

.AT A TCTATAAGA CTCTAACT

# 第31回総合政策特別委員会

資料 1-1  
科学技術・学術審議会  
総合政策特別委員会  
(第31回)R元.11.7

# 国内外の科学技術動向 ～研究開発の俯瞰から見てきたこと～

2019年11月7日

JST研究開発戦略センター(CRDS)



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  
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

## 研究開発の潮流

- 情報技術の進展によって**研究開発そのものが大きく変貌**。また、**研究開発の発想の拡大や分野を超えた動きなども質的に変革**。
- 科学技術と社会の関係(AIや生命技術等)が深化。**ELSI/RRI**が重要に。
- **社会課題の解決や出口重視の取組と、基礎的な研究の両輪重視**の流れ。
- **科学技術の成果を社会的価値に転換**させる動き。新興技術への戦略的投資、STI for SDGsへの期待、ESG投資への関心の高まりにも注目。
- **安全保障や技術覇権**に関わる分野では、各国が国家戦略として科学技術を強力に推進する傾向。
- 一個人、一機関、一ヶ国単体を超越したイノベーション創出にむけて**分野横断・融合、産学官・国際連携**が鍵。

## 日本の位置づけ・課題

- 科学技術における**国際的な地位の向上**にむけた対策が急務。
- 個別領域では、世界をリードする研究・技術開発が存在。
- **今後の研究開発人材の確保**に懸念。特に計算・データ科学系研究者の不足が課題であるが、同時に基幹産業・基幹技術を支える人材も枯渇。
- 技術革新の急速な進展や社会ニーズの予測・対応、基礎科学の維持・発展の両面を見すえた**研究開発基盤の整備**が急務。
- Society 5.0, STI for SDGsの実現、ミッション指向型研究開発等への投資バランスや推進方策の最適化が必要。
- 研究成果を社会・経済的価値に早期に転換するための**エコシステムの形成**、ELSI/RRIなど科学と社会の関係深化に取組むことが必要。
- 標準化・規制戦略など国際的枠組み立案について主要国に比較して遅れ。

## 注目動向、我が国が重視すべき方向性

### ■ ライフサイエンス・臨床医学関連

- データ駆動型研究による生命現象の予測とそれに基づく理解が各段に進展。シーケンサー、質量分析、イメージング、バイオエンジニアリング、データ解析の技術領域統合への期待。一方で技術革新により、ハイスループット化、高コスト化が顕著
- 「個別化・層別化医療」「バイオエコノミー、スマート農業」「生命の時空間階層ブリッジング」に注目
- **今後は、アカデミック研究体制の拠点化とそのネットワーク化による研究プラットフォームの構築、および当該アカデミックエクセレンスを核としたイノベーション・エコシステムの構築が必要**。

### ■ 環境・エネルギー関連

- SDGsやパリ協定等を通じた地球規模の各種問題への取組みは喫緊の課題。国や地域社会の基盤や産業と深く関わるため、課題解決に資する技術・システムの優位性を巡る競争が国や企業間で盛ん
- 「化学エネルギーの活用強化」、「気候変動影響への対応（適応）」、「循環型社会形成」、「デジタル化、データ活用」、「自然災害や事故への備え」に注目
- **今後は、脱炭素化に貢献するエネルギー関連機器等の高度化に資する方策や、データ駆動型研究を推進する研究開発エコシステムの再構築が急務**。

### ■ システム・情報科学技術関連

- 技術トレンドは「機器のスマート化・データのデジタル化」「様々な仕組みのシステム化・複雑化」「仮想化の拡大によるソフトウェア化・シェアリングエコノミー等に代表されるサービス化」
- 特にAIや量子技術では、米中を中心とした技術覇権の動き
- 「安心・高信頼なAI」「人間と機械の共生」「情報×人社」「新コンピューティングアーキテクチャー」に注目
- **今後は、情報技術と広範な研究・技術や社会との融合・横断領域の推進による新価値創出が急務**。

### ■ ナノテクノロジー・材料関連

- 素材・デバイス・製造技術の国際競争優位性確保が最優先。先鋭化・融合化された技術を含むシステムが差別化要因に。マテリアルズ・インフォマティクスは必須の流れ
- 「量子技術のデバイス化」「多機能・低消費電力IoT」「オペランド計測」「生体調和材料」に注目
- **今後は、研究開発から価値創出までのエコシステムの構築が必要**。ラボ改革、医工/産学連携、標準化/規制戦略、ELSI/RRI、先端研究インフラ・プラットフォームへの対応が急務。

## 分野横断的に抽出した研究開発基盤、推進方策の課題

- **研究開発人材**の育成（特に AI、データ・情報、工学 等）
- 研究開発に関わる**高度専門人材**の確保とキャリア形成（技術専門職、産学連携人材）
- 新興技術における**ELSI/RRIの早期検討**（特にAI、ゲノム、ロボティクス 等）
- **STI for SDGs**への対応強化（ESG、官民投資、ミッション指向型研究 等）
- **ラボ改革・研究スタイルの変革**（実験自動化、データ蓄積・処理、高度機器インフラ 等）
- **データ取扱の最適化**（データ共有、データ作成者／保有者と社会の関係、規制 等）
- **新興技術の創出や融合・横断領域**の促進（プログラム、評価・インセンティブ、越境型組織・人材 等）

### （参考）研究プラットフォーム化の動き

- 欧米では**研究インフラ・リソース等が共有化・共通化された研究ハブ**の整備が進み、産学官連携や融合領域研究の拠点（プラットフォーム）となっている。
- 米ブロード研や英フランス・クリック研、ベルギーIMEC、仏MINATEC等、個別ラボと技術コアによる協働を前提とした**アンダーワンルーフ型研究所**が注目。
- 我が国では「ナノテックプラットフォーム」等、研究インフラ・リソース共有化やネットワーク化の好例があるが、担う人材と技術・機器更新などの**持続成長が課題**。

