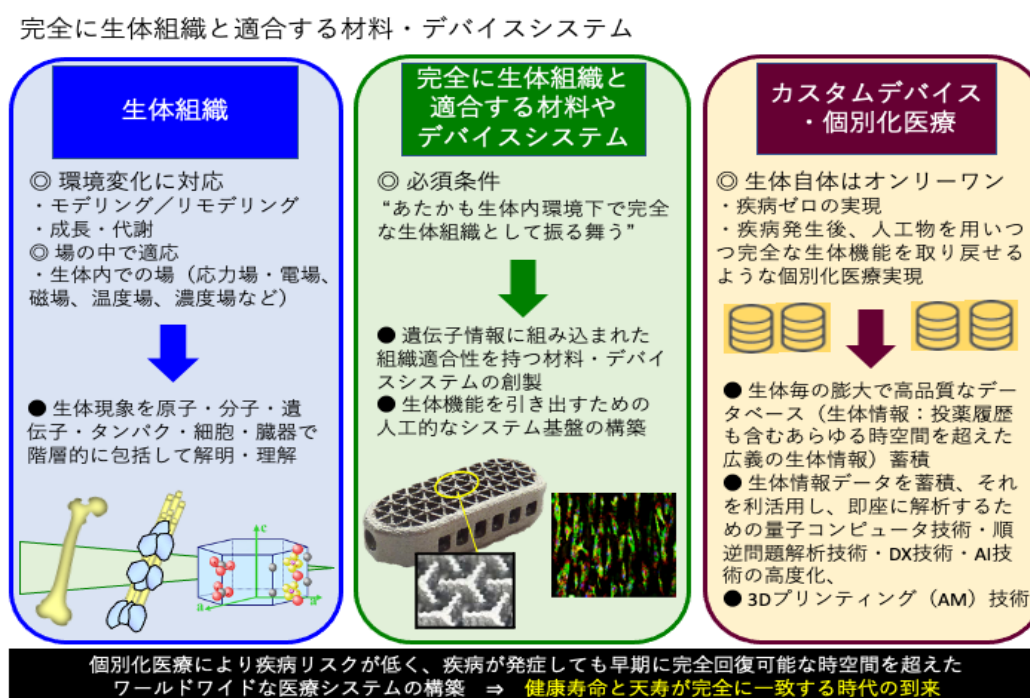


図8 完全に生体組織と適合する材料・デバイスシステムの俯瞰図

（出典）第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

(9) 高機能で分子を分離、除去、回収、再生、変換する高効率膜システム技術

血液製剤を製造する際のウィルス除去膜、アレルギーを防ぐ免疫タンパク質除去膜、細胞移植治療を実現するES細胞の分離膜、遺伝子解析をするための高効率回収膜などは、現在、不完全であり、実際にこれらの医療行為のボトルネックとなっている。実際にこれらの医療膜ができると、食品産業（例えば、鳥インフルエンザを防止するとか、アレルゲンを除去するなど）、環境維持などにおいても大きな福音をもたらすと期待される。

バイオ関連の膜に関する技術改革は、生体膜を手本とした高度の分子模倣（分子間相互作用の利用、組合せ）、構造模倣（表面での高効率分子認識、膜内の分子拡散と力学特性の両立）などにより生体関連分子系や細胞系を活性化させない、変性させない、分子認識により選択性を高めるなどの材料と、分離・回収効率を高めるデバイス化に基づく。

一方、エネルギー・環境関連では、カーボンニュートラル達成のための技術として、火力発電、製鉄（鉄鉱石の還元）・セメント製造等の生産プロセス、航空機・自動車・車両・船舶等の輸送用内燃機関から排出されるガスから CO₂ ガスを分離貯留する CO₂ 回収・貯留（CCS）技術の開発には排ガスから CO₂ ガスを効率的に分離する技術が必須である。CO₂ ガスのみを溶解する溶媒に吸収させた後、溶媒から再回収して分離する化学的方法、固体表面に CO₂ ガスのみを選択的に吸着させた後離脱して回収する物理的方法が検討されているが、分子サイズに従って選択的に高効率に分離できる透過分離膜の開発が、セラミック膜の発展も含めて期待される。

