

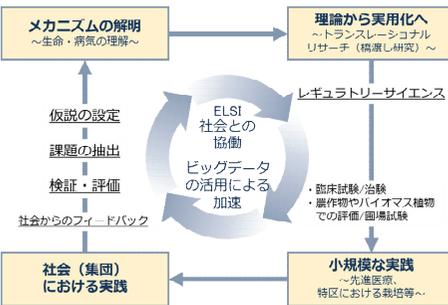
社会・経済動向 (期待・要請)

世界的に「より多くの人に、より質の高い医療サービスを、より安価に提供すること」が求められている。また世界の人口は増加の一途をたどっており、「より多くの人が、より質の高い食料を安定して入手できる」ための、食の安全、食料確保の問題は喫緊の課題となっている。

日本の課題

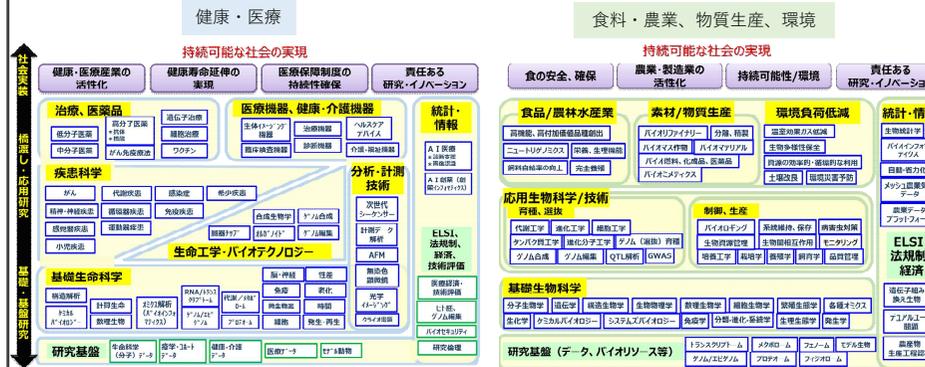
- 少子高齢社会 (労働人口減)
■ 医療費の高騰 (国の財政問題)
■ 人口増加や気候変動による食料問題
■ 産業構造の変化
■ 情報技術・社会の加速度的進展

ICT技術の進展等によって、社会の中に存在する多種多様なデータの活用が現実的になりつつある。社会からのフィードバックを研究のきっかけとして活用することが技術的にも可能となり、改めて研究開発の循環構造 (下図)の重要性が認識されている。社会・国民を巻き込んだ研究開発が大きな潮流となってきた。昨今世界的な大きなトレンドとなっている個別化医療やバイオエコノミーはその最たる例である。



ライフサイエンス、健康・医療、食料・農業、物質生産等の研究開発の俯瞰図

研究開発動向の概観を把握するため、健康・医療分野と食料・農業、物質生産、環境 (グリーンバイオ、ホワイトバイオ) 分野の各々について基礎から出口までを軸とした俯瞰図 (研究構造のスナップショット) を設定



科学技術として進展の大きいテーマ、および社会的ニーズ・インパクトの大きいテーマの視点から、定点観測、国際ベンチマークを行うべき領域として下記の35の研究開発領域を抽出し、2章に各領域の詳細を記述

- 遺伝子発現機構
免疫科学
電子顕微鏡
環境微生物学・合成生物学
中分子医薬
診断技術・バイオマーカー
ゲノム編集
ゲノム編集
光学イメージング
植物・農業
高分子医薬 (抗体、核酸)
診断技術・がんゲノム医療
ケミカルバイオロジー
老化科学
生体イメージング
水産
AI創薬
生活習慣病
構造解析技術
微生物学
生体分子計測技術
畜産
遺伝子治療・細胞治療
精神・神経疾患
オクススタ
感覚器科学
ヘルスケアIoT
機能性物質・食品
再生医療
感染症
細胞解析
脳・神経科学
計測データ解析 (AI)
オルガノイド・臓器チップ
細胞外微粒子・エクソソーム

世界の研究開発政策の潮流

- 健康・医療分野
ゲノム医療、個別化・層別化医療 (がんを中心に)
ヘルス・メディカルインフォマティクス、AI医療、AI創薬
創薬: がん免疫、中枢神経系、感染症
大規模な官民パートナーシップによる産学協働型研究
細胞治療・遺伝子治療
脳神経研究 (長期的研究)
■ 食料・農業分野
持続可能、気候変動、循環型、スマート
■ 物質生産分野
合成生物学の取組 (米英中を中心に)

Table with 2 columns: 国・地域 (Country/Region) and 概要・特徴 (Overview/Features). Rows include USA, EU, UK, Germany, and China with details on their research policies and focus areas.

技術トレンド 近直2~3年の大きな技術・研究の変化、進展

- 一細胞オミクス技術の隆盛と細胞社会・不均一性の理解や疾患の理解
■ クライオ電顕、超解像顕微鏡・光シート顕微鏡等イメージング技術の発展による各生体スケールの解像度の向上
■ ゲノム編集技術の精度の向上による医療、食料応用への展開
■ AI・機械学習の生命科学、臨床への着実な浸透
■ 新しい創薬等アプローチの出現
■ 個別化・層別化医療、精密医療、ゲノム医療・創薬およびバイオエコノミー等社会・国民の理解が必要な研究開発の大きな潮流の継続
計測技術やAI・機械学習等をはじめとしたICT技術の急速な進展は、分野の研究のあり方や手法のパラダイムを変えつつある。自動化、大規模化という流れは今後も続いていく。

Grid of technology trend cards for 2014-2021, including topics like DNA sequencing, genome editing, cryo-electron microscopy, super-resolution microscopy, AI, and organ-on-chip technologies.

