

第11回科学技術予測調査 [3-1]

未来につなぐクローズアップ科学技術領域
—AI 関連技術とエキスパートジャッジの
組み合わせによる抽出の試み—

Close-up science and technology areas
for the future

-An attempt to extract by combination of
AI-related technology and expert judges-

2019 年 7 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所

重茂浩美、蒲生秀典、小柴等

本 DISCUSSION PAPER は、所内での討論に用いるとともに、関係の方々からの御意見を頂くことを目的に作成したものである。

また、本 DISCUSSION PAPER の内容は、執筆者の見解に基づいてまとめられたものであり、必ずしも機関の公式の見解を示すものではないことに留意されたい。

The DISCUSSION PAPER series is published for discussion within the National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP) as well as receiving comments from the community.

It should be noticed that the opinions in this DISCUSSION PAPER are the sole responsibility of the author(s) and do not necessarily reflect the official views of NISTEP.

【執筆者】

重茂 浩美	科学技術予測センター 上席研究官
蒲生 秀典	科学技術予測センター 特別研究員
小柴 等	第2 調査研究グループ 上席研究官

【Authors】

OMOE, Hiromi	Senior Research Fellow, Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT
GAMO, Hidenori	Visiting Researcher, Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT
KOSHIBA, Hitoshi	Senior Research Fellow, 2 nd Policy-Oriented Research Group, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT

本報告書の引用を行う際には、以下を参考に出典を明記願います。

Please specify reference as the following example when citing this paper.

重茂浩美、蒲生秀典、小柴等 (2019) 「未来につなぐクローズアップ科学技術領域—AI 関連技術とエキスパートジャッジによる抽出の試み—」, *NISTEP DISCUSSION PAPER*, No.172, 文部科学省科学技術・学術政策研究所.

DOI: <http://doi.org/10.15108/dp172>

OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori and KOSHIBA, Hitoshi (2019) “Close-up science and technology areas for the future—An attempt to extract by combination of AI-related technology and expert judges—,” *NISTEP DISCUSSION PAPER*, No.172, National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo.

DOI: <http://doi.org/10.15108/dp172>

未来につなぐクローズアップ科学技術領域—AI 関連技術とエキスパートジャッジによる抽出の試み—

文部科学省 科学技術・学術政策研究所 重茂浩美、蒲生秀典、小柴等

要旨

本調査研究では、第 11 回科学技術予測調査の一環として 2018～2019 年に実施したデルファイ調査（科学技術の未来像の検討）において選定した 702 科学技術トピックを基にして、科学技術イノベーション政策の観点から大きく取り上げるべきクローズアップ科学技術領域の抽出を試みた。始めに、702 科学技術トピックに対して、AI 関連技術を活用した自然言語処理（分散表現化）と階層的クラスタリング分析を行い、32 の科学技術トピッククラスターをつくった。次に、この科学技術トピッククラスターを目視で定量・定性分析した。最後に、上記の分析結果と専門家会合でのエキスパートジャッジとを組み合わせることにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域と特定分野に軸足を置く 8 領域を抽出した。

Close-up science and technology areas for the future - An attempt to extract by combination of AI-related technology and expert judges-

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), MEXT, OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori, KOSHIBA, Hitoshi

ABSTRACT

We have tried to extract close-up science and technology areas which should be promoted from the viewpoint of science and technology innovation policy, based on the 702 science and technology topics for the Delphi survey as part of the 11th Science and Technology Foresight. First of all, we made 32 science and technology topic clusters with natural language processing (distributed expressions) and hierarchical clustering analysis using AI-related technologies. Then, we conducted quantitative and qualitative analyses of the science and technology topic clusters. Finally, eight science and technology areas with the potential of multidisciplinary and interdisciplinary, and eight areas based on the specific research field were extracted by combination of the above results and the expert judges at professional meetings.

目次

概要	i
本編	
1. 調査の背景と目的	1
1.1 本調査の位置づけ、目的	1
1.2 科学技術イノベーション政策において注目される科学技術領域—分野横断・融合領域—	1
1.3 クローズアップ科学技術領域の抽出方法—AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ—	3
2. 調査の方法	5
2.1 ステップ 1: デルファイ調査における科学技術トピックの抽出	6
2.2 ステップ 2: AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化 (科学技術トピッククラスターの形成)	7
2.2.1 科学技術トピックの自然言語処理	8
2.2.2 科学技術トピックのクラスタリング	8
2.2.3 科学技術クラスターとトピックの可視化	8
2.3 ステップ 3: 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析	9
2.4 ステップ 4: エクスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出	9
2.4.1 専門家会合の開催	9
2.4.2 クローズアップ科学技術領域の抽出	10
3. 調査の結果	11
3.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化 (科学技術トピッククラスターの形成)	11
3.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析	12
3.3 エクスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出	16
3.3.1 クローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針	16
3.3.2 クローズアップ科学技術領域の抽出	16
4. まとめ	31
資料編	
1. デルファイ調査で設定した分野別科学技術トピック	1
1.1 健康・医療・生命科学分野	1
1.2 農林水産・食品・バイオテクノロジー分野	3
1.3 環境・資源・エネルギー分野	6
1.4 ICT・アナリティクス・サービス分野	9
1.5 マテリアル・デバイス・プロセス分野	12
1.6 都市・建築・土木・交通分野	15
1.7 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野	18

2. 自然言語処理に関する補足	22
2.1 一般的な文章間の類似度算出の考え方	22
2.2 単純な cos 類似度における課題	22
2.3 単語の分散表現	22
2.4 文章の分散表現	23
3. クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見	24
謝辞	
調査体制	

概要

新たな未来を切り拓き、種々の課題を解決していくための科学技術イノベーションが世界的に推進される中で、複数の学問分野を横断・融合する科学技術領域が改めて注目されている。その理由の一つとして、世界的な地球環境問題、人口動態変化への対応、エネルギー・食料・資源の確保など、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問だけでは対処しきれない社会的課題が顕在化し、それらの解決が必要とされていることが挙げられる。また、分野横断・融合領域は科学的課題の解決にもつながり、例えば最先端計測技術と高度情報処理技術との融合により、これまで捉えられなかった物理現象や生物現象を明らかにすることも可能になりつつある。さらに、異分野間の知的な触発や融合による新たな知の創造が期待されている。

こうした背景をふまえ、本調査研究では、科学技術予測調査の一環として2018～2019年に実施したデルファイ調査(科学技術の未来像の検討)で選定した702科学技術トピックを基にして、科学技術イノベーション政策の観点から大きく取り上げるべきクローズアップ科学技術領域の抽出を試みた。このクローズアップ領域は、上記のような分野横断・融合のポテンシャルの高い領域を主対象とするが(あくまで科学技術トピックに基づき領域を形成しており、分野を横断・融合する領域であることを直接示していないため、そのポテンシャルの高い領域と位置づける)、個別分野の精緻化・先鋭化による新たな技術領域創出の可能性を考慮して、特定分野に軸足を置く領域も対象としている。

本調査研究では、近年進展が著しいAI関連技術*とエキスパートジャッジとを組み合わせることが特徴である。エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出に先立ち、702科学技術トピックに対して、AI関連技術を活用した自然言語処理(分散表現化)と階層的クラスタリング分析を行い、トピックをグループ化した。ここで行った自然言語処理には独自の工夫があり、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた300次元の単語分散表現(ベクトル)をベースにした。

上記のアプローチを言い換えれば、702科学技術トピックの中で、類似する単語が出現するトピックは意味的・科学技術的に関連するものとみなし、それらトピック群をグループ化して科学技術クラスターを形成したことになる。この科学技術トピッククラスターを定量・定性分析した後、専門家会合でのエキスパートジャッジにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域と特定分野に軸足を置く8領域の計16のクローズアップ科学技術領域を抽出した。専門家の目視のみに依存し、702の科学技術トピック全体を見渡してクローズアップ領域を抽出することは困難性が高いと考えられたため、AI関連技術とエキスパートジャッジとを組み合わせることがクローズアップ領域の抽出につながった。

クローズアップ領域のうち、最も多くの分野に関わり、かつ最も多くの科学技術トピックを有する領域として「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」が挙げられる。この領域は、情報科学と数理科学の連携・融合による複雑な社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)が抱える課題への対応であり、Society5.0の進展を促す技術を含む領域として注目される。特定分野に軸足を置く領域の例では、我が国において近年非常に社会ニーズが高まっている領域

「交通に関するヒューマンエラー防止技術」が挙げられる。

なお付録(Appendix)にて、16 のクローズアップ科学技術領域毎に名称、概要、領域の基になった科学技術トピッククラスターのワードクラウド、科学技術トピックをまとめたので参考にされたい。

※AI 関連技術:本調査研究では、メディア等で AI として語られることの多い機械学習と自然言語処理を中心とした人工知能および関連技術を指す。

1. クローズアップ科学技術領域の抽出

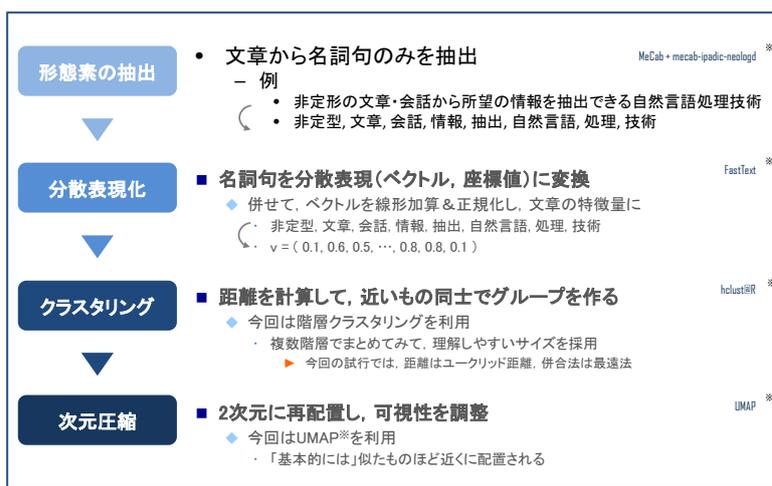
クローズアップ科学技術領域の基になったのは、2018～2019 年実施のデルファイ調査で選定した 702 科学技術トピックである(2019 年 2 月に実施した第 1 回アンケート調査にて公表済)。このデルファイ調査では 7 分野を設定し、2050 年までを見据えた研究開発課題として科学技術トピックを選定した。7 分野は以下の通りで、①健康・医療・生命科学、②農林水産・食品・バイオテクノロジー、③環境・資源・エネルギー、④ICT・アナリティクス・サービス、⑤マテリアル・デバイス・プロセス、⑥都市・建築・土木・交通、⑦宇宙・海洋・地球・科学基盤である。

これら 702 の科学技術トピックの中で、表現が類似するトピック群を意味的・科学的にに関連するものとみなしてグループ化し(科学技術トピッククラスターの形成、以下 1.1)、この科学技術トピッククラスターの定量・定性分析を行い(以下 1.2)、エキスパートジャッジによりクローズアップ科学技術領域を抽出した(以下 1.3)。

1.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの形成)

以下に、科学技術トピックのグループ化の流れを示す。

概要図表 1 科学技術トピックのグループ化の流れ



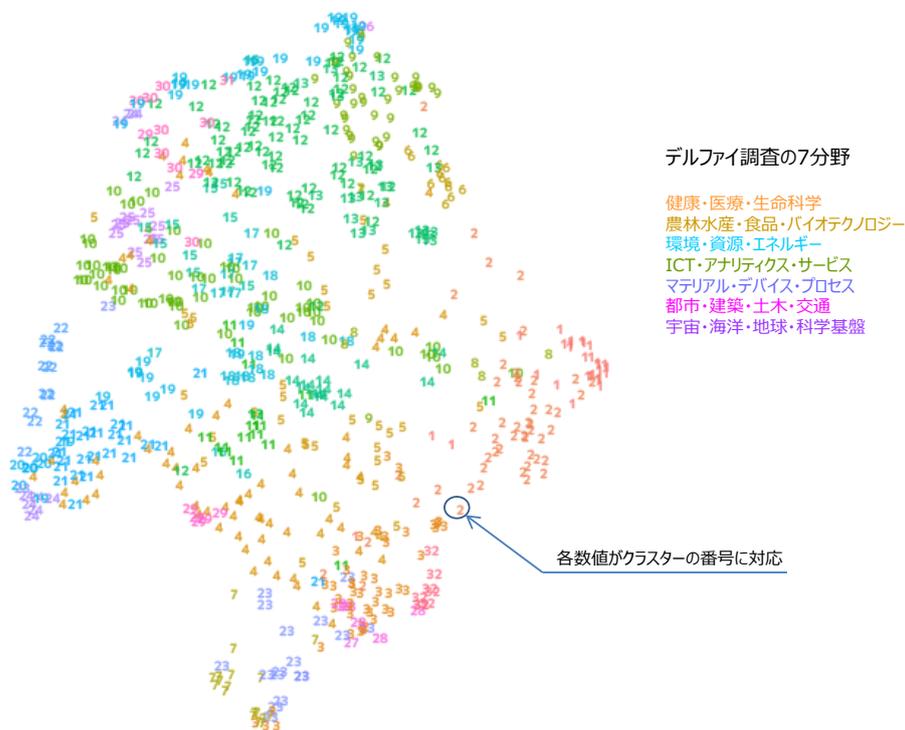
初めに、科学技術トピックに対して形態素解析(文章を、意味を持つ最小単位に分解)を用いた名詞句の抽出を行った。具体的には、日本語の形態素解析ソフトウェアの中で多用されている MeCab と辞書の mecab-ipadic-NEologd を用いて、702 科学技術トピックを形態素に分割し、それぞれの品詞等を判別して名詞句のみを抽出した(概要図表 1 の「形態素の解析」)。

次に、これらの名詞句に基づいて科学技術トピックのベクトル化を行った。ここでは、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた300次元の単語分散表現(ベクトル)をベースに、各名詞句の分散表現を線形加算した総和を正規化して各トピックの特徴量(ベクトル)とした(概要図表1の「分散表現化」)。

上記の科学技術トピックの特徴量に対して、階層的クラスタ分析(最遠隣法、ユークリッド距離)を適用し、類似するトピックをグループ化した。クラスタ間の類似度を定義する方法(距離の定義方法)として最近隣法、最遠隣法、重心法、群平均法、メディアン法、McQuitty法、Ward法という7つの手法を試行し、樹形図でのクラスタの偏りの程度と、実際につくられたクラスタが分野横断的であるか否かを目視で確認した上で最遠隣法を採用した。階層的クラスタ分析のクラスタ数については、2、4、8、16、32、64、128など複数のレベルで分割し、それぞれのレベルで人間の解釈の容易性や意味的妥当性を考慮して32分類を採用し、結果として32の科学技術トピッククラスタを形成した(概要図表1の「クラスタリング」)。

最後に、上記の結果を可視化した。まず、702科学技術トピックと32科学技術トピッククラスタのマッピングのために次元圧縮を行った。前述の通り科学技術トピックの特徴量は300次元のベクトルであるため、UMAP(UMAP:Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction)を用いて次元圧縮して2次元に変換した(概要図表1の「次元圧縮」)。その結果を概要図表2に示す。

概要図表2 32科学技術トピッククラスタと702科学技術トピックのマッピング



※使用したソフトウェア、アルゴリズム: FastText, umap
300次元でクラスタリング等の作業後、可視化のため2次元に圧縮しているため、一部入り交じっているように見えることに留意。

次に各科学技術クラスターの特徴を示すための可視化を行った。これについては、クラスター単位で科学技術トピックについて名詞句の出現数をカウントし、出現数と文字の大きさを対応づけたワードクラウドとして出力した。

1.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析

32 の科学技術トピッククラスターの特徴を示すために、クラスターの定量・定性的分析を目視で行った。具体的には、科学技術トピックの数と、そのトピックが属する分野の数を定量的に分析した。また定性分析として、科学技術トピッククラスターの特徴を示すための名称を暫定的に付与した。

1.3 エキスパートジャッジによる科学技術トピッククラスターからのクローズアップ科学技術領域の抽出

デルファイ調査の7つの分野毎に設置した分科会の座長から構成される専門家会合を開催した(2019年2月28日及び3月5日)。

専門家会合では、まず科学技術トピッククラスターからクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を策定した。その指針は以下の通りである。

- ▶ 少なくとも2分野以上の科学技術トピックを10程度以上含み、分野横断・融合のポテンシャルが高いと考えられる科学技術領域を主対象。一方、1ないし2分野のトピックを10程度以上含む領域は、特定分野に軸足を置く科学技術領域として考慮
- ▶ 科学的・社会的課題を解決する上で重要な科学技術領域を対象
- ▶ 科学技術領域全体を見た上でのバランスを考慮

上記の指針、1.1と1.2の結果、エキスパートジャッジの組み合わせにより、各科学技術トピッククラスターの妥当性を評価し、内容が近似するクラスターを適宜統合するなどの再構築を行い、分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術8領域を抽出した。加えて、特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術8領域も抽出した。これら計16のクローズアップ科学技術領域に名称と概要を付与すると共に、領域毎に代表的な科学技術トピック10程度をとりまとめた。

2. クローズアップ科学技術領域の概要

2.1 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術領域

8つの領域の名称と概要、領域の基になった科学技術トピッククラスターとそのワードクラウドを概要図表3に示す。

分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術領域の例として、ここでは領域1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」を取り上げる。この科学技術領域は最も多くの科学技術トピックを有し、かつ多くの分野に関わる領域である。この科学技術領域での社会課題解決技術とは、複雑な社会現象をモデル化・シミュレーションすることにより理解し、現象の制御につなげる一連の流れを指しており、情報処理技術と数理科学的アプローチが中核となる。

概要図表 3 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術 8 領域の名称と概要

領域 No.	名称		トピック 数
	クラスターNo. & ワードクラウド	概要	
1	社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術		152
	※1 9  12  19 	社会的インフラストラクチャー、都市建築空間、教育、医療、金融などの多様な社会的共通資本のサービス・ソリューションに向けた AI、IoT、量子コンピューティング、ELSI（倫理的・法的・社会的課題）対応、認知科学・行動経済学など、複雑な社会現象（ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ）が抱える課題を解決する科学技術領域	
2	プレジジョン医療※2をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング		53
	2 	完全非侵襲・高感度・高精細・リアルタイムモニタリングにより、人の個体から組織・臓器、細胞、分子レベルにわたり生命現象を捉えることで、バイオエンジニアリングによる再生・細胞医療や次世代ゲノム編集技術による遺伝子治療のような高度医療の技術開発につなぐ科学技術領域	
3	先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術		89
	3  5  28 	量子ビーム応用などの先端計測や、シミュレーション・インフォマティクス・AI などの情報科学ツールを活用した、構造・機能材料、高分子、生体分子などの構造や状態の解析・解明・予測、農作物や医薬品の開発・品質管理に関する科学技術領域	
4	新規構造・機能の材料と製造システムの創成		87
	4  29 	材料から構造物、環境、医療に関わる要素技術まで生活環境向上に寄与する、シミュレーションとデータ活用による材料の構造・物性予測や、材料・デバイスの実用化のための先進製造・流通システムやコスト低減に関する科学技術領域	
5	ICT を革新する電子・量子デバイス		19
	23 	ICT 革新に寄与する、高速・高密度・低消費電力の電子・情報デバイス、高効率パワーデバイス、高コヒーレンス量子デバイス（量子コンピューティング・センシング）に関する科学技術領域	
6	宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術		70
	10  22 	地球環境・資源を地上や人工衛星から複合的にモニタリング・評価し、数理モデルで予測することにより、人間活動がもたらす地球環境の変化や自然災害への対処、エネルギー、地下・海洋資源や農林水産資源の探索に寄与する科学技術領域	

7	サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	52
		資源の循環と持続可能な生産に向けた、CO2 や廃棄物の再資源化技術、バイオマス利用技術、高レベル放射性廃棄物処理技術、レアメタルの回収・利用技術、環境循環の中での有害化学物質等の管理技術に関する科学技術領域
8	自然災害に関する先進的観測・予測技術	22
		豪雨や地震・火山噴火等の自然災害とそれらが及ぼす被害の先進的観測・予測技術と防災・減災技術、および山地や海岸線等の国土変化予測による国土保全、長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計等に関する科学技術領域

※1:各ワードクラウドの番号は、32の科学技術トピッククラスターの番号に相当。各科学技術トピッククラスターの詳細は、本編の図表6「32科学技術トピッククラスター一覧」を参照のこと。

※2:遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮した疾病の予防・治療。

2.2 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術領域

8つの領域の名称と概要、領域の基になった科学技術トピッククラスターとそのワードクラウドを概要図表4に示す。

特定分野に軸足を置くクローズアップ科学領域の例として、ここでは我が国において近年非常に社会ニーズが高まっている領域D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」を挙げる。この技術は、人間に代わり認知、判断、操作を行う技術であり、移動体毎に要素技術や技術的難易度は異なるが、全般的には位置情報の特定、障害物の認識、危険判断・予知などの高度な情報処理機能や走行制御技術などから構成される。

概要図表4 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術8領域の名称と概要

領域 No.	名称		トピック 数
	クラスターNo. & ワードクラウド	概要	
A	新たなデータ流通・利活用システム		21
		産業・医療・教育に係るデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量の情報を、適正かつ効果的に収集・共有・分析・活用するための科学技術領域	
B	人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術		12
		人間社会に溶け込み、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を自然な形で支援・拡張するロボットに関する科学技術領域	

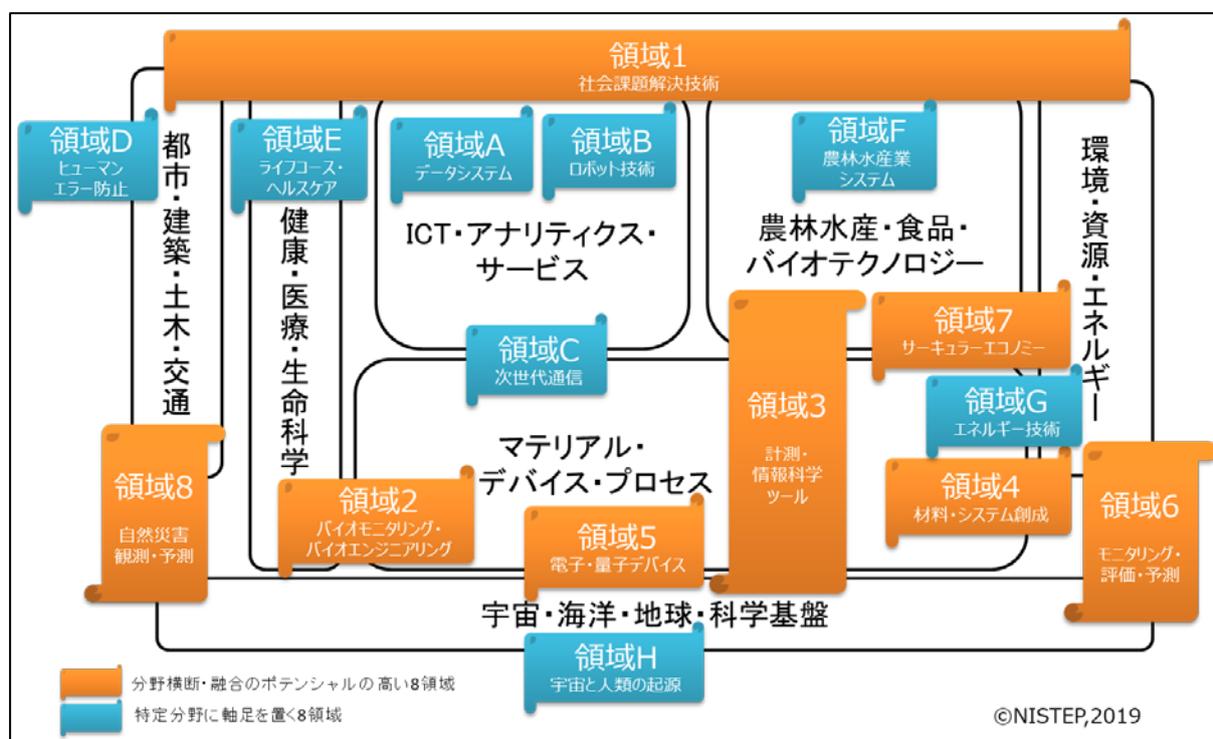
C	次世代通信・暗号技術 7 	光・量子通信と量子暗号に代表される、超高速・超大容量、超長距離・超広帯域、超低遅延・超低消費電力、多数同時接続、かつセキュリティの高い通信に関する科学技術領域	20
D	交通に関するヒューマンエラー防止技術 30 	鉄道、船舶、航空機での無人運転・運航・操縦に代表される、陸・海・空の各運輸モードでのヒューマンエラーを防止するための支援技術・システムに関する科学技術領域	8
E	ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法 1 	人の発達過程における環境と疾病との関係性の解明、老化・機能低下のメカニズム解明やその制御、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発など、人の胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえた生涯保健に関する科学技術領域	29
F	生態系と調和した持続的な農林水産業システム 8 11 14 	動植物、微生物、環境、人間の相互作用（生態系）に着目した、農林水産業における生産性や品質の向上と効率化、環境への負荷低減や生産環境の保全、遺伝資源の保存と利用のための資源管理などに基づく新しい持続的生産システムの構築に関する科学技術領域	40
G	持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術 20 24 	エネルギー源の多様化によるエネルギー安全保障の強化や低炭素社会を実現する、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギー技術や直流送電システム、超伝導技術、ワイアレス給電技術などの次世代電力ネットワークに関する科学技術領域	15
H	宇宙と人類の起源を解く基礎科学 32 	太陽系・銀河系の形成、軽元素・重元素合成の進化過程、ダークマター・ダークエネルギーの正体、量子重力理論、インフレーション仮説等、宇宙の謎の解明、定説の確立など、宇宙と人類の起源に関する科学技術領域	8

