

# 概要

## 1. 背景と目的

科学技術・学術政策研究所では、1971年から約5年毎に科学技術予測調査を実施しており、科学技術基本計画が策定されるようになって以降、その策定スケジュールに合わせて調査を実施してきた。第11回科学技術予測調査(以降、第11回調査)では、第6期科学技術・イノベーション基本計画を始めとする科学技術イノベーション政策・戦略の検討に資する基礎的な情報を提供することを目的として、科学技術発展と社会の未来について検討を行った。

第11回調査のうち「科学技術の未来像」検討のパートにおいては、対象分野として7分野を設定し、2050年までを見通して実現が期待される研究開発課題を「科学技術トピック(以下、トピック)」として各分野約100件ずつ、計702件設定した。

検討の際、科学技術トピック候補の抽出に当たっては、「ホライズン・スキャニング」で得られた細目別情報を参照した。情報の種類は以下の通りである。

ホライズン・スキャニング(HS)により収集した細目別情報

情報種類	HS分類*	項目	情報源
研究情報	—	科学技術トピック	「第10回科学技術予測調査分野別科学技術予測」の科学技術トピック計932件から抽出(関連度の高い10件)
	将来見通し/動向	注目研究領域	「サイエンスマップ2016」から関連領域を抽出(細目単位ではなく分野単位で抽出)
			「研究開発の俯瞰報告書2017年度版」(科学技術振興機構)から抽出(関連度の高い10件)
	兆し/動向	研究テーマ	クローリングにより収集した大学等研究機関のプレスリリースから抽出(関連度の高い10件)
科学研究費助成事業データベース KAKEN から抽出(関連度の高い100件)			
	将来見通し/目標		トップダウン型の競争的資金(文部科学省、JSPS、JST、NEDO等)に関する情報(関連度の高い件数、金額、件名例)
政策情報	将来見通し/目標		クローリングにより収集した政府審議会等の議事録から抽出(関連度の高い10件)

(注)\*ホライズン・スキャニングにおいては、認知度及び方向性の観点から情報を特徴づけた。認知度については、「将来見通し(専門家・有識者間あるいは社会一般の中で一定程度の共通認識)」と「兆し(個人的あるいは一部の見解)」に分類。方向性については、「動向(価値観や願望を含まない客観的な方向性)」と「目標(目指すべき規範的な方向性)」に分類。

これらの提供情報について、第11回調査の分野別分科会における科学技術のトピック設定においては、先述したとおりホライズン・スキャニングで得られた研究情報として、「第10回科学技術予測調査分野別科学技術予測」「サイエンスマップ2016」「研究開発の俯瞰報告書2017年度版」を提供していた。これらの情報はそれぞれが膨大な調査結果であり質の高い情報である一方で、参照に時間がかかり、科学技術予測調査の実施時期にあわせているわけではないためにタイムラグが存在していた。

また、タイムラグの無い情報として、クローリングにより収集した大学等研究機関のプレスリリース、科学研究費助成事業データベース KAKEN、その他競争的資金(文部科学省、JSPS、JST、NEDO等)に関する情報(関連度の高い件数、金額、件名例)などの情報を提供してい

た。これらの情報については、タイムラグは無いものの情報量が膨大で参照に時間がかかり、また、機械的な手法であるために専門家の視点が必要であった。

そこで本調査では、次期科学技術予測調査における科学技術トピック検討に資する基礎情報を随時得るために、現在注目される科学技術をアンケートで収集し、科学技術キーワードを抽出整理する。また、今後も毎年同様の調査によって注目科学技術及びキーワードを蓄積する。これらの情報は、次回科学技術予測調査時に、タイムラグの少ない専門家の視点として情報提供する。また、次の予測調査の目的に限らず、科学技術の動向調査としても活用する。なお、本調査は専門家が注目する科学技術を「注目科学技術」とし、専門家の最新の知見を毎年幅広く収集・蓄積し、得られた結果を精査・分析して公表するものである。

## 2. 方法

科学技術・学術政策研究所が保有する専門家ネットワークの専門調査員に対し、①現在注目している科学技術の有無と、注目している科学技術が有る場合には続けて②当該科学技術の概要、③当該科学技術の実現予測時期(10年未満/10年以上)、④当該科学技術の実現に向けて必要となるブレイクスルーの4項目を尋ねるアンケートを実施した。アンケート調査の概要を概要図表1に示す。

概要図表1 アンケート調査概要

調査時期	2020年12月21日～2021年1月8日
質問項目	Q1. あなたが現在注目している科学技術はありますか(単一選択) 選択肢(二択):ある・ない (一人につき最大3回まで「ある」と回答可能。「ない」と答えた時点で回答終了。) Q2. その注目科学技術の概要をご説明ください(自由記述・最大1000字) Q3. その注目科学技術について、いつ頃の実現が想定されますか(単一選択) 選択肢(二択):10年未満に実現・10年以上に実現 Q4. その注目科学技術の実現に向けてブレイクスルーが必要であれば、その内容を教えてください(自由記述・最大1000字)
形式	オンライン(専用ウェブサイト開設)
回答者	NISTEP 専門家ネットワークの専門調査員 1914名
回答状況	1017名(回答率53%)
回答数*	984件