# 主要国の科学技術イノベーション動向

## 米国

### 「未来の産業」における優位性の確保

#### ・ハイテク・新興分野の国家戦略策定動向（4つの未来産業）

- AI** : 「国家AI戦略計画」の見直し、「米国AI イニシアチブ」大統領令
- 量子** : 「量子情報科学国家戦略」発表、「国家量子イニシアチブ」法成立
- 5G** : 「ホワイトハウス5Gサミット」、「無線通信の研究開発優先事項」
- 先進製造** : 「先進製造国家戦略」

#### ・2021年度「研究開発予算優先事項（予算教書に向けた各省への指示）」

- 優先研究開発領域 : 「安全保障」「未来の産業」「エネルギーと環境」「保健とバイオエコノミー」「宇宙探査・商業化」
- 横断的な優先事項 : 「研究環境創出・支援」「多様・高度な人材育成」「ハイリスク・ハイリワードな変革的研究」「データ活用」「多セクター連携」

#### ・NSFは「コンバージェンス研究」で融合領域研究を推進（2016年～）

#### ・DODでのデュアルユース研究の重視

DARPAを中心に半導体デバイスや部材、AI、量子科学へ巨額投資（AI-NEXTキャンペーン、エレクトロニクス再興イニシアチブ）

## 中国

### 2050年までに世界一のイノベーション強国を目指す

#### イノベーションシステムの構築

- ・基礎からイノベーションまでの連続支援、拠点形成、人材育成など網羅する「**国家イノベーション駆動発展戦略綱要**」(2016-2030)を開始
- ・外国籍を含む優秀な海外人材の呼び込み奨励策「千人計画」(2008～)
- ・**競争的研究資金制度の大改革**(2015-2017)で効率的な支援を図る
- 戦略的領域に集中した大規模投資**
- ・「**中国製造2025**」(2015) : 産業力強化によって半導体や部材の自給7割を2025年までに = 欧米の警戒感が高まる
- ・「**AI2030**」(2017) : 国家次世代AIプラットフォームに5つの企業を認定、官民共同研究体制の構築を促進
- ・「**量子情報科学国家実験室**」 : 世界を先導すべく、各種の巨額投資

## 欧州

### 「Horizon Europe」(2021-2027) 策定に向けた動きが本格化

	Horizon2020	Horizon Europe (予算・名称は現在交渉中のもの)
第一の柱	卓越した科学 242億€	卓越した科学 (最先端研究の支援) 258億€
第二の柱	産業技術リーダーシップ 165億€	地球規模課題と欧州の産業競争力 (社会的課題の解決) 527億€
第三の柱	社会的課題への取組 286億€	イノベティブ・ヨーロッパ (市場創出の支援) 135億€

- ・ Horizon2020で高評価の欧州研究会議 (ERC)を中心に**最先端研究支援は継続・拡充**
- ・ 第二の柱で特定の課題解決に焦点を絞った分野横断的な**ミッションを複数設定**
- ・ 第三の柱で「欧州イノベーション会議 (EIC)」を新設し、中小企業やスタートアップへの助成・投資によって、市場創出につながる**漸進的・急進的・破壊的イノベーション創出**をめざす
- ・ 大規模研究拠点支援プログラム「**FETフラグシップ**」(2013～) も継続・拡充予定  
既存プロジェクト : 「ヒューマンブレイン」、「グラフェン」、「量子技術」  
新規候補 : HumanE AI, RESTORE, LifeTime, Sunrise, ENERGY-X, Time Machine

### 「産業戦略」で英国を世界最大のイノベーション国家に

- ・「**グランド・チャレンジ (AI・データ、高齢化社会、クリーン成長、将来のモビリティ)**」特定
- ・ UKRIを創設、ファンディングを効率化・最適化しイノベーション創出を図る (2018)
- ・ 量子分野は「**国家量子技術プログラム**」(2014年～) で重点支援
- ・ EU離脱後もHorizon Europeに準加盟国として参加したい意向

### 「ハイテク戦略2025」で知を産業につなげる

- ・ よりインパクトの高いイノベーション創出を支援する「**飛躍的イノベーション庁**」と安全保障分野のイノベーションを目指す「**サイバーセキュリティ庁**」を新設
- ・ **AI、量子、蓄電池**といった将来産業の核となる技術分野に集中投資、人材育成する

### 大統領が牽引するイノベーション政策

- ・ 「**イノベーションと産業のための基金**」や「**国防イノベーション庁**」の設置で民間の技術力を活用しイノベーション創出に向けたシームレスな支援体制を整備
- ・ 大学再編/大規模化により地域ごとの研究機関の連携ならびに研究力を強化

# 注目動向：「ライフサイエンス・臨床医学」

## （世界の潮流）

- ICT 技術の進展等によって、**社会に存在する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になり、**社会・国民を巻き込んだ研究開発**が大きな潮流になりつつある。
- 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。
- **健康・医療分野、食料・農業分野、物質生産分野** が政策主導で重点領域に。