また、CO₂ 排出を抑制するため、内燃機関を動力源とする自動車から電気自動車への置換が進んでいるが、航続距離を確保するためには十分な蓄電器を搭載しなければならない航空機は蓄電器の重量の制約から、その電化には制約がある。この問題を解決する方策として、CO₂ 排出フリーで得られたグリーン電力を用いた電気分解により製造された水素と、低級炭素化合物を含むガスとから合成燃料を製造して航空機燃料に使用する方策が検討されている。固相触媒を担持させた膜内で、気体の反応を低エネルギーで実現し、燃料・化学原材料（メタン、エタンなど）を気相で連続製造・分離できるプロセス、デバイス等の実現が期待される。この合成燃料は従来の多くのインフラを転用して石油系燃料の置換が可能であり、CCS で得られた CO₂ ガスが合成燃料原料として活用されるようになれば、物質的観点からも、循環型経済が実現される。その他、木質材料（ナノセルロースなど）利用による炭素固定などの技術開発も望まれる。

加えて、O₂ や H₂ の製造、バイオマスからの有用物質製造とその廃棄物処理、海水からの有益物質の獲得などに資する低エネルギー作動型膜システム技術の開発、環境を制御して農作物を育成し、高効率で生産する技術への展開も展望される。

(10) 個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム

2050 年には 2023 年比において 100 倍以上の超高速大容量かつ 100 分の 1 以下の超低消費電力の無線及び光通信や撮像・画像処理技術、並びに情報処理技術や大規模ネットワークシステムが実現される。これに伴い現実のフィジカル空間に完全対応するバーチャル・リアリティ(サイバー)空間が構築され、フィジカル／サイバー空間の融合がはかれる。

このフィジカル／サイバー空間の融合のためには、個人を特定し、個人に付随した情報認識を行う必要があり、その実現のためには、(3) ヒトの五感に匹敵する高精度画像技術、バーチャル・リアリティ構築技術や(6) ヒトを支援する高精度 AI 技術が貢献する。また、それを支える大規模ネットワークシステムは、(4) 超高速、大容量情報・エネルギー

一伝達システム技術により構築される光・無線伝送ネットワーク及び(7)環境対応型エネルギー製造システム技術に加え、超安全な量子暗号通信技術によって構成される必要がある。超安全な量子暗号通信技術については、現在早期導入をめざして量子暗号の性能や通信距離の向上に向けた研究開発が国内外で精力的にすすめられている。その社会実装に向けては、量子コンピューティング素子の性能向上・大量生産技術の開発、冷却効率化のための高断熱材料や冷凍機用蓄冷材等の材料開発、超低損失伝送ケーブル材料など、材料工学分野の果たす役割が大きい。これらの技術により、ヒトは時間・場所の制約から解放されるとともに利用者が求めるサービス品質が安定的かつ安全に提供される社会が到来する。

情報通信分野は、誰一人取り残さないデジタル化情報につながり、アバターによるリアルな映像体験や AI 技術による高精度の需要予測と供給の最適化がなされ、AI 技術を活用した自律的で災害に強いネットワークが完備される。金融分野は、オンライン化・キャッシュレス化が進展し、全顧客とのネットワークとデジタル化が実現する。工場では、(2)精密な動作とヒトと協調できるロボットベース医療技術の応用により、IoT やロボット導入、さらには遠隔操作による無人化が進展する。交通分野では、自動運転や自由空間を走行する電気自動車及び電動航空機が実用化され、高精度な車両の検知・予測や道路・交通状況のリアルタイム画像によるデジタルマップと安全運転システムが構築される。農業・食品分野では無人トラクターの自動走行や農薬散布用ドローンの遠隔制御、さらにはセンサ・カメラによる作物や家畜の遠隔モニタリングが実現する。宇宙分野では、宇宙ステーションへの地上からの遠隔操作や宇宙太陽光発電と地上へのマイクロ波無線電力送電から電柱やケーブルの無いスマートシティネットワークが構築される。