(注)\*注目科学技術に関する回答数の合計。一人で複数回答した場合や「ない」とだけ答えた場合もあるため、回答者数と回答件数は一致していない。

その後、アンケートで得られた注目科学技術について、第11回科学技術予測調査の分野分類と対応付けた。紐付けは機械的なものと人間による評価を組み合わせたハイブリッド方式を採用した。

まず、自由記述に記載された技術の概要(以下、単に自由記述という)に対し、デルファイ調査における7分野702トピックを類似度ベースで機械的に複数紐付けた。次に、それらの結果を候補として、人間が確認し、妥当と思われる分野に割り付けた。ここで、自由記述と702トピックの間に単語そのものが重複するケースは多くない。そこで類似度の算出には分散表現と呼ばれる技術をもちい、単純な単語一致よりも柔軟な算出を行った。なお、具体的な手法や分散表現辞書は過去の文献<sup>1</sup>のものを適用した。さらに、割り振られた各注目科学技術についても同様にハイブリット方式によって科学技術キーワードを抽出した。

<sup>1</sup> 小柴 等, 森川 想:議事録を用いた我が国における議会・行政の関係性分析手法, 人工知能学会論文誌, Vol. 34, No. 5, p. E-J47\_1-10 (2019)

### 3. 分野別結果

#### 3.1. 健康・医療・生命科学分野

概要図表 2 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。アンケートでは、新型コロナウイルス感染症を含めた新興感染症対策関連、再生・細胞医療関連、遺伝子治療関連、イメージング関連、合成生物学関連の科学技術が多く見られた。特に、世界的なコロナ禍への対処として、現在研究開発が進んでいるワクチンや治療薬を含めて多くの科学技術が出された。

概要図表 2 今回調査の科学技術キーワード等(健康・医療・生命科学分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11回でとりあげたキーワード
1	医薬品(再生・細胞医療製品、遺伝子治療製品を含む)	再生医療、細胞治療、遺伝子治療、抗ウイルス薬、幹細胞、iPS-ES 細胞、オルガノイド、リプログラミング、人型モデル動物による薬剤評価技術	再生医療、細胞医療、遺伝子治療、抗ウイルス薬、タンパク質間相互作用、核酸医薬、細胞内、DDS (Drug Delivery System)、幹細胞、iPS-ES 細胞、初期化、細胞プリンティング、同種移植、自己免疫疾患、ゲノム編集、人工臓器、オルガノイド、人工知能・シミュレーション技術
2	医療機器開発	光イメージング技術、超音響イメージング技術、リアルタイムイメージング(リアルタイムマイクロ波イメージング等)、ロボット技術(手術支援・介護ケア)、ニューロフィードバック技術(ニューロリハビリ機器)、人工知能による画像識別技術	介護機器、非侵襲診断機器、統合的医療ソフトウェア、がん細胞孤立化治療材料、微小血管吻合支援機器、ウェアラブル透析装置、超分散ホスピタル、モニター機器、外科医の熟練手技、ナノテク医療、在宅医療機器、排泄補助機器、ニューロリハビリ機器
3	老化及び非感染性疾患	細胞老化(senolytic 治療)、生殖細胞、生殖医療、人工子宮	非感染性疾患(NCD)、早期診断、予防、非侵襲、免疫、アレルギー、生活習慣、がん、疲労、オミックス、老化、生殖細胞、臓器連関、メタゲノム、栄養、運動
4	脳科学(精神・神経疾患、認知・行動科学を含む)	ブレインテック、ニューロフィードバック技術、ニューロモジュレーション、全脳シミュレーション、オプトジェネティクス	神経回路、ニューロン-グリア相互作用、記憶・学習、認知・情動、意識、社会性、神経変性疾患、認知症、統合失調症、抗精神薬、うつ病、双極性障害、気分安定薬、依存症、自閉スペクトラム症、深部脳刺激療法、神経筋疾患、睡眠障害
5	健康危機管理(感染症、救急医療、災害医療を含む)	新興・再興感染症、病原微生物、ワクチン、サーベイランス、モニタリング、消毒、抗体医薬品、中和抗体、アジュバント、感染症検査技術、安全保障	新興・再興感染症、病原微生物、薬剤耐性菌、ワクチン、サーベイランス、消毒、抗体医薬品、災害医療、救急医療、血液代替物、集中治療、トリアージ、多臓器不全、マスクギャザリング、病院前救急診療、航空医学
6	情報と健康、社会医学	ウェアラブルセンサー、スマートデバイス、診療情報、個人情報、人工知能活用、社会疫学、健康の科学、ELSI(倫理的・法的・社会的課題)	ウェアラブルセンサー、スマートデバイス、電子カルテ、診療情報、ゲノム情報、医療用人工知能、遺伝-環境相互作用、地域保健、環境医学、社会疫学、DOHaD (Developmental Origins of Health and Disease)、医療安全、健康格差、気候変動、ELSI(倫理的・法的・社会的課題)
7	生命科学基盤技術(計測技術、データ標準化等を含む)	デザイナー細胞、 <i>in vitro</i> 個体発生技術、1 細胞解析、微細領域イメージング	計算生物学、人工細胞、動的ネットワークバイオマーカー、脳機能イメージング、1 細胞解析、生体分子相互作用、蛋白質の動的構造解析、ゲノム情報データベース、非コード領域の機能解析、実験環境、量子計測

