JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	カーボンニュートラルに資する基盤的科学技術の将来展望 : 専門家アンケート結果と研究開発・政策の方向性
Author(s)	蒲生, 秀典; 小倉, 康弘; 黒木, 優太郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 312-316
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19269
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

１Ｄ２４

カーボンニュートラルに資する基盤的科学技術の将来展望
～専門家アンケート結果と研究開発・政策の方向性～

○蒲生秀典，小倉康弘，黒木優太郎（文部科学省 科学技術・学術政策研究所）
gamo@nistep.go.jp

1. はじめに

世界的な課題である地球温暖化に対応するため、我が国では 2020 年 11 月に 2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言、「グリーン成長戦略」を策定し、産業とエネルギー政策の両面で成長が期待される、エネルギー・製造からオフィス・家庭・ライフスタイルに至る 14 の重要分野について実行計画を示している。文部科学省科学技術・学術政策研究所(NISTEP)では、約 5 年毎に科学技術に関する大規模な予測調査を実施している。第 11 回科学技術予測調査[1]では、科学技術 7 分野を設定し、2050 年までの実現が期待される 702 の科学技術トピックを選定、産学官の専門家への Web アンケートによって、それぞれのトピックについて重要度、国際競争力、科学技術的・社会的実現時期、政策手段などの回答を得た。カーボンニュートラルに直接関わるトピックの多くは環境・資源・エネルギー分野において設定し既に評価を得ている。本研究では、カーボンニュートラルに資する基盤的科学技術として、マテリアル・デバイス及びバイオテクノロジー関連の革新技術や、ICT・サービスを活用した省エネ・省資源に関する科学技術トピック、並びにそれらの社会実装に伴う食、住居、教育、移動、ビジネスモデル、経済システム、経済格差・不平等に関わる社会トピックを新たに設定し、予測調査を実施した。

2. アンケート調査の概要

アンケート調査に先立ち、社会やライフスタイルの変容に関する先駆的な調査に係る資料の参照と並行し、産学官の専門家 22 名にヒアリングを行い、41 の科学技術トピックと 19 の社会トピック、計 60 トピックを設定した。アンケートは web 形式で、2022 年 12 月 20 日～2023 年 1 月 15 日にかけて実施した。それぞれのトピックについて重要度、国際競争力、科学技術的・社会的実現見通し、実現に影響の大きい要因、実現に向けた政策手段など、表 1 に示す各項目について質問し、産学官の専門家 790 名から回答を得た。

表 1 アンケート調査の質問項目

項目	内容	選択肢
重要度 （単数選択）	30年後の望ましい社会を実現する上で、日本にとっての現在の重要度	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない
国際競争力 （単数選択）	現在の日本が置かれた国際競争力の状況	非常に高い、高い、どちらでもない、低い、非常に低い、わからない
政策的取組の進展度 （単数選択）	各トピックに関連する政策的取組の進展の度合い	非常に進展している、進展している、どちらでもない、遅れている、非常に遅れている、わからない
社会的取組の進展度 （単数選択）	各トピックに関連する社会的取組の進展の度合い	非常に進展している、進展している、どちらでもない、遅れている、非常に遅れている、わからない
科学技術的実現見通し （単数選択）	日本を含む世界のどこかで技術的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない
科学技術的実現に影響の大きい要因 （複数選択可）	科学技術的実現に及ぼす影響の大きい要因	技術的要因、制度的要因、文化的要因、コスト面の要因、資金的要因、人材的要因、研究開発体制面の要因、その他
科学技術的実現に向けた政策手段 （複数選択可）	科学技術的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、研究開発費の拡充、研究基盤整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、倫理的課題への対応、その他
社会的実現見通し （単数選択）	日本を含む世界のどこかでの科学技術的な実現に続き、日本で社会的に実現する時期	実現済み、2025年以前、2026～2030年、2031～2035年、2036～2040年、2041～2045年、2046～2050年、2051年以降、実現しない、わからない
社会的実現に影響の大きい要因 （複数選択可）	日本での社会的な実現に及ぼす影響の大きい要因	技術的要因、制度的要因、文化的要因、個人の内発的要因、コスト面の要因、資金的要因、人材的要因、研究開発体制面の要因、その他
社会的実現に向けた政策手段 （複数選択可）	日本での社会的な実現に向け、求められる政策手段	人材の育成・確保、事業補助、事業環境整備、国内連携・協力、国際連携・標準化、法規制の整備、経済的インセンティブ付与、倫理的・法的・社会的課題への対応、その他