国際ベンチマーク (技術) から見た日本の位置づけ

日本が強みを有する領域 (基礎研究)
構造解析、細胞外微粒子、光学イメージング、核磁気イメージング、免疫学、時間科学、脳神経科学、植物科学、畜産科学、高分子医薬、幹細胞・再生医療、オルガノイド、生活習慣病、精神・神経疾患
日本が強みを有する領域 (応用研究)
細胞外微粒子、水産、機能性食品、高分子医薬、幹細胞・再生医療、精神・神経疾患
世界の潮流だが日本が後塵を拝する
遺伝子・細胞治療、がんゲノム医療

今後の方向性

Future directions section including 'Social Issue Solving, Industry Competitiveness Strengthening' and 'Science Frontiers' with specific goals and research focus areas.

社会の要請・ビジョン

持続可能な豊かな社会

■ 人間活動による影響を自然のメカニズムが許容可能なレベルに抑えつつ持続的な社会の発展を実現。

循環型経済

■ 循環型社会形成に向けた新たなイニシアチブ

社会・経済の動向

人口、石油需給

■ 世界人口は76億人 (2017年) から90億人超 (2050年) に
■ 石油需要予想は約0.7~1.2億バレル/日、予想価格約64~137ドル/バレル (2040年) ※1

CO₂排出量推移

■ 現在も増加を続けており2017年の人為起源CO₂排出量は約326億t ※1

ESG投資

■ 国連のイニシアチブ責任投資原則 (PRI) への署名機関の増大。
■ ネガティブ・排除型スクリーニングによる投資引き揚げが化石資源利用関連技術に影響。

海洋プラスチックごみ問題

■ EU循環型経済政策、中国プラスチックごみ輸入規制。

科学技術の潮流

- 気候変動への対応: 緩和策と適応策。
- 循環型社会形成: End of Pipeに加え低環境負荷型の生産システム構築を目指すCleaner Production型。
- デジタルエコノミー: IoT/AIの隆盛を背景にしたビッグデータ活用、スマート化の流れ。
- 規制開発: 大気汚染物質の排出規制などに対応するための技術開発の進展。

※1 国際エネルギー機関
※2 一部の研究開発領域について、本文中では複数の中項目を設け、その単位ごとに評価している。本表ではCRDSの判断に基づき領域単位に統合した結果のみ記載した。評価にあたり参考とした根拠等の詳細については本文を参照。

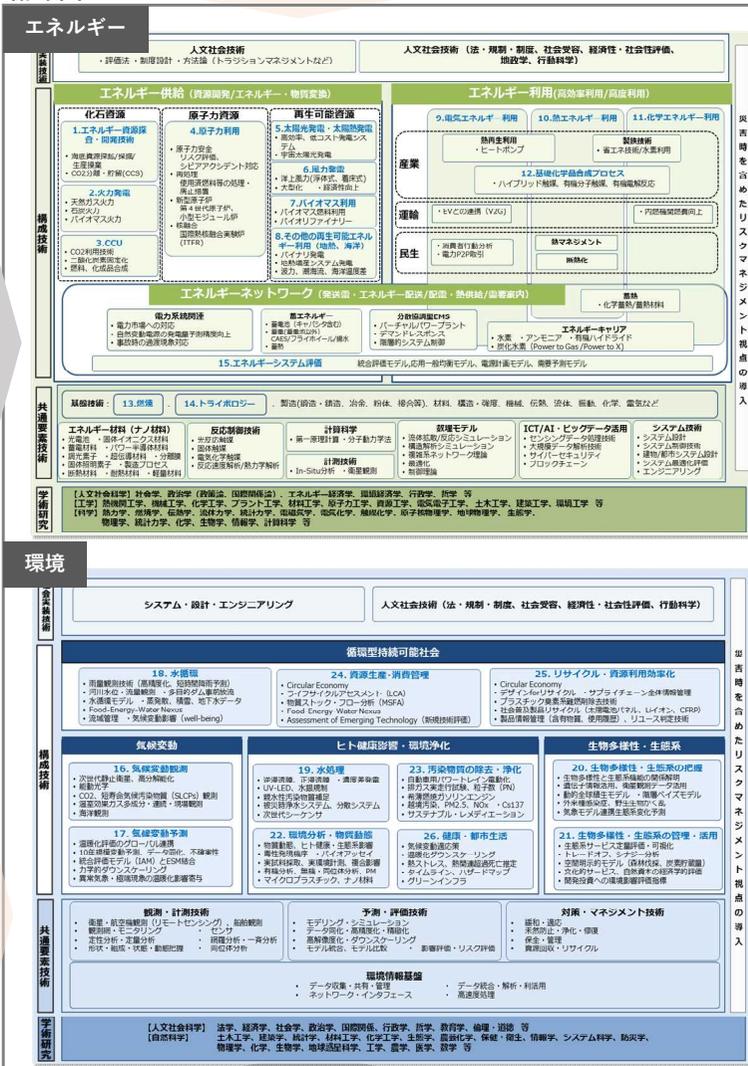
SDGs

- 水、生産と消費、エネルギーアクセス、気候変動、海洋、陸上生態系、まちづくり、産業・技術革新、持続可能な経済成長
- **パリ協定**
- 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保ち、1.5°Cに抑える努力を追求。
- 日本の約束草案: 2030年度までに2013年度比▲26.0%。