※各ワードクラウドの番号は、32の科学技術トピッククラスターの番号に相当。各科学技術トピッククラスターの詳細は、本編の図表6「32科学技術トピッククラスター一覧」を参照のこと。

3. 抽出されたクローズアップ領域とデルファイ調査における7分野との関係

分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域(概要図表5のオレンジの領域)は、デルファイ調査の複数の分野に強く関わり、特に領域1(社会課題解決技術)は5分野と広範に及んでいる。一方、特定分野に軸足を置く8領域(概要図表5のブルーの領域)は、分野間の関りは単一あるいは2分野と少なく、今回設定したデルファイ分野内での注目すべき領域として抽出された。

概要図表5 分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域、及び特定分野に軸足を置く8領域とデルファイ調査における分野との関係



注 1) 分野の関りについては、今回抽出された領域を構成する主たるトピックが属する分野を考慮し図示したものであり、領域に含まれる全てのトピックを対象としたものではない。

注 2) 図表ではスペースが限られているため、各領域は略称で示している。正式な名称は概要図表3と4を確認のこと。

本編

1. 調査の背景と目的

1.1 本調査の位置づけ、目的

科学技術・学術政策研究所は、科学技術の中長期的発展の方向性を把握する目的で、1971年からおよそ5年毎に科学技術予測調査を実施している。2017年には、第6期科学技術基本計画を始めとする科学技術イノベーション政策の検討に資することを目的として、第11回科学技術予測調査¹を開始した。

この調査の一環として、本調査研究では、将来社会に向けて我が国が研究開発を推進すべき領域を提起する目的で、2018～2019年に実施したデルファイ調査(科学技術の未来像の検討)を基に科学技術領域の抽出を試みた。

1.2 科学技術イノベーション政策において注目される科学技術領域—分野横断・融合領域—

新たな未来を切り拓き、種々の課題を解決していくための科学技術イノベーションが世界的に推進される中で、複数の学問分野を横断・融合する科学技術領域が改めて注目されている。その理由の一つとして、世界的な地球環境問題、人口動態変化への対応、エネルギー・食料・資源の確保など、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問だけでは対処しきれない社会的課題が顕在化し、それらの解決が必要とされていることが挙げられる。また、分野横断・融合領域は科学的課題の解決にもつながり、例えば最先端計測技術と高度情報処理技術との融合により、これまで捉えられなかった物理現象や生物現象を明らかにすることも可能になりつつある。さらに、異分野間の知的な触発や融合による新たな知の創造が期待されている。

諸外国での分野横断・融合に関する取組の一例として、2016年に米国国立科学財団(NSF)が公表した「将来のNSFの投資のための10のビッグアイデア」(10 Big Ideas for Future NSF Investments)が挙げられる。この背景として、NSFのウェブサイトでは以下の記載がある。「我々は今後数十年を展望し、大きな問いかけが何かを構想することによりNSFの長期的な研究アジェンダを導き出さなければならない。その問いかけへの対応は、未来の世代が基礎的な科学工学研究から継続して利益を得ることを確かなものとするものである」(和訳は、遠藤悟氏の「NSFの10のビッグアイデア」から引用)^{2,3}。

10のビッグアイデアでは、4つのプロセスアイデアと(Growing Convergent Research at NSF, NSF Includes: Enhancing Science and Engineering through Diversity, NSF2050: The Integrative Foundational Fund, Mid-scale Research Infrastructure)と6つの研究アイデア(Understanding the Rules of Life: Predicting Phenotype, Shaping the New Human Technology Frontier, Windows on the universe: The Era of Multi-messenger Astrophysics, Navigating the New Arctic, Harnessing

¹ 2050年までの科学技術発展の方向性に関して、webアンケートにより専門家の見解を収集する調査。同じ質問を繰り返して回答を収れんさせるデルファイ法を採用。2018～2019年実施のデルファイ調査では、7分野を設定し、各分野10名程度の専門家により将来に実現が期待される702の科学技術トピック(研究開発課題・プロジェクトの内容を簡潔に表現したもの)を設定。それら702の科学技術トピックに対して、重要度、国際競争力、技術的・社会的実現時期等を質問項目としたwebアンケートを実施。

² 10Big ideas for Future NSF Investments (https://www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf)

³ 遠藤悟、NSFの10のビッグアイデア(http://endostr.la.coocan.jp/sci-ron-NSF_10Big-Ideas.pdf)

Data for 21st Century Science and Engineering, The Quantum Leap: Leading the Next Quantum Revolution)が提起されている。前者のプロセスアイデアの例では、多様な分野知識を統合することによりイノベーションや発見をもたらすコンバージェンスの研究拡大が掲げられており(Growing Convergent Research)、グランドチャレンジの解決に向けて分野を超えた統合の促進を目指している。後者の研究アイデアの例では、「生命のルールの理解:表現型の予測」(Understanding the Rules of Life: Predicting Phenotype)が提起されており、これを推進するためには生物学、コンピュータ科学、数学、物理科学、行動科学および工学を横断する研究のコンバージェンスが必要だとしている。

英国では、英国研究・イノベーション機構(UKRI)が学際型研究プログラム(Multidisciplinary programmes)として6優先領域(Priority area)における研究開発プロジェクトに資金を助成している(Digital Economy, Energy, Global Food Security, Tackling Antimicrobial Resistance, Technology Touching Life, Urban Living Partnershipの6領域)⁴。UKRIは、分野横断的なアプローチが今後10~20年かけて大型の研究課題の多くを解決するために必要だとしている⁵。

我が国では、第2期科学技術基本計画(2001~2005年、以下、基本計画)において、「新しい科学技術は異なる分野の手法や考え方の間の触発や融合の中から生まれることが多いので、研究開発の推進にあたり境界領域や融合領域に特に留意する必要がある」として、学際的・分野融合的な研究を振興してきた。第3期(2006年~2010年)、第4期(2011~2015年)の基本計画においても、その取組は継承されている。現行の第5期基本計画(2016~2020年)では、「我が国が世界の中で存在感を発揮していくため、学際的・分野融合的な研究や国際共同研究を推進する」ことが示された。さらに同基本計画では、「研究者の内在的動機に基づく学術研究は、新たな分野横断的・融合的領域を創出するとともに、幅広い分野でのイノベーション創出の可能性を有している」ことから、「挑戦性、総合性、融合性及び国際性の観点から改革と強化を進めていく」としている⁶。これらの基本計画を受けて、例えば文部科学省は、2006年度に開始した先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラムにおいて先端的な融合領域における拠点の形成を支援してきた⁷。2013年度に開始した同省の革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)では、ハイリスクではあるものの実用化の期待が大きい異分野融合・連携型の基盤的テーマに対して集中的な支援を行っている⁸。2018年には、こうした異分野融合を推進するための方策を検討する一助として、国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター(JST/CRDS)が「Beyond Discipline JST/CRDSが注目する12の異分野融合領域・横断テーマ」を公表した⁹。

上記の国内外の取組を背景に、本調査では、科学技術イノベーション政策の観点から分野横断・融合のポテンシャルの高い領域に着目し、その抽出を試みた。一方、第5期基本計画では「研究者の内在的動機に基づく学術研究は、新たな分野横断的・融合的領域を創出するとともに、幅広い分野でのイノベーション創出の可能性を有している」と明記されていることをふまえ、個別分野の精緻化・先鋭化による新たな技術領域創出の可能性を考慮して、特定分野に軸足をおく領域に

⁴ UK Research and Innovation, Themes and programmes (<https://www.ukri.org/research/themes-and-programmes/>)

⁵ 第2期科学技術基本計画 (<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/honbun.html>)

⁶ 第5期科学技術基本計画 (<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>)

⁷ 先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム (<http://www.jst.go.jp/shincho/sentanyugo/>)

⁸ 科学技術振興機構、センター・オブ・イノベーションプログラム (<http://www.jst.go.jp/coi/outline/outline.html>)

⁹ 科学技術振興機構研究開発戦略センター Beyond Discipline JST/CRDSが注目する12の異分野融合領域・横断テーマ

についても抽出した。

本調査研究では上記の分野横断・融合のポテンシャルの高い領域と特定分野に軸足をおく領域について、科学技術イノベーション政策の観点より大きく取り上げるべき領域という意味を込めて、クローズアップ科学技術領域と呼ぶことにする。

1.3 クローズアップ科学技術領域の抽出方法—AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ—

上記の分野横断・融合に向けた国内外の取組では、研究開発事業の対象とする科学技術領域を選定する際に様々な指標が検討されてきた。例えば各国における科学技術政策的な位置づけ、科学的・社会的課題の状況、研究助成機関における課題、支援の方向性やシステムなどに基づく指標が挙げられる。

NSF による 10 のビッグアイデアの場合、NSF の director、chief operating officer、局 (research directorate) の assistant director などにより、未来の科学の方向性に関して部局横断的な議論を重ねて出された多くのアイデアが源泉だと報告されている (American Institute of Physics のサイトに載った Córdova NSF 長官の発言記録より)。

JST/CRDS が提唱する 12 の異分野融合領域・横断テーマの場合は、近年の研究開発を俯瞰する過程でフォローしているテーマ、戦略プロポーザルで提言したテーマ、提言を進めつつあるテーマなど、一定の問題意識を持つものや調査分析を進めているものの中から選出したと報告している。これらの報告から、分野横断・融合を進める上で注目される領域を選定する際には、各組織における研究支援活動や調査分析から得られたデータ、研究開発を支援する中でのノウハウや組織内外のネットワークが最大限に活用されていることがうかがえる。

本調査研究では、上述の NSF や JST/CRDS での取組を参考に、1971 年からおよそ 5 年毎に実施してきた科学技術予測調査の結果を有効活用することにより、クローズアップ科学技術領域の抽出を試みた。具体的には、2018～2019 年実施のデルファイ調査で設定した 702 の科学技術トピックについて、類似する単語が出現するトピックは意味的・科学的に関連するものとみなしてグループ化し、クローズアップ科学技術領域を抽出した。

クローズアップ科学技術領域の基になった科学技術トピックは、2050 年までを見据えた研究開発課題として、NISTEP 科学技術予測センターが 7 つの分野毎に設置した 10 名程度の産学官に属する専門家で構成される分科会にて選定したものである (詳細は 2.1 参照。デルファイ調査の詳細については、2019 年公表予定の報告書を参照されたい)。科学技術トピックは各分科会で選定されたが、必ずしも一つの分科会で閉じることなく、分科会間で情報共有しながら選定されたため、複数分野において関連するトピックが数多く選定された。これら関連する科学技術トピックをグループ化することにより、分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術領域の抽出を試みた (あくまで関連する科学技術トピックをグループ化して構築した領域であり、分野を横断・融合する領域であることを直接示していないため、そのポテンシャルの高い領域と位置づける)。要は、各分野に基づいて設定した科学技術トピックに分野横断の横串を刺して、クローズアップ科学技術領域を設定したことになる。

本調査研究では、近年の進展が著しい AI 関連技術とエキスパートジャッジを組み合わせたことが特徴である。エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出に先立ち、AI 関連

技術を利活用した自然言語処理とクラスタリング分析を行い、科学技術トピックをグループ化した。専門家の目視のみに依存して、702 の科学技術トピック全体を見渡しグループ化することは困難性が高いと考えられたため、エキスパートジャッジへのサポートを意図して、AI 関連技術を活用した。こうした AI 関連技術とエキスパートジャッジとの組み合わせ手法については、欧州委員会でのフォーサイトにも採用され始めており¹⁰、今後さらに活用の方が広がり発展すると期待される。

¹⁰ European Commission, 100 Radical innovation breakthroughs for the future. May 2019, https://ec.europa.eu/info/files/100-radical-innovation-breakthroughs-future_en

2. 調査の方法

まず、本調査研究で言う「AI 関連技術」について以下で説明・定義する。

AI は Artificial Intelligence (人工知能) を意味する。調査研究執筆時点の 2019 年において、AI は一般用語としてメディア報道等でも広く用いられている。一方で、AI の定義は困難で専門家の間でも統一された定義は確立していない¹¹。強いて言えば“人工的に作られた知能、もしくは人工的に知能を作ろうとする取組”が人工知能とされる。この定義に従えば、知能の生成を意図して、知能を対象にした研究はすべて人工知能研究ということになる。実際、人工知能の研究は哲学や心理学、認知科学、神経生理化学、など様々な領域の研究者によって行われており、アプローチも多様である。したがって、人工知能・AI といったときに、それが意味するものは必ずしも明確では無い。

ところで、昨今メディアで多く取り上げられるような「いわゆる AI」は人工知能の研究者などが呼称するところの AI とは必ずしも一致していない。ここでは深層学習を含む統計的機械学習 (以下、機械学習という) を中心に、自然言語処理などを加味したものを指して AI と呼称している様に観察される¹²。機械学習や自然言語処理はそれ自体が情報工学などの学問分野における研究テーマであると同時に、人工知能研究にも用いられるものであり、人工知能研究という視点からは部分集合として分類することも可能である。したがって、昨今メディア等で用いられる AI という呼称は必ずしも間違いではないものの、AI そのものとも言いがたい。

そこで本調査研究ではメディア等で AI として語られることの多い機械学習と自然言語処理を中心とした人工知能および関連技術を「AI 関連技術」と呼称する。

クローズアップ科学技術領域の抽出の全体像を図表 1 に示す。初めに、第 11 回科学技術予測調査の一環として実施したデルファイ調査にて選定した 702 の科学技術トピックを抽出し (ステップ 1)、AI 関連技術を用いた自然言語処理とクラスタリング分析により、複数分野で類似するトピックを科学的に関連するものとみなして機械的にグループ化した。具体的には、個々の科学技術トピックを分散表現化・マッピングした後、科学技術トピック間の距離を計算して近いもの同士でクラスタリングした (科学技術トピッククラスターの形成)。その後、科学技術トピックの全体的構造とクラスタリングの結果の概観、及び各クラスターの特徴を示すための可視化を行った (ステップ 2)。

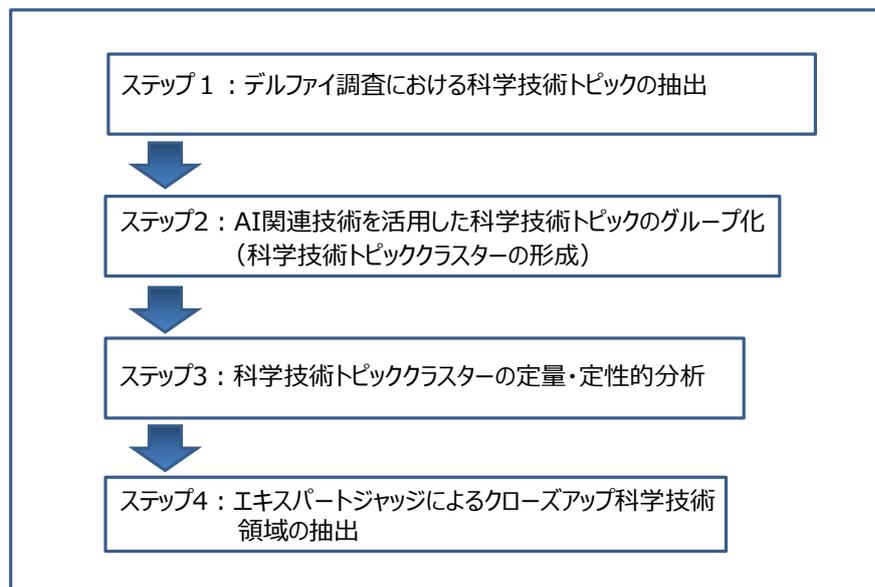
次に、これら科学技術トピッククラスターの特徴を示すために、クラスターの定量・定性的分析を目視で行った。具体的には、科学技術トピックの数と、そのトピックが属する分野の数を定量的に分析した。また定性分析として、科学技術トピッククラスターの特徴を示すための名称を暫定的に付与した (ステップ 3)。

その後、専門家会合を開催し、ステップ 2 と 3 の分析結果とエキスパートジャッジにより、各科学技術トピッククラスターに対して科学的な観点から妥当性を評価した。この評価結果に応じてクラスターを適宜再構築し、クローズアップ科学技術領域を抽出した。最終的に、クローズアップ科学技術領域毎に名称と概要を付与し、領域毎に属する代表的な科学技術トピックをとりまとめた (ステップ 4)。

¹¹松尾豊他, 人工知能とは (監修:人工知能学会), 近代科学社 (2016)

¹²鳥海 不二夫:人工知能技術を俯瞰する, 立法と調査, 参議院常任委員会調査室・特別調査室, 2018.10 No.405 (2018)

図表 1 クローズアップ領域抽出の流れ



2.1 ステップ 1:デルファイ調査における科学技術トピックの抽出

まず本調査研究のために、第 11 回科学技術予測調査におけるデルファイ調査で選定した科学技術トピック全 702 を抽出した(資料編 1 にて科学技術トピックリストを示す。個々の科学技術トピックは、2019 年 2 月に実施した第 1 回アンケート調査にて公開済)。このデルファイ調査では、以下 7 分野を設定し、2050 年までを見据えた研究開発課題として科学技術トピックを選定した。この 7 分野の下に、専門的観点から科学技術トピックを束ねるための細目を 59 設定した(図表 2)。

【7 分野】

- ①健康・医療・生命科学、②農林水産・食品・バイオテクノロジー、③環境・資源・エネルギー、④ICT・アナリティクス・サービス、⑤マテリアル・デバイス・プロセス、⑥都市・建築・土木・交通、⑦宇宙・海洋・地球・科学基盤

図表 2 に示すように、NISTEP 科学技術予測センターが上記 7 つの分野毎に設置した 10 名程度(計 74 名)の産学官の専門家で構成される 7 分科会において、同センターによるホライズン・スキヤニングの結果^{13 14 15}や第 10 回科学技術予測調査の科学技術トピック¹⁶、NISTEP サイエンスマップ 2016¹⁷などを参考に、以下のいずれかの条件を満たす科学技術トピックを選定した(なお、社会制度・システム、市民の意識、社会変化などに関する科学技術トピックも適宜設定された)。

¹³ NISTEP POLICY STUDY16、兆しを捉えるための新手法～NISTEP のホライズン・スキヤニング“KIDSASHI (http://hdl.handle.net/11035/3221)

¹⁴ KIDSASHI (https://stfc.nistep.go.jp/horizon2030/index.php/ja)

¹⁵ STI Horizon (http://www.nistep.go.jp/activities/sti-horizon%e8%aa%8c/sti-horizon)

¹⁶ NISTEP 調査資料 240、第 10 回科学技術予測調査 分野別科学技術予測 (http://hdl.handle.net/11035/3080)

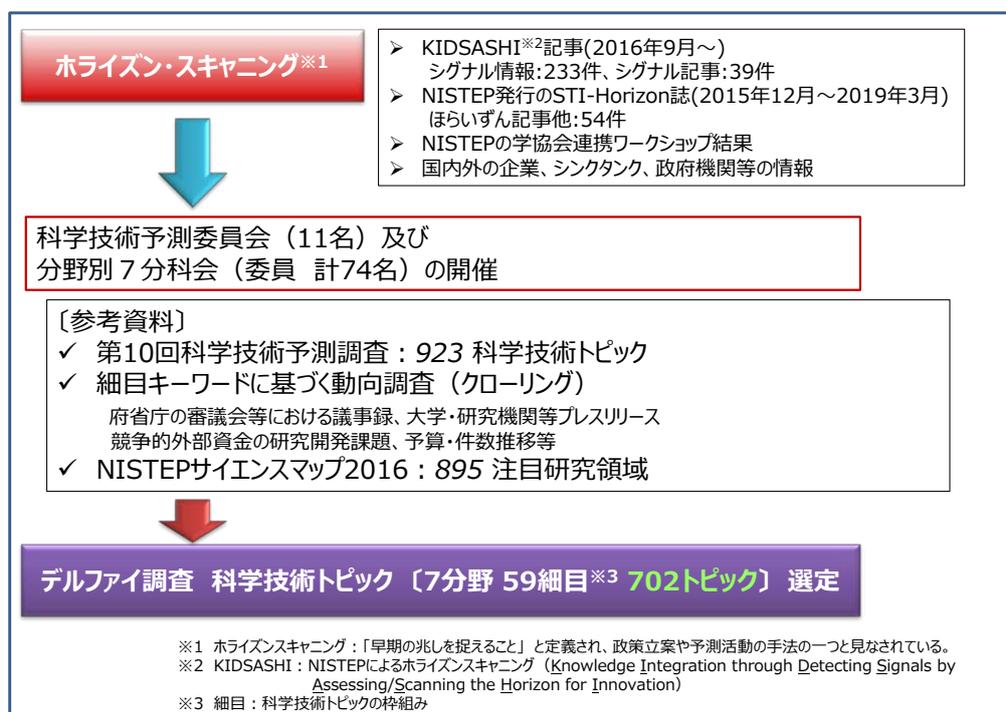
¹⁷ NISTEP REPORT178、サイエンスマップ 2016—論文データベース分析(2011-2016 年)による注目される研究領域の動向調査— (http://hdl.handle.net/11035/3213)

【科学技術トピックの選定条件】

- ① 目指す将来社会像の実現
- ② 将来の社会変化への対応や課題の解決
- ③ イノベーション創出、新しい価値の創造
- ④ 科学技術の進展

702 の科学技術トピックは分科会間で情報共有しつつ作成したため、分野を横断するトピックの存在や、複数分野で出現する類似トピックの存在は予測されており、実際に上記の会合でも指摘・確認され、文言調整等を行った。

図表 2 科学技術トピックの選定方法



2.2 ステップ 2: AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化 (科学技術トピッククラスターの形成)

本調査研究では、AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化を試みた。その理由として、専門家による目視のみで 702 の科学技術トピックの中から類似するトピックを効率的にグループ化することは、困難性が高いと考えられたためである。

