



 **TSC Foresight**

Innovation Outlook

Version 1.0 増補版

デジタル分野

2026年6月

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
イノベーション戦略センター

目次

3-4 デジタル分野.....	1
3-4-1 分野の俯瞰.....	1
3-4-2 解決すべき社会課題(M).....	4
3-4-3 社会課題を取り巻く国内外の市場・技術・政策動向	5
3-4-4 社会課題の解決のために取り組むべき領域(F): 省電力・高速情報処理（原子層エレクトロニクス・フォトニクスコンピューティング） 社会インフラのモニタリング・予測基盤 自動化・省人化・デジタル化（量子センシング・海洋ロボティクス・デジタル感性）.....	8
(1) 省電力・高速情報処理(次世代スマートデジタルアーキテクチャ).....	20
(2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤.....	23
(3) 自動化・省人化・デジタル化 (フィジカル空間への量子・AI技術の適用(フィジカルQ・AI)).....	24
3-4-5 取り組むべき具体的な手段(T)のテーマ例	29
(1) 省電力・高速情報処理(原子層エレクトロニクス、フォトニクスコンピューティング).....	29
(2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤.....	30
(3) 自動化・省人化・デジタル化 (フィジカル空間への量子・AI 技術の適用(フィジカル Q・AI))	30
コラム 注目技術 2 情報セキュリティ.....	38

3-4 デジタル分野

3-4-1 分野の俯瞰

デジタル分野とは、従来アナログであったものをデジタル化することで情報がデータとして活用可能になる分野であり、表 3-4-1 に示すとおり、データを生み出し処理する情報通信技術(IT)分野、IT を活用する自動車、航空機、ドローン、ロボット、金融、ヘルスケアなどの応用分野、そして、IT 分野を支えるエレクトロニクス・半導体などの基盤分野から構成される。

表 3-4-1 デジタル分野を役割から俯瞰した場合の分類

役割	項目	技術やシステムの例
IT を活用する	応用分野	自動車、航空機、ドローン、ロボット、金融、ヘルスケアなど
デジタルデータを生み出し、処理する(IT)	IT 分野	コンピューティング、通信、AI、セキュリティ、IoT など
IT を支える	基盤分野	エレクトロニクス・半導体、光・レーザー、電磁波など

表 3-4-1 は、デジタル分野で必要となる役割を実現する技術の視点で記載をしている。自動車、航空機、コンピューティング、半導体などは産業分野としても認識されるものであるが、自動車、航空機、コンピューティングなどのシステムを実現するための技術、半導体を機能させたり、作り出したりするための技術という意味で取り上げている。デジタル分野は基盤分野も含めて、技術的視点が強い分野である。

デジタル分野の技術やシステムを俯瞰すると、図 3-4-1 のように示すこともできる。図の中央から基盤分野、IT分野、応用分野と広がりをもっている。

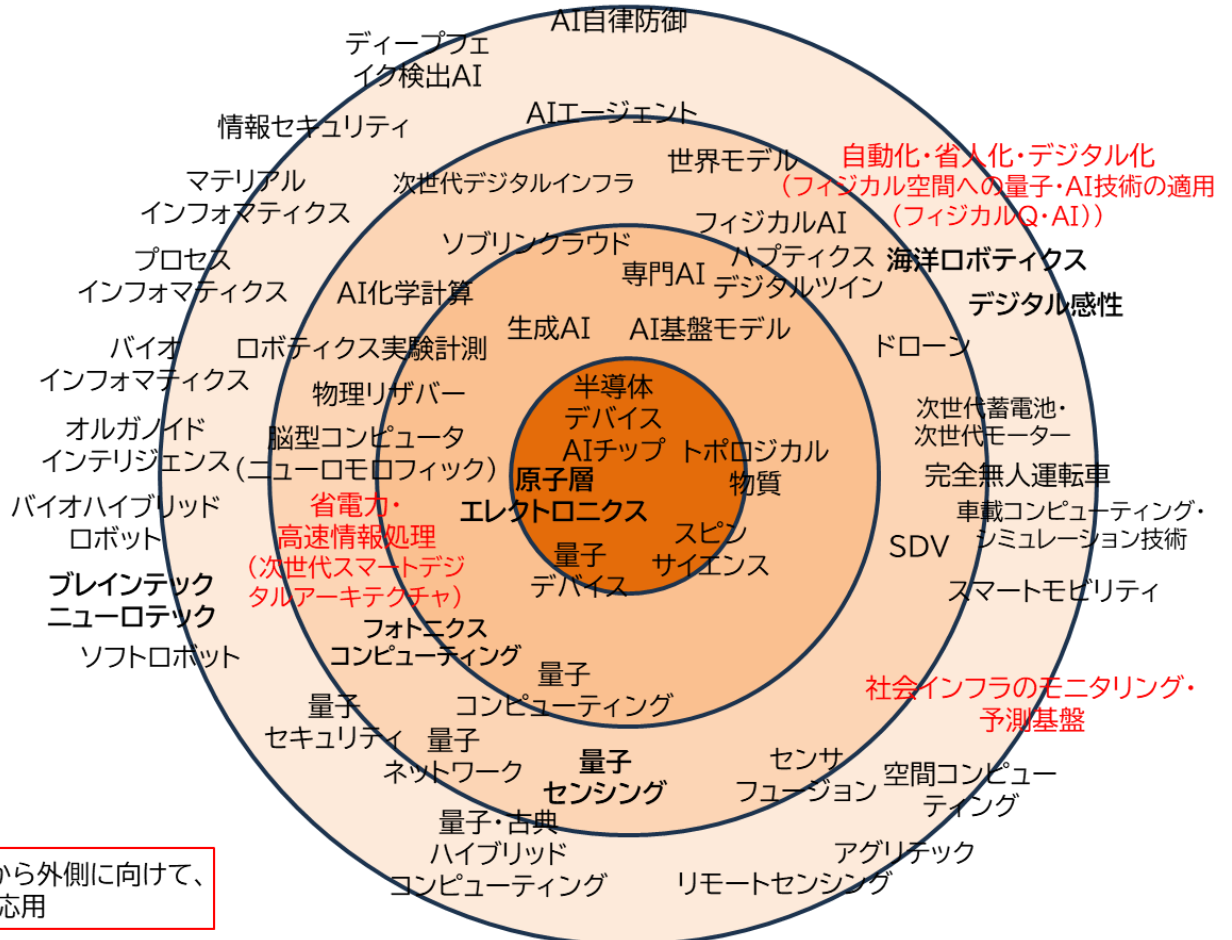


図 3-4-1 デジタル分野の俯瞰図

また、表 3-4-2 に示すように、様々な産業分野を支える技術をライフサイクル全体で見ることでも、デジタル分野を俯瞰することができる。なお、表 3-4-2 では、全ての産業及びそのライフサイクルを網羅できているわけではないが、デジタルに関わる技術の範囲が多様であることを理解いただきたい。

表 3-4-2 産業及びライフサイクルの観点によるデジタル分野の俯瞰
 (赤字がデジタルに関わる技術)

ライフサイクル 産業	衣類	食事	住居	モノ	エネルギー	チップ、デバイス	クラウド、PF (基盤層)	アプリ(応用層)	医療・ヘルスケア
リサイクル、廃棄	古着、焼却	微生物分解、焼却	中古、再利用、解体	中古、産業廃棄物、金属回収	余剰売電、ハーベスティング		基板回収、レアメタル		
消費・利用		食器			モーター、照明、ヒートポンプ、水電解装置	スマホ、サーバなどに組み込み	スマホ、タブレット、PC(エッジコンピュティング)、HMD、ゲーム	同左	
提供	店舗販売、EC	レストラン、居酒屋、食堂、コンビニ	不動産屋	量販店、電気店	充電ステーション、電池、コンデンサ、パワエレ	チップメーカー	クラウド、プロバイダ	SaaS、ソフト会社、銀行、仮想通貨会社	病院、ジム、サービサー
ソフト	ファッションデザイン、型紙、コーディネート	レシピ、コース料理、食の安全	HEMS、ホームセキュリティ、BEMS、ビルセキュリティ	自動運転、組込ソフト	EMS(Energy Management System)、セキュリティ	IP、TCAD	OS、ディスアグリゲーション、PaaS、IaaS、セキュリティ	ブロックチェーン、NFT、AI、画像処理、HPC、メタバース、デジタルツイン	
提供に必要なもの(保守、周辺機器)	洗濯、クリーニング、繕ぎ・繕い、仕立直し	周辺機器:冷蔵庫、調理器具(コンロ、オーブン、...)	リフォーム、リノベーション 周辺機器:エレベータ、エスカレーター	修理店、コールセンター	遠隔監視制御、点検ロボット	検査	周辺機器:抜熱、電源	バージョンアップ、バグフィックス	センサ、ベースメカ、分析機器、ダビンチ
インフラ	自動車、鉄道、バス・タクシー、自転車、航空機、空飛ぶクルマ、ドローン、電動モビリティ、トラック・貨車、船舶	道路、鉄道、空路、海路			送配電網、変電所、ガス管、	半導体サプライチェーン	ルーター、スイッチ、基地局、ファイバー、5G、HAPS、衛星ネットワーク	インターネット、web3	
生産、加工設計	衣類、服飾(アパレル産業)	惣菜、食材、食料品(水産加工、食品加工)	住宅、ビル、施設(建築業、土木業)	自動車、家電、時計(製造業)	電力、ガス、(電力会社、ガス会社)	AIチップ、メモリ、CPU、qubit	データセンター、サーバ・ストレージ・スイッチ、量子コンピュータ	アプリケーション、OoPay、ビットコイン	創薬、バイオインフォマティクス、アシストスーツ
製造装置・製造機械	繊維加工機、ミシン	食品加工ロボット	建設機械、大工道具、	産業ロボット、コンベア、AGV	発電機、ハーベスティング	最先端製造装置	Sier、アッセンブル	プログラム、SDK、(生成AI)	
素材、原料	綿、絹、石油	農業、漁業	木材、コンクリート、砂、鉄筋、ガラス	鉄鋳業	石炭、石油、バイオ資源、風力、太陽光	Si、Ga、Ge、Cu、... 超電導、レーザー	CPU、DRAM、不揮発メモリ、マザーボード	モジュール(ID認証、決済、位置情報、学習、認識、変換等)	iPS細胞、酵母、菌

3-4-2 解決すべき社会課題(M)

TSC の将来像 豊かな未来レポートでは、「6 つの価値軸」と「12 の社会像」を示している。これらの社会像は理想的な状態を概念的に示したものであり、理想的な状態と現状とのギャップを埋めるために必要なことが解決すべき社会課題である。デジタル分野は、他の技術分野の課題を含めて、ほぼ全ての社会課題に関与する。表 3-4-3 に、それらを 12 の社会課題に改めて整理した。

表 3-4-3 デジタル分野として解決すべき社会課題

項番	解決すべき社会課題
M-1	食料の確保(生産、供給、消費、廃棄の各フェーズにて)
M-2	健康寿命の延伸
M-3	多様性・社会的包摂
M-4	自己の理想実現、未開・限界への挑戦
M-5	働き方改革、労働人口減少への挑戦
M-6	社会の需要に即した開発・生産(少量多品種、アジャイル)
M-7	物質循環経済
M-8	脱炭素・環境調和経済
M-9	エネルギー脱炭素化・強靱化
M-10	自然共生持続可能／自立分散社会
M-11	レジリエントな社会・情報インフラ
M-12	安全・安心・透明性・信頼性の高い行政・コミュニティ

3-4-3 社会課題を取り巻く国内外の市場・技術・政策動向

表 3-4-3 で記載した社会課題ごとに、デジタルの視点から見た社会課題や動向の概要を示す。なお、社会課題の数が多いため、全ての社会課題に対して均等な質で記載できていない点は、今後の課題である。

M-1 食料の確保(生産、供給、消費、廃棄の各フェーズにて)

世界全体では、人口増加のため、食料が不足する傾向にある。また、地球温暖化による気候変動は、干ばつや洪水などの異常気象を引き起こし、農業に影響を与えている。これにより、作物の収穫量が減少し、食料供給が不安定になっている。

日本においては、高齢化が進み、就農する労働人口も減少し、食料自給率の低下が顕著になっている。結果として、輸入食料への依存度が増えており、世界情勢によっては食料の確保への影響が考えられる。

本社会課題は、食材の生産のみではなく、消費や廃棄におけるロスの削減や飼料等への再利用も含む。すなわち、必要以上に生産しない、廃棄を減らすといったことも、解決にとって重要なポイントである。

M-2 健康寿命の延伸

人の平均寿命は、先進国であるか否かにかかわらず伸びている。しかし、年齢が高くなるといずれは、健康を害したり、怪我をしたり、脳機能が衰えるなど、自立的な活動が困難となり、介護や支援が必要となる。健康に活動できる年齢である健康寿命と平均寿命の差は、先進国では大きな開きがあり、そのギャップを縮めることが社会課題となっている。この社会課題を解決することで、本人の活動期間の延伸とともに、介護や支援を行う人の数を減らすことができる。

M-3 多様性・社会的包摂

先進国を中心に多様性が進んでいるが、まだまだ差別や階級制度など、社会的包摂が行き届いているとは言い難い状況である。グローバル化が進む現代においては、世界各地で文化の違いや経済格差が社会課題となっている。日本においても、労働人口の減少の解決策として、様々な政策がとられているが、他国に比べ、言語の壁は大きく、多様性の実現ができていないとは言い難い。これらの課題を解決するためには、教育の充実、多様性を尊重する文化の醸成が求められる。