3E+S

■ 安全性 (Safety) を前提としたエネルギーの「安定供給性 (Energy Security)」、「経済効率性 (Economic Efficiency)」、「環境への負荷低減 (Environmental Load)」同時達成の追求。

俯瞰図



国内の研究開発コミュニティの状況

- 研究活動は米国、中国の勢いに押され、論文数では軒並み順位を落とす。
- 少子高齢化により国内の関連学会会員数は概ね減少傾向、コミュニティが縮小化している。
- 理工系の大学院入学者数は年々減少しており、母数の大きい工学系は減少幅も大きい。
- 工学系の基礎基盤研究や環境観測等の観測インフラへの公的支援が不安定で研究基盤の弱体化が懸念されている。

研究開発動向

エネルギーシステム、エネルギー利用

[研究開発領域: 1, 9, 10, 15]

電化推進と変動電源拡大を受け、エネルギー製造・貯蔵/運搬・利用に関する検討が活発だが、エネルギーシステム全体を統合的に考える視点が不足。エネルギーフローの双方向化によりICTを活用した需給連携がますます重要になる。

日本の現状 → エネルギーマネジメント分野で電力系統の安定化や新技術を活用したサービス開発のための研究等が盛り上がりを見せている。

集中電源、大規模発電

[研究開発領域: 2, 4, 13, 14]

北海道におけるブラックアウトを受け、電力系統のレジリエンス性向上が新たな重要課題として認識されつつある。

日本の現状 → 火力、原子力など日本が基礎及び応用・開発とも優位性を持つ分野の基礎技術の弱体化が懸念される。今後どのように研究開発を進めていくか岐路に立たされている。

化学的エネルギーの活用

[研究開発領域: 3, 7, 10, 11, 12]

再生可能エネルギーの貯蔵/運搬・利用のための技術開発 (蓄電、蓄熱, Power to X: 炭化水素合成, CCU) が活発。

日本の現状 → 化学分野は活発化しており、脱化石燃料化やCO₂排出削減の観点から基礎研究並びに応用・開発が産学官で活発に取り組みられている。

分散電源、再生可能エネルギー

[研究開発領域: 5, 6, 8]

世界各国の変動・分散型再生可能エネルギーの競争力が向上。一方で導入拡大によるエネルギーネットワークへの影響が顕在化 (例: 太陽光の出力制御)。予測技術の活用、蓄エネルギー、最適制御等に係る研究開発が課題。

日本の現状 → それぞれに研究の蓄積はあるものの、基礎研究の成果が応用・開発、社会実装へと繋がっていく力強い流れは見えない。むしろこうした状況には政策、法規制、地理的条件等、社会的要因や環境面の制約も大きい。

主要国の動向

米国

国家安全保障及び国内産業の保護・強化を第一優先としエネルギー分野は全方位的に研究開発を推進。気候変動対応は政策的には消極的だがアカデミア及び民間で気運を継続。

EU及び英仏独

気候変動対応でイニシアチブをとるが各国の進捗は必ずしも順調ではない状況。脱化石燃料化を狙う研究開発は活発に推進。循環型経済も主導。

中国

豊富な資金と人的資源を背景に全方位的に研究開発を推進。政策的な後押しで市場創出も急速に進む。

環境観測

[研究開発領域: 16, 18, 20]

観測技術・データ解析技術とともに研究開発が継続的に進展。IoT/AIの隆盛を受け環境ビッグデータの高活用度のための研究開発が活発化。

日本の現状 → 雨量観測の高精度化、中小河川の流量予測、全球レベルの水循環や気候変動適応策の研究等、水分野で高水準の研究開発が進行。海洋観測でも国際的に重要な貢献を果たす。課題は広域のデータ統合・解析や解析に基づく大規模実証研究等の不足。気候変動観測衛星の戦略立案も停滞気味。

気候変動適応

[研究開発領域: 17, 21, 26]

気候変動の影響評価のダウンスケーリングが建物レベルにまで進展 (例: ヒートアイランドとの一体評価)。極端現象への温暖化の寄与を明らかにする研究 (イベントアトリビュション) も活発化。

日本の現状 → 地球システムモデル (ESM) の開発とその成果の活用が政策的支援の下で異分野連携によって進みつつある。一方で社会・生態系の一体的評価や、そのガバナンスに関する研究では他国に比べ遅れている。

環境分析・汚染除去/浄化・リサイクル

[研究開発領域: 19, 22, 23, 24, 25]

海洋プラスチックごみ問題対応が世界的に活発化。ヒトや自然環境への影響の評価のニーズが高まる。代替材料開発の議論も再燃。

日本の現状 → 水処理や汚染物質の除去・浄化分野では個々に研究が進んでいる。水インフラの老朽化及び地方自治体の体力低下は社会的に深刻な問題。自動車排気後処理技術は世界トップ水準の研究が展開されている。

今後の展望・方向性

Zero Emission



Zゼロエミッション: GHG正味ゼロ排出

課題例: 回収CO₂を用いた合成炭化水素研究

Aアダプテーション: 気候変動影響への対応 (適応)