たとえば、702 という科学技術トピックの数自体は人間でも十分に読み込める数ではあるが、任意の 1 トピックに類似しそうなトピックを見つけ出すには残る 701 件とそれぞれ比較することになり、単純な全体の比較回数は概ね 25 万回 (= (701²/2)回) 程度となる。さらに、「どの程度類似しているか」について一貫性を持って評価することも必要になる。

上記を考慮し、本調査研究では専門家の作業をサポートすることを目的として AI 関連技術を利用

活用した。予め別の大規模データセットで学習させた単語の分散表現¹⁸をもとに各トピックの分散表現(ベクトル)化を行い、ベクトル間の距離を元にクラスタリングを行うことで科学技術トピックのグループ化を実現した。具体的な作業について以下と図表 3 に示す。

2.2.1 科学技術トピックの自然言語処理

初めに、形態素解析(文章を、意味を持つ最小単位に分解する解析)を用いた科学技術トピックからの名詞句の抽出を行った。具体的には、日本語の形態素解析ソフトウェアの中で多用されている MeCab と辞書の mecab-ipadic-NEologd を用いて、702 科学技術トピックを形態素(意味を持つ最小単位)に分割し、それぞれの品詞等を判別して名詞句のみを抽出した(図表 3「形態素の抽出」のステップ)。

次に、これらの名詞句に基づいて科学技術トピックのベクトル化を行った。ここでは、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた 300 次元の単語分散表現(ベクトル)¹⁹をベースに、これら名詞句の分散表現を線形加算した総和を正規化して各科学技術トピックの特徴量(ベクトル)とした(図表 3「分散表現化」のステップ)。

ところで単語分散表現の獲得は分析対象のデータセットで行うことも多い。ただし、今回は 702 トピックしかなく、かつ、それぞれ専門性が高いと想定されることなどから、データの量・質が十分ではない。また、科学技術全体で見たときには似たような概念であっても分野毎に表現方法が異なることがある上、各トピックは基本的に 200 字以内の比較的短い文章で構成されており単純な cos 類似度による類似度算出はそぐわない。これらの理由から別の大規模データセットで学習させた分散表現を用いることにした。

2.2.2 科学技術トピックのクラスタリング

2.2.1 で求めた科学技術トピックの特徴量に対して階層的クラスタ分析(最遠隣法、ユークリッド距離)を適用し、類似するトピックをグループ化した(図表 3「クラスタリング」のステップ)。階層的クラスタ分析は、最も似ているものを結合させながら、ボトムアップに大きなクラスターにまとめ上げていく方法で、クラスターがつけられていく過程は樹形図(デンドログラム)で示すことができる。また、これらの結果を見ながら、概ね任意のクラスター数で結果を切り取ることも可能である。

クラスター間の類似度を定義する方法(距離の定義方法)は最遠隣法、Ward 法など複数存在し、どの手法を用いるかは分析結果の解釈容易性などから定性的に判断することが多い。そこで今回の分析でも、最近隣法、最遠隣法、重心法、群平均法、メディアン法、McQuitty 法、Ward 法という 7 つの手法を試行し、樹形図でのクラスターの偏りの程度と、実際につくられたクラスターが分野横断的であるか否かを目視で確認した。この結果、樹形図でのクラスターの偏りが小さく、かつ分野横断的なクラスターが最も多くつくられた最遠隣法を採用した。最遠隣法は、2 つのクラスターの中のそれぞれの中から1個ずつ科学技術トピックを選んでトピック間の距離を求め、それらの中で、最も遠いトピック間の距離をこの 2 つのクラスター間の距離とする方法である。

2.2.3 科学技術クラスターとトピックの可視化

2.2.1 で得た科学技術トピックの特徴量や 2.2.2 で行ったクラスター分析の結果について可視化を試みた。

¹⁸ 分散表現については資料編 2 で詳細説明

¹⁹ 小柴他, 議事録を用いた議会・行政の関係性分析手法, 人工知能学会 SIG-SAI, 2018-11-22 (<http://id.nii.ac.jp/1004/00009604/>)

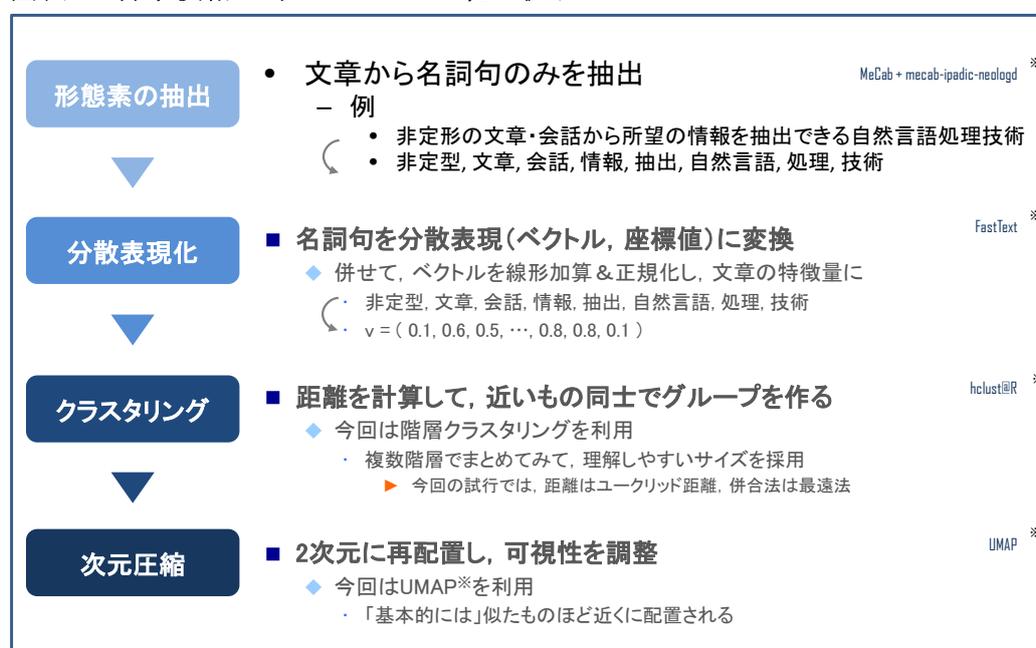
まず科学技術トピックの全体的構造とクラスタリングの結果の概観を示すための次元圧縮を行った。

前述の通り科学技術トピックの特徴量は 300 次元のベクトルであるため、次元圧縮して 2 次元に変換した。ここでは UMAP (UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction) を用いて圧縮した。その上で、各科学技術トピックの座標値と 2.2.2 で行ったクラスター分析の結果として得られる各トピックの所属クラスター番号を対応づけて出力した (図表 3「次元圧縮」のステップ)。

次に各クラスターの特徴を示すための可視化を行った。これについては、クラスター単位で科学技術トピックについて名詞句の出現数をカウントし、出現数と文字の大きさを対応づけたワードクラウドとして出力した。

以上の作業について、図表 3 にまとめる。

図表 3 科学技術トピックのグループ化の流れ



※使用したソフトウェア、アルゴリズム

2.3 ステップ 3: 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析

2.2 で作成した各科学技術トピッククラスターについて、各クラスターに属する科学技術トピックの数と、それらトピックが属する分野の数について目視で定量的に分析した。

また定性分析として、科学技術トピッククラスターの特徴を示すための名称を暫定的に付与した。

2.4 ステップ 4: エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出

2.4.1 専門家会合の開催

2.2 で作成した各科学技術トピッククラスターに対し、科学技術的な観点から妥当性を評価してクローズアップ科学技術領域を抽出する目的で、7 つのデルファイ調査の分科会を代表する座長から構成される専門家会合を開催した。開催日時と参加した専門家は図表 4 の通りである。

図表 4 クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合

開催日時 場所	専門家氏名 (敬称略)	所属・職位	デルファイ調査における担当分野・役職
2/28 (木) 18:30～ 20:00 NISTEP16B 会議室	雨宮 慶幸	東京大学大学院 特任教授	宇宙・海洋・地球・科学基盤分科会 座長
	石田 哲也	東京大学大学院 教授	都市・建築・土木・交通分科会 委員 (同分科会の座長である藤野 陽三 横浜国立 大学 上席特別教授の代理)
	榎 学	東京大学大学院 教授	マテリアル・デバイス・プロセス分科会 座長
	矢部 彰	新エネルギー・産業技術総合開発 機構技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長	環境・資源・エネルギー分科会 座長
3/5 (火) 17:00～ 19:00 NISTEP16B 会議室	亀岡 孝治	三重大学大学院 教授	農林水産・食品・バイオテクノロジー分科会 座長
	越塚 登	東京大学大学院 教授	ICT・アナリティクス・サービス分科会 座長
	福井 次矢	聖路加国際大学 学長 聖路加国際病院 院長	健康・医療・生命科学分科会 座長
	矢部 彰	新エネルギー・産業技術総合開発 機構技術戦略研究センター 再生可能エネルギーユニット長	環境・資源・エネルギー分科会 座長

2.4.2 クローズアップ科学技術領域の抽出

上記の専門家会合では、まずクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を策定した。この指針と科学技術トピッククラスターの分析結果、及びエキスパートジャッジにより、クローズアップ科学技術領域を抽出した。領域毎に名称と概要を付与すると共に、代表的な科学技術トピック 10 程度をとりまとめた。

クローズアップ科学技術領域の確定は、2019年6月4日にNISTEPにて開催された科学技術予測調査検討会にて行った。本検討会は、主査の濱口道成氏(科学技術振興機構 理事長)、副主査の須藤亮氏(産業競争力懇談会 専務理事、(株)東芝 特別嘱託)の下、図表4の7分科会の座長、及び大島まり氏(東京大学 教授)、永野 博氏(日本工学アカデミー 専務理事)の11名で構成された、第11回科学技術予測調査全般のアドバイザーボードである。

3. 調査の結果

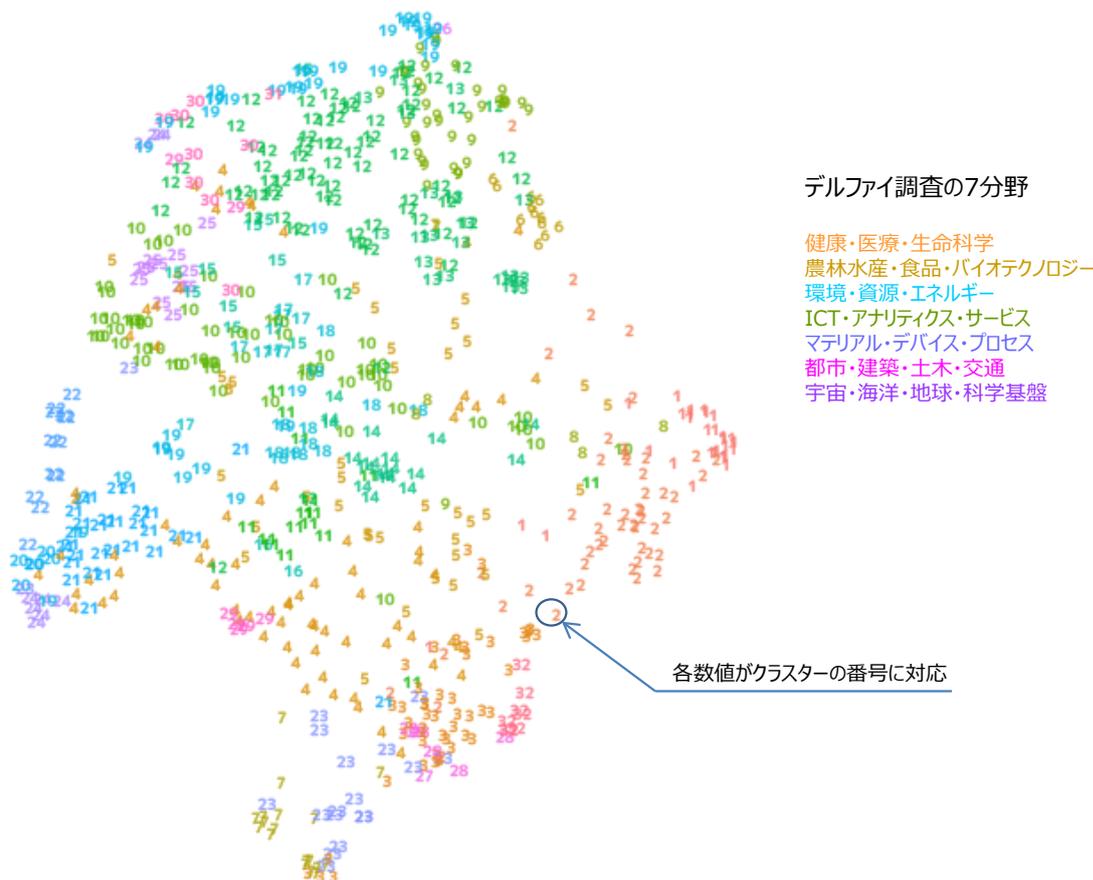
科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの形成)からクローズアップ領域の抽出までの、各ステップの結果を以下に示す。

3.1 AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化(科学技術トピッククラスターの形成)

2.2 に述べた手法に基づき、データの処理を実施した。階層的クラスター分析のクラスター数については、2、4、8、16、32、64、128 など複数のレベルで分割して様子を観察し、解釈の容易性や意味的妥当性などを勘案して、32 分類を採用した。

UMAP を用いた 702 科学技術トピック全体と 32 科学技術クラスターの対応を図表 5 に示す。健康・医療・生命科学分野の科学技術トピックの凝集性は相対的に高く(図表 5 の右部分)、農林水産・食品・バイオテクノロジー分野のトピックは広域に分布していることがわかる(中央部分)。また ICT・アナリティクス・サービス分野の科学技術トピックとそれ以外の分野のトピックとが近くに位置する例がみられる(上の部分)。

図表 5 32 科学技術トピッククラスターと 702 科学技術トピックのマッピング



※使用したソフトウェア、アルゴリズム : FastText, umap
300次元でクラスタリング等の作業後、可視化のため2次元に圧縮しているため、一部入り交じっているように見えることに留意。

3.2 科学技術トピッククラスターの定量・定性分析

32の科学技術トピッククラスターについて、それぞれのワードクラウドの出力結果と、トピック数とトピックが属する分野の数の一覧を、図表 6-1、6-2、6-3、6-4 に示す。

図表 6-1 32 科学技術クラスター一覧(1)

トピック数の最も多い分野を主分野、その次に多い分野を関連分野とした

クラスター No.	ワードクラウド	トピック数	分野別トピック数*						分野数	○主分野 ▼関連分野			
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市			基盤		
1		29	25	2					2	3	○健康・医療・生命科学		
2		53	40	2			8		3	4	○健康・医療・生命科学 ▼マテリアル・デバイス・プロセス		
3		45	3			5	15			22	4	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▼マテリアル・デバイス・プロセス	
4		80	6	5	13		33	13	10	6	6	○マテリアル・デバイス・プロセス ▼環境・資源・エネルギー ▼都市・土木・建築・交通	
5		38	3	18	2	2	6			7	6	○農林水産・食品・バイオテクノロジー ▼宇宙・海洋・地球・科学基盤	
6		12	1	1		8	1	1			5	5	○ICT・アナリティクス・サービス
7		20	1			13	4		2		4	○ICT・アナリティクス・サービス ▼マテリアル・デバイス・プロセス	

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)

健康: 健康・医療・生命科学、農水: 農林水産・食品・バイオテクノロジー、環境: 環境・資源・エネルギー
 ICT: ICT・アナリティクス・サービス、材料: マテリアル・デバイス・プロセス、都市: 都市・土木・建築・交通
 基盤: 宇宙・海洋・地球・科学基盤

図表 6-2 32 科学技術クラスター一覧(2)

クラスター No.	ワードクラウド	トピック数	分野別トピック数*							分野数	○主分野 ▼関連分野	
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤			
8		5	1	3	1					3	○農林水産・食品・バイオテクノロジー	
9		37	7	4		23			2	1	5	○ICT・アナリティクス・サービス ▼健康・医療・生命科学
10		58	3	10	22	1	1		6	15	7	○環境・資源・エネルギー ▼宇宙・海洋・地球・科学基盤
11		16	1	12	2		1				4	○農林水産・食品・バイオテクノロジー
12		77	4	10	3	21		5	29	5	7	○都市・土木・建築・交通 ▼ICT・アナリティクス・サービス
13		21	1			17			1	2	4	○ICT・アナリティクス・サービス
14		19		18	1						2	○農林水産・食品・バイオテクノロジー
15		10		2					7	1	3	○都市・土木・建築・交通

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)
 健康:健康・医療・生命科学、農水:農林水産・食品・バイオテクノロジー、環境:環境・資源・エネルギー
 ICT:ICT・アナリティクス・サービス、材料:マテリアル・デバイス・プロセス、都市:都市・土木・建築・交通
 基盤:宇宙・海洋・地球・科学基盤

図表 6-3 科学技術 32 クラスター一覽(3)

クラスター No.	ワードクラウド	トピック数	分野別トピック数*							分野数	○主分野 ▼関連分野
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市	基盤		
17		10		4	4				2	3	○農林水産・食品・バイオテクノロジー ○環境・資源・エネルギー
18		12		4	7		1			3	○環境・資源・エネルギー ▼農林水産・食品・バイオテクノロジー
19		38		1	10	13		2	12	6	○ICT・アナリティクス・サービス ▼都市・土木・建築・交通
20		6			6					1	○環境・資源・エネルギー
21		30			20		8		2	3	○環境・資源・エネルギー ▼マテリアル・デバイス・プロセス
22		12			8				4	2	○環境・資源・エネルギー ▼宇宙・海洋・地球・科学基盤
23		19			1	3	8		7	4	○マテリアル・デバイス・プロセス ▼宇宙・海洋・地球・科学基盤
24		9			5		3		1	3	○環境・資源・エネルギー ▼マテリアル・デバイス・プロセス

分野別トピック数*(デルファイ調査における分野名の略称)

健康:健康・医療・生命科学、農水:農林水産・食品・バイオテクノロジー、環境:環境・資源・エネルギー
 ICT:ICT・アナリティクス・サービス、材料:マテリアル・デバイス・プロセス、都市:都市・土木・建築・交通
 基盤:宇宙・海洋・地球・科学基盤

図表 6-4 科学技術 32 クラスター一覧(4)

クラスター No.	ワードクラウド	トピック数	分野別トピック数*						分野数	○主分野 ▼関連分野	
			健康	農水	環境	ICT	材料	都市			基盤
25		12			1			5	6	3	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▼都市・土木・建築・交通
28		6					2		4	2	○宇宙・海洋・地球・科学基盤 ▼マテリアル・デバイス・プロセス
29		7					1		6	2	○都市・土木・建築・交通
30		8							7	1	○都市・土木・建築・交通
32		8							8	1	○宇宙・海洋・地球・科学基盤
16		2		1			1			2	・農林水産・食品・バイオテクノロジー ・マテリアル・デバイス・プロセス
26		1				1				1	・ICT・アナリティクス・サービス
27		1					1			1	・マテリアル・デバイス・プロセス
31		1						1		1	・都市・土木・建築・交通

(クラスターNo.16,26,27,31は、トピック数が1または2と少ないため、領域検討から除外)

分野別トピック数* (デルファイ調査における分野名の略称)

健康:健康・医療・生命科学、農水:農林水産・食品・バイオテクノロジー、環境:環境・資源・エネルギー
ICT:ICT・アナリティクス・サービス、材料:マテリアル・デバイス・プロセス、都市:都市・土木・建築・交通
基盤:宇宙・海洋・地球・科学基盤

32 科学技術トピッククラスターのうち、最もトピック数が多いクラスターは No.4 の領域であり(80トピック)、次いでNo.12(77トピック)、No.10(58トピック)、No.2(53トピック)の順でトピック数が多かった。一方、トピックが1ないし2のみの科学技術クラスターが4つ存在した(図表 6-4 の No.16、26、27、31)。これら4つの科学技術トピッククラスターについては、トピック数がわずかなためクローズアップ科学技術領域の候補から除外し、以降は28クラスターを対象に検討した。

3.3 エキスパートジャッジによるクローズアップ科学技術領域の抽出

3.3.1 クローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針

2.4.1 で示した専門家会合では、まず 28 の科学技術トピッククラスターからクローズアップ科学技術領域を抽出する上での指針を検討した。その結果、以下の指針を定めた。

- ▶ 少なくとも 2 分野以上の科学技術トピックを 10 程度以上含み、分野横断・融合のポテンシャルが高いと考えられる科学技術領域を主対象。1 ないし 2 分野のトピックを 10 程度以上含む領域は、特定分野に軸足を置く科学技術領域として考慮
- ▶ 科学的・社会的課題を解決する上で重要な科学技術領域を対象
- ▶ 科学技術領域全体を見た上でのバランスを考慮

3.3.2 クローズアップ科学技術領域の抽出

28 の科学技術トピッククラスターに対して、上記 3.3.1 の指針及び以下のデータを総合的に検討し、科学技術的観点から妥当性を評価した。その評価結果により、科学技術的に内容が近似する科学技術トピッククラスターを適宜統合するなどのクラスターの再構築を行い、最終的に分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 つのクローズアップ領域と特定分野に軸足を置く 8 領域の併せて 16 のクローズアップ科学技術領域を抽出した。

- ▶ 32 科学技術トピッククラスターと 702 科学技術トピックのマッピング(図表 5)
- ▶ 科学技術 32 クラスターから No.16、26、27、31 の 4 クラスターを除いた 28 クラスターにおける科学技術トピックの構成と(クラスターの定量分析、図表 6-1、6-2、6-3、6-4)、それからクラスターに暫定的な名称を付与して特徴を示したもの(クラスターの定性分析、図表 7、10)

専門家による科学技術トピッククラスターの評価結果は、資料編 3「クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見」に示す。