図9にこれらの個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム構築の俯瞰図を示す。この技術は、(2)(3)(4)(6)(7)の技術を融合することにより実現可能となる。

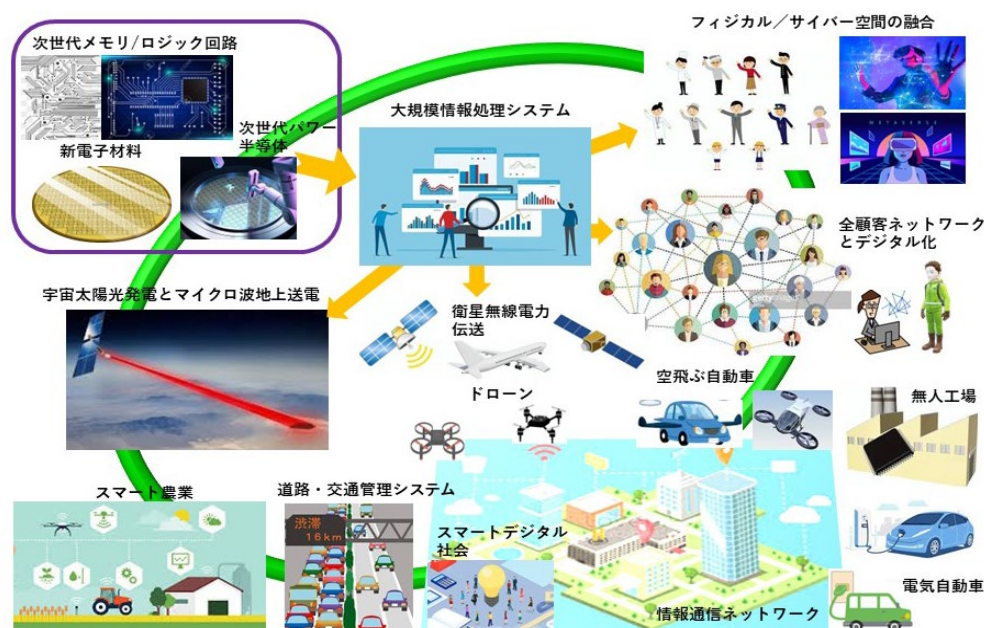


図9 個人を特定しその情報認識、処理する大規模システム構築の俯瞰図

(出典) 第25期材料工学ロードマップのローリング分科会作成

4 30年後の未来社会の材料工学を支える人材育成

現在の社会は様々な技術・情報が人間系も含めて相互に緊密に関連する巨大複雑システムとなっているが、30年後の社会はさらに高度化した情報社会が実現されていると考えられる。特に AI 技術の高度化により、現在ヒトが行っている経験則に基づいた判断の多くは、AI 技術に委ねられることとなる。そのような社会においては、俯瞰的な視野に立ち、さらに豊かな未来社会の構築に向けて、あるべき未来の姿を描くことのできる人材の重要性が増すと考えられる。特に、基盤研究からの技術確立には全く異なる感性の人材教育も求められることはいうまでもなく、現状のような学部学科による専門教育に主点を置いている教育のパラダイム転換が求められることになる。

現在すでに実用化されている生成型 AI 等により、過去の経験則に基づいた知識は手軽に入手できる時代となっている。従って、これからはいかに知識をもっているかより、大量の情報からいかに必要な知識を選び出すことができるかという能力が必要となる。そのためには、現状のような基盤となる科学専門分野の単なる個別の知識の習得ではなく、これらの基本的な知識と理解の活用により多角的に思考できる人材の育成が急務である。さらに未来に向けての新たな価値の創出に向けては、様々な学問領域を結び付けて新しい学問領域を設計できること、つまり学際的なアプローチができることが求められる。つまり、「情報を教える教育」から「価値を創造できる教育」への転換が必要である。

