

6. マテリアル・デバイス・プロセス分野の調査結果

内容

6. 1	将来の展望	551
6. 1. 1.	総論	551
6. 1. 2.	新しい物質・材料・機能の創成	552
6. 1. 3.	アドバンスド・マニュファクチャリング	555
6. 1. 4.	モデリング・シミュレーション	557
6. 1. 5.	先端材料・デバイスの計測・解析手法	560
6. 1. 6.	応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）	561
6. 1. 7.	応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）	562
6. 1. 8.	応用デバイス・システム（インフラ分野）	563
6. 2.	アンケートの回収状況	565
6. 3.	細目の設定	566
6. 4.	トピックに関する設問について	567
6. 4. 1.	トピックの特性	567
6. 4. 2.	技術的実現予測時期	577
6. 4. 3.	技術的実現に向けた重点施策	579
6. 4. 4.	社会実装予測時期	583
6. 4. 5.	社会実装に向けた重点施策	585
6. 4. 6.	技術的実現から社会実装までの期間	589
6. 5.	未来科学技術年表	591
6. 5. 1.	技術的実現予測時期	591
6. 5. 2.	社会実装予測時期	594
6. 6.	細目別重要トピックにおける要素技術	597
6. 7.	集計結果一覧	610

<概要>

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、環境・エネルギー、ライフサイエンス、インフラ等の社会課題解決のための分野横断的な基幹科学技術として位置づけられる。当分野における科学技術トピックは、コア（新材料創成、プロセス開発）、ツール（理論・計算、計測・解析）、応用（デバイス・システム）として、基礎から応用へシームレスに体系化できる。今回の調査では、各フェーズにおける主要トピックを網羅的に取り上げるとともに、デジタルファブリケーションやインフォマティクスなど、当分野の最近の課題に関するトピックも盛り込んでいる。なお本調査では、ターゲットが比較的明確な医療・バイオ等への応用に関しては、他分野（健康・医療、バイオテクノロジー等）で扱うこととした。

重要度が高いとされたのは、「応用デバイス・システム」の二次電池・太陽電池・燃料電池に関するトピック、並びに、高性能かつ低消費電力のLSIやメモリ関連のトピックであり、いずれも環境・エネルギーに関する社会課題解決に直結したトピック群である。また、コアやツールに属するトピック群に比較し、ICT・ナノテク、環境・エネルギー、インフラの各分野に対応する「応用デバイス・システム」のトピックは、全般的に重要度が高く、かつ国際競争力も高いと評価されており、我が国の強みを生かす重点化の方向性として注目される。一方、ツールとなる「モデリング・シミュレーション」は、重要度は高いが、国際競争力が低いとされたトピックが多数を占めている。これらについては、重点施策として技術実現・社会実装ともに、人材戦略が重要とする割合が非常に高く、我が国としての強化の方向性が示唆されている。2025年までに、全92トピック中90%が技術的实现、26%が社会実装され、2030年までには、全てのトピックが技術的に実現し、87%が社会実装されるとの結果となっている。

6. 1 将来の展望

6. 1. 1. 総論

(1) 本分野の検討範囲

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、ICT、環境・エネルギー、ライフサイエンス、インフラ等に関わる社会課題解決のための分野横断的な基幹科学技術分野であり、細目はそのコアとなる「新しい物質・材料・機能の創製」、「アドバンスト・マニュファクチャリング」、ツールとなる「モデリング・シミュレーション」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」、応用となる「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」、「応用デバイス・システム(インフラ分野)」の7つから構成され、分野の基礎から応用までが体系的にカバーされた。当分野は全体的に日本が国際的に強い分野であり、当分野の今後を、本調査を通して予測することは、日本の科学技術の発展と国際的な優位性、産業の競争力や持続可能社会の実現を検討する上で極めて重要である。今回の調査ではそれを意識し、それぞれの細目に対応する計 92 トピックを取り上げたが、その中にはデジタルファブリケーションやインフォマティクスなどの当分野の最近のトピックに関する課題も盛り込んでいる。なお本調査では、ターゲットが比較的明確な医療・バイオ等への応用に関しては他分野(健康・医療、バイオ等)で扱うこととしトピックを設けていない。

(2) 結果の総括

総数 672 名から回答を得たが、今回から Web を通じた調査となったため、前回と比較して回答者の年齢層に変化が見られた。回答者で最も多かったのは 30 代で全体の 36%、次いで 40 代の 25%であるのに対し、前回回答者が最も多かった 50 代は 17%に留まった。したがって今回の結果は比較的若手の意見が強く反映されているといえる。また回答者の所属は学術機関が最も多く 58%、職種は大部分が研究開発で 86%であったが、これらは他分野と比較しても高く、当分野は学術機関の研究者の意見が相対的に多く含まれているといえる。

結果を概括すると、先ず重要度や国際競争力に関しては、ICT・ナノテク、環境・エネルギー、インフラの各分野に対応する「応用デバイス・システム」のトピック群が、コアおよびツールに関わるトピック群より相対的に重要度が高く、かつ国際競争力も高いと評価されており、わが国の強みを活かす今後の重点化の方向を示すものと考えられる。特に、二次電池、太陽電池、燃料電池に関するトピック、ならびに高性能かつ低消費電力の LSI やメモリに関わるトピックが重要と評価されているが、その多くは環境・エネルギーに関する社会課題解決に直結したトピック群である。また、ツールとなる「モデリング・シミュレーション」は、重要度は高かったが、国際競争力は低いと評価されたトピックが多く、強化が必要と考えられる。

多くのトピックが、2025 年までに技術的实现、2030 年までに社会実装、リードタイムは 5 年程度との予測であったが、マニュファクチャリングや計測・解析手法などは実現・実装の時期がそれよりやや早まる予測であった。技術的实现を促すためには、「新しい物質・材料・機能の創製」、「モデリング・シミュレーション」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」では人材戦略が重要であり、応用デバイス・システムの各分野(ICT・ナノテク分野、環境・エネルギー分野、インフラ分野)、ならびに「アドバンスト・マニュファクチャリング」では人材戦略と共に資源配分も重要であることが指摘された。社会実装を促すためには、いずれのトピック群も総じて資源配分が重要であるとされているが、「モデリング・シミュレーション」では、技術的实现、社会実装、いずれにおいても人材戦略が重要とする割合が突出して高く、強化の方向性を明確に示している。実際、トピックの多くが、人材戦略が必要なトピックの上位を占めた。また「新しい物質・材料・機能の創製」や「アドバンスト・マニュファクチャリング」では内外の連携・協力が必要との評価も多く、技術の広がりや標準化のための連携・協力の必要性を示している。他方、害虫駆除や再生臓器などは倫理性ととも社会実装における環境整備の必要性が指摘された。室温超電導材料や人工的核変換装置などの革新的な材料や技術の開発は実現の不確実性・非連続性が高いと評価された。

(3) 今後の展望

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、わが国の科学技術や産業競争力の基盤を担う基幹分野であり、これまでも日本の強みを発揮してきた分野であるが、今回の調査を通して今後の重点化の方向性について示唆が得られた。

エネルギー変換や貯蔵に関連するデバイス・システム、高性能で低消費電力型の情報処理や記憶に関連するデバイス・システムなどの研究開発は、持続可能社会や高度情報社会に対応する技術開発として必要性の認識が高く、今後も重点化を継続する必要がある。同時にこれらの研究開発はナノテクノロジーを駆使した材料、デバイス開発を基盤としており、日本の国際競争力の維持・強化の上でも重要である。なお今回の調査で重要度の評価は、トピックごとに示された目標数値にも負うところもあり、言い換えれば、今後の研究開発でも適切なターゲットの設定が重要である。また、その実現には、性能向上が限界に近い現行の材料から更に高度の性能を有する新たな材料への転換が必須であり、「新しい物質・材料・機能の創製」の基礎研究とは不可分の関係にある。有機半導体やグラフェン、室温超電導材料などはその一例である。今回の調査では「新しい物質・材料・機能の創製」の重要性は必ずしも明示的でないが、重要度の高いトピックの実現を継続的に可能にするためにも基礎・応用にまたがる適切な人材戦略と資源配分が重要である。

「モデリング・シミュレーション」の研究開発の重点化も今後重要である。新たな研究開発や技術開発において対象となる物質・材料の数は近年飛躍的に増えており、従来の試行錯誤的な研究開発から脱却してマルチフィジックス・マルチスケールの高度なシミュレーションを援用した高効率な研究開発が必要である。実際、世界ではその流れの中で高度な計算とデータを融合したマテリアルズ・インフォマティクスや ICME (Integrated Computational Materials Engineering) が極めて活発に検討されており、米国の MGI (Materials Genome Initiative) もその代表的なものである。今回の調査でも重要性は評価されたが、同時にわが国の競争力は低く、今後の人材戦略が必須との指摘がなされた。このことから、わが国として今後、モデリングやシミュレーションを十分に活用して物質・材料創製やデバイス・システムの創製を加速するために、人材戦略を中心としたこの分野の充実と競争力強化を図る必要がある。

また、モデリングやシミュレーションに加えて、研究開発の実現を加速するためには高度な計測・解析手法の開発も極めて重要である。さらに研究開発の実現ルートの多様化や社会実装に向けてはアドバンスド・マニュファクチャリング技術の確立も重要である。

なお、研究開発を進める上で、人材戦略や資源配分と共に、トピックによっては内外との連携・協力や、倫理性への配慮が必要なトピックもあることに留意する必要がある。前者は、標準化が必要な技術課題や非連続性や不確実性の高いチャレンジングな課題に関わるもので、複数の研究者や研究機関の連携によってその達成が加速される可能性があり、そういった連携・協力体制作りが重要である。また後者はバイオテクノロジーを用いたデバイスやプロセスに関わるもので、倫理性への配慮と共に、それらが理解・承認される環境整備も重要である。

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、ICT、環境・エネルギー、ライフサイエンス、インフラ等に関わる社会課題解決のための分野横断的な基幹科学技術分野であり、今回の調査を活かした研究開発の重点化や、その実現の加速に向けた適切な人材戦略や資源配分、連携協力体制の構築などが望まれる。さらにそれらを通して次世代を担う当分野の人材育成が継続的に行われることも重要であることを併せて付記する。

(小関 敏彦)

6. 1. 2. 新しい物質・材料・機能の創成

(1) 本細目の検討範囲

細目「新しい物質・材料・機能の創成」は、新規な物質、材料の合成およびそれらの実現による新たな機能の

発現を意図するもので、まさしくマテリアル分野の根幹になるものである。近年のテクノロジーの発展の多くの部分(あるいはほとんどの部分)が新たな材料の合成、材料の高品質化、材料の組み合わせ・加工が基礎となっていることは誰も否定できない。今後もこの分野の重要度が高く、今回のアンケートにおいても 17 のトピックを取り上げた。

トピックは、期待機能を実現する新規材料(トピック 1、4、5、6、9、14、15、16)、期待機能を発揮する材料技術(トピック 10、13、17)、新規材料による新機能素子(トピック 2、3、7、8、11、12)に分類できる。

(2) 本細目のトピック

本細目では、各トピックが比較的広い範囲での応用が可能であり、回答者による実現の受け取り方が様々に解釈可能であることから、アンケート結果にばらつきが大きくなることが考えられる。それぞれのトピックの受け持つ範囲、受け取り方の範囲の大きさに違いはあるが、全般的にすべて高い重要度との関心が示されている。特に新規機能の発現が具体的に予測できそうなトピックの重要度が高くなっているように思われる。これら重要度が高くなっているトピックに関しては、回答者数も多い傾向が認められる。本アンケートでの回答者数が多いということは、すでに当該トピックに注目し、あるいは現在研究ターゲットにしている研究者が比較的多いことが推測できる。それに対して、比較的トピックの示す可能性範囲の広いものは、本細目範囲内では相対的に重要度が低く回答者数も少なくなっている。ただし、どちらのトピック群においても技術的実現年の予測には大きな差が表れていない。また、技術的実現年の予測と社会実装年の予測とがすべて 5 年以内であり、本分野においていかに物質・材料そのものの開発が重要であるかがうかがえる。

○トピック 4 「リサイクル可能な架橋性樹脂」

地球環境問題との関連にゴミ公害、プラスチック公害問題があり、とりわけ架橋性樹脂はリサイクルが困難な点が課題である。そこでリサイクル可能な架橋性樹脂が創出できればグリーンイノベーションに直結できる科学技術と考える。

熱硬化性樹脂を高温で溶融リサイクルできる架橋性ポリオレフィン樹脂の開発が報告されている。160°C～200°Cで架橋—解離反応が起こり、250°Cでは熱可塑性樹脂のように成形・溶融リサイクルができる。ポリエチレンの分子主鎖に 2 種類の官能基をグラフトして反応点の周辺構造をエステル結合が架橋—解離に動くように設計されたものである。また、リサイクル可能なゴム、加硫並みの柔軟性とリサイクル可能な熱可塑性ゴムの開発も報告されている。これはポリマー分子の架橋を水素結合にして架橋部位の結合と解離を簡単に行えるようにしたもので、熱を加えるだけで成形可能なポリマー分子に戻るとのことで自動車ゴムとしての応用を期待したものであった。その後、ディールス反応とレトロディールス反応を利用した熱的に自己修復可能な架橋ポリマー材料、自己修復可能な架橋エポキシ樹脂、超分子集合体由来の自己修復性・熱可逆ゴムについても報告されている。生物の自己治癒能力の様に、合成高分子においても構造再編成可能な動的共有結合ポリマー、末端に水素結合性部位を持つ修復性ポリマー、シクロデキストリンの様なホスト高分子とゲスト高分子による自己組織化と自己修復性については活発な研究が行われている。

リサイクル可能な熱硬化性樹脂(架橋性樹脂)については、バイオマス由来プラスチックと同様に地球環境問題の視点でも重要であり、上記のホスト—ゲスト相互作用を基盤とした高分子材料のような新概念に基づく新材料の創出が期待される。

○トピック 5 「自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料」

生物が作りだす鉱物をバイオミネラル、作りだす作用をバイオミネラリゼーションという。真珠、貝殻、骨、甲殻類の外骨格などは、高機能・低環境負荷・省エネルギー性の機能性材料といえる。この材料の構造制御に高分子の協調的な相互作用が重要な役割を發揮していると言われる。従って、このバイオミネラリゼーションにならって人工的に自己組織化プロセスを用いた新規な高分子と無機ハイブリッド材料は将来の重要な材料と考える。

この分野の研究は国内で活発に行われており、自然界には無い透明アモルファスハイブリッド材料の創出、従来の有機無機ハイブリッド材料の限界を克服する無機元素ブロックを含む構造制御した有機・無機ハイブリッド材料の創出、希土類錯体高分子による光磁気材料の開発など世界最先端の研究が行われている。

これら材料を実用化するには研究者間の綿密な連携と企業との連携が必須であり、研究推進コーディネーターが必要と考える。

○トピック 7 「低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ」

印刷可能で安定なフレキシブルな有機半導体トランジスタは、ユビキタスセンシングや生体装着用の医療デバイスなど、今後成長が期待される産業分野での利用に向け開発が進められている。以前は、移動度がシリコンの100分の1以下でしかなかったが、最近になって、急速に物質開発及び溶液からの結晶化などのプロセス開発が進み、シリコンの10分の1程度まで向上してきたため、論理回路やアナログ回路への応用がより現実味を帯びてきている。今後、更なる物質科学研究によって、シリコン並みの性能を目指すことにより、その適用範囲がさらに広がって、多数のセンサによる建造物やインフラ設備の状態の管理が可能な安心で安全な社会の実現が期待される。

この分野で、日本の研究の貢献度が非常に高く、アンケートにおいて、国際競争力が高い(16位)結果に反映されている。また、資源配分すべき技術の1位となっているトピック24の「少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム」の素材として、本命であるため今後いっそう研究開発を加速するべき項目である。

○トピック 8 「ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ」

ノーベル賞受賞にも現れているように、グラフェンの研究分野に対する関心はきわめて高く、類似の二次元構造を有する MoS_2 などの物質への興味がここ数年で高まってきている。これらの物質群は、電子伝導面が移動度の高いシリコンと同様の共有結合を有し、かつ二次元面間は弱いファンデルワールス力で結びつくため、ダングリングボンドのない良好な表面を自然に形成し、グラフェン同様表面にキャリアを注入する高移動度デバイスを作製するのが容易である特徴を有する。エネルギーギャップのあるグラフェンともいえる電界効果スイッチングが可能なグラフェン化合物である。特異な光物性や高い移動度に興味が集まっているが、今後大面積のプロセスが容易に可能になると、産業応用への道が一気に拓かれるインパクトを有する。

アンケートにもこうした事情が反映されて、不確実性(14位)、非連続性(14位)、実現予測時期がわからない(5位)、社会実装時期がわからない(2位)となっている。日本の一部グループの研究レベルも極めて高いため、プロセスにおけるブレークスルーが得られれば、社会的に意義が大きい研究となる。

○トピック 14 「光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体」

ナノピラー構造を有した反射防止機能を有した材料はディスプレイ産業への応用展開が進み、一部の液晶テレビに適用されている。ナノインプリントとはナノスケールの構造を簡便に量産化できる可能性を有する加工技術であり、この微細構造と自然界に存在している生体表面構造との類似性については既に報告されているが、この技術を進化させることで反射体の分野は実用化が加速されると考える。

○トピック 15 「ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料」

建築構造物に自己修復(自己治癒)能力をもたせることができれば、安全性や信頼性が各段に向上することが期待される。ビルやトンネルなどの建造物のひび割れや屋外施設の劣化の防止については材料表面が傷ついた時に傷の部分に材料内部に混ぜた成分が染み出し傷を修復することであれば原理的に可能であるが、亀裂修復のメカニズムの解析、亀裂修復の温度、時間、修復材の高温時の機械的特性などの詳細な解析が必要

である。また、これら技術は航空機の損傷の抑制などにも期待される技術であり、異分野の専門家の技術融合が必要であろう。

○トピック 16 「強相関電子を用いた室温超電導材料」

室温での超伝導が実現すると間違いなく社会変革を引き起こすインパクトを有する。30年前の銅酸化物、10年前の鉄系化合物など、日本の研究が極めて競争力を有する分野で、これまでも室温超伝導に向けた取り組みが精力的に続けられている。一方、どうすれば実現するかという方策について、いまだアイデアが必ずしも明確でないためリスクが大きい材料開発研究であるとの位置づけをされることが多くなっている。ハイリスクハイリターン研究の典型である。

アンケートでは、非連続性(1位)、国際競争力(6位)、実現性が低い(4位)、実現性が不明(1位)、社会実装しない(5位)、社会実装するかどうかわからない(1位)、技術的实现から社会実装までの時間がかかる(2位)という結果が得られており、関心の高さと期待度、ブレークスルーの大きさの両方に特徴が現れている。

○トピック 17 「部品の超長寿命化(現在の2倍以上)のための表面改質・トライボロジー」

病気の予防・診断・治療などのヘルスケアイノベーション実現のためには、生体接触界面における安全性が高く、異物反応の少ない生体親和性材料が必要である。これらのうち変形性関節症や関節リュウマチなどの疾患によって悪くなった関節の表面をとり除いて金属、セラミック、ポリエチレンなどの人工関節に置き換えることが行われているが、人工関節の寿命が極めて重要である。

ポリマーブラシを形成するためのリビングラジカル重合は日本の高分子研究者が世界的に最も活躍している分野である。自然を模倣した低付着性防汚表面設計、生体親和性高分子材料の設計(生理環境下における高分子の構造・運動性解析、機能評価)と上記リビング重合技術を融合することにより部品の超長寿命化のための表面改質・トライボロジーの進展が期待される。

(3) 今後の展望

本細目における新規物質・材料の合成は新規機能の発現に直結し、様々な分野への展開の可能性が高く、現在また今後の取り組みの重要性が改めて理解されたものと言える。特に新規技術の発展が社会実装へ直接的に繋がり、他の技術発展の基礎となることは重要である。

アンケート結果に表れる関心の高さには注目すべきであり、重要度の高いトピックが多い分野である。ただし、重要度に比較して国際競争力が低く出ていることが懸念となる点である。現在および将来における当該分野での研究・開発環境がその重要度に対して不備な点があると感じている結果だとも考えられる。アンケート結果では技術実現のための重点施策としてどのトピックにおいても人材戦略および資源配分の重要性が高くなっており、この点でも現在の人材活用、資源配分が競争力向上に必要であるとの認識に共通する。さらに社会実装は、技術開発後に比較的短期間で達成可能とみているが、その実現のためには基礎研究と応用開発、研究・開発者と生産者、生産者と材料利用者などを含めた内外の連携協力、基礎となる材料技術と商品への展開橋渡しのシステムが求められている。

(井上 俊英、竹谷 純一、安藤 寿浩)

6. 1. 3. アドバンスト・マニュファクチャリング

(1) 本細目の検討範囲

今回の調査では、前回の調査に用いたトピックを基礎に、近年注目を浴びている付加製造技術(Additive Manufacturing、いわゆる3Dプリンティング)に関連するトピックを追加し、また、トピックが実現する社会的価値の

革新が見えやすいようにトピックを設定した。

(2) 本細目のトピック

○重要度と国際競争力

マテリアル・デバイス・プロセス分野の全7細目中、本細目、アドバンスド・マニュファクチャリングの重要度と国際競争力の平均値はそれぞれ5位と4位となった。重要度において1位の「モデリング・シミュレーション」の平均値が3.37であるのに対して、2位と7位(最下位)の平均値がそれぞれ3.27、3.19であり、1位と2位には大きな差があったものの2位以下の差は小さかったことから、本細目の重要度(3.21)は低位ではあるが、本分野の他の細目に比べて有意に低いとまでは考えられない。また、国際競争力の分散は全体的に小さく、他の細目に比べて有意に低いとは考えられない。

本細目内の個別のトピックをみると、「直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術(3.43)」、「匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム(3.41)」、「 $1\mu\text{m}$ 以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工(3.41)」、「バイオプリンティングによる再生臓器の製造(3.39)」の重要度が高位であった。これらのトピックに技術的な共通点は見いだせず、本技術分野において重要度が高いと考えられているトピックは、技術分野内に広く分散していると解釈できる。

また、付加製造技術(Additive Manufacturing、3Dプリンティング技術)に関連したトピックについては、回答数が少なかった。このことは、技術トピックが十分に周知されておらず、回答者が回答を差し控えた結果ではないかと想像できる。

○不確実性と非連続性

本細目の不確実性と非連続性は、それぞれ6位と5位であり、今回の調査では本分野のトピックは比較的達成しやすく、課題解決までの大きな障害もないと考えられていることがわかった。なお、本細目の中でもっとも不確実性の高かった「バイオプリンティングによる再生臓器の製造(3.0)」でさえも、マテリアル・デバイス・プロセス分野の全トピックの中で13番目であり、極めて高いものではなかった。

○倫理性

本細目のトピックの倫理性の平均値は、本分野の細目の中で1位であった。また、「バイオプリンティングによる再生臓器の製造(3.47)」を始めとして、3トピックが上位10位以内に、5トピックが20位以内に入っている。これらのトピックは、再生臓器、食品、匠の技能、パーソナル生産、オンデマンド生産といった、人間との関わりや個人とのかかわりの深いトピックが多かった。

○技術的実現とそれに向けた重点施策

2020年までの技術的実現が可能であるとされるトピックの割合は、本分野全体では14%であるのに対して、本細目内だけをみると20%台となり、本細目のトピックの実現性が総じて高く評価されていることがわかる。また、トピック実現に必要な施策については、全体では1位が人材戦略(37%)、2位が資源配分(32%)となり人材戦略と資源配分の差が有意であるのに対して、本細目では共に30%と同等であった。全体的に人より資金等の資源投入が必要であると考えられていることが分かる。

○社会実装の実現とそれに向けた重点施策

社会実装の実現時期は、分野全体では2021年～2025年が25%、2026年～2030年が60%であるとの回答に対して、本細目では、2021年～2025年、2026年～2030年がそれぞれ45%ずつと、技術的実現同様、本細目のトピックが比較的短期に社会実装できると考えられている。また、実現に必要な施策についても、分野全体では資源配分30%、人材戦略20%であるのに対して、本細目では資源配分30%、人材戦略15%と、相対的に