(1) 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ 8 科学技術領域

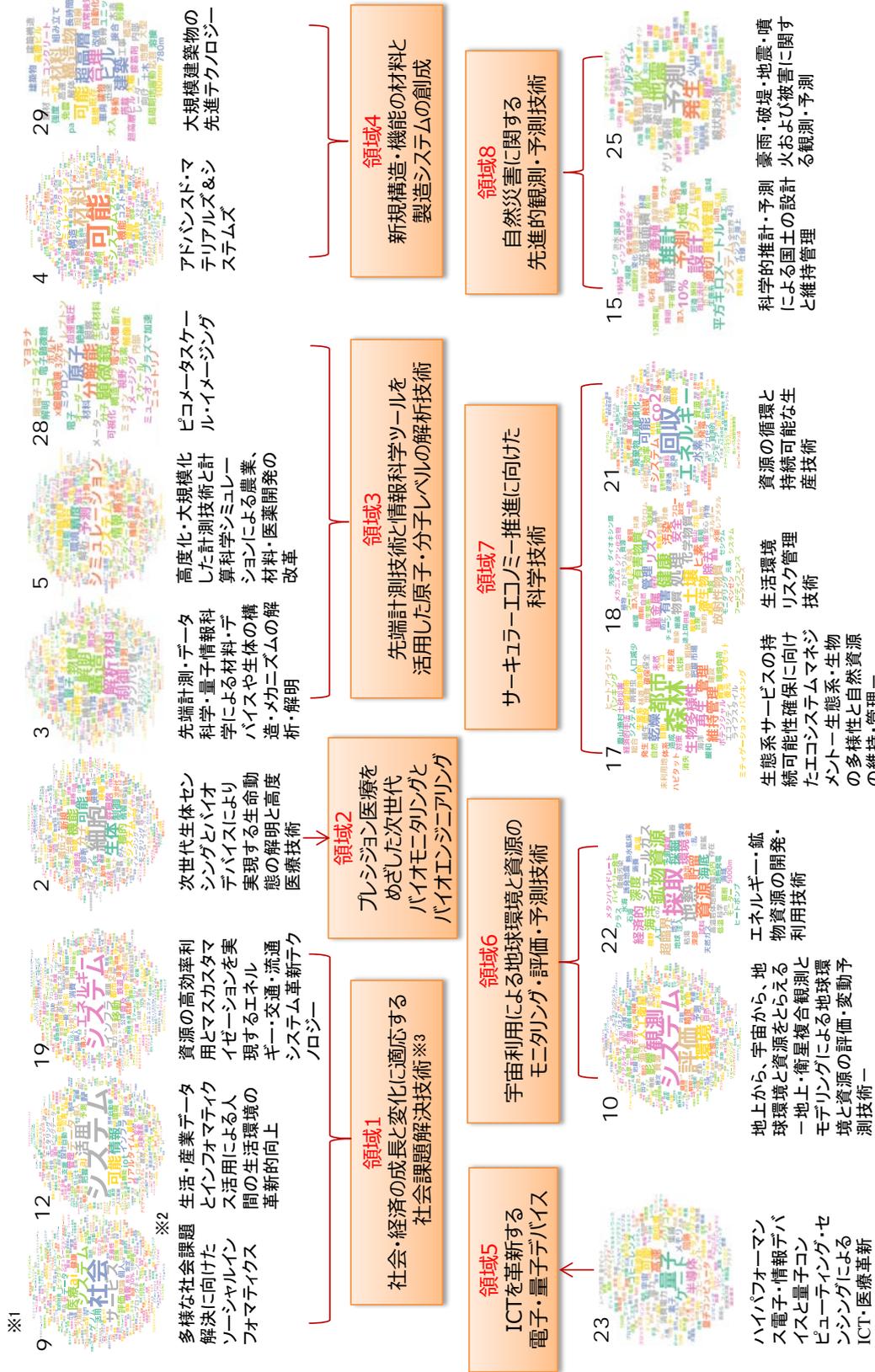
図表 7 で科学技術トピッククラスターの再構築の内容、図表 8 で最終的に抽出された領域の名称と概要の一覧、図表 9-1 および図表 9-2 で各領域における代表的な科学技術トピックのリストを示す。

(2) 特定分野に軸足を置くクローズアップ 8 科学技術領域

さらに、特定分野に軸足を置く 8 つの科学技術領域も抽出した。これら領域は、デルファイ調査の 7 分野内での注目すべき領域と考えられる。

図表 10 で科学技術トピッククラスターの再構築の内容、図表 11 で最終的に抽出された領域の名称と概要の一覧、図表 12-1 および図表 12-2 で各領域における代表的な科学技術トピックのリストを示す。

図表 7 28 科学技術クラスターから分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ領域への再構築



図表 8 分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術 8 領域の名称と概要

領域 No.	クラスター No.	名称	概要	トピック数
1	9,12,19 ^{※1}	社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	社会的インフラストラクチャー、都市建築空間、教育、医療、金融などの多様な社会的共通資本のサービス・ソリューションに向けた AI、IoT、量子コンピューティング、ELSI(倫理的・法的・社会的課題)対応、認知科学、行動経済学など、複雑な社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)が抱える課題を解決する科学技術領域	152
2	2	プレジジョン医療 ^{※2} をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング	完全非侵襲・高感度・高精細・リアルタイムモニタリングにより、人の個体から組織・臓器、細胞、分子レベルにわたり生命現象を捉えることで、バイオエンジニアリングによる再生・細胞医療や次世代ゲノム編集技術による遺伝子治療のような高度医療の技術開発につなぐ科学技術領域	53
3	3,5,28	先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術	量子ビーム応用などの先端計測や、シミュレーション・インフォマティクス・AI などの情報科学ツールを活用した、構造・機能材料、高分子、生体分子などの構造や状態の解析・解明・予測、農作物や医薬品の開発・品質管理に関する科学技術領域	89
4	4,29	新規構造・機能の材料と製造システムの創成	材料から構造物、環境、医療に関わる要素技術まで生活環境向上に寄与する、シミュレーションとデータ活用による材料の構造・物性予測や、材料・デバイスの実用化のための先進製造・流通システムやコスト低減に関する科学技術領域	87
5	23	ICT を革新する電子・量子デバイス	ICT 革新に寄与する、高速・高密度・低消費電力の電子・情報デバイス、高効率パワーデバイス、高コヒーレンス量子デバイス(量子コンピューティング・センシング)に関する科学技術領域	19
6	10,22	宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術	地球環境・資源を地上や人工衛星から複合的にモニタリング・評価し、数理モデルで予測することにより、人間活動がもたらす地球環境の変化や自然災害への対処、エネルギー、地下・海洋資源や農林水産資源の探索に寄与する科学技術領域	70
7	17,18,21	サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	資源の循環と持続可能な生産に向けた、CO2 や廃棄物の再資源化技術、バイオマス利用技術、高レベル放射性廃棄物処理技術、レアメタルの回収・利用技術、環境循環の中での有害化学物質等の管理技術に関する科学技術領域	52
8	15,25	自然災害に関する先進的観測・予測技術	豪雨や地震・火山噴火等の自然災害とそれらが及ぼす被害の先進的観測・予測技術と防災・減災技術、および山地や海岸線等の国土変化予測による国土保全、長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計等に関する科学技術領域	22

※1: 例えば領域 1 は、図表 6 に示す科学技術クラスターNo.9,12,19 を再構成した。

※2: 遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮した疾病の予防・治療。

図表 9 分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域の代表的な科学技術トピック

〔領域 1〕社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ
	362	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logic などにより発展させた新理論
	381	法規制をもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的／定量的にシミュレーションする技術
	393	教育に AI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
	397	すべての国民が IT リテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現と IT 人材不足の解消
健康・医療・生命科学	73	プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、IC チップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム
農林水産・食品・バイオテクノロジー	112	フィールドオミックス、フェノミックスなどから得られたビッグデータと AI による育種の超高速化(テラーメイド)
環境・資源・エネルギー	293	情報技術 (IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム
都市・建築・土木・交通	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術

※ID:デルファイ調査において各科学技術トピックに付与した通し番号、以下同様(資料編 1 を参照のこと)

〔領域 2〕プレジジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング

分野名	ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法
	89	循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム
	90	細胞の位置情報を保持した上での 1 細胞オミックス解析技術
マテリアル・デバイス・プロセス	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術
	502	3D プリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオファブリケーション)
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術

[領域3]先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	649	iPS細胞等によるバイオアッセイ系とスパコンによる薬物動態シミュレーション技術により、テイラーメイド医薬品・化粧品等を開発する手法
	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化
	680	中性子やX線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の3次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術
	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を3桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム
マテリアル・デバイス・プロセス	431	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、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術
	453	ピコメートルスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡
	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明
農林水産・食品・バイオテクノロジー	107	X線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析とICTを用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム
	108	短・中期気象予報と生物学的知識とAIを融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム

[領域4]新規構造・機能の材料と製造システムの創成

分野名	ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4Dプリンティング・4Dマテリアル)
	423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術
	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料
	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダーメイドで製造(造形)する3Dフードプリンティング技術
	495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル
	499	バイオミメティクスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料
環境・資源・エネルギー	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下)
	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術
都市・建築・土木・交通	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム

[領域5]ICT を革新する電子・量子デバイス

分野名	ID	主な科学技術トピック
マテリアル・デバイス・プロセス	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体
	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料
	460	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
	463	単スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子
	465	急峻 on/offトランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ
ICT・アナリティクス・サービス	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケラビリティの大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク
宇宙・海洋・地球・科学基盤	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム
	694	コヒーレント時間が 10 ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー

[領域6]宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術
	259	衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、全国の地下水マップの一般化
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100 年にわたる長期地球環境変動予測
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ 利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム
宇宙・海洋・地球・科学基盤	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
農林水産・食品・バイオテクノロジー	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム

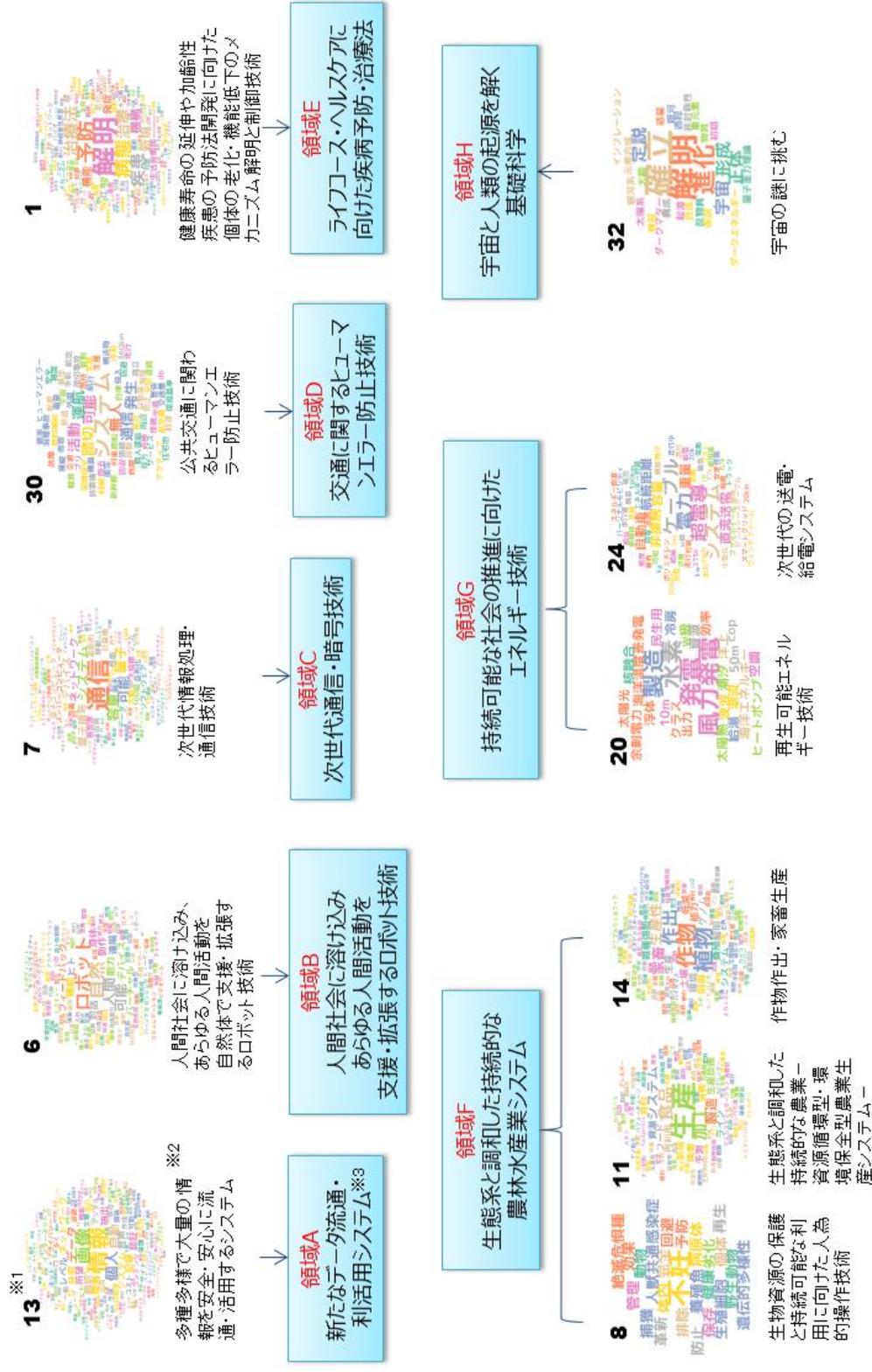
〔領域7〕サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション
	216	大気から回収されたCO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造
	237	海水中から経済的にウランなどの稀少金属を回収する技術
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水汚泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理
マテリアル・デバイス・プロセス	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対2018年比で10分の1以下となる燃料電池
	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料
農林水産・食品・バイオテクノロジー	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術

〔領域8〕自然災害に関する先進的観測・予測技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見い出すための切迫度評価
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5~10万年前の年代測定精度を向上させる技術
	632	マグニチュード7以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30年以内)、被害の予測技術
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
都市・建築・土木・交通	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測
	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術

図表 10 28 科学技術クラスターから特定分野に軸足を置くクローズアップ領域への再構築



※1:図表6の科学技術クラスター番号に相当 ※2:科学技術クラスターの特徴を示すために付与した暫定的な名称 ※3:最終的なクローズアップ科学技術領域のテーマ名

図表 11 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術 8 領域の名称と概要

領域 No.	クラスター No.	名称	概要	トピック数
A	13	新たなデータ流通・利活用システム	産業・医療・教育に係るデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量の情報を、適正かつ効果的に収集・共有・分析・活用するための科学技術領域	21
B	6	人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術	人間社会に溶け込み、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を自然な形で支援・拡張するロボットに関する科学技術領域	12
C	7	次世代通信・暗号技術	光・量子通信と量子暗号に代表される、超高速・超大容量、超長距離・超広帯域、超低遅延・超低消費電力、多数同時接続、かつセキュリティの高い通信に関する科学技術領域	20
D	30	交通に関するヒューマンエラー防止技術	鉄道、船舶、航空機での無人運転・運航・操縦に代表される、陸・海・空の各運輸モードでのヒューマンエラーを防止するための支援技術・システムに関する科学技術領域	8
E	1	ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	人の発達過程における環境と疾病との関係性の解明、老化・機能低下のメカニズム解明やその制御、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発など、人の胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえた生涯保健に関する科学技術領域	29
F	8,11,14※1	生態系と調和した持続的な農林水産業システム	動植物、微生物、環境、人間の相互作用(生態系)に着目した、農林水産業における生産性や品質の向上と効率化、環境への負荷低減や生産環境の保全、遺伝資源の保存と利用のための資源管理などに基づく新しい持続的生産システムの構築に関する科学技術領域	40
G	20,24	持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術	エネルギー源の多様化によるエネルギー安全保障の強化や低炭素社会を実現する、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギー技術や直流送電システム、超伝導技術、ワイアレス給電技術などの次世代電力ネットワークに関する科学技術領域	15
H	32	宇宙と人類の起源を解く基礎科学	太陽系・銀河系の形成、軽元素・重元素合成の進化過程、ダークマター・ダークエネルギーの正体、量子重力理論、インフレーション仮説等、宇宙の謎の解明、定説の確立など、宇宙と人類の起源に関する科学技術領域	8

※1:例えば領域 F は、図表 6 に示す科学技術クラスター No.8,11,14 を再構成した。

図表 12 特定分野に軸足を置く 8 領域の代表的な科学技術トピック一覧

[領域 A]新たなデータ流通・利活用システム

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
	327	あらゆるデータのオントロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少
	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)
	387	AI 技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクトデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)
その他の分野	94	研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図
	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術

※ID:デルファイ調査において各科学技術トピックに付与した通し番号、以下同様(資料編 1 を参照のこと)

〔領域 B〕人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	306	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
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・膂力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)
その他の分野	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手
	115	人間を代替する農業ロボット
	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型 HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス
	593	知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット

注) 領域 A と B では 4~5 分野の科学技術トピックが属するが、ICT・アナリティクス・サービス分野に軸足を置いた領域である(同分野以外のトピックは、多様な出口があることを示す)。

〔領域 C〕次世代通信・暗号技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1 兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅
	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信を同時に実現する有無線移動通信技術
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信
	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術
マテリアル・デバイス・プロセス	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ

〔領域 D〕交通に関するヒューマンエラー防止技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
都市・建築・土木・交通	573	自律航行可能な無人運航商船
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づく、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機
	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム

〔領域 E〕ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法

分野名	ID	主な科学技術トピック
健康・医療・生命科学	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	80	Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
	87	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術

〔領域 F〕生態系と調和した持続的な農林水産業システム

分野名	ID	主な科学技術トピック
農林水産・食品・バイオテクノロジー	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメスティケーション)
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出
	103	完全不妊養殖魚
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術
	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えばフード3D プリンターのような)
	127	生産・流通・加工・消費を通じた完全循環型フードバリューチェーン
	159	作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明
	164	光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)による CO ₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム

〔領域 G〕持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術

分野名	ID	主な科学技術トピック
環境・資源・エネルギー	194	太陽熱等を利用した水素製造技術
	201	50MW 級洋上浮体式風力発電
	202	10MW クラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術
	219	ウインドファーム用の直流送電ケーブルシステム
	220	現在の 275kV CV ケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ 66-77kV 超電導送電ケーブル
	221	自動車の走行中の非接触充電技術
	223	5MW 級の電力貯蔵用超電導フライホイール
	224	数十 kWh 規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム
マテリアル・デバイス・プロセス	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池
	478	高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド

〔領域 H〕宇宙と人類の起源を解く基礎科学

分野名	ID	主な科学技術トピック
宇宙・海洋・地球・科学基盤	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立
	658	量子重力理論の確立・検証
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明
	661	ダークマターの正体の解明
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明

(3) 主なクローズアップ領域の内容(例示)

分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術領域の中で、**領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」**は、最も多くの科学技術トピックを有し、かつ多くの分野に関わる領域として特に注目される。この科学技術領域での社会技術とは、複雑な社会現象をモデル化・シミュレーションすることにより理解し、現象の制御につなげる一連の流れを指しており、情報処理技術と数理科学的アプローチが中核となる。

具体的には、大規模なソーシャルメディア由来のデータ(ソーシャルデータ)とリアルワールド由来の計測・観測データの取得・処理、データに基づく人間・組織の行動や社会現象の数理科学的分析・モデル化(エージェント・ベース・モデル、ベイジアンネットワーク、ベイズ統計など)、バーチャルラボなどを通じた大規模行動実験などが含まれる。ここでは、様々な場面から得られるマルチモーダルなビックデータを扱い、大量の非構造化データや自然言語情報などを効率的・効果的に処理する AI の開発が求められる。加えて、上記のような複雑かつ大規模なデータの並列計算を可能とするシステム(量子コンピューティングなど)が必要である。

一方で、限られたデータから精度良く教師なし学習を行うことが出来る技術、所謂不完全情報処理技術も求められる。この背景として、社会課題によっては大量のデータを取得することが困難である、あるいはそもそも大量のデータを取得することが出来ない場合があることが想定されると共に、近年の欧米では ELSI(倫理的・法的・社会的問題)の観点でデータ収集が抑制される方向になりつつあることが挙げられる(例えば EU の一般データ保護規則 GDPR)。

特定分野に軸足を置くクローズアップ科学領域の中では、我が国において近年非常に社会ニーズが高まっている**領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」**が注目される。交通に関するヒューマンエラーは、人間と移動体(車両・航空機・船舶等の機械)が共同して目的を達成するためのシステム(ヒューマン・マシン・システム)の中で、人間の側が自分に割り当てられた仕事、あるいは人間のオペレーターに期待されたパフォーマンスの水準を満たすことに失敗したため、システム全体がトラブルを起こしたり、システムダウンになったりする状態を指す²⁰。この防止には、移動体、人間、移動体と人間のインターフェイス、システム管理などへの対策が必要とされるが、本科学技術領域では、特に人間側の負担を軽減してエラーの発生を抑制することを目的とした、移動体の無人運転・操縦・運航技術の中核としている。

これらは、人間に代わり認知、判断、操作を行う技術であり、移動体毎に要素技術や技術的難易度は異なるが、全般的には位置情報の特定、障害物の認識、危険判断・予知などの高度な情報処理機能や走行制御技術などから構成される。加えて、鉄道と自動車のような異なる移動体間での通信技術による踏切事故防止や、更にマルチモーダルな移動体の情報を一元管理して有用化することも考えられる。総じて、情報通信技術の進展による交通システムの知能化が、今後の方向性と考えられる。

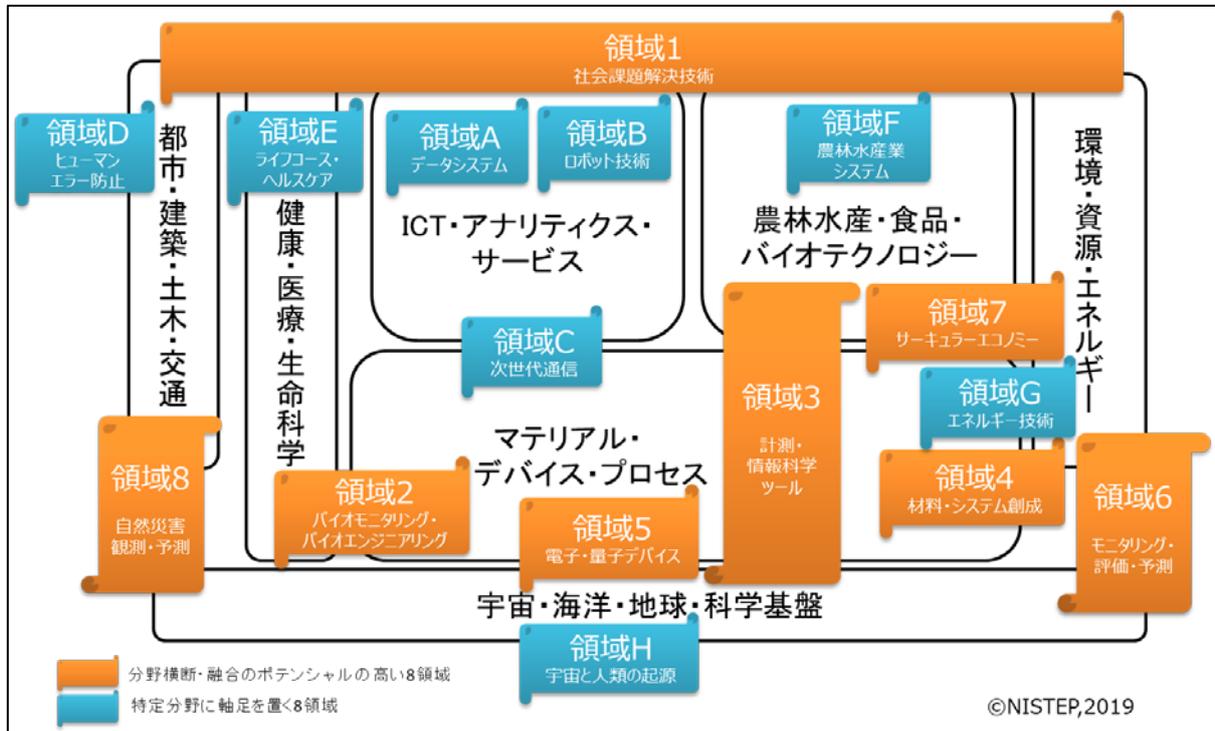
(4) 抽出されたクローズアップ領域とデルファイ調査分野の関係

図表 12 で、今回抽出されたクローズアップ科学技術領域とデルファイ調査における分野との関係を示す。分野横断・融合のポテンシャルの高い 8 領域(図表 12 のオレンジの領域)は、デルファイ調査の複数の分野に強く関わり、特に領域 1(社会課題解決技術)は 5 分野と広範に及んでいる。

²⁰国土交通省、公共交通に係るヒューマンエラー事故防止対策検討委員会最終とりまとめ、平成 18 年 4 月

一方、特定分野に軸足を置く8領域(図表12のブルーの領域)は、分野間の関りは単一あるいは2分野と少なく、今回設定したデルファイ分野内での注目すべき領域として抽出された。

図表12 分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域、及び特定分野に軸足を置く8領域とデルファイ調査における分野との関係²¹



注)分野の関りについては、今回抽出された領域を構成する主たるトピックが属する分野を考慮し図示したものであり、領域に含まれる全てのトピックを対象としたものではない。