・科学技術的実現とは、所期の性能を得るなど技術的な環境が整う、例えば、研究室段階で技術開発の見通しがつくこと。または、原理・現象が科学的に明らかにされること。

・社会的実現とは、実現された技術が製品やサービス等として利用可能な状況となること、あるいは普及すること。

3. アンケート結果

アンケート結果を、社会的実現年順に年表形式で、表 2（科学技術トピック）及び表 3（社会トピック）に示す[1]。科学技術トピック及び社会トピック 60 件中、その大半の 57 トピックが 2040 年までに社会的に実現（社会実装）すると予測されている。AI による高精度な温室効果ガス排出量予測、1 週間以上の長期の天候予測精度向上による電力需要予測、社会活動の高精度予測による都市全体の省エネルギー化などの ICT 関連技術は 2035 年までの早期実現が予測された。マテリアルフロー（使用、分解、回収）を考慮した材料（素材、添加剤）設計、資源制約が少ない安価な材料使用の高性能蓄電池、低濃度 CO_2 濃縮などのマテリアル関連技術は 2034 年～2037 年という結果であった。水素細菌など微生物の活用、海洋における CO_2 貯蔵、CO_2 の光還元反応による炭素原子の再資源化、高性能燃料電池などマテリアルやバイオ関連技術の実現は 2037 年以降と予測された。社会トピックにおいては、サブスクリプションや代替食品、e-ラーニング等に関連するトピックは早期実現が予測されたが、自動運転車の導入や集約的管理、環境等に配慮した消費者感覚の醸成、サプライチェーン・インフラの再構築のように、今後さらに個人の行動、社会・経済システムの変質を要するトピックに関しては、より後期の実現が予測された。

次に、重要度が高いと評価されたトピックを表 4 に示す。重要度は上位 10 トピック中 8 トピックが、低濃度 CO_2 濃縮、マテリアルフロー、燃料電池、光還元反応による炭素原子の再資源化、蓄電池などのマテリアル関連技術であった。このうち、4 トピックは国際競争力指数も 0.5 以上（表 2 で太字/下線）と全トピック中でも上位 10 トピックに入る高い評価のトピック群である。ICT 関連や社会トピックではモビリティ関連のトピックの評価が高かった。

実現に向けて必要な政策手段について、各政策の選択割合が高いトピックを表 5 及び表 6 に示す。科学技術的実現では、自動運転車、電気自動車、燃料電池車など車の移動に関するトピックで法規制の整備が、炭素の再資源化、水素細菌による炭化水素の製造、バイオ技術を利用したレアメタル回収技術、インメモリコンピューティング関連トピックでは研究開発費の拡充が必要とされた。一方、社会的実現では、モビリティ関連に加え、税制の転換により行動変容を促すとするトピックで法規制の整備が多く選択された。また、教育拠点としての地域センターの形成に関するトピック、材料や人工酵素の開発に AI・シミュレーションを適用する技術で、人材の育成・確保が必要と評価された。