課題例: 異常気象への温暖化の影響解明、異常気象による災害への対応策

Cサーキュラー: 循環型社会形成

課題例: マイクロプラスチックの動態解明・リスク評価・社会的科学的/行動科学的の方策、水循環・水利用

Sスマート: デジタル化、データ活用

課題例: エネルギーネットワーク・需要科学、再生可能エネルギー最適制御、データ基盤構築

Sセーフティ: 自然災害や事故への備え

課題例: 地震、エネルギー安全保障、原子力発電と安全・安心

社会の要請・ビジョン

(1) 産業構造の変革

多様なニーズ・シーズの適切なマッチングを実現するビジネス基盤システムや、透明でオープンなサービスプラットフォームなどの実現。多くの産業の効率化・省エネルギー化。

(2) 社会システムの変革

最新の情報技術を使って、経済発展と社会問題解決を両立し、誰もが快適で活気に満ちた質の高い生活を送れるような社会を目指した、社会システムデザインの促進。

(3) 教育・研究の変革

多様性・個性に対応した質の高い教育・訓練の提供、センシング情報やエビデンスに基づく教育プログラムの構築。新しい方法や情報、データ共有など、ITは研究の基盤となる。

(4) 知の活用の変革

知識・情報・データベース化と統合的活用、それを実現する新たなプラットフォーム、そして実際の人間に影響が及ぼすCPSSなどにより、知の発見・伝播・蓄積が加速される。

技術のトレンド

(1) スマート化

コンピュータが小型軽量高性能になり、機器のスマート化とデータのデジタル化が進み、大量のデータの収集と解析が可能に。ビッグデータと機械学習を組み合わせたサービスやアプリケーションも普及。

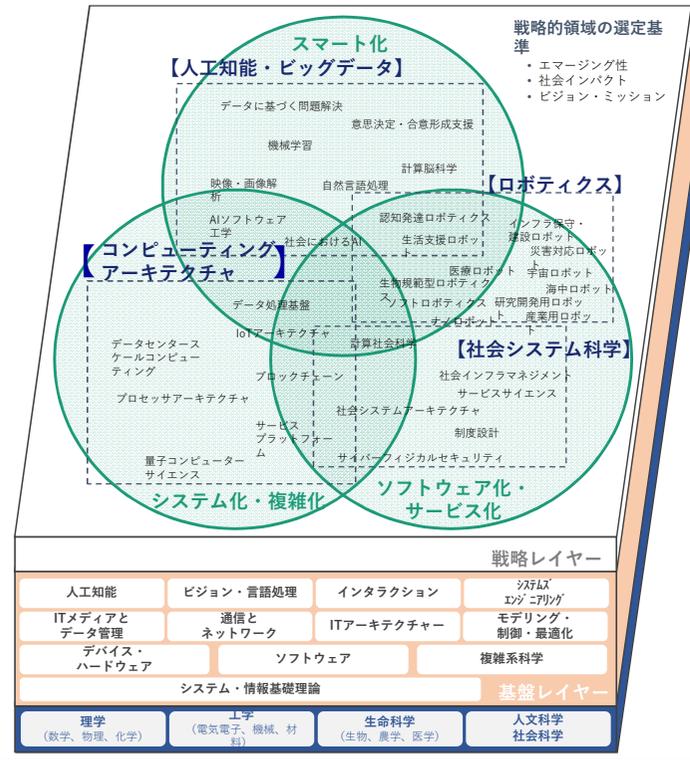
(2) システム化・複雑化

情報通信の無線化・大容量化・グローバル化は、機器や人をクラウドにリアルタイムにつなぐことを可能にした。世界中のあらゆる情報・制御システムは地球規模の複雑なシステムの一部となった。

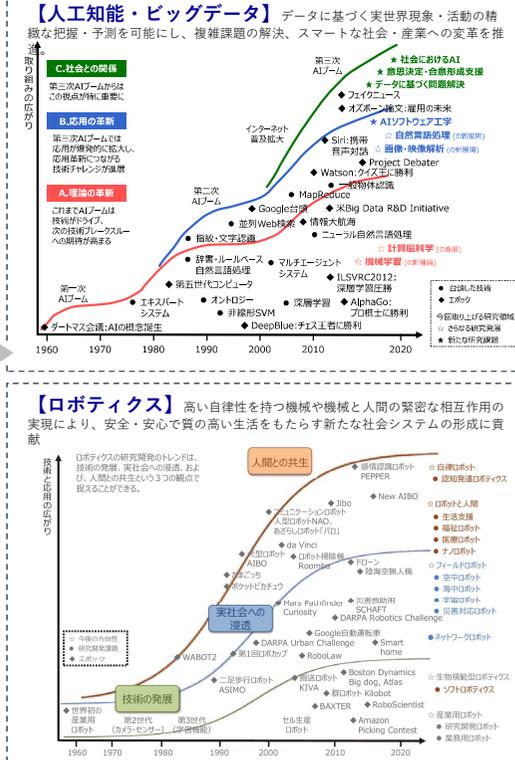
(3) ソフトウェア化・サービス化

従来型の考え方がハードウェアの隠蔽・共有からソフトウェアやサービスのコンポーネント化・再利用に広がり、新たなIT活用技術を実現。人や産産をサービスコンポーネントとして共有するサービス形態も出現。