### 3.2. 農林水産・食品・バイオテクノロジー分野

概要図表 3 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。今回調査の科学技術はすべて、第 11 回調査で用いた細目のいずれかに当てはまる。また、第 11 回調査と同一のキーワードとして、「昆虫資源」・「環境 DNA」・「エピゲノム制御」が示された。しかし、その他のキーワードにおいても、類似の表現やワードが多く見られた。

一方、今回調査で挙げられた「葉面微生物の活用」、「クローン繁殖(ギンブナ)の人為的再現」、「寄生植物の自殺発芽剤」に関しては、第 11 回調査の科学技術トピックに類似するものはなかった。

概要図表 3 今回調査の科学技術キーワード等(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11 回でとりあげたキーワード
1	生産エコシステム	土壌微生物の活用、葉面微生物の活用、ゲノム編集による育種短縮化、スマート農業(AI・IoT・ロボット等利用)、環境負荷低減の生産、高付加価値農林水産物生産、土を使わない農業生産	野生種の栽培作物化、機能的な高分子等生産技術、閉鎖型陸上循環養殖、環境負荷低減飼料、伐採等自動化技術、生育予測・診断システム、自動化・無人化循環型植物工場、育種の超高速化、生態調和型農業生産システム、農業ロボット
2	フードエコシステム	電磁場による保蔵技術、窒素ロス低減、昆虫資源利用、培養肉製造、	データ駆動型食糧生産、食品加工 CPS、デジタルマーケティング、人工タンパク質、調理ロボット、トレーサビリティ、美味しさの設計、フードミクス、フードロス、新保蔵技術、昆虫資源、フード 3D プリンター、食の EC 化、フードエコシステム
3	資源エコシステム	環境 DNA 利用調査、自然エネルギーと水産業の共生、サンゴ礁再生	魚類生殖細胞バンク、高度ライフタイムロギング、革新的獣害防止技術、病害虫対策技術、災害防止の森林管理技術、ICT 養殖管理、森林地質自動把握技術、海洋プラスチックゴミ、環境 DNA、環境生態インパクト評価
4	システム基盤	人工衛星による高分解能モニタリング、生物多様性のための新規モニタリング手法、画像処理応用による小型生物調査、水中生物のモニタリング技術、遠隔データの自動取得	農林水産資源広域モニタリングシステム、地球規模センサーネットワーク利用、全球グリッドデータベース化、資源変動予測・管理技術、高空間・高時間解像度気象予測、ICT 漁場管理、ICT 森林管理技術、微生物リアルタイムモニタリング
5	次世代バイオテクノロジー	生殖細胞分化技術、クローン繁殖再現技術、エピゲノム制御、遺伝子工学操作の効率化、植物応答の可視化、寄生植物の自殺発芽、害虫行動管理	生殖細胞作出技術、生育シミュレーション、ゲノム改変技術、窒素固定能付与、異種移植、昆虫の行動制御・監視技術、植物機能の包括的可視化、萌芽更新促進技術、CO2 大量・大規模固定、エピゲノム制御、高精度作物モデリング、生物記憶解読
6	バイオマス	木質バイオマスによるゼロエミッション化、藻類バイオエネルギー、非可食バイオマスからの化学品合成	植物性繊維分解利用技術、耕畜連携生産システム、中高層木造構築物、高耐久木材、高効率低コスト発電・熱利用技術、生分解性・光分解性素材、化石資源由来製品代替化、副産物の付加価値化
7	安全・安心・健康	微生物による土壌浄化、高齢社会のための機能性食品	人獣共通感染症病原体排除技術、フードディフェンスシステム、食・健康医療のためのビッグデータと AI 技術、防除資材開発システム、重金属・放射性物質、無病化処理技術、トレーサビリティ
8	コミュニティ	アニマルウェルフェアの普及、コミュニティ再生	家族農業、ネットワーク、バイオエコノミー、森林療法、食料需給予測、水産資源管理、伝統的な調理法、水産物のトレーサビリティ、コミュニティの見える化、ブロックチェーン、SDGs、多世代共創

### 3.3. 環境・資源・エネルギー分野

概要図表 4 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。カーボンゼロやカーボンフリーといった低炭素社会実現に向けて、気候変動や再生可能エネルギーに関連する技術が多く見られた。