M-4 自己の理想実現、未開・限界への挑戦

先進国を中心に経済の豊かさが幸せであるとは限らず、心の豊かさや充実感を重視する社会が望ましいという価値観が広がってきている。これらの価値観を実感していくためには、全ての人が高品質の教育を受けられる環境や生涯学び続けられる機会の創

出が必要である。さらには、安定した雇用機会の創出とチャレンジできる環境づくりが求められている。

M-5 働き方改革、労働人口減少への挑戦

世界の多くの先進国において、高齢化が進む一方で出生率が下がっており、生産年齢人口が減少する傾向にある。また、要介護者の介護などにより離職する人も増加しており、総合的に労働人口が減少している。労働人口が減少すると、社会システムが機能しなくなる可能性があり、国の産業競争力の低下のみならず、環境への影響や Well-being の低下、社会インフラの脆弱化などのリスクとなる。労働人口を増やすほか、ロボットの導入等の代替手段の構築により対応を行うことが求められる。

M-6 社会の需要に即した開発・生産(少量多品種、アジャイル)

グローバルな競争の激化と消費者ニーズの多様化に伴い、時間をかけても良いものを開発し、大量に製造する従来型の開発手法からの変化が求められている。市場で大きなシェアを獲得するためには、短い開発サイクルで多様なニーズに応える様々な製品を少量製造リリースし、顧客フィードバックを繰り返す手法が重要となってきている。

M-7 物質循環経済

限りある資源の問題や環境問題への配慮から、世界各国で資源の効率的な利用と廃棄物の削減が、政府目標として掲げられている。欧州や中国でもサーキュラーエコノミーに関する政策が打ち出されており、日本においても、環境省から『循環経済工程表 2024』が発表され、ライフサイクル全体における資源循環による脱炭素化の取組を推進している。

M-8 脱炭素・環境調和経済

2015 年に採択された『パリ協定』により、GHG(温室効果ガス)の排出削減が全世界の目標となっている。日本においても、2050 年までに GHG の排出を実質ゼロにすることを目指している。

M-9 エネルギー脱炭素化・強靱化

化石燃料(石炭、石油、天然ガス)が主なエネルギー源として利用されているため、二酸化炭素が排出され、地球温暖化が進んでいる。また、化石燃料の多くは特定の地域に偏在しており、経済安全保障の観点からも供給リスクが存在する。そのため、地域の特性に合わせた再生可能エネルギーの利用が必要となっている。日本においては、再生可能エネルギーの導入が地理的に難しい地域も存在することから、効率的なエネルギーマネジメントシステムや省エネルギー技術の導入が必要である。

M-10 自然共生持続可能／自立分散社会

食料確保のための農地開発や先進国以外での都市開発により、森林が伐採されることが多く、生態系に影響を及ぼしている。生物は自然環境が提供する様々な機能(水の浄化、土壌の肥沃化、気候の調整など)を担っており、生物多様性の喪失は、農業や漁業の収穫量の変化や感染症の増加、文化的喪失につながる可能性がある。

M-11 レジリエントな社会・情報インフラ

道路、橋梁、トンネル、水道などが経年変化により倒壊するリスクがあることに加えて、世界各地で地震や世界的な気候変動により、台風、洪水などの自然災害が発生し、社会インフラを倒壊、断絶するリスクが高まっている。経年変化や災害に強いインフラの整備及び倒壊や断絶などが発生した場合の迅速な対応や復旧計画の策定が社会課題となっている。対象となるインフラは、物理的なインフラにとどまらず、情報インフラも含まれる。日本においては、必ず発生すると考えられている南海トラフ地震や、毎年発生している線状降水帯などへの対応、災害に強い通信インフラの構築が必要である。

M-12 安全・安心・透明性・信頼性の高い行政・コミュニティ

政府の意思決定プロセスや政策の背景情報を市民に公開し、市民が行政に積極的に参加することが重要であるが、市民の意見を取り入れる仕組みは十分であるとは言えない。日本においても、デジタル技術を活用した行政サービスの導入が進められているが、全ての年代の人が無理なく利用できる状況にはまだ達しておらず、デジタルデバイドの解消には至っていない。

3-4-4 社会課題の解決のために取り組むべき領域(F):

省電力・高速情報処理
 (原子層エレクトロニクス・フォトニクスコンピューティング)
 社会インフラのモニタリング・予測基盤
 自動化・省人化・デジタル化
 (量子センシング・海洋ロボティクス・デジタル感性)

この項では、3-4-2、3-4-3 で示した社会課題の解決に寄与するデジタル分野として取り組むべき領域を抽出する。

社会課題を解決するために取り組むべき領域は、例えば、ロジックツリーの手法を用いることで、比較的網羅的に導出することが可能であるが、3-4-2 で提示した全ての社会課題に対してロジックモデルを適用することは時間的制約から困難であった。そこで、デジタルに関連する技術を用いることで実現できる可能性がある領域、更には社会インパクトが大きいと想像される領域を取り上げるにとどめた。今回取り上げた機能は表 3-4-4 に示した 16 個である。

表 3-4-4 社会課題の解決に寄与する取り組むべき領域

F-1	食料需要供給管理・予測
F-2	予防医療・健康管理
F-3	障がいの克服・高齢者の機能回復
F-4	個人情報保護・社会受容性向上
F-5	個々人のやりがい・意欲向上
F-6	人の能力を向上
F-7	自動化・省人化・デジタル化
F-8	設計・製造期間短縮
F-9	省電力・高速情報処理
F-10	サプライチェーンでのデータ共有
F-11	完全無人運転
F-12	サプライチェーン、環境に親和性高い材料・部材への置換
F-13	エネルギー効率の良い設備・機器
F-14	社会インフラのモニタリング・予測基盤
F-15	セキュア(信頼・堅牢)情報通信
F-16	自立可能(エネルギー、食料など)なコンパクトシティ

これら 16 領域と社会課題の関係性を、表 3-4-5 及び図 3-4-2 に示す。

表 3-4-5 デジタル分野が関わる解決すべき社会課題と取り組むべき領域の関係

項番	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16
M-1	○															
M-2		○	○				○									
M-3				○												
M-4					○	○	○									
M-5					○	○	○		○		○					
M-6							○	○								
M-7										○		○				
M-8								○	○	○		○	○			
M-9									○	○		○	○			
M-10	○						○						○	○		○
M-11							○		○		○			○	○	○
M-12											○				○	○

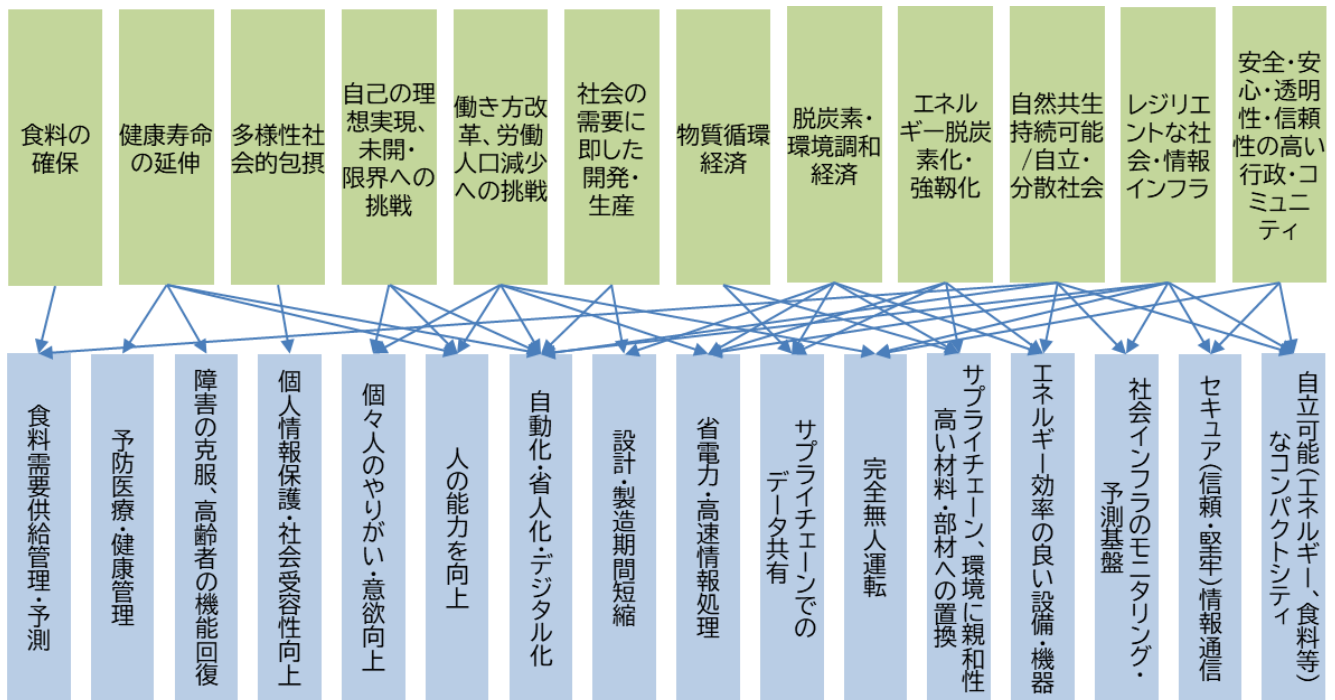


図 3-4-2 デジタル分野が関わる解決すべき社会課題と取り組むべき領域の関係

以下、取り組むべき領域ごとにその概要とどのように社会課題解決に貢献するかを述べるとともに、それらが実現することで、社会インパクトがどの程度であるかを述べる。また、それぞれの領域に関わる市場動向は、最終的にフロンティア領域の候補として抽出した三つの領域についてのみ記載する。

まず、社会インパクトは、以下の観点で評価した。豊かな未来レポートでは6つの価値軸を定めており、これらの価値軸に則して評価することとした。ただし、デジタル分野という観点で評価する際には、6つの価値軸のうち、経済(Economy)と環境(Environment)に比して、いわゆる Well-being に相当する Social Inclusion と Life Satisfaction 及び社会基盤に相当する Infrastructure と Governance は、それぞれ粒度が細かい。そこで、社会インパクトとしては、四つの評価軸、Well-being、経済、環境、社会基盤で評価することとした。また、社会インパクトの定量的評価は難しいため、定性的に◎(大きく影響する)、○(影響する)、△(影響するが限定的)、-(影響は僅か)として評価した。なお、定性的ではあっても、異なる四つの軸で社会インパクトの大きさをそろえる必要があるため、それぞれの評価軸で社会インパクトの基準を表 3-4-6 に示すように設けた。

表 3-4-6 社会インパクトの評価基準

評価軸	世界/日本	◎の基準	○の基準	△の基準
Well-being	世界総人口 80 億人 に対し	1 億人以上に影響	1000 万人以上に影響	100 万人以上に影響
	日本総人口 1.2 億人 に対し	100 万人以上に影響	10 万人以上に影響	1 万人以上に影響
経済	世界 GDP 1.5 京円 に対し	10 兆円/年以上の 効果	1000 億円/年以上 の効果	10 億円/年以上の 効果
	日本 GDP 560 兆円 に対し	1 兆円/年以上の効果	100 億円/年以上の 効果	1 億円/年以上の 効果
環境	世界 CO ₂ 排出量 335 億トンに対し	1 億トン/年以上の削減	1000 万トン/年以上 の削減	100 万トン/年以上 の削減
	日本 CO ₂ 排出量 11.1 億トンに対し	1000 万トン/年以上 の削減	100 万トン/年以上 の削減	10 万トン/年以上の 削減
社会基盤	共通	高信頼性に加え安全性が求められる(航空管制、医療制御、宇宙ロケット制御、建築構造計算、医療関連機器制御、緊急医療 NW など)	基本的に高信頼性が求められる(運輸、通信、金融・証券、プラント制御などの重要インフラ)	個別事業の普及範囲が大きいインフラ系で基本的信頼性が求められる(放送、行政、水道、建築など重要インフラ)

なお、社会インパクトの評価においては、複数の有識者へのインタビュー結果も加味した。

F-1 食料需要供給管理・予測

食料の確保という課題に対しては、あらたな食料素材の開発などを目指したフードテックが大きな候補の一つと考えられるが、アグリ・フードテック分野の対象範囲であるため、デジタル分野としては除外している。デジタルの観点からは、需要と供給の予測を行い製造者が活用することで廃棄量を減らす。例えば、イベントや旅行などのマクロな動態

分析から、地域ごとの食事の需要予測を行い、供給量を可能な限り合わせることで廃棄を減らす。

公開情報などをベースに、データの収集、分析は比較的实现可能なため、需要の予測はある程度可能と考えられるが、供給側の意思決定は独立であり、調整することは難しいため、廃棄を減らす効果は限定的となる。

Well-being: - 経済: O 環境: Δ 社会基盤: Δ

F-2 予防医療・健康管理

日々の生体モニタリング等により健康を維持し、罹患する前に予防することにより、疾病率と被介護率を下げ、健康寿命を 10 年規模で延伸させる。直接的な効用は Well-being に関わる点が大きいが、要介護者が減ることで介護離職も減り、仕事に従事できる人口は増加することに加えて、医療費の削減も起きるため、結果経済にも効果は大きい。