はより資源配分に重きが置かれている傾向は、技術的実現と同様となった。

(3) 今後の展望

マニュファクチャリング(製造)技術は、材料を加工して製品や部品を製造する技術であり、材料から製品をつくり社会に価値を提供するという工業の流れの中流に位置する。社会にわたる価値の格段の向上、いわゆるイノベーションの創出に大きなインパクトを及ぼすのは、ひとつには新たな製品の技術である。また、材料技術の進歩によって製品の性能が格段に向上することも容易に合点が行く。一方で、材料と製品の間の橋渡しをする製造技術はイノベーションの創出にももちろん不可欠であるものの、製造技術の進歩のみで革新をおこすと想像することは難しい。今回、本細目のトピックの重要度が全体の中でわずかながら低かったことには、製造技術の発展とイノベーション創出の関連を主張することが難しいことに一因があると考えられる。また今回の調査で、重要度の上位に位置づけられたトピックの多くには、「低環境負荷」「匠の技能の伝承」「再生医療」などといった社会的な価値を表す文言が入ったものが多かったのも、このような言葉がイノベーションとの関連を想起させていたためである。イノベーションを創出するためには、先進的な製造技術が常に必要であり、我が国がそのような競争力を維持するためには、材料技術、製品技術と連関して効果的な人的・金銭的資源投入を行うことが重要である。

「3D プリンタ」と言うわかりやすい辞で表現される付加製造技術は、従来の除去加工、成形加工といった概念と大きく異なる加工技術であり、特色を生かした出口の創出と加工性能そのものの向上をめざして各国が競争している新技術である。今回、トピックを追加したが、残念ながら十分な回答数が得られていなかったのは無理からぬことであり、次回の調査までに、関連した技術が成熟し社会への浸透が進んでいることを期待する。

従来の技術に対して不連続性を有し、未開拓分野に挑戦する技術開発も重要であるが、一方で既存の技術を維持、発展させていく基盤分野の技術も重要である。基盤分野は未開拓分野に比べて革新的には見えないが、革新的製品が既存技術の格段の向上によって実体化されることはままある。また、その実現の後には、その製造技術を低価格化し、品質を安定させる努力が必ず必要になり、それを支えるのは広範な基盤分野である。今回の調査において、基盤分野の重要性を問うトピックは設定できなかったが、今後の施策においてこのような技術に十分な注意を払う必要がある。

(新野 俊樹)

6. 1. 4. モデリング・シミュレーション

(1) 本細目の検討範囲

①モデリング・シミュレーションの意義

マテリアル・デバイス・プロセス分野において、理論とシミュレーションに基づき、原理原則やメカニズムを明らかにした上での、材料設計・材料開発が強く求められている。特に、資源が少なく、人件費が高いわが国では、研究開発の高度化、効率化、迅速化が必須課題であるため、理論とシミュレーションを最大限に活用することで、無駄な試行錯誤実験を最小限に減らし、高度な設計理論に基づく実験研究が遂行できる環境を整えることが必須かつ重要であると広く認識されている。その意味で、今後もモデリング・シミュレーション技術に対する期待は益々、高くなるものと考えられる。

また、この数十年間の技術開発や研究の進展により、研究者が対象とする物質・材料の数は数十倍、数百倍に増大しており、今後新たな世界で最先端の物質・材料を開発するには、既存の物質・材料データとそれに関わる技術の蓄積(データベース)に、飛躍的に進歩したコンピュータを如何に活用するかにかかっている。

②モデリング・シミュレーションにおけるトピック設定の背景・考え方

第一原理計算、分子動力学法、モンテカルロ法、有限要素法、流体力学、インフォマティクスなど多様なモデリング・シミュレーション技術が、近年、急速な発展を遂げ、比較的単純な系に関しては高い計算精度で、メカニズムの解明や材料設計が行えるレベルになってきている。これに対し、化学反応と物理現象など様々な要因が複雑に絡み合った現象(マルチフィジックス現象)や、ナノスケールからマクロスケールの広範囲にわたる要因が複雑に絡みあった現象(マルチスケール現象)におけるメカニズムと原理原則の解明が強く求められるようになってきている。

上記のようなマルチフィジックス・マルチスケール現象の解明には、大規模計算・長時間計算の実現が必須であり、スーパーコンピュータをはじめとするハードウェアの性能向上と並列計算等の技術革新が不可欠となっている。そのためには、国家プロジェクトとして次世代スーパーコンピュータの建設と、異分野の計算科学者が結集した研究協力体制の確立が強く求められている。

また、理論に基づく材料設計を実現するための環境作りとして、計算科学者が、実験研究者や計測・分析の研究者と強く連携することが求められている。計算科学と実験・計測から得られた大量の情報から、材料設計・材料開発に有効な原理原則や設計指針を得るためのマテリアルズ・インフォマティクス技術の推進も、今後、日本の科学技術が進むべき道として重要視されている。2011年に米国で Material Genome Initiative(MGI)プロジェクトが開始されて以来、先進各国の関心も急激に高まり、豪州では主要都市に設置したスーパーコンピュータのネットワークが構築され、中国でも MGI を加速するために 100 億円前後の予算が研究機関や大学に投入されているようで、日本もマテリアルズ・インフォマティクスの推進の具体的な枠組みが検討されている。

(2) 本細目のトピック

今回の調査の結果、マテリアル・デバイス・プロセス分野において、モデリング・シミュレーションの重要度が非常に高いとの回答が得られており、マテリアル・デバイス・プロセス分野において重要度が高いとされた上位 10 トピックのうち 3 件がモデリング・シミュレーションの設定トピックであった。また、マテリアル・デバイス・プロセス分野において、モデリング・シミュレーションに対しては若い回答者の関心も高く人材戦略が非常に重要とする回答が突出しており、人材戦略(技術的实现)において重要とされる上位 10 トピックのうち 7 件、人材戦略(社会実装)において重要とされる上位 10 トピックのうち 8 件が、モデリング・シミュレーションの設定トピックであった。これは国家戦略として、モデリング・シミュレーション技術を強化していく必要があるとの方向性が示されたものとなっている。モデリング・シミュレーション分野の内容の詳細としては、マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術の発展を重要とする回答が多いことが特徴的である。その次には、計算科学と実験・計測から得られた情報を材料設計に応用するマテリアルズ・インフォマティクス技術への展開を重要とする回答が多かった。下記にその概要をまとめる。

①マルチフィジックスシミュレーション技術の理論構築と計算手法の開発(トピック 31、33、34、35)

第一原理計算を活用することで、比較的単純な系に対しては、絶対零度における化学反応予測、物性予測、構造予測、機能予測は、容易にシミュレーションが可能な時代となってきた。これに対し、最近では静的な材料設計に加えて、量子論に基づき動的なプロセスをシミュレーションすることが可能になりつつある。その中でも、多数の複雑な因子が絡みあった現象、いわゆるマルチフィジックス現象の解明が切望されている。例えば、表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術の開発が期待されている。さらに、そのようなマルチフィジックスシミュレーション技術を発展させることで、合成プロセス、加工プロセス、機能予測を一貫して予測可能なシミュレーション技術が開発できるものと期待されている。今後、より多様な因子が複雑に絡み合った現象を、量子論に基づき解明可能なシミュレーション技術の開発・発展が強く求められている。

②マルチスケールシミュレーション技術の理論構築と計算手法の開発(トピック 32、37)

近年、第一原理計算、分子動力学法、モンテカルロ法、有限要素法、流体力学などの多様なシミュレーション技術が、それぞれ個別に顕著な発展を遂げている。しかし、それぞれは計算することが可能なサイズ、時間スケールが異なるため、例えば電子スケールで起こる化学反応が、マクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるような異なるスケールの要因が複雑に絡みあった現象を扱うマルチスケールシミュレーション技術の開発への期待が高まっている。このようなマルチスケールシミュレーション技術は、将来的には、電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までを統一的に設計することが可能な技術にまで発展することが期待されている。

③マテリアルズ・インフォマティクスを活用した材料予測手法の開発 (トピック 39、40、41、42)

スーパーコンピュータ上で、第一原理計算などのシミュレーションを系統的に大量実行することで、膨大な量の計算結果、いわゆるビッグデータを得ることが可能な時代となってきた。今後は、この得られたビッグデータから、いかに材料設計にとって重要な情報を引き出すかが重要な鍵となって行く。ビッグデータを統計的に処理し、そこから得られる情報により、材料設計のための原理原則、設計指針を得る技術はマテリアルズ・インフォマティクスと呼ばれ、今後、このマテリアルズ・インフォマティクス技術の発展により、試行錯誤的な実験を最小限に減らす環境作りが求められている。

さらに、理論に基づく材料設計・材料開発を実現するための環境作りとして、計算科学者に、実験研究者や計測・分析の研究者との強い連携が求められている。特に近年、大型放射光、大強度陽子加速器、新規高分解能電子顕微鏡などの高度な計測・分析技術が大きく進展し、従来は得られなかった電子・原子レベルの情報が実験的にも大量に集積されるようになり、第一原理計算などのシミュレーション結果と直接的な比較・検討が行えるようになってきた。今後は、実験・計測で得られたビッグデータを、シミュレーション結果と連動させることで、マテリアルズ・インフォマティクス技術を活用した材料設計への展開が期待されている。

④戦略的課題における計算科学シミュレーションの貢献 (トピック 36、38)

燃料電池、蓄電池、バイオマス変換触媒、シェールガス変換触媒などの高効率エネルギー変換技術・省エネルギー技術やレアメタル代替・使用量低減技術などは、迅速かつ強力に日本全体で国家プロジェクトとして推進することが求められている。マルチフィジクス・マルチスケール現象を高精度にシミュレーションする技術の開発・発展を通して、計算科学シミュレーションが、日本が推進すべき多様な戦略的課題において大きな貢献をすることが強く求められている。

(3) 今後の展望

①モデリング・シミュレーションにおける人材育成

今回の調査の回答者の多くが、モデリング・シミュレーションにおいて次世代人材育成に重点的に取り組むべきであると回答している。これは、マテリアル・デバイス・プロセス分野において突出して高い数字である。

日本がマテリアル・デバイス・プロセス分野において、新材料と新技術の開発を継続し世界に対して先導的な地位を確保し、科学技術立国としての地位をゆるぎないものとするには、試行錯誤的な研究開発から脱却し、原理原則やメカニズムを明らかにした上での材料設計・材料開発を実現できる環境整備が不可欠である。そのためには、モデリング・シミュレーション技術の基盤となる理論的な基礎教育の充実と、理論の定式化とプログラム開発能力を有する若い人材の育成が重要課題である。しかし、現実には大学においてシミュレーションを専門とする研究室の数が、近年、明らかに減少の傾向をたどっている。さらに、実験、計測、シミュレーションがチームを構成する応用的な研究プロジェクトは増えているのに対し、シミュレーションの基礎技術の発展、日本発のシミュレータの開発に注力した基礎的な国家プロジェクトは減少の傾向をたどっている。モデリング・シミュレーションにおける人材養成のために、今後、シミュレーションを専門とする大学の研究室の増強や、シミュレーション技術やシミュレータの開発を目的とした国家プロジェクトの策定が強く求められる。

②高性能スーパーコンピュータと国産ソフトウェアの開発による計算科学の推進

前述のように、マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーションの実現には、多様な物理的・化学的因子が複雑に絡みあった現象、多様なスケールの要因が複雑に絡みあった現象を扱う必要性から、大規模計算、長時間計算の実現が必須である。そのためには、超並列計算環境の整備と高度化が必須であり、計算機のコア数の指数関数的な増加と、コア数の増加に伴う超並列計算アルゴリズムの開発が強く求められる。しかし、日本の計算機資源は、国際的ランキングにおける低下が著しく、欧米のみならず、台頭が目覚ましい中国を含むアジアの中でも優位性を失いつつある。日本がモデリング・シミュレーション技術において確固たる地位を築くためには、高性能スーパーコンピュータの建設や国産ソフトウェアの開発推進など、国家戦略として、この分野に対する継続的な重点投資が不可欠である。

③計算科学における国際的リーダーシップ

前述のように、日本が科学技術立国として持続的な発展を遂げるためには、モデリング・シミュレーション技術の発展、拡充は欠かせない。また、技術継承のためにも出来るだけ多くの既存の物質・材料データとそれに関わる技術のデータベースを速やかに構築することも重要である。それらの実現のためには、マルチフィジックスシミュレーションセンター、マルチスケールシミュレーションセンター、マテリアルズ・インフォマティクスセンターのような世界の中心となるシミュレーション技術のセンターを立ち上げ、日本がこれら分野の国際的リーダーシップを果たす意思があることを明確に示す必要がある。国際的リーダーシップを果たすことにより、情報の集結、海外からの優秀な人材の集結、異分野交流による新規なソフトウェアの開発など、その効果は計りしれない。国家戦略として、日本がモデリング・シミュレーション技術において国際的リーダーシップを果たすための枠組みの構築が強く求められる。

(久保 百司、緒形 俊夫)

6. 1. 5. 先端材料・デバイスの計測・解析手法

(1) 本細目の検討範囲

計測・解析技術は、先端材料やデバイスの加工、制御、そして評価を行う上で必要となる基盤技術であり、科学的な原理原則に基づいて設計され開発されてきた。従来の固体のバルクや表面観察だけでなくカーボンナノチューブ、フラーレン、グラフェンなどのナノ炭素材料や粉体・微粒子、イオン液体、そしてバイオ材料の計測など、様々な先端材料の計測解析が要求されている現状において、従来の計測分析の高度化、高速化、高精度化、高分解能化、そして複合化などだけでなく、ありのままの材料観察が必要となってきている。

電子顕微鏡における疑似凹レンズの開発により加速電圧 15 kV での原子分解能を有する透過型電子顕微鏡が実現され、軽元素の可視化が可能となった。また、前世紀末で開発された走査プローブ顕微鏡法では高速化が実現されているだけでなく、最近では溶液中の計測だけでなく液体界面の計測も可能となってきた。更に、一分子計測と呼ばれる分野が急速に発展して、ナノポアのように最先端加工技術を応用した計測解析技術も可能となった。

このような空間や時間の分解能の高度化に加え、材料を作製したそのままの状態(*in situ*)で観察する、デバイスが動作している状態(*in operando*)で観察する、更には生体の細胞内での状態(*in cellulo*)で観察する、といった計測・解析が求められている。本アンケートではこのような科学技術動向を鑑みて 12 トピックが設定された。

(2) 本細目のトピック

本計測・解析分野では他の区分と異なり、2020 年までに実現可能とされるトピックが多くみられた (ナノ材料

生理学的安全性推測・電池内部物質移動変化可視化・触媒オペランド解析・細胞内分子動態計測)。これは、本分野は既知の科学的な原理原則に基づいて設計され開発されていることに起因する。そして、バイオテクノロジー関連技術については他分野同様に倫理性が要求されているというアンケート結果になった。そして本細目内では、2050年までの今後35年間の展望を踏まえた重要性が最も高いトピックとして、「固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術」が選ばれた。

技術的実現のための重点施策としては人材戦略が50%近くとなっているトピックが多く、社会実装のための重点施策としては資源配分が50%近くとなっているトピックが多かった。また、内外の連携・協力については技術的実現・社会実装のどちらにおいても重点は多くなく、環境整備については、2件(ナノ材料生理学的安全性推測・広波長偏極中性子)を除いてあまり重点がおかれなかったという結果になった。

以上のアンケートの結果から現れているように、本細目において技術的実現のために重要となるのは人材戦略であり、社会実装のために重要となるのは資源配分である。特に最近では、ES細胞やiPS細胞のような胚性幹細胞における細胞工学を支える基盤計測技術が必要とされており、このような生物系分野への応用が求められている社会情勢や政策を踏まえて、従来の計測・解析のように土俵に上がってくるものを対象にするのではなく、細胞核内の一分子動態計測など様々な要求に答えた計測解析が必要になっている。

(3) 今後の展望

上記に挙げた様々な技術課題を乗り越えるには次の三つが鍵となる。先端材料等を用いて計測解析装置を改良していくこと、走査プローブ顕微鏡法のように従来のインプット・アウトプットで体系化された考えから脱却した計測法の創生、そして電子顕微鏡における球面収差補正機構(疑似凹レンズ)のように開発への地道な弛みない努力である。

計測・解析技術は、既知の科学的原理原則に基づいて設計される。例えば、本細目で設定されたトピックのひとつである、100 V以下の原子分解能電子顕微鏡の実現には、100 V電子線のドブロイ波長が0.1 nmという事を鑑みて、対物レンズの開口数を1にする必要がある。既知の科学的原理原則から高度な計測解析を実現するには、それを可能とする材料と技術が重要となる。例えば、電子分光法の分野においては、瀬谷波岡分光器や二次元表示型球面鏡アナライザ(大門アナライザ)など日本の独自技術で開発されてきた分光器があるが、これに先立って提案されたEastman分光器は大型の楕円メッシュが必要となり、現状の技術では実現していない。また、走査トンネル顕微鏡と同じ原理はNISTのRussell YoungによってTopographinerとして1970年代に考案されていたが、これが実現できたのはノーベル賞受賞者のBinnigとRohrerの寄与だけでなくChristoph Gerberという「世界で初めて走査トンネル顕微鏡と原子間力顕微鏡を作った、科学に対しても見識を持つ技術者」の存在を忘れてはならない。以上のような先端計測解析技術を開発するには、それを実現する材料技術の開発と先端科学を熟知した科学技術者の育成、この二つが不可欠となる。

(高見 知秀、近藤 寛)

6. 1. 6. 応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)

(1) 本細目の検討範囲

本細目は新しい材料、デバイス、プロセス技術を基盤とした情報通信技術やナノテクノロジー応用に関する将来技術を取り上げている。取り上げた12トピックは、情報処理応用が8件、情報通信応用が1件、ディスプレイ応用が2件、機械応用が1件である。ビッグデータ時代を迎えて、情報処理デバイス、システムに要求される性能はますます高まるばかりであり、その状況を受けてICT応用のトピックを多く設定した。

(2) 本細目のトピック

シリコン CMOS 集積回路の高性能化は主にデバイスの微細化により実現されてきたが、微細化の限界が間近に迫ってきており、将来の情報デバイス候補として新材料を用いた新原理デバイスの研究へとシフトしつつある。新デバイスの性能指数としては、単位消費電力当たりの情報処理能力の向上が重要になってきている。社会全体で取り扱う情報量が膨大になってきたために、データセンターやネットワークルータなどの情報機器に用いる電力低減が社会課題になりつつあることが背景にある。アンケート結果からも、「現在のスパコン能力を 1 チップで実現する集積回路」が重要トピックのトップであり、将来も情報処理能力の向上ニーズが高いこと、およびその際に消費電力を抑えて処理能力を向上させることが必要であることがわかる。シリコン集積回路では微細化により高性能化に必要な高速化、集積度向上、低消費電力化が両立できていたが、加工寸法が 45nm 以下ではそれらの両立が困難となり、新材料や新構造の導入が必要となっている。さらに微細化を行うにはシリコンベースのデバイスでは限界となり、デバイスの主材料の変更が求められている。また、情報記憶技術も重要度ランキング上位にあり、DRAM とは桁違いの低消費電力化、高速化や、超高密度記録技術、原子／分子による情報記録が重要と認識されている。これらのトピックへの具体的な取り組みが、現在活発な研究開発が行われている新材料を用いた不揮発メモリ(MRAM、PRAM、ReRAM など)や超高密度磁気記録技術の開発である。

一方、有機エレクトロニクスについても重要トピックとして高く位置付けられている。急速に期待が高まりつつある Internet of Things(もののインターネット化)を促進するためには従来のシリコンベースの半導体デバイスと異なる場所にエレクトロニクスを実装できる技術が必要であり、その有力候補が印刷技術を利用した有機エレクトロニクスであると認識されていると考えられる。また、これらのトピックは国際競争力ランキングでも上位に位置しており、我が国の強みを活かしたイノベーション候補であると言える。

(3) 今後の展望

インターネットにつながるものが、従来の情報機器のみではなく、人や機械さらには構造物までもが接続される社会においては、データを生成するセンサ、データを伝える通信デバイス、データを処理するデバイスは高性能化とともに多様化が求められるようになる。それを実現するための新材料、新プロセスの重要性はこれまで以上に求められることになる。例えば、ICT・アナリティクス分野のトピックとして取り上げている新アーキテクチャを用いたコンピューティングには、シリコン集積回路以外のデバイス技術が不可欠となり、当分野で取り上げた単一スピンを情報担体とする情報素子などの技術が必要となる。また、それらの開発を行う上でシミュレーションを利用することは試行錯誤の材料、デバイス開発の効率化という観点から必須となる。

(金丸 正剛)

6. 1. 7. 応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）

(1) 本細目の検討範囲

環境・エネルギー問題は国境を越えた地球規模での人類共通の普遍的問題である。エネルギー資源の問題は、古くから世界経済、各国の外交戦略、安全保障、ナショナリズム等、あらゆる問題に関連してきた。さらに 20 世紀後半から、それら資源エネルギーの大量消費、破棄による地球全体への環境負荷に関する問題が重要となってきている。従来のエネルギー問題は、如何に新しいエネルギー資源を探索・開発するかという点に最重点が置かれてきていたように思われる。地球上から新しい化石エネルギー源を如何に見つけるかが、第一であった。現に新しい油田の開発、古い油田からの採油量の増加も盛んに検討されている。また、シェールオイル・ガス、メタンハイドレート等新しい化石資源の開発も行われている。しかしながら地球の資源、環境が有限であることが強く認識されるようになってきた近年、資源の有効活用、環境維持が現代の人類生活維持に欠かせないものとなってきているとの認識は益々強まっている。

マイクロ視点からの先端技術である材料開発、特に分子・原子レベルの制御によるナノテクノロジーが上述の地

球規模でのマクロな問題解決に、大きな貢献を期待されているということが、本細目「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」の存在理由である。

(2) 本細目のトピック

問われたトピックは、他の分野にも増して広範多岐に渡り、そこに登場する候補材料群は様々な種類である。あるいは現時点で特定の材料を想定できないトピックもある。ところが一方でその目的とする出口課題は他の分野の中でも比較的具体的なものが見えているように思われる。具体的なトピックはエネルギー問題に関するものが多くを占めた(20 トピック中 16 件)。環境問題として直接的にトピック名に問われているものは少ないが、エネルギー問題の解決とは、従来のエネルギー資源の消費の減少を意味し、すなわち環境負荷の低減にも間接的にはあるが必ず関連するものである。エネルギー関連トピックは大きくは、①エネルギー変換に関するもの、②エネルギー貯蔵・輸送に関するもの、③エネルギー消費の低減に関するものに分類できる。①は太陽電池を例とするような、これまで我々があまり有効に利用できていなかった太陽光、温度差、風力などいわゆる再生可能エネルギーを有効に変換・利用できるシステム、素子に関するものである。②の代表はいわゆる電池、キャパシタ類である。①②に関して、原理を掲げているが具体的な材料系までは想定していないトピックから、具体的な材料系、さらには具体的な数値目標まで掲げているものまでであるのが、特徴である。

燃料電池材料に関するトピックは、①にも②にもまたがるトピックであり、また実用用途として自動車が第一に想定されていることから、その具体的な目標数値なども出されている。回答の重要度ランキングをみると、このように比較的具体的に数値目標が分かりやすいトピックが上位になっていることが分かる。

環境問題に関するトピックは、全体としてエネルギー問題と比較すると数値的目標が与え難く、したがって重要度ランクも上位にはならなかったものと思われる。

(3) 今後の展望

原子・分子レベルのナノテクノロジーによる新規物質・材料の合成、さらにその組み合わせによる新規機能が、地球規模での問題に直結してきたのが 21 世紀の科学技術の特徴を代表しているように思われ、回答者による結果もそれを強く意識していることが示唆されている。

ナノテクノロジー、材料開発において先進性、優位性を持つ我が国の研究者がこれらの問題に関しても重要度を高く認識していることは明らかであるが、アンケート結果において、国際競争力がかなり低く見積もられている。

石油の確保が経済、外交、安全保障上の最重要であった 20 世紀に代わり、本細目に示すトピック類が世界のエネルギー、環境問題の解決になるとの認識であれば、国際競争力の低さは問題である。これまでの実績を見る限りでは、エネルギー、環境分野でも我が国の科学技術の貢献は大きいと思われるが、将来の期待が大きい分野だけに、この分野に対する人材活用、資金配分などの全体的研究開発投資が重点施策として必要であることを訴える結果だと見ることができる。

(安藤 寿浩)

6. 1. 8. 応用デバイス・システム (インフラ分野)