エネルギーに関しては、現在、オリンピックを契機に水素技術の普及が進展しているが、これまでの調査ですでに取り上げられている水素の貯蔵、製造の効率化など、水素関連技術が出された。その他、CO<sub>2</sub> 排出低減、低炭素社会を実現するためのエネルギー効率化や、蓄電、核融合といったこれまですでに取り上げられている技術があげられた。第 11 回科学技術予測調査では、本分野で担当しなかった材料やフロンティア分野に関する意見も出された。

概要図表 4 今回調査の科学技術キーワード等(環境・資源・エネルギー分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11 回でとりあげたキーワード
1	エネルギー変換	イオン交換膜による水素製造、水電解による大規模水素製造、余剰電力による燃料合成(e-Fuel)、再生可能エネルギーによる水素・アンモニア合成、アップコンバージョン技術、アンモニア直接燃焼・混焼技術、小型原子炉、宇宙エネルギー伝送、各種発電(核融合、宇宙太陽光、地熱、洋上風力、海洋温度差、海流・潮流、波力)	エネルギー生産、エネルギー消費、エネルギー輸送、CO <sub>2</sub> 回収・低減、炭化水素合成、再生可能エネルギー、センシング・モニタリング、ヒートポンプ・熱変換、法整備・経済性
2	エネルギーシステム	水素運搬・貯蔵、水素貯蔵タンクの先進材料、(マイクロ波等による)無線電力伝送、超伝導直流送電、非接触給配電、家庭用小規模発電・蓄電、高密度エネルギー電池、全固体電池、燃料電池、潜熱蓄熱エネルギー貯蔵、	再生可能エネルギー、余剰電力利用、送電、電力貯蔵、水素等の長距離輸送、水素等の大規模貯蔵、電力取引、電力需給制御、未利用熱
3	資源開発・リデュース・リユース・リサイクル(3R)	CO <sub>2</sub> 回収・利用、窒素固定・資源化、レアメタル(リチウム等)の回収、海底鉱物資源活用、プラスチック分解・油化・ガス化、海洋由来ポリマー・疑似プラスチック形成、バイオマス資源を用いた資源型処理技術	金属資源・非金属資源、石油資源、地熱資源、環境、シェアリング・サービサイジング、省力化・自動化、資源効率、廃棄物のエネルギーとしての活用、リサイクル、サーキュラーエコノミー
4	水	井戸水のフッ素・窒素化合物除去技術、廃水中の窒素化合物資源化、海水・雨水の飲料水化、4次元水循環解析、	地下水マップ、連続モニタリング、ゲリラ豪雨、水管理技術、下水処理技術、浄水技術、汚染水浄化再利用技術、水質指標、水圏マイクロプラスチック、環境科学技術
5	地球温暖化	CO <sub>2</sub> 直接回収技術、低コスト・低エネルギー CO <sub>2</sub> 固定、沿岸生態系(藻場、湿地等)による二酸化炭素隔離(ブルーカーボン)、高精度気候変動予測、気象コントロール技術、気候変動対策の評価技術、気候変動・生物多様性の統合的評価	温室効果ガス、化石燃料、気候変動、異常気象、将来予測、大気、海洋、生態系、氷床、水、食糧
6	環境保全(解析・予測・評価、修復・再生、計画)	小型・高精度大気汚染物質計測装置、大気中の複合汚染物質除去、放電プラズマによる環境浄化技術、汚染物質の選択的吸着、微生物による土壌浄化	土壌修復技術、除染技術、病原微生物検知システム、外来種の移動拡散、越境大気汚染、遺伝的多様性、環境負荷管理、生物多様性、植生維持管理
7	リスクマネジメント	海域環境リスク評価、雷放電のトリガー解明、LSI の破壊・誤動作を防ぐ環境電磁工学技術	生物多様性、環境リスク、レジリエンス、安全規制、ナノ粒子、化学物質、放射線、自然災害

### 3.4. ICT・アナリティクス・サービス分野

概要図表 5 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。今回の調査を細目別に見ると、コンピュータシステム、データサイエンス・AI に関する回答が多く見られた。最も多く回答が見られた科学技術は「量子コンピューティング」であり、次いで「AI」「データ」であった。AI・ビッグデータを解析する次世代コンピュータとして、量子コンピューティングの技術開発への期待が伺える。