そのような人材育成のためには、例えば大学教育においては、これまでの固定観念に囚われた学部学問領域分類を改善して、俯瞰的視野を持てるようにオンラインによる単位選択の任意性を増やす等による高等教育の自由化や創造力を鍛えるための初等教育の段階からの自己学習力（アクティブラーニング）の育成等が必要と考えられる。

未来において時間や空間を意識しない生活を実現する意味において、感性に直接アクセスする技術の確立は大きな研究対象となる。これまでの映像、情報伝達技術の進化で、その場においても多くの情報と接触する機会ができた。この分野はほぼ完成に近づいていると言えるが、さらにデジタル技術の効率化や AI 技術の高精度化と高速化が進むことで、よりヒトの感性を豊かにすることが強く求められる。ヒトとヒトとのコミュニケーションが瞬時にでき、さらに情報データベースへのアクセスも容易になれば、学習方法に関しても変革することが必然であり、より思考や視野を深め、感性を豊かにする学習が可能となる。

5 おわりに

応用材料工学の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」に関連する様々な機能材料の未来を展望する本報告で描いた世界を、材料工学の研究・開発の成果を活かして実現していくためには、材料工学という分野の枠を超えて幅広い分野の研究者・技術者との協奏的な協働が必要であり、そのためにはどのような教育理念のもとに人材育成を行うか、また枠を超えた協働のしくみをどのように発展させていくのが良いのかを、不断に考え、変革していく必要がある。

本報告は、材料工学の視点からまとめたものではあるが、分野を超えて明るい未来の展望を示そうとしたものである。取り上げた夢の技術は必ずしも全てを網羅しているわけで

はないが、狭い学問分野の壁を超えた議論を進める起点として、本報告を公開するものであり、今後は、関連する分野との専門的な議論へと発展することを期待するものである。

加えて、冒頭に書いたように、本報告は現在 10 代の子どもたちが夢を抱き、材料の可能性に興味をもち、研究・開発を将来担うことになることを期待してまとめたものであるが、内容的には専門的なものとなっている。ここにまとめた材料の可能性をどのように子どもたちやその教育に関わる専門外の人たちにわかりやすく伝えていくか、その手法について考えていく必要もある。

<参考文献>

- [1] 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」、2011年8月24日. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-21-h132.html>
- [2] 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19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>
- [3] 日本学術会議材料工学ロードマップのローリング委員会、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31日.
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170830.pdf>
- [4] 高橋 亘、杉本 貴志、片岡 一則、“KING SKYFRONT から生まれる医療産業イノベーション：ナノテクノロジーで創る体内病院”、MEDICHEM NEWS 28 (2) pp. 54-58 (2018).
- [5] Andrae, A. & Edler, T., “On Global Electricity Usage of Communication Technology : Trends to 2030”, Challenges 6, 117-157 (2015).
- [6] 中島和秀、宮本裕、野坂秀之、石川光映、“超大容量光通信技術”、NTT 技術ジャーナル、2020. 3、pp.12-14 (2020).
- [7] Tanaka, Y., Matsuura, N., Ishii, H., “Self-Assembled Electret for Vibration-Based Power Generator”, Scientific Reports 10, 6648 (2020). doi: 10.1038/s41598-020-63484-9

<用語の説明>

AM (Additive Manufacturing)

積層造形法ともいう。三次元造形する方法の一連の手法で、3D デジタルモデルに基づいて、材料を一層ずつ重ねて 三次元のオブジェクトを作成する製造プロセス。

ES 細胞 (Embryonic Stem cell)

初期胚から細胞を取り出し、あらゆる細胞に分化できる能力をもったままシャーレの中で培養し続けることができるようにした細胞のこと。

IoT (Internet of Things)