(1) 本細目の検討範囲

効率的な流通・移動ネットワーク機能を持ち、かつ人口の疎密に対応した生活と産業を下支えするのが社会共有基盤たるインフラ(ストラクチャ)である。インフラがいかにか安全・安心、高効率性であるかは、いずれの国においても現代経済社会の存立基盤を規定している。日本は、地震多発、高温多湿、台風、洪水などの自然環境が、欧米先進国は言うに及ばず、多くの発展途上国に比べても著しく厳しいという自然条件にある。したがって、

日本のこの分野の技術の信頼性は国際的に見ても高いものとならざるを得ない。その高信頼性の一端を素材が担ってきたことは言うまでもない。また、量的需要が大きいことから、高価、希少な材料の一般使用は避け、資源的に心配の少ない材料の最大効率での利用が鍵となる。日本で試され済みの素部材、材料技術の国際競争力は必然的に高くなる。

さて、日本のインフラの多くは、戦後の高度経済成長時代に大半が整備されてきたため、折しも人口の高齢化と並行して、老朽化している。したがって、社会インフラの老朽化対策のための高機能な新規材料の創製に加えて、点検診断技術、補修技術、劣化予測技術などとパッケージにしたインフラ維持管理マネジメントシステムの構築のための総合的なアプローチが必要となっている。

今回調査の以下のインフラ5項目の設問は、以上のような背景を考慮して選ばれている。

- ・ トピック 88「小型軽量で1人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術」
- ・ トピック 89「損傷を受けると損傷箇所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料」
- ・ トピック 90「降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の3倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造物材」
- ・ トピック 91「中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料」
- ・ トピック 92「超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造物材」

これらはいずれも近年の先進的な研究開発で注目度の高いトピックだが、今回の設問ではさらにその先を展望し、かつひとり材料開発に留まらない総合性を目指す工夫が見える。

(2) 本細目のトピック

まず、注目すべき点は、マテリアル・デバイス・プロセス分野の中で、細目インフラの国際競争力が平均値として明白に最も高いと評価された(3.12点)ことである。今回の調査では回答者における若手比率が大幅に増したので、広い世代でこの評価が定着しているのではないかと推測される。この点は我が国の将来を考える上で明るい材料となる。重要度についても二番目に高い平均値(3.27点)となっている。設問別でも(89)以外は、重要度、国際競争力のいずれも3.0点以上のスコアとなっている。施策的にも大いに参考とすべき回答である。

回答者の具体的コメントに共通する大事なことは、1)この細目ではすべてが総合的であるし、基礎こそ重要であること、2)必要資材等の多さからして「低コスト」を前提とした研究開発でないという意味をなさないという鋭い指摘があることを忘れてはいけない。

(3) 今後の展望

高い競争力があると見なされたことと相まって、トピックの不確実性、トピックの非連続性は相対的に「低い」となっているのは頷ける。また、実現時期においても分野の中では平均的に最も早期で、社会実装までも平均4.2年という短期リードタイムが期待されていることにも連なる。技術的実現、社会実装のための重点施策においても「資源配分が大事」が最も高い回答率だったことも一連の結果とみることができる。

確かに早期の実現が強く望まれるが、従来の経験値で言えば思いの外、年月が必要となる。期待の実力通りの早期実現を確実にするためには、資源配分を重視すると共に、利害関係者間の情報交換、交流を円滑にし、なるべく多面的な連携、協力体制の下で研究開発を進めることで、投入資源の効果が分散せずに集中・維持できるように工夫することが求められるだろう。また、社会実装を考えると現場で開発技術を駆使できる人材育成の継続的育成が不可欠であり、人材育成を包含した研究開発体制の工夫も必須だろう。回答者コメントにも同様の意見が多く見られた。

(長井 寿)

6. 2. アンケートの回収状況

マテリアル・デバイス・プロセス分野についての回答者内訳は、以下のようになっている。

表 2-6-1 マテリアル・デバイス・プロセス分野のアンケート回収状況及び内訳

年代	20代	16人	職業	企業その他	195人	回答者の専門度の構成	高	12.2%
	30代	241人		学術機関	392人		中	28.7%
	40代	171人		公的研究機関	85人			
	50代	117人	職種	研究・開発	579人		低	59.2%
	60代	64人		管理・運営等	66人			
	70代以上	8人		その他	27人			
	無回答	55人		合計	672人			

6. 3. 細目の設定

個別科学技術トピックを検討するにあたっては、その前提として、マテリアル・デバイス・プロセス分野において重要な細目についての議論を行い、これに基づいて、以下の課題の細目を設定した。

表 2-6-2 本分野の細目の概要

細目名	概要
新しい物質・材料・機能の創成	無機材料(可塑性)、導電性高分子材料、ハイブリッド材料、架橋性樹脂(リサイクル)、自己組織化、自己修復材料、熱電素子、蓄光材料、パワー半導体、人工バルク半導体、有機半導体、高移動度トランジスタ、半導体レーザアレイ、メタマテリアル材料、電磁波反射体、室温超電導材料、微小物体の制御・計測、トライボロジー
アドバンスト・マニュファクチャリング	付加製造、オンデマンド生産、パーソナル生産、変種大量生産、ネットシェイプ加工、オンデマンドファブシステム、超精密プロセス技術、バイオプリンティング、アミロース・糖類の生産、アトリトルオーダーの物質注入、立体固体造形、暗黙知のアーカイブ化、技術継承、低環境負荷精錬技術
モデリング・シミュレーション	マルチフィジクス/マルチスケールシミュレーション、合成・加工プロセスシミュレーション、三次元造形機能・構造予測シミュレーション、動的プロセス設計、触媒反応、ダイナミクスシミュレーション、化学反応経路検索、マテリアルズ・インフォマティクス、モデル最適化技術、新規物質検索性予測ツール
先端材料・デバイスの計測・解析手法	時空分解解析、リアルタイム三次元可視化、物質のゆらぎ、固体欠陥解析、オペランド解析、触媒反応素過程、実時間解析、ナノ材料、生理学的安全性推測、細胞への自動インジェクション、分子動態追尾、電子顕微鏡、高温超電導、スピントロニクス、偏極中性子
応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)	プリンタブル LSI、プリントド・システム・オン・プラスチック、フレキシブル・マン・マシン・インターフェース、ナノ機械システム、単層グラフェンデバイス、二次元半導体、1チップ集積回路、ディスプレイ、デジタルジレンマ、超高密度記録技術、低消費電力メモリ、単一スピン情報素子、量子暗号通信、単一光子、大容量ストレージ
応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	熱電変換素子、高エネルギー消費効率冷凍機、太陽電池、直流スマートグリッド、低温温水発電システム、高層偏西風、プラスチック創成(CO ₂ 利用)、人工核変換、遺伝子マーキング、高効率エネルギーハーベスト、自動車用二次電池、空気電池、マグネシウム、リサイクル、炭素質キャパシタ、希少金属、燃料電池、低濃度 NO _x 酸化剤、高密度水素貯蔵材料、実用光触媒、人工光合成、CO ₂ 燃料化、膜分離技術、低環境負荷デバイス(グラフェン、ナノチューブ)
応用デバイス・システム (インフラ分野)	ヘルスマonitoring、自己診断表示材料、高強度高靱性鉄鋼製建築構造材、金属・セラミクス直接接合、炭素系構造材料

6. 4. トピックに関する設問について

6. 4. 1. トピックの特性

(1) 重要度

①重要度の高いトピック

本分野のトピックのうち、科学技術と社会の両面から、総合的に重要とされたトピック(上位 20 件)は、以下のとおりである。

細目別では、「モデリング・シミュレーション」関連トピックが 6 件、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」関連トピックが 5 件を占める。トピック 84「植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術」を除いて、技術的実現時期は 2026 年まで、社会実装時期は 2031 年までと予測している。

表 2-6-3 重要度の高いトピック(上位 20 件)

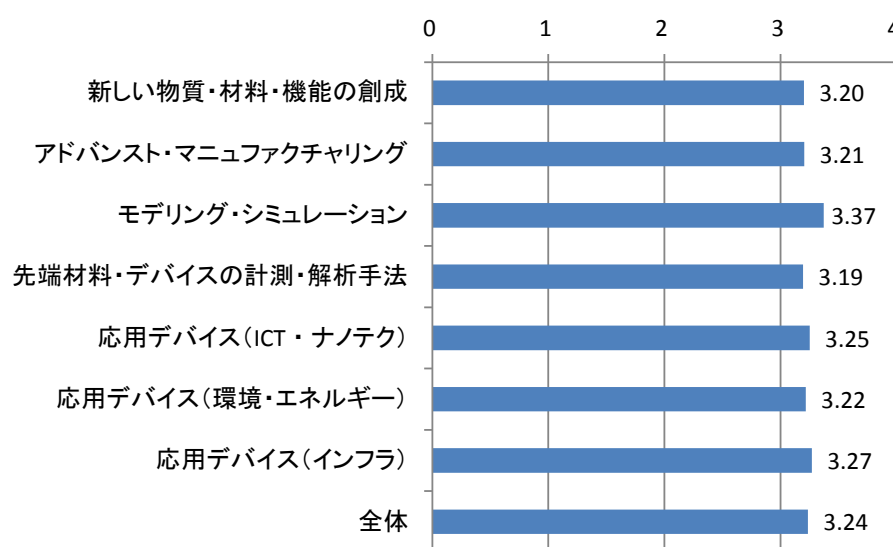
番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
60	単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を 1 チップで実現する集積回路技術	3.61	2025	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
77	現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上, 出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	3.60	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
63	現在の DRAM に比べ、100 倍のメモリバンド幅を持ち、100 分の 1 の消費電力で動作するメモリ	3.56	2025	2028	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
80	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	3.55	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
34	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	3.53	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
69	変換効率 50%を超える太陽電池	3.49	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	3.49	2030	2040	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
78	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池	3.48	2026	2031	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
31	表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術	3.48	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
37	電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術	3.47	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
92	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料	3.46	2025	2030	応用デバイス・システム (インフラ分野)
2	SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体	3.45	2024	2025	新しい物質・材料・機能 の創成
88	小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術	3.44	2020	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
33	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術	3.44	2025	2029	モデリング・ シミュレーション

番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	3.44	2025	2030	モデリング・シミュレーション
30	直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術	3.43	2025	2030	アドバンスト・マニュファクチャリング
35	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	3.42	2025	2030	モデリング・シミュレーション
23	1 μ m以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工	3.41	2025	2030	アドバンスト・マニュファクチャリング
62	デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術	3.41	2025	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	3.41	2023	2025	アドバンスト・マニュファクチャリング

②細目別のトピックの重要度

細目別の平均でみた場合、「モデリング・シミュレーション」が 3.37 と最も大きく、次いで「応用デバイス・システム(インフラ分野)」が 3.27 であった。

図 2-6-1 トピックの重要度(細目別:指数)



③重要度の低いトピック

本分野のトピックのうち、「重要度は低い」として、評価されたトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。「応用デバイス・システム」関連のトピックが含まれる。

表 2-6-4 重要度の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
89	損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	2.88	2020	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	2.86	2021	2027	先端材料・デバイスの 計測・解析手法

番号	トピック	重要度	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
81	低濃度 NOx を酸化剤として利用可能な燃料電池	2.81	2025	2031	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
61	特定の人にしか可視化できないディスプレイ	2.71	2021	2026	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	2.68	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)

(2) 国際競争力

① 国際競争力の高いトピック

本分野のトピックのうち、国際競争力が高いと評価されたトピック(上位 20 件)は、次表に示すとおりである。細目別では、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」と「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」の関連トピックが 5 件、「新しい物質・材料・機能の創成」の関連トピックが各 4 件占める。技術的実現時期は 2025 年頃、社会実装時期は 2030 年頃とするトピックが多い。

表 2-6-5 国際競争力の高いトピック(上位 20 件)

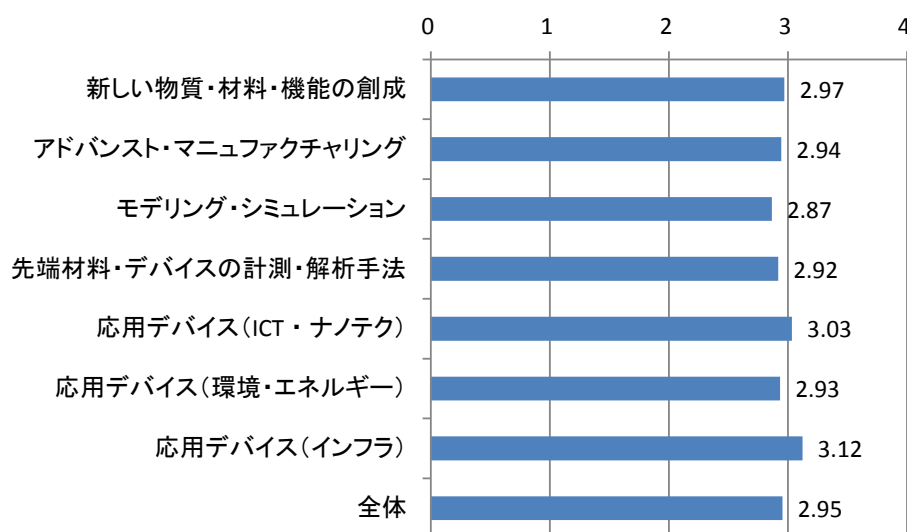
番号	トピック	国際 競争力	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
90	降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材	3.40	2025	2030	応用デバイス・システム (インフラ分野)
92	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料	3.31	2025	2030	応用デバイス・システム (インフラ分野)
80	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	3.30	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
77	現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	3.27	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
64	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	3.24	2030	2035	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.19	2030	2040	新しい物質・材料・ 機能の創成
91	中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料	3.18	2024	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
25	ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)	3.16	2025	2030	アドバンスト・ マニュファクチャリング
83	太陽光で水を分解できる実用的な光触媒	3.16	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
55	高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI	3.16	2020	2025	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
78	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池	3.16	2026	2031	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
62	デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術	3.14	2025	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)

番号	トピック	国際競争力	技術的実現時期	社会実装時期	細目
57	近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース	3.14	2022	2025	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	3.12	2023	2025	アドバンスト・マニュファクチャリング
69	変換効率 50%を超える太陽電池	3.12	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
7	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ	3.12	2025	2028	新しい物質・材料・機能の創成
23	1 μ m以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工	3.12	2025	2030	アドバンスト・マニュファクチャリング
5	自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料	3.11	2020	2025	新しい物質・材料・機能の創成
56	センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリンテッド・システム・オン・プラスチック)	3.11	2020	2025	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
2	SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体	3.10	2024	2025	新しい物質・材料・機能の創成

②細目別のトピックの国際競争力

細目別の平均でみた場合、「応用デバイス・システム(インフラ分野)」が 3.12 と最も大きく、次いで「応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)」が 3.03 である。

図 2-6-2 トピックの国際競争力(細目別:指数)



③国際競争力の低いトピック

本分野のトピックのうち、「国際競争力」が低いと評価されたトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」細目のトピックが複数含まれる。

表 2-6-6 国際競争力の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	国際競争力	技術的実現時期	社会実装時期	細目
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	2.73	2025	2029	モデリング・シミュレーション
89	損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	2.73	2020	2025	応用デバイス・システム(インフラ分野)
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	2.59	2025	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	2.55	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	2.52	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

(3) 不確実性

① 不確実性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発における失敗の許容、複数手法の検討等、が必要となる不確実性が高いと評価されたトピック(上位 20 件)は、以下のとおりである。

細目別では、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」関連トピックが 10 件を占める。技術的実現時期は 2025 年以降、社会実装時期は 2030 年以降と予測するトピックが多い。

表 2-6-7 不確実性の高いトピック(上位 20 件)

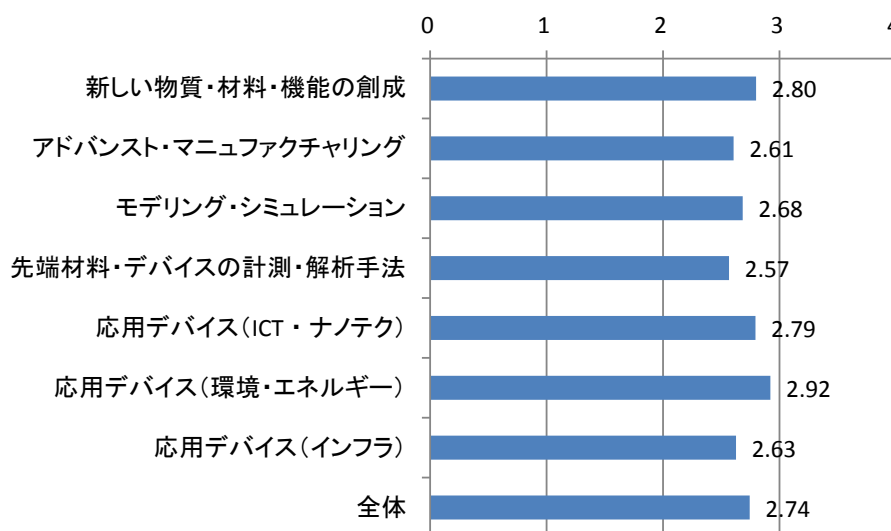
番号	トピック	不確実性	技術的実現時期	社会実装時期	細目
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.46	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.41	2030	2040	新しい物質・材料・機能の創成
64	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	3.21	2030	2035	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	3.17	2030	2040	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
66	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ	3.17	2028	2035	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
85	CO ₂ の光還元触媒による燃料化	3.13	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
79	東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター	3.09	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	3.06	2025	2029	モデリング・シミュレーション
81	低濃度 NO _x を酸化剤として利用可能な燃料電池	3.05	2025	2031	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
65	量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス	3.04	2025	2030	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)

番号	トピック	不確実性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
6	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料	3.04	2025	2030	新しい物質・材料・機能の創成
69	変換効率 50%を超える太陽電池	3.01	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	3.00	2025	2035	アドバンスト・ マニュファクチャリング
8	ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ	3.00	2025	2030	新しい物質・材料・ 機能の創成
34	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	2.99	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
67	効率が 40%以上の熱電変換素子	2.98	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
80	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	2.96	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
58	生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム	2.96	2024	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
82	水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料	2.95	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
83	太陽光で水を分解できる実用的な光触媒	2.92	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)

②細目別のトピックの不確実性

細目別の平均でみた場合、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」が 2.92 と最も大きく、次いで「新しい物質・材料・機能の創成」が 2.80、「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」が 2.79 であった。

図 2-6-3 トピックの不確実性(細目別:指数)



③不確実性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「不確実性」は低いと評価されたトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。「アドバンスト・マニュファクチャリング」のトピックが 2 件占める。

表 2-6-8 不確実性の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	不確実性	技術的実現時期	社会実装時期	細目
20	形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)	2.40	2021	2025	アドバンスト・マニファクチャリング
42	マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3次元造形による構造および機能性材料が開発される	2.38	2025	2028	モデリング・シミュレーション
43	光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術	2.36	2022	2025	先端材料・デバイスの計測・解析手法
88	小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術	2.35	2020	2025	応用デバイス・システム(インフラ分野)
24	少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム	2.34	2020	2025	アドバンスト・マニファクチャリング

(4)非連続性

①非連続性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発の成果が現在の延長ではなく、市場破壊的・革新的と評価されたトピック(上位 20 件)は、以下のとおりである。細目別では、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」関連トピックが 11 件を占める。技術的実現時期は 2025 年以降、社会実装時期は 2030 年以降と予測するトピックが多い。

表 2-6-9 非連続性の高いトピック(上位 20 件)

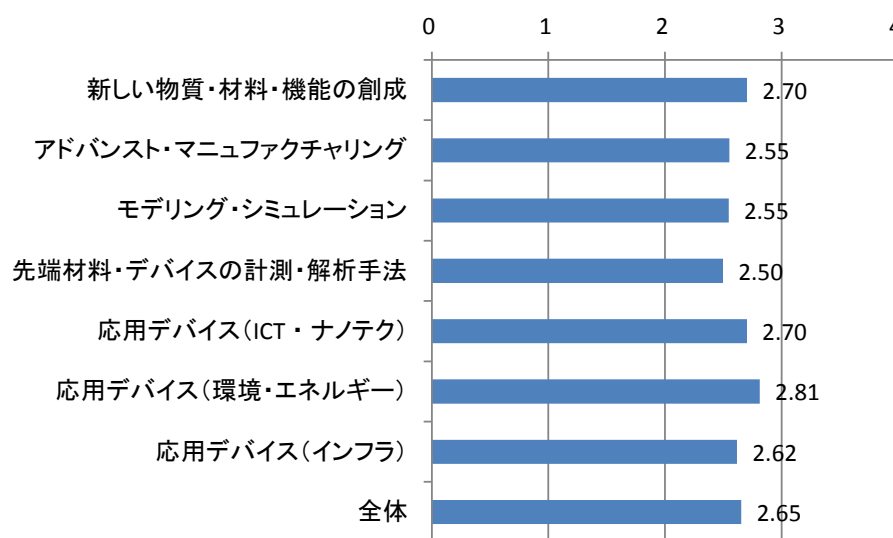
番号	トピック	非連続性	技術的実現時期	社会実装時期	細目
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.37	2030	2040	新しい物質・材料・機能の創成
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.22	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
66	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ	3.15	2028	2035	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
64	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	3.10	2030	2035	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
85	CO ₂ の光還元触媒による燃料化	3.03	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	3.01	2030	2040	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
80	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	2.97	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
6	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料	2.94	2025	2030	新しい物質・材料・機能の創成
34	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	2.93	2025	2030	モデリング・シミュレーション
77	現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上, 出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	2.93	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

番号	トピック	非連続性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
79	東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター	2.88	2030	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	2.86	2025	2035	アドバンスト・ マニュファクチャリング
67	効率が40%以上の熱電変換素子	2.86	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
8	ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ	2.85	2025	2030	新しい物質・材料・機能 の創成
87	環境にCO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	2.85	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
83	太陽光で水を分解できる実用的な光触媒	2.84	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
78	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池	2.83	2026	2031	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
58	生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム	2.83	2024	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
69	変換効率50%を超える太陽電池	2.83	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	2.82	2025	2030	先端材料・デバイスの 計測・解析手法

②細目別のトピックの非連続性

細目別の平均でみた場合、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」が2.81と最も大きく、次いで「新しい物質・材料・機能の創成」、「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」が2.70であった。

図 2-6-4 トピックの非連続性(細目別:指数)



③非連続性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「非連続性」が低いと評価されたトピック(下位5件)は、以下のとおりである。「建築構

造物ヘルスマニタリング技術」、「ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術」等のトピックが含まれる。

表 2-6-10 非連続性の低いトピック(下位 5 件)

番号	トピック	非連続性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
88	小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術	2.33	2020	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
49	ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術	2.33	2020	2025	先端材料・デバイスの 計測・解析手法
12	ミラーを用いずにレーザー光の出射方向を自由に制御可能な半導体レーザーアレイ	2.31	2023	2027	新しい物質・材料・機能 の創成
38	量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム	2.27	2025	2029	モデリング・ シミュレーション
18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	2.27	2020	2025	アドバンスト・ マニユファクチャリング

(5) 倫理性

① 倫理性の高いトピック

本分野のトピックのうち、研究開発において倫理性の考慮や社会受容の考慮が必要と評価されたトピック(上位 20 件)は、以下のとおりである。

細目別では、「アドバンスト・マニユファクチャリング」関連トピックが 5 件、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」と「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」の関連トピックが各 4 件占める。技術的実現時期は平均して 2023 年頃とするトピックが多い。

表 2-6-11 倫理性の高いトピック(上位 20 件)