分野の俯瞰と戦略的研究開発領域



俯瞰区分と研究開発領域



推進すべき重点テーマ

- 【人工知能・ビッグデータ】**
- 意思決定・合意形成支援** ④技術, ④基盤
多様な価値観が混在・対立し、フェイクニュースが社会問題化しつつある複雑社会において、個人・集団が主体性や納得感を持って意思決定できるよう、ITを活用したより良い仕組みの実現を目指す。(2.1.5)
- AIソフトウェア工学** ④技術, ④社会
データの例示によってシステムの動作を帰納的に定義するシステム開発の新パラダイム。安全性・信頼性を確保したAI応用システムの効率的な開発方法論・技術体系の確立と社会実装をねらう。(2.1.4)
- 計算脳科学** ④技術
脳を情報処理システムととらえた研究分野で、深層学習・強化学習をはじめAIの基本メカニズムとの関係が深まっている。Neuroscience-Inspired AI、計算機による全脳シミュレーション、社会脳科学等の進展からAI技術への示が見込まれる。(2.1.7)
- 統合AI** ④技術
第2次・3次AIブームの先はトップダウンとボトムアップの統合(機械学習+記号推論・帰納型+演繹型)へ向かう。自然言語処理分野で深層学習との統合が見られ、さらなる発展が見込まれる。(2.1.3)
- 【ロボティクス】**
- 自律・認知発達ロボティクス** ④社会
人間の学習のように認知機能を学習・創発する仕組みをロボットに与え、認知機能の研究とロボットへの応用をはかる。(2.2.1)
- 生物規範型ロボティクス** ④産業
物理制約による歩きの効率的学習など、様々な面で生物を規範とするロボティクス技術の開発。ソフトロボティクスも含む。(2.2.9)
- 人間・機械共生** ④技術, ④社会
レベルズ自動運転やARPAとAIの協調など、人間と機械の協働作業にかかわるシステム・情報科学技術。技術的側面だけでなく、PL法やソフトウェア品質標準など、法制度的な側面の課題も含まれる。(2.2.2)
- 【社会システム科学】**
- ビッグデータに基づく問題解決** ④社会
トリオンセンサー時代の計測によって作り出されるビッグデータを、社会経済システムおよび人間行動に活かすための研究開発。(2.3.1)
- Societyデジタルツイン** ④社会
実際の社会現象の情報をIoTなどから入力し、リアルタイムで情報を更新する「社会のシミュレーター」実現に必要な、数理モデリング、複雑系科学、シミュレーション・データ同化技術など。(2.3.1)
- 社会システムデザイン** ④基盤
強弱かつ柔軟かつ効率的な社会システム実現のための基礎技術の研究開発。継続性・可用性確保のための社会システムの構造設計。(2.3.4)
- RegTech** ④基盤
特許や法律などの文書を機械可読とし、テキストマイニングや機械学習の利用により、人間の作業を支援する技術の開発。(2.3.5)
- サイバーフィジカルセキュリティ** ④基盤
情報・システム・デバイスセキュリティにわたる、CPS全体の安全性の確保に必要な、技術・人材・法制度の研究開発。(2.3.3)
- 【コンピューティングアーキテクチャ】**
- サービスプラットフォーム** ④社会, ④基盤
Reality2.0実現基盤としてのプラットフォームの構築をめざす。エッジからクラウドに至るCPSSアーキテクチャの最適化を含む。(2.4.5)
- ブロックチェーン** ④産業, ④社会
ネットワーク上の複数のノード間で共有されつつ同期されることで同じ状態が保たれるデータの集合である分散管理台帳を実現する技術の基礎構築と応用開拓。(2.4.7)
- データセンタースケールコンピューティング** ④基盤
データセンター規模での計算機システムアーキテクチャの研究開発。(2.4.3)
- 非フォノイマンプロセッサアーキテクチャ** ④技術
ニューロモーフィック、量子計算、近似計算、アナログ計算などを含む新しいコンピューティングパラダイムの探求と実装実証。(2.4.1)
- 量子コンピュータサイエンス** ④産業, ④基盤
アルゴリズムの要求と現状のハードウェア性能の間のギャップを埋めるコンピュータ科学・工学の学際的な研究開発テーマ。(2.4.2)
- リアルタイムシステム** ④産業, ④基盤
ポスト5Gの高速・大容量・超低遅延通信をねらうICTシステムアーキテクチャの研究開発を行う。低遅延ネットワークの実現による感覚・体験を共有するサービスなど新産業の創出も見込まれる。(2.4.6)
- データ流通・共有基盤** ④基盤
政府や行政機関が持つビッグデータの流通・共有を円滑に行うためのデータベース基盤の構築、共通語彙、API標準、プライバシーや情報セキュリティなど法制度やガイドラインなどの課題解決。(2.4.4)
- 数学** ④技術
数学や数理論理学と情報科学の連携・融合による新しい理論・技術の構築を目指すテーマ。とくに、データ駆動型のアプローチである情報科学と数理モデル型アプローチの数理科学との連携を重視する。