従来インターネットに接続されていなかった様々なモノ（センサ機器、駆動装置（アクチュエーター）、住宅・建物、車、家電製品、電子機器など）が、ネットワークを通じてサーバーやクラウドサービスに接続され、相互に情報交換をする仕組み。

iPS 細胞

iPS 細胞は「人工多能性幹細胞 (Induced pluripotent stem cell)」の略名で、体の細胞に特定の遺伝子を導入し、受精卵に近い状態に戻すことで、さまざまな細胞に分化する能力と無限に増殖する能力を持たせた細胞のこと。

アバター

サイバー空間において、ユーザーの分身として表示させるキャラクターのこと。

アンビエントエレクトロニクス

アンビエント＝環境を意味し、電子機器が環境にとけこんだ状態で各所にちりばめられており、いつでも必要なときに利用できる状態にあること。

エレクトレット

半永久的に磁界を発生するマグネットに対して、半永久的な電界を与える物質をエレクトレットとよぶ。

近接結合型無線給電

コイルを介した磁界共振や、送受電の電極を介した電界結合などにより電力伝送する方法。一般に伝送距離は短いが、大電力化・高効率化が可能という特徴を有する。

空間伝送型無線給電

空中線を用いて空間へマイクロ波等の電波を輻射することで電力を伝送する方法。

クラウドとエッジ

クラウドとは、ユーザーがコンピューター・サーバーや記憶装置等のハードウェアやソフトウェアを持たなくても、インターネットを通じて、サービスを必要な時に必要な分だけ利用できる仕組みのこと。エッジは、ネットワークの境界（エッジ）にあるコンピューティングのための場所であり、その物理的な場所にあるハードウェアとソフトウェアも含まれる。

抗血栓性

血液が流路内で血栓を形成しやすい状況になるのを抑制する性質。血栓を形成しやすい状況は、血液及び血管壁・心房壁などの血液流路壁や、血液流れの状態に左右される。

脂質メディエーター

生体内で合成される脂質分子のうち特定の代謝経路を通じて生合成され、細胞外に放出され、特異的受容体を介して比較的低濃度で生理活性を示し、速やかに不活性化されるもの。代表的な脂質メディエーターとして、プロスタグランジン（PG）やロイコトリエン（LT）が挙げられる。

シナプティックスイッチ

シナプススイッチともいわれる。生物の脳において神経細胞をつなぐスイッチの役割をしているシナプスのメカニズムを応用したスイッチ。

水晶振動子マイクロバランス (Quartz Crystal Microbalance、QCM)

水晶振動子の電極表面に物質が付着するとその質量に応じて共振周波数が変化する性質を利用し極めて微量な質量変化を計測する質量センサ。

電界結合

非接触電力伝送において用いられる方法の一つで、送電側と受電側にそれぞれ電極を設置し、電極が近接したときに発生する電界を利用してエネルギーを伝送する。

トリリオン・センサ

2012年～2013年に米国Fairchild SemiconductorでMEMS及びセンサ担当バイスプレジデントをつとめていたJanusz Bryzek氏が提唱した概念。医療・健康、農業、環境、社会インフラなどあらゆる分野がセンサで覆われ、毎年1兆個規模の大量のセンサを社会が消費し活用するような、近未来のセンサ社会を構成するセンサのこと。

バックキャスト思考

過去の実績や現状や課題から未来を考えるのではなく、はじめに目標とする「未来の姿」を描いてそこから「いま何をすべきなのか」を考える思考法。

表面プラズモン

金属/誘電体（あるいは金属/真空）界面に対して平行方向に伝播する表面電磁波。

フォアキャスティング思考

過去の実績や現状や課題から未来を考える思考法。

フォトニック結晶

ナノ加工技術を使って屈折率が異なる物質を光の波長と同程度で並べた、ナノ周期構造をもつ人工結晶。この構造を用いることにより、非常に強い光の閉じ込め、その他の通常の物質では不可能なさまざまな現象が実現されることが明らかになっており、これを用いて光メモリなどの光デバイスのサイズ及び消費エネルギーを大幅に小さくすることに成功している。