### 健康・医療分野：

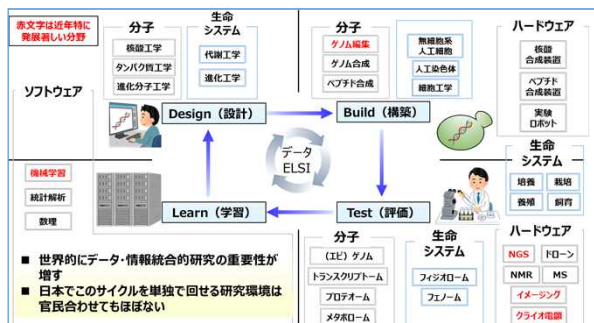
- ゲノム医療（がんを中心に）
- ヘルス・メディカルインフォマティクス、AI医療・創薬
- 創薬：がん免疫、中枢神経系、感染症
- 大規模な官民パートナーシップによる産学協働型研究
- 細胞治療・遺伝子治療
- 脳神経研究（長期的研究）

### 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）

## （近年の技術革新）

- 第三・四世代DNAシーケンサ
- 一細胞オミクス技術
- クライオ電子顕微鏡（単粒子解析技術）
- 超解像顕微鏡
- 人工知能・機械学習技術
- ゲノム編集技術
- 光免疫技術、光遺伝学
- オルガノイド／Body on a Chip技術
- 遺伝子改変免疫細胞治療技術



- **ライフ・バイオは一細胞オミクス（シーケンサー）、質量分析、イメージング、バイオエンジニアリング、データ解析の5つの技術領域の総合への期待が大（図）。**
- 世界の潮流は、これら複数技術の統合による生命の理解や疾患の理解、創薬研究など。今後イメージング技術の更なる活用に期待。

## （ライフサイエンスの研究スタイルの変化）

- 研究者あるいは研究コミュニティが、**生命の時空間階層や基礎から応用までを広く見ることができるようになった**（見ていかなければならなくなった）
- 「**データ駆動型**」の新しいアプローチによる**生命現象の理解が進展**し、今後「精緻な理解」と「予測」が大きな方向性となる
- 技術進展サイクルの短縮化の結果、**研究単位当たりのハイスループット化、高コスト化、つまり「ビッグサイエンス化」が急速に進展**
- 今後ますます**実験デザイン（データの取り方と解析）が重要**に（上図）
- 従来の個別ラボで研究を進めるスタイルは新しい生物医学分野の課題に対する**研究にそぐわない**
- **ブロード研究所（米国）、フランシスクリック研究所（英国）**など各ラボと技術コアによる協働を前提とした**オープンなアンダーワンルーフ型の大規模研究所が誕生**

## （我が国の強み/弱み）

免疫科学、植物科学、イメージング等の基礎研究に**強み**。今後主流になっていくであろうデータ駆動型のビッグサイエンス化が進む分野は**弱い**。

- 日本が**強み**を有する基礎研究領域：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、免疫科学、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**を有する応用研究領域：細胞外微粒子、水産、機能的食品、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**領域：遺伝子・細胞治療、がんゲノム医療

日本は、金、人、技術・機器等の資源が過度に分散・たこつぽ化。米国ボストンやオランダフールバレーのようなアカデミックエクセレンスを中心としたイノベーション・エコシステムが不在。

## （注力すべき課題）

健康・医療、食料・農業・生物生産、先端基礎研究、共通基盤の4つに分けて記載。

### ①世界的なトレンドになっている**個別化・層別化医療に向けた研究の強化**

- ・ “ヒト研究”および“データ研究”を戦略的に統合した研究の加速（次世代医療）
- ・ 治療用デザイン細胞（微生物）創出に向けた基盤技術と医療応用（次世代創薬）

### ②**バイオエコノミー、スマート・持続可能農業に関する次世代研究を推進**

- ・ 農業や水畜産物の研究開発を強化し、**基礎と応用の橋渡し体制の整備が必要**。
- ・ 医薬・化成品等有用物質の持続可能な生産（核酸・タンパク質・細胞をつなぐ）や植物による高付加価値物質生産（植物分子工場）
- ・ 機能的農産物の生産（ゲノム編集と代謝）や微生物・作物・環境をつなぐ環境負荷が少ない農業

### ③**生命の時空間階層（ゲノム－タンパク質－細胞－組織）のブリッジング**

- ・ シーケンサー、質量分析、イメージング、バイオエンジニアリング、データ解析を駆使
- ・ 「ライフ・セル・アトラス」や「アトミック・セル・ダイナミクス」の推進

### ④**研究開発推進の環境・土壌の変革、イノベーション・エコシステムの構築**

- ・ アカデミックエクセレンスを核とした**イノベーション・エコシステムの構築**：大学発ベンチャー創出や大学、国研の機能分担、組織単位での産業界との協働
- ・ わが国独自の**研究プラットフォーム（拠点化とネットワーク化）の構築**を推進することが急務
- ・ 研究者のマインド、**科学研究文化の変革**が必要

- 研究者が研究に専念できる環境構築
- 異分野融合（生物・化学・物理・工学・情報学・医学の統合）による新しいサイエンスの創出や産学連携による基礎研究からイノベーションまでのコスト・時間短縮
- Wet/Dry統合と人材育成
- データマネジメントと計測技術等の標準化
- 機器共用による全体コスト効率化
- マウスからヒトへ、ラボからフィールドへ
- イノベーションのCo-driverという認識の下、ELSI/RRIの推進
- 若手研究人材の研究スタートアップ環境整備

## （国際社会の動向）

- 気候変動をはじめ**地球の持続可能性に関する懸念**のこれまで以上の高まり。
- **エネルギー需給の最適化、SDGs、気候変動対応（パリ協定）、循環型社会形成（海洋プラスチックごみ問題 対応）**への取組みとの連動に焦点。規制・制度、金融（ESG投資）、科学技術など**総動員で取り組む必要性を認識**。
- **課題解決に資する技術・システム**に優位性を持つ者が世界潮流を左右する時代へ。