社会・経済の動向

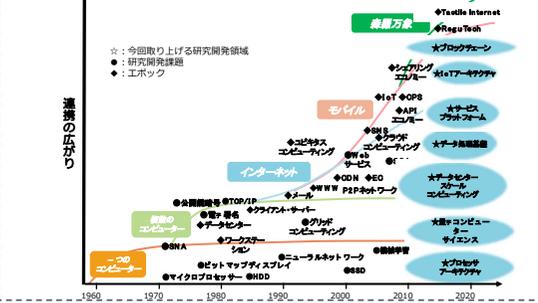
- | 世界 | 日本 |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 世界経済成長は年3-4%と低成長、需要拡大の勢弱 ・ 中国経済変動の影響大 ・ 民主主義の揺らぎ ・ 地球規模・一国内での格差問題の提起、SDGsニーズ市場化、貧困、食料偏在化 ・ 市場主義の揺らぎ、特に金融市場主義への反発 ・ 中国・ロシア・イスラム世界など地政学中国の急速な水産増産 ・ 温暖化・都市化、地球環境リスク、自然災害リスクの増加 ・ 産業・労働構造、人間行動、意志決定システムの変化 ・ 先進国、新興国の消費・サービス構造の変化 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 少子高齢化(役割担い手の減少) ・ 経済低成長と財政の行き詰まり ・ 社会インフラ老朽化 ・ 原発の位置づけとエネルギー問題 ・ 自然災害の脅威 ・ 地方創生への期待 ・ 社会保険費の増大、介護・教育・安全安心への期待 ・ 働き方の変革、一億総活躍 |

システム・情報科学技術との関連

- ・ ITが本来持つオープン性や公平性への挑戦
- ・ 格差・飢餓・貧困の低減への期待
- ・ 新たな市場原理の構築の期待
- ・ 危機回避、リスク対策への期待
- ・ 予防、予知、減災への期待高まる
- ・ IT利活用の推進によるIT投資拡大、依存度が高まる危機
- ・ サービス化がもたらぬ高度なITを要請
- ・ ロボットや知的処理などによる労働力の代替
- ・ IT・ロボット産業拡大、社会システム刷新への期待
- ・ インフラ再構築、コスト削減への期待
- ・ リスク検知・オペレーション最適化のためにIT活用
- ・ ITによる物理的制約の超越と地産産業興隆
- ・ 生涯健康管理システムの構築
- ・ ワークシェア、人間機械共存社会
- ・ 皆働ける社会の実現

【コンピューティングアーキテクチャ】

サイバー世界とフィジカル世界が高度に融合するSociety 5.0を実現するための情報通信・処理の基本的な機能、多様な応用を実現するためのプラットフォーム、それらを活用するためのサービス構築技術など。

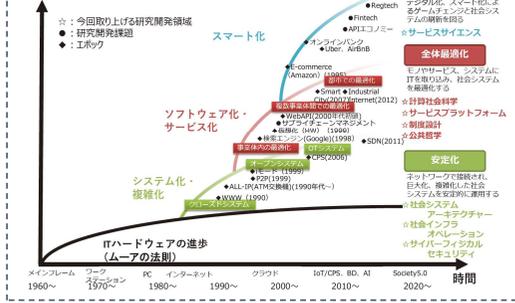


戦略の基本的な考え方

- ① 技術: 強い技術を核とした骨太化**
既に保有している、あるいは、育ちつつある強い技術を足掛かりとして、技術の国際競争力を骨太化する作戦・シナリオである。国の研究開発プロジェクトなどで生み出した中核技術に、周辺技術をかけあわせて、強みを出せる技術領域を拡大・強化するといった作戦、シナリオがその一例である。
- ② 産業: 強い産業の発展・革新の推進**
既に保有している、あるいは、育ちつつある強い産業を足掛かりとして、国際競争力のある技術群を育てる作戦・シナリオ。日本に強みのある産業において、現存する課題や将来直面する課題を見極め、それらを解決するための技術開発を推進し、その成果を産業に投入していくことで、その産業とそれを支える技術の競争力を育成・拡大する。
- ③ 社会: 社会課題の先行解決**
課題先進国として、先端技術の社会受容性で先行できることを活かして、国際競争力を構築する作戦・シナリオ。社会課題解決のための先端技術導入・環境変化に対する社会受容性の面で、他国に先行できるチャンスがあり、社会課題の先行解決ができれば、それを他国に事業展開していくことが狙える。
- ④ 基盤: 社会基盤を支える根幹技術確保**
社会基盤を支える根幹技術は、国として保有・強化しなくてはならないという考え。今日、あらゆる技術が自前開発でできることは不可能であり、オープンイノベーション、他国からの技術導入も組み合わせ、バランスよく技術開発・活用を進めることが必要となる。

【社会システム科学】

複雑化する社会システムの安定的な挙動のための設計、構成、監視、運用、制御、可視化、模擬および適切な制度設計の実現



社会の要請・ビジョン

IoT/AI時代のCPS (Society5.0) への期待

いよいよ全盛を迎えるIoT/AI時代においては、エッジクラウド、IoTセンサデバイス、自動運転、ロボット、ポスト5G/モバイル、診断・治療・計測デバイスなど、ハード側はナノテック・材料技術が競争を左右