Well-being: ◎ 経済: ◎ 環境: - 社会基盤: -

F-3 障がいの克服・高齢者の機能回復

病気や怪我、あるいは高齢化によって、認知、歩行、手作業など、人が有する様々な機能は弱まっていくが、機能低下が大きくなれば、仕事や社会活動ができなくなる。機能低下をデジタル技術によって補ったり、回復したりする。これにより、要介護者を減らすことに加え、本人の就労含め社会活動が可能になる。

Well-being: ◎ 経済: O 環境: - 社会基盤: -

F-4 個人情報保護・社会受容性向上

個々人がリテラシーを高め、様々なマイノリティを許容するとともに、差別をしない意識をもつようにする。また、社会自身もマイノリティを認め、差別をしない制度やシステムに移行する。社会の仕組みとしては、一国だけの問題ではなく、グローバルに共通認識をもつことが必要となろう。

Well-being: ◎ 経済: Δ 環境: - 社会基盤: -

F-5 個々人のやりがい・意欲向上

人々が自己実現を追求できるようにするために、柔軟な学びの環境やチャレンジできる労働環境を構築する。社会全体としても、個々人の貢献を認識し、評価する文化が育つことが必要となる。

Well-being: O 経済: O 環境: Δ 社会基盤: -

F-6 人の能力を向上

ビッグデータの分析により、個人の特性の理解が進む。これにより、個々に最適な学習環境の提供が可能となり、効果的な能力の向上につながる。また、個人のスケジュール管理や健康管理に関しても、パーソナル AI を活用することにより、時間の有効活用につながるため、個人の生産性が向上し、社会全体の成長と発展が促進されるため、経済性の面での効果は大きい。

Well-being:○ 経済:◎ 環境－ 社会基盤:－

F-7 自動化・省人化・デジタル化

これまで人が行っていた作業等を、人が関わらなくても可能にする、あるいは人が関わるエフォートを縮小する。頭脳的な作業もあれば、肉体的な作業も含む。特に、過酷な環境下や長時間の作業などから人々を解放することで Well-being への貢献を有する。また、自動化により、製品(サービス含む)の品質向上や作業時間が夜間も可能になることから経済的な貢献も大きい。また、これまでデジタル化できていなかった領域や精度向上により、新たな産業の創出も見込まれる。関係する産業は、金融、EC など主にサイバー空間で進められる分野だけでなく、健康、製造、海洋、社会インフラのほか、フィジカル空間で進められる分野にも寄与は広がる。

Well-being:◎ 経済:◎ 環境－ 社会基盤:－

現在、生成 AI の活用が世界中で拡大し、これまで人が行っていた作業の多くが生成 AI に代替されたり、人の作業効率の向上が図られたりしている。この流れは、生成 AI がフィジカル空間にも導入されることで、人が身体機能を用いて行う様々な作業にも拡大することが予想される。

F-8 設計・製造期間短縮

モノを提供するか、コトを提供するかにかかわらず、あらゆる産業分野において、製品(サービス含む)を顧客に提供するためには、設計と製造の期間を必要とするが、これらの期間を今まで以上に短縮することである。

時代の変化が激しい現代及び将来においては、顧客のニーズを踏まえた製品をいち早く市場に投入することが求められる。設計期間及び製造期間を、海外企業に比して短縮することができれば、市場における日本シェアを拡大することにつながる。直接的な影響は、市場シェアの増加分であるため限定的であるが、顧客からのフィードバックを活用して新製品や新市場に結びつけられる可能性も有している。

Well-being:○ 経済:○ 環境:○ 社会基盤:－

F-9 省電力・高速情報処理

今やあらゆる産業分野、個々人の生活においても広く使われているデジタル技術のコアである情報処理を、より高速に、より省電力に実現する。演算処理を担う汎用プロセッサである CPU や GPU は、半導体の微細化により、単位演算にかかる時間と電力は引き続き減少傾向にあるものの、総量としての演算量は急速に増大しており、微細化の限界までの追求や新しい動作原理の導入などによる、引き続きの性能向上と電力消費の大幅な低減が期待されている。これにより、生成 AI などの活用が広く普及し、大きな経済効果を生むと同時に、情報処理にかかるデバイスの製造、販売、利用にかかる産業も拡大が期待される。経済面でのインパクトが一番大きいですが、あらゆる産業、個々人の生活にも影響があることから、Well-being にも貢献が期待されるし、省電力を進めることで環境への貢献も期待され、ガバナンスやインフラでも活用されることから、それぞれの社会インパクトは認められる。

Well-being:○ 経済:◎ 環境:◎ 社会基盤:○

Web 上の情報検索は Google の寡占状態であったが、OpenAI の ChatGPT など生成 AI の登場により情報検索の在り方が変化し、牙城が崩される可能性がある。どの企業がプラットフォームとしてシェアを握るかはまだ未確定であり、使いやすさ、サービス内容、精度、応答速度等、様々な軸での価値が評価され競争されるものと考えられる。どの企業、サービスが優位を占めるかは未知数であるものの、世界における生成 AI の市場規模は急成長が期待されている。

生成 AI のモデル開発と利用者へのサービス提供は、クラウドとしてのデータセンターで実行される。AI の処理にかかる演算の多くの部分は NVIDIA の GPU を用いて実行されるが、GPU の多くはデータセンターのサーバーに納められ稼働している。また、生成 AI を活用するためにはデータの生成・収集が欠かせないが、データの価値が国外に搾取されぬよう、データ保持及びデータ処理を国内に閉じて実施するため、各国においてもデータセンターの増設が進んでいる。データセンターの建設は生成 AI をサービスする米国や中国での伸びが大きいだけでなく、世界各国で進んでおり、その市場規模も拡大傾向が続いている。一方で、データセンターにおける電力消費は、電力効率の高いハイパースケールデータセンターへの処理移行により微増に抑えられていたものの、ハイパースケールデータセンターの増加に伴い、今後急速に増大することが予想されている。

F-10 サプライチェーンでのデータ共有

製品の設計から製造、使用、廃棄にわたって関わるステークホルダーで、製品に関する様々なデータを共有する。人が目で見て理解できる共有ではなく、フォーマットを共通化し、AI が可読なデータで共有することが必要であり、データソースを辿れるトレーサビリティや、耐改ざん性を有することが望まれる。

カーボンニュートラルを実現することが目指されている中、最終製品の製造に係る CO₂ 排出量は、部素材に係る CO₂ 排出量も加味することが必要であるし、利用時や廃棄・再利用時に係る CO₂ 排出量も踏まえておくことが、顧客価値創出や投資家へのアピールといった観点からは重要となる。また、環境負荷の観点から使用が敬遠される部素材や、サプライチェーン上入手が困難な部素材が生じた場合などに、代替の部素材を探索、調達するためには、現状の使用量などの把握が不可欠であり、データ共有ができていれば、様々な課題への対応が可能となる。主にはカーボンニュートラルへの貢献が大きいが、その結果として企業価値が増大し、経済的な効果につながる可能性もある。

Well-being－ 経済：○ 環境：△ 社会基盤：－

F-11 完全無人運転

領域としては、F-7 に含まれるが、モビリティの自動化という観点で切り出している。移動物体を人手によらず、機械システムとして自律的に操作する。人を運ぶ、荷物を運ぶ、地上を走る、水上水中を進む、空中を移動する、と多様な利用が想定されるが、外界を認識して、目的地まで自律的に移動するという機能は共通している。

Well-being：○ 経済：○ 環境：－ 社会基盤：◎

F-12 サプライチェーン、環境に親和性が高い材料・部材への置換

経済安全保障上の懸念がある材料や、環境負荷が懸念される材料の利用は、特定の契機を起点としてリスクが顕在化する可能性がある。これらのリスクに未然に対処するため、サプライチェーンの見直しや環境に親和性の高い素材の選定を進めておくことが重要である。これにより、安全保障の問題が発生した場合や、新たな環境規制が導入された場合においても、経済的な損失を抑えることができ、環境に配慮したモノづくりが可能となる。

Well-being：－ 経済：△ 環境：○ 社会基盤：△

F-13 エネルギー効率の良い設備・機器

エネルギーを効率的に利用するためには、送電や利用の際に生じるロスを低減することが重要である。エネルギーロスは主にパワー半導体に代表されるスイッチング素子で生じることから、これらの損失を減らし、効率を向上することで、エネルギーの有効活用が可能となる。エネルギー・インフラは GHG への寄与が大きく、環境への波及効果は大きいですが、スイッチング素子の効率向上は難しく、経済的な効果は限定的である。

Well-being：－ 経済：◎ 環境：◎ 社会基盤：－

F-14 社会インフラのモニタリング・予測基盤

気象データや海洋データ、宇宙からの衛星データなど複数のデータを取得し、自治体の併せもつ地理データと組み合わせることで、街に起きているわずかな変化をモニタリングできるようにする。経年変化の予兆、事故による損壊、災害の予兆の観測が可能になることが期待できる。また、災害が発生した場合においても、これらのデータを活用することで、災害規模の把握、危険個所の特定、復旧計画の策定が可能となり、安全・安心な街づくりにつながる。災害の予測や効率的な復旧計画は災害による多大な経済損失を考慮すると、経済効果としては大きい。

Well-being:◎ 経済:◎ 環境:○ 社会基盤:◎

F-15 セキュア(信頼・堅牢)情報通信

量子技術が従来の暗号技術を破る可能性は高く、暗号通信のセキュリティが脆弱化する恐れがある。これにより、現在広く使用されている暗号技術が無効化し、量子耐性の新しい暗号技術の開発が不可避となっている。さらに、AI やロボットなどの大容量の通信を必要とするアプリケーションが利用されつつあり、より多くのデータが通信されることから、データ保護の重要性が増している。セキュアな情報インフラは個人や企業の機密情報の保護、電子商取引などの信頼性の確保、緊急通報システムなどの安定利用などに寄与することから、経済的な効果は大きく、もしも構築が遅れると安全性が担保されず、社会の安全保障にも影響が及ぶ。

Well-being:△ 経済:○ 環境:－ 社会基盤:○

F-16 自立可能(エネルギー、食料など)なコンパクトシティ

エネルギーや食料などの必要資源を地域内で自給自足できる都市を構築する。効率的なエネルギー利用と再生可能エネルギーの導入を行い、エネルギーを地産できる体制を整える。公共交通網や道路整備を行い、交通渋滞や排ガスの抑制につなげ、食料の地産地消を促進し、都市農業やコミュニティガーデンの設置を行う。

この都市モデルでは、都市の密度が高まることで、エネルギー効率が向上し、必要なサービスへの移動距離が低減され、公共交通機関の利用の促進につながる。また、社会的つながりの強化により、コミュニティの結束力の向上に資する。これにより、住民の Well-being につながり、ガバナンスの強化、環境保全への貢献度は大きい。

Well-being:○ 経済:△ 環境:◎ 社会基盤:○

表 3-4-7 に、以上に示してきた取り組むべき領域が達成された際の社会インパクトと、その根拠を評価軸ごとに示す。

表 3-4-7 取り組むべき領域が達成された際の社会インパクトとその根拠

機能・領域	社会インパクト				
	Well-being	経済	環境	社会基盤	総合
食料需要供給管理・予測	—	○2022年日本の食品ロスによる経済損失4兆円、内5%減で2000億円	△2022年日本の食品ロスによるCO2排出量0.1トン、内5%減で0.02トン	△社会・コミュニティの維持に必要	4
予防医療・健康管理(ヘルス・メンタルモニタリング)	◎日本で約72万人要介護高齢者削減介護者の負担も考えると100万人超	◎1.5兆円医療介護費削減	—	—	6
障害の克服、高齢者の機能回復	◎要介護認定者数2040年日本988万人脳卒中、関節症、骨折の割合4割で400万	○400万人が年100万稼ぐ仕事につけば4兆円、5%程度として2000億円	—	—	5
個人情報保護・社会受容性向上	◎LGBT+世界8%で6億人	△	—	—	4
個々人のやりがい・意欲向上	○日本ニート人口74万人	○新規事業創出、スタートアップ起業	△	—	5
人の能力を向上	○	◎日本給与総額200兆円、就業率7-8割が5%増加で10兆円。	—	—	5
自動化・省人化・デジタル化	◎2030年世界ヒューマノイド出荷台数3.8万台、スマホ普及率60-98%、2030年に5割にAI搭載	◎2030年世界サービスロボット市場規模4兆円超	—	—	6
設計・製造期間短縮	○	○	○2020年産業部門のCO2排出量約4億トンを期間3/4として1億トン削減	—	6
省電力・高速情報処理	○	◎2032年世界AIエッジ市場規模40兆円、5%ハード置換でも2兆円	◎2030年DCの1,000TWhを1/4削減するとCO2約1億トン	○データセンタは公共インフラの位置づけ	10
サプライチェーンでのデータ共有	—	○	△基盤としてであり、直接的効果ではない	—	3
完全無人運転	○	○	—	◎人命を含む安全を提供	7
サプライチェーン、環境に親和性高い材料・部材への置換	—	△	○CO2削減だけでなく広範囲の材料にも適用できれば効果大	△様々な産業への影響あり	4
エネルギー効率の良い設備・機器	—	◎ポテンシャルで5000TWh~75兆円(1kWhが15円換算)10%で7兆	◎次世代パワエレの削減ポテンシャル10億トン/年 10%減らせて1億	—	6
社会インフラのモニタリング・予測基盤	◎南海トラフの被害人口(死者30万人、避難者950万人)	◎南海トラフの経済損失220兆円 5%軽減でも11兆円の効果	◎日本森林火災700ha/年x900本/hax14kg/本=0.9億トン/年	◎人命に関わる	11
セキュア(信頼・堅牢)情報通信	△	○災害、戦争、量子comの解読等による通信インフラ途絶の経済効果	—	○情報通信インフラは社会インフラの一部であり、重要度は高い	5
自立可能(エネルギー、食料等)なコンパクトシティ	○10万人都市×数力所か	△新たな建設などはあるが、仕事や生活で市場は増えない	◎ゴミ廃棄・物流・エネルギー送電などが削減(試算未)	○重要な社会基盤だが人命や経済への影響は大きくない	8