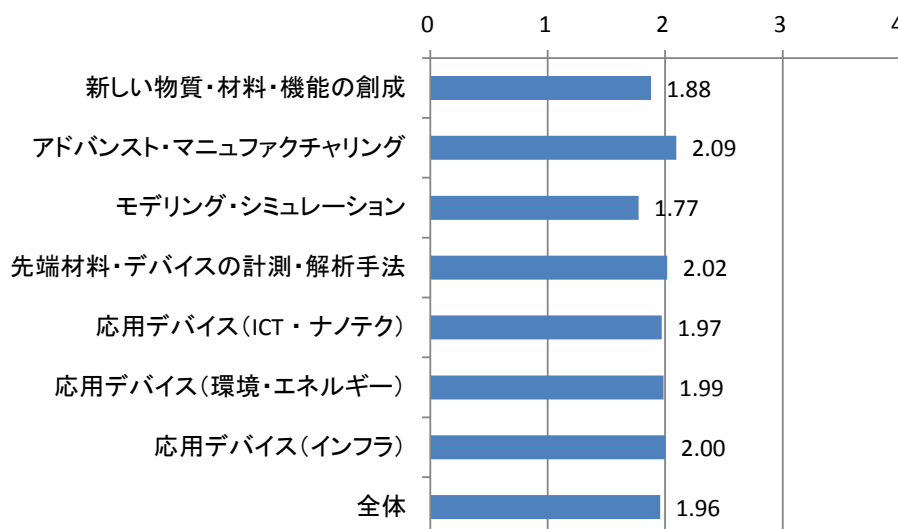
番号	トピック	倫理性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	3.47	2025	2035	アドバンスト・ マニユファクチャリング
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	3.19	2025	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
49	ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術	2.83	2020	2025	先端材料・デバイスの 計測・解析手法
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	2.80	2021	2027	先端材料・デバイスの 計測・解析手法
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	2.75	2030	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
51	細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術	2.42	2020	2025	先端材料・デバイスの 計測・解析手法
26	木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法	2.39	2024	2028	アドバンスト・ マニユファクチャリング
29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	2.34	2023	2025	アドバンスト・ マニユファクチャリング
58	生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム	2.27	2024	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)

番号	トピック	倫理性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー（波長）範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	2.17	2025	2030	先端材料・デバイスの計測・解析手法
61	特定の人にしか可視化できないディスプレイ	2.15	2021	2026	応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）
22	大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産	2.12	2020	2025	アドバンスド・マニュファクチャリング
18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	2.10	2020	2025	アドバンスド・マニュファクチャリング
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	2.10	2025	2030	応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）
88	小型軽量で1人でも操作可能な建築構造物ヘルスマonitoring技術	2.09	2020	2025	応用デバイス・システム（インフラ分野）
64	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	2.09	2030	2035	応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）
4	リサイクル可能な架橋性樹脂	2.08	2024	2027	新しい物質・材料・機能の創成
91	中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料	2.08	2024	2025	応用デバイス・システム（インフラ分野）
70	国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	2.05	2030	2035	応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）
57	近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース	2.03	2022	2025	応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）

②細目別のトピックの倫理性

細目別の平均でみた場合、「アドバンスド・マニュファクチャリング」が 2.09 と最も大きい。

図 2-6-5 トピックの倫理性（細目別：指数）



③倫理性の低いトピック

本分野のトピックのうち、「倫理性」があまり問われないと評価されたトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。「モデリング・シミュレーション」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」細目のトピックが含まれる。

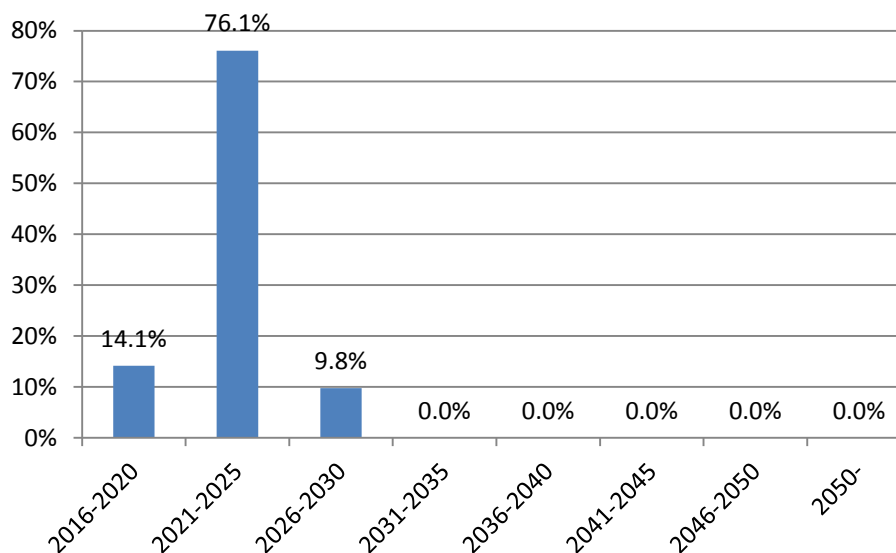
表 2-6-12 倫理性の低いトピック(上位 5 トピック)

番号	トピック	倫理性	技術的 実現時期	社会 実装時期	細目
84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	1.69	2030	2040	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
45	固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術	1.68	2022	2025	先端材料・デバイスの 計測・解析手法
31	表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術	1.65	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	1.60	2025	2030	モデリング・ シミュレーション
52	原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡	1.60	2025	2025	先端材料・デバイスの 計測・解析手法

6. 4. 2. 技術的実現予測時期

技術的実現予測時期の分布は下図の通りである。

図 2-6-6 技術的実現予測時期の分布



技術的実現予測時期別のトピック数は、以下のとおりである。

「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」細目のトピックは、他の細目に比べ、若干、技術的実現予測時期が遅くなっている。

表 2-6-13 技術的実現予測時期別のトピック数(細目別)

細目	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-
新しい物質・材料・機能の創成	1	15	1					
アドバンスド・マニュファクチャリング	3	10						
モデリング・シミュレーション		12						
先端材料・デバイスの計測・解析手法	5	7						
応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)	2	8	2					
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)		15	6					
応用デバイス・システム(インフラ分野)	2	3						
総計	13	70	9					

ここでは、実現時期のほかに「実現しない」、「わからない」という選択肢も設けてある。それぞれの回答が多いトピック(上位5件)は、以下のとおりである。「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」細目の関連トピックで、「実現しない」あるいは「わからない」などの回答比率が高い傾向がみられる。

表 2-6-14 「実現しない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	実現しない (%)	技術的実現時期	細目
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.27	35.8	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
79	東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター	3.11	30.6	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	2.68	29.2	2025	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.39	26.5	2030	新しい物質・材料・機能の創成
82	水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料	3.27	21.4	2025	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

表 2-6-15 「わからない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	わからない (%)	技術的実現時期	細目
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.39	32.6	2030	新しい物質・材料・機能の創成
67	効率が 40%以上の熱電変換素子	3.35	30.3	2025	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
81	低濃度 NO _x を酸化剤として利用可能な燃料電池	2.81	30.2	2025	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
85	CO ₂ の光還元触媒による燃料化	3.35	29.4	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
8	ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ	2.96	28.9	2025	新しい物質・材料・機能の創成

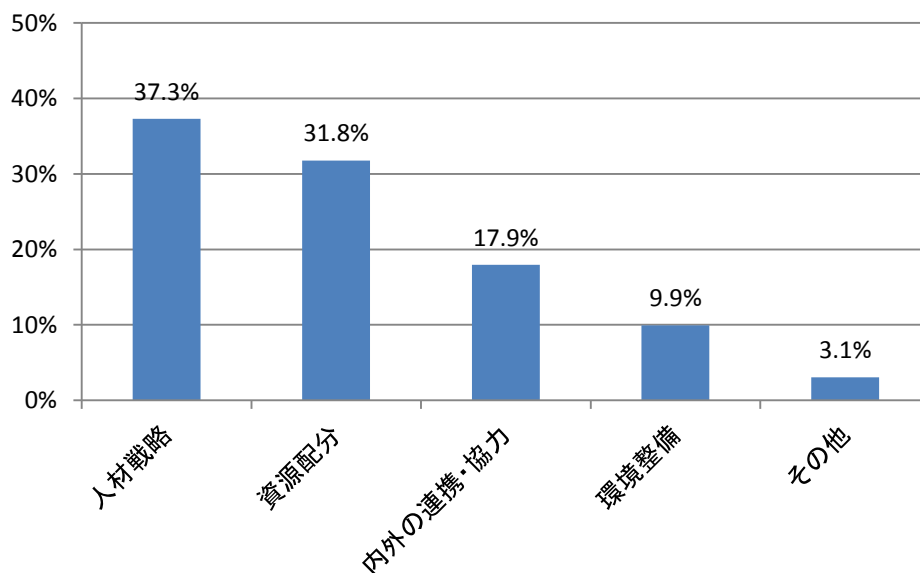
6. 4. 3. 技術的実現に向けた重点施策

(1) 分野全般の傾向

技術的実現に向けた重点施策の回答結果は以下の図の通りである。

技術的実現に向けた重点施策のうち、最も回答が多かったのは、「人材戦略」(37.3%)であり、次いで「資源配分」(31.8%)と続く。

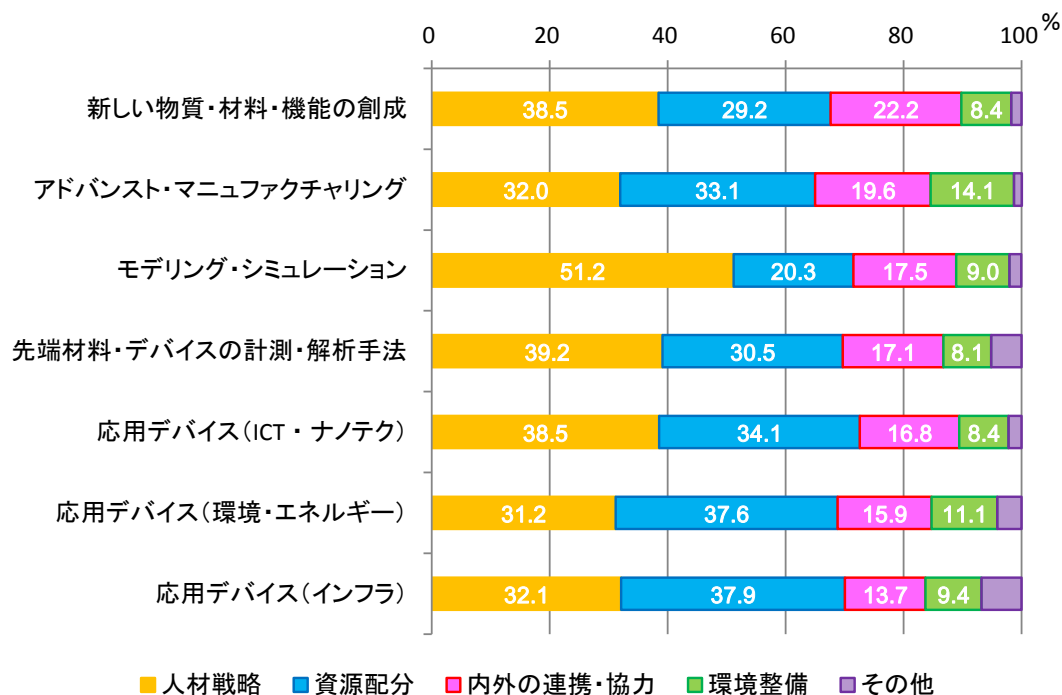
図 2-6-7 技術的実現に向けた重点施策(%)



(2) 細目別の傾向

細目別では、「新しい物質・材料・機能の創成」、「アドバンスト・マニュファクチャリング」、「モデリング・シミュレーション」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」、「応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)」等の細目では、トピックの技術的実現に向けた重要施策として、多くの回答者が「人材戦略」と回答している。また、「応用デバイス・システム」の環境・エネルギー分野やインフラ分野のトピックでは、重点施策として「資源配分」とする回答が高い。それ以外に、「アドバンスト・マニュファクチャリング」の細目のトピックでは、「環境整備」とする回答が他の細目と比べ高い。

図 2-6-8 技術的実現に向けた重点施策(細目別)(%)



①人材戦略

技術的実現に向けた重点施策として、「人材戦略」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-16 「人材戦略」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
36	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	65.2	2025	2029	モデリング・シミュレーション
35	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	59.0	2025	2030	モデリング・シミュレーション
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	56.9	2025	2030	モデリング・シミュレーション
34	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	56.2	2025	2030	モデリング・シミュレーション
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	55.9	2025	2029	モデリング・シミュレーション
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	20.8	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	17.5	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
24	少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム	16.9	2020	2025	アドバンスト・マニファクチャリング

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
20	形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)	15.6	2021	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
70	国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	4.2	2030	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)

②資源配分

技術的実現に向けた重点施策として、「資源配分」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-17 「資源配分」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	資源配分 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
24	少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム	55.4	2020	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
77	現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	53.3	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
78	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池	51.4	2026	2031	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
87	環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	50.0	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
25	ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)	49.4	2025	2030	アドバンスト・マニユファクチャリング
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	16.9	2025	2030	モデリング・シミュレーション
18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	16.7	2020	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	14.7	2025	2029	モデリング・シミュレーション
29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	13.6	2023	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
36	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	10.9	2025	2029	モデリング・シミュレーション

③内外の連携・協力

技術的実現に向けた重点施策として、「内外の連携・協力」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-18 「内外の連携・協力」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	連携・協力 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	35.4	2020	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
4	リサイクル可能な架橋性樹脂	31.9	2024	2027	新しい物質・材料・機能の創成
20	形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)	31.1	2021	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
26	木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法	26.7	2024	2028	アドバンスト・マニユファクチャリング
6	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料	26.2	2025	2030	新しい物質・材料・機能の創成
23	1m 以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工	8.2	2025	2030	アドバンスト・マニユファクチャリング
61	特定の人にしか可視化できないディスプレイ	8.1	2021	2026	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
87	環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	7.1	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	7.1	2021	2027	先端材料・デバイスの計測・解析手法
35	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	4.9	2025	2030	モデリング・シミュレーション

④環境整備

技術的実現に向けた重点施策として、「環境整備」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-19 「環境整備」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
70	国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	46.5	2030	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	25.0	2020	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	24.6	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	20.7	2025	2030	先端材料・デバイスの計測・解析手法
88	小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマonitoring 技術	20.0	2020	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
91	中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料	2.8	2024	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
87	環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	2.4	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
41	大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール	2.2	2023	2025	モデリング・シミュレーション
52	原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡	1.7	2025	2025	先端材料・デバイスの計測・解析手法
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	0.0	2021	2027	先端材料・デバイスの計測・解析手法

⑤その他

技術的実現に向けた重点施策として、「その他」とする割合の高いトピック(上位 5 件)は、以下のとおりである。

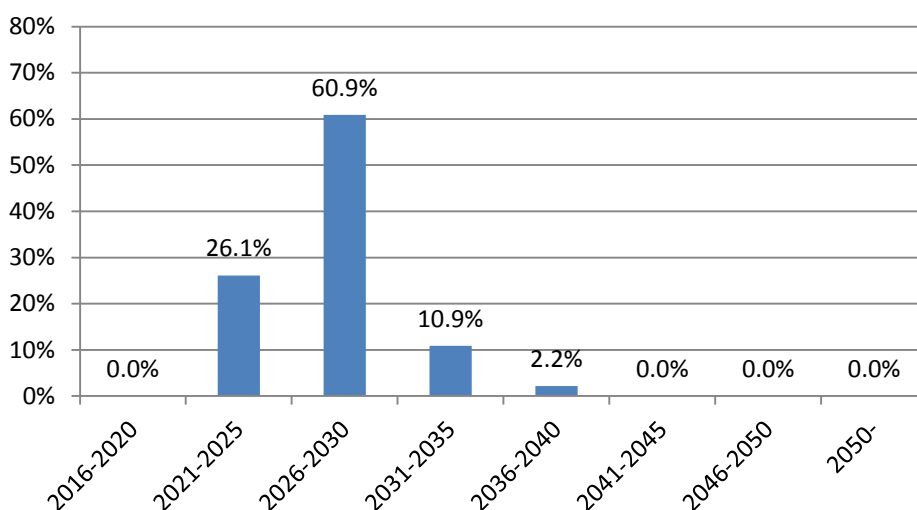
表 2-6-20 「その他」とする割合の高いトピック

番号	トピック	その他 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
92	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料	10.6	2025	2030	応用デバイス・システム (インフラ分野)
89	損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	10.5	2020	2025	応用デバイス・システム (インフラ分野)
54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	10.3	2025	2030	先端材料・デバイスの計測・解析手法
68	超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機	9.0	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
83	太陽光で水を分解できる実用的な光触媒	7.2	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)

6. 4. 4. 社会実装予測時期

社会実装予測時期の分布は下図の通りである。社会実装時期は 2026～2030 年の間に課題の実装時期のピーク(60.9%)を迎える。

図 2-6-9 社会実装時期の分布



社会実装予測時期別のトピック数は、以下のとおりである。

「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」細目のトピックは、他の細目に比べ、社会実装予測時期が遅くなっている。

表 2-6-21 細目別にみた課題の社会実装予測時期

細目	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-
新しい物質・材料・機能の創成		2	14		1			
アドバンスド・マニファクチャリング		6	6	1				
モデリング・シミュレーション		1	11					
先端材料・デバイスの計測・解析手法		9	3					
応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)		3	7	2				
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)			13	7	1			
応用デバイス・システム(インフラ分野)		3	2					
総計		24	56	10	2			

ここでは、実現時期のほかに「実装しない」、「わからない」という選択肢も設けてある。それぞれの回答が多いトピック(上位5件)は、以下のとおりである。

「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」細目の関連トピックで、「実装しない」との回答比率が高く、また、「新しい物質・材料・機能の創成」、「応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)」等の細目のトピックの中には、社会実装について「わからない」との回答比率の高いトピックが含まれる。

表 2-6-22 「実装しない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	実装しない (%)	社会実装時期	細目
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.27	37.7	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	2.68	33.8	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
79	東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター	3.11	33.3	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
81	低濃度 NOx を酸化剤として利用可能な燃料電池	2.81	30.2	2031	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.39	26.5	2040	新しい物質・材料・機能の創成

表 2-6-23 「わからない」の回答が多いトピック

番号	トピック	重要度	わからない (%)	社会実装時期	細目
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	3.39	39.4	2040	新しい物質・材料・機能の創成
8	ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ	2.96	35.5	2030	新しい物質・材料・機能の創成
74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	3.27	34	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

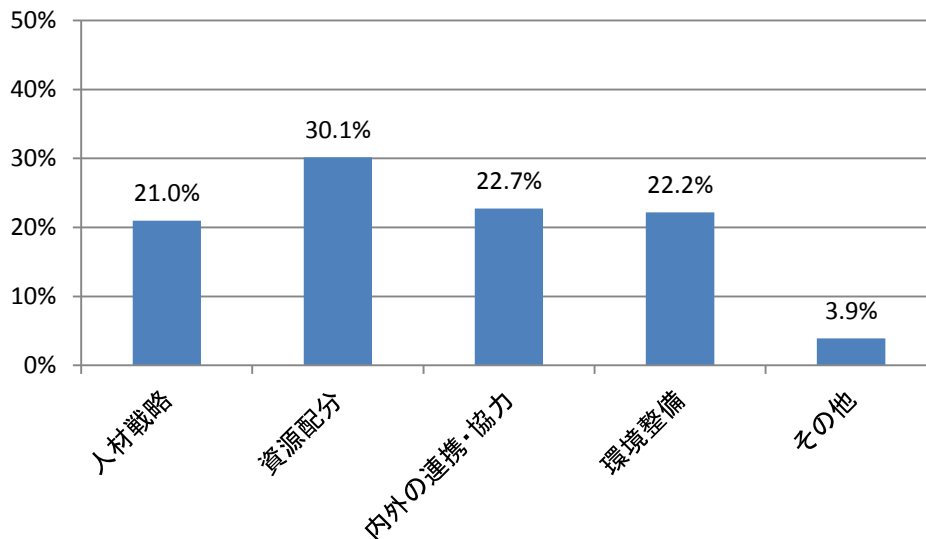
番号	トピック	重要度	わからない (%)	社会実装時期	細目
66	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な1原子/1分子が1ビットに対応するストレージ	3.32	34	2035	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)
58	生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム	2.97	33.8	2030	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)

6. 4. 5. 社会実装に向けた重点施策

(1) 分野全般の傾向

社会実装に向けた重点施策として、最も回答が多いのは「資源配分」(30.1%)であり、次いで、「内外の連携・協力」、「環境整備」等が続く。

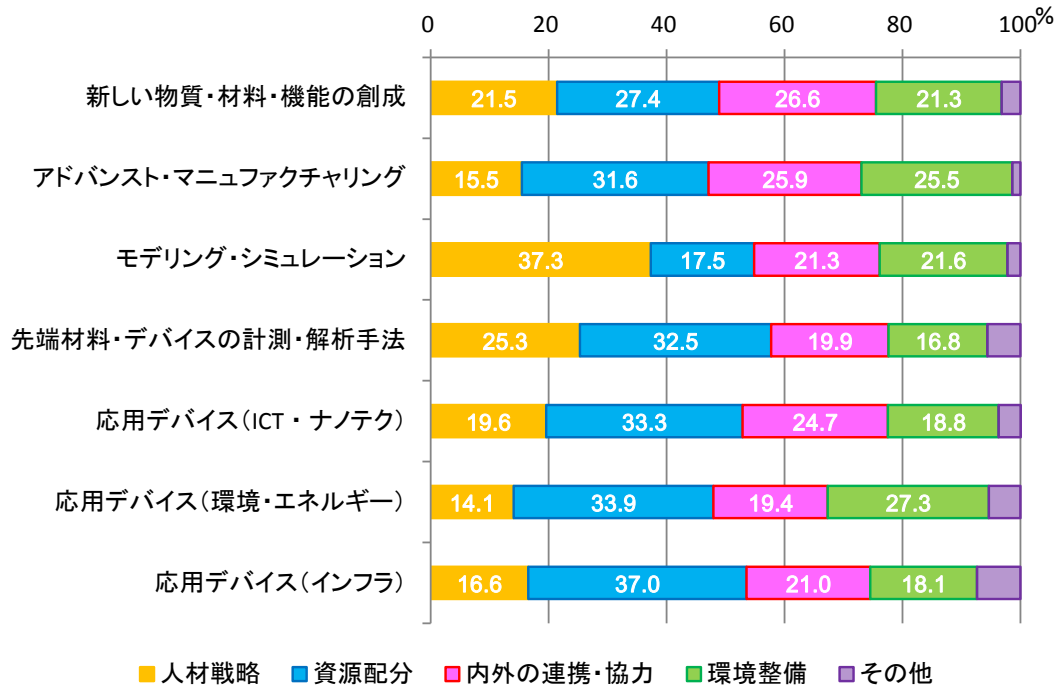
図 2-6-10 社会実装に向けた重点施策



(2) 細目別の傾向

細目別では、「アドバンスド・マニュファクチャリング」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」、「応用デバイス・システム」の環境・エネルギー分野及びインフラ分野において、トピックの社会実装に向けて、「資源配分」が必要との回答が多い。また、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」では、「環境整備」との回答が他の細目と比べ、高かった。

図 2-6-11 社会実装に向けた重点施策(細目別)(%)



①人材戦略

社会実装に向けた重点施策として、「人材戦略」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-24 「人材戦略」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
36	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	46.7	2025	2029	モデリング・シミュレーション
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	45.5	2025	2029	モデリング・シミュレーション
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	43.8	2025	2030	モデリング・シミュレーション
35	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	41.7	2025	2030	モデリング・シミュレーション
41	大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール	41.5	2023	2025	モデリング・シミュレーション
92	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料	6.5	2025	2030	応用デバイス・システム(インフラ分野)
76	出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術	5.8	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	5.3	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

番号	トピック	人材戦略 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	3.4	2025	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
26	木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法	3.3	2024	2028	アドバンスト・ マニユファクチャリング

②資源配分

社会実装に向けた重点施策として、「資源配分」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-25 「資源配分」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	資源配分 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
28	鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術	46.4	2025	2025	アドバンスト・ マニユファクチャリング
82	水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料	44.9	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
90	降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材	43.9	2025	2030	応用デバイス・システム (インフラ分野)
87	環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	43.9	2025	2030	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	42.9	2021	2027	先端材料・デバイスの計測・解析手法
39	シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術	15.5	2024	2030	モデリング・ シミュレーション
42	マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3次元造形による構造および機能性材料が開発される	14.7	2025	2028	モデリング・ シミュレーション
70	国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	13.7	2030	2035	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)
36	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	13.3	2025	2029	モデリング・ シミュレーション
31	表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術	12.5	2025	2030	モデリング・ シミュレーション