概要図表 5 今回調査の科学技術キーワード等(ICT・アナリティクス・サービス分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11 回でとりあげたキーワード
1	IoT・ロボティクス	ソフトロボティクス、テレプレゼンスロボット、介護用ロボット、高度な遠隔操作を可能とする高精度ロボット制御技術、身体動作を拡張するテクノロジー技術、知能ロボット技術	ロボット点検化技術、パーソナルロボット、テレプレゼンスロボット、交通管制システム、無人農業、IoT を利用した精密農業、デジタルデバイスの全通信の無線通信、高齢者や軽度障害者支援するロボット機器、無人工場・無人店舗・無人物流倉庫・無人宅配搬送
2	インタラクション	ジェスチャインタフェース、スマートスピーカー、視線インタフェース、触覚再現、バーチャルリアリティ	身体共有技術、小型装着型デバイス、ポータブル会話装置、対話的なバーチャルエージェント(受付や案内)、バーチャルエンボディメント
3	コンピュータシステム	量子コンピュータ、量子アニーリング、誤り耐性量子コンピュータ、半導体量子ビット技術、低消費電力な情報処理、スーパーコンピュータ、ドメイン特化型コンピューティング技術、ブレイン・マシン・インターフェース、リザーブコンピューティング、光アクセラレータ、ニューロモルフィックコンピュータ	スーパーコンピュータ(並列化による大規模計算機システム)、ゲート型量子コンピュータ(量子回路)、量子ニューラルネットワーク
4	セキュリティ、プライバシー	証明可能安全性を備えたプライバシー保護技術、暗号認証方式、秘密計算(データを秘匿したまま計算処理できる技術)、量子暗号通信	個人認証システム、IoTセキュリティ技術、プライバシー管理技術、量子技術等に基づく新たな安全性のフレームワーク
5	データサイエンス・AI	統計的 AI と記号的 AI を統合した融合 AI 技術、敵対的生成ネットワーク(GAN)、ニューロモルフィックコンピューティング、説明可能な AI、データ駆動科学、デジタルトランスフォーメーション、ビッグデータ、自律的な思考が可能な人工知能、深層学習(ディープラーニング)、AI による構造最適設計	所望の情報を抽出できる自然言語処理技術、ヒトと違和感なくコミュニケーションが取れる対話技術、自然環境においてヒト以上の性能を持つ音声音響認識・話者識別技術、自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
6	ネットワーク・インフラ	テラヘルツ波デバイス技術、量子インターネット、量子テレポーテーションによる通信、ソフトウェア無線(SDR)、IOWN 構想	消費電力を飛躍的に削減する通信ネットワーク、大容量通信・端末間通信を実現する移動通信技術、大容量かつ高密度収容可能な光通信技術、量子通信、光通信技術
7	未来社会デザイン	完璧な言語翻訳機、AI と CG 技術の融合、VR 技術による会議システム、サイバーフィジカルシステム、遠隔人間支援技術、市民によるデータのクラウドソーシング	全ての経済取引を電子化する技術、映画音声のリアルタイム自動翻訳、AI による予算執行、秘書業務代替システム、ネット上の個人認証技術

### 3.5. マテリアル・デバイス・プロセス分野

概要図表 6 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。量子コンピュータ・量子ビット、量子センサ・センシング、水素製造・貯蔵・利用に関する科学技術の提案が最も多かった。次に、マテリアルズ・インフォマティクス(AI 含む)、全固体電池、光センシング・イメージングが多く、続いて、パワーエレクトロニクス・パワー半導体、二次元材料、次世代蓄電池（全固体電池以外）が多く挙げられている。これらは、当分野における科学技術のトレンドキーワードとして捉えることができる。

概要図表 6 今回調査の科学技術キーワード等(マテリアル・デバイス・プロセス分野)