続いて、取り組むべき領域が実現されて社会実装がなされるタイミングを「実現時期」と定義して試算する。その試算には TRL(技術成熟度)の考え方を参考にした。取り組むべき領域が実現されるためには、それらを構成する技術がそれぞれ TRL9 を達成していることが必要条件となり、場合によっては、複数の技術を組み合わせて実装するために更に時間を要する可能性がある。そこで、取り組むべき領域を実現するために必要な技術それぞれの現在の TRL を評価し、TRL9 に至るまでの期間を推測し、最も遅く TRL9 に至る時期を(最速の)実現時期とした。

各技術の現状の TRL を精緻に評価することも容易ではないが、現状の TRL から TRL9 に至る期間を評価することは更に難しい。デジタル技術の分野では、TRL1~3(基礎研究段階)は数年~数十年、TRL4~6(試作品開発段階)は数年~10年程度、TRL7~9(実証実験段階)は数年~5年程度かかるものとし、更に普及に2年程度かかると考え、現在の TRL からおよそ何年で普及が実現するかを、おおよそ図 3-4-3 に示すように推定した。

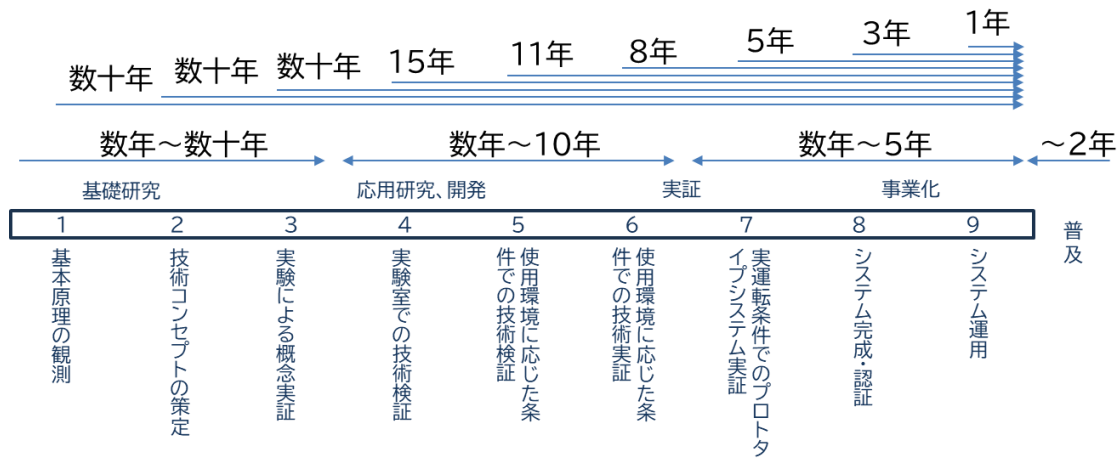


図 3-4-3 TRL と普及が実現するまでにかかる年数の推定

出所: Horizon Europe Work Programme 2021-2022¹, Technology Readiness Levels (EU) を
基に NEDO イノベーション戦略センター作成

今回の取り組むべき領域の社会実装のために必要とされる全ての技術をリストアップできていないが、主要な技術を抽出し、現在の TRL から、実現の時期を図 3-4-4 主要な技術が実現する時期の推定のように推定した。さらに、取り組むべき領域の社会実装のために必要な技術、それぞれの実現時期の推測を組み合わせ、取り組むべき領域が社会実装されるであろう時期を図 3-4-5 のように推測した。

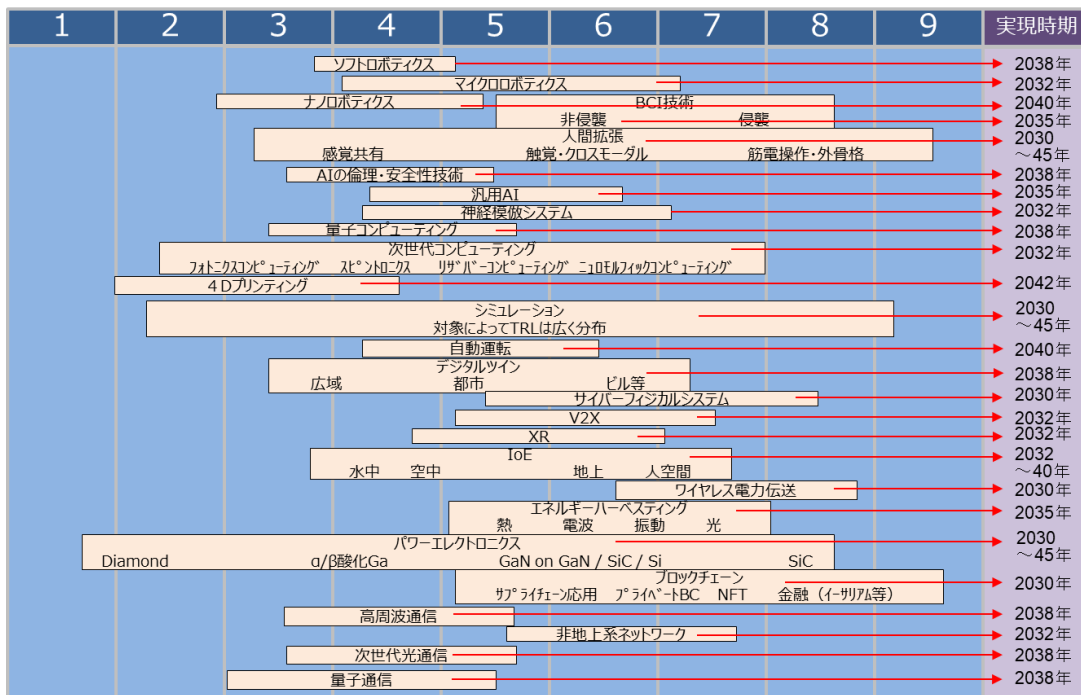
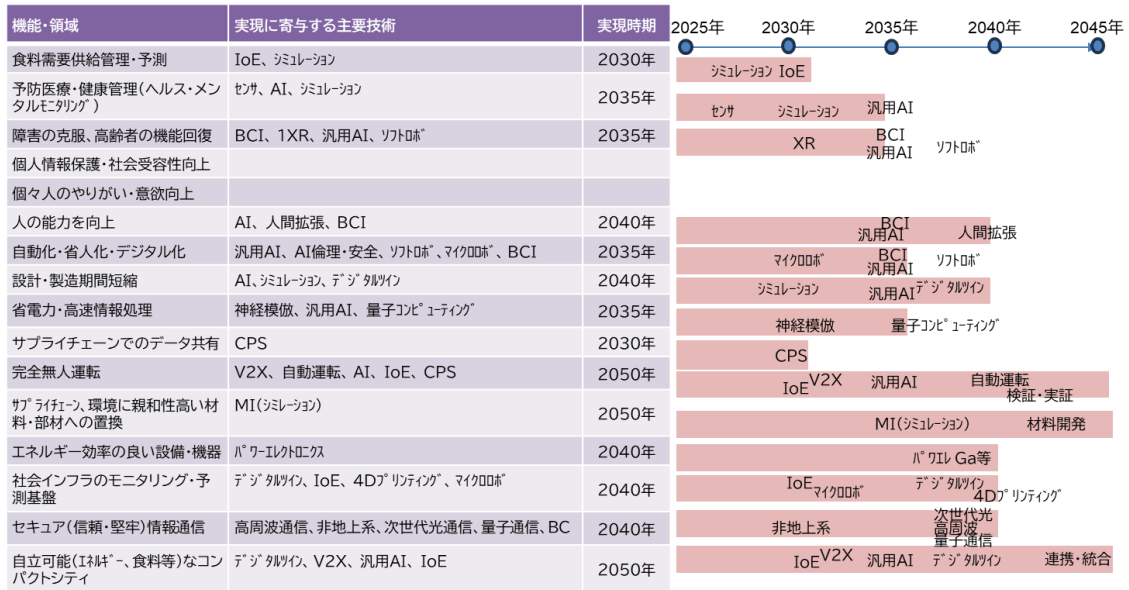


図 3-4-4 主要な技術が実現する時期の推定

¹ https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-13-general-annexes_horizon-2021-2022_en.pdf (2026年3月閲覧)



注)主要技術の全ての技術が実用化されなくても普及に至る機能・領域も存在する。また、主要技術以外に開発期間を要する機能・領域も存在する。

図 3-4-5 取り組むべき領域が社会実装される時期を主要技術の実現時期から推測

なお、「個人情報保護・社会受容性向上」と「個々人のやりがい・意欲向上」については、十分な技術項目が見いだせていないため、社会実装の時期は推測できていない。

取り組むべき領域について、実現に寄与する主要技術、社会実装の実現時期、社会インパクトを表 3-4-8 にまとめる。

表 3-4-8 取り組むべき領域の主要技術、社会実装の実現時期、社会インパクト

機能・領域	実現に寄与する主要技術	実現時期	社会インパクト				
			Well-being	経済	環境	社会基盤	総合
食料需要供給管理・予測	IoT、シミュレーション	2030年	—	○	△	△	4
予防医療・健康管理(ヘルス・メンタルモタリク)	センサ、AI、シミュレーション	2035年	◎	◎	—	—	6
障害の克服、高齢者の機能回復	BCI、XR、汎用AI、ソフト	2035年	◎	○	—	—	5
個人情報保護・社会受容性向上			◎	△	—	—	4
個々人のやりがい・意欲向上			○	○	△	—	5
人の能力を向上	AI、人間拡張、ソフト、BCI	2040年	○	◎	—	—	5
自動化・省人化・デジタル化	汎用AI、AI倫理・安全、ソフト、マイクロ、BCI	2035年	◎	◎	—	—	6
設計・製造期間短縮	AI、シミュレーション、デジタル	2040年	○	○	○	—	6
省電力・高速情報処理	神経模倣、汎用AI、量子コンピューティング、分散コンピューティング	2035年	○	◎	◎	○	10
サプライチェーンでのデータ共有	CPS、シミュレーション	2030年	—	○	△	—	3
完全無人運転	V2X、(自動運転、AI)、IoT、IHM、WPT、CPS	2050年	○	○	—	◎	7
サステイナブルな環境に親和性高い材料・部材への置換	MI	2050年	—	△	○	△	4
エネルギー効率の良い設備・機器	パワーエレクトロニクス、MI、シミュレーション	2040年	—	◎	◎	—	6
社会インフラのモニタリング・予測基盤	デジタル、IoT、4Dプリンティング、マイクロ	2040年	◎	◎	○	◎	11
セキュア(信頼・堅牢)情報通信	高周波通信、非地上系、次世代光通信、量子通信、BC	2040年	△	○	—	○	5
自立可能(人材・食料等)なコンパクトシティ	デジタル、V2X、汎用AI、IoT	2050年	○	△	◎	○	8

取り組むべき領域について、社会実装の実現時期と社会インパクトの大きさをプロットしたものが図 3-4-6 である。

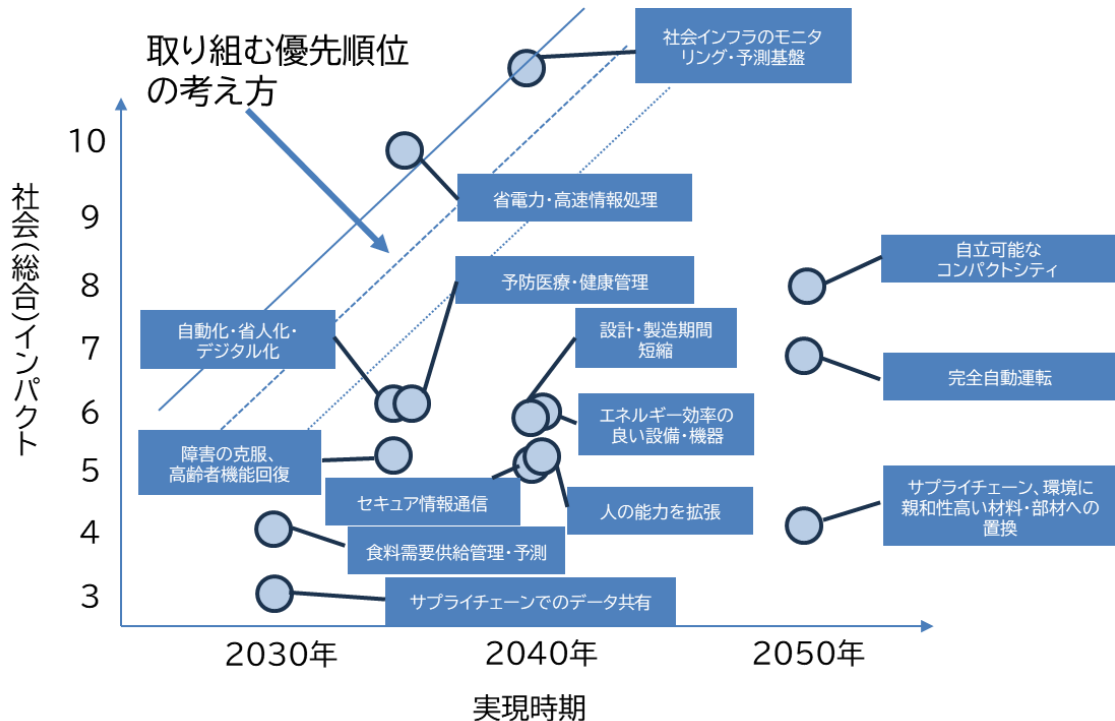


図 3-4-6 取り組むべき領域の社会インパクトと社会実装の実現時期

フロンティア領域の候補としての優先順位の考え方としては、

- ・社会インパクトが大きく、実現時期が近いものを、確実に刈り取る
- ・社会インパクトが大きい一方で、実現時期が先であるものを、先行的に投資することで実現時期を早める
- ・社会インパクトは相対的に低いですが、経済安全保障上重要性が高い、又は日本の強みを活かしてシェアを大きく獲得できる可能性があるもの