## （エネルギー分野の研究開発）

- **温室効果ガス（GHG）の正味ゼロ排出への移行**に向けた技術・システム。
- 再生可能エネルギー（主に太陽光・風力）由来電力の**導入拡大に伴う課題への対応**。
- **デジタル化の推進**によるバリューチェーン全体の効率化・高度化。

## （環境分野の研究開発）

- **社会的要請への応答**（気候変動、海洋プラスチックごみ問題、生物多様性への対応等）。
- **ビッグデータ化・ビッグサイエンス化とデータの高度利活用の更なる進展**。
- 政策立案や実課題への取組みを支援する**科学的知見の体系化、ツール開発**（リスク評価ツール、社会－生態系評価ツール等）。

## （主要国の政策動向）

日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー自給率は先進国の中でも極めて低い8.3%（2016年度）。</li> <li>・「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が2019年6月に閣議決定され、その下で「革新的環境イノベーション戦略」の策定に向けた検討が進行中。<b>GHGの削減と削減コストの大幅改善</b>を目指し、<b>重点化する技術の特定</b>や、<b>社会実装に向けた技術開発の検討</b>を行う等、<b>実現に向けた政策の在り方提示</b>が主な焦点。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>国家安全保障及び国内産業の保護・強化が第一優先</b>。現基本方針の「米国第一エネルギー計画」ではシェールオイル/ガス等を含む国内資源の活用最大化等を掲げる。</li> <li>・<b>予算審議は大統領と議会の間で大きなギャップ</b>。現政権から廃止方針を毎年示されるARPA-E（エネルギー高等研究計画）も結果的に例年規模の予算を継続。</li> <li>・<b>エネルギー分野の研究開発は再生可能エネルギー含めて全方位的</b>。エネルギー省を中心に大学や国研における基礎・応用フェーズの研究も着実に推進。AIなどデータ駆動型科学も積極的。<b>環境分野は消極的</b>だが気候変動対応は自治体や民間、アカデミアレベルで気運を継続。</li> </ul>
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「すべての欧州市民にクリーンエネルギーを」パッケージで2030年削減目標、「2050長期戦略」で2050年削減目標（80%以上削減）。他方、<b>再生可能エネルギー導入拡大</b>による需給バランス不安定化とロシア天然ガス依存の懸念から<b>エネルギー安全保障</b>にも注力</li> <li>・海洋プラスチックごみ問題には「<b>循環型経済</b>」の推進としてSDGsとも関連づけ積極的。</li> <li>・独や英はEU政策と並行して自国のエネルギー関連産業の強化も視野に入れて研究推進。</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>環境と経済の両立を重視</b>し環境保全を推進。太陽光・風力を中心に再生可能エネルギー導入はEUに匹敵。新エネルギー自動車の導入も積極推進。</li> <li>・豊富な資金と人的資源を背景に<b>研究開発は全方位的</b>に推進。</li> </ul>

## （我が国の強み/弱み）

- エネルギー分野での**強み**：化学エネルギーの利用（蓄電、蓄熱、CCU等のエネ変換）、火力や原子力、熱利用、燃焼やトライボロジー等の基礎工学分野。
- 環境分野での**強み**：海洋観測、気候変動予測、水循環、除去・浄化（特に自動車排気後処理技術）。
- 両分野での**弱み**：全体システムの構想・構築、研究開発向けソフトウェア・データベース・シミュレーション技術、データ統合・大規模実証研究等。

## （注力すべき課題）

### ①化学エネルギーの活用強化

- ・天然資源代替、ESG投資やGHG排出削減の観点から、再生可能エネルギー由来電力を利用して、特に**二酸化炭素を有用な物質に変換する技術**（「Power to X」、CCU）の実現が望まれている。欧州の集中投資により産業競争性を失うリスクがあり、対応が急務。
- ・再エネ導入拡大下での電力システム安定化は、自国のエネルギー安全保障ならびに産業競争力の観点から技術開発の競争が激化。**蓄エネルギー技術が一層重要**に。我が国の研究開発の主体は自動車用（リチウムイオン電池、全固体電池）蓄電だが、あらゆる時間スケール・容量スケールを想定した研究開発の推進が必要。

### ②気候変動適応への対応

- ・異常気象の頻発化などが引き起こす**災害リスク**に関して、環境観測（例：海洋）や気候変動予測を活かした取組が求められる。特に、市民生活や産業への影響予測や対応方策の検討が必須。

### ③サーキュラーエコノミーへの移行対応

- ・我が国は、物質・資源循環、除去・浄化技術に優位性があり、「海洋プラスチックごみ問題」「安全な水の利用」などの**社会的要請への対応**が期待されている。
- ・希少資源の代替や循環利用、および都市鉱山への対応が急務。
- ・**産業界へのインストールにおいては、安全性研究の一体的推進が重要**。

### ④研究開発エコシステムの再構築

- ・観測・計測、理論構築、モデル化、シミュレーション等の技術を高度に活用するデータ駆動型研究の戦略的推進による研究開発エコシステムの再構築が急務。
- ・日本ならびに世界の脱炭素化や環境保全の推進に貢献するため、日本が世界的に強みを持つ分野である**エネルギー機器、輸送機器、化学装置等の更なる高度化に資する工学基盤を抜本強化する方策が必要**。そのための科学が必要。
- ・具体的には、計測データの共有化とプラットフォーム構築、工学基盤科学（“エンジニアリングサイエンス”）に基づく知識基盤構築と人材育成等、根本的な強化方策の検討が必要。