細目	今回のキーワード	(参考)11 回でとりあげたキーワード
1 物質・材料	ワイドバンドギャップ半導体(パワエレ)、二次元材料、量子材料(マヨラナ準粒子、量子相関制御など)、セルロースナノファイバー、トポロジカル物質、ダイヤモンド、常温超電導、メタマテリアル、分子デバイス、分子ロボット、熱電材料、有機エレクトロニクス、自己修復材料、自己組織化材料	可塑性無機材料、ハイブリッド材料、リサイクル架橋性樹脂、導電性高分子材料、炭素系構造材料、パワー半導体、室温量子材料、熱電素子、電磁波吸収体、リサイクル成形材料、圧電素子
2 プロセス・マニファクチャリング	3D,4D プリンティング、デジタルマニファクチャリング、ラボオートメーション、レーザー加工、半導体微細加工、異種接合、自己組織化テンプレート、エアロゾルデポジション	マスカスタマイゼーション、4D プリンティング・4D マテリアル、半導体ファブシステム、オンデマンド生産、付加製造技術(3D プリンティング)、暗黙知のアーカイブ化、マルチマテリアル加工、形状・材料同時加工、ニアネットシェイプ技術、メタマテリアル加工、低環境負荷精錬技術、超精密プロセス技術
3 計算科学・データ科学	マテリアルズ・インフォマティクス(AI 含む)、AI 材料設計・合成、シミュレーション(量子)、AI&ロボット材料探索・合成	マルチスケールシミュレーション、プロセスシミュレーション、逆問題、マルチフィジックスシミュレーション、スーパーコンピュータ、特性・機能・劣化予測、複合材料・高次構造、マテリアルズ・インフォマティクス、データ同化、人工知能、特性データベース、プロセスデータ
4 先端計測・解析手法	散乱光イメージング、室温高感度磁気センサ、X線自由電子レーザー、光音響イメージング、レーザー応用、計測 X データ科学、デジタルツイン、トライボロジー計測、表面増強ラマン散乱、表面温度計測	時空分解解析、リアルタイム三次元可視化、固体欠陥解析、オペランド(実働環境)解析、触媒反応素過程解析、実時間解析、磁気構造解析、ナノ計測、界面計測、マルチスケール解析、データ駆動型計測、マイクロ・ナノマシン
5 応用デバイス・システム(ICT・ナノエレ分野)	量子技術(量子コンピュータ・量子ビット、量子センサ、室温量子材料、量子インターネット・量子暗号)、テラヘルツ技術、光・エレクトロニクス融合、スピントロ・フォトニクス融合、新材料(ダイヤモンド、GaO)トランジスタ、ペイントブルエレクトロニクス、有機半導体レーザー、トリリオンセンサ、ウェアラブルデバイス	超小型ヒューマン・マシン・インターフェイスデバイス、フレキシブルトランジスタ、大容量・高速不揮発メモリ、単一スピン情報素子、単一光子、モノリシック三次元集積 AI チップ、量子コンピュータ・シミュレータ、量子イメージング、量子通信素子、量子センサ・メモリ、高度 VR システム、微細アンテナ・微小通信機
6 応用デバイス・システム(環境エネルギー分野)	水素製造・貯蔵・利用・燃料電池・電極触媒、全固体電池、人工光合成、アンモニア利用・合成、アップコンバージョン材料、太陽電池、熱電・熱発電素子、磁性熱電効果、プラスチック分解、蓄電技術、エネルギーハーベスティング、CO2 資源化、リチウム金属電池、高電圧水系電池、原子力電池、環境浄化技術、プラズマ触媒、メタン直接還元、排熱回収、資源循環	太陽電池、大容量高出力電池、燃料電池、エネルギーハーベスト、水素社会、再生可能エネルギー、スマートグリッド、CO2 再資源化、光還元触媒・人工光合成、膜分離技術、有害元素除去
7 応用デバイス・システム(インフラ・モビリティ分野)	宇宙エレベータ素材、自己修復材料、ナノ表面防食、高強度ポリマー、CO2 からの燃料合成、核融合技術、超電導コイル・モーター	簡便接合技術、金属・非金属ハイブリッド構造材料、超長寿命耐食材料、リアルタイムモニタリング、構造物健全性評価、自己修復機能材料、3D プリンター製造用素材、水素キャリア、自動運転、高速道路送電網、非接触受給電
8 応用デバイス・システム(ライフ・バイオ分野)	光センシング・イメージング、生体適合材料・バイオマテリアル、量子センシング、ウェアラブルデバイス、生分解性高分子、3D 培養・細胞シート、身体拡張技術、自己修復材料、ナノロボティクス、生体模倣、タンパク質大量生産	人工食材・フードプリンタ、ソフトマターロボティクス、バイオメテックス・ナノマシン、ウェアラブルデバイス、インプラントデバイス、バイオマテリアル、3D バイオプリンティング、バイオファブリケーション、バイオイメージング、光・量子計測・センシング、バイオデグラブル、生体内センサ



### 3.6. 都市・建築・土木・交通分野

概要図表 7 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。i-Construction 等の建築現場における AI 技術の活用、再生可能エネルギーやグリーンインフラ等の環境問題の対応、防災・減災等が挙げられた。また、自動運転やロジスティクスの自動化については比較的多く回答があった。

概要図表 7 今回調査の科学技術キーワード等(都市・建築・土木・交通分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11 回でとりあげたキーワード
1	国土利用・保全	ドローン等による画像による写真測量 (SfM)・レーザ測量 (LiDAR)、衛星リモートセンシングによる潮流・潮位の計測と変動の予測、地理的な犯罪予測	環境、エネルギー、水資源、治水、観光、海洋・海岸、地下、土砂、モニタリング
2	建築	建設分野におけるデジタルツイン、建築現場への 3D プリンタの導入、木質系材料のマテリアルサイクル	安全、健康、利便、快適、建築、スマート、ワークスペース、住宅、室内環境、海洋 & 宇宙、新木造 & 新素材、省・創・蓄エネ
3	社会基盤施設	光センシングによる構造物のヘルスマニタリング技術、光ファイバを用いた巨大構造物の形状モニタリングシステム	設計、施工、維持管理、制御、新材料、新構造、環境、情報技術、ロボティクス、保守、インフラセンシング、点検・診断、修復・再生
4	都市・環境	ゼロエミッション・シティ、機械学習等を元いた観測データの自動解析による環境変化アセスメント、都市下水中に含まれる微量物質をリアルタイムに計量する超高感度センサー	環境アセスメント、都市計画、地理情報、合意形成、人口減少、住宅地、上下水道、スマートシティ、コンパクトシティ、グリーンインフラ
5	建設生産システム	i-Construction、BIM/CIM	生産性革命、i-Construction、BIM/CIM、設計・施工・管理一貫データ、ロボット、ドローン、センサー、電子地図、AI、プレキャスト、自律施工
6	交通システム	MaaS (Mobility as a Service)、超伝導直流送電、ソリッドステート LiDAR、MR 技術を活用した屋内ナビゲーションシステム	道路、公共交通、ロジスティクス、交通情報、自動運転、移動支援、交通マネジメント、インターモーダル、ダイナミックマップ、道路利用料金、ドローン
7	車・鉄道・船舶・航空	自動運転、ロジスティクスの完全自動化、様々な機器や構造物の自律化、自律配送ロボット、レジリエントでサプライチェーン指向の輸送システムの形成	自動車交通、鉄道交通、船舶輸送、航空輸送、安全技術、自動化・無人化、低公害化・省エネルギー化、低コスト化、効率化・高速化、輸送システム
8	防災・減災技術	グリーンインフラ、生態系を活用した防災・減災 (Ecosystem-based disaster risk reduction; Eco-DRR)、災害状況の正確な把握や予測に関する科学技術、斜面崩壊・地すべり高リスクエリアの数値化	流域管理技術、地震被害リアルタイム判定技術、洪水予測、応答制御、アクティブ制御、構造設計、洪水対策、干ばつ対策、液状化対策
9	防災・減災情報	森林火災防止のための高精度シミュレーション技術、災害状況の正確な把握や予測に関する科学技術、住民に情報を迅速・的確に伝え行動を促す技術、災害救助技術 (コンクリートの破壊技術)	防災情報システム、災害予測、センサー、被害把握、リアルタイム、防災行動、避難、SNS、IoT、情報分析、シミュレーション