複雑化、深刻化する環境・エネルギー問題と科学技術への期待

太陽光や太陽熱エネルギーの電力変換技術、風力発電技術、そして電力系統間での負荷変動を吸収する蓄電池技術や、EVに代表される輸送機器の蓄電池技術はいずれもナノテック・材料・デバイス技術が鍵を握る。あらゆる素材・デバイスの作成・使用過程において、資源制御への対応技術と省エネ技術は経済的にも環境的にも極めて重大な課題に
環境面では、大気や土壌汚染の改善・防止技術、海洋汚染(特にナノ粒子も含むマイクロプラスチック)がクローズアップ。サーキュラーエコノミーの観点から、物質・材料・デバイスを、原料段階から、製造・加工・使用・消費・廃棄、リサイクルの循環まで、いかに考慮して最適設計、最適製造を行うかが、長期的には最重要課題。水・大気浄化、温室効果ガス排出削減、転換、資源循環など、プロセス・エネルギーコストや環境影響まで含めた研究開発を行うことが重要

超高齢化社会・人口減少時代のヘルスケア・医療への期待

高齢人口の割合が増加するなか、健康寿命を延伸するためには「健康維持」「疾病治療」「身体機能の補修・代替・拡張」がより重要に
未病段階における超早期診断、健康状態把握に直結する生体情報モニター、簡便な在宅医療システム、難治疾患・がん・脳疾患などの根本的治療、機能を失った臓器を代替・修復する技術など、ナノテクノロジー・材料の貢献が期待される多数の医療・健康ニーズが存在

社会・経済の動向

SDGs (持続可能な開発目標) 達成、Society5.0実現を見据えた研究開発が主流になり、価値形態が変化(所有からシェアへ、大量生産から個別生産/カスタマイズへ)
デジタルトランスフォーメーションを牽引するGIGAなどの巨大IT企業が、自動運転、ロボット、ドローン、スマートホーム、AR/VRなど、CPSを実現するハードウェア技術へも参入。
簡単なアセンブリによる大量生産の製造が先進国からより多様な国・地域へ。半導体回路のように最先端の高度な加工技術に巨額の設備投資が必要な製品は限られた企業に集約。中国やインドが台頭
日本は、高度なすり合わせを伴うシステム化技術が必要とする産業、高精度技術を要する製造装置産業、高性能・高信頼性を実現している部品や素材(部素材)産業に存在感

科学技術の潮流・変遷

冷戦構造終結 IT革命 NNIイノベーション アナログからデジタルへの変遷 リモートワークの普及 震災、原発事故 米中競争

1990 2000 2010 2020

量子力学@1930 CNT発見@1991 DNA構造解明@1953 高輝度青色LED@1993 IT革命 デジタル・NW化 R&D/AI@1980 再生可能エネルギー Industry 4.0 SDGs

Progress Nano Fusion Nano Systems Nano

先鋭化・極限追求 超微細計測(電顕、SPM)、超微細加工(リングラザ、薄膜)

融合化による新機能・複合材料、デバイス マイクロナノ、DDS、カーボンナノチューブ強化樹脂

ナノテクノロジーをベースに他技術領域との融合を通じた複雑なシステム機能発現 3D積層デバイス、IoTセンサ、AIチップ

人類社会・地球の持続性が「ロス・アップ」(温暖化、資源・人材枯渇、水、食糧)

画像: Wikipedia, JST

6つの社会ニーズと10のグランドチャレンジ

快適・安全・安心な社会

安全・低環境負荷の交通・輸送

トランススケール力学制御

センサフュージョン

最適な医療・ヘルスケア

ウェアラブル健康・医療モニタリング

バイオアダプティブ材料設計

持続可能な社会

水・大気・鉱物資源の循環を可能にするスマート材料

分離技術

多機能・複雑系の材料設計

IoTデバイス集積

省/創/蓄エネルギーのための先端材料・デバイス

オランダ計測・プロセス統合もつくり

ナノテクノロジー・材料分野 研究開発俯瞰図2019

Society5.0, 持続可能な社会の実現 (SDGs)

低環境負荷 安全性 信頼性 省エネ・省資源プロセス リサイクル 資源保全 低コスト

安全・低環境負荷の交通・輸送 人と共生するサービスロボット 水・大気・鉱物資源の循環を可能にするスマート材料 ウェアラブル健康・医療モニタリング

環境・エネルギー ライフ・ヘルスケア IoT・エレクトロニクス

電池材料 複合材料 ナノDDS バイオ材料 人工臓器 超低消費電力 太陽電池 複合材料 燃料電池 再生医療材料 分子認識材料 量子ドット

物質と機能の設計・制御 元素戦略・稀少元素代替技術 空間・空間設計技術 分子認識 材料・プロセス

共通基礎科学技術 加工・プロセス: ナノリソグラフィ、110Åリソリ、積層造形、レーザー加工、接着技術、接合技術、インクジェット、自己組織化

計測・分析: 電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡、X線・放射光計測、中性子計測 理論・計算: 第一原理計測、分子動力学、分子軌道法、モルフォロジーシミュレーション

ナノバイオ: 物理科学、量子科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学

推進支援策 ELSI/EHS/IRI 国際標準化・規格戦略 知的財産の蓄積・活用策 先端研究プラットフォーム 産学連携・オープンイノベーション 国際連携・グローバル戦略 府省連携 異分野融合の促進策

主要国におけるナノテック・材料科学技術の基本政策・国家戦略動向

米国では国家ナノテクイニシアティブを4代の政権に渡って継続。AI/IT/IT/量子の新たなイニシアティブと接続
欧州Horizon2020は、ナノテック・先端材料をKETs(ke y enabling technologies)として位置づけ。Graphen Flagship, Human Brain Projectに続きQuantum Flagshipを開始。Key Horizon Europeの準備が加速。Nan I/ELSI/EHSで世界のリーダーに
アジアでは中国の台頭が目立ち、中国製造2025など製造技術・材料デバイス技術の覇権獲得に向けた国家的取組が活発化
台湾・韓国・シンガポールなどもナノテックの先端研究開発拠点を築き、世界のR&Dを吸引
異分野融合の象徴としてのナノテックは、方向性が各国で多様化するなか、素材・デバイス技術の競争力のエンジンに