③内外の連携・協力

社会実装に向けた重点施策として、「内外の連携・協力」とする割合の高いトピック(上位 5 件)と割合の低いトピック(下位 5 件)は、以下のとおりである。

表 2-6-26 「内外の連携・協力」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	連携・協力 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
3	水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子	36.2	2025	2029	新しい物質・材料・機能の創成
2	SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体	34.9	2024	2025	新しい物質・材料・機能の創成
10	計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術	32.6	2025	2030	新しい物質・材料・機能の創成
27	体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法	31.8	2022	2028	アドバンスト・マニユファクチャリング
29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	31.6	2023	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング
88	小型軽量で1人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術	12.2	2020	2025	応用デバイス・システム(インフラ分野)
40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	12.1	2025	2029	モデリング・シミュレーション
53	超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa以上)など極限環境での、触媒、金属、溶融塩などの電子顕微鏡観察技術	11.8	2025	2029	先端材料・デバイスの計測・解析手法
43	光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術	11.1	2022	2025	先端材料・デバイスの計測・解析手法
28	鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術	10.7	2025	2025	アドバンスト・マニユファクチャリング

④環境整備

社会実装に向けた重点施策として、「環境整備」とする割合の高いトピック(上位5件)と割合の低いトピック(下位5件)は、以下のとおりである。

表 2-6-27 「環境整備」とする割合の高いトピックと低いトピック

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
70	国内の送配電網の8割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	61.6	2030	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	48.3	2025	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	45.2	2025	2035	アドバンスト・マニユファクチャリング
72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	38.6	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
4	リサイクル可能な架橋性樹脂	36.6	2024	2027	新しい物質・材料・機能の創成
32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	12.5	2025	2030	モデリング・シミュレーション

番号	トピック	環境整備 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
52	原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡	10.5	2025	2025	先端材料・デバイスの計測・解析手法
90	降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材	9.8	2025	2030	応用デバイス・システム(インフラ分野)
60	単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を 1 チップで実現する集積回路技術	8.6	2025	2030	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
50	生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	7.1	2021	2027	先端材料・デバイスの計測・解析手法

⑤その他

社会実装に向けた重点施策として、「その他」とする割合の高いトピック(上位 5 件)は、以下のとおりである。

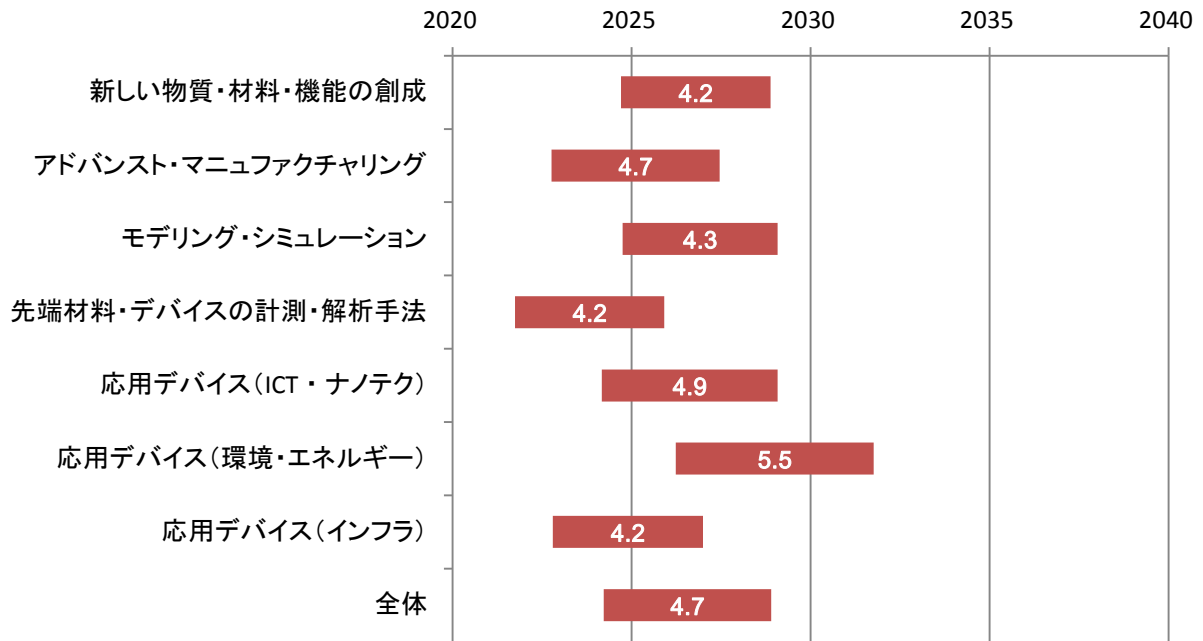
表 2-6-28 「その他」とする割合の高いトピック

番号	トピック	その他 (%)	技術的実現時期	社会実装時期	細目
89	損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	13.2	2020	2025	応用デバイス・システム(インフラ分野)
92	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料	10.9	2025	2030	応用デバイス・システム(インフラ分野)
54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	10.7	2025	2030	先端材料・デバイスの計測・解析手法
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	10.3	2025	2035	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
68	超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機	9.2	2025	2030	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

6. 4. 6. 技術的実現から社会実装までの期間

技術的実現から社会実装までの期間を細目別にみると、「応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)」が 5.5 年と最も長く、一方で、「新しい物質・材料・機能の創成」、「先端材料・デバイスの計測・解析手法」、「応用デバイス・システム(インフラ分野)」等の細目は 4.2 年と短い。

図 2-6-12 技術的実現から社会実装までの期間(年)



技術的実現から社会実装までの期間の長いトピック(上位 5 件)および期間の短いトピック(下位 5 件)は、それぞれ以下のとおりである。

表 2-6-29 技術的実現から社会実装までの期間が長いトピック及び短いトピック

番号	トピック	技術的 実現時期	社会実装 時期	期間 (年)	細目
19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	2025	2035	10	アドバンスド・マニュファクチャリング
75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	2025	2035	10	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
16	強相関電子を用いた室温超電導材料	2030	2040	10	新しい物質・材料・機能の創成
84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	2030	2040	10	応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)
66	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ	2028	2035	7	応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)
2	SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体	2024	2025	1	新しい物質・材料・機能の創成
91	中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料	2024	2025	1	応用デバイス・システム(インフラ分野)
9	実用照明の輝度で 8 時間連続使用可能な蓄光材料	2025	2026	1	新しい物質・材料・機能の創成
28	鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術	2025	2025	0	アドバンスド・マニュファクチャリング
52	原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡	2025	2025	0	先端材料・デバイスの計測・解析手法

6. 5. 未来科学技術年表

6. 5. 1. 技術的実現予測時期

年	トピック
2020	5 自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料
	18 コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産
	22 大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産
	24 少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム
	44 充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム 3 次元可視化技術
	46 超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術
	47 触媒の多チャンネル同時計測によるオペランド解析
	49 ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
	51 細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術
	55 高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI
	56 センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリンテッド・システム・オン・プラスチック)
	88 小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術
	89 損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料
	2021
21 付加製造(アディティブ・マニュファクチャリング)によるメタマテリアルのコンシューマープロダクトへの適用	
48 触媒反応素過程の実時間追跡	
50 生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	
61 特定の人にしか可視化できないディスプレイ	
2022	27 体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法
	43 光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術
	45 固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術
	57 近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース
2023	12 ミラーを用いずにレーザ光の出射方向を自由に制御可能な半導体レーザアレイ
	29 匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム
	41 大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール
2024	2 SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体
	4 リサイクル可能な架橋性樹脂
	13 数 100nm \sim μ m サイズの領域において、非接触・高精度に pN \sim nN オーダーの微小力を発生し、マイクロ/ナノマシンや生体分子等の微小物体の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
	26 木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法
	39 シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術
	58 生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム
	91 中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料
2025	1 高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料
	3 水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子
2025	6 室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料

年	トピック
	7 低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
	8 ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ
	9 実用照明の輝度で8時間連続使用可能な蓄光材料
	10 計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術
	11 nm オーダーの微細な幾何学構造により、任意の誘電率・透磁率、偏光特性を有するメタマテリアル材料を用いた光学素子
	14 光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体
	15 ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料
	17 部品の超長寿命化(現在の2倍以上)のための表面改質・トライボロジー
	19 バイオプリンティングによる再生臓器の製造
	23 1 μ m以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工
	25 ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンゲストROOMオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)
	28 鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術
	30 直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術
	31 表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術
	32 電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術
	33 合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術
	34 構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術
	35 材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術
	36 触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術
	37 電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
	38 量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム
	40 ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術
	42 マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3次元造形による構造および機能性材料が開発される
	52 原子分解能を有する100ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡
	53 超高温(800℃以上)かつ高压反応(3kPa以上)など極限環境での、触媒、金属、熔融塩などの電子顕微鏡観察技術
	54 高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術
	59 単層グラフェンデバイス等の2次元系半導体のデバイス化プロセスと集積化技術
	60 単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を1チップで実現する集積回路技術
	62 デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術
	63 現在のDRAMに比べ、100倍のメモリバンド幅を持ち、100分の1の消費電力で動作するメモリ
	65 量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス
	67 効率が40%以上の熱電変換素子
	68 超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機
2025	69 変換効率50%を超える太陽電池
	71 40~100℃で発電可能な低温温水発電システム

年	トピック
	72 高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム
	73 CO ₂ を利用してプラスチックを創成する技術
	75 遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術
	76 出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術
	77 現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上, 出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池
	80 希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池
	81 低濃度 NO _x を酸化剤として利用可能な燃料電池
	82 水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料
	83 太陽光で水を分解できる実用的な光触媒
	86 グラフェンやカーボンナノチューブを用いた、金属を用いない低環境負荷デバイス
	87 環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術
	90 降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材
	92 超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料
2026	78 マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池
2028	66 大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ
2030	16 強相関電子を用いた室温超電導材料
	64 単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子
	70 国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる
	74 人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置
	79 東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター
	84 植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術
	85 CO ₂ の光還元触媒による燃料化

6. 5. 2. 社会実装予測時期

年	トピック
2025	2 SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体
	5 自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料
	18 コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産
	20 形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)
	22 大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産
	24 少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム
	28 鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術
	29 匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム
	41 大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール
	44 充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム 3 次元可視化技術
	43 光エネルギー変換材料におけるキャリアー移動の時空間分解解析技術
	45 固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術
	46 超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術
	47 触媒の多チャンネル同時計測によるオペランド解析
	48 触媒反応素過程の実時間追跡
	49 ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
	51 細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術
	52 原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡
	55 高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI
	56 センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリンテッド・システム・オン・プラスチック)
	57 近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース
88 小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマonitoring 技術	
89 損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	
91 中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料	
2026	9 実用照明の輝度で 8 時間連続使用可能な蓄光材料
	21 付加製造(アディティブ・マニュファクチャリング)によるメタマテリアルのコンシューマープロダクトへの適用
	61 特定の人にしか可視化できないディスプレイ
2027	1 高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料
	4 リサイクル可能な架橋性樹脂
	12 ミラーを用いずにレーザー光の出射方向を自由に制御可能な半導体レーザーアレイ
	50 生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション
2028	7 低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
	13 数 100nm~ μ m サイズの領域において、非接触・高精度に pN~nN オーダーの微小力を発生し、マイクロ/ナノマシンや生体分子等の微小物体の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
	26 木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法
	27 体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法
	42 マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3 次元造形による構造および機能性材料が開発される
2028	63 現在の DRAM に比べ、100 倍のメモリバンド幅を持ち、100 分の 1 の消費電力で動作するメモリ

年	トピック
2029	3 水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子
	11 nm オーダーの微細な幾何学構造により、任意の誘電率・透磁率、偏光特性を有するメタマテリアル材料を用いた光学素子
	33 合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術
	36 触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術
	38 量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム
	40 ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術
	53 超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa以上)など極限環境での、触媒、金属、熔融塩などの電子顕微鏡観察技術
2030	6 室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料
	8 ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ
	10 計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術
	14 光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体
	15 ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料
	17 部品の超長寿命化(現在の2倍以上)のための表面改質・トライボロジー
	23 1μm以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工
	25 ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オングストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)
	30 直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術
	31 表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術
	32 電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術
	34 構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術
	35 材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術
	37 電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
	39 シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術
	54 高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術
	58 生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム
	59 単層グラフェンデバイス等の2次元系半導体のデバイス化プロセスと集積化技術
	60 単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を1チップで実現する集積回路技術
	62 デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術
	65 量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス
	67 効率が40%以上の熱電変換素子
	68 超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機
69 変換効率50%を超える太陽電池	
71 40~100℃で発電可能な低温温水発電システム	
72 高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	
2030	73 CO ₂ を利用してプラスチックを創成する技術
	76 出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術

年	トピック
	77 現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上, 出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池
	80 希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池
	82 水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料
	83 太陽光で水を分解できる実用的な光触媒
	86 グラフェンやカーボンナノチューブを用いた、金属を用いない低環境負荷デバイス
	87 環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術
	90 降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材
	92 超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料
2031	78 マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池
	81 低濃度 NO _x を酸化剤として利用可能な燃料電池
2035	19 バイオプリンティングによる再生臓器の製造
	64 単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子
	66 大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ
	70 国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる
	74 人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置
	75 遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術
	79 東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター
	85 CO ₂ の光還元触媒による燃料化
2040	16 強相関電子を用いた室温超電導材料
	84 植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術

6. 6. 細目別重要トピックにおける要素技術

各トピックの設問に加え、2050年までを展望し、我が国の取組みとして、重要性の高いトピックを構成するための要素技術についての意見は、下記のとおりである(記載内容は、各回答者から寄せられた意見を掲載したものの)。

<p>1 高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料</p> <p>○無機材料の原料として必要となる微細粉末の作製技術、○利用想定温度よりも高温での超塑性加工が可能な高温加工技術、○最終加工品が低温度領域で脆いと実用化が困難なため、高韌性を持たせる組織制御技術、○要求特性を満たすような材料組成の設計技術、○作成された材料の迅速な信頼性評価技術、○現行材料を製造するのと同程度の低コスト化、○継続的な予算(決して短期集中ではなく長期的な支援)、○人材の確保、○材料開発、○加工技術、○高速超塑性特性を有する超急冷金属材料の大型・低コスト量産技術の開発、○高速超塑性特性を有する超急冷金属材料の合金設計と組織設計、○超急冷金属材料の高速超塑性特性を利用した塑性加工技術の開発</p>
<p>2 SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体</p> <p>○新しい材料合成プロセスの開発、○新材料探索、○デバイス設計技術、○量産技術、○高熱伝導性材料と絶縁膜のハイブリッド化および積層技術、○顧客ニーズに沿った性能のカスタマイズ化、○材料設計、○材料合成(製造)、○炭素系材料の化学合成技術、○炭素系材料の表面反応制御技術、○炭素系材料のデバイス化技術、○高品質・大口径ダイヤモンド半導体結晶合成技術、○ダイヤモンド半導体ドーピング・キャリア制御技術、○実用に耐えうる結晶(素材)の製造技術、○デバイス化に必要なプロセス技術(エッチング、電極形成、等)、○材料を大量生産する合成技術、○材料合成プロセスの特性と、合成された材料・素材特性と、製作された半導体の特性との系統的関係の解明、○材料探索、○量産化、○ダイヤモンドウエハの製造技術、○ダイヤモンド中の欠陥密度の低減、○結晶作成技術、○欠陥抑制、評価技術、○不純物導入技術、ドーピング温度の低温化、結晶性をそこなわない高濃度ドーピング技術、○基本デバイス構造でのテスト動作実証、○官民連携によるエレクトロニクス開発、○ワイドギャップ半導体の物性物理の検証、○材料の選択が重要、新しい材料に注目、○SiC/GaN が市場を作ることが先決、○結晶成長技術、○結晶評価技術(X線、透過電子顕微鏡など)、○ダイヤモンド成長技術、○不純物ドーピング制御技術、○表面・界面制御技術、○新材料、例えばダイヤモンド、○高品質、大面積ダイヤモンド結晶の供給、○ダイヤモンドのウエハ加工技術の構築、○ダイヤモンドデバイス構造の設計と動作確認、○結晶成長、○混晶化、○第一原理計算</p>
<p>3 水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子</p> <p>○高発電効率熱電変換材料、○環境低負荷熱電変換材料、○ナノ構造制御・製造プロセスによる新規熱電変換材料(超格子・量子構造等)、○熱電半導体の高性能化、○高効率熱電材料、○デバイス化技術、○新物質探索、○デバイス化技術、○素子内での熱伝導と電子伝導の役割分担化、○低い温度差での発電効率の向上、○新規物質の探索、○高度微構造制御のための作製プロセス、○低温でZT2を超える超高性能な熱発電素子、○BeTeを超える熱電材料の開発、○ナノギャップを利用した高効率熱電子発電技術の開発、○ナノレベルの有機無機ハイブリッド構造を精密に制御する技術</p>
<p>4 リサイクル可能な架橋性樹脂</p> <p>○制御/リビングラジカル重合、○樹脂材料を低コストで生産するための技術、○リサイクルのための装置や設備の開発、○耐久性の評価</p>
<p>5 自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料</p> <p>○有機無機の相互作用界面の分子構造の解明、○無機物質を制御する新たな有機分子の発見、○錯体形成過程の動的解析、○錯体の分析定量技術、○ナノ構造作製技術、○ナノ構造評価技術、○高分子材料の機能や構造のデザイン技術、○ハイブリッド材料の効率の良い評価技術、○分野融合による技術開発、○無機材料のナノサイズ化および高機能性付与、○異種界面接合技術開発、○自己組織化により得られる構造のナノサイズ化・精緻化、○自己組織化、自己階層化の制御、○エキゾチック自己組織化材料の構築、○単分散性高分子微粒子、複合高分子微粒子の利用、○精密合成、○ナノ粒子の表面改質・分散化、○分子設計技術、化学合成技術、○大面積化できる成膜技術、○対象とする素材の選択、○応用分野の明確化、○原子スケールでの界面制御が重要、○分子技術を駆使した生体模倣デバイスの創出、○生物模倣(バイオミメティクス)、○目的とする高分子を合成する技術、○高分子と無機の複合化技術とそのための表面改質技術、○構造安定化技術、耐環境(温度、湿度など)性能の向上技術、○自己組織化過程のその場観察技術の開発、○自己組織体およびハイブリッド材料の構造および機能解析技術の開発、○材料の物理化学的測定技術の高度化、○材料組織化のシミュレーション技術の発達、○無機材料合成、○高分子・無機材料間を接着する”化学”、○表面分析技術、○自己組織化プロセスの開発、○ハイブリッド化手法の多様化、○工業化するための生産技術、○階層構造と機能の相関、○材料のドメイン内だけでなくドメイン間も考慮した材料設計、○メゾスケール構造体の自己組織化、○用途に適した高分子素材と無機素材の組み合わせ、○実用に耐える機械的特性を持つ構造を実現できるハイブリッド化プロセス、○コストパフォーマンスの高いハイブリッド化プロセス、○高分子による無機物質の生成の制御技術、○ハイブリッド材料の特性を予測する技術、○界面解析、○分子シミュレーション、○精密高分子合成</p>

6 室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料
○高分子材料の固体物理的視点による評価、○高分子材料の階層構造の精密制御、○低分子で設計方針の確立、○分子・結晶構造と伝導物性の相関の調査、○設計方針を高分子へ適用、○電子構造、○分子構造、○ナノコンポジット技術、○新規重合法の精密重合法の開発、○材料コストの削減、○耐久性向上のための斬新なアイデア
7 低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
○安価で空気下で長寿命な有機半導体素子の開発、○高移動度を維持したまま、溶液プロセスでの有機半導体素子をデバイスへ組み込む技術、○より導電性の高いフレキシブルで透明な電極の開発、○電極と半導体界面における分子レベルのエネルギー状態の把握、○有機半導体材料、○塗布技術、○有機分子の配列制御に関する革新的手法、○有機分子の電気伝導性に関する精密な予測技術、○有機半導体材料の合成、○有機半導体材料の内部構造制御、○塗布プロセスによる微細構造の制御、○機能性有機分子の配列制御技術、○素子およびデバイスの簡便な性能評価法、○高移動度の有機半導体材料の創製、○半導体デバイスとして利用するための効果的なドーピング技術の開発、○有機半導体を製膜するための技術、○有機半導体の長寿命化・高耐久性技術、○有機半導体の成膜技術、○有機半導体の性能向上技術、○有機半導体のプラズマプロセス技術、○鍵となる共役系高分子の開発、○ポリマー溶液をインクにできるプリンタと精密印刷技術等、素子作成のための装置開発、○耐久性の向上(有機材料全般)、○封止技術、○レアメタルフリー・リサイクル、○高性能有機半導体材料合成、○印刷法による製造技術、○金属ナノ粒子インク製造技術、○構造から物性を制御する材料設計技術(理論)、○制御性が高くかつシンプルな合成技術、○各種デバイスの封止・実装技術、○計算化学・計算物理による分子設計と構造設計、○有機材料合成と薄膜形成技術、○異種界面物性評価と界面作製プロセス制御技術、○長寿命化、○大きい質の高いグラフェンの調整技術の確立、○デバイス製造プロセス、○高品質有機結晶成長、○単結晶シリコンレベルの移動度を持つ有機物・高分子の開発、○全く違う発想によるトランジスタ動作原理、○分子界面の超精密制御
8 ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ
○界面準位を形成しない高移動度2次元物質の作製と物性制御技術の確立、○高移動度2次元物質の大面积形成技術の確立、○ナノテクノロジー(微細加工技術)の更なる普及、○物理学者と化学者の連携、○若手研究者の養成、○研究プロジェクトの協力体制、○研究予算(金額より長期に安定して供給されること)、○人的資源、○高品質界面の作成技術、○高品質界面上の成膜技術
9 実用照明の輝度で8時間連続使用可能な蓄光材料
《特になし》
10 計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術
○原子マニピュレーション技術、○大規模計算技術、○所望の結晶構造の物質を創成するプロセス技術、○計算化学者と実験化学者の連携が容易になるようなプラットフォーム作り、○実験化学者が容易に扱えるプログラムインターフェースの開発、○エネルギーバンド構造から逆算した材料構造・組成の計算技術、○結晶成長技術、○原子レベルでの構造解析技術、○材料製造プロセス、○第一原理計算と材料特性決定要因のパラメータの抽出
11 nm オーダーの微細な幾何学構造により、任意の誘電率・透磁率、偏光特性を有するメタマテリアル材料を用いた光学素子
○ボトムアップ、トップダウンの両微細加工技術、○大面积かつ nm オーダーの微細加工技術、○高精度な成膜、加工技術、○微細プロセス技術、○電磁波シミュレーション技術、○シングルナノオーダーの構造を自己組織的に大量に作る作製技術、○作製した構造体を配列するための配列技術、○光学素子を薄膜化するための積層技術、○微細加工技術、○微細材料評価技術、○極短紫外線光学系の開発、○マルチスケール解析技術、○最適設計技術、○可視光領域で応答可能なナノメートルスケールの三次元構造体の作製方法。大量に作製可能な手法のブレークスルーが必要、○シミュレーション技術、○製造技術、○微視的幾何構造の熱的不安定性をどのように克服できるかが最大の問題であり、それは材料素子の精度、限界サイズ、応答速度など様々な因子に関わる、○結晶工学、○不斉合成、○大面积に渡る正確な微細加工技術、○超微細加工を可能にする高解像、低コスト、高スループットな新規微細加工技術、○メタマテリアルとして利用可能な、金属、半導体などの基礎研究と素子・デバイスへの展開、○電磁波設計、○学問的背景、○技術的課題
12 ミラーを用いずにレーザー光の出射方向を自由に制御可能な半導体レーザーアレイ
○フォトニック結晶を使ったレーザー研究の進展、○メタサーフェスを使ったデバイスの進展、○位相を制御可能な半導体レーザー光源
13 数 100nm～ μ m サイズの領域において、非接触・高精度に pN～nN オーダーの微小力を発生し、マイクロ/ナノマシンや生体分子等の微小物体の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
○光と物質の相互作用の解明と理論を基にした制御、○微小物体の高精度製造技術、○微小力の発生と微小空間での制御、○1 分子計測技術、○持続的に動作する分子系の構築、○ナノテクノロジー、○計測技術、○微細な検出機構(位置決め技術)、○光によって運動を制御するアクチュエーターの開発が必要、応答時間や発生力について定量的な目標設定を持って研究を進める必要、○光応答性材料開発、○MEMS技術、○長波長のレーザー焦点の精密な位置制御。多焦点の設定が可能な技術、○マイクロサイズ空間内における動画像取得とその処理の技術、○タグ化技術