²¹図は各クローズアップ領域の略称を示しており、正式名称は以下の通り。

- 領域1 社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術
- 領域2 プレシジョン医療をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング
- 領域3 先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術
- 領域4 新規構造・機能の材料と製造システムの創成
- 領域5 ICTを革新する電子・量子デバイス
- 領域6 宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術
- 領域7 サークュラーエコノミー推進に向けた科学技術
- 領域8 自然災害に関する先進的観測・予測技術
- 領域A 新たなデータ流通・利活用システム
- 領域B 人間社会に受け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術
- 領域C 次世代通信・暗号技術
- 領域D 交通に関するヒューマンエラー防止技術
- 領域E ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法
- 領域F 生態系と調和した持続的な農林水産業システム
- 領域G 持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術
- 領域H 宇宙と人類の起源を解く基礎科学

4. まとめ

本調査研究では、デルファイ調査の702科学技術トピックを基にして、AI関連技術による機械的なデータ処理とエキスパートジャッジとを組み合わせることにより、科学技術の視点から今後推進すべきと考えられるクローズアップ領域の抽出を試みた。エキスパートジャッジに先立ち、各科学技術トピックの分散表現(ベクトル)化を行い、ベクトル間の距離を元にクラスタリングを行うことで、科学技術の観点で関連する科学技術トピックをグループ化した。これにより、専門家の目視のみで実施することが困難な大量の知的作業をAI関連技術がサポート出来ることを示したと共に、今後の国家的研究開発戦略を検討する上での新たな手法を提案した。

本調査研究において科学技術トピックをグループ化するにあたり、幾つかの自然言語処理上の課題があった。具体的には、科学技術の観点では関連するが、分野間で表現が異なる複数のトピックを効率的にグループ化する手法の開発が必要であった。また、科学技術トピックは比較的短い文章で構成されていることから、単純なcos類似度による類似度算出ではうまくグループ化出来ず、新たなグループ化の手法が求められた。本調査研究では、独自に用意した大規模データセットにて学習させた分散表現を用いることにより、この課題を解決した。

上記のAI関連技術で得られた32の科学技術トピッククラスターに対して専門家が評価したところ、ある程度納得のいくものが多かったとの意見を得た。また、科学技術トピッククラスターのワードクラウドを分析することにより、トピック間の新たな関連性を見いだすことが出来たとの意見も得た。その一方で、科学技術トピッククラスターがそのままクローズアップ領域につながるのではなく、専門的視点からクラスターを精緻化したり、クラスター内のトピック群を熟考して上位概念化したりする必要があるとの意見を得た。これらの意見を合わせると、AI関連技術による機械的なデータ処理とエキスパートジャッジとは相互補完的なものとして適宜組み合わせることで、適切なクローズアップ領域を抽出することが可能だと考えられる。

分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ8領域の中で、最も多くの分野に関わり、かつ最も多くの科学技術トピックを有する領域1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」は情報科学と数理科学の連携・融合による複雑な社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)が抱える課題への対応であり、Society5.0の進展を促す技術を含む領域として注目される。

また、当初の主対象であった上記領域のみならず、特定分野に軸足を置く8領域の抽出も実現した。この領域は、デルファイ調査の7分野の中で特に注目すべき領域と位置づけられる。例えば、近年社会ニーズが非常に高まっている領域D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」では、位置情報の特定、障害物の認識、危険判断・予知などの高度な情報処理技術や走行制御技術などが挙げられた。上記のクローズアップ領域1と考え合わせると、社会の様々な情報を収集・分析して利活用することの重要性が浮かび上がった。

今後、分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術8領域と特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術8領域の全てについて、デルファイ調査データと突合して分析を進める予定であり、その結果は改めて報告する。

資料編

1. デルファイ調査で設定した分野別科学技術トピック

1.1 健康・医療・生命科学分野

資料図表1 科学技術トピック(健康・医療・生命科学分野)

※ID:当該調査において各トピックに付与した番号

細目	ID	科学技術トピック
医薬品(再生・細胞医療製品、遺伝子治療製品を含む)	1	慢性疾患の病態のシステムの把握(遺伝子ネットワーク把握)に基づく薬物療法
	2	細胞内標的に作用するペプチド・抗体医薬の新規技術
	3	低分子化合物・ペプチド・抗体・核酸に次ぐ新規機能分子の医薬
	4	タンパク質高次構造解析に基づき、タンパク質間相互作用(Protein-Protein Interaction:PPI)を阻害する化合物を設計する技術
	5	生体中での機能を再現可能な多能性幹細胞由来の人工臓器やオルガノイドを使った、薬効・安全性評価技術
	6	目的とする組織・器官への送達と細胞内ドラッグデリバリーシステム(DDS)技術を実現させる核酸医薬品
	7	(核酸以外の)薬や遺伝子を標的細胞内部の特定部位に運ぶナノキャリアシステム
	8	造血幹細胞移植のドナー不足を解決する造血系幹細胞の大量培養技術
	9	細胞移植や遺伝子治療による、中枢神経回路網の機能不全[パーキンソン病、筋委縮性側索硬化症(ALS)、脊髄損傷等]に対する治療法
	10	生体内に内在する幹細胞、あるいは移植された幹細胞の機能を制御することによる再生医療技術
	11	免疫拒絶回避を完全にできる同種由来再生医療技術・製品
	12	細胞医療・遺伝子治療などによる、聴覚や視覚の機能を再生させる医療技術
	13	動物の胚とヒト幹細胞由来細胞のキメラ胚(動物性集合胚)から作出されるヒト移植用臓器
	14	膵β細胞を再生・増加させる技術に基づく、糖尿病を治癒させる薬剤
	15	次世代ゲノム編集技術による、遺伝子修復治療や単一遺伝病の治療を広汎に実現する遺伝子治療法
	16	先天性遺伝子疾患を対象とした安全性の高い子宮内遺伝子治療法
	17	眼、脳等(到達困難な組織)への薬剤輸送を可能とする技術
	18	固形がんを標的とする遺伝子改変T細胞を用いた、細胞性免疫を制御することによる免疫療法
	19	食べるワクチン等、経口投与を可能とする次世代ワクチン技術
	20	医薬品開発の成功確率を現在比で2倍にする、化合物生成・最適化(有効性・安全性・動態予測を含む)のための人工知能・シミュレーション技術
医療機器開発	21	病変部位の迅速識別能力の向上と早期発見が可能となる、非侵襲診断機器(画像など)のコンパクト化とAI導入
	22	ノートPCレベルで、体内の脳動脈瘤など疾患シミュレーション、インプラント機器による治療効果、有効性の予測、術前シミュレーションが可能になるような統合的医療ソフトウェア
	23	患者への負担や医療費を軽減できる簡便なウェアラブル透析装置
	24	がん細胞を包み込んだり、がん細胞特異的に吸収したりする材料(ポリマーなど)により、がん細胞を物理的に孤立させて死滅させる治療法
	25	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手
	26	筋委縮性側索硬化症(ALS)患者等の重度な運動機能障害者の日常生活動作を支援するための、脳活動を直接反映させるニューロリハビリ機器
	27	遠隔で、認知症などの治療や介護が可能になる超分散ホスピタルシステム(自宅、クリニック、拠点病院との地域ネットワーク)
	28	がん末期での腸瘻や介護現場において利用可能な、人手が不要の排泄補助機器
	29	疾患や加齢により衰えた筋骨格系の簡便で安価な機能補助技術
	30	次世代手術ロボットとAIによる、外科医の熟練によらない標準化された手技
	31	手術室やベッドサイドの全てのケーブルが消失可能となる、次世代半導体によるモニター機器のミニチュア化と無線化

	32	ナノテクノロジーによる生体人工物界面制御の精密化に基づく、高機能インプラント機器やドラッグデリバリーシステム(DDS)技術を可能とする高度な生体適合性材料
老化及び非感染性疾患	33	血液による、がんや認知症の早期診断・病態モニタリング
	34	がん、自己免疫疾患、アレルギー疾患に対する免疫系を基盤とした治療およびその効果予測
	35	自律神経系・精神的ストレス・うつ病と生活習慣病の相互作用の解明による、悪循環をたちきる方法
	36	胎生期から乳幼児期の環境因子に起因する生活習慣病の予防・治療薬
	37	非感染性疾患に対する、統合的オミックス解析による病因・病態分類に基づく治療法
	38	非侵襲性ポータブル血管イメージングによる定量的血管障害の診断
	39	老化に伴う運動機能低下の予防・治療法
	40	疼痛、疲労の定量的診断法と新規治療法
	41	メタゲノム解析・制御による生体恒常性の維持
	42	元気高齢者の遺伝子解析と環境要因の分析による、疾患抑制機構・老化機構の解明
	43	生殖細胞劣化予防による不妊回避
	44	ライブイメージングと生化学的解析等の融合による、オルガネラを標的とした非感染性疾患の新規診断法
	45	発症頻度に性差のある疾患の病因解明
	46	退行性骨粗しょう症の骨折リスクのメカニズム解明による集学的予防法
	47	代謝臓器連関を標的とした、生活習慣病、神経変性疾患の予防・治療法
48	生体のエネルギー収支を非侵襲的に定量化する技術に基づく、生活習慣病の治療法	
49	薬理遺伝学的検査による薬剤投与の最適化	
50	非感染性疾患(NCD)に対する、運動の効用の科学的裏付けによる新規治療法	
51	ゲノム医療に対する保健医療政策の立案に向けた医療経済学的評価法	
脳科学(精神・神経疾患、認知・行動科学を含む)	52	ニューロン・グリア回路網の発達・維持・老化機構および情報処理機構の全容解明
	53	記憶・学習、認知・情動等の脳機能および意識、社会性、創造性等の高次精神機能における神経基盤の全容解明
	54	統合失調症の脳病態解明に基づく、社会復帰を可能にする新規治療薬
	55	うつ病・双極性障害の細胞レベルの脳病態分類に基づく、即効的で再発のない新規治療法
	56	依存症(薬物、アルコール等)に共通な脳病態の解明に基づく、予防法・再発防止法
	57	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	58	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	59	精神・神経疾患に対する深部脳刺激療法、ニューロフィードバック、ウイルスベクター等を用いた神経回路を標的とした治療法
60	神経疾患患者にみられる精神症状や睡眠障害の発症機構の解明による、新規治療法	
61	情動等の脳機能解明に基づく、いじめや不登校への対処法	
健康危機管理(感染症、救急医療、災害医療を含む)	62	特定の感染症への感染の有無や感染者の他者への感染性、未感染者の感受性を迅速に検知・判定する、汚染区域や航空機内等でも使用可能な超軽量センサー
	63	iPS細胞等の幹細胞から樹立された細胞等を活用した、動物モデルに代替する、感染症治療薬を開発するための効果・副作用試験法
	64	電子カルテシステム、検査・処方等医療データや様々なウェブデータを活用した網羅的感染症サーベイランスシステムによる感染症流行予測・警報発出システム
	65	病原体データベースを用いた未知の病原体の分離・同定技術 ※病原体データベース:ヒトおよびヒト以外の動物等の病原体の網羅的な遺伝子・タンパク情報データベース
	66	新興感染症が及ぼすヒトへの影響(世界的流行を引き起こす可能性、病原性)について、環境・病原体・宿主等因子を総合的に勘案し定量的に予測・評価するシステム
	67	薬剤耐性感染症の発生・まん延を制御するシステム[科学(医薬品等)・社会技術(感染対策の新規アプローチ等)]
	68	植物により病原体に対して迅速かつ安価に中和抗体を大量生産する技術
	69	緊急時(多臓器不全)及び大量出血時に対応可能な血液代替物

	70	細胞内オルガネラ間移動を標的とした新規感染制御技術
	71	マシガザリング災害における、人工知能による重傷者搬送調整システム
情報と健康、社会医学	72	日常生活(購買・飲食等)から集積されるライフスタイルビッグデータ(匿名加工情報)活用による健康政策
	73	プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム
	74	ゲノム・診療情報、およびウェアラブルセンサーやスマートデバイスにより得られる生体・行動情報を継続的に収集した健康医療データベース(大規模コホート研究の推進に資する)
	75	医療・介護施設及び在宅における安全を保障する行動識別センサーを活用したモニタリングシステム
	76	生活環境のセンシングやライフログセンシングによる、脳血管障害・心筋梗塞・致死的不整脈などの血管イベントの検知に基づいた救急医療情報システム
	77	医療機器・システムの誤操作や患者状態に合わない設定などに起因する医療過誤の解消に向けた、知的アラート・意思決定支援の人工知能を搭載した医療情報システム
	78	分子薬理知識や生体分子相互作用および患者ゲノムに関する情報に基づく、医薬品の個人別副作用リスクの知的推論アルゴリズムを実装した情報システム
	79	ゲノムに加え、オミックスデータ(エピゲノム・プロテオーム・メタボローム)を数時間以内に1万円以下で体液サンプルからモニタリングする検査技術
	80	Developmental Origins of Health and Disease(DOHaD)の解明などに基づく、ライフコース・ヘルスケアの視点からの各年齢ステージでの適切な予防・治療
	81	ライフコース・ヘルスケアのための大規模コホート
	82	生命科学・社会学を融合した包括的な要因分析に基づく、健康格差を是正する方法
	83	気候変動に起因する感染症、熱中症など健康課題に資する情報システム
	84	新生児期からのゲノム情報の活用のための ELS(倫理的・法的・社会的課題)の解決策
	生命科学基盤技術(計測技術、データ標準化等を含む)	85
86		多数で多種類の生体分子が協働して生命システムを作り上げる作動原理を理解した上での人工細胞
87		予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術 ※動的ネットワークバイオマーカー:個々の単一のバイオマーカーとしての性能は高くなくても、それらのネットワークとしては極めて高機能な、複雑系数理モデル学に基づく新しい概念のバイオマーカー
88		脳機能を細胞レベルで非侵襲的に測定できるイメージング技術
89		循環体液中の生体高分子や低分子の低侵襲リアルタイムモニタリングシステム
90		細胞の位置情報を保持した上での1細胞オミックス解析技術
91		ヒトが接することのできる全生物のゲノム情報の取得(植物・単細胞真核生物・原核生物も含む)・データベース化
92		タンパク質の一次配列情報およびそのタンパク質に作用する物質の立体構造情報から、活性状態のタンパク質の動的立体構造を推定する技術
93		ゲノムの非コード領域の50%以上の領域の機能解明
94		研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム
95		多くの一般的な実験室で利用可能なラボラトリーオートメーション・実験ロボット
96		タンパク質の機能において、量子(力学)レベルでの作動メカニズムを理解する上で必要なパラメータを得るための量子計測技術

1.2 農林水産・食品・バイオテクノロジー分野

資料図表2 科学技術トピック(農林水産・食品・バイオテクノロジー分野)

細目	ID	科学技術トピック
生産エコシステム	97	世界の様々な環境に適応した野生種のゲノム編集による栽培作物化(ネオドメステイケーション)
	98	作物の可食部・カイコ・ウシやヤギの乳に、医薬や機能性高分子を効率的に産生させる技術
	99	雑種強勢のメカニズムを利用した家畜生産のための系統作出

	100	生態系循環に基づく、ウナギなどの大規模な閉鎖型陸上養殖技術
	101	魚類の免疫機構とその制御因子の解明に基づく、感染症予防技術
	102	環境負荷低減を含めた植物・昆虫による魚類飼料
	103	完全不妊養殖魚
	104	木材の伐採・搬出・運材・加工の自動化技術
	105	伐採後の再生産を確保するための現状森林に即した効率的かつ体系的な森林造成技術
	106	スギ・ヒノキなど各種樹木のゲノム情報を利用した高速育種によるスーパー樹木
	107	X線からテラヘルツにいたる広帯域超小型光デバイス、オミックス・化学分析とICTを用いた携帯型の農作物のハイスループット(高速大量処理)表現型計測システム
	108	短・中期気象予報と生物学的知識とAIを融合した高精度作物モデルの統合による農作物の生育予測・診断システム
	109	腸内細菌を制御することによる非反芻家畜の生産性向上技術
	110	アニマルウェルフェアに基づいた家畜および養殖魚のストレス低減による生産性向上技術
	111	宇宙や極地利用を目指した自動化・無人化循環型植物工場
	112	フィールドオミックス、フェノミクスなどから得られたビッグデータとAIによる育種の超高速化(テラーメド)
	113	生産性を損なわずに高品質を実現する生態調和型農業生産システム
	114	微生物共生を最大限活かした各種マイクロデバイスの開発による高精度・広域土壌診断を含む栽培・計測技術
	115	人間を代替する農業ロボット
フードエコシステム	116	飲食店用の多様なメニューに対応可能なフレキシブル調理システム
	117	食品生産ラインにおける有機物(毛髪など)の混入検出のための識別技術
	118	「美味しさ」を簡便に再現するための、味覚・香り・食感(テクスチャ)を考慮した認知科学・言語学・化学・AIなど分野融合的なアプローチによる研究成果の国際的なデータベース化
	119	農林水産物の品質(成分・物性・熟度)を生産現場で非破壊でリアルタイムに定量分析するシステム
	120	アレルギー計測技術に基づいたアレルギーを起さない食品の製造技術
	121	高齢社会を意識したフードミックスの考え方に基づく多様な機能性食品
	122	食品ロスの低減に向けたフード・リユースチェーンのモニタリング・解析技術
	123	冷凍せずに生鮮食料品の鮮度と品質を維持するための短期保蔵技術
	124	昆虫資源を含む新規タンパク源の製造加工技術
	125	生産場所から消費場所への距離短縮(Footprints改善)に向けたマスカスタマイゼーション実現の製造・加工・調理技術
	126	廃棄食品再利用による新規資源生成技術(例えばフード3Dプリンターのような)
	127	生産・流通・加工・消費を通した完全循環型フード・リユースチェーン
資源エコシステム	128	養殖対象品種および主要漁業対象種の生殖細胞バンク構築による遺伝子資源の永久保存
	129	計量魚群探知システム(魚種判別・サイズ測定)の高精度化による多種一括資源量評価技術
	130	超小型電子チップの埋め込みによる水産資源生物の高度ライフタイムロギングシステム
	131	微小海洋生物(微生物・プランクトン等)の識別が可能な3次元画像解析システム
	132	野生動物の個体数管理のための効果的な捕獲技術及び革新的な獣害防止技術
	133	森林の病害虫対策システム
	134	土砂災害等を未然に防ぐ森林管理技術
	135	水産養殖履歴に係る自動収集とデータベース化を通したICTによる科学的養殖管理システム
	136	ICTによる科学的な森林管理計画の作成技術
	137	異常気象等に対応する防災型林道仕様の科学的設計技術
	138	森林地質の自動把握技術を用いた林道の自動開設技術
	139	海洋プラスチックゴミの現状把握・影響評価技術と排出軽減システム
	140	環境DNAを利用した生態系の理解と解析を援用した希少種の保存・管理技術
	141	身近な生態系の変化を指標とした、農林水産業に資する環境生態インパクト評価手法

システム基盤	142	リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム
	143	地球規模のIoTを用いた、農林水産生態系における主要元素・物質(窒素・炭素など)循環モニタリングシステム
	144	農林水産業にかかわるあらゆる情報の把握に向け、リモートセンシング技術等を活用した作物データの全球グリッド(格子間隔:10m四方)データベース化
	145	地球温暖化が農林水産資源に与える影響評価に基づき資源変動予測・管理技術
	146	人工衛星・気象観測データ等を活用したリアルタイムの高空間・高時間解像度気象予測と災害リスク評価システム
	147	陸域・河川・沿岸域を繋ぐ物質循環システムの解明に基づいた、藻場・干潟などの沿岸環境修復技術
	148	熱帯林破壊防止と再生活動のための観測・評価技術
	149	環境情報や生物情報をリアルタイムにモニタリングし、農林水産現場の異常を早期に察知するシステム
	150	漁業の操業履歴の自動収集とICTによる科学的な漁場管理基盤データベース化
	151	森林施業履歴の自動収集とICTによる森林管理技術基盤データベース化
	152	製造・輸送・貯蔵中の微生物のリアルタイムモニタリングシステム
	153	準リアルタイム作物生育診断情報の全球グリッドデータベース化
	次世代バイオテクノロジー	154
155		絶滅危惧種の維持と保存のための、効率的な生殖細胞の作出および保存技術
156		砂漠(乾燥地帯)等の耕作不適環境でも収穫が期待できる作物
157		遺伝子・環境相互作用の解明に基づく生育過程のシミュレーションと、それを用いた遺伝子構成の最適化
158		植物ゲノム技術による、空中の窒素固定能、土壌中のリン酸利用能力等を持つ植物の作出
159		作物の雑種強勢と近交弱勢の分子遺伝学的解明
160		遺伝子改変技術を利用した異種移植が可能な医用モデルプラ
161		超音波や振動などによる昆虫の行動制御ならびに行動監視技術
162		各種機能センサーのLSI化による植物機能の可視化技術
163		萌芽更新が困難な針葉樹および高齢広葉樹の萌芽更新促進技術
164		光合成能力を飛躍的に高めた植物(イネ・藻類)によるCO ₂ の大量・大規模固定(sequestering)と生産性向上システム
165		非可視部分(根域を含む)の植物個体群を高精細に3次元構造を再構築する技術
166		生物記憶を活かしたエピゲノム制御による形質発現自在化技術
167	生物学的知識をAIと融合した高精度作物モデリング	
168	生物記憶から過去の様々な環境記憶を引き出す技術	
バイオマス	169	乾物で50t/ha/年を超えるバイオマス生産作物の作出
	170	セルロースの結晶度を緩和させる人工タンパク質の利用による植物性繊維の分解利用技術
	171	メタン発酵消化液の濃縮等による成分安定肥料生産技術を利用した耕畜連携生産システム
	172	CO ₂ 排出削減の難しい鉄鋼・セメント(鉄筋コンクリート)の代替によるCO ₂ 削減が期待できる、中高層木造建築物を実現するための高強度木質部材開発に基づく木質耐火構造設計技術
	173	土木分野等での需要拡大を目的とする、屋外で50年程度の長期使用可能な高耐久木材
	174	木材等バイオマスによる高効率・低コストな発電・熱利用技術
	175	フードエコシステムに関わる生分解性、光分解性素材
	176	森林資源による化石資源由来製品の代替化のための技術(道路舗装、建築用材、服飾素材、塗料、消費財)
	177	木材副産物の付加価値化技術(収穫時の端材や規格外産物、加工ラインでの食廃棄物の再利用・精製・分離・抽出技術)
安全・安心・健康	178	人の健康を損なう人獣共通感染症病原体などを動物体内から排除する技術
	179	食品における複数の危害因子の相互作用がもたらす毒性評価
	180	食の安全・安心を実現するための、フードチェーンを対象とし、有害物質の混入や細菌汚染等を防止するフードディフェンスシステム
	181	植物・微生物を利用して土壌中のダイオキシン類や重金属、レアメタルを効果的に除去、抽出する技術

	182	食と健康医療のためのビッグデータを用いた健康に資するAI応用技術
	183	植物害虫・病原菌の標的種特異的な防除資材の開発システム
	184	重金属・放射性物質を吸収しない作物
	185	検疫問題を克服する無病化処理技術
	186	ブロックチェーンなどを用いた透明性を保証する新技術に基づくトレーサビリティシステム
コミュニティ	187	森林や木材の快適性増進効果の生理的解明に基づく森林療法
	188	世界の人口増、経済発展及び作物生産技術の動向を踏まえた食料の需給予測システム
	189	バイオマス等再生可能エネルギーを利用した社会の経済的活力・社会影響・環境負荷等を評価する技術
	190	水産資源管理のための人文社会科学とAIを駆使した社会システム
	191	伝統的な調理法の再評価システム
	192	水産物のトレーサビリティを確立する社会システム
	193	最先端デジタル技術を用いたコミュニティの可視化モニタリング技術

1.3 環境・資源・エネルギー分野

資料図表3 科学技術トピック(環境・資源・エネルギー分野)