## （世界の潮流）

- 情報技術の進展によって多分野において、研究開発そのものが大きく変貌。
- 技術トレンドは「スマート化」「システム化・複雑化」「ソフトウェア化・サービス化」
  - ・ **スマート化**: 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。機械学習と組み合わせたサービスやアプリケーションも普及。
  - ・ **システム化・複雑化**: 情報通信の無線化・大容量化が進み、システムが巨大化・複雑化システムの一部に。
  - ・ **ソフトウェア化・サービス化**: 仮想化の拡大により、新たなIT活用技術が実現。人や資産をサービスコンポーネントとして共有するシェアリングエコノミー等の出現。

## （主要国の政策動向）

- 日本** 基礎研究を含む大型研究開発プロジェクトを推進。「Society 5.0」、「AI戦略」、「量子戦略」、「PRISM/SIP」、「AIPネットワーク」、ポスト「京」等
- 米国** 情報科学技術の基礎研究と人材育成に継続的に投資。ホワイトハウス5Gサミット、「米国AIイニシアティブ」、「国家量子イニシアティブ」、NSTC先進製造国家戦略、DARPAでAI、電子技術のプロジェクト推進
- 欧州** アカデミア研究の強みやEUの巨大市場を産業競争力に。AI、量子等に重点投資  
Horizon 2020からHorizon Europeへ、GDPR\*で域内データ取り扱い重視  
\*General Data Protection Regulation、一般データ保護規則
- 中国** 製造業の高度化とICTの重視へ。「中国製造2025」、「AI2030」

## （我が国の強み/弱み）

- これまでユーザであった、自動車産業、素材産業、サービス産業などが、製品・サービスを進化させるために、システム・情報科学技術の研究開発、ビジネス化に取り組んでいる。
- 産業用ロボット、FAシステム、スーパーコンピュータ、生体認証などの個別技術に**強み**。
  - AIやIoTに関しては**一部に強み**があるも、産業として国際的競争力を有するには至らず。
  - 新たなビジネスモデルの構築や新産業創出に**弱み**。情報通信も**後塵を拝する**領域。

## （注力すべき課題）

技術トレンドや社会インパクト等を基準に、課題を研究開発領域毎に区分し、視点を付与。  
※視点：「**技術**」を核とした骨太化」「強い**産業**」推進」「**社会**」課題解決」「社会**基盤**」確保」

### 【ビッグデータ・AI関連】

- ① **AIシステムの安全性・信頼性を確保する技術体系の確立** **技術** **社会**
  - ・ 機械学習を利用したシステムの安全性・信頼性の技術体系（「AIソフトウェア工学」）を確立。
- ② **ITを活用した意思決定・合意形成を支援する仕組みの確立** **技術** **基盤**
  - ・ 多様な価値観が混在する複雑社会において意思決定や合意形成を支援するツールの開発。
- ③ **信頼できる高品質なAIへの挑戦** **技術**
  - ・ 「教師なしでも学習できる」と「説明可能」が次世代のAI技術として期待。

### 【ロボティクス関連】

- ④ **人間と機械の共生** **技術** **社会**
  - ・ 人間と機械の協力作業に関するシステム・技術の開発並びに法制度的課題への取組。

### 【コンピューティングアーキテクチャ関連】

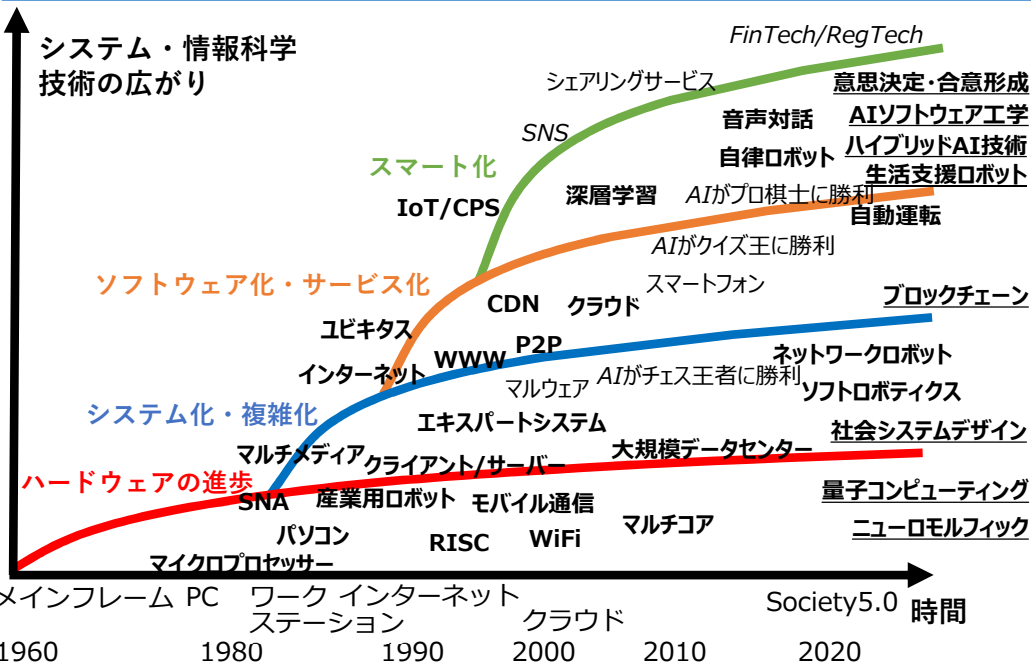
- ⑤ **非フォンノイマン型プロセッサアーキテクチャの開発** **技術**
  - ・ ニューロモルフィック、量子計算、近似計算といった、新コンピューティングパラダイムの実現。
- ⑥ **ブロックチェーン基盤技術の応用開拓** **産業** **社会**
  - ・ ネットワーク上のデータの分散管理台帳を実現する技術の基盤構築と応用開拓。