14 光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体
○微細構造体の作成方法の確立、○閉じ込め特性の微細構造体のサイズ依存性及び材料種依存性、○材料選定、○材料のスペクトロデータベース（赤外光から紫外光まで）、○高性能なナノ加工プロセス、○大規模な電磁界シミュレーションの実現
15 ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料
○非共有結合、および、動的共有結合の強度を向上させるために、協同性(あるいは多価効果)を詳細に理解し、厳密な分子設計を行う、○新たな刺激応答性分子を開発する、○新しい修復機能の開発／解明、○修復機能付加によるオリジナル機能低下の抑制、○金属や無機材料を主体とした材料科学技術と、それらを解析するための X 線や電子顕微鏡など構造解析技術の向上、○バイオミメティック(生物模倣)、○劣化機構を解明してどのようなコンセプトの材料が必要かを設計する
16 強相関電子を用いた室温超電導材料
○高度な合成・製膜技術、○計算科学による予測手段の確立、○安価な製造方法の確立、○強相関系超伝導体の理論、○結晶配向性精密制御成膜技術、○理論解析、○構造解析、○しっかりとした指針に基づいた物質開発、○新しい構造設計に基づく強相関材料開発(大胆な発想が必要)、○超伝導理論の深化、○強相関理論の深化による、材料設計技術の開発、○強相関をベースにした戦略からの脱却、○材料合成技術の革新、○若手自在の確保、○新しい物質を探索する研究を行う、十分な人材が必要、○化学ドープや欠陥の構造などに関して詳細に実測し制御する技術、○光電子分光その他による電子状態の解明、○超薄膜積層体構造の界面平滑性、○量子化学計算による材料選定ならびにメカニズムの開発、○合成技術の向上による高品質超伝導材料の作製、○温度制御環境下における電気伝導測定装置・技術の開発、○複合化技術と複合材料、○材料の機能を精密に設計するための技術(スーパーコンピュータによる理論予測など)、○異分野交流による新しい材料設計に関する概念、○メカニズムの解明、○様々のアイデア、結果を失わずこれからも維持し続ける社会的投資、○強相関電子系における超伝導発現メカニズムの解明、○光励起超伝導の発見、○光励起超伝導の機構解明、○光励起超伝導物質の多様化、○独自でオリジナリティーがある重要な基礎科学的発見を重視する文化、○揺籃期または、発芽前の技術、人材を見抜くシステムの開発、○継続的な基礎研究、○磁束ピンニング制御技術(室温で超伝導になっても実用的な電流が流せなければ使いようが無い)、○超伝導線材技術(コイル、ケーブル化するための要素技術)、○第一原理計算、○結晶、材料創生技術、○各種「場」の中での材料創生
17 部品の超長寿命化(現在の2倍以上)のための表面改質・トライボロジー
○表面開始重合、○コーティング技術、○粘性を制御可能な潤滑剤、○表面状態の影響を高精度に計算可能なシミュレーションシステム、○上記計算を高速で行うためのコンピューティング技術、○表面改質のための高精度な加工技術、○表面処理技術、コーティング、○超精密分子配列制御技術、○分子レベルでの表面分析技術、○新しい表面改質技術、○レーザを利用した熱処理技術、○PVD、CVD 等の蒸着技術、○溶射技術、○試験方法の確立、○長時間試験、○表面改質の定量性確保、○表面観察・故障解析、○ショットピーニングによる材料表面の結晶粒微細化および高硬度化、○遠心鑄造技術を応用した固体潤滑材料の表面分散技術、○浸炭あるいは表面窒化技術による材料表面の高強度化、○DLC コーティング、○プラズマ成膜技術、○精密かつ安価な表面改質技術、○表面創製・改質のための製造技術とそのメカニズム解明、○創製された表面の物理的・化学的評価技術とそのメカニズム解明、○川下から川上までを含んだ製造業連合と大学等の学と官の連合組織、○表面テクスチャの付与技術、○表面化学状態の分析技術、○表面改質、○トライボロジー、○超潤滑性を示す界面の創成技術、○被膜の密着強度の向上技術
18 コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産
○3D プリンタ等のラピッドプロトタイプ装置の高精度化、汎用化、
19 バイオプリンティングによる再生臓器の製造
○機能の確認技術、○安全性を迅速に確認する技術、○バイオプリンティングにおいて、外部刺激などにより細胞増殖速度を向上させることによって臓器製造速度の向上を図ること、○生きた細胞の 3 次元インクジェットプリンティング技術の開発、○幹細胞からの細胞分化技術の発展と低コスト化
20 形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)
○高精度・高スループットの 3 次元造形技術、○構造物やデバイス等の内部形状を含めた 3 次元構造のデータ作成技術、○デジタルファブリケーションシステム、○強度等において十分な特性をもった材料と形状を付与するためのプロセス技術の開発、○カスタマイゼーションを実現するソフトウェア技術の開発、○ロボット技術(形状が異なる部品をパーツ交換無くハンドリングできる機構、制御システムの開発)
21 付加製造(アディティブ・マニュファクチャリング)によるメタマテリアルのコンシューマープロダクトへの適用
○多くの実験とそれを元にした製作ソフト、○被加工材(金属粉体)の熔融結合形態制御、○被加工材(金属粉体)の急速加熱組織制御

22 大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産
○単純な構造をもちメンテナンスが容易な精密運動機構、○運動方向の変更が容易で少ない部品、共有化した部品からなる精密運動機構、○簡便なセンシング技術と複数のセンシング技術を統合して扱い易い位置・状態情報を提供するシステム、○3Dプリンティング技術、○レーザ加工技術、○ベアリングやモータなどの機械要素技術、○機械の制御技術、○機械の高度利用に関するソフトウェア技術
23 1 μ m以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工
○モニタリング・計測制御技術、○プレス技術、○積層造形
24 少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム
○様々なプロセスが可能な小型装置開発技術、○多様な材料の小口径ウエハ生産技術、○工場として成立させることに必要なファクトリー技術、○真空装置の低価格化、もしくは真空を使わないプロセス技術、○ランニングコストの低減、○少量多品種向けの生産に適したフットプリントやサイズを有する微細加工装置群の開発、○局所的な空間で半導体デバイスの製造に適したクリーン環境を実現する技術、○大規模生産のシステムと少量多品種向けのシステムを連結させるためのウエハ輸送機器等の開発、○局所クリーン化技術、クリーンルームを不要とすることで巨大設備を不要とする、人が運ぶとウエハが汚染させるので精密な機械システムの開発が必要、○小型化が困難な CVD、イオン注入、電子ビーム露光等のプロセス装置を超小型化するための総合的な要素技術開発が必要、○設計コストを下げ、かつ設計資産を広く共有するためのシンプル設計システムの開発と、設計士のネットワーク共有技術開発、および設計データをオンデマンドで製造へ直結する技術開発、○LSI の設計技術、○微細加工技術を含む半導体のプロセス技術、○光リソグラフィー技術、○電子線リソグラフィー技術、○局所空間内部の発熱・排熱を制御する技術
25 ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)
○種々の表面加工現象の解明、○ロバスト性の高いセンサ、○加工技術の確立、○in-situ モニタリング技術の確立、○高出力の長短パルスレーザ製造技術、○超高精度な電子ビーム制御法、○大電流ビームの集束技術(レンズ)、○揺らぎを抑制したプラズマプロセス、○人材育成、○資源配分、○赤外分光によるその場計測技術のさらなる開発、○ビームの精密制御および精密計測技術、○X線制御技術、○ナノ加工計測、○超精密光学素子、○多波長コンパクトレーザ、○メタマテリアルなどを用いた、レーザビームの高度な集光技術、○被加工物質に生じる、内部構造の過渡的変化を計測する技術、○ピコ秒程度で行われる物質解離過程を柔軟に制御する技術、○高エネルギー粒子ビームエンジニアリング、○単一フォトンデバイス
26 木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法
○新規機能微生物探索、○セルロースの低エネルギー単離技術
27 体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法
○閉鎖空間製作技術(材質、表面処理、平面度)、○注入技術(困難度が高く、既存技術では出来そうにない)、○インジェクション装置の高機能化と高精度化、○エレクトロポレーションなど電気パルス制御の高精度化、○ナノスケールオーダーの微細加工技術、○各分野の連携と資金注入が必要
28 鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術
○樹脂材料の改善、○3Dプリンタによる金属の加工技術の改善、○3Dプリンタの吐出ノズル形状・機構および吐出用ポンプとバルブ技術、○吐出位置(座標)・吐出量を司るべく協同開発されるCAMおよびCAE技術、○造形される立体形状個体の素材開発(強化複合材, 低融点合金, 通電材, 導光・集光材など)、○凝固解析技術、○浮遊鋳造技術、○材料組織解析技術
29 匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム
○ウェアラブルカメラ、○ウェアラブル触覚センサ、○生体工学、○センサ技術、○技術のモデル化をどのように進めるか、○モデルの流出を防ぐガイドラインの構築、○正確な計測装置と方法の開発、○正確なモデリングの構築、○暗黙知をデータ化するための技術(コンピュータ言語など)、○技能、経験の内容を科学的に理解するための技術(コンピュータシミュレーションなど)、○最適化や逆問題に関するデータ解析手法の開発、○動作記録及び解析システム、○人間の機能表現、○意思決定のアルゴリズム、○評価のアルゴリズム、○ビッグデータ処理、○センサ(センシング)、○高齢者の活用を促進するための社会体制の構築および高齢者の報酬制度の見直し、○技能伝承を効率的に行うためのマネジメント手法の構築およびIT技術を利用したハード対策、○高齢者を活用するための会社組織の改良、○柔軟な発想、○計測技術○ビッグデータ技術、○シミュレーション・モデリング技術、○暗黙知の表現技術
30 直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術
○既成概念に囚われないアイデア、○装置設計、○一連の新しい製造プロセス、○触媒、自己触媒作用、○反応活性の局所集中、○電子スピン軌道を考慮した電荷移動過程の理解、○バイオミメティック工学の展開、○還元剤、○バイオマス資源、○再生エネルギー、○炭材内装塊成鉄の開発

<p>31 表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術</p>
<p>○多様な実験データのビッグデータ化、○従来の細分化領域にこだわらない統合的材料科学の構築、○Particle in Cell simulation (PIC)、○Finite-difference time-domain method (FDTD)、○Molecular Dynamics method (MD)、○表面分析・評価技術、○高真空技術、○高精度、高速なシミュレーション技術の開発、○コンピュータ利用環境の整備、○化学反応の状態をミクロなレベルで解析できる計測技術、○原子、分子レベルでの各物理的因子との相互作用の解明とモデリング、○ミクロ、マクロを統合して実用的な時間内でシミュレーションできるソフトウェア・ハードウェア(超高速コンピュータ)技術、○摩擦など、エネルギーの散逸機構の解明、あるいはそのモデル化、○表面の電場解析に適用可能な力学作用の影響を考慮した電気化学モデルの開発、○表面の電気化学特性を評価できるマイクロ電場計測技術の開発、○境界要素法(電場)や有限要素法(応力場)や有限体積法(流体場)を複合して使用する計算手法の開発、○それぞれの物理現象をシミュレートする要素技術間を融合するための方法の開発、○大規模な計算を処理できる計算システム、○マルチフィジックス現象を解明可能な高性能アプリケーションソフトウェアの開発、○マルチフィジックスシミュレーションを実現するための 100 万コア超のプロセッサによる超並列化技術、○100 万コアを超える超並列システムにおける大量のプロセッサ間やノード間を高信頼・高速につなぐ技術、○モデル構築のための物性値の高精度計測、○多様な物理的因子によって発生する現象の計測・検証技術およびそれを可能にするために多数の専門家の連携体制</p>
<p>32 電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術</p>
<p>○高速演算速度コンピュータ、○計算速度の向上、○シミュレーション技術、○特性の測定技術、○微細スケールのモデルのエッセンスを抽象化・縮約した上で、上位スケールのモデルへ情報を提供するマクロモデル化技術、○マクロモデルの妥当性を第 1 原理的なシミュレーションによって検証するための High Performance Computation 環境の低コストでの一般提供、○量子化学計算技術の発展、○スーパーコンピューティング技術ならびに計算装置の開発、○ナノスケールでの精密な直接観察技術、○正しいモデリング技術、○実際の実験データの蓄積・解析、○理論的正しさの裏づけ</p>
<p>33 合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術</p>
<p>○複合的な素材や機能を持つデバイスを組み合わせた際に生じる実データ(閉鎖空間における熱や流速など)を容易かつ無侵襲に計測できる技術、○定性シミュレーション、○要求(機能)の定式化、○多大な合成プロセスをどのように計算過程に示すか、○無数の材料と合成プロセスの把握・データベース化、○量子力学計算の高速化、○古典論ベースでの原子間相互作用ポテンシャルモデルの精度の向上、○マルチスケール計算における時空間スケールギャップの解消の理論的手法、○熱的・機械的加工にともなう材料挙動を結晶組織レベルで評価できる手法、○数値シミュレーション技術、○物理現象に対する正確な理解を得るための実験技術、○電子論に基づく物性、化学反応性予測技術、○レーザ、力場、熱の効果を取り込んだ、非平衡ダイナミクスを扱う計算手法、○材料の形状予測を可能とする、マクロモデルを、ミクロな計算から構築する方法論</p>
<p>34 構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術</p>
<p>○数理モデリング、○逆問題の解法、○最適化問題の解法、○材料開発者と計算技術者の連携、○従来技術にとらわれない発想を持った人材の育成とその環境提供、○大規模演算処理装置と 3 次元構造構築可視化装置の普及拡大、○計算機の計算速度ならびに扱えるメモリの大容量化、メモリと CPU のデータ転送速度の高速化(それぞれ 1 桁以上の向上)、○複雑な微細構造を安価に作製可能な製造技術、例えばサブミクロン程度の精度を持ち金属かセラミック材料も作ることができる 3D プリンタのようなもの、あるいは自己組織化の制御技術による構造作製法開発、○物性発現に必要な要件の解明、データベース化、○第一原理計算の高精度化・高速化、○経験的データによらない純粋な第一原理計算手法の開発、○マルチスケール解析技術との融合、○様々な分野との連携、資金投入、環境整備が必要、○理論</p>
<p>35 材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術</p>
<p>○第一原理計算の基礎理論および計算方法の開発、○物性物理と電子工学に関する広範な基礎知識、○演算速度向上技術、○可視化技術</p>
<p>36 触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術</p>
<p>○OLDA, GGA を超えた汎関数、○大規模高速計算機</p>

37 電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
○計算速度が速く大規模なモデルを扱えるコンピュータ、○コンピュータが経済的な価格で広く使えること、○簡便かつ高精度な量子力学を考慮した原子モデリングの計算理論および技術の確立、○マイクロとメゾスケールの物性を直接的・定量的に結び付けることの出来る統計力学的理論、○全員が共有できるソフトウェアのフレームワークの構築、○マルチスケール物理シミュレーション手法、○マルチスケール塑性論の確立、○有限要素法、○3次元材料組織評価法、○情報処理技術、○個々のスケールで主要な計算技術:第一原理電子状態計算法(特にDFTベース)、分子動力学(MD)法、フェーズフィールド(Phase Field)法、均質化法、有限要素法(FEM)、○材料組織構造の分析法:CT スキャン・TEM・各種分光法、○企業の使用に耐えるソフトウェア・ユーザーインターフェイス:アプリケーション開発技術、Java 技術、データベース技術、○分子動力学計算と連続体力学計算を繋ぐ方法論、○計算機のさらなる高性能化、○ユーザーインターフェイス技術
38 量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム
○スケーラブルな数値計算技術、○非断熱過程を含む新たな計算機シミュレーションの手法、○量子化学計算理論、○量子化学計算アルゴリズム、○シミュレーションソフトウェア、○ガウシアンに変わるソフトの開発、○スーパーコンピュータなどの計算機資源、○コンピュータ言語のプログラミングができる研究者、○量子化学計算ソフトの開発、○計算機のパフォーマンス向上
39 シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術
○局所的物性の測定技術、測定値を集めたデータベース構築、○局所物性評価技術、○大型部材非破壊検査技術
40 バイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術
《特になし》
41 大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール
○現在、部分的にはあるが物性のデータベース化が進行、より多角的かつ正確なデータベース化が重要
42 マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3次元造形による構造および機能性材料が開発される
○3次元微細加工技術、○非破壊機能検査技術、○情報処理技術、○統計解析技術、○データベース構築手法の確立、○ビッグデータ解析、○構造物性相関のアルゴリズム、○実装データとシミュレーションデータの融合、○3次元造形、○機能性材料
43 光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術
○超高速量子ビーム発生制御技術、○高解像イメージング技術、○キャリアの時空間分解測定の高分解化、○光源(レーザ等)、○検出器、○分光器、○分光測定、○新規キャリア検出法、○時間分解測定を可能にするパルスレーザ技術、○空間分解解析を可能にするSTM(Scanning Tunneling Microscope)などのナノメートル分解測定技術、○パルスレーザ技術とナノメートル分解測定技術を融合する技術、○時間分解能をもつ光学分光(紫外可視～赤外～テラヘルツ)、○時間分解能をもつ電子スピン共鳴分光、○ガス中(望むらくは)液中で動作する XPS のような元素分析法、○キャリアの移動を実空間で光学観察可能な高分解能観察技術、○光とキャリアの相互作用の高精度シミュレーション技術、○高感度計測技術
44 充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム 3次元可視化技術
○物質内イオンの時間空間分布を計測する為の分光技術、○安価で安定なレーザ開発技術、○コンパクトな X 線発生装置の整備、○X 線の空間分解能向上や検出器の時間分解能向上による放射光技術の向上、○高い性能(エネルギー分解、検出効率などで)を持つ検出器の開発、○数マイクロオーダーの特殊加工技術、○高速高分解能 2次元 X線検出器の開発、○放射光によるオペランドキャリアダイナミクス計測技術、○高エネルギー分光施設・技術の開発、○表面、界面分析技術の開発、○物質移動の定量化、○イオンを知る

45 固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術
○光と物質の相互作用の広い波長域での詳細な解明、○シンクロトロンを利用した固体電子構造の観察および解析技術、○陽電子消滅を利用したカチオン空孔検出技術、○イオン像(SIMS)を利用した可視化、マッピング技術、○長波長領域における高精度な分光技術、○半導体ウエハ内部の欠陥検出技術、○量子ビーム制御技術、○センサー技術、○データ処理解析技術、○検出した欠陥とデバイス(or 構造物)の故障、破壊寿命との相関関係を解明する技術、樹脂と金属・無機物などの複合体からなる材料の破壊力学、○デバイス内において計測・解析を行う所定の界面や断面を低ダメージで加工して形成する技術、○デバイス内の材料の組成や結晶構造に影響を与えることなく、電子線やエックス線をナノスケールの空間分解能で照射する技術・検出する技術、○超音波を用いたき裂の可視化技術、○赤外線サーモグラフィによる構造物の非破壊検査技術、○有限要素法による欠陥を含む構造体の強度評価、○光、○超音波、○光源・受光技術、○非破壊検査、○超高感度検出・解析技術、○光を用いた非接触計測技術、とりわけ反転対称性がないドメインに選択的な二次非線形分光法を用いた計測技術、○走査プローブ顕微鏡、○光電子分光顕微鏡、○光第二高調波発生や二光子吸収フォトルミネッセンスによる半導体結晶中の転位、積層欠陥の非破壊、三次元観察、○放射光 X 線トポグラフィや X 線 CT による半導体結晶中の転位の非破壊、三次元観察
46 超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術
○高分解能光解析技術、○in-situ 解析技術、○微細領域の分析(X 線回折、電子線回折)、○時間分解能の向上(放射光の利用)
47 触媒の多チャンネル同時計測によるオペランド解析
○量子ビームの高度活用、○先端分光の高度化、○触媒の物理現象の把握、○多チャンネル化信号の表示技術、○解析手法、○触媒反応が実際に起きている状態を観測する技術はここ数年急速に発展し世界的なブームになっている、特に圧力条件を満たすことが技術的なチャレンジ
48 触媒反応素過程の実時間追跡
○量子ビームオペランド計測技術、○多重反射型などを開発することにより、赤外分光法による計測技術の発展させることが必要、○赤外分光装置自体の計測時間の高速化、○赤外領域以外での分光技術、○構造やサイズがナノレベルで制御された触媒試料の作製技術、「素過程」を解析するためにはよく定義された土俵が必要、それが実現すれば現在ある分析手法でも多くの事実が分かると予想
49 ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
○スーパーコンピュータ技術、○In vivo 実験とシミュレーションを繋ぐ技術、○新規細胞毒性計測デバイスの開発、○長期的な経過観察方法の確立、○生体安全性の手法はあるので、それをきちんとやるかだけの問題、○ナノ材料合成法:たとえばナノ粒子の合成法、○長期間暴露の評価技術
50 生存確率が 1 割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション
○マイクロfluidics:インジェクション(または選択的な薬品処理操作)・回収が可能となる、○一細胞診断技術を支える一細胞診断学の知見
51 細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術
○細胞のエンジニアリング技術、○細胞マニピュレーション、○分子識別技術、○高感度顕微分光、○分光スペクトルの数値情報処理基盤、○超高速応答が可能な光もしくは単一光子検出器技術
52 原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡
○この電圧で作動する理論と実証、○低コストで製造できる技術、○数年以内の実現が重要(長期間の開発は理論が実現できないという証明)、○従来実用化されている電子源を凌駕する超コヒーレント電子源の開発、○超高感度高分解能の電子線検出器の開発、○電子線の単色化(モノクロメーターの導入)、○各種収差補正装置の導入(球面収差補正、色収差補正)、○球面収差係数および色収差係数を軽減し、分解能を向上させる、○真空度の安定性、○低速電子顕微鏡法(LEEM)への球面収差補正技術の適用、○反射高速電子顕微鏡法(REM)の加速電圧の低電圧化、○SEM の低電圧化と高分解能化、○ノイズ対策
53 超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa 以上)など極限環境での、触媒、金属、熔融塩などの電子顕微鏡観察技術
○試料環境と測定条件の両立、○位置制御精度に優れた電子顕微鏡用超高温ステージの実現、○高圧反応用環境セルの実現、○センサ材料、○高圧下での電子ビーム制御技術、○電子顕微鏡内にマイクロ加工などを用いて超微小容器を製作する技術
54 高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術
○ヘリウム 3 の核スピンを偏極させる技術、○強い磁場勾配を発生させる技術、○平行で強い中性子ビームを発生させる技術、○強度の高い放射光施設