マイクロロボティクス

極小サイズのロボットを開発するための技術。

メタマテリアル

電磁波（光）の波長よりも細かな構造体を利用して、物質の電磁気学（光）的な特性を人工的に操作した疑似物質。透磁率と誘電率の両方を同時に負の値に制御することで、負の屈折率を持つ物質を作り出すことが可能となり、光の回折限界を超えていくらかでも細かな構造を観察できる「完全レンズ」を実現できる可能性が期待されている。

＜参考資料＞審議経過

【24 期】

- ・ 材料工学委員会
 - ・ 第1回（平成29年10月4日）
 - ・ 分科会報告において、医療・バイオ材料関係とデバイス材料関係をまとめることを報告、承認。
 - ・ 第4回（平成30年11月1日）
 - ・ 分科会報告において審議の経過について報告、承認。
 - ・ 第6回（令和元年11月15日）
 - ・ 分科会報告において審議の経過について報告、承認。
- ・ 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
 - ・ 第1回（平成30年2月27日）
 - ・ ロードマップのローリング分科会の主旨説明
 - ・ 分科会の進め方、分野における課題・トピックス等についての意見交換
 - ・ 第2回（平成30年6月5日）
 - ・ ロードマップについて、課題認識と対応策等についての意見交換及び議論を行い、少子高齢化の課題解決に向けた開発課題、開発材料の関連ツリーを整理した。
 - ・ 第3回（平成31年4月11日）
 - ・ 医療・バイオ材料分野、デバイス材料分野それぞれの検討状況について、各分野の取りまとめ代表者より報告があり、意見交換を行った。
 - ・ 第4回（令和元年11月15日）
 - ・ 報告書作成とスケジュールについて、意見交換が行われ、その結果、今期中に報告書をまとめることは見合わせ、25期に引き続き本テーマについて取り組むことになった。

【25 期】

- ・ 材料工学委員会
 - ・ 第2回（令和2年10月19日）
 - ・ 材料工学委員会関連分科会の設置について、分科会世話役より分科会提案書案について説明し、24期に引き続き医療・バイオ材料関係とデバイス材料関係のロードマップのローリングに取り組む活動内容を説明し、承認された。

- ・ 第3回（令和2年11月9日）
 - ・ 材料工学委員会関連分科会の活動報告において、委員構成案について審議し、活動予定について確認した。
- ・ 第4回（令和2年12月14日）
 - ・ 材料工学委員会関連分科会の活動報告において、本分科会の委員構成について確認した。
- ・ 第7回（令和3年12月27日）
 - ・ 関連分科会の活動報告において、これまでの活動を報告し、承認された。
- ・ 第8回（令和4年4月22日）
 - ・ 関連分科会の活動報告において、これまでの活動を報告し、承認された。
- ・ 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
 - ・ 第1回（令和3年4月26日）
 - ・ 分科会の活動趣旨及び前期までの検討内容について説明され、ロードマップのローリングの方針について議論し、「30年後の未来に向けた夢・技術」をテーマに、小中学生に夢を与えるような提案を考える方針が承認された。
 - ・ 第2回（令和4年1月31日）
 - ・ 30年後の未来に向けた夢・技術（デバイス・バイオ材料関係）について、各委員からの提案と意見交換を行った。
 - ・ 第3回（令和4年12月14日）
 - ・ 意見の表出を今期中に行い、形式としては報告書とすることが承認された。
 - ・ 報告書の構成、目次案、進め方について議論を行った。
 - ・ 第4回（令和5年2月6日）
 - ・ 「材料工学ロードマップのローリング _デバイス材料分野及び医療・バイオ材料分野_」報告書の作成について、構成案及び執筆分担の決め方について承認された。
 - ・ 報告書の最終案の決定と提出については委員長、副委員長、幹事に一任とすることが承認された。
- ・ 令和5年8月30日 日本学術審議会第三部役員会 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～」について承認