### 3.7. 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野

概要図表 8 に、アンケート回答から抽出したキーワード及び第 11 回調査でとりあげたキーワードを示す。宇宙、地震、観測、計測、データ、X 線、光が頻出ワードとなっており、類似する事項が散見される。比較的多く挙げたのは、月・火星探査、宇宙エレベータ、宇宙マイクロ波背景放射、宇宙太陽光発電、海底資源、環境 DNA、DAS、気候変動モデル、社会シミュレーション、高強度・超高速レーザー、軟 X 線分光、光格子時計等である。

概要図表 8 今回調査の科学技術キーワード等(宇宙・海洋・地球・科学基盤分野)

	細目	今回のキーワード	(参考)11回でとりあげたキーワード
1	宇宙	宇宙探査(月、火星)、宇宙利用、宇宙用エレクトロニクス、有人探査、太陽系外惑星、宇宙環境計測、宇宙エレベータ、宇宙用核分裂発電、宇宙エネルギー伝送、宇宙太陽光発電、水資源探査、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)、宇宙線ミュオン	再使用型輸送系、地球外天体における有人拠点、太陽系探査、国土の高精度監視、測位、デブリ除去、月資源、恒星系、銀河系、重力波、宇宙線※、宇宙物理※、量子重力※、宇宙の反物質※、ダークマター※、ダークエネルギー※、インフレーション※、元素合成※ ※素粒子・原子核、加速器にも関連
2	海洋	海底・海洋資源、海洋深層、アルゴフロート、海洋底質環境、生分解性海洋性プラスチック、洋上大容量高速通信、環境 DNA	海洋環境、温暖化、海洋生態系、生物多様性、生物生産、海洋調査/深海探査、海洋/海底資源、極域
3	地球	地震電磁気観測、DAS(Distributed Acoustic Sensing)、地震予測・即時津波予測統合	地殻変動、地震、津波、火山、水・土砂災害、地すべり、地球深部
4	観測・予測	データ同化、数理モデリング、高解像度気候モデル、水循環解析、データ取得・転送、地球環境・資源・自然災害・農作モニタリング、海面高度計測、潮流・潮位計測・予測、リモートセンシング、市民観測	陸域、植生、大気、海況、気象、モデリング
5	計算・数理・情報科学	数理モデリング、シミュレーション、因果構造推定、多様性解析、気候変動シミュレーション、社会シミュレーション(集合行動・政策効果予測等)計算代数位相幾何学、ベイズ推定	シミュレーション、アルゴリズム、気象・気候変動予測、防災・減災解析、ものづくり設計、社会現象予測等
6	素粒子・原子核、加速器	高勾配電子加速器、レプトン加速器(ILC)(宇宙科学関連は、細目「宇宙」に統合)	素粒子、原子核、宇宙線※、宇宙物理※、加速器、量子重力※、宇宙の反物質※、マヨラナニュートリノ、ダークマター※、ダークエネルギー※、インフレーション※、元素合成※ ※宇宙にも関連
7	量子ビーム：放射光	超高速・超高強度光科学、高輝度軟 X 線、軟 X 線分光(RIXS、発光)、X 線自由電子レーザー(XFEL)、ランダムレーザー光源、イベント駆動型イメージセンサ、非晶性物質回折イメージング、分子軌道対称性判別、メソスケール高分子材料構造評価	高分解能軟 X 線分光(吸収、発光)、オペランド計測、省コスト超高輝度放射光源、高速高解像度 X 線 CT 顕微鏡、コヒーレント回折イメージング、分光イメージング、高時間分解タンパク質構造解析、タンパク質 1 分子 X 線構造解析、時空間階層構造解析、高速・高感度 2 次元 X 線検出器、ナノ結晶構造解析、高分解能非弾性散乱
8	量子ビーム：中性子・ミュオン・荷電粒子等	核変換技術、遺伝子融合	偏極中性子局所磁気構造・励起測定技術、3 次元応力・ひずみ・磁場分布観測、ナノ深さ磁気状態解明、偏極陽電子表面構造・磁気状態観測、複数量子ビーム利用解析・加工技術、放射性同位元素大量・安定製造技術、量子ビーム突然変異獲得技術、微細構造 3 次元可視化計測技術、未踏領域の核データ取得技術、ミュオン顕微鏡、ミュオンイメージング技術、ストロボスコピック測定技術、オペランド測定技術