社会的実現に影響が大きいと考えられる要因について、各要因の選択割合が高いトピックを表 7 に示す。文化的要因が挙げられたのは、代替食品の普及や、ウォーキング・サイクリングが移動手段の中心となるといったトピックで、いずれも非常に高い選択割合となっている。次に、制度的要因では、自動運転車による配送の選択割合が非常に高く、LCA を通したサプライチェーンの再構築、温室効果ガスに関するデータプラットフォームの普及も高い評価となった。続いて、コスト面の要因が挙げられたのは、フレキシブル太陽電池、電気自動車が中心となるスマートシティ、水素細菌による炭化水素製造である。技術的要因では、低貴金属燃料電池、光触媒による炭素原子の再資源化、インメモリコンピューティングの選択割合が高い。文化的・制度的要因には社会トピックが多く、コスト面や技術的要因では科学技術トピックが上位を占めた。

4. まとめ（研究開発・政策の方向性）

産学官の専門家へのアンケートの結果、貴金属触媒量の少ない高性能燃料電池、水の光分解触媒と CO_2 光還元による炭素原子の再資源化、安価な材料で高性能な蓄電池などの革新技術が、特に重要度と国際競争力が共に高いと評価された。このような革新技術の研究開発では、社会的実現（社会実装）には技術的な要因が高いと評価され、人材確保や研究開発費、研究基盤整備の充実が不可欠である。一方、計算科学、データ科学を活用し社会実装に繋げる科学技術の重要度は高いが、国際競争力が比較的低く、特に政策手段として人材の育成・確保が必要とされた。また、CO_2 や希少資源の回収・利用など環境関連技術やインメモリコンピューティング技術では、研究開発費の拡充が必要との結果となった。社会トピックにおいては、モビリティに関連するトピックの重要性が高く評価され、またこれらモビリティやそれを通したエネルギーの活用といったトピックの社会的実現に必要な政策手段として、技術開発段階からの法規制の整備が必要とされた。

[1] 科学技術的・社会的実現年は、得られた回答を時期の早い順に並べ、その両端の 1/4 を除いた中間の 1/2 の幅に関し、その中央値を実現予測時期の代表値として示している。したがって代表値は、「その年までに実現すると全回答者の約半数が予測している時期」を意味する。