55 高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI
○アプリケーションの明確化、○デバイスの歩留まり向上、○回路設計を行うのに必要な、シミュレーション用のデバイス・モデル、○高性能有機半導体(移動度だけでなく)の開発、○プリンタブル可能な LSI 作製の為の材料とプロセス開発、○論理回路を組むための閾値制御技術、○材料開発が重要、○有機半導体の劣化抑制技術、○均一成膜・アニール技術、○単結晶ではなくアモルファスで高い性能を示す塗布型有機半導体の開発、○センサー用論理回路、○高性能有機半導体、○高導電性材料の開発、○設計技術の共通化、○電力供給回路の小型化と共通化
56 センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリンテッド・システム・オン・プラスチック)
○ナノプリンティング、○フレキシブルプラットフォーム上への無機半導体トランジスタ技術の開発、○フレキシブルプラットフォーム上へのスピントロニクス技術の開発、○フレキシブルプラットフォーム上へのエネルギー供給技術(太陽電池または熱電素子)の開発、○ナノインプリント技術、○有機・無機材料技術、○MEMS と LSI の集積技術、○表面改質技術、○設計技術・個別部品結束(接続・固定)技術、○個別部品技術、○接合技術、○センサデバイスと集積デバイス混在回路の制約を解く材料開発、○単一物理現象にだけ感応するデバイス、○統合化開発環境の整備、○デバイス製造プロセス、○低コスト製造技術、○エナジーハーベスティングや無線電力伝送、小型電池など給電システム、○劣化・破損等に対して強靱な回路設計技術、○100 μm 角以下で動作する高感度な各種センサ、○数 100 μm 角チップをフレキシブル基板に自律的に実装するセルフアSEMBル技術
57 近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース
○材料寿命を伸ばすための材料開発、○フレキシブル薄型ディスプレイ、○軽量化、○実装部材技術、○低温大気圧で実行可能な異種材料一括接合・接着技術、○微小欠陥から破壊進展に至るまでのマルチスケール信頼性解析理論
58 生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム
○生体分子モータの作動原理の解明、○生体分子モータの作動原理に基づいて精密に分子設計、○生体分子モータの構造と動作メカニズムの計測技術、とくに分子が活性状態の下で計測できる技術が必要、○ナノレベルでの精密加工製作技術、○バイオミメティック工学の展開、○超精密レーザナノ加工技術、○ナノ加工計測、○光子運動量計測応用計測、○ナノ領域の環境制御
59 単層グラフェンデバイス等の 2 次元系半導体のデバイス化プロセスと集積化技術
○高品質膜成膜技術、○安定ドーパント注入技術、○合成技術、○分析技術、○低コスト、○炭素系材料の化学合成技術、○炭素系材料表面・界面の構造・物性制御技術、○炭素系材料の微細加工あるいは自己組織化技術、○デバイス化が可能な品質の実用的な面積の素材の製膜技術、○ドープ、電極形成、(極少量域)素子化技術、○単層グラフェン合成技術、○BN 薄膜合成技術、○グラフェンへのバンドギャップ形成技術、○研究者の育成、○微細加工技術の普及、○物理的特性を制御した炭素材料の製造方法、○半導体プロセス技術、○巨大プラントを高度に効率的に運用する技術、○高度なマネジメント技術、○デバイス評価技術、○ビア接続をカーボンナノチューブで接合する技術、○カーボンナノチューブのカイラリティー制御、○グラフェンの化学的、電気的安定性
60 単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を 1 チップで実現する集積回路技術
○低電圧動作回路製造技術、○低電圧動作回路設計技術、○低電圧動作回路テスト技術、○シリコン以外の材料を用いた三次元トランジスタの構造・プロセスの最適化と多層積層化技術、○論理回路、ユニバーサルメモリ等も積層化する技術、○積層されている論理回路やメモリ間とつなぐ超高速 I/O や、それを活かすためのソフトシステム技術、○プロセス微細化技術、○モデリング・設計技術、○半導体露光装置の高精度位置決め技術(ステージ、搬送系)、○コンタミネーション制御技術、○表面活性化技術、○大量のデータ伝送をチップ内で行う光伝送技術、○電子デバイスと光伝送技術の有機的連携、○微細化の極限技術の進展、○新規構造や材料の導入、○新規概念のおよびそれを実現するデバイス構造の開発、○超伝導体をベースとした大規模論理回路の作製技術、○極低温動作する高速・高集積化メモリ、○超高速・超低消費電力な光-電気変換技術、○微細加工技術の進展(グラフェンやカーボンナノチューブなどナノカーボン系の形成技術含む)、○光技術(光通信、光配線)との融合、○高速動作する不揮発性メモリの小型化・高集積化、○LIS を光配線することによる高密度な情報伝送技術、○シリコンフォトニクス、○高性能トランジスタ、○半導体微細加工技術
61 特定の人にしか可視化できないディスプレイ
○空間光学技術、○ウェアブル端末小型化技術、○Transformation optic
62 デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術
○様々な特性を有する磁性合金材料の形成技術、○スピン流を生成・制御するエレクトロニクス技術、○マイクロマグネティクスを記述する計算モデリング技術、○ナノスケール高速加工技術、○ナノスケール高速検出技術、○記録用素材開発、○ナノレベルでの組織構造形成技術、○多重記録・読取技術開発

<p>63 現在の DRAM に比べ、100 倍のメモリバンド幅を持ち、100 分の 1 の消費電力で動作するメモリ</p> <p>○新材料探索、○プロセス技術、○ナノ材料制御技術、○センシング技術、○デバイス化技術、○ばらつき低減による低電圧動作を可能とする製造プロセス、○通信能力の向上、○強誘電体のドメイン壁を用いた導電性変調技術、○強誘電体ドメイン壁物性の解析、○ドメイン壁の選択形成技術、○MRAM 技術開発、○新メモリ技術に適した材料開発。メカニズムが異なるメモリ技術ごとに最適な材料探索が必要、○低消費電力で動作するメモリに最適化された制御方法やアルゴリズムの開発、○低消費電力動作が進展した際に顕在化する事が想定されるノイズを低減させるための技術、○コスト、○高性能磁性薄膜、○磁性薄膜選択的エッチング技術、○STT-MRAM、○垂直磁化材料、○電圧磁化反転技術、○メモリ素子の方式、○インターフェースと回路技術とパッケージング技術、○インターフェースやソフトウェアの互換性に対するサポート</p>
<p>64 単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子</p> <p>○窒素原子内包フラーレンの合成と制御、○単一スピンの安定化技術、○超高分解能の計測技術、○CMOS プロセス技術による集積化が可能でスピン緩和の長い材料の探索とそのデバイス応用、○室温で動作する単一スピン素子、○InGaAs のような多スピン(8 ビット分)を有する場合、スピン方向を 8 ビット演算に使用した際の検出技術、○電子移動度の向上化技術(材料革新)</p>
<p>65 量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス</p> <p>○量子ドット半導体製造技術、○試料作製技術の発展、○適切な発光体、発光準位の選定、○量子ドットの作製技術の高度化(量子ドットの成長位置の制御、発光効率の高効率化等)、○高性能な微小サイズの光共振器の実現とその動的な制御、○光通信波長帯で室温動作する単一光子源、○モノリシック光共振器作成技術、○高速な光スイッチ、○単一発光体の制御技術</p>
<p>66 大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ</p> <p>○超高密度磁気記録・再生技術、○Spin-MRAM の研究開発、○原子・分子の高集積化技術、○量子メモリ技術開発、○単一スピン操作技術開発、○量子状態転写技術開発、○製造方法の確立、○1 分子のメモリ機能のメカニズム解明、○評価方法の確立、○適切な機能を持つ物質の理論予測法、○適切な原子配列を可能とする新しい手法の開発、○スピン偏極走査トンネル顕微鏡、○STM 等を用いて、単一分子を操作する技術、○既存の集積回路とのハイブリッド化のために、室温の Si(001) 基板上で単一分子を操作する技術</p>
<p>67 効率が 40%以上の熱電変換素子</p> <p>○新規熱電変換デバイスの概念の創出、○シリコン系の素材を使った素子の開発、おそらく太陽光パネルの技術の応用が期待できる、○新規材料開発、○理論計算の援用、○ナノ構造を利用した高効率化、○新材料開発、○熱電発電システムの開発、○フォノンエンジニアリング、○新たな機構で熱電変換を発現する材料の創出、○蓄熱や放熱に関して熱管理設計の幅を広げるための高熱伝導性や大きな熱容量を有する材料の開発、○高温耐熱性とフレキシビリティとを兼ね揃えた材料とその材料の加工技術、○新規材料探索、○結晶配向などの高度な微構造組織制御プロセス、○高い熱電性能指数を持つ材料開発、○新素材、○新構造</p>
<p>68 超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機</p> <p>○冷凍原理の新しい概念・手法、○高効率高信頼の高速インバータ技術、回転体である圧縮機や膨張機を駆動あるいは動力回収を行うための電力変換技術、○小型熱交換器・冷凍機でもっとも大きな容積を占めるのが熱交換器、大型化すれば効率は向上するが高価格にもなり場所が制約される、冷凍機の基本は気兼ねなくあることを意識しなくて使えるというコンセプト、そのため高効率かつ小型の熱交換器の研究が進むことが望ましい</p>
<p>69 変換効率 50%を超える太陽電池</p> <p>○電極材料開発、○電極製造プロセスの開発、○良質の結晶を製造する、○製造するために、流体力学、物質移動の学理を応用する、○新半導体材料の開発、○化合物半導体積層技術(量子ドット、細線含む)、○複数接合太陽電池形成技術、○モジュール製造技術、○マルチジャンクションに依らない SQ リミットを超える太陽電池の現状に合った理論的検討、○低光量でも発電可能な太陽電池(発電総量が高いことも重要)、○研究開発資金の供給、○産官学による重点的な研究の展開、○半導体ヘテロ構造作製技術、○革新的デバイス構造の確立、○光吸収材料の創製、○低コスト発電システムの実現、○量子ドット、ワイヤ等の合成、○表面欠陥の低減、○多接合太陽電池用の材料開発、○多接合太陽電池用のプロセス開発、○低コストで合成可能なプロセス開発、○物質開発と実社会への応用をつなぐ研究者間の連携、○すでに 40%の変換効率を超える太陽電池は開発されているので、それを踏まえた低コスト製膜技術が必要、○50%を超える変換効率は、新しいタンデム化技術や貼り合わせ技術必要、○多接合型太陽電池;もっとも有望・確実な技術、○多接合型太陽電池は高価故、低コスト化する技術が必要、○量子ドット太陽電池は理論的に 60%を超えるが、技術的には現実味なし、○光学特性に優れた格子整合しない物質同士のスタック技術、○多層接合太陽電池の各層の定量的な特性評価、○シリコンに変わる新材料探索、○波長変換技術、○熱-光変換技術、○幾つかの技術を集約して高効率デバイスを作製すること、○GaAs に代わる耐熱型太陽電池の開発、○特定波長の光のみ反射する反射鏡の開発、○光電変換機能を有する反射鏡の開発</p>

70 国内の送配電網の8割以上が直流スマートグリッドに置き換わる
○電流・電圧センサデバイス実現のための低光弾性ガラスの新規開発、○送電の監視、○効率シミュレーション技術の開発、○低損失伝送を可能にする材料開発ならびに接合・接着技術開発、○直流電源に関する対人安全設計、○空間電荷蓄積を抑制できる絶縁材料、○大容量半導体遮断器、○必要な電圧・電流変換などの半導体デバイス、○配線のための軽量で導電率の高い金属材料の開発と、コーティングなどによる絶縁材料の開発、○旧来のシステムを更新するスマートグリッドの構築、○日本の、100-200V、50-60Hz 送電システムを更新し、220V 統一給電が望ましい、市中においても地下直流高電圧給電システムが望ましい、電機企業との連携が必要、○太陽光、風力、水力、揚水などの小電力出力を送電網に組み込み、たえず高効率な送電を制御できるスマートグリッドを作る、モデル都市でまず実験を行い全国に広める、○パワー半導体デバイス技術の進展、○パワーエレクトロニクス回路・実装技術の成熟
71 40~100℃で発電可能な低温温水発電システム
○100℃以下でピークを有する高効率熱電変換材料、○高効率バイナリー発電技術、○負荷準化のための蓄熱技術、○湯の花の付着対策、○環境アセスメントの整理、○高効率熱輸送技術、○有機熱電発電が有力
72 高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム
○気象、○マイクロ波送電システム、○GPS 利用の高高度航空機システムの開発、○太陽光利用動力システムの開発
73 CO ₂ を利用してプラスチックを創成する技術
○遺伝子組換え、○MEMS 技術、○高効率回収技術、○高強度な力学的特性の実現、○化学的に安定な組成の実現、○光エネルギーの活用、○C-C 結合の合成と切断を行う触媒開発
74 人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置
○高エネルギー粒子発生装置の小型化
75 遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術
○駆除対象の生物の全ゲノム解析、○人工核酸等を用いた核酸医薬的手法研究、○核酸医薬を用いる場合、駆除対象が動物である際は薬剤の皮下投与方法の検討が必要、○生物種インベントリー作成のための分類技術、○薬剤のターゲットとなる遺伝子・タンパク質の解明、○利用可能な薬剤の開発
76 出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術
○圧電振動子、○高性能圧電材料、○設計・シミュレーション技術、○強誘電体。圧電体を用いた振動発電デバイスの実現、○強誘電体・圧電体を用いた発電の高効率化技術、○高周波から直流へと変換するための整流素子の高効率化（低立ち上がり電圧、低損失、etc.）、○直流マネジメント技術の発展、○（電磁波を利用するエネルギーハーベスティング技術限定で）小型かつ高利得なアンテナ、○熱（温度差）を利用したエネルギー回収技術、○同様に熱を反射、遮蔽、透過を自由にコントロールできる技術
77 現行の大きさ、重量でも航続距離が500kmの性能（エネルギー密度1kWh/kg以上、出力密度1kW/kg以上）をもつ自動車用二次電池
○高容量電池材料の熱安定性の研究（容易に熱暴走にいたらない材料の実現）、○正極活物質の開発、○材料開発のみではなく電池システムや車両設計まで至る統合的な研究技術、○充放電速度向上のための速度論に基づく電極設計技術、○近隣諸国の人海戦術に似た電池開発に対抗するべく、電極構造設計理論や支援技術（シミュレーション）の開発、○新規活物質の開発、○寿命特性の向上、○安全性、○新規な蓄電システム、○電極構造の制御技術、○電極-電解質界面の構造制御技術、○高性能電解質開発、○高性能電池材料開発、○デバイス化技術、○自動車軽量化、○材料探索、○高エネルギー密度材料（空気、硫黄等）を用いた正極の繰り返し充放電技術、○リチウム金属負極の繰り返し充放電技術と安全性、○安定性の高い、安全性の高い電解液の開発、○電池材料設計（正極・負極）、○電池生産技術（材料コストダウン、設計の標準化）、○電気自動車認知に関する社会意識、○電極材料の開発、○電池を安全に使用可能な制御技術の開発、○寿命の向上、○製膜技術、○界面制御技術、○新規材料開発、○長時間耐久試験評価法の開発、○材料開発、○繰り返し充放電により劣化が起りにくく、高速充電を可能にする新規電解質、○高エネルギー密度化を達成し得る新規電極材料
78 マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池
○負極が安定に動作する電解液の開発、○空気極の触媒性能の向上、○環境整備、○人材育成、○内外の協力・連携、○空気電池に用いる空気極の電極触媒技術、○金属-空気電池の金属リサイクル技術、○高電流密度のための電極の微細構造制御技術、○マグネシウム素材そのものの開発、○マグネシウムなどの低エネルギー消費、あるいは再生可能エネルギーを用いた還元技術と安価還元（精錬）設備、○電池反応制御技術＝低インピーダンス化、電流値変動への許容度拡大、○基本的なメカニズムの解明

79 東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター
○電極材料による大静電容量化(ナノスケール構造制御炭素系電極材料・金属酸化物系材料)、○イオン性液体・固体電解質等(可燃性電解質を超える材料)、○EDLC・LIB の良点を採り込む複合セル構造蓄電システム(LIC)、○任意の構造制御を可能にする炭素材料合成技術、○エネルギー密度の向上に資する新しい電解質の開発、○安全かつ高効率なキャパシター構造の設計と実現、○特殊な電極の開発(材料科学)、○特殊な電解液の開発、○超高容量な炭素電極の開発、○高電圧充電、長期使用などの過酷な環境に対して格段の耐久性を示す炭素電極の開発、○上記の炭素電極を量産する技術、○高い比表面積を有する炭素材料、○重金属を含まない炭素材料、○バイオマス資源
80 希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池
○触媒化学、電気化学をベースとした新規燃料電池反応系の構築、○非白金触媒の高性能化、及び高耐久化、○高活性な触媒の開発、○メカニズム解明、○高性能触媒の開発、○触媒劣化機構の解明、○環境負荷の低い水素製造方法、○直接炭化水素燃料で駆動することが可能な固体酸化物形燃料電池
81 低濃度 NOx を酸化剤として利用可能な燃料電池
《特になし》
82 水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料
○国家戦略として資金投入すべき、でないとは他国に規格を取られる
83 太陽光で水を分解できる実用的な光触媒
○光触媒の量子効率向上、○水分解プラントの設計、○酸化チタンを超える効率と耐久性に優れた光触媒、○太陽光を長波長側の光まで効率よく利用可能な光触媒材料及び電荷分離・電荷注入・耐久性向上のための表面修飾、○触媒の開発、○システム開発、○触媒技術、○システム化、○長期間活性を保持できる耐久性の高い光触媒材料の開発、○コストとエネルギー変換効率を両立できる材料作製技術の開発、○光触媒性能の向上、○大規模水素製造装置の設計、○有機、無機化学 双方の協調を基盤とした光材料技術開発体制、○高効率な光波長の高低変換技術、○光触媒の高性能化
84 植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術
○天然光合成メカニズムの解明、○エントロピーに基づくエネルギー転換、○植物の光合成機能の完全な解明、特に主要な反応を触媒する酵素の特定、○特定された酵素の人工合成、○光合成メカニズムの模倣技術、○使用材料のコスト低減技術、○触媒、○電子受容体、○密度の薄い太陽光を光源として集光する技術、○光合成生物から機能性有用蛋白質や色素を取り出し、リプレイス可能素子としてそのままエネルギー生産に利用する技術
85 CO ₂ の光還元触媒による燃料化
○光触媒、○システムの最適化、○二酸化炭素の取り込み
86 グラフェンやカーボンナノチューブを用いた、金属を用いない低環境負荷デバイス
○革新的製造プロセス、○革新的材料、○炭素系材料の化学合成技術、○炭素系材料のデバイス化技術、○炭素系材料の構造・物性の相互制御技術、○グラフェンの低コスト、大面積生産技術、○CNT の分散技術、○グラフェンの作製技術、○高集積化技術、○既存技術とのシステム融合、○炭素材料の大量生産技術の確立、○プラズマ化学気相堆積法、○グラフェンやカーボンナノチューブ等の炭素材料は二次電池やキャパシタなどのエネルギー貯蔵デバイス応用した際に、充放電容量を現行のグラファイトや活性炭より向上できる可能性があり、グラフェンやチューブを組み合わせた無機材料のような強固な 3D ネットワーク構造の構築技術が必要、○原子レベルの微細構造の制御方法の確立、○従来活性炭技術と新規ナノカーボン分野との融合による 3次元アセンブリ技術、○グラフェンエッジ安定化、または、活性化技術、○大量生産技術、○カーボンナノ材料を高密度に集積化するプロセス技術、
87 環境に CO ₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術
○膜材料開発、○膜分離技術(石炭ガス化時の CO と H ₂ の選択分離)、○水素関連技術
88 小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマonitoring技術
○UAV といった小型ラジコンヘリを活用した診断システム、○内部損傷のセンシング技術、○非破壊検査技術、○外観などの画像処理診断技術、○AE センサなどの音響データ処理診断技術、○化学的データによる診断技術、○欠陥検出のためのセンサ、○データ収集システム、○材料損傷検出技術、○デバイス技術、○IT 技術、○構造物センシング技術、○センサ情報解析技術、○信頼性予測推定技術、○放射線プローブ源、○マーカーとなるナノテクインテリジェント材料、○ヘルスマonitoring検知精度の保証、○ヘルスマonitoring検出結果に基づく建築構造物の健全性判定基準の確立、○センサー技術、○構造解析技術

<p>89 損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料</p> <p>○センシングとの連携、○機械応力に応じて磁性や分極の変化する材料、○キラル材料、○自己組織化材料、○応力をモニタリングできる塗装材料、○応力・劣化をシミュレート出来る計算機およびアルゴリズム、○これらを組み込める材料系、○不均一材料に関する破壊についての数理解理解</p>
<p>90 降伏強さ 1800MPa (既存鋼材の 3 倍) 以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材</p> <p>○脆性遷移の本質的の原理解明、○原理に基づく鉄鋼材料組織最適化、加工熱処理プロセスの検討、○材料開発は予想不可能なところが大きく、この問題に関してもブレークスルーとなる技術要素は現時点では想定困難、○新材料設計、○新鍛造技術、○加工技術、○研究者人口および研究装置の導入、○研究資金の投入、○マイクロ、ナノの視点の解析技術とマクロをつなぐ技術、○鉄鋼材料の相変態制御技術、○加工熱処理技術、○ナノマテリアル技術、○ウィスカ結晶制御技術、○原子レベルでの構造観察・解析技術、○第一原理計算による特性予測</p>
<p>91 中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料</p> <p>○新規コーティング技術の開発、○画期的な常温から 200℃程度の低温で信頼性高く接合する技術、○表面活性化接合技術が、大面積化とコストダウンにより汎用化される必要、○電子顕微鏡等による界面の原子配列解析技術、○界面の原子配列の安定性や特性を予測する第一原理計算などの理論計算技術</p>
<p>92 超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料</p> <p>○ナノカーボン材料の大量かつ精密な生産技術、○超高分子量の難燃性ポリマーの生産技術、○製造インフラ、○実際の大規模構造物を模擬した試作物の強度や耐食性の評価方法と評価機器、○炭素系材料の化学合成技術、○接合技術の開発、○高性能炭素系材料の開発、○加工技術、○溶接技術、○蓄積疲労と腐食状況の診断技術、○炭素系構造材料、○大規模構造物、○量産化技術</p>

6. 7. 集計結果一覧

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
新しい物質・材料・機能の創成	1	高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料	135	14	25	61	3.22	3.09	2.83	2.75	1.94	2025	
	2	SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体	142	14	21	65	3.45	3.10	2.65	2.58	1.90	2024	
	3	水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子	101	8	29	63	3.18	2.84	2.57	2.57	1.90	2025	
	4	リサイクル可能な架橋性樹脂	100	8	33	59	3.13	2.93	2.62	2.51	2.08	2024	
	5	自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料	163	21	34	45	3.26	3.11	2.58	2.60	1.89	2020	
	6	室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料	119	8	31	61	3.28	2.98	3.04	2.94	1.89	2025	
	7	低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ	161	15	27	58	3.37	3.12	2.87	2.81	1.94	2025	
	8	ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ	76	12	34	54	2.96	2.83	3.00	2.85	1.82	2025	
	9	実用照明の輝度で 8 時間連続使用可能な蓄光材料	71	4	31	65	3.01	2.89	2.91	2.63	1.80	2025	
	10	計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術	101	6	36	58	3.22	2.95	2.91	2.74	1.84	2025	

技術的実現		技術実現のための重点施策(%)					社会実装					社会実装のための重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
8.1	23.0	42.2	21.9	25.0	7.0	3.9	2027		8.1	25.2	21.8	27.4	29.0	16.9	4.8	
4.2	16.9	34.6	31.6	21.1	11.3	1.5	2025		2.8	18.3	23.3	22.5	34.9	17.8	1.6	
5.0	16.8	34.7	28.4	25.3	9.5	2.1	2029		9.9	20.8	19.1	23.4	36.2	18.1	3.2	
6.0	11.0	33.0	23.4	31.9	8.5	3.2	2027		7.0	14.0	17.2	18.3	25.8	36.6	2.2	
2.5	8.6	36.2	32.2	20.4	9.9	1.3	2025		2.5	14.7	24.8	22.9	26.8	22.2	3.3	
18.5	21.0	43.9	23.4	26.2	5.6	0.9	2030		21.0	27.7	29.5	25.7	29.5	13.3	1.9	
16.1	13.7	40.4	26.0	24.0	7.5	2.1	2028		16.1	19.9	27.1	19.4	29.2	20.8	3.5	
13.2	28.9	47.1	20.6	23.5	5.9	2.9	2030		21.1	35.5	18.8	31.2	25	18.8	6.2	
14.1	26.8	36.5	31.7	15.9	14.3	1.6	2026		14.1	32.4	17.5	28.6	23.8	27.0	3.2	
13.9	21.8	41.3	27.2	25.0	5.4	1.1	2030		15.8	32.7	19.1	24.7	32.6	20.2	3.4	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
新しい物質・材料・機能の創成	11	nm オーダーの微細な幾何学構造により、任意の誘電率・透磁率、偏光特性を有するメタマテリアル材料を用いた光学素子	129	16	33	51	3.34	2.83	2.82	2.81	1.77	2025	
	12	ミラーを用いずにレーザー光の出射方向を自由に制御可能な半導体レーザーアレイ	64	8	36	56	3.00	2.97	2.53	2.31	1.76	2023	
	13	数 100nm~μm サイズの領域において、非接触・高精度に pN~nN オーダーの微小力を発生し、マイクロ/ナノマシンや生体分子等の微小物体の配置や運動を自在に制御・計測する光技術	95	7	26	66	3.11	2.92	2.64	2.55	1.99	2024	
	14	光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体	86	13	26	62	3.12	2.88	2.76	2.66	1.86	2025	
	15	ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料	78	8	26	67	3.15	2.81	2.88	2.79	1.93	2025	
	16	強相関電子を用いた室温超電導材料	132	16	23	61	3.39	3.19	3.41	3.37	1.78	2030	
	17	部品の超長寿命化(現在の 2 倍以上)のための表面改質・トライボロジー	113	21	31	48	3.27	3.07	2.57	2.51	1.86	2025	
アドバンスド・マニファクチャリング	18	コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産	50	16	16	68	3.06	2.82	2.42	2.27	2.10	2020	
	19	バイオプリンティングによる再生臓器の製造	46	4	15	80	3.39	2.93	3.00	2.86	3.47	2025	
	20	形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)	48	10	23	67	3.21	3.00	2.40	2.45	1.85	2021	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
5.4	12.4	46.2	29.4	16.0	8.4	0.0	2029		10.1	26.4	22.3	28.6	28.6	17.9	2.7	
6.2	15.6	35.1	36.8	21.1	7.0	0.0	2027		7.8	17.2	24.6	40.4	19.3	14.0	1.8	
5.3	12.6	39.1	29.9	21.8	8.0	1.1	2028		8.4	22.1	21.8	26.4	23.0	26.4	2.3	
7.0	17.4	34.2	30.4	22.8	11.4	1.3	2030		8.1	25.6	17.7	36.7	19.0	22.8	3.8	
19.2	12.8	31.2	35.9	20.3	12.5	0.0	2030		21.8	19.2	19.7	28.8	16.7	33.3	1.5	
26.5	32.6	48.8	24.8	16.8	4.8	4.8	2040		26.5	39.4	27.1	26.3	23.7	16.9	5.9	
2.7	8.0	29.2	42.5	19.8	6.6	1.9	2030		3.5	10.6	13.3	35.2	29.5	19.0	2.9	
4.0	12.0	22.9	16.7	35.4	25.0	0.0	2025		10.0	16.0	14.6	18.8	29.2	35.4	2.1	
2.2	15.2	36.4	29.5	18.2	15.9	0.0	2035		10.9	26.1	11.9	23.8	19.0	45.2	0.0	
0.0	4.2	15.6	35.6	31.1	17.8	0.0	2025		0.0	6.2	10.9	32.6	30.4	26.1	0.0	