9	光・量子技術	光格子時計、デュアルコム分光、ランダムレーザー、光音響イメージング、オールフォトニクス・ネットワーク、光渦、高強度・超高速レーザー、量子コンピュータ、量子センサ、NVセンター、量子ビット、コヒーレンス、量子暗号、光量子コンピュータ	量子情報科学、量子コンピュータ、量子暗号、超高精度光量子計測、レーザー光源開発(大出力、広帯域、短パルス等)、次世代レーザー加工、光積層造形、超高速大容量光通信、超高解像度顕微鏡光変調技術、超高感度光検出技術、光測距技術、レーザー医療技術
---	--------	---	---

## 科学技術の経済社会的側面、人文・社会科学との連携

本アンケートでは、科学技術の経済社会的側面についての記載は明示して求めていなかったため、注目科学技術が前提とする社会像や解決すべき社会課題、経済社会へもたらす便益や懸念、実現にあたって解決が必要な社会・制度的課題、基盤となる人間や社会の在り方等、様々な観点からのコメントが寄せられた。それらの内容を技術横断的に整理すると下記のように大まかにはまとめられるが、これらの多くは、人文・社会科学との連携・融合により対応していく必要がある事項である。

### ① 目指すべき社会像や解決すべき社会的課題

Society 5.0、IoT 社会、カーボンニュートラル（/フリー）な社会、持続可能な社会、資源循環社会、水素社会、低炭素社会、幸せを実現する社会等、目指すべき社会像を想定した上で、それに貢献する注目科学技術を提案している。

解決すべき社会課題や到達すべきゴールとしてはSDGsが多く言及されたが、この他、少子高齢化、働き方改革等も言及されている。

### ② 期待される経済社会的インパクト

社会像や社会的課題と裏腹ではあるが、注目科学技術がもたらす幅広い経済社会インパクトも言及されている。

- 経済的インパクト：経済、雇用、産業化等
  - 社会的インパクト：幸福、健康、暮らし、安全・安心、防災・減災、外交・安全保障等
- 科学技術がもたらしうる負のインパクトについても、社会分断や格差などの言及があった。

### ③ 社会実装にあたっての社会・制度的な課題

主には注目科学技術の実現に必要なブレイクスルーとして、技術的課題以外の社会・制度的な課題についても多く言及されている。

- 産業化・事業化・社会実装にあたっての制度的要因
- 倫理的・法的・社会的課題（ELSI: Ethical, Legal and Social Issues）
- 社会受容性
- 政策：人材、レギュラトリーサイエンス、政策の科学

### ④ 基盤となる人間や社会の在り方、技術発展の在り方

- オープネス：オープンアクセス、オープンデータ、オープンサイエンス等に言及し、知識や技術の共有を促進することが科学技術への市民参加につながる点が言及された
- 精神性・哲学・ヒューマニティ：AI等の発展による人間と機械の共生を前提として、トランスヒューマニズムなど、精神的・物理的両面から、人の可能性や機能とは何かを問うていくことの重要性が言及された
- ジェンダー：ジェンダードイノベーションなど、技術発展やイノベーションの在り方に関してジェンダーの観点をに入れていくことの重要性が言及された

### ⑤ 科学コミュニケーション

特定の注目科学技術の実現には、社会におけるリテラシー、社会理解、社会受容が必要とといった啓発的観点のものから、双方向のコミュニケーションを前提とした、科学コミュニケーション、リスクコミュニケーション、エンゲージメントが必要といった言及もあった。

### ⑥ 人文・社会科学との連携・融合

注目科学技術の進展において人文・社会科学的知見との連携が重要である領域も複数提案された。

- 人間と機械の共生：人間とは何か、AIにはできない仕事は何か？科学技術の問題を科学者、研究者、技術者だけに任せるのではなく、人文・社会科学の学者、研究者とも議論が必要
- 政策効果の予測

以上のように、本調査によって、各分野の注目科学技術が得られたと共に、次期科学技術予測調査への重要な示唆が得られた。今後、質問項目等の調査設計を適宜改良しながら、本調査は毎年続ける予定にしており、継続的に調査し、次期科学技術予測調査へと繋げていく。