日本の位置づけ

元素戦略、分子技術、蓄電池部材、電子材料、パワー半導体、複合材料などの物質創製・材料設計技術に長年の技術蓄積にもとづく強み
そこで行われる計測評価・分析・品質管理にも強み。これらが活かせるかたで省エネ・低環境負荷技術に優位性
一方、データ科学、標準化・規制戦略、医工連携、産学連携に課題がある。これらが研究開発の枠組みを構築して実行するまでの問題の共有や意志決定スピードに課題。また、ナノテックのELSI・EHSは制度化が進む世界の流れから遅れ

快適・安全・安心な社会

- 社会ニーズ
- ① 安全・低環境負荷の交通・輸送
事故や渋滞を激減し、安全で快適な移動空間としての自動車や、燃料効率が高くCO₂排出量が抑制された航空機などの交通、輸送機器の実現
 - ② 安全・快適社会実現へ向けたIoT/AIチップ・量子デバイス
ビッグデータを高速かつ低消費電力で処理した結果生まれる新たな情報をベースに人間が安全・快適に暮らす豊かな社会を実現するための新たな材料・デバイス
- グランドチャレンジ
- i 量子状態の高度制御
電子、光子、スピン、フォノンなどの個々の量子状態およびそれらの相互作用がもたらす物理現象を理解し、さらにトポロジといった新しい概念を導入することによる新しい量子状態の実現と、これら的高度制御
 - ii トランススケール力学制御
航空機、自動車におけるCO₂排出量の大幅削減、摩擦などによるエネルギー損失を大幅低減した機械機器、社会インフラ材料の超長寿命化や修復など、持続可能な社会実現に貢献する材料・デバイスの創製
 - iii センサフュージョン
物理センサおよび化学センサを統合的に用い、老朽化や災害時における橋梁やトンネルなどの社会インフラの異常検知、日常生活における病気やけがにつながる異常兆候の検出
- 最適な医療・ヘルスケア

社会ニーズ

- ③ ウェアラブル健康・医療モニタリング
疾患の早期診断や健康状態・生体情報のモニタリングを実現するウェアラブル(もしくはインプラント)な健康・医療モニタリング技術の構築
 - ④ 人と共生するサービスロボット
負担の少ない高齢者介護、持続可能な社会インフラ保守管理、災害やテロに対するセキュリティ強化などの課題の解決のため、人間が苦手な作業の代行や人間の作業能力を補強・拡張するなど、人と共生するサービスロボットの活用
- グランドチャレンジ
- iv ナノ・メカ・IT・バイオ統合マニュファクチャリング
生物が実現する巧妙な構造や機能、低エネルギーで実現する動作や物質生産に学び、工的な材料・デバイスの生産システムとして再構築
 - v バイオアダプティブ材料
生体環境に適合した材料の探索という従来の概念から脱却し、生体との相互作用を積極的に活用して動的に制御する機能をもつ材料の設計・創製
 - vi IoTデバイス集積
IoT/AI時代に求められるセンシング、エッジ・コンピューティング、ネットワーク等の多機能なヘテロ集積モジュール化した安価な電子システム、新アーキテクチャ(ニューロ、量子)による高性能コンピューティングの開発
- 持続可能な社会

社会ニーズ

- ⑤ 水・大気・鉱物資源の循環を可能にするスマート材料
世界の人口増による著しい水不足や海洋汚染、CO₂・大気汚染問題、および世界のハイテク産業を支える希少元素をはじめとする鉱物資源枯渇の危機や偏在性から生ずる価格高騰のリスクを解決するために必要な材料・デバイス
- ⑥ 省/創/蓄エネルギーのための先端材料・デバイス
再生可能エネルギーを持続かつ効率的に導入するために必要な省/創/蓄エネルギー用材料・デバイス

グランドチャレンジ

- vii サステイナブル元素戦略
グローバルな課題解決に資する魅力的な機能を持った材料・デバイスの継続的創出のため、新機能の追求と元素・物質価値に代表されるサステイナビリティを重視した材料創製を可能にする強固な材料開発基盤の構築
- viii 分離技術
化学プロセス分離工程の省エネ化、環境汚染物質除去、来たる水素社会に向けたガス分離・吸蔵、鉱物資源分離、医療など広範な分野において分離・吸着機能材料・システムの研究開発
- ix 多機能・複雑系の材料設計
様々な機能材料のさらなる高性能化には結晶構造の多元素化や複合化が避けられず多様な結晶構造が可能になるなか、後継爆撃的な材料設計から脱却し、進展が著しいシミュレーションやデータ科学、さらにはオランダ計測を駆使した精緻な材料設計、プロセス設計手法の確立

上記すべての基盤となる技術

- x オランダ計測・プロセス統合もつくり
反応プロセス中の物質・材料もしくは実動作下の材料・デバイスを対象にオランダ計測を実行し、得られた計測結果に対してデータ科学的な手法を駆使して高速・高効率なデータ解析を実現