表 2 科学技術トピックの社会的/科学技術的実現年

社会実現年	科学技術実現年	分野	科学技術トピック
2031	2028	ICT	実空間における実演を遥かに超えたUn-Realなエンターテイメントがメタバース上で普及し、物理的なイベントが低頻度・高価格化する
			環境価値の取引において、改ざん等の不正を防止するブロックチェーン技術
2032			ウェアラブルセンサ等を用いて、従業員の心身の健康状態を予測し、個別に適切な働き方を推奨することで、従業員エンゲージメントと生産性が向上する
	2029		人工知能技術を用いた映像解析による、高精度な温室効果ガス排出量予測技術
2033			出勤による冷暖房効率化、移動に伴う温室効果ガス排出、天候による発電量変化などを総合的に勘案し、日ごとの推奨テレワーク率を予測するシステム
			IoTとデジタルデータ活用の進展により、電化製品についてはオフラインのものも稼働状況が全て計測され、廃棄（回収）時に記録され、リサイクルや少資源製品設計に活用される
	2030		IoTやウェアラブルセンサーを活用して、個人・時間単位での二酸化炭素排出量を収集・可視化するシステムが構築される
2034	2029		都市やサプライチェーンにおける、温室効果ガス排出が集計できるデータプラットフォーム（データ蓄積、交換、およびそのための制度）が確立し、世界の半数以上の国で普及する
	2031	マテリアル	シミュレーションによる予測とIoTを用いた構造ヘルスモニタリングによるリアルタイムの実測を活用して、現状の実測データのみでの保証に変えて、環境性能に最適化された材料・構造を迅速かつ低コストで保証するシステムが確立される
		ICT	1週間以上の長期の天候予測精度が向上し、波及的に天候の影響を大きく受ける電力需要や自然エネルギーによる電力供給の予測精度が向上する
			各種予測技術の向上により、各種生産プロセスにおける過剰生産が相対的に低下し、廃棄物が大幅に低減する
	2032	マテリアル	高速次世代通信5G/6Gを実現するガラス・塗料・建材一体型アンテナ及びその材料
2035			輸送機器向けの高強度かつ高延性（鉄鋼材料45GPa%、アルミ合金15GPa%）の超軽量構造材料
			蓄電池の内部構造劣化状態と寿命の可視化・データ共有が可能となり、リユース及びリサイクルシステムが確立する
		ICT	複雑な社会現象をシミュレーションすることができるエージェントシミュレーションを活用した、社会活動の高精度な予測が可能となり、スマートシティ機能がその状況に応じて都市を最適化することで、都市全体の省エネルギーが進展する
			スマートシティに含まれるスマート機器が、自然環境や社会環境の変化に応じて、動的にソフトウェアの動きや機器構成を更新する都市OS（オペレーティングシステム）技術が確立する
2036		マテリアル	材料に関する情報のデジタル化が進み、マテリアルフロー（使用、分解、回収）を考慮した材料（素材、添加剤）設計が主流となる
			使用時は耐久性が高く、使用後は海水や太陽光などの自然環境で容易に分解でき、海洋生態系への影響が小さい可食化プラスチック
			資源制約が少ないナトリウム系などの安価な材料を用い、高エネルギー密度かつ安全性が高く、サイクル寿命の長い蓄電池
			特定の波長を吸収して、窓と一体化可能あるいは夜間でも発電できる、軽量・フレキシブルで都市や景観に調和する太陽電池
			物理的なシミュレーションと社会・人間行動のシミュレーションを組み合わせることによって、その社会的インパクト、行動の変容までを考慮した温室効果ガス排出量低減効果の評価が可能となる
		バイオ	生物機能を用いた物質製造や設計を目的とした、バイオ関連情報とマテリアル関連情報とを統合したデータベースの整備
		ICT	イン・メモリ・コンピューティング（in-memory-computing：全てのデータをメモリー上に持つことにより、高速に処理する技術）の普及により、大規模データを用いた計算が10万倍位高速に処理できるとともに、計算に伴う消費電力量が大幅に低下する
			電気自動車(EV)を中心としたモビリティが普及し、EVと電力網が協調し調和がとれた電力供給が実現したスマートシティが、国内6都市以上で実現する
2037		バイオ	人工酵素（完全にプログラム可能なタンパク質触媒）の開発のための、既存のタンパク質構造予測システムを超える、AI・シミュレーション技術
	2033	マテリアル	使用中は長寿命で物性を維持するが、リサイクルしたい時にスイッチが入るかの如く、接着面の剥離、接着剤のみの分解などが進み、部材のポリマー（重合体）の分解をせずにリサイクルが可能な、スイッチ型リサイクル材料技術
			大気中の低濃度のCO_2を分離膜などにより濃縮する技術
			計算材料科学の進展、AI技術の適用により材料レベルからのデジタル・ツインの構築が可能となり、デジタル空間上での製造物設計と統合され、材料製造プロセスにおける温室効果ガス排出量を最適化した材料開発が可能となる
		バイオ	水素とCO_2を原料に水素細菌などの微生物を用いて炭化水素等を製造する技術
			漁場良化をもたらす、海洋におけるCO_2貯留技術
	2034	マテリアル	リマニュファクチャリング製品（使用済み製品からの再生製品）が新品製品の一部を代替し、新品生産額の50%を占めるようになる
		ICT	量子コンピュータを用いた最適マッチング技術により、食糧の需給調整やフードサプライチェーンにおける入出荷の最適調整が実現し、フードロスが低減する
2038	2033	バイオ	沿岸海域の海洋主要元素・物質（窒素・炭素など）動態の全体把握と、高光合成能藻類等を含む最適生態系構築による、高生産性ブルーカーボン利用システム（湖等の淡水域についても）
		ICT	意図的に降雨を引き起こす技術（人工降雨技術）が確立し、産業界等で一定程度活用される
	2035	マテリアル	400℃以下で発電可能で、発電効率70%以上の固体酸化物形燃料電池
2039	2036		太陽光による水分子の光分解触媒の探索およびCO_2の光還元反応による炭素原子の再資源化技術
	2037		バイオマスや炭酸ガスなどを100%の原料とし、原油や鉱物資源を全く使わずに作られるデジタルファブリケーション（原理的に少資源が可能な3Dプリンターなど）専用の構造材料や機能性材料
2040			貴金属触媒使用量が対2021年比で10分の1以下となる、発電効率80%以上の固体高分子形料電池
2041	2034	バイオ	合成生物学的にデザインされた微生物やバイオ材料を利用した、省エネルギー・低コストで実用的な、鉱石や廃棄物等からのレアメタル等金属資源の回収・抽出技術（バイオリーチングを含む）
2043	2039	マテリアル	現在のスパコン程度の性能を1チップで実現可能な、光デバイスを半導体チップの中に一体化した光電融合プロセッサ
2047	2041	バイオ	テラフォーミング（惑星地球化計画）を目指した、砂漠等過酷環境での生態系構築のための、土壌微生物叢・植物等生物群の合成生物学的デザイン