### 【社会システム科学関連】

- ⑦ **情報技術と人文社会科学の連携による強靱な社会システムの実現** **基盤**
  - ・ 市民とのつながりを作り出し、強靱・柔軟・効率的な社会システムを実現するための取組。

### 【その他】

- ⑧ **研究開発推進の環境・土壌の変革**
  - ・ 情報技術が全ての研究開発領域の基盤となり社会や経済のあり方にも影響を及ぼす中、**新価値創出につながる情報技術と広範な研究・技術や社会との融合・横断領域の推進が急務**。（推進プログラム、評価・インセンティブ、越境型組織、AI人材・データ科学人材 等）
  - ・ AI・ロボティクスを含む情報科学技術分野の**ELSI/RRRIへの取組**。特に、研究開発早期での人文・社会科学との連携。
  - ・ 様々なシステムの実装段階で得られる**実世界データに関する取り扱いの最適化**。例えば、データ作成者/保有者とステークホルダーの関係についての取り決め等。



## (世界の潮流)

- **米中のハイテク覇権争いが世界全体へ波及**
  - ・コアとなる先端技術の保有・システム化が、新サービスの要となり普及する世界的構図はより鮮明に
  - ・重要技術 (AI、半導体、5G、量子) に対し、技術力・投資額とも中国の存在感がますます増大。日本は全体を支える電子部品・素材、一部の半導体 (パワエレ、CMOSイメージャ等) で存在感大
  - ・希少資源確保へ向けた動きが米欧で活発化。「脱中国依存」を強く意識
- **IoT/AI時代を牽引するナノテク・材料技術**
  - ・大量のデータが生み出され、あらゆるところで最適解を生むコンピューティング (エッジ/クラウド)
    - センサ・電子部品・半導体の活況、データとAIがキーに。さらに先の技術として量子への期待
  - ・電子機器は「高機能・高性能」から「多機能・低消費電力」へ
    - センシング・ネットワーク・コンピューティングなどの多機能を備えたハード集積モジュール化への流れ
    - Intel一強からGAFA/BATH。ポストムーアへの挑戦
- **SDGsを技術ベースで支えるナノテク・材料技術**
  - ・水・大気・土壌の浄化、温室効果ガス削減、資源循環技術への期待
- **材料開発におけるデータ科学の重要性が増大**
  - ・マテリアルズ・インフォマティクスが材料開発基盤として必須に。今後は材料合成プロセスへの展開に期待
- **研究インフラ・プラットフォーム・拠点、研究開発スピードと国際競争力の源泉に**
  - ・諸外国はナノ・材料国家予算の5%~10数%を継続投入することでR&D環境を蓄積
- **ELSI・EHS・RRI**
  - ・ナノテクが産業実装されるにつれ、国・地域単位で規制の動き (EUの化学品規則REACH等)

## (主要国の政策動向)

日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第5期基本計画 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術として「素材・ナノテクノロジー」を位置付け</li> <li>・蓄電池 (ALCA-SPRING, RISING II), 元素戦略、Q-LEAP (2018-), Materalize (2019-)などの国プロを推進。研究インフラ (ナノプラ) が善戦、先端設備更新と技術人材が肝に</li> <li>・ナノ材料のELSI/EHSの国際戦略・データ構築に難、ルール化が進む世界に遅れ</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NNI (国家ナノテクイニシアティブ) を4代の政権にわたり継続</li> <li>・ホワイトハウス5Gサミット (2018)、DARPA電子技術復活イニシアティブ (2018-)、NSTC先進製造国家戦略 (2018-)、国家量子イニシアティブ (2019-)を開始し、ハイテク覇権を握ろうとする動き</li> </ul>
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Horizon 2020でナノテク・先端材料をKETsとして位置付け。Graphene, Brainに続きQuantum Flagship (2018-) 開始。ナノELSI/EHSの枠組み作りで世界のリーダーに</li> <li>・英「産業戦略」でAI・データ・エネルギー等のグランドチャレンジを呈示</li> <li>・独「ハイテク戦略2025」でAI、量子、蓄電池へ集中投資、人材育成</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第13次五ヶ年計画 2030年を見据えた15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「量子通信・量子コンピュータ」等を指定</li> <li>・中国製造2025 半導体自国化へ向け投資拡大 (2025年までに自給7割を目指す)</li> <li>・合肥に量子科学技術国家実験室を建設中 (2020年完成予定)</li> </ul>

## (我が国の強み/弱み)

- 長年の技術蓄積に基づく物質創製・設計技術、計測評価・分析・品質管理に**強み**
  - ・元素戦略、分子技術、蓄電池部材、電子材料、パワエレ、複合材料、顕微鏡技術
  - ・製造プロセスにおける省エネ・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、産学・医工連携からの価値創造に**弱点**
  - ・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思決定スピードに問題
  - ・ナノテクELSI・EHSは高度評価技術を持つにも関わらず、データ蓄積とルール形成で遅れ
- 研究インフラプラットフォーム・拠点の魅力度 (**強み**) を如何に構築し持続成長させるか
  - ・新技術開発とその導入、先端設備の戦略的更新、高度技術人材の確保