細目	ID	科学技術トピック
エネルギー変換	194	太陽熱等を利用した水素製造技術
	195	バイオマスからのエネルギーと有用物質のコプロダクション
	196	ナトリウム、マグネシウムをエネルギー資源として利用する技術
	197	褐炭などの低品位化石燃料を利用するCO2回収型ガス化複合発電
	198	ガスタービンの排熱も活用し、高効率化するIGCCシステム(石炭ガス化複合発電)
	199	燃料として水素100%を用いるガスタービンによる1GW級の大型発電技術
	200	バイナリー発電やヒートポンプなどによる5MWクラスの中低温地熱資源利用技術
	201	50MW級洋上浮体式風力発電
	202	10MWクラス以上の出力を有する波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等の海洋エネルギー資源利用発電技術
	203	宇宙太陽発電システム(宇宙空間で太陽光を利用して発電を行い、電力を地上に伝送するシステム)
	204	核融合発電
	205	核燃料サイクル及び一体化高速炉(IFR)を含む高速増殖炉(FBR)システム技術
	206	濃縮度5%超燃料が使用可能、プラント寿命が80年、立地条件を選ばないなどの特徴を有する次世代軽水炉技術
	207	200℃を超える蒸気生成が可能な産業用ヒートポンプ
	208	民生用超高効率ヒートポンプ(空調冷房用COP \geq 12、給湯用COP \geq 8)
	209	新規建築の30%以上に普及可能な汎用型ZEB/ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル/ハウス)システム
	210	小都市(人口10万人未満)における100%再生エネルギーのスマートシティ化を実現する、スマートグリッド制御システム
	211	小都市(人口10万人未満)における、エネルギー自給自足や完全資源循環のクローズドサイクル化の実現
	212	物質やエネルギーのスマートユースに基づく、自立型都市圏の設計手法
	213	エネルギー効率が50%の自動車エンジン
	214	ハーバー・ボッシュ法に代わる、小規模かつ高効率なアンモニア製造法
215	事故時にも避難が不要になるレベルまで安全性が高められた商業利用可能な小型モジュール原子炉	
216	大気から回収されたCO ₂ と非化石エネルギー起源の水素からの炭化水素燃料(航空機燃料など)の製造	
217	経済的かつ大規模安定供給可能な長期の水素貯蔵技術	
218	バイオマス収集コスト低減技術の確立(ロボティクス・産業機械の融合技術など)	

エネルギーシステム	219	ウィンドファーム用の直流送電ケーブルシステム
	220	現在の275kV CVケーブル(架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル)と同等の容量をもつ66-77kV超電導送電ケーブル
	221	自動車の走行中の非接触充電技術
	222	CO2フリーの未利用熱源を利用したスターリングエンジンによる動力回収システム
	223	5MW級の電力貯蔵用超電導フライホイール
	224	数十kWh規模の電力安定度向上用の超電導磁気エネルギー貯蔵システム
	225	木質系バイオマス発電の経済性を向上させるための人工林循環生産システムの構築
	226	系統連系安定化のための長寿命かつ低コストのMW規模二次電池(寿命:20年以上、コスト1.5万円/kWh以下)
	227	電気自動車のための交換不要な長寿命かつ低コストの二次電池(寿命15年・コスト0.5万円/kWh以下)
	228	コミュニティ内や個人間での電力取引を中心とした電力市場の一般化
	229	太陽光・風力発電の余剰電力を用いた水素製造
	230	アンモニアをエネルギー媒体としたエネルギーシステム
資源開発・リデュース・リユース・リサイクル(3R)	231	ICT、人工衛星などを有効活用した効率的な鉱山探査技術
	232	海洋鉱物資源の採取に必要な採鉱、揚鉱技術
	233	環境汚染のないシェールガス採掘技術
	234	チタンを現在の50%以下のコストで製錬する技術
	235	銅鉱山におけるヒ素処理保存技術
	236	メタンハイドレート採掘利用技術
	237	海水中から経済的にウランなどの希少金属を回収する技術
	238	温度250℃、圧力500気圧以上の条件下の資源開発技術
	239	熱水鉱床からの深海底金属資源の経済的採取技術
	240	空気中から効果的にヘリウムを回収する技術
	241	レアメタル品位の低い特殊鋼などの使用済製品からも有用金属を経済的に分離、回収する技術
	242	小型電子機器類、廃棄物・下水污泥焼却飛灰からレアメタルを合理的に回収・利用する技術
	243	各種の基礎工業品生産が可能となるバイオマスリファイナリー形成
	244	廃棄物の選別・分別システムをより向上させるための選別センサー技術
	245	高レベル放射性廃棄物中の放射性核種を加速器の使用により核変換して、廃棄物量を激減させる技術
	246	資源開発における地層解釈、埋蔵量評価、開発計画策定等へのデジタル利用技術
	247	バイオ・ナノ技術を使った新規EOR/EGR(石油・天然ガス増進回収)技術
	248	資源開発に伴う誘発地震の原因・実態解明
	249	リユースを促進するための機能を維持する革新的解体・設計技術
	250	金属系の高度リサイクルを促進するための高度物理的分離濃縮技術
	251	情報技術を活用した収集運搬など資源循環に関わるサプライチェーンの飛躍的効率化技術
	252	半数以上の焼却炉で実現する、廃棄物焼却から発生する蒸気を工場や発電へ利用する技術
	253	物質フローの共通データベース化による資源・有害物質の管理
	254	AIを活用した廃棄物処理・リサイクル施設のメンテナンス自己診断を含む自動運転
	255	超臨界地熱も視野に入れた地熱資源利用のための高温坑内機器
	256	深度5000m程度に存在する超臨界水を利用した地熱発電技術
	257	枯渇を示す地熱貯留層に対する人工涵養技術
	258	地下水流動モデルに基づく地中熱ポテンシャルマップの全国展開
水	259	衛星観測と地上観測の効果的な統合により、全国の地下水マップの一般化
	260	水環境質の非接触型連続センシングによる水域同時連続モニタリング技術
	261	線状降水帯・ゲリラ豪雨による都市洪水、高潮、地盤沈下等の人口密集地における統合的水管理技術
	262	雪を資源として有効利用するための気候・降雪モデルや観測に基づく、水資源及びエネルギー最適化技術

	263	上水供給における有害微量化学物質、病原微生物等の連続モニタリング技術
	264	下水処理水に残存する抗生物質の迅速な分析評価と除去技術
	265	加圧エネルギーを50%以上低減した逆浸透膜による浄水技術
	266	経済的にリサイクル可能な逆浸透膜による浄水技術
	267	途上国で一般利用できる循環型汚染水処理技術
	268	BOD、COD、T-N等に代替して水環境の質を評価できる統合水質指標の確立
	269	水圏マイクロプラスチックの迅速分析手法の確立と健康リスク評価
	270	大気から水資源を得る、ジオエンジニアリング(環境化学技術)やバイオメテック技術
地球温暖化	271	化石燃料を使用しない航空機
	272	海水酸性化による生物多様性、とりわけ漁業資源への影響の解明
	273	気候変動による食料生産への地域ごと、品目ごとの影響予測技術
	274	CO2濃度分布等の観測データをもとにして、各国のCO2排出量を評価するシステム
	275	気候感度(大気中CO2濃度が倍増して十分に時間がたったときの世界平均地表面気温上昇量)の推定精度の3℃から1℃への向上
	276	グリーンランド氷床融解の不安定化が起こる臨界温度(ティッピングポイント)の推定精度の1℃以下への向上
	277	高解像度大気循環モデルと海洋大循環モデルおよび社会活動に伴う物質・エネルギー循環をデータ同化によって考慮した地球環境予測モデルに基づく、100年にわたる長期地球環境変動予測
環境保全(解析・予測・評価、修復・再生、計画)	278	塩害農耕地土壌の簡易・迅速修復技術
	279	環境中への拡散・移動と蓄積を考慮した石炭燃焼排ガス中の水銀を除去する技術
	280	放射性物質で汚染された水や土壌を健康に影響を及ぼさない程度に除染する技術
	281	公共・集客施設、空港・港湾、鉄道等の交通インフラにおける、極微量の病原微生物の迅速かつ正確な検知システム
	282	外来種の移動拡散を支配する因子と侵略リスクの解析評価に基づく対策技術
	283	森林に対する越境大気汚染等の高精度影響評価技術
	284	携帯情報端末やリモートセンシング等に基づくビッグデータ利用による植生分布と生態系機能のモニタリングシステム
	285	身近な生態系の変化を指標とした環境生態インパクト評価手法
	286	生態系機能に基づく気候変動と災害の緩和と適応の統合技術
	287	生物生息環境の維持と水循環の健全化を両立する、自然と共存可能な最適化されたビルなどの整備技術
	288	絶滅危惧種について遺伝的多様性を保存し再生する技術
	289	農山漁村の自然資源の復元・保全と都市の環境負荷を総合的に管理する市場経済的手法(生物多様性ミテイゲーション・バンキングやオフセット・バンキングなど)
	290	都市空間における生態系および生物多様性の再生技術
	291	ヒートアイランド、乾燥化によるハビタット消失を緩和するための技術
	292	乾燥・砂漠地帯における植生の再生・維持管理技術
	293	情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム
リスクマネジメント	294	化粧品、食品などの消費財に関するナノ粒子使用の安全基準の策定
	295	人の健康、農業生産、自然生態系に対して長期的な有害性を持つ化学物質のリスクを管理・低減する技術
	296	低線量放射線による健康リスクのメカニズムの解明と合理的な安全規制基準の設定
	297	開発行為が自然界に与える影響を定量的に予測し、自然の再生速度を考慮した影響シミュレーション評価技術
	298	希類度自然災害のリスクの評価手法
	299	自然災害に対する電カシステムのレジリエンスを高めるための分散電源制御技術(再生可能エネルギーを含む)

1.4 ICT・アナリティクス・サービス分野

資料図表4 科学技術トピック(ICT・アナリティクス・サービス分野)

細目	ID	科学技術トピック
未来社会デザイン	300	すべての経済取引を電子化する技術(すべての貨幣が電子マネーとなって現金が消滅し、貨幣経済の仕組みが根本から変わる)
	301	すべての書籍が電子ブックとなる(紙による本の消滅)
	302	全ての選挙がインターネット上で実施可能となるレベルのネット上での個人認証技術
	303	画像認識と音声認識が融合した、映画音声のリアルタイム自動翻訳
	304	AIによる予算執行、多人数の会議の時間と場所の調整、業務に必要な資料の準備、提案書や報告書の作成等の秘書業務代替システム
データサイエンス・AI	305	非定形の文章・会話から所望の情報を抽出できる自然言語処理技術
	306	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
	307	超大規模な組合せ最適化問題・非凸最適化問題の数理構造の解明と実時間近似解法の開発
	308	情報欠損・雑音・非定常性を含む大規模な非構造データから高速に精度良く機械学習を行う技術
	309	シミュレーションと機械学習を融合した実世界現象予測と実世界システム制御
	310	深層学習の最適化と汎化の原理の理論的解明
	311	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
	312	自然画像から所望の情報を抽出できる画像処理技術
	313	初心者でも使える機械学習活用基盤の普及
	314	ヒトが見聞きしても違和感のないレベルで所望の文章・画像・音などを自動生成する技術
	315	AIソフトウェアの開発環境の標準化
コンピュータシステム	316	現在用いられているものより電力性能比が大幅(100倍程度)に改善された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)
	317	現在用いられているものよりスケールアップ性が大幅(100倍程度)に改善された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)
	318	核磁気共鳴や超伝導など現在考察されている量子ゲート実現手法のスケールアップ性の大幅な改良による、数百ビットのコヒーレンスが保たれるゲート型量子コンピュータ(量子回路)
	319	量子しきい値ゲートや学習のフィードバックを含めた量子通信路、量子メモリ等の実現による、量子ニューラルネットワーク
	320	汎用量子コンピュータ(量子回路)は実現できないが、量子アニーリング機械に続くものとして、特定の量子メカニズムを利用した特化型量子コンピュータの多様化
	321	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ
	322	Shorのアルゴリズム、Groverのアルゴリズム以外の古典的なアルゴリズムを本質的に改良する基本的量子アルゴリズム
	323	TEE(Trusted Execution Environment)等の、ハードウェアを利用したソフトウェア保護機能やソフトウェア安全実行環境の活用方法に関する体系化と整備
	324	ムーアの法則が終焉するのに伴い、シリコンを用いたプロセッサのクロック周波数の改善(今の10倍程度、LSIの微細化は今の100倍程度)
	325	AI技術等を活用したソフトウェアによるプログラムの自動生成、自動デバッグ、自動検証、自動テストが可能になることで、ソフトウェアの生産性が飛躍的に向上し、世界中のオープンソース・ソフトウェアモジュールがワンストップで検索・ダウンロード可能になる
	326	1000億行クラスのソースコードをもった実社会で稼働するソフトウェア
327	あらゆるデータのオンロジーの統一による、世界中のデータ流通や共有コストの劇的減少	
IoT・ロボティクス	328	ヒトが点検を行うとコスト高になったり、危険が伴ったりする、建物・インフラ点検を代替するロボット点検化技術
	329	当人の代わりに買い物をしたり、他の人と出会ったりすることを実現する、等身大のパーソナルロボットやテレプレゼンスロボットの開発と普及
	330	電子タグの小型近距離無線通信などにより、1兆個のインテリジェントデバイスのインターネット接続実現

	331	都市空間のすべての人や車両(鉄道車両、自動車など)の位置情報がリアルタイムに把握可能となる都市全体の効率良い交通管制システム
	332	自動運転トラクタ等による無人農業、IoT を利用した精密農業の普及と、それらを通じて取得した環境データ等に基づいた環境制御システム
	333	地下施設や屋内を含む、日本国土のあらゆる場所での、誤差 5cm 以内の測位技術
	334	人が直接触れるデジタルデバイスの通信がすべて無線通信化され、通信ケーブルが消滅
	335	自立した生活が可能となる、高齢者や軽度障害者の認知機能や運動機能を支援するロボット機器と、ロボット機器や近距離を低速で移動するロボットの自動運転技術
	336	三品産業、サービス産業、物流産業に作業用ロボットが広く普及することによる、無人工場、無人店舗、無人流倉庫、無人宅配搬送の実現
ネットワーク・インフラ	337	大容量、超信頼・超低遅延、超多数端末通信の複数を同時に実現する有無線移動通信技術
	338	転送データ量あたりの消費電力を飛躍的に削減する通信ネットワーク・通信ノード技術
	339	クラウドデータセンタにおける通信大容量化やアーキテクチャの進化可能性を実現するデータプレーン技術
	340	高密度多重化による大容量通信、端末の動きを予測・追従し、選択的に大容量通信、端末間通信を実現する移動通信技術
	341	クラウド・エッジ・端末が連携し、分散した計算資源とストレージ資源、通信資源が有機的に結合した、最適に利用可能な通信基盤技術
	342	情報や機能を名前により指定し、網内で情報処理を実施する情報指向・コンテンツ指向ネットワーク
	343	平時にはネットワークの輻輳緩和や耐故障性向上に資し、災害時には緊急通信を優先的にサービス可能、あるいは、スクラッチから迅速に構築可能な、柔軟な情報通信技術
	344	マルチコアファイバ・シリコンフォトニクスなどの、革新的に大容量かつ高密度収容可能な光通信技術
	345	量子暗号を利用した革新的にセキュアな量子通信
	346	性能・柔軟性・堅牢性を兼ね備えるソフトウェア化されたネットワーク機器の構成技術
	347	エンド・ツー・エンドでアプリケーションやサービスを非干渉に収容するスライス技術
セキュリティ、プライバシー	348	情報システムや制御システムにアクセスすることが許された人たちの内部犯罪を防止するための技術(行動科学的技術を含み、内部犯罪の発生率を無視できるくらい小さくすることが可能)
	349	プライバシーを保護しつつ、PC や個人用 IoT 機器に加え、走行中の自動車など、異なる環境からインターネット上の多くのサイトに長期間にわたりアクセスする場合にも、使いやすさと低コストを実現し、安全性面から安心して使える個人認証システム
	350	重要インフラ、自動車などの制御システムや個人用 IoT 機器・サービスに対し不正な侵入を防止する技術(不正な通信の実現確率を事実上無視できる程度に低減する技術)
	351	ニュースの取りまとめサイトや、ウェブ・ソーシャルメディアなどのネット上の情報、これらからマイニングで得られる情報の信憑性・信頼性を、分野毎の特性(政治、経済、学術、等)に応じて分析する技術(自動翻訳技術、デジタル画像鑑定技術も含む)
	352	個人に関わる全てのセンサ類や、それらを通じて自分の行動情報(センサ情報、購買履歴など)を誰にどのようににセンサされているかを把握可能にするとともに、その利活用に個人利用者が主体的に関わる(情報の削除を含む)ことで、プライバシーと利便性のバランスを柔軟に設定できる IoT セキュリティ技術とプライバシー管理技術
	353	個人データを保護しながら、安心な電子投票や電子カルテ共有を実現するために、プライバシー情報を漏らさずに機微な個人データを活用する技術(安全性レベルの標準化を含む)
	354	PC、スマートフォン、個人用 IoT 機器のメンテナンス(ソフトウェア更新等)が利用者の負担無く自動的に実施できる新たな OS やソフトウェア技術、遠隔メンテナンス技術
	355	個人の社会活動や企業の経済活動を、ほぼ 100% キャッシュレス(暗号通貨含む)に実現できる、セキュアで効率的、かつ安心感を持てる経済基盤(金融機関だけでなく、商店、個人まで)
	356	量子情報通信技術の発展により、ICT システムの安全性の根拠が、既存の暗号技術に基づくものから、量子技術等に基づく新たな安全性のフレームワークへ置換
	357	AI 技術により自ら能力を向上・維持できるマルウェア検出・排除機能のネットワークへの実装整備
サービスサイエンス	358	ウェブルーミングやショールーミング(実店舗で商品を見て WEB で購入、もしくはその逆)など、サイバー空間と実空間を行き来する利用者の行動を統合して解明できる技術
	359	サービスにおける利用者の主観性や多様性を考慮した品質測定技術

	360	個々人のセンサデータをはじめとしたプロフィールを個人で管理し携帯端末などで持ち歩くことにより、初めて訪れる店舗や場所でも、個別のかつ状況に応じたサービスを受けられるシステム
	361	(個人や社会が持つ資源・スキルの効果的組み合わせや、共創における相互作用のダイナミズムが理論化された結果、) 様々な資源・スキルの遊休状況を複合したシェアサービスの可能性を計算機上で検討可能なシステム
	362	モノの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論
	363	共創によって生成される価値の測定尺度の理論化、および現実世界から得られるデータを基にした評価化(様々な分野におけるサービスエコシステムの形成への貢献)
	364	情報技術を用いたエンドユーザでも容易に利用可能なデザインツールやパーソナルファブリケーション技術(ハイアマチュアや複数人の共同によって制作される製品・サービスのコンテンツが増加し、それを享受する一般利用者の元でも簡単にカスタマイズできるようになる)
	365	教育や育成のプロセスでの指標として様々な業種で横断的に使われるような、サービス提供者および組織のスキルや成熟度を診断する手法
	366	財・サービスの利用によって生じる快、不快、好き、嫌い等の感情と生理計測の研究が進み、顧客経験を直接に分析、測定、評価できるようになり、かつ研究開発、販売、マーケティング等に用いる方法の確立
	367	従来の顧客満足度に加え、サービスを新たにデザインしたり評価したりする際の尺度として重要な、個人にとってのウェルビーイングと Sustainable Development Goals (SDGs)への寄与に関する解析を実現する理論・技術
	368	サービス産業における接客・対人業務の大半が、人が得意とする領域のみとなった状況下での、生産性と QoW (Quality of Work)の向上の両方を実現する技術・制度
	369	サービスに関する学術的知見に基づいた、提供者・利用者など各々の立場でサービスを活用していく能力(サービスリテラシー)のモデル構築、並びに身の回りの様々な分野でサービス化が進行した社会における教養科目化
産業、ビジネス、経営応用	370	顧客数や知的財産の重要度が高まり、企業価値を評価する際に、無形資産の評価割合が平均的に企業価値の70%に達する
	371	知的財産の扱いが明確化され、新規事業全体のうちオープンイノベーションによる新製品・サービスの割合が30%を超える
	372	クラウドソーシングやジョブマッチングのプラットフォームが普及し、労働人口の30%以上が企業等の雇用労働者ではなくフリーランスとして働くようになる
	373	移動、レジャー、食事、衣服など幅広い分野でシェアリングエコノミーとサービス化が進展し、一般生活者の消費支出のうち購買が占める割合は10%以下となる
	374	一般生活者が日常生活で行う決済の総額の30%以上を、中央銀行がコントロールせずブロックチェーン技術で管理される仮想通貨で行うようになる
	375	コミュニティや個人間で電力の融通・取引を行う、ブロックチェーン技術等を活用したエネルギーシステム
	376	AIが普及し、大半の業務を自動化することができるようになることで、現役世代の約30%が働かない社会となる
	377	マス・カスタマイゼーションが自動車、衣服、レジャー用品など幅広い分野で普及し、既製品を購入するよりも自分のニーズに合ったものを個別に発注して購入する形態が主流となる
	378	ネット販売と配送サービスが普及することにより、実店舗での購入は全消費額の10%以下となる
	379	あらゆるビジネスが少数の世界的なプラットフォームの上で提供されるようになり、販売、決済、仕入、マーケティング、販売分析等の業務がほぼ全てそれらのプラットフォームの上で行われるようになる
政策、制度設計 支援技術	380	機械(AI、ロボット)と人間の関係について社会的合意に達する(新たな機械三原則が確立され、法的整備も進み、機械が人間と協調的に共存する安定した社会・経済システムが実現する)
	381	法規制のもたらす社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)
	382	分散台帳技術やスマートコントラクトなどの活用による、知的財産の流通における中央機関のない自律分散化
	383	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的/定量的にシミュレーションする技術
	384	従来の統計データに加え、ビッグデータやAIも活用した政策立案支援技術
	385	早期の意思決定を可能とする、ソーシャル・メディアからの状況把握(situational awareness)関連情報をリアルタイムに処理化するシステム

	386	超多数ノード(個人)により構成されたネットワーク上での実社会をリアルに再現できるシミュレーション技術
	387	AI技術などを活用した法令文書自動作成・変更システム(法令文書が紙媒体前提からリンクデータなどを活用するデジタル媒体前提に変わることによる)
社会実装	388	ブロックチェーン技術を用いた、出生から現在に至るまでの健康・医療・介護等情報の紐づけデータに基づく、健康維持システム(未病社会を実現)
	389	農業の生産性、人手不足・担い手不足の解消を抜本的に改善するAI、IoT、ロボット等技術
	390	行政サービスの100%デジタル化、行政保有データの100%オープン化による、役所での申請手続等を最小化できるプッシュ型行政の実現
	391	キャッシュレス化による支払・決済の省カ化、消費者購買履歴データの蓄積・活用の推進による新たなサービス創出の基盤構築
	392	出社不要・複業を前提とした自由度の高い就業形態による高生産性社会への移行
	393	教育にAI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
	394	マイナンバーとの連携によるデジタル技術を活用した災害情報伝達と生活再建手続の円滑化の実現
	395	外国人受け入れを背景とした、翻訳技術の向上による、外国人の受け入れ環境の充実化
	396	地域における公共交通網の維持や、物流分野の変革を実現する、自動走行、ドローンなど多様な移動手段、およびそれらの管理・運用支援技術
	397	すべての国民がITリテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現とIT人材不足の解消
インタラクション	398	個人の体験を、感覚情報のみならず、その時の心理状態なども含めて生々しい肌感覚として記録し、それを編集・伝達・体験・共有できるようにするメディア
	399	誰もが遠隔地の人やロボットの動作の一部もしくは全身を自在に操り、身体の貸主や周囲の人と協調して作業を行うことができる身体共有技術
	400	視覚・嗅覚・触覚・記憶力・筋力など、人間の身体能力・知的能力を、自然な形で拡張する小型装着型デバイス(消防やレスキューなど超人的な能力が要求される現場で実際に利用される)
	401	専門的知識を持たない一般ユーザが、自動車や家などの複雑な人工物を、既存のライブラリから機能要素を選択するなどして、自分で設計・製作できるようにする技術
	402	発話ができない人や動物が、言語表現を理解したり、自分の意志を言語にして表現したりすることを可能にするポータブル会話装置
	403	表情・身振り・感情・存在感などにおいて本物の人間と簡単には区別のできない対話的なバーチャルエージェント(受付や案内など、数分間のやりとりが自然に行えるようになる)
	404	群衆のウェアラブルデバイスによって取得した一人称視点映像群から建物・人間・自動車などを認識し、事故・危険予測情報を装着者に提供するシステム(大規模災害発生時の救助・避難支援でも有効)
	406	過去の自分自身や偉人、遠隔地の人、ビデオゲームのキャラクタなどと競うことが可能な、実空間上での自然な情報提示によるARスポーツ
	406	カメラレスモーションキャプチャにより、いつでもどこでも自身の感覚フィードバックの量や質を調整し、無意識のうちに身体動作を変化させられるバーチャルエンボディメント