・ICT：ICT・アナリティクス・サービス分野、マテリアル：マテリアル・デバイス・プロセス分野、：バイオ：農林水産・食品・バイオテクノロジー分野

表 3 社会トピックの社会的実現年

社会的実現年	分類	社会トピック
2030	ビジネスモデル	製品（日用品を含む）の所有に対する支払から、機能に対する支払(リース・シェア・サブスクリプション)に転換し、維持・適応サービスの向上により、製品当たりの利用期間が長期化する
2031	教育	地域センターがe-ラーニングの拠点となり、学生たちの学習・他の学生との中心的な意見交換・活動の場になる
2032	食	外食中心の健康的な食生活が普及し、過剰な食糧の利用が回避されることで、社会全体の食糧需要が抑えられ、フードロス・物流費用が低減される
2033	食	温室効果ガス排出削減、フードセキュリティ対策として代替食品（昆虫食・人工肉等）が普及する
		各種メディアを通して健康的・合理的な食生活の認識・実践が普及することで、食糧需要が抑えられ、フードロス・物流費用が低減される
		フードシェアリングの普及、食糧の消費に関する情報利用技術の発展により、フードロスが極小化される
	ビジネスモデル	物的な財は、デポジットを含んだ価格付けによって販売されたり、公共調達において再利用・再生品の利用が優先されるなどして、モノの生産・消費・廃棄の流れからリユース・リマニュファクチャリング・リサイクルシステムへの転換が起こる
		製品のモジュール化・部品の規格化が進展してリサイクルが容易な生産システムに移行するとともに、使用済み製品の収集システムの確立及び製品の修理を行う専門業者が配置されるなどにより、同一地域内で完結する生産・資源回収システムが構築される
		大企業だけでなく中小事業者にも利用可能な簡便なLCA（ライフサイクルアセスメント）ツールキットが普及することで、サプライチェーンを通した環境データの透明化により、環境コストに基づく消費の選択が可能になる
		マテリアルフローの把握により、サプライチェーンの各段階における温室効果ガス排出削減ポテンシャルが明確になることで、排出削減に伴う経済への負の影響を極小化する
2034	食	物流におけるエネルギー・温室効果ガス排出費用の上昇に伴い、食料の地産地消が主流になる
	移動	集中的に管理された自動運転車が商品の配送等に活用されている
		日常的な移動は、ウォーキングやサイクリングのような手段が中心となっている
		市内交通への電気自動車、中長距離交通へのプラグインハイブリッド・燃料電池車等、適材適所でモビリティが配置される
	経済システム	脱炭素に向けて個人の行動変容を促すため、労働ベース（所得税）から物質ベース（炭素排出量）の課税に転換されるとともに、元来環境負荷が高い産業部門への影響を勘案し、転換の補償としてベーシックインカムを配分する
2035	住居	家計による電気自動車等を利用した蓄電・余剰電力の取引を含めた、地域内の自律的再生可能エネルギーシステムが確立している
2036	経済格差・不平等	LCA（ライフサイクルアセスメント）を通して資源の生産・調達経路を認識することで、国家戦略として環境・人権に配慮した持続性規準、サプライチェーンを再構成する
2037		サプライチェーンを通した環境負荷と経済格差との関連について世間一般に認識されることで、環境公正・気候公正に対する消費者の認識が醸成され、消費行動の変容を通して公平性に配慮した経済システムに移行する。
2040	住居	公共スペースや集合住宅の設計の向上により、地域の中心都市に住宅・都市機能が集積したコンパクトシティが形成され、都市区域内のエネルギー利用効率が向上する