など、様々であるが、図 3-4-6 に示すように、社会インパクトと実現時期を総合的に判断し、Innovation Outlook Ver. 1.0 では以下の 3 点の取り組むべき領域をフロンティア領域等として提案した。

- (1) 省電力・高速情報処理
- (2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤
- (3) 自動化・省人化・デジタル化

本増補版ではその中でもより具体的な領域として、『省電力・高速情報処理』においては『原子層エレクトロニクス』『フォトニクスコンピューティング』を、『自動化・省人化・デジタル化』においては『量子センシング』『海洋ロボティクス』『デジタル感性』を、優先的に取り組むべきフロンティア領域等として提案する。

なお、Well-being に関連して、多様性社会的包摂や自己の理想を実現するといった社会課題に貢献するデジタル技術を十分に抽出することができなかった。今後、引き続き検討する。

以下、増補版で示す取り組むべきフロンティア領域等について述べる。

(1) 省電力・高速情報処理(次世代スマートデジタルアーキテクチャ)

今や多くの産業においてデジタル技術は不可欠な存在となっており、社会基盤の一つとしても位置づけられる存在である。その中でも特に、近年の発展が著しい生成 AI は、経済発展のみならず、産業基盤全体の強化のために、ますます利活用が進むと想定されるが、2050 年のカーボンニュートラル実現のためには、生成 AI の開発及び利活用に消費される膨大な電力量を大幅に削減することが求められている。本領域に関するロジックモデル(MFT)で見た社会課題との関係を図 3-4-7 に示す。

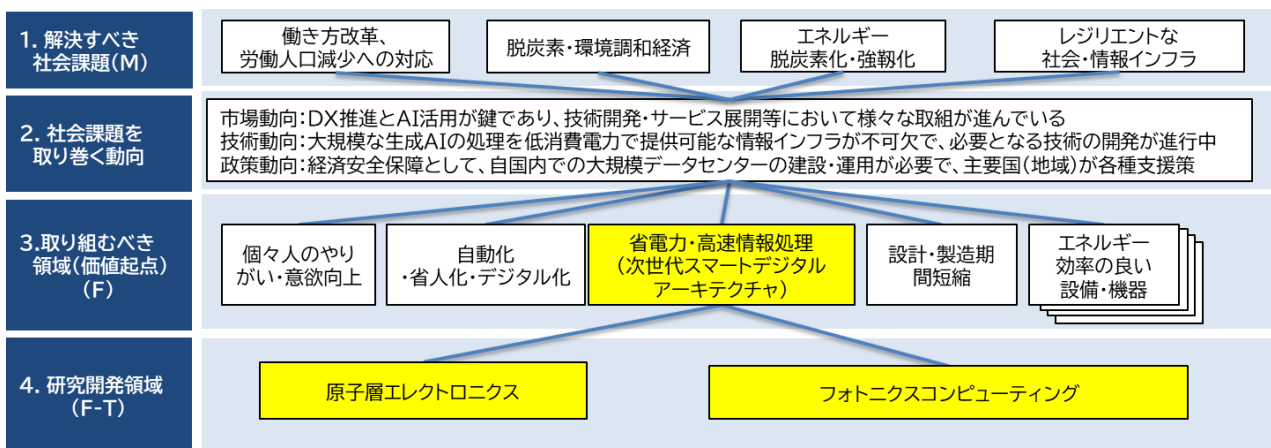


図 3-4-7 省電力・高速情報処理(次世代スマートデジタルアーキテクチャ):
 原子層エレクトロニクス、フォトニクスコンピューティングの MF ロジックモデル

本領域の研究開発領域としては、今後、処理が指数関数的に増大すると予想される AI、特に生成 AI の処理方式を劇的に低減することを目的とした技術開発や社会実装に関わるものとし、2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて電力需要を大幅に削減することを目指す。情報処理(コンピューティング)の技術構造は、「ハードウェア層」「システムソフトウェア層」「アプリケーション層」で構成され、個々のシステムは、「ネットワーク・インフラ」を介し連携される。そのため、削減目標達成に向けては、各技術構造において可能なアプローチを幅広く取り入れることが必要で、例えば、「システムソフトウェア層」「アプリケーション層」においては、データセンターにおける電力消費を大幅に低減することのみでなく、今後利活用が増加するエッジ側においても低消費電力で生成 AI を動作可能な AI チップやシステムの開発が重要となる。一方「ハードウェア層」におけるアプローチとして、『原子層エレクトロニクス』の導入や、『フォトニクスコンピューティング』の実装が有用である。

(i) 原子層エレクトロニクス

従来スケーリング則の延長手段として有力視されている『原子層エレクトロニクス』の市場導入時期は、2037年頃とされている²。現時点では、300mm ウエハレベルでの成膜技術がほぼ確立された段階であり、デバイス作製・集積化に必要な他プロセスの確立とそれらの統合化技術の開発が軸になりつつある。ラボレベルの研究は数多いが、量産に耐えうる統合化プロセスへ、いかにつないでいくかの努力が社会実装に向けての鍵となっている。

①将来性(成長性・社会課題)

- ・ 半導体産業の世界市場規模は2030年には1兆ドル以上への到達が予測され、引き続き高い将来性が期待されている。
- ・ 2037年頃に商用化されるA2技術世代から投入される新チャンネル材料候補として、IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre)のロードマップ等において、明確に位置づけられている。

②技術・アイデアの革新性

- ・ 「原子層エレクトロニクス」は、従来スケーリング則の延長ではあるが、チャンネル材料を「原子層材料」に変更することにより、従来シリコンプロセスとの整合性も確保しつつ、新しい技術・アイデアを半導体製造プロセスへ昇華させて取り込む技術革新が不可欠である。

③日本の優位性

- ・ 日本は原子層物質研究における先駆者³。2011年以降の世界的な原子層エレクトロニクス研究の取組においてもアカデミア等による基礎的研究の蓄積がある。
- ・ 半導体デバイス生産に必要な電子材料・製造装置に関しては国内に有力事業者が存在するため、強みを活かした産業化が期待される。

④民間のみで取り組む困難性

- ・ 原子層物質の研究は、1980年代より日本が主導してきたところである一方、産業化技術への取組が遅れており、「技術の橋渡し部分」において国が積極的に関与する意義はある。
- ・ 『原子層エレクトロニクス』は、従来スケーリング則の延長であるがゆえに、従来シリコンプロセスとの整合性を確保する必要があるが、現状シリコンプロセスにとって、「原子層材料」は異物であり、既存のシリコン半導体ラインで扱うことにはリ

² <https://www.imec-int.com/en/articles/introducing-2d-material-based-devices-logic-scaling-roadmap> (2026年3月閲覧)

³ <https://doi.org/10.11470/oubutsu1932.48.806> (2026年3月閲覧)

スクが大きい。別途検証用のラインが必要であり、民間企業としての先行投資額が巨大で困難である。

⑤重要経済安保技術

- ・ 『経済安全保障推進法』に基づき、「半導体」は、特定重要物質として指定され、国として安定供給確保を支援する対象とされている。

(ii) フォトニクスコンピューティング

光でニューラルネットワークを実装するアプローチと、光で四則演算を実現し、従来の汎用コンピュータを実現するアプローチの 2 通りが考えられる。

光でニューラルネットワークを実装するアプローチでは、機械学習で用いられるようなシンプルなニューラルネットワークの実装が研究開発されている段階である。フィジビリティスタディ(FS)フェーズとしては、生成 AI につながるトランスフォーマーモデルを光ニューラルネットワークで実装できるかどうかを検証し、有用性を検証する。2025 年 12 月に生成 AI 特有の処理をチップ上で光のまま処理する固体素子が発表され、技術が急速に立ち上がりつつある。

光でコンピュータを実現するアプローチでは、主に演算機の実装が現状の大きな課題となっているが、積和演算について光での実装の可能性が見えてきたところである。小規模な LLM を実行するのに必要な積和演算を並列実行可能なシステムの設計、構築及び小規模 LLM の実行と精度・性能評価が、初期段階での取組と考えられる。

①将来性(成長性・社会課題)

- ・ AI・HPC・量子技術との融合が可能なフォトニクス技術は、基盤技術として新たなグローバル市場の創成が期待できる。
- ・ 「高速(光)並列演算」と「低消費電力」の特性により、飛躍的な省電力・高速情報処理を実現し、社会課題解決への大きな寄与が期待できる。

②技術・アイデアの革新性

- ・ 『フォトニクスコンピューティング』の生成 AI への適用可能性は、これから検証する段階であり、実現できれば革新的である。

③日本の優位性

- ・ 「シリコンフォトニクス技術」や「並列型光演算法」など、光の技術を用いた研究開発では、アカデミアも企業もトップクラスに位置している⁴。

⁴ 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戦略プロポーザル「半導体デバイス革新に向けた材料開発戦略～2次元半導体材料の新規導入～」
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2022/SP/CRDS-FY2022-SP-06.pdf> (2026 年 3 月閲覧)

- ・ 劇的に電力を下げられるアナログ方式の開発では、日本が得意とするすり合わせ的なアプローチが有用である。

④民間のみで取り組む困難性

- ・ ハードウェア開発及びその大規模化には開発コストが大きく、リスクが高い。
- ・ 真の勝ち筋である固体デバイス化には、半導体製造ラインが必要で、試作生産環境が国内に未整備であり、投資判断に資する材料(研究開発成果)が少なく民間単独では取り組みにくい領域となっている

⑤重要経済安保技術

- ・ 『経済安全保障に関する産業・技術基盤強化 アクションプラン改訂版』において「破壊的技術革新が進む領域」として次世代コンピューティングが取り上げられている。

(2)社会インフラのモニタリング・予測基盤

Innovation Outlook Ver. 1.0 で記載したとおり、社会インフラのモニタリング・予測基盤は、自然災害への対応やパンデミックへの対応といった社会インフラのレジリエンス向上に重要である。また、関連技術を平時の循環経済に組み込むことによって、農作の効率化をはじめとする生産活動・サービス活動の最大化にも貢献することも期待され、当該領域はより幅広い社会課題の解決に発展し、大きなインパクトをもたらす可能性を有している。

そこで、本項目については社会インフラを対象としてより幅広い視野でデジタル社会の将来像を捉え、その実現のための取り組むべき領域の具体化を継続的に検討し、Ver. 2.0 以降で改めて提示することとする。

(3) 自動化・省人化・デジタル化(フィジカル空間への量子・AI技術の適用(フィジカルQ・AI))

労働生産人口の減少、高齢化社会の到来により、製造、物流、建設、介護、海洋などの現場において、熟練技術者の知能や技術の継承及び人材確保が困難な状況にあり、自動化・省人化を実現する技術開発が必要となっている。さらに、生産性改革による既存産業の発展や新産業の創出には、従来測定できない領域や精度でのセンシングによるデジタル化とAIとの組合せが求められている。