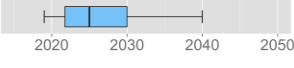
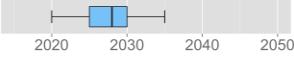
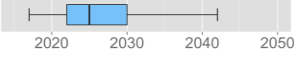
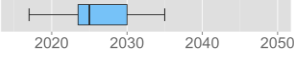
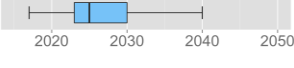
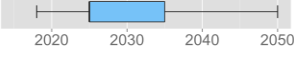
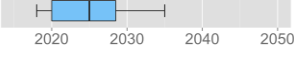
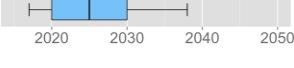
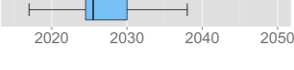
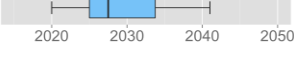
細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
アドバンスド・マニファクチャリング	21	付加製造(アディティブ・マニファクチャリング)によるメタマテリアルのコンシューマープロダクトへの適用	47	19	17	64	3.09	2.79	2.67	2.52	1.89	2021	
	22	大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産	63	21	11	68	3.14	2.92	2.44	2.43	2.12	2020	
	23	1μm以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工	53	21	36	43	3.41	3.12	2.70	2.67	1.85	2025	
	24	少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム	72	7	29	64	3.18	2.87	2.34	2.35	1.70	2020	
	25	ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)	82	15	29	56	3.33	3.16	2.53	2.54	1.84	2025	
	26	木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法	32	3	22	75	2.97	2.83	2.72	2.56	2.39	2024	
	27	体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法	23	4	26	70	3.00	2.95	2.83	2.70	1.91	2022	
	28	鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術	60	5	30	65	3.07	2.78	2.63	2.64	1.88	2025	
	29	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム	59	10	25	64	3.41	3.12	2.53	2.48	2.34	2023	
	30	直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術	35	6	26	69	3.43	3.00	2.69	2.71	1.89	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
2.1	4.3	40.9	27.3	15.9	13.6	2.3	2026		8.5	4.3	14	34.9	27.9	20.9	2.3	
1.6	4.8	32.8	24.1	25.9	15.5	1.7	2025		4.8	7.9	15.3	23.7	28.8	30.5	1.7	
5.7	5.7	36.7	44.9	8.2	8.2	2.0	2030		5.7	11.3	25.0	35.4	25.0	12.5	2.1	
1.4	11.1	16.9	55.4	10.8	16.9	0.0	2025		12.5	8.3	7.8	40.6	23.4	26.6	1.6	
1.2	9.8	23.4	49.4	13	11.7	2.6	2030		3.7	13.4	13.0	41.6	26.0	19.5	0.0	
6.2	12.5	33.3	26.7	26.7	10	3.3	2028		15.6	25	3.3	30.0	30.0	33.3	3.3	
0.0	17.4	50	22.7	9.1	18.2	0.0	2028		4.3	21.7	18.2	31.8	31.8	18.2	0.0	
6.7	13.3	24.1	44.4	18.5	11.1	1.9	2025		8.3	13.3	21.4	46.4	10.7	19.6	1.8	
5.1	15.3	49.2	13.6	20.3	13.6	3.4	2025		11.9	15.3	28.1	19.3	31.6	17.5	3.5	
2.9	8.6	33.3	39.4	21.2	6.1	0.0	2030		2.9	8.6	17.6	32.4	23.5	26.5	0.0	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
モデリング・シミュレーション	31	表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術	85	19	40	41	3.48	2.84	2.55	2.44	1.65	2025	
	32	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術	69	16	42	42	3.44	2.92	2.66	2.67	1.60	2025	
	33	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術	59	17	36	47	3.44	2.93	2.63	2.43	1.82	2025	
	34	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術	75	17	37	45	3.53	2.90	2.99	2.93	1.84	2025	
	35	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術	64	17	38	45	3.42	2.88	2.86	2.69	1.72	2025	
	36	触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術	47	6	32	62	3.34	2.95	2.70	2.52	1.76	2025	
	37	電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術	72	25	38	38	3.47	2.88	2.64	2.61	1.72	2025	
	38	量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム	56	16	32	52	3.35	2.90	2.68	2.27	1.70	2025	
	39	シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術	61	16	33	51	3.39	2.89	2.57	2.44	1.77	2024	
	40	ベイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術	35	11	31	57	3.18	2.73	3.06	2.64	1.91	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
7.1	10.6	50.0	17.1	25.6	6.1	1.2	2030		9.4	11.8	35.0	12.5	30.0	20.0	2.5	
5.8	17.4	56.9	16.9	20.0	6.2	0.0	2030		8.7	21.7	43.8	20.3	23.4	12.5	0.0	
1.7	15.3	49.1	22.8	17.5	7.0	3.5	2029		1.7	16.9	33.3	15.8	19.3	28.1	3.5	
10.7	24	56.2	17.8	19.2	4.1	2.7	2030		13.3	28	36.1	20.8	19.4	18.1	5.6	
6.2	20.3	59.0	18.0	4.9	16.4	1.6	2030		12.5	26.6	41.7	23.3	16.7	18.3	0.0	
2.1	17	65.2	10.9	13.0	10.9	0.0	2029		6.4	19.1	46.7	13.3	20.0	17.8	2.2	
5.6	12.5	47.8	17.4	26.1	7.2	1.4	2030		9.7	15.3	34.3	16.4	23.9	23.9	1.5	
5.4	10.7	50.9	22.6	13.2	11.3	1.9	2029		8.9	14.3	32.7	19.2	21.2	25.0	1.9	
3.3	19.7	44.8	19.0	15.5	19.0	1.7	2030		8.2	21.3	31.0	15.5	20.7	31.0	1.7	
14.3	14.3	55.9	14.7	14.7	8.8	5.9	2029		14.3	14.3	45.5	21.2	12.1	18.2	3.0	

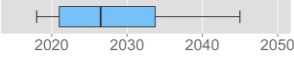

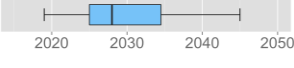

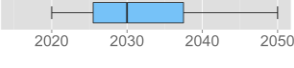



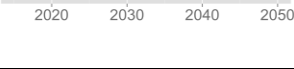
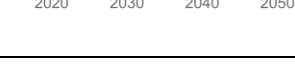
細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
モデリング・シミュレーション	41	大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール	49	10	31	59	3.27	2.75	2.48	2.36	1.80	2023	
	42	マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3次元造形による構造および機能性材料が開発される	38	13	32	55	3.18	2.80	2.38	2.54	2.00	2025	
先端材料・デバイスの計測・解析手法	43	光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術	66	24	24	52	3.14	3.00	2.36	2.42	1.76	2022	
	44	充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム3次元可視化技術	65	8	26	66	3.34	2.94	2.51	2.52	1.83	2020	
	45	固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術	98	16	35	49	3.26	2.87	2.43	2.38	1.68	2022	
	46	超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術	58	12	40	48	3.00	2.80	2.60	2.54	1.85	2020	
	47	触媒の多チャンネル同時計測によるオペランド解析	26	15	31	54	3.31	2.88	2.46	2.42	1.85	2020	
	48	触媒反応素過程の実時間追跡	42	17	31	52	3.19	2.91	2.55	2.52	1.71	2021	
	49	ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術	55	7	18	75	3.38	2.75	2.57	2.33	2.83	2020	
50	生存確率が1割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション	14	0	43	57	2.86	2.77	2.71	2.54	2.80	2021		

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
8.2	12.2	40.0	31.1	22.2	2.2	4.4	2025		10.2	16.3	41.5	17.1	19.5	17.1	4.9	
2.6	26.3	38.2	35.3	17.6	8.8	0.0	2028		7.9	26.3	26.5	14.7	29.4	29.4	0.0	
6.1	10.6	43.1	24.6	21.5	6.2	4.6	2025		6.1	22.7	20.6	38.1	11.1	23.8	6.3	
4.6	9.2	37.5	34.4	17.2	9.4	1.6	2025		7.7	16.9	27.0	36.5	22.2	12.7	1.6	
2.0	8.2	24.7	41.9	19.4	9.7	4.3	2025		4.1	12.2	19.4	33.3	25.8	18.3	3.2	
6.9	24.1	43.9	28.1	15.8	8.8	3.5	2025		13.8	29.3	34.5	23.6	20	18.2	3.6	
11.5	15.4	50.0	23.1	19.2	3.8	3.8	2025		11.5	23.1	29.2	29.2	20.8	16.7	4.2	
9.5	14.3	45.0	27.5	17.5	5.0	5.0	2025		19.0	16.7	26.3	34.2	21.1	13.2	5.3	
9.1	18.2	39.2	21.6	17.6	17.6	3.9	2025		9.1	27.3	19.6	19.6	25.5	27.5	7.8	
7.1	14.3	50	35.7	7.1	0.0	7.1	2027		14.3	14.3	28.6	42.9	14.3	7.1	7.1	

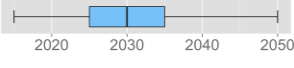
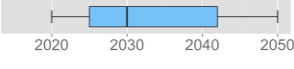
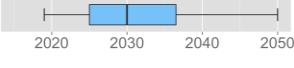
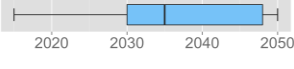
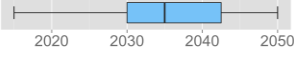
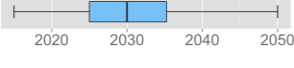



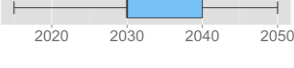
細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
先端材料・デバイスの計測・解析手法	51	細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術	45	4	33	62	3.29	2.98	2.68	2.45	2.42	2020	
	52	原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡	60	12	20	68	3.25	3.07	2.53	2.54	1.60	2025	
	53	超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa以上)など極限環境での、触媒、金属、熔融塩などの電子顕微鏡観察技術	53	8	34	58	3.12	3.08	2.64	2.49	1.73	2025	
	54	高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術	30	10	30	60	3.21	2.96	2.77	2.82	2.17	2025	
応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)	55	高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI	81	19	20	62	3.27	3.16	2.62	2.44	1.87	2020	
	56	センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリントド・システム・オン・プラスチック)	87	20	25	55	3.35	3.11	2.41	2.43	1.85	2020	
	57	近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース	61	13	30	57	3.22	3.14	2.43	2.38	2.03	2022	
	58	生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム	68	13	22	65	2.97	2.92	2.96	2.83	2.27	2024	
	59	単層グラフェンデバイス等の 2 次元系半導体のデバイス化プロセスと集積化技術	101	19	23	58	3.15	2.94	2.71	2.65	1.83	2025	
	60	単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を 1 チップで実現する集積回路技術	62	18	26	56	3.61	3.02	2.76	2.72	1.85	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
6.7	13.3	45.5	25.0	18.2	4.5	6.8	2025		15.6	15.6	20.9	37.2	23.3	14.0	4.7	
15.0	20.0	34.5	43.1	15.5	1.7	5.2	2025		16.7	23.3	22.8	36.8	24.6	10.5	5.3	
9.4	24.5	28.8	40.4	15.4	9.6	5.8	2029		13.2	24.5	33.3	29.4	11.8	17.6	7.8	
6.7	20.0	27.6	20.7	20.7	20.7	10.3	2030		10.0	26.7	21.4	28.6	17.9	21.4	10.7	
6.2	6.2	36.8	30.3	18.4	9.2	5.3	2025		9.9	11.1	19.7	25	26.3	21.1	7.9	
1.1	2.3	27.7	44.6	19.3	7.2	1.2	2025		2.3	10.3	22	32.9	23.2	19.5	2.4	
3.3	3.3	27.3	36.4	20.0	14.5	1.8	2025		4.9	3.3	15.8	28.1	19.3	35.1	1.8	
10.3	17.6	41.5	20.0	20.0	16.9	1.5	2030		13.2	33.8	17.5	27	28.6	22.2	4.8	
7.9	16.8	40.8	29.6	18.4	9.2	2.0	2030		11.9	24.8	25.3	31.6	26.3	13.7	3.2	
9.7	12.9	27.6	44.8	19.0	6.9	1.7	2030		12.9	16.1	20.7	41.4	25.9	8.6	3.4	

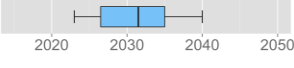
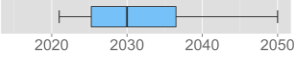
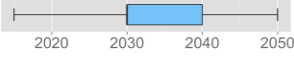
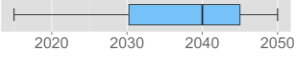
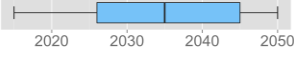
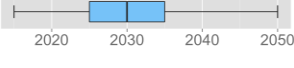

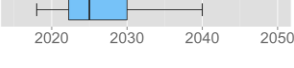
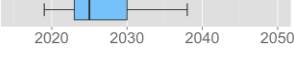
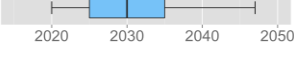
細目	トピック番号	トピック	回答者(人)	回答者の専門性(%)			研究開発特性(指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)	61	特定の人にしか可視化できないディスプレイ	41	7	27	66	2.71	2.86	2.63	2.60	2.15	2021	
	62	デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術	44	11	30	59	3.41	3.14	2.77	2.66	2.02	2025	
	63	現在のDRAMに比べ、100倍のメモリバンド幅を持ち、100分の1の消費電力で動作するメモリ	54	24	20	56	3.56	3.06	2.81	2.66	1.89	2025	
	64	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子	58	17	16	67	3.33	3.24	3.21	3.10	2.09	2030	
	65	量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス	47	11	36	53	3.13	3.02	3.04	2.79	1.91	2025	
	66	大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な1原子/1分子が1ビットに対応するストレージ	53	11	26	62	3.32	2.80	3.17	3.15	1.89	2028	
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)	67	効率が40%以上の熱電変換素子	119	11	24	66	3.35	2.81	2.98	2.86	1.77	2025	
	68	超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機	72	4	28	68	3.03	2.97	2.74	2.63	1.83	2025	
	69	変換効率50%を超える太陽電池	150	19	27	54	3.49	3.12	3.01	2.83	1.92	2025	
	70	国内の送配電網の8割以上が直流スマートグリッドに置き換わる	78	4	36	60	3.00	2.83	2.47	2.49	2.05	2030	

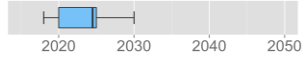
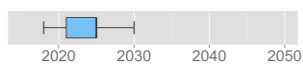
技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
9.8	24.4	54.1	27.0	8.1	8.1	2.7	2026		12.2	31.7	27.8	30.6	16.7	22.2	2.8	
0.0	11.4	32.6	37.2	20.9	4.7	4.7	2030		0.0	13.6	11.9	42.9	26.2	14.3	4.8	
7.4	7.4	34.0	47.2	15.1	3.8	0.0	2028		9.3	13.0	15.7	39.2	27.5	15.7	2.0	
6.9	20.7	49.1	30.9	12.7	5.5	1.8	2035		13.8	29.3	22.2	31.5	27.8	13.0	5.6	
6.4	12.8	48.9	26.7	17.8	4.4	2.2	2030		10.6	23.4	15.9	27.3	27.3	25.0	4.5	
15.1	24.5	42.0	34.0	12.0	10.0	2.0	2035		20.8	34.0	20.8	41.7	20.8	14.6	2.1	
19.3	30.3	28.4	36.7	22.0	6.4	6.4	2030		20.2	33.6	21.0	37.1	19.0	16.2	6.7	
12.5	19.4	20.9	49.3	11.9	9.0	9.0	2030		16.7	23.6	10.8	38.5	20.0	21.5	9.2	
12.7	17.3	31.9	37.7	21.0	4.3	5.1	2030		18.0	24.0	17.6	32.1	17.6	26.7	6.1	
12.8	19.2	4.2	25.4	21.1	46.5	2.8	2035		15.4	26.9	8.2	13.7	12.3	61.6	4.1	

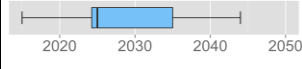
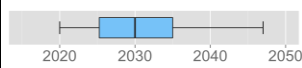
細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)	71	40~100°Cで発電可能な低温温水発電システム	82	11	22	67	3.06	2.80	2.59	2.51	1.84	2025	
	72	高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム	65	3	18	78	2.68	2.52	2.89	2.65	2.10	2025	
	73	CO2 を利用してプラスチックを創成する技術	87	6	34	60	3.17	2.99	2.79	2.64	2.00	2025	
	74	人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置	53	2	21	77	3.27	2.55	3.46	3.22	2.75	2030	
	75	遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術	32	0	13	88	2.91	2.59	2.88	2.81	3.19	2025	
	76	出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術	58	12	36	52	3.35	2.89	2.84	2.79	1.70	2025	
	77	現行の大きさ、重量でも航続距離が500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池	98	21	34	45	3.60	3.27	2.85	2.93	1.92	2025	
	78	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池	79	15	33	52	3.48	3.16	2.86	2.83	1.94	2026	
	79	東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター	72	18	35	47	3.11	2.97	3.09	2.88	1.90	2030	
	80	希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池	113	21	31	48	3.55	3.30	2.96	2.97	1.91	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
9.8	12.2	26.1	42.0	11.6	15.9	4.3	2030		19.5	18.3	14.5	29.0	14.5	36.2	5.8	
29.2	23.1	17.5	28.1	22.8	24.6	7.0	2030		33.8	24.6	5.3	29.8	19.3	38.6	7.0	
6.9	19.5	35.1	36.4	10.4	14.3	3.9	2030		11.5	26.4	15.8	34.2	21.1	22.4	6.6	
35.8	26.4	20.8	39.6	22.9	10.4	6.2	2035		37.7	34.0	10.9	26.1	23.9	32.6	6.5	
6.2	21.9	29.0	35.5	12.9	19.4	3.2	2035		21.9	31.2	3.4	20.7	17.2	48.3	10.3	
8.6	19.0	25	48.1	23.1	3.8	0.0	2030		8.6	22.4	5.8	40.4	23.1	28.8	1.9	
8.2	6.1	27.2	53.3	15.2	4.3	0.0	2030		11.2	5.1	10.0	42.2	22.2	24.4	1.1	
6.3	13.9	25.7	51.4	10.8	6.8	5.4	2031		6.3	19.0	17.8	42.5	19.2	16.4	4.1	
30.6	23.6	48.4	25.8	16.1	6.5	3.2	2035		33.3	25.0	25.8	32.3	17.7	17.7	6.5	
7.1	16.8	27.9	44.2	19.2	6.7	1.9	2030		7.1	20.4	14.7	37.3	21.6	23.5	2.9	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					年	技術的実現 実現年幅
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性		
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)	81	低濃度 NOx を酸化剤として利用可能な燃料電池	43	12	30	58	2.81	2.84	3.05	2.74	2.00	2025	
	82	水素密度 10wt% 以上で放出温度 100°C 以下の高密度水素貯蔵材料	56	13	38	50	3.27	2.90	2.95	2.75	1.86	2025	
	83	太陽光で水を分解できる実用的な光触媒	103	17	39	45	3.38	3.16	2.92	2.84	1.75	2025	
	84	植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術	70	17	21	61	3.49	3.03	3.17	3.01	1.69	2030	
	85	CO2 の光還元触媒による燃料化	68	12	28	60	3.35	2.94	3.13	3.03	1.72	2030	
	86	グラフェンやカーボンナノチューブを用いた、金属を用いない低環境負荷デバイス	100	19	33	48	3.10	3.06	2.91	2.81	2.02	2025	
	87	環境に CO2 を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	48	6	35	58	3.13	2.93	2.83	2.85	1.89	2025	
応用デバイス・システム(インフラ分野)	88	小型軽量で 1 人でも操作可能な建築構造物ヘルスマonitoring 技術	43	7	16	77	3.44	3.00	2.35	2.33	2.09	2020	
	89	損傷を受けると損傷個所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料	43	2	28	70	2.88	2.73	2.65	2.51	1.98	2020	
	90	降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が -40°C 以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造材	44	9	39	52	3.37	3.40	2.76	2.79	1.86	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実装しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
18.6	30.2	45.0	25.0	12.5	15.0	2.5	2031		30.2	27.9	20.5	28.2	20.5	28.2	2.6	
21.4	14.3	36.7	32.7	12.2	16.3	2.0	2030		23.2	23.2	10.2	44.9	16.3	24.5	4.1	
13.6	13.6	37.1	35.1	13.4	7.2	7.2	2030		16.5	20.4	12.8	37.2	22.3	20.2	7.4	
12.9	22.9	55.6	25.4	12.7	3.2	3.2	2040		17.1	28.6	27.9	32.8	14.8	19.7	4.9	
10.3	29.4	40.0	33.3	20.0	3.3	3.3	2035		13.2	32.4	12.9	37.1	24.2	21	4.8	
10	13.0	36.3	35.2	15.4	7.7	5.5	2030		16.0	22	17.4	31.5	20.7	25	5.4	
16.7	16.7	35.7	50	7.1	2.4	4.8	2030		20.8	18.8	12.2	43.9	19.5	19.5	4.9	
2.3	2.3	22.5	40.0	15.0	20.0	2.5	2025		0.0	4.7	19.5	41.5	12.2	24.4	2.4	
7.0	18.6	31.6	36.8	10.5	10.5	10.5	2025		9.3	20.9	21.1	36.8	13.2	15.8	13.2	
2.3	25.0	40.0	37.5	10.0	7.5	5.0	2030		2.3	25.0	19.5	43.9	22.0	9.8	4.9	

細目	トピック番号	トピック	回答者 (人)	回答者の 専門性(%)			研究開発特性 (指数)					技術的実現	
				高	中	低	重要度	国際競争力	不確実性	非連続性	倫理性	年	実現年幅
応用デバイス・システム (インフラ分野)	91	中間緩衝層なしで直接セラミックスに 接合できる鉄鋼材料	42	14	19	67	3.20	3.18	2.73	2.80	2.08	2024	
	92	超大橋など大規模構造物に利用できる 軽量高強度・高耐食の炭素系構造 材料	50	4	28	68	3.46	3.31	2.64	2.66	2.00	2025	

技術的 実現		技術実現のための 重点施策(%)					社会実装					社会実装のための 重点施策(%)				
実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	年	実装年幅	実現しない(%)	わからない(%)	人材戦略	資源配分	連携・協力	環境整備	その他	
11.9	21.4	38.9	38.9	13.9	2.8	5.6	2025		16.7	21.4	16.2	32.4	27.0	18.9	5.4	
6.0	10.0	27.7	36.2	19.1	6.4	10.6	2030		6.0	16.0	6.5	30.4	30.4	21.7	10.9	