表 4 重要度指数上位 10 トピック （太数字/下線は、国際競争力指数が上位 10 以内のトピック）

	重要度	国際競争力	分野	トピック
1	1.42	0.42	マテリアル	大気中の低濃度のCO2を分離膜などにより濃縮する技術
2	1.36	0.38	マテリアル	材料に関する情報のデジタル化が進み、マテリアルフロー（使用、分解、回収）を考慮した材料（素材、添加剤）設計が主流となる
3	1.34	**0.82**	マテリアル	貴金属触媒使用量が対2021年比で10分の1以下となる、発電効率80%以上の固体高分子形料電池
4	1.29	0.15	ICT	電気自動車(EV)を中心としたモビリティが普及し、EVと電力網が協調し調和がとれた電力供給が実現したスマートシティが、国内6都市以上で実現する
5	1.27	**0.84**	マテリアル	太陽光による水分子の光分解触媒の探索およびCO2の光還元反応による炭素原子の再資源化技術
6	1.25	0.22	マテリアル	バイオマスや炭酸ガスなどを100%の原料とし、原油や鉱物資源を全く使わずに作られるデジタルファブリケーション（原理的に少資源が可能な3Dプリンターなど）専用の構造材料や機能性材料
7	1.24	**0.74**	マテリアル	資源制約が少ないナトリウム系などの安価な材料を用い、高エネルギー密度かつ安全性が高く、サイクル寿命の長い蓄電池
	1.24	0.25	社会（移動）	市内交通への電気自動車、中長距離交通へのプラグインハイブリッド・燃料電池車等、適材適所でモビリティが配置される
9	1.22	0.40	マテリアル	リマニュファクチャリング製品（使用済み製品からの再生製品）が新品製品の一部を代替し、新品生産額の50%を占めるようになる
10	1.21	**0.86**	マテリアル	400℃以下で発電可能で、発電効率70%以上の固体酸化物形燃料電池

表 5 科学技術的実現に向けた政策手段の選択割合が高いトピック

政策手段	選択割合	分野	トピック
法規制の整備	82%	社会（移動）	集中的に管理された自動運転車が商品の配送等に活用されている
	70%	ICT	電気自動車(EV)を中心としたモビリティが普及し、EVと電力網が協調し調和がとれた電力供給が実現したスマートシティが、国内6都市以上で実現する
	66%	社会（移動）	市内交通への電気自動車、中長距離交通へのプラグインハイブリッド・燃料電池車等、適材適所でモビリティが配置される
研究開発費の拡充	67%	マテリアル	太陽光による水分子の光分解触媒の探索およびCO_2の光還元反応による炭素原子の再資源化技術
	67%	バイオ	水素とCO_2を原料に水素細菌などの微生物を用いて炭化水素等を製造する技術
	66%	バイオ	合成生物学的にデザインされた微生物やバイオ材料を利用した、省エネルギー・低コストで実用的な、鉱石や廃棄物等からのレアメタル等金属資源の回収・抽出技術（バイオリーチングを含む）
	66%	ICT	イン・メモリ・コンピューティング（in-memory-computing：全てのデータをメモリー上に持つことにより、高速に処理する技術）の普及により、大規模データを用いた計算が10万倍位高速に処理できるとともに、計算に伴う消費電力量が大幅に低下する