1.5 マテリアル・デバイス・プロセス分野

資料図表5 科学技術ピック(マテリアル・デバイス・プロセス分野)

細目	ID	科学技術ピック
物質・材料	407	高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料
	408	自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料
	409	リサイクル容易な架橋性樹脂
	410	室温で銅と同等の電気伝導性と耐環境性を有する高分子材料
	411	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・長寿命の炭素系構造材料および、そのリサイクル技術
	412	炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)を更に超える電力・動力用高効率パワー半導体

	413	室温で量子コヒーレンスを長時間保つ新材料
	414	水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子
	415	摩擦・機械的応力を電気エネルギーに効率よく変換できる、蓄電可能な出力規模を有する振動発電の新素材
	416	光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない吸収体
	417	成形・実装・回収・抽出・精製・再成形のリサイクルループが成立する汎用成形材料
プロセス・マニュ ファクチャリング	418	IoT・ICTによる製品情報を活用した、コンシューマー製品のマスカスタマイゼーションとそのビジネスモデル
	419	形状加工後に自発的に変形・結合することで機能発現やシステム融合を可能にする技術(4D プリンティング・4D マテリアル)
	420	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
	421	保守部品のオンデマンド生産を可能とする、付加製造(3D プリンティング)等の新加工技術
	422	匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知を自動的にアーカイブ化するシステム
	423	複数の材料(マルチマテリアル)で構成され、かつ自由な形状を有する機能的な構造体を製造する技術
	424	製品の幾何学的形状と、材料の微細構造やその配置とを同時に制御できる加工技術
	425	従来の大量生産技術と同等の生産性を有する付加製造(3D プリンティング)技術
	426	除去加工を必要としない素形材技術(ニアネットシェープ技術)
	427	メタマテリアルのコンシューマー製品への適用を可能にする微細加工技術
	428	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
	429	ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、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)
計算科学・データ 科学	430	摩擦、応力、電磁場、熱、光、媒質などの外場要因のある系での原子スケールの化学反応から、マクロスケールの特性やその劣化などの経時変化を総体的に解析・予測するマルチスケールシミュレーション技術
	431	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、実利用環境における機能予測を一環して可能とするシミュレーション技術
	432	電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までを一環して対象とするマルチフィジクス材料シミュレーション技術
	433	数値シミュレーションと革新的測定技術の共同により、ナノスケールの微細構造と化学反応を含むダイナミクスを解明可能な協奏技術
	434	数十億原子からなる μm スケールの全原子分子動力学シミュレーション技術の開発による、電子顕微鏡との直接比較の実現と計算モデルの高精度化
	435	複合材料における高次構造の解明とその理解に基づく特性、機能、劣化などの予測を可能とするシミュレーション技術
	436	インフォーマティクス技術と第一原理計算や分子動力学法などのシミュレーション技術の協奏・共同技術
	437	量子コンピュータを利用した物質物性計算手法
	438	クリープ・疲労等材料の長期的な信頼性について、シミュレーションを用いた予測に基づいて、新材料の実用化へのリードタイムを数分の1に短縮する技術
	439	データ同化による精緻化した予測モデルによるシミュレーション、情報統計力学などを、材料学上の逆問題に適用し、求める機能・物性を有する材料の構造や成分、プロセスを推定する技術
	440	三次元造形のプロセス・材料・設計事例データをオープンな場に集めて集合知として活用し、新たな造形・プロセスを生み出す技術
	441	物質・材料に関する画像情報(電子顕微鏡写真、X線回折パターン、電荷分布の計算結果等)から、現在および将来(劣化等)の物性・特性を推定する人工知能
	442	物質・材料の特性データと自動取得された関連する事象(合成法、評価法等)との関係から、データの「質」を評価・判断する技術
先端計測・解析 手法	443	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
	444	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
	445	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
	446	触媒反応過程の多チャンネル同時計測・オペランド解析
	447	全固体二次電池、パワーデバイス、太陽電池などの固固界面におけるオペランド構造物性解析
	448	ラボスケールで設置可能かつ実働環境で動作可能な小型中性子オペランド解析

	449	ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
	450	絶縁材料や生体材料を観察するための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
	451	超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa以上)など極限環境で、触媒、金属、溶融塩などを観察できる電子顕微鏡
	452	結合軌道や反結合軌道を実空間で可視化する顕微鏡
	453	ピコメートルスケールで原子・分子の内部を可視化できる超高解像度顕微鏡
	454	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
	455	角度分解電子エネルギー分析に用いられる、径が1メートル以上の楕円メッシュ
	456	データ駆動型計測インフォマティクスによる 10~100 テラバイトの多次元ビッグデータハイスループット解析
	457	ロボット、クライオ電子顕微鏡、高速データ処理環境の融合による生物構造解析の高分解能化とハイスループット化
	458	マイクロ・ナノマシンや生体分子等の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
応用デバイス・システム(ICT・ナノエレクトロニクス分野)	459	運動や記憶、情報処理、自然治癒など、人の心身における各種能力を加速・サポートするための、センシング・情報処理・アクチュエーション機能が統合された超小型HMI(ヒューマン・マシンインターフェイス)デバイス
	460	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
	461	高度 VR システム(会議、製造現場の状態管理)と、それを支える高速情報流通システム
	462	フラッシュメモリ並みに大容量でありながら DRAM 並みの高速読み書きが可能で、50 年以上の寿命を持つ不揮発メモリ
	463	単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスではなし得ない高速性と低消費電力性の双方を有する情報素子
	464	オンデマンドで単一光子を高レートで発生できる新デバイス
	465	急峻 on/off トランジスタ・アナログ記憶素子のモノリシック三次元集積により実現する超並列・低消費電力 AI チップ
	466	ナノ共鳴子の非線形応答を用いた微細アンテナによる微小通信機
	467	既存のコンピュータに組み込み可能な手のひらサイズの量子コンピュータ・アクセラレータ
	468	量子コンピュータ間の量子インターネットを可能にする高効率な量子通信素子技術
	469	量子化学計算に基づく薬剤や触媒デザインを可能にする量子シミュレータ
	470	光をほとんどあてずに測定する被写体(生体)にダメージを全く与えない、量子もつれを利用したイメージング技術
	471	超小型でショットノイズ限界を超える量子センサ
	472	量子暗号を用いた高セキュリティな金融システムのための量子メモリ
応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)	473	変換効率 50%を超える太陽電池
	474	エネルギー密度 1kWh/kg 以上、出力密度 1kW/kg 以上(自動車なら現行の大きさ・重量で航続距離が 500km に相当)の性能をもつ高容量高出力電池
	475	水素社会を目指して、貴金属使用量が触媒劣化を考慮した上で、対 2018 年比で 10 分の 1 以下となる燃料電池
	476	60~100℃の未活用の中低温排水を利用可能なエネルギーハーベスト発電システム
	477	環境の影響を最小限にとどめた高層偏西風や潮流を利用した発電システム
	478	高圧直流送電用機器(電力変換機、絶縁体、ケーブル)の低コスト・小型化によるスマートグリッド
	479	CO ₂ の還元による再資源化(燃料や化学原料を合成)をエネルギー効率 20%以上で可能とする、光還元触媒および人工光合成
	480	環境に CO ₂ を排出せずに石炭を原料に水素を製造する膜分離技術
	481	有害な元素・物質(セシウム、鉛、ヒ素、水銀、カドミウム、ベンゼン、六価クロム、シアン化合物など)を低エネルギーで水や土壌から除去する方法
応用デバイス・システム(インフラ・モビリティ分野)	482	鉄と非金属材料(木材、コンクリート、CFRP 等)の高機能ハイブリッド構造材料(構造性能、意匠性、耐食性等)
	483	経年劣化・損傷に対する自己修復機能を有し、ビル等の建築構造物の機能を維持できる構造材料
	484	超高層ビル等大型建築物向けの、大入熱溶接が可能となる建築用高強度鋼材(780MPa 板厚 100mm を一度に溶接できる建築構造材料)

	485	燃料電池車向けに、水素貯蔵密度 100kg/m ³ 以上かつ質量貯蔵密度 10wt%以上の高密度水素キャリア
	486	任意形状のインフラ補修部材を安価で製造できる3Dプリンター素材
	487	熟練工不足に対応した人の技量によらない、簡便な構造材料用接合・接着技術
	488	海洋大気環境下でも構造物の50年超の超長寿命を実現できる防食技術(塗膜を含む)
	489	インフラ構造物の内部の劣化状況をリアルタイムに診断する技術
	490	少子高齢化に伴う労働力の不足の際に必要な、エネルギー供給(燃料・ガス)やゴミ回収といったインフラを自動運転で行うモビリティシステム
	491	インフラを経済的に維持できなくなる過疎地で必要となる、従来の中央集約型上下水道インフラを自律分散型にするシステム
	492	重量物を積載したトラックの走行に対して耐える構造を有する、100km/hで走行する乗用車に対し20kW以上の非接触給電を可能とするシステム
応用デバイス・システム(ライフ・バイオ分野)	493	人工肉など人工食材をベースに、食品をオーダメイドで製造(造形)する3Dフードプリンティング技術
	494	食品の安全をその場で確認できる超小型化学分析システム
	495	人と同じソフトな動きと感触を可能にするためのロボット向けの機能をもつソフトマテリアル
	496	人の感覚について、喪失した場合には補い、さらには超人的レベルを達成するよう補強するバイオメテックス材料
	497	体内情報(薬物動態、癌マーカー、感染、その他血液成分)をモニタリングするウェアラブルデバイス
	498	生体エネルギーで半永久的に動き続ける体内埋め込み健康管理(検査・診断・治療)デバイス
	499	バイオメテックスに基づく表面や構造を有し、耐久性、安全性が飛躍的に向上する生体適合材料
	500	移植用臓器を長期間保存できるバイオマテリアルおよびプロセス技術
	501	生体外で生体組織を培養するシステムおよびバイオマテリアル
	502	3Dプリンティング技術を用いた再生組織・臓器の製造(バイオファブリケーション)
	503	細胞や細胞内のタンパク質、アミノ酸、イオン等の動態を、マイクロ秒以下の時間分解能で追尾可能なモニタリング技術
	504	タンパク質の一次配列構造から三次元立体構造を予測する技術
	505	量子もつれ光による超高精度測定を利用した新規な生命現象、生化学現象の解明
	506	全てバイオデグラダブル(生分解性)マテリアルで構成されたデバイスや日用品の実用化技術(例えば、環境中、生体中に放置できるもの)
	507	CO ₂ 固定化や廃棄物の再資源化プロセスを実現する、生分解性材料あるいは生化学的機能を有する材料

1.6 都市・建築・土木・交通分野

資料図表6 科学技術トピック(都市・建築・土木・交通分野)

細目	ID	科学技術トピック
国土利用・保全	508	海域環境保全と両立する浮遊式構造物(交通、通信、生産、活動基地等)
	509	下水に含まれる貴重金属等の資源回収とエネルギー自立化のための下水道技術
	510	地下水質・流動観測推定技術
	511	適切な国際的 management のための、非持続的にしか利用できない地下水(化石水)の全世界的な埋蔵量の推計
	512	予測と観測を合わせ、破堤を事前に察知する技術
	513	破堤箇所の迅速な締切等、河川堤防の変状発生時の緊急復旧技術
	514	長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計技術
	515	流砂系の推定に基づいて山地や海岸線等の国土変化を予測し、適切に国土を保全する技術
	516	日本国内を旅行する、全ての国の旅行者が、いつでもどこでも、観光地や移動に必要な情報提供と支援を受けることができ、インバウンド観光を円滑・快適に楽しめる
	517	準天頂衛星の測位データを利用し、国土や大型構造物の変化や災害時の変状をリアルタイムで定量的に判定する技術

	518	適切な発生源対策の実施に必要となる、マイクロプラスチックの生成メカニズムおよび公共水域における負荷実態を解明する技術
建築	519	鉄骨工事を大幅に合理化する、鉄骨の接着剤接合技術
	520	室内の「健康阻害」や「感染症アウトブレイク」を抑制する、高度な室内健康環境モニタリング・制御技術
	521	オフィスワーカーの健康快適性向上と業務効率化・働き方改革を促進する、高度かつ統合的なワーカー・プロダクティビティ・モニタリング技術
	522	建築&設備と一体化された AI、IoT、ロボット活用等による、高齢者、障がい者、子育て世帯等の住生活機能改善、ノーマライゼーション化
	523	日常時環境省エネ性、非常時避難容易性、経年時可変更新性を向上する、住宅とモビリティとICT・AIの新しい統合技術
	524	3D プリンターなどにより、再資源材料の生産効率や回収再生の仕組みを大きく変換する、建材の再資源化プロセス技術
	525	海洋ポテンシャルを利用し、海に新しいエコシティと新しいエコライフスタイルを実現する、「海洋都市」の建設技術
	526	長期的視点に基づき、人類の生息空間拡大のための、宇宙空間や月及び火星面での「宇宙建築」の建設技術
	527	超高層を含めた、一定規模以上の建築を可能とする新木造の材料・構工法技術
	528	既存を含む都市と建物の再生可能エネルギー消費比率を向上する、広域の余剰小規模再生エネルギーのベストミックス技術
	529	ZEB(ゼブ:ネットゼロ・エネルギー・ビル)を超える、インフラフリーの自立型建築
	530	既存建物の更なる合理的な改修・解体技術(超高層ビルを含め、迅速に改修・解体等できる技術)
社会基盤施設	531	リモートセンシング技術を活用して、広域に存在する社会基盤施設の水平・垂直変位をミリメートルオーダーでモニタリングする技術
	532	数値シミュレーションによる新技術・新材料の適用性・耐久性に関する迅速評価
	533	マテリアルズインフォマティクスに基づく、高機能、高耐久、低環境負荷かつ安価なインフラ材料の社会基盤施設建設における一般的な利用
	534	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術
	535	高速移動車両搭載レーダーによる土木構造物および地盤内部の異常検知技術
	536	宇宙利用のためのインフラ設計・施工・維持管理技術
	537	ロボット、新材料、三次元プリンターを用いた社会基盤施設の延命および迅速更新技術
	538	環境作用に対する高い劣化抵抗性および外力作用に対する強靱性を有する社会基盤施設
	539	局地的短時間豪雨の高精度予測に基づく斜面崩壊および土構造物のリアルタイム被害予測
	540	樹木、植生、土壌等の生態系を積極的に活用したインフラ施設の設計・運用技術の実現による、水質浄化、雨水管理および流出抑制技術
	541	インフラの点検・診断の信頼性向上や負担軽減を図るために、現場で利用可能な非破壊検査技術
都市・環境	542	都市に関するオープンデータ化を図り、多様な主体が保有するデータを共有・連携して活用できるプラットフォーム
	543	自然が持つ多様な機能を活かして整備されるグリーンインフラの包括的・効率的な整備・維持管理及び定量的評価技術
	544	合理的な居住地選択行動を促進するナッジ型の住宅情報提供システム(行動科学の知見を用いた、自発的に望ましい選択を促す仕掛けを有する住宅情報提供システム)
	545	広域のインフラストラクチャーから独立した住宅地
	546	詳細な都市計画を可能にする精度の高い災害ハザードマップの作成技術
	547	時間や場所に縛られることなく、都市計画についての議論や意思決定ができる合意形成支援システム
	548	詳細な都市計画(ゾーニングや都市施設の整備)を可能にする、土地利用変化のモニタリングおよび適正な都市計画手法の提案システム
	549	開発がもたらすマイクロな変化を正確に評価する環境アセスメント技術
	550	人口減少にともなって発生する低未利用地の粗放的な維持管理技術
建設生産システム	551	設計・施工・過去の点検データに基づき、ロボット・センサーが自動的・自律的に点検・診断し、異常を発見・通知する技術

	552	ダイナミックな情報、自動的な更新情報の収集も含めた、国土基盤となる電子地図
	553	設計データを基盤としつつ、作業条件の変化や周辺の施工状況等を感じし、自律的に施工が可能な無人建設機械
	554	カメラや生体センサー情報等に基づき、作業員の作業環境(高所作業、クレーン旋回範囲、熱中症等)を常に把握し、自動的に注意喚起する技術
	555	建設現場で、AI を用いて作業進捗状況を常時把握・分析し、適切に工程管理、自動的に工程を最適化・修正する技術
	556	橋梁などのコンクリート構造物のユニット化による、現場での組み立ての自動化
	557	測量・調査から設計・施工、監督・検査、維持管理にわたる建設生産プロセス全体での(時系列を含めた)4Dデータの自動蓄積および統合的活用を可能とするインフラデータプラットフォームの構築
	558	BIM データに基づいて、設計～施工～出来形確認まで建築プロジェクト管理し、センサーやロボットにより維持管理する技術
	559	3D プリンター化による部材の現場製作、ロボット・ドローンによる建材の自律運搬等、構造躯体および仕上・設備の未来型合理化施工法
交通システム	560	高齢者や視覚障がい者が安心して自由に行動できる情報を提供するナビゲーションシステム
	561	超高齢社会において、高齢者が単独で安心してドアからドアの移動ができる、地区から広域に至るシームレスな交通システム
	562	都市間の貨物輸送の効率化を図るために、鉄道と道路、道路と港湾・空港、鉄道と港湾・空港の結節点における時間・コスト・環境負荷のそれぞれを半減するシステム
	563	非常時(災害・故障による一部不通など)における都市の円滑な移動を確保するための、数十万人規模のモビリティマネジメントシステム
	564	歩行者と同程度の専有面積で 20km 程度の航続距離がある電動パーソナルモビリティ
	565	インターモーダル輸送において温度・衝撃・成分変化などを自動的に計測し、生産・輸送・保管・使用・廃棄に至るトレースが可能なシステム
	566	都市部でのレベル 4 自動運転(システムが全ての運転操作を行うが、システムの介入要求等に対してドライバーが適切に対応)による移動サービス
	567	公共交通機関における顔認証などによるチケットレスの料金収受システム
	568	レベル 5 の自動運転(場所の限定なくシステムが全てを操作する)
	569	自動車のプローブデータや車両重量、気象等環境条件を自動計測し、道路インフラの劣化を精度よく予測するシステム
	570	都市部で人を運べる「空飛ぶ車・ドローン」
	571	車・自転車・歩行者などの移動体のリアルタイム位置情報を格納したダイナミックマップを用い、合流などの交通コンフリクトの円滑な調整、最適な経路誘導、時間や場所に応じた道路利用料金徴収を行うシステム
車・鉄道・船舶・航空	572	パブリックな駐車場、交差点での駐車車時に逐次充電する非接触充電インフラ技術及び安全性が向上した燃料用水素の貯蔵・供給設備技術等の低炭化技術
	573	自律航行可能な無人運航商船
	574	船舶の常時モニターにより、運航、構造、安全関連のビッグデータを活用した、船の性能・安全性評価技術(寿命予測や設計等へのフィードバックが可能)
	575	海上輸送システムにおいて、極限まで CO2 を排出しないグリーンシップ
	576	航空機と航空管制の双方による高精度運航システムを用いて、現在の倍程度の交通量を安全に管制できる運航技術に基づき、ヒューマンエラー発生確率よりも故障確率が小さい無人操縦旅客機
	577	離着陸時の低騒音化と飛行時の低排出ガス化を実現し、更に機体摩擦抵抗低減、エンジンの燃焼効率向上を果した低公害・省エネルギー型航空機(騒音レベル 90%減、燃費半減)
	578	機体毎の不具合検出等を含む膨大な情報群(ビッグデータ)と AI を組み合わせることで事前予測を行うことにより、メンテナンスの効率化及び最適化を通してメンテナンスコストを低減する整備システム
	579	環境性、安全性、経済性の観点で現有の亜音速旅客機と対抗し得ると共に、大幅な移動時間の短縮による利便性向上を可能とする超音速旅客機を実現するシステム技術
	580	運転士・パイロットの脳波を非接触でモニタリングし、おかれた状況において誤った操作を行った場合、ヒューマンエラーと判断し、事前に警告することで事故を未然に防ぐシステム
	581	アクティブ騒音制御等を用いて、新幹線の時速 360km での連続走行時に騒音の環境基準(住宅地で 70dB(A)以下)を満たす技術

	582	踏切等、外部から人が立ち入り可能な箇所がある路線における鉄道の無人運転
	583	踏切への列車接近を周辺の自動車に通信し、自動で踏切侵入を防止するシステム(自動車との通信による踏切事故防止)
	584	回生ブレーキで得られるエネルギーを有効利用できるよう、エリア内の各列車の加減速を自動制御し、エネルギー消費を最小とするシステム(鉄道版スマートグリッド)
防災・減災技術	585	原子力発電所建屋・配管・原子炉のデジタルツインを利用した地震被害リアルタイム判定技術
	586	線状降水帯・ゲリラ豪雨を詳細に把握できる高性能レーダ
	587	高層ビル・免震ビルの長時間長周期地震動に対する応答制御
	588	アクティブな振動制御を大スケール・大出力で実現するとともに、波形レベルの早期地震警報を実現して、フィードフォワードを含めた最適な制御を行い、被害をゼロにする地震時ゼロ被害構造物
	589	構造物の外乱や劣化による損傷時に深刻な被害を回避するための設計法・構造技術(「危機耐性」の確立)
	590	流域面積数百平方キロメートルの河川流域・ダム集水域における洪水ピーク流量を12時間前に時間誤差±1時間、流量推計精度±10%で予測する技術・システム
	591	流域面積数十～百平方キロメートルのダムの集水域における6～8月の総流入量を4月時点で推計精度±10%で予測する技術・システム
	592	様々なタイプの液状化について発生メカニズムと全国の液状化リスクが明らかになるとともに、安価・短期間で実行可能な対策技術の確立
	593	知能化された無限定環境(未知環境)での自律移動が可能な災害対応ロボット
防災・減災情報	594	IoT機器を活用した大規模地震災害時のリアルタイム被害把握・拡大予測システム
	595	転覆・衝突・座礁などの海難事故の発生を半減させるための危険予知・警告・回避システム
	596	公共・集客施設、空港・港湾、鉄道等の交通インフラにおける微量な危険性物質の迅速かつ正確な検知システム
	597	個人携帯端末を活用した多言語/非言語コミュニケーションによる災害避難ナビゲーションシステム
	598	早期の警報・避難・規制を可能とする、高精度気象観測システムの構築と災害予測手法の高度化
	599	国民一人一人の防災行動を誘導するためのICT利用技術
	600	耐震化された小中学校を地域防災拠点とした災害情報共有・災害対応支援システム
	601	強非線形挙動を伴う大規模災害時をシミュレーション可能な数値解析・可視化技術
	602	リアルタイム津波予測に地域住民に必要な避難に必要な情報を提供するSNS情報分析システム