本領域に関する M-F ロジックモデルで見た社会課題との関係を図 3-4-8 に示す。

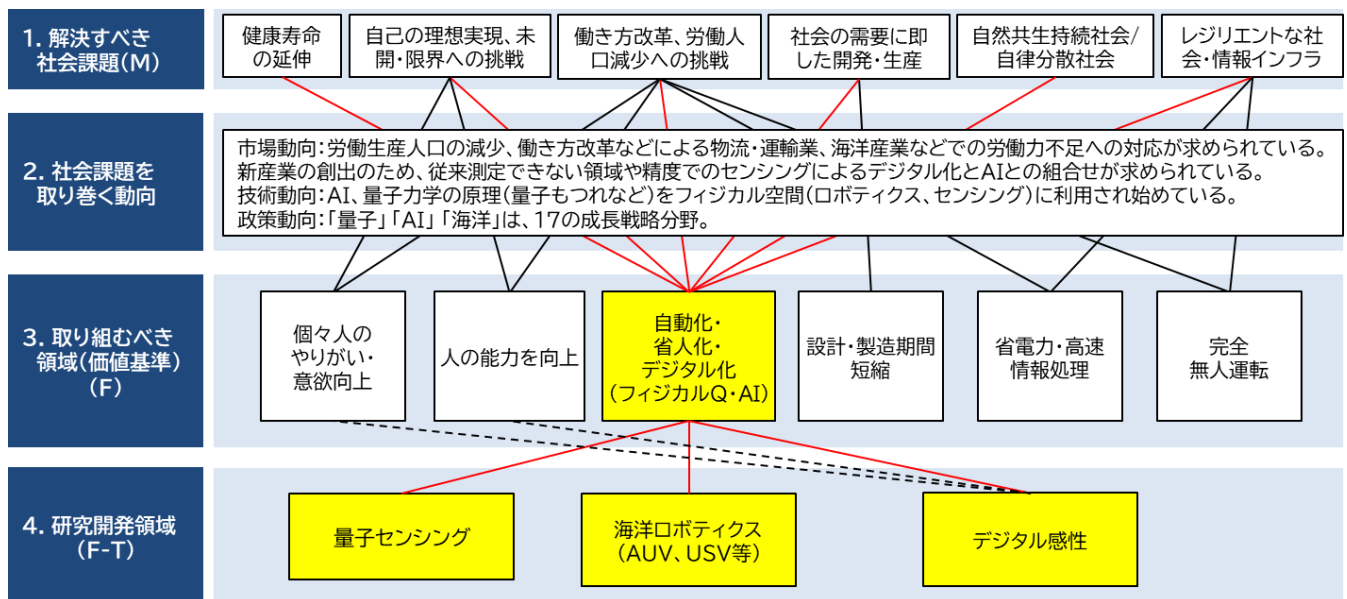


図 3-4-8 自動化・省人化・デジタル化(フィジカル空間への量子・AI 技術の適用(フィジカル Q・AI))
 :量子センシング、海洋ロボティクス、デジタル感性の M-F ロジックモデル

対象とする産業分野によって、取り組むべき課題も異なってくる。

増補版では、以下の 3 項目を抽出した。

- ・ 従来捉えきれなかった「物理的な微細変化」や「不可視の空間」を可視化する『量子センシング』
- ・ 海洋の特殊環境において、危険を伴う作業の省人化に貢献する『海洋ロボティクス』
- ・ 利用者の感性や価値観・共感性をデジタル技術によって捉え、支援・拡張する『デジタル感性』

増補版で抽出した取り組むべき領域について示す。

(i) 量子センシング

現在のデジタル IT 処理とその技術延長では達成困難な課題(組合せ最適化、量子化学計算、量子多体系計算など)がある。それに対し、量子コンピューティング領域を中心に活発な国家投資が主要各国で進められている。また、フィジカル空間への量子技術活用により、従来測定できない領域や精度での計測/診断ができるようになる量子センシ

ングが実用化され、生産性改革による既存産業の発達や環境インフラの精密計測に伴う新産業の創出が想定される。

①将来性(成長性・社会課題)

- 量子現象を用い、従来計測ができない精度や対象の計測を可能にする量子センシングは、半導体、航空宇宙、国土強靱化、ヘルスケア等における新たな量子産業立ち上げの鍵となる領域である。量子センシングの世界市場規模は、2040年には数千億~1兆円規模になるという観測もあり⁵、将来性が見込まれる。

②技術・アイデアの革新性

- 量子センシング技術は、製造産業・環境・医療などの分野における革新的な計測のみならず、コンピューティングや通信など他の量子技術にも波及する『量子の結節点』となり得る技術としての期待がかかる。

③日本の優位性

- 光格子時計は基礎研究面で世界に先行している。ダイヤモンド NVC などの格子欠陥やトポロジカル材料デバイス領域では、日本の得意分野である材料・デバイス技術が実用化のカギとなる。

④民間のみで取り組む困難性

- 量子センシングに用いられるデバイスの中には、量子効果を基にした設計スキルや製造手法の改良が必要なものがある。アカデミアを軸とした知識体系の形成が不可欠である。
- 量子センシングが必須な企業ニーズとアカデミアの量子シーズのマッチングに向けた活動が必要であるが、デバイス/素材/アプリの総合的な開発に向けた産業基盤構築には企業単独での活動は困難である。
- 量子効果の改良には、同位体濃縮など原子核の操作技術が必要な場合があり、原料提供可能な国の制限など、国家核戦略との密接なつながりが必要である。

⑤重要経済安保技術

- 経済産業省の『経済安全保障に関する産業・技術基盤強化 アクションプラン改訂案』において、下記の領域が取り上げられている。
 - 1)破壊的技術革新が進む領域として、「量子」が取り上げられている。

⁵ Quantum Technology Monitor(McKinsey & Company, 2024)
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf> (2026年3月閲覧)

2)産業支援策と産業防衛策を有機的に講じる「Run Faster(ランファスター)」
 戦略重点分野として「量子」が挙げられている。

- ・ 内閣府経済安全保障領域として「最先端な重要技術」の中に「量子技術」「先端センサー技術」が挙げられ、「社会や人の活動等がかかわる場としての領域」では海洋の航法やモニタリングなどにも「量子技術」が取り上げられている⁶。

(ii) 海洋ロボティクス

自動化・省人化・デジタル化の領域におけるAIロボティクスの開発対象は、タスクと環境の複雑さに応じて、特殊環境自律ロボット、協調型多機能自律ロボット、熟練・専門 AI エージェントに大別できる。いずれも重要であるが、この中で、更なる官民の支援・投資が必要な特殊環境自律ロボットに焦点を当てた。

特に、人間にとって過酷な作業を伴う特殊環境下においては、AIロボティクス等の代替手段の導入が検討されている。とりわけ、日本は世界第6位の管轄海域を有する海洋国家であるが、その広大な海域の開発・利用に必要な人材(船員やダイバー)が不足している。このため、海洋産業においても、省人化や生産性向上、労働環境の改善、安全性向上を図るべく、AUV(Autonomous Underwater Vehicle:自律型無人潜水機)やUSV(Unmanned Surface Vehicle:水上無人機)などの『海洋ロボティクス』の活用が強く求められている。

①将来性(成長性・社会課題)

- ・ AI・ロボット分野は、2050年の我が国の人口9500万人、GDP世界7位の予測⁷に由来する超人手不足時代に対抗する有力な技術分野である。
- ・ 海洋ロボティクスの世界市場規模は、2030年に約1兆円に達すると予測されている⁸。さらに、海底通信インフラや海洋エネルギー分野、水産業、海上輸送といった関連分野への波及効果も含めると、経済的インパクトは数兆円規模に拡大する可能性がある。

②技術・アイデアの革新性

- ・ 海洋ロボティクスは、水圧や電波減衰といった海洋特有の制約下で機能することが求められる。自律化や海中作業への対応には、海中無線通信、自己位置推定、マ

⁶ 内閣府/総合科学技術・イノベーション会議/重要技術領域ワーキンググループ(第5回)配布資料5経済安全保障上の重要技術領域について

<https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/kihon7/wg/5kai/shiryo5.pdf> (2026年3月閲覧)

⁷ <https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp2023.ReportALLc.pdf> (2026年3月閲覧)

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shin_kijiku/pdf/001_04.00.pdf (2026年3月閲覧)

⁸ 一般社団法人海洋産業研究・振興協会「海の次世代モビリティの市場規模と将来予測」

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/SeaMobilityPF/pdf/conference9/03_%E3%80%90%E8%B3%87%E6%96%991-

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/SeaMobilityPF/pdf/conference9/03_%E3%80%90%E8%B3%87%E6%96%991-3%E3%80%91%E5%B8%82%E5%A0%B4%E8%A6%8F%E6%A8%A1%E3%81%A8%E5%B0%86%E6%9D%A5%E4%BA%88%E6%B8%AC.pdf (2026年3月閲覧)

ニピューレーション、姿勢制御などの複合的かつ分野横断的な技術革新が不可欠である。

③日本の優位性

- ・ 海洋ロボティクス分野では、日本は AUV の隊列制御や音響通信などの研究技術において世界トップクラスの水準を有している。

④民間のみで取り組む困難性

- ・ 海洋ロボティクスでは、高信頼な機体開発に加え、実証に母船運用を要するなど事業化までのコスト負担が大きい。さらに、関連法規や漁業権への対応といった制度面の参入障壁も高く、自律運用の拡大には行政との連携が不可欠である。

⑤重要経済安保技術

- ・ 内閣府の『第 4 期海洋基本計画』では、経済安全保障に資する重要技術として、海洋ロボティクスや無人観測・センシング技術が位置づけられている。

(iii) デジタル感性

デジタル感性とは、人間が外界を理解し、価値を見だし、他者や社会と関係を築く際に不可欠な感性を、デジタル技術によって捉え、理解し、支援・拡張するための概念及び技術基盤である。自動化・省人化において、大量データを基に平均化する生成 AI を活用することは、効率性向上に寄与する一方で、多様性・個性・文化を奪う危険性を伴う。これに対して、個々の価値観・文化的背景・感じ方の違いを尊重しながら、AI やロボットが人間と共存・共進化する『デジタル感性』を活用すれば、個々人のやりがい・意欲向上や人間の能力の向上、個人のウェルビーイング、インクルーシブな社会の実現にも貢献し得る。

①将来性(成長性・社会課題)

- ・ 非言語的・非論理的な人間の嗜好や感情変化などの感性情報を理解する AI は、医療・自動車・顧客対応・マーケティング分野での市場拡大が予測されており⁹、自動化・省人化を効率化する上で重要な AI 基盤となると期待される。
- ・ データ駆動型の AI や自動化技術が社会に深く浸透する社会において、人間の価値判断・社会性・共感性を理解し、支援・拡張するためのデジタル感性は、自動化を単なる「人の代替」でなく、人とシステムの能力を互いに引き出す共進化の自動化へと転換する可能性をもつ。

⁹ Latest Market Study on Affective Computing Market, DataM Intelligence, <https://www.newstrail.com/global-affective-computing-market-forecast-us-592-9b-by-2031/> (2026年3月閲覧)

②技術・アイデアの革新性

- ・ デジタル感性を実現するためには、視覚・聴覚に加えて触覚・嗅覚・味覚などの多感覚情報や、表情・心拍・脳波・動作などの非言語反応を計測する技術に加え、人間の感性反応のモデリング技術及び感情情報の生成・共有技術など、複合的かつ分野横断的な技術革新が求められる。
- ・ デジタル化された感性情報のデータベースや感性の AI モデル、個人の属性や状況に応じて感性反応を再現する技術は、個人の嗜好に合わせた製品開発の効率化や、サービスの高付加価値化、ユーザビリティ評価の効率化に寄与する。
- ・ 視覚・聴覚中心の情報通信を超え、身体的な触覚や運動体験、更には味覚・嗅覚など、本人しか理解・体験できない感性情報をデジタル化、再現する技術は、「情報共有」から「体験共有」へのパラダイムシフトを生み出す。

③日本の優位性

- ・ 感性工学は日本発祥であり商品開発やマーケティングに応用されてきた。質感の科学についても視覚、触覚などの分野で多くの有力研究者が存在する¹⁰。日本は消費者の要求水準も高く、感性・品質にこだわった製品・サービスに対して海外と差別化できる土壌がある。
- ・ 欧米では、AI による感情情報の取り扱いには、プライバシー配慮や倫理的側面から規制強化が進む一方、日本では、認知発達ロボティクスにおけるパートナーロボットやアバターロボットなど、身体性を伴う個人の感性を社会性の基盤として捉えており、先駆的な取組を行う研究者が多い¹¹。また、多感覚情報に基づく質感科学の研究が進んでいる。

④民間のみで取り組む困難性

- ・ 感性情報に関する先端の計測、提示技術はアカデミアが中心である。一方、AI 化のための大規模データセット、学習環境には民間企業のデータの共有やプラットフォーム化が必要となる。また、プライバシー配慮のガイドラインの整備が必要である。

⑤重要経済安保技術

- ・ 経済産業省の『経済安全保障に関する産業・技術基盤強化 アクションプラン改訂案』において、下記の領域が取り上げられている。
 1)破壊的技術革新が進む領域として、AI-生成 AI がこれからの革新の核技術と

¹⁰ Shitsukan—Understanding and Manipulating Material and Quality Perception(Shin'ya Nishida, Ko Nishino, Springer Nature, 2026)
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-95-4762-3>(2026年3月閲覧)

¹¹ 研究開発の俯瞰報告書 システム・情報科学技術分野～領域別動向編～(2006年), 人工知能(AI), 人間知能の理解(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, 2026)
<https://doi.org/10.82643/crds-fr-s-ai-uhi> (2026年3月閲覧)

なっている。

2)我が国が技術優位性をもつ領域として、工業機械・産業用ロボット(製造業)があり、生成 AI による更なる強化が強く求められている。

3-4-5 取り組むべき具体的な手段(T)のテーマ例

優先的に取り組むべき領域について、それぞれの具体的な手段を記載する。

(1) 省電力・高速情報処理(原子層エレクトロニクス、フォトニクスコンピューティング)

処理にかかる電力消費を削減するためのハードウェア的アプローチとしては、汎用的な処理基盤においても、チャンネル材料に新しい材料系である「原子層材料」を導入し、従来からのスケーリング則の更なる追求(More Moore)や多機能化(More than Moore)がある。くわえて、電子に代えてスピンや光などで四則演算をベースとした汎用コンピュータを実装する(Beyond CMOS)アプローチも有用性がある。さらに、物理リザーブコンピューティング、脳型コンピューティング(ニューロモルフィックコンピューティング)、バイオ素材を使ったオルガノイドインテリジェンス、量子マテリアルである原子層物質やトポロジカル物質によるスピン演算素子や量子デバイスなども近年注目されている。