表 6 社会的実現に向けた政策手段の選択割合が高いトピック

政策手段	選択割合	分野	トピック
法規制の整備	87%	社会（移動）	集中的に管理された自動運転車が商品の配送等に活用されている
	68%	社会（移動）	市内交通への電気自動車、中長距離交通へのプラグインハイブリッド・燃料電池車等、適材適所でモビリティが配置される
	62%	社会（経済システム）	脱炭素に向けて個人の行動変容を促すため、労働ベース（所得税）から物質ベース（炭素排出量）の課税に転換されるとともに、元来環境負荷が高い産業部門への影響を勘案し、転換の補償としてベーシックインカムを配分する
人材の育成・確保	65%	社会（教育）	地域センターがe-ラーニングの拠点となり、学生たちの学習・他の学生との中心的な意見交換・活動の場になる
	64%	マテリアル	計算材料科学の進展、AI技術の適用により材料レベルからのデジタル・ツインの構築が可能となり、デジタル空間上での製造物設計と統合され、材料製造プロセスにおける温室効果ガス排出量を最適化した材料開発が可能となる
	62%	バイオ	人工酵素（完全にプログラム可能なタンパク質触媒）の開発のための、既存のタンパク質構造予測システムを超える、AI・シミュレーション技術

表 7 社会的実現に影響が大きいと考えられる要因の選択割合が高いトピック

	選択割合	分野	トピック
文化的要因	81%	社会（食）	温室効果ガス排出削減、フードセキュリティ対策として代替食品（昆虫食・人工肉等）が普及する
	74%	社会（移動）	日常的な移動は、ウォーキングやサイクリングのような手段が中心となっている
制度的要因	80%	社会（移動）	集中的に管理された自動運転車が商品の配送等に活用されている
	69%	社会（経済格差）	LCA（ライフサイクルアセスメント）を通して資源の生産・調達経路を認識することで、国家戦略として環境・人権に配慮した持続性規準、サプライチェーンを再構成する
	67%	ICT	都市やサプライチェーンにおける、温室効果ガス排出が集計できるデータプラットフォーム（データ蓄積、交換、およびそのための制度）が確立し、世界の半数以上の国で普及する
コスト面の要因	74%	マテリアル	特定の波長を吸収して、窓と一体化可能あるいは夜間でも発電できる、軽量・フレキシブルで都市や景観に調和する太陽電池
	68%	ICT	電気自動車(EV)を中心としたモビリティが普及し、EVと電力網が協調し調和がとれた電力供給が実現したスマートシティが、国内6都市以上で実現する
	67%	バイオ	水素とCO_2を原料に水素細菌などの微生物を用いて炭化水素等を製造する技術
技術的要因	68%	マテリアル	貴金属触媒使用量が対2021年比で10分の1以下となる、発電効率80%以上の固体高分子形料電池
	68%	マテリアル	太陽光による水分子の光分解触媒の探索およびCO_2の光還元反応による炭素原子の再資源化技術
	66%	ICT	イン・メモリ・コンピューティング（in-memory-computing：全てのデータをメモリー上に持つことにより、高速に処理する技術）の普及により、大規模データを用いた計算が10万倍位高速に処理できるとともに、計算に伴う消費電力量が大幅に低下する

参考文献

[1] 「第 11 回科学技術予測調査 S&T Foresight 2019 総合報告書」、NISTEP REPORT、No.183、文部科学省科学技術・学術政策研究所 DOI: https://doi.org/10.15108/nr183