## (注力すべき課題)

- ① **新機能・新価値を実現する研究開発への注力**
  - ・国際競争優位性の確保
    - ✓ ポストムーアにつながるデバイス創製のための**高度な量子状態制御技術**
    - ✓ 大量のデータ取得・処理を実現する**多機能・低消費電力IoTデバイスシステム**
    - ✓ 資源制約を打破する技術 (循環、少量化・代替) を確立する**強固な材料開発基盤の確保**
  - ・最先端技術 (MI、計測、計算シミュレーション) 活用による“ナノ機能”のマクロ物性への実装
    - ✓ より高度化する材料への機能要求を満足する**多元化・複合化材料の設計やプロセス手法の開発**
  - ・データ・インフォマティクスを含むテクノロジープラットフォームによる研究成果の生産性向上
    - ✓ 研究を高速化する**インフォマティクス・オペランド計測・プロセス技術の一体化**
- ② **豊かな生活に貢献する戦略的取組の実行**
  - ・我が国の経済的生命線である輸出をけん引する部素材・デバイス・製造機械産業の価値提供において、世界から求め続けられるためのコア技術保有戦略
    - ✓ 【半導体】IoT/AI時代に重要となるエッジ側や次々世代半導体 (積層、プログラマブル、AIチップ)
    - ✓ 【部素材】日本企業の産業競争力向上に向けた基盤技術力の強化
    - ✓ 【電池】技術優位性を継続するための産学・プラットフォームの総力戦による研究開発
    - ✓ 【量子】基礎研究力の維持・強化と応用展開へ向けた国際連携
  - ・社会課題の解決に貢献するナノテク・材料技術戦略
    - ✓ ヒトの病気やけがにつながる異常予兆を**高度に検知・認識するIoTセンシング・デバイス**
    - ✓ 「健康維持」「疾患治癒」「身体機能の補修・代替・拡張」を可能にする生体/材料相互作用を能動制御する**生体調和材料・デバイス、共生ロボティクスシステム**の実現
- ③ **将来を見据えた研究開発から価値創出までのエコシステム強化**
  - ・異分野を横断し融合するナノテク、社会実装へ向けたシステム化には、縦横に横断
    - ✓ 基盤技術としてのナノテクからIT、環・エネ、ライフの融合を促進する場を構築
    - ✓ ELSI・EHS・RRIは基礎段階から実用までの道のりを伴走
    - ✓ ラボ改革 (自動化、データ構築・利活用による研究成果の生産性向上)
    - ✓ データ基盤を含む、先端研究インフラ・プラットフォームの持続成長策
    - ✓ 高度技術専門人材や産連人材は、研究者とともに課題解決を担う必須のパートナーに

# 参考



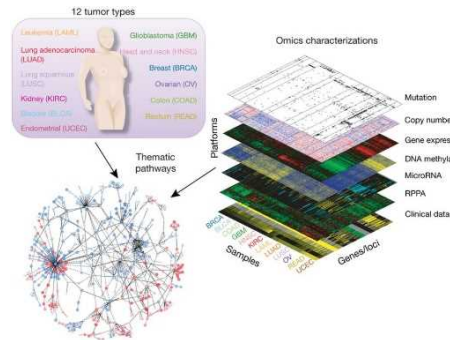
# デジタルデータのハイスループット化がもたらすライフサイエンス・医療分野の変革（1）

- ライフサイエンスは、デジタルデータがハイスループットに取得できるようになったことから、従来の生化学や分子生物学的手法に加え、生体のあらゆる階層で計算機／デジタル的手法が進展。
- それに伴い研究コストも増加し、ヒトゲノム解読（2004）以来、大型プロジェクトが世界的な規模でオープンサイエンスを展開。
- 解析・解釈に情報、物理、数理のセンスあるいは異分野連携が必須に。計測技術、解析ツール（ソフトウェア）やデータのプラットフォーム化の重要性が一段と高まる。日本は個別に後追いで対応し、層が薄い。

## 例

### Cancer Genome Atlas (2007-)

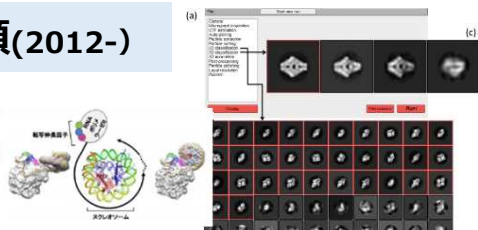
- 合計33種類のがん腫、11,000例を超える患者検体の統合的遺伝子解析が実施され、各がん腫において包括的に遺伝子異常の全体像が解明
- 2018年には、その成果をまとめて、細胞起源、共通のがん化プロセス、がん腫ごとの異常パスウェイの違いなどのテーマごとにPan-Cancer Atlasとして発表



Nature Genetics volume45, pages1113-1120 (2013)

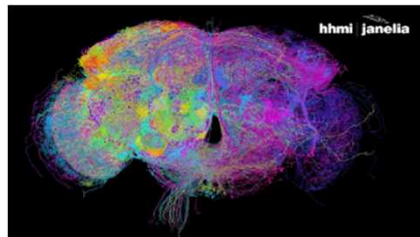
### クライオ電顕(2012-)

大量の画像から解析ソフトによる画像再構成



### 神経コネクトーム(2013-)

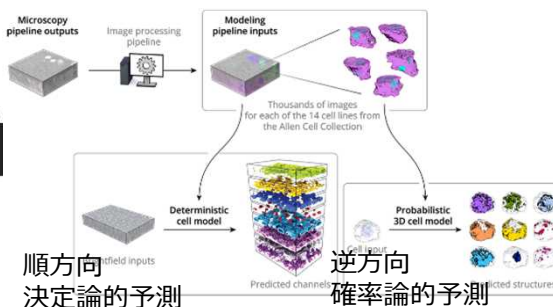
マウス脳の連続切片7,000枚を電子顕微鏡で撮影し、2,100万個の画像を3D再構成して、10万ニューロンを可視化