(i) 原子層エレクトロニクス

従来スケーリング則の延長手段として有力視されている「原子層エレクトロニクス」の市場導入時期は、IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre)のロードマップにおいては、2037 年頃商用化予測の IMEC A2 技術世代とされており、主要な先端半導体製造企業も同様である。現時点では、300mm ウエハレベルでの成膜技術がほぼ確立された段階であり、デバイス作製・集積化に必要な他プロセスの確立とそれらの統合化技術の開発が軸になりつつある。PN 制御含むドーピング、コンタクト、ゲートスタック等に関するラボレベルの研究は数多いが、量産に耐えうる統合化プロセスへ、いかにつないでいくかの努力が社会実装に向けての鍵となっている。

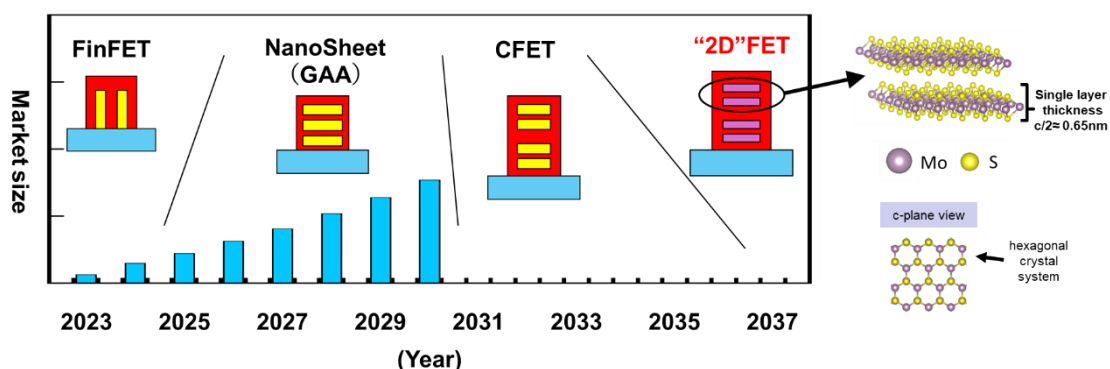


図 3-4-9 技術ロードマップ上の原子層エレクトロニクス(“2D”FET)の位置づけ

出所:IMEC ロードマップ等を基に NEDO TSC 作成

(ii) フォトニクスコンピューティング

フォトニクスコンピューティングの実現方法には、光でニューラルネットワークを実装するアプローチと、光で四則演算を実現し、従来の汎用コンピュータを実現するアプローチの2通りが考えられる。

光でニューラルネットワークを実装するアプローチでは、機械学習で用いられるようなシンプルなニューラルネットワークの実装が研究開発されている段階である。フィジビリティスタディフェーズとしては、生成 AI につながるトランスフォーマーモデルを光ニューラルネットワークで実装できるかどうかを検証し、有用性を検証する。2025年12月に生成 AI 特有の処理をチップ上で光のまま処理する固体素子が発表され、技術が急速に立ち上がりつつある。

光でコンピュータを実現するアプローチでは、主に演算機の実装が現状の大きな課題となっているが、積和演算について光での実装の可能性が見えてきたところである。小規模な LLM(大規模言語モデル)を実行するのに必要な積和演算を並列実行可能なシステムの設計、構築及び小規模 LLM の実行と精度・性能評価が、初期段階での取組と考えられる。

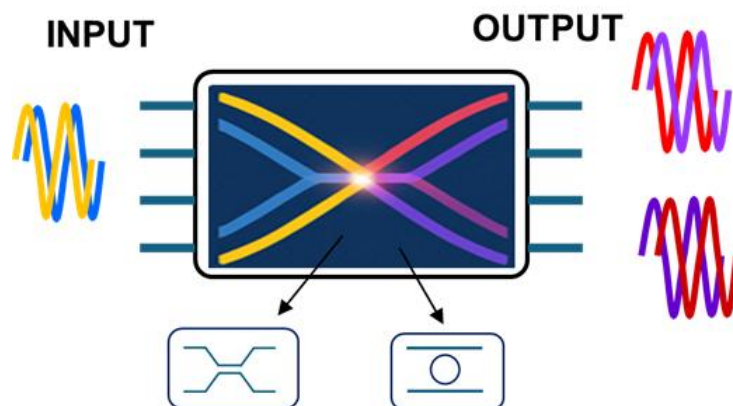


図 3-4-10 光演算素子の概念図

(2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤

本項目に関しては、Innovation Outlook Ver. 1.0 を参照。

(3) 自動化・省人化・デジタル化(フィジカル空間への量子・AI 技術の適用(フィジカル Q・AI))

従来測定できない領域や精度を実現する量子センシングによるデジタル化、日本の世界第 6 位の管轄海域を有する海洋国家という特性を活かした海洋ロボティクスの高度化、そして非言語的・非論理的な人間の嗜好や感情変化などの感性情報を理解する AI であるデジタル感性といった先端技術が、それぞれに新産業の創出を支える。さらに、新たなフィジカルシステムとしては、ソフトロボティクス、バイオハイブリッドロボットが登場する一方、ロボット用 AI モデルの作成方法に関連して認知発達ロボティクス、リアルハプティクスが注目されている。

(i) 量子センシング

量子センシングには、表 3-4-9 に示すような様々な手法が挙げられ、従来のセンシングでは捉えられない微細な物理量(重力、磁場など)を検出可能にし、社会の「見えないものを可視化する力」として注目されていて、データ生成技術の中核技術であり、「未来の感覚器官」として機能することが期待されている。センシング技術により、自動制御による省人化やインフラの予防保全、超早期病理診断などに寄与すると考えられる。現状、量子センシングには、環境ノイズへの脆弱性、装置が大型・高価であるなどの課題があるものの、外乱抑制、補償技術、センサー機能を有するダイヤモンドNVCなど様々な結晶欠陥や、トポロジカル材料の製造、制御技術の進展による機能向上と汎用性の獲得による普及が期待されている。

中でも、我が国が基礎研究面で先行している光格子時計・原子時計は、これまでにない高精度の時間標準という点のみならず、重力センサーとして、計測地点の精密な時刻測定により、地殻変動など防災や環境保全、資源探索のツールとして期待される。また、我が国が得意とする材料、デバイス開発が普及の鍵となるダイヤモンド等 NVC では、電流、磁気、温度における従来にない高感度計測を実現することにより、半導体の非破壊不良解析など産業分野での活用も広く期待されている。これら、光格子時計・原子時計やダイヤモンド等 NV センター(NVC)は、コンピューティングや通信など他の量子技術にも波及する「量子の結節点」となり得る技術として重要である。

量子センシングの産業化を加速するためには、光格子時計・原子時計及びダイヤモンド等 NVC の領域において社会実装につながる研究開発が必要である。

光格子時計・原子時計は、18 桁精度かつ 250 リットルの装置容量が実現されている。今後は、通信におけるタイムスタンプなど高精度な時間標準の形成や地殻変動・資源調査などきめ細かな観測を行うため、多地点への機器設置や装置移動中計測のニーズに対応する必要がある。そのためには、現状の高い時間計測精度を維持しつつ、移動中計測も可能にする外乱抑制、補償技術や、可搬性をより高める小型軽量化、低コスト化につながる光学系、原子制御系及び光源などの光学デバイスの開発が求められる。

ダイヤモンド等 NVC の結晶欠陥を用いた固体量子センサーは、常温常圧動作できることにより、半導体の非破壊不良解析など多くの産業分野での利用が考えられている(図 3-4-11)が、広く産業分野に浸透させるためには、高品質 NVC の安価供給や制御計測装置の汎用化を実現していく必要がある。そのためには、現状達成されている以上の高感度かつ高分解能なセンシングが可能になるよう、ダイヤモンド等 NVC の位置等の結晶欠陥構造制御性の大幅な向上、高品質な NVC の生産技術、センサーの低コスト化に寄与する材料合成及び加工技術が求められる。また、センサー運用性に優れたデバイスの新規構造や、様々な計測手法のデバイス集積化につながる技術開発が求められる。

表 3-4-9 量子センシング技術例

比較指標	光格子時計・原子時計	量子慣性センサー	光ポンピング磁気センサー(OPM)	ダイヤモンド等 NVC 結晶欠陥量子	トンネル量子磁気センサー(TMR)	光量子もつれ	超偏極MRI
将来性	位置情報の精度向上、通信・電力で社会意義が大。量子コンピュータへ技術波及あり	慣性航法が主用途。競合技術(MEMS)が同程度の感度表現	脳磁計、防衛などの用途が期待される。市場性はやや弱い。	常温常圧動作により、産業・医療検査など、利用範囲広い。量子コンピュータ/通信へ波及効果あり	磁気メモリ、インフラ検査、防衛など用途が幅広い。量子産に向けた技術でもある	汎用光源を用いた広域分光評価が可能で、機器の小型化など幅広い用途が想定。量子コンピュータ/通信へ波及効果あり	次世代MRIでのブレイクスルーと目され、欧米企業が投資。医療向けが主で波及性には難あり
技術・アイデアの革新性	精度、安定度に優れた次世代時間標準化	衛星非依存のナビゲーション技術	磁場電磁波の小型高感度センシング	室温動作固体量子素子として利用可能	特異な電子構造材料とデバイス化	非線形光学現象の積極的な利用	室温長時間安定な超偏極材料開拓
日本の優位性(競合国対比)	国内研究発祥で、理論と技術が先行しており優位性が高い	海外は防衛用途で開発加速	日本:大企業が参画 欧米:SU主体も国家支援あり	企業含め研究層が厚く、材料技術で優位	材料・デバイス研究者、企業が複数存在	量子もつれ光源を用いた生体計測などが先行	医療応用で材料優位も、機器は海外のみ
民間のみで取り組む困難性	光学系が複雑で小型可搬化困難	用途が限定的	精度は良いが、実装密度が低く、用途が限定	素材、デバイス化制御に新技術が必要 安定同位体不可欠	—	現状用途が限定的で、既存機器優位性が不十分	安定同位体利用が不可欠
重要経済安保技術ほか	原子制御など量子コンピュータ技術に波及	宇宙、海洋など非GPS領域での利用	—	量子計算、量子通信など用途が幅広い	HDD等で社会実装された技術のため、フロンティア性薄い	量子通信への応用が各国で進行	—



図 3-4-11 ダイヤモンド等 NVC の計測対象と応用分野

(ii) 海洋ロボティクス

日本は世界第6位の管轄海域を有する海洋国家である一方、その広大な海域の開発・利用を支える人材(船員やダイバー等)の不足が顕在化している。このため、省人化や生産性向上、労働環境の改善、安全性向上を図る手段として、AUVをはじめとする海洋ロボティクスの活用が強く求められている。

例えば、海中・海上ロボティクスの協調制御により広範な海域の海洋データを収集し、そのデータを活用する「海の見える化」や「海洋デジタルツイン」に向けた取組が進みつつある(図 3-4-12)。こうしたデータの利活用を通じて、海底資源・水産資源の探索、気象予測の高精度化、さらには輸送船の航路最適化による CO₂排出削減などへの貢献が期待されている。

現状の AUV の運用は、基本的に母船(有人船舶)を用いて、AUV を運搬・投入・回収しており、その回収後に観測データを確認する運用が一般的である。この運用形態には、天候や運用時間の制約、人件費や傭船料のコストの課題が存在する。これらの課題は、洋上風力発電施設をはじめとする海洋インフラの保守点検や、海洋資源調査をはじめとする広範な海域での海洋データ収集(海の見える化)など、AUV の多くの活用先において共通するものであるから、これらの課題解決に資する省人化技術の確立が急務である。

これまで、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)や、経済安全保障重要技術育成プログラム(K Program)による無人航空機を用いた AUV の運搬技術等により、海洋ロボティクスの省人化技術に関して一定の成果が得られている。しかしながら、産業用途(水深~2,000m に対応)を見据えた場合、より低コストで効率的な運用を実現するためには新たな省人化技術の確立が不可欠である。例えば小型 USV を用いて小型 AUV を運搬するなどの技術により有人母船レス運用を実現することが求められる。

有人母船レス運用の場合、AUV と接続した USV や AUV 自体が障害物の多い港湾内から外洋まで長距離を自律航行すること、AUV が高精度に自己位置を推定すること、USV と AUV の接続・分離(ドッキングや曳索接続を含む)を正確に行うこと、更に目的海域で海洋ロボティクスが長時間活動することなど、複数の課題が存在する。自律航行を実現するためには、海上・海中の障害物認識と回避や、AUV と USV の協調制御に関する技術開発が必要となる。また、AUV/USV 接続・分離には、相互位置の高精度特定や姿勢制御技術が求められる。さらに、長時間の活動を可能にするためには、例えば USV をターミナルとした AUV の充電・データ転送技術の確立が必要である。くわえて、海洋ロボティクスによる水中作業を実施するためには、目標物の認識・操作(マニピュレーション)技術や姿勢制御技術が必要となる。