1.7 宇宙・海洋・地球・科学基盤分野

資料図表7 科学技術トピック(宇宙・海洋・地球・科学基盤分野)

細目	ID	科学技術トピック	
宇宙	603	宇宙利用を低コストで実現できる再利用型輸送システム(部分使用型、完全再利用型、軌道間再利用型など)	
	604	宇宙活動を多彩にする衛星等への燃料補給・修理点検・機器交換などのサービス技術(宇宙デブリの除去回収を含む)	
	605	科学観測や資源利用等を目的とする、地球外天体(月または火星)における恒久的な有人活動拠点構築	
	606	月面での水の生成・補給拠点確保を目的としたロボティクスを活用した水生成プラント構築技術	
	607	対象太陽系天体の生命探査や惑星の形成解明に資する探査のための技術(人工衛星による直接踏査等)	
	608	国民の安全安心の確保や産業利用に向けた、人工衛星等による国土の24時間高精度監視システム	
	609	自動車の自動運転や農業の無人化・自動化等を可能とするため、人工衛星により、リアルタイムに誤差数cm程度の正確な位置情報を提供する高精度精密測位技術(原子時計の性能向上を含む)	
	610	太陽系並びにそれを構成する太陽・惑星の形成と進化に関する定説の確立	
	611	銀河及び銀河系の形成と進化に関する定説の確立	
	612	超高エネルギー宇宙線の発生機構の解明	
	613	宇宙で利用可能な重力波干渉計	
	海洋	614	海洋酸性化の状況を地球規模で自動計測可能な安価なシステム

	615	水深 6000m までの海洋内部を長期間(1~3 か月間)調査可能な完全無人自動システム
	616	現在の有人観測船と同程度の調査能力を持つ無人観測システム
	617	海洋中の距離 10,000m で、1Mbps を超える高速音響通信技術
	618	海洋中のマイクロプラスチックをその場で検出・定量するセンサー
	619	海洋における環境 DNA の自動 in situ 解析技術
	620	分子生物学的手法を活用した漁業資源量の高精度の評価技術
	621	完全自動化した外洋養殖施設
	622	海底鉱物資源の環境攪乱を伴わない経済的採取技術
	623	氷海域(氷海下含む)における海洋環境モニターや海底探査(石油、天然ガス、鉱物資源等)技術
地球	624	地球深部で試料採取するための大深度科学掘削技術
	625	超高压・超高温実験ならびにデータ解析技術等による地球のマントル・コアの解明
	626	極端環境下でのリアルタイム観測を可能とする光計測技術(光ファイバセンシング、光干渉地震計など。センサ部は電力供給不要)
	627	陸上の GEONET(GNSS(全球測位衛星システム)連続観測システム)と同等の観測を実現させる、海底で 20km の空間分解能を持つ海域測地測量技術
	628	人工衛星、海洋・海中センサー及び自律無人探査機(AUV)等により地下資源・海洋資源等を発見するための観測・データ処理システム
	629	日本国内の全活火山に対し、次に噴火しそうな、もしくはしそうな火山を見出すための切迫度評価
	630	山体崩壊の発生メカニズムに基づく予測技術
	631	活断層履歴及び火山噴火史を解明するため、5~10 万年前の年代測定精度を向上させる技術
	632	マグニチュード 7 以上の内陸地震の発生場所、規模、発生時期(30 年以内)、被害の予測技術
	633	地殻の歪み分布や過去の地震履歴の分析等により、マグニチュード 8 以上の大規模地震の発生を予測する技術
	634	地震発生域規模で地殻内の広域応力場を測定する技術
	635	映像や地震・津波データ等のビッグデータ等を活用し、人間の目では見落とす可能性のある災害の予兆や発生を人工知能によって監視する技術
	636	CO2 貯留、シェールガス抽出、高温岩体地熱発電等による地下への注入による誘発地震の予測
観測・予測	637	人工衛星等により、水蒸気・降水・雲エアロゾル等の大気状況を全球規模で現在より高精度・高感度に観測する技術
	638	人工衛星等による、イメージング分光計技術を用いた大気微量成分観測システム
	639	人工衛星等による、ライダー技術を用いた植生環境把握システム
	640	東アジア・東南アジア・豪州における食料・水・災害リスク管理に利用するため、静止衛星により、陸域・沿岸域を空間分解能 30m で常時観測する技術
	641	人工衛星等により、海水、海面温度、波浪、海流、クロロフィル、基礎生産等を全球規模でリアルタイムに把握する海況監視システム
	642	干渉 SAR 技術を活用した、沿岸海域や縁辺海を含む全球の海象状況や海底地形をリアルタイムで把握するための高精度海面高度観測システム
	643	降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術と雪氷災害モデルを用いて、雪氷災害の規模や危険度を広域で予測する技術
	644	高解像度シミュレーションとデータ同化により、100m 以下の空間分解能で数時間後の局地豪雨、竜巻、降雹、落雷、降雪等を予測する技術
	645	熱波、豪雨など実際に発生した異常気象に対し、長期的気候変化の寄与を速やかに同定するシステム
	646	海洋空間で広くインターネットが利用できる技術
計算・数理・情報科学	647	各機関で年間 1 エクサバイトの割合で生成される自然科学に関する実験データを記録・保存し、これを多くの産学官の研究者が 1Tbps 級のネットワークを通して 10 エクサフロップスを超えるスーパーコンピュータで利用できる環境の構築
	648	古典ゲート型コンピュータに比べて演算数を 10 桁以上削減できる、ゲート型量子コンピュータの特性を十分に生かすアルゴリズム

	649	PS細胞等によるバイオアッセイ系とスポンによる薬物動態シミュレーション技術により、テラメド医薬品・化粧品等を開発する手法
	650	経年変化(劣化等)も含めた材料特性を要求値に適合させる逆問題的材料開発手法に基づき、自動車や大型工業製品、建築物等の試作レス開発を可能とするシミュレーション技術
	651	自然災害や事故などの異常時も含めた渋滞を回避する数理科学的渋滞予測モデルと、IoT センシングシステムを融合したリアルタイムナビゲーションシステム
	652	各種観測データやソーシャルメディアデータ等を統合的かつ実時間的に処理し、災害時の被災状況を即時性をもって把握するシステムに基づき、電力、水、通信などの都市インフラ復旧と支援物資物流・人的資源の最適化および避難経路の情報を、自治体、企業をはじめ個人レベルにまで迅速に提供しうる社会統合防災システム
	653	10年規模の自然変動の予測から、100年にわたる人為起源の長期地球環境変動の精緻な予測までを可能とする、高解像度大気海洋大循環モデルと生物・化学過程を通じた物質・エネルギー循環を考慮した地球システムモデル、及び観測情報をモデルに取り込むデータ同化技術
	654	産学官が保有する各種データセット・データベースの内、少なくとも特定の分野(たとえば材料分野)で、データセット・データベース間の書式・様式の違いを人手を介することなく変換し、情報・データを連結することによって、あたかも一つの巨大データセット・データベースとして各種解析ツールから利用できるシステム
	655	社会活動の数理解析に基づく社会数理モデルと社会活動データを用いた大規模シミュレーションによって、政策の意志決定を支援するシステム
	656	文字、音声、画像等の情報から意味を抽出し、主要な情報欠落のない形での要約作成や情報媒体間変換・関連付け(実験結果の図から物理量を読み取る等)を行う知識集約型のデータマイニング技術
	657	集約されたデータから、目的に合致した機械学習モデルを手を介さずに組み立てる、汎用的な機械学習アルゴリズム(機械学習モデルの適用限界に関する数理科学的解明を含む)
素粒子・原子核、 加速器	658	量子重力理論の確立・検証
	659	宇宙における物質・反物質の非対称性の起源の解明
	660	ニュートリノのマヨラナ性の解明
	661	ダークマターの正体の解明
	662	ダークエネルギーの正体の解明
	663	インフレーション仮説の確立
	664	宇宙初期の軽元素合成から星の進化に伴う重元素合成までの進化過程の解明
	665	プラズマ航跡場加速・誘電体加速等の新しい加速技術を用いた加速器の学術及び産業利用等
	666	新たなレプトンコライダー技術(ミュオンコライダー、プラズマ加速利用などを含むこれまでにない電子・陽電子コライダーなど)
量子ビーム:放射 光	667	日本国内での軟X線向け高輝度放射光施設整備およびその利用
	668	化学反応のカイネティクス、物質内のダイナミクス、電子デバイス動作を直接可視化する高速(ピコ秒〜フェムト秒オーダー分解能)放射光オベラント計測
	669	極低エミッタンス蓄積リングによる省コスト型・超高輝度放射光源
	670	機能性材料(電子材料・磁性材料・触媒材料・電池材料)において、その機能発現機構解明および機能制御に不可欠な情報である局所構造・電子状態を、ナノメートルスケール・フェムト秒オーダーで観測する技術
	671	サブナノ分解能でマイクロオーダーの視野を有し、かつ元素ごとの構造・電子状態を3次元でイメージングできるX線顕微鏡
	672	細胞、ガラス、高分子、表面・界面など非周期機能材料の高コヒーレンス放射光を用いた構造イメージング解析
	673	タンパク質1分子を試料として構造解析を行うイメージング技術
	674	活性状態下でのタンパク質の構造とダイナミクスの解析
	675	X線自由電子レーザーの光源特性にマッチする2次元X線検出器の高分解能化($<10\mu\text{m}$)・高感度化(検出量子)0.8)・高速化技術
	676	情報科学(機械学習、ベイズ推定、データ同化、最適化問題等)を活用した放射光計測技術の高度化
	677	散乱と分光の融合による物質の時間空間階層構造の解明
	678	X線自由電子レーザーを用いた物質中の非平衡・非線形現象の解明

量子ビーム:中性子・ミュオン・荷電粒子等	679	偏極中性子を生成・制御し、磁性体の局所磁気構造と磁気励起を精密測定する技術
	680	中性子やX線を用いて、実働過程における機能材料・構造材料の3次元応力・ひずみ、磁場分布等を可視化し、その場観測する技術
	681	超低速ミュオンを生成・制御し、ナノメートルスケールで深さ分解して磁気状態を解明する技術
	682	偏極陽電子を生成・制御し、表面第1層の構造および磁気構造をモデルフリーで観測する技術
	683	複数の量子ビーム(中性子、放射光、陽電子、レーザー、イオン等)を複合的・相補的に利用し、nm～mmの幅広いスケールで材料構造・機能を解析しながら加工・制御を行う技術
	684	精密診断・高効率治療のための新規放射性薬品開発に必要な、中性子・イオンビームによるAt211などの放射性同位元素の大量かつ安定的な製造技術
	685	大強度中性子イメージング技術の高度化による、金属材料内微細構造、磁場の3次元可視化計測技術
	686	大強度偏極中性子を用いた磁場分布の可視化技術とそのオペランド測定技術
	687	パルス中性子ビームの特性を活かしたストロボスコピック測定技術
	688	大強度ミュオンによるイメージングやオペランド測定等の新規測定技術
	689	ミュオン顕微鏡技術
	690	イオンビームやガンマ線等の量子ビームによる突然変異の特徴を網羅的分子情報を用いて明らかにし、それを用いて目的の突然変異を確実に獲得する技術
	691	イオン加速器と高強度レーザーの融合によって短寿命超重元素等を生成すると同時にイオン状態で引き出すことにより、未踏領域の核データ取得を可能にする技術
光・量子技術	692	電波領域からテラヘルツ、赤外光、可視光、紫外光、X線領域までの広帯域コヒーレント周波数リンク技術
	693	平坦な広帯域スペクトル発生、位相レベルのタイミング制御、精密なモード操作・利用・合成など、ニーズに合わせて光波のあらゆるパラメータを自在に操作・制御して任意波形を発生させ、計測・物性科学等に应用する技術
	694	コヒーレント時間が10ミリ秒を超える、超伝導量子ビット、NV(窒素-空孔)センターなどの量子センサー
	695	1000kmに渡り量子状態を保つ量子暗号通信ネットワークを実現する量子中継技術
	696	創薬や投資・金融の意思決定等に係る効率を3桁改善する、従来のコンピュータ、量子アニーリングマシン、ゲート型量子コンピュータのハイブリッドシステム
	697	地球上のどこでも18桁の精度での時間測定が実現し、地殻・地下水の変動やマグマだまりの移動の計測(ジオイド計測)が可能となる、光ファイバーを使用した光格子時計のネットワーク
	698	分子内の電子の振る舞いの直接観測、及び電子の波動関数のレーザー光による制御が可能なアト秒レーザー技術
	699	染色の必要がないラベルフリーの生体観測が可能な、 μM レベルの低濃度生体分子の検出感度と100nm程度の空間分解能を持つ高感度分子振動観測技術に基づく高解像度顕微鏡
	700	1波長当たり1Tbit/sの超高速伝送システムを備えた、WDM方式による1Pbit/sのフォトニクスネットワーク
	701	ゲート長が4ナノメートル以下の超高集積化半導体回路を実現する、EUV(極端紫外線)リソグラフィ技術
	702	ピコ～フェムト秒領域のサブkW級高出カラーレーザーの開発による高品質なレーザー加工と、3D金属積層造形技術を用いた、自動車エンジン製造システム

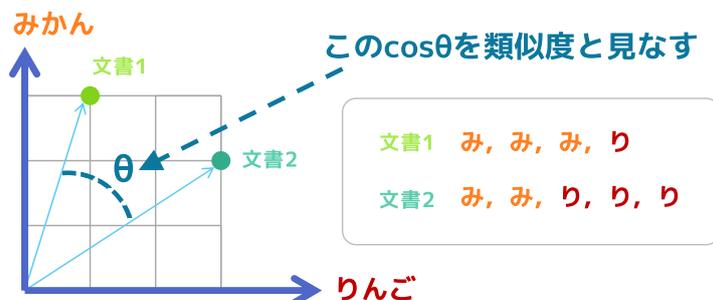
2. 自然言語処理に関する補足

2.1 一般的な文章間の類似度算出の考え方

文章間の類似度算出には様々な手法が存在するが、ここでは代表的な \cos (コサイン) 類似度について紹介する。

\cos 類似度の基礎的な発想は「同じような単語が同じような頻度で出てくるものは似ている」というものである。そこでまず単語それぞれを独立した次元とみなす。すると各文書における単語の出現回数に基づいて、文章を多次元空間上の 1 点にマッピングすることが可能になる。このとき、同じ単語が同じような頻度で使われていると、ベクトル間の内積(\cos)が 1 に近づく。一方で単語の重複が無いような場合は 0 に近づく。単語の出現回数は 0 を含む正の整数値であるため、完全に独立ならゼロ、使用されている単語が同じで、その頻度の割合が同じであれば角度が一致するため 1 を取る。以上より、内積(\cos)によって「似ていない」「似ている」の類似度を 0 から 1 までの数値で表現できる(資料図表 8)。

資料図表 8 \cos 類似度の考え方



2.2 単純な \cos 類似度における課題

このように \cos 類似度は発想が単純で使いやすいため、広く活用されている。しかしながらいくつかの課題も有している。例えば、計算機の中では“A”と“a”、それぞれに別々のコードが割り振られ、異なる記号として扱われる。このように計算機の中で記号とその意味は基本的に乖離している。同様に「みかん」と「ミカン」は人にとっては多くの場合で同じような概念を指すと期待できるが、記号として異なっているため計算機上では別物として扱われる。ここで \cos 類似度は各「単語」を独立した次元として扱うが、ここでの単語は記号の集合である。したがって「みかん」と「ミカン」は異なる記号の集合となり、類似度はゼロとなる。同様に「細君のバースデーにケーキを購入して帰宅した」「妻のお誕生日にいちごショートを買って帰った」は人間にとっては似たような意味内容を有するが、 \cos 類似度上は単語の重複がないため、類似度はゼロとなる。

2.3 単語の分散表現

こうした課題について、昨今では分散表現と呼ばれる技術を用いた解決法が提案されており、Word2Vec や FastText といったライブラリも公開されている。分散表現は深層学習の核となる技術でもあるニューラルネットワークを応用したもので、単語を何らかのベクトル表現に変換してくれる仕組みと言える。

分散表現の算出方法にもいくつかの手法があるが、以下では簡単のために CBOW と呼ばれるタイプの分散表現獲得手法を紹介する。

分散表現を算出するにあたっては、元データとして単語単体ではなく、文章を与える。その上でイメージとしては、計算機はある単語の共起関係(他のある単語が同じ文章内で用いられた頻度)を記録する。このときに、似たような共起関係をもつ単語は、空間上の似た位置に配置する。というようなものである。「太郎君は次郎君に○

○を渡しました。さて、○○の中に入る単語は何でしょう。」というような、文章の穴埋めクイズを沢山学習し、○○の中に入っても違和感のない単語を見つけ出している、と考えても良いかもしれない(資料図表9)。

資料図表9 分散表現算出のイメージ

- ・有る単語の周りに出てくる単語を学習して穴埋め問題を解く
 - ・「大学の構内に入ると○○が歩いてきたので、声をかけてみた。」
 - ・○○ = 友達 30%, 女の子 30%, 先生 20%, 猫 10%, 机 0% …



この分散表現を用いることで、「みかん」と「ミカン」は類似する(意味空間上で近傍に配置される)ことを数値的に表現できるため、分散表現を用いて距離、もしくは \cos 類似度に代表される類似度を算出することで、前述の「みかん」と「ミカン」が独立に取り扱われる問題を回避することができる(資料図表10)。

資料図表10 分散表現を用いた単語の関係性イメージ



2.4 文章の分散表現

ここで、単語ではなく文章の類似度を測りたい場合、いくつかの方式が考えられる。直接文章の分散表現を算出する doc2vec などの方法のほか、たとえば、各単語の分散表現を線形加算して文章の分散表現とする方法、前述の方式に加えて正規化も行う方法、単語の重要度によって重み付けをした上で加算する方法、そもそも重要単語のみに絞り込んで加算する方法、などもある。

単語のバリエーションが十分に大きい場合は、単語の分散表現を用いる方法を用いると、単語単体の分散表現を得ることも、文章の分散表現を得ることもでき、利便性が高い。ただし、すでに述べたとおり、文章の分散表現獲得に様々な方式が考えられ、それぞれ長短も存在する点には留意が必要となる。

3. クローズアップ科学技術領域選定のための専門家会合で出された主な意見

【AI 関連技術の活用と留意点について】

- ✓ AI は、シミュレーションのように物事の原理を積み上げる手法ではなく、要素還元を一切せず、メカニズムがわからない中で結果を出す手法である。近年、AI は社会の中で有効な手法と言われるようになってきたが、本調査においても災害や社会システム、生物の複雑系に関する分類などが的確に抽出されており、有効な分析手段だと考えられる。
- ✓ AI 関連技術で得られた 32 の科学技術トピッククラスターは、ある程度納得のいくものが多かった。しかしながら、科学技術トピッククラスターを特徴づけるための仮称に違和感があるものや、クラスターの特徴とは異なるトピックが紛れ込んでいるクラスターが見られるため、専門的視点からクラスターを精緻化して適切な名称を付与することが必要である。
- ✓ クラスター内のトピック群をどう束ねるかが重要だが、見る人によって異なるので、トピック群をよく見て上位概念化する必要がある。
- ✓ 分野横断・融合的領域を見出す目的とすると、32 の科学技術トピッククラスターをみると、中心となるデルファイ分野が見えるので、この中から 10 程度の領域を選ぶのであれば、従来の分野がベースとなるものが 5 で、それに横串となるものが 5 のイメージである。
- ✓ 「融合」はずいぶん前から言われていることで、必ずしも「融合」や「分野横断」にとらわれずに、新領域を見つける方が重要である。
- ✓ AI の生成したクラスターには一見クラスターの特徴とは異なるワードやトピック含まれるが、それらを気づきとして捉えて、新たな領域を創出できる可能性がある。
- ✓ 環境維持、サステナブルなど社会との関りやビジョンとの関係も大切である。
- ✓ 領域設定は目的によって異なるため、名称にしっかり反映することが重要である。

【主な科学技術トピッククラスターの妥当性について】

以下に記載された 32 の科学技術トピッククラスターは、本編の図表 6-1、6-2、6-3、6-4 のクラスターに相当する。

- ✓ クラスターNo.2 の内容を見ると、人体を細分化していったところの、それぞれのレベルのメカニズムと測定の事柄である。生体の様々なレベルでの状態把握、病態把握ともいう。細分化したレベルでの状況の把握と計測がキーワードとなる。
- ✓ No.3、No.25 については妥当であり、科学基盤分野の観点からも外れていない内容である。特に分野横断的共通基盤として先端計測は重要である。
- ✓ No.4 については、“何かを可能にする材料・プロセス”ということで、高効率化・低コスト化など特に実用を見据えたトピック群で、他の科学技術の基盤になっている。
- ✓ ICT 関連クラスターの相違を見ると、No.13 は全てデータであり、データそのものをどうするか、No.5 はデータを活用して未知の現象を解明するクラスターであり、No.9、No.12 はデータを活用する中で、社会の働きかけがニュートラルなものが No.9、社会の働きかけが強いものが No.12 である。働きかけが強いものとして、データドリブン社会のための科学技術という概念整理でよい。
- ✓ No.11 はシステムとして括っており、「食のエコシステム」としてうまく抽出している。
- ✓ No.17 は森林が中心的なキーワードである。これは、生態系と都市のバランスに係る内容である。本当の生態系に係るエコシステムというよりは、都市とのバランスとなる。
- ✓ No.19 は ICT と関わる領域で、「広域的な社会システムの評価」がイメージされる。欧州のバイオエコノミー

は、この観点でエネルギーを中心に社会を見ていく。サーキュラーエコノミーと類似した概念である。

謝辞

本調査研究にご支援いただいた科学技術予測調査検討会、及びデルファイ調査分科会の専門家の皆様に深謝いたします。

本報告書をまとめるにあたり、議論及びレビューをしていただいた、滋賀医科大学医学研究監理室室長・特任教授の小笠原敦先生(元 NISTEP 科学技術動向センター センター長)に深くお礼申し上げます。

クローズアップ科学技術領域の基である科学技術トピックのとりまとめを担当された、科学技術予測センターの横尾淑子センター長をはじめとするセンターの皆様、赤池伸一 上席フェローに深謝いたします。

また、本報告をとりまとめるにあたり、多様かつ貴重なご意見をいただいた NISTEP の皆様にも深謝いたします。

調査体制、執筆担当

2019年7月現在

本調査は以下3名が協調して行った。著者は順不同で記している。

重茂 浩美 科学技術予測センター 上席研究官

(調査設計、クラスターの定量・定性分析とクローズアップ科学技術領域のとりまとめ、報告書執筆・全体とりまとめ)

蒲生 秀典 科学技術予測センター 特別研究員

(クラスターの定量・定性分析とクローズアップ科学技術領域のとりまとめ、報告書執筆)

小柴 等 第2調査研究グループ 上席研究官

(科学技術トピックの自然言語処理・類似度分析・クラスタリング、報告書執筆)

DISCUSSION PAPER No.172

未来につながるクローズアップ科学技術領域—AI 関連技術とエキスパートジャッジによる抽出の試み—
2019 年 7 月

文部科学省 科学技術・学術政策研究所
重茂浩美, 蒲生秀典, 小柴等

〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館 東館 16 階
TEL: 03-3581-0605 FAX: 03-3503-3996

Close-up science and technology areas for the future
-An attempt to extract by combination of AI-related and expert judges-

July 2019

OMOE, Hiromi, GAMO, Hidenori, KOSHIBA, Hitoshi
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan

<http://doi.org/10.15108/dp172>