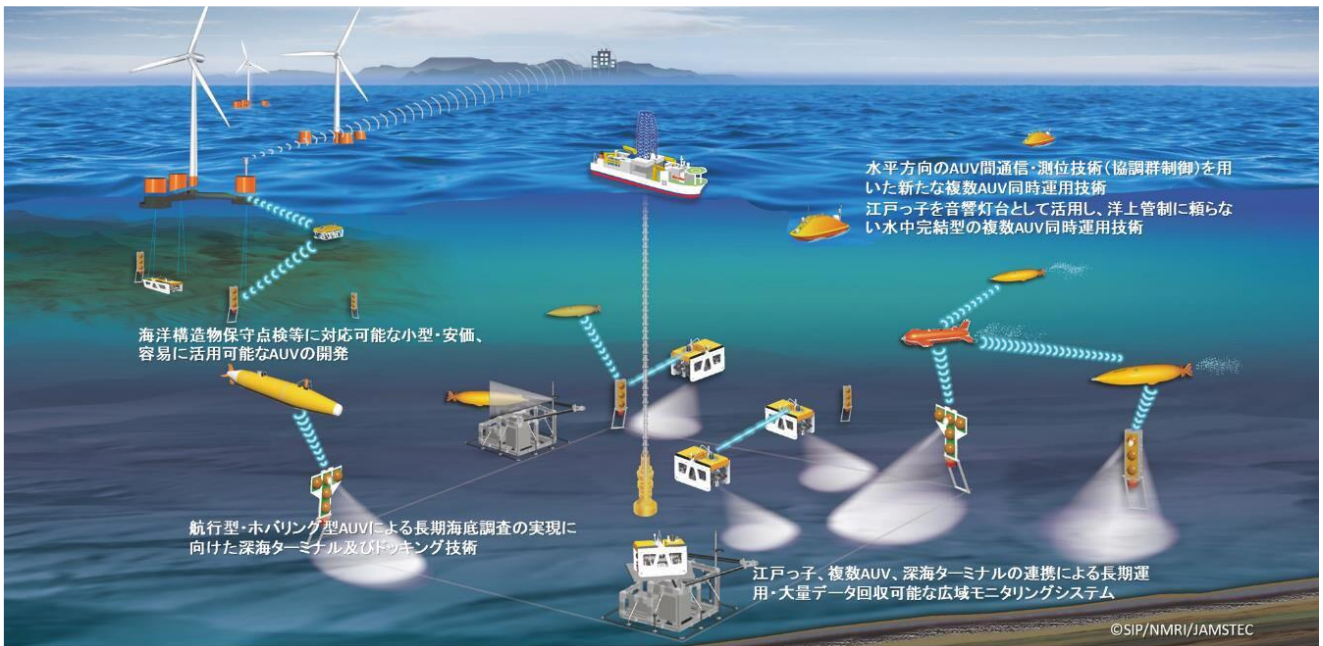


図 3-4-12 海洋ロボティクス技術の開発例¹²

¹² 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 海洋安全保障プラットフォームの構築 社会実装に向けた戦略及び研究開発計画 https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip_3/keikaku/05_kaiyo.pdf (2026年3月閲覧)

(iii) デジタル感性

デジタル感性とは、人間が外界を理解し、価値を見だし、他者や社会との関係を築く際に不可欠な「感性」を、デジタル技術によって捉え、理解し、支援・拡張するための概念及び技術基盤である。

人間の感性は、単なる主観的感情ではなく、

- ・ 外界を「意味あるもの」として解釈する価値判断の仕組み
- ・ 他者の感情や意図を理解し、社会性や協調を形成する仕組み
- ・ 快・不快などの情動を通じて心身の健全性を保つ仕組み

といった、人間の行動・判断・社会形成を根底から支える機能的システムである。データ駆動型の AI や自動化技術が社会に深く浸透するなかで、人間一人ひとりの価値観・文化的背景・感じ方の違いを尊重しながら、AI やデジタルシステムが人間と共存・共進化するための基盤概念として位置づけられる。とくに、平均化や最適化を指向する従来のデジタル技術だけでは見落とされがちな、

- ・「なぜそれを大切だと感じるのか」
- ・「どのような表現が心地よいのか」
- ・「どのような関わり方が人として適切なのか」

といった問いに対し、構造的かつ説明可能な形で応答するための枠組みがデジタル感性である。市場動向では、世界では医療・自動車・顧客対応・マーケティングなどでの導入が進むと見込まれている。製造業の強い日本では、技能伝承など職人の細やかな感性や暗黙知の理解にも感性 AI の活用が期待される。また、感性 AI は、個人の感性を引き出すための教師エージェントなど、個人の能力やウェルビーイング向上にも寄与すると期待される。

このような『デジタル感性』を実現する手段として、例えば以下のような技術開発が必要となる。

- ・感性に関わる視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚などのマルチモーダル情報、非言語反応の計測技術
- ・人間の属性や経験、文化的背景、環境、状況などに基づいて感性反応を予測する感性モデリング技術
- ・感性情報を安全に取り扱うための機械学習・AI モデル
- ・感性を刺激する質感レベルまで忠実に再現するディスプレイ
- ・リアルタイムに感性を推定しながら、人間とインタラクションする技術

以下、具体的研究手段の詳細を説明する。

感性のデジタル化を実現する一つの方法は、近年の生成 AI で利用される大規模言語モデル(LLM)と画像・音声などのマルチモーダル情報を組み合わせた抽象表現学習のフレームワークを取り入れることである。ただし、感性情報を AI に理解させるためには、画像・音声に加えて、触覚・嗅覚・味覚などの感覚情報や、声色・心拍・脳波・表情・行動といった非言語反応と紐づけたデータセットを用意し、学習モデルを構築する必要がある(図 3-4-13)。さらに、個人の嗜好や個性に対応するためには、個人の属性や経験、文

化的背景、メンタル状況、体調、環境や文脈を紐づけたデータを取得することが望ましい。また、熟練者の技能に関する感性など、特定タスクに関するデジタル感性を実現するためには、作業の状況や作業者の意図・注意、作業のパフォーマンスなど、より総合的なデータを蓄積するためのプラットフォームが必要となる。

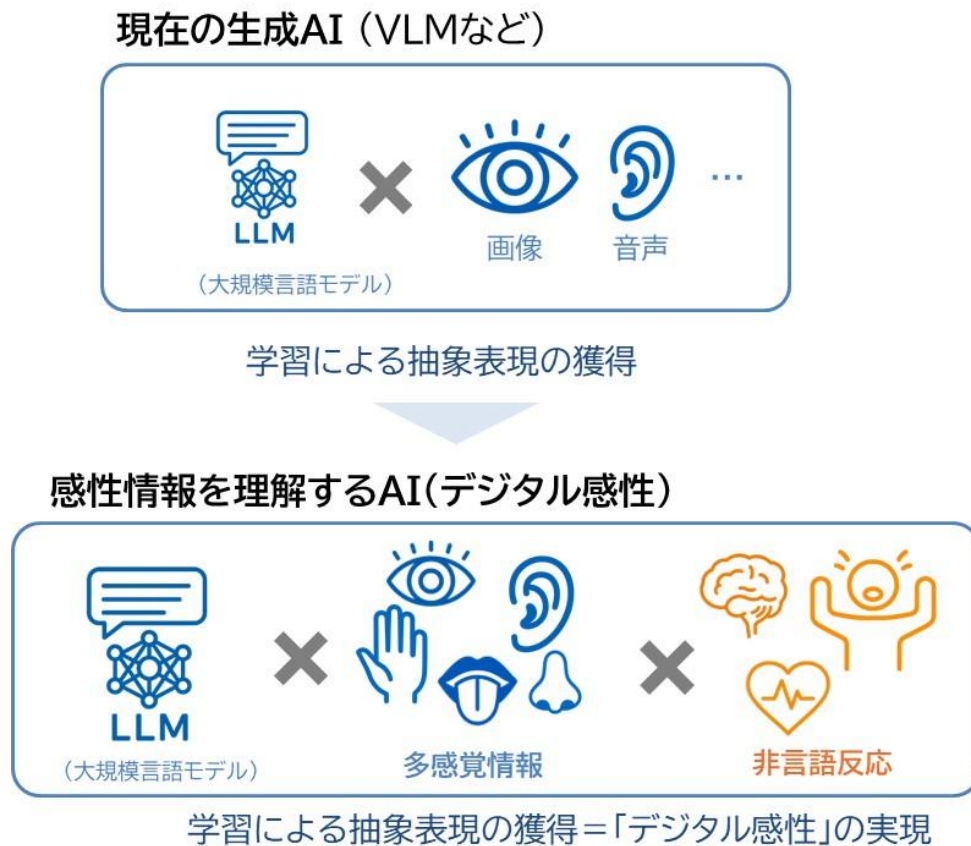


図 3-4-13 現在の生成 AI と感性情報を理解する AI(デジタル感性)の構成の比較

感性情報のセンシングに関しては、これまで画像・音声を利用した情動推定技術が開発されており、カスタマーサポートや医療診断、自動運転支援への活用が期待されている。今後のフロンティア領域等として、従来デジタル化が難しかった触覚、嗅覚、味覚、運動感覚といった新たなモダリティの計測技術が求められる。また、情動や注意喚起などの非言語反応の計測も有効な手段となる。心拍、脳波、発汗などの生理信号や注視点や行動の変化など前後の文脈も含めたデータ取得が求められるが、感性に直接関係しないノイズデータも増えることから、大量のデータの中から良質なデータを選別する技術が必須となる。さらに、大規模データを取得するためには、日常生活をウェアラブルデバイスや環境設置型の非接触センサーで感性情報を手軽にロギングする技術の研究開発も求められる。

人間の感性反応を予測するモデルに関しては、これまで感性工学分野を中心に感性評価語やオノマトペを利用した感性分析が行われており、今後は、大規模言語モデルと

の統合が期待される。また、感性モデルの基盤として、心理学における自由エネルギー理論や、予測誤差最小化に価値判断や意味理解に着目した研究が行われている。認知発達ロボティクスの分野では、感性反応に他者との関係といった社会的相互作用を通じた意味の獲得プロセスを構成論的に実証する試みが行われている。また、神経科学の知見をもとに、人間の脳の内部表現と行動に整合した AI モデルを構築することにより、AI の説明可能性を高めた AI の行動・判断の価値整合(AI アライメント)を実現しようとする試みがある。感性 AI や感性モデリングでは、欧米を中心に倫理的側面から規制が強化されており、安全運用のための説明可能性や出力の安定性、AI アライメントが実運用では重要な技術となる。

さらに、感性情報をデジタル化し、それを人工的に再現し、共有する技術は、これまでの視覚や聴覚中心の情報通信から、触覚や味覚・嗅覚など自らの身体を介した「体験」を共有する新しい情報通信のパラダイムを切り開く可能性がある。感性に訴える質感レベルの多感覚情報を再現する技術は、「質感」の研究として、JSPS 学術変革領域「深奥質感」などで、脳科学・心理学・工学・情報科学の融合研究として実施されてきた実績がある¹³。感性モデルとディスプレイ技術を統合し、デジタル空間で任意の感性体験を生成できるようになれば、より付加価値の高い製品設計や視聴だけでは伝えることが難しい技能や体験の魅力を手軽に伝えることができると期待される。

¹³ JSPS 学術変革領域研究(A)「実世界の奥深い質感情報の分析と生成」研究概要
https://shitsukan.jp/deep/?page_id=15 (2026年3月閲覧)

コラム 注目技術 2 情報セキュリティ

(1) 技術の概要

- AI 自律防御: ネットワークやシステムへの攻撃を自動で検知・分析し、必要に応じて自律的に防御策を講じる AI エージェント技術や、自律的に動作する AI エージェントが、自らを防御する技術
- ディープフェイク検出 AI: AI によって生成された偽・誤情報を対策する技術
- 秘密計算: データを暗号化したまま計算することができる技術

(2) 注目する理由

- 生成 AI の出現により、サイバー攻撃の容易化、手口の巧妙化が進んでいる。くわえて、生成 AI に不正プロンプトが注入されると、予期せぬ AI の動作が誘発され、社内の秘密データ等が流出する可能性も出てきている。これらに対抗するために、AI エージェントにより自律的にサイバー防御する技術や、自律型の AI エージェントが自らを防御する技術が注目されている。
- 生成 AI を利用することにより様々な本物そっくりのディープフェイク(文章、画像、動画)が、誰でも容易に作成できるようになっており、それによる詐欺(含むフィッシング)が増加している。このディープフェイクを見破る AI 技術として、ディープフェイク検出 AI が期待されている。
- 大規模 AI 基盤モデルを学習させるには、多量のデータが必要となる。このため、個社の壁を越えて、業界全体でデータを共有しあい、基盤モデルの学習を行う必要がある。その一方、各社のデータには、自社のノウハウを守るために、他社には公開しにくいという課題があった。この課題を解決するために、データを暗号化したまま学習に使用する秘密計算(秘匿計算)が注目されている。

TSC Foresight

Innovation Outlook Version 1.0 増補版

デジタル分野

2026年6月1日発行

作成メンバー

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
イノベーション戦略センター(TSC)

■センター長	岸本 喜久雄
■事務局長	田辺 雄史
■デジタルユニット	
・ユニット長	横井 一仁
・上席研究員	安藤 淳
	大杉 伸也
	秋葉 拓也
	昆陽 雅司
・研究員	中村 隆顕
	石川 真二
・上席技術アナリスト	鎌田 久美
・フェロー	伊藤 智

●本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5200(イノベーション戦略センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料はイノベーション戦略センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。