Credit: Z. Zheng et al./Cell 2018Close

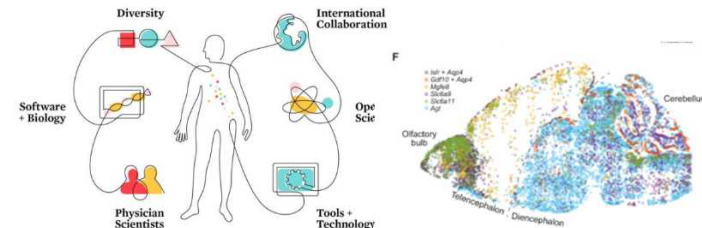
### Allen Cell Explorer& Integrated Cell (2016-)

細胞の組織、ダイナミクス、および活動の動的かつマルチスケールの視覚モデルを作成



### Cellアトラス（細胞地図）(2017-)

生物の全身の細胞（37兆個）を一細胞単位で地図化するもの。一細胞トランスクリプトーム技術が中心。



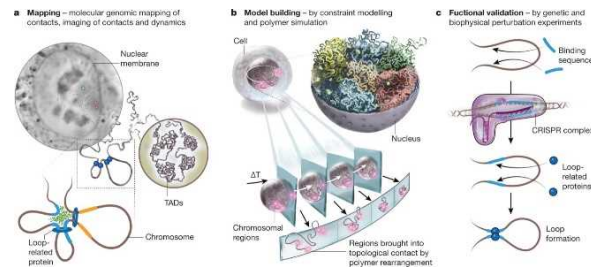
#### CZI Seed Networks

Summarizing the Human Cell Atlas

Cell 2018 ; 174 ; 4 ; 999-1014.e22

### 4D Nucleome (2016-)

- 遺伝子発現機構（エピゲノムや転写機構）の構造的可視化
- シーケンサーを用いてクロマチン動態をモデル化する技術



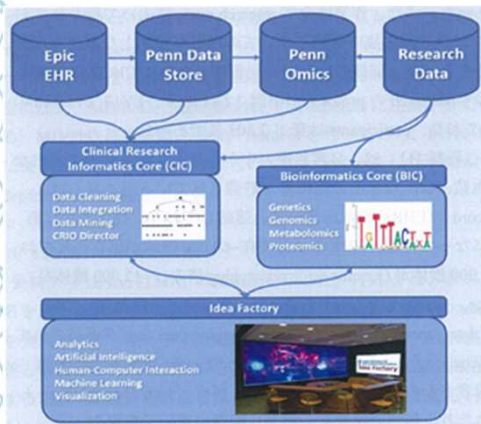
J Dekker et al. Nature 549, 219-226 (2017) doi:10.1038/nature23884

## ■ 欧米では、アンダーワンルーフ型の異分野連携研究プラットフォームを構築して対応

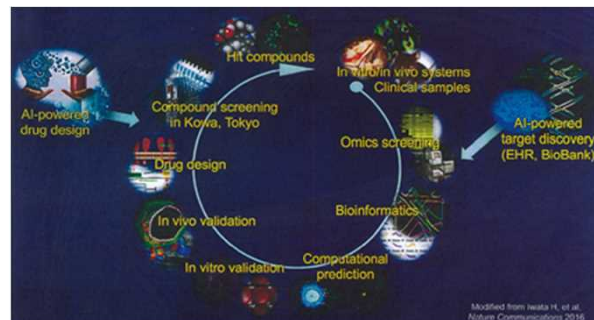
- ブロード研究所（ボストン）、ジェネリア研究所（ワシントン）、バイオハブ（サンフランシスコ）、フランスクリック研究所（ロンドン）、サンガー研究所（ケンブリッジ）

## オミックス医療・創薬

- 米国や英国が先導するプラットフォーム型研究プロジェクトでは、企業と大学、病院が協力・連携し、初期段階から患者が参画。そこから得られる知識・データを元に各段階で、個別の治療法を見出し提供、患者のアウトカム・プロフィール管理型の治療法へ取り組み。
- ゲノムやメタボローム、マイクロバイオームなどのデータとAI・機械学習から創薬候補化合物や患者の最適治療法を見出す。
- 多くの生体サンプルが必要となることから、アカデミア、病院との連携が必須に。



ペンシルバニア州立大学



ハーバード大学

## バイオバンク

- UK Biobank (2004-) はすでに始動しており、主に英国人50万人分のデータを収集。設立当初は政府系予算 (MRC) と財団 (Wellcome Trust) であったが、資金源が多様化し、2017からは様々な製薬企業や財団が参画。
- 米国NIH "All of Us"プロジェクト (2018-) では、あらゆる人種の100万人の環境要因、遺伝的要因、それら相互作用の解析と疾患リスク評価のため、健康・食生活・環境を追跡することになっている。

## ヘルスケアからビジネスへ

- FDA (米国食品医薬品局) がデジタル技術を用いたイノベーションを適切に評価する体制を整えるため、**2017年7月「Digital Health Innovation Action Plan」**を始動
- パイロットプログラムには、米Apple社、米Fitbit社、米Johnson & Johnson社、スイスRoche社、韓国Samsung Electronics社、米Verily社 (Google)など9社が参加。
- 予防・予測診断において、PaaS (Product as a Service) 型のビジネスモデルが盛り上がっていくことが予想される。
- 米国だけで3.5兆ドル規模のヘルスケア業界はGAFAにとってビジネスチャンス。世界のヘルスケアビジネスは異業種からの参入が相次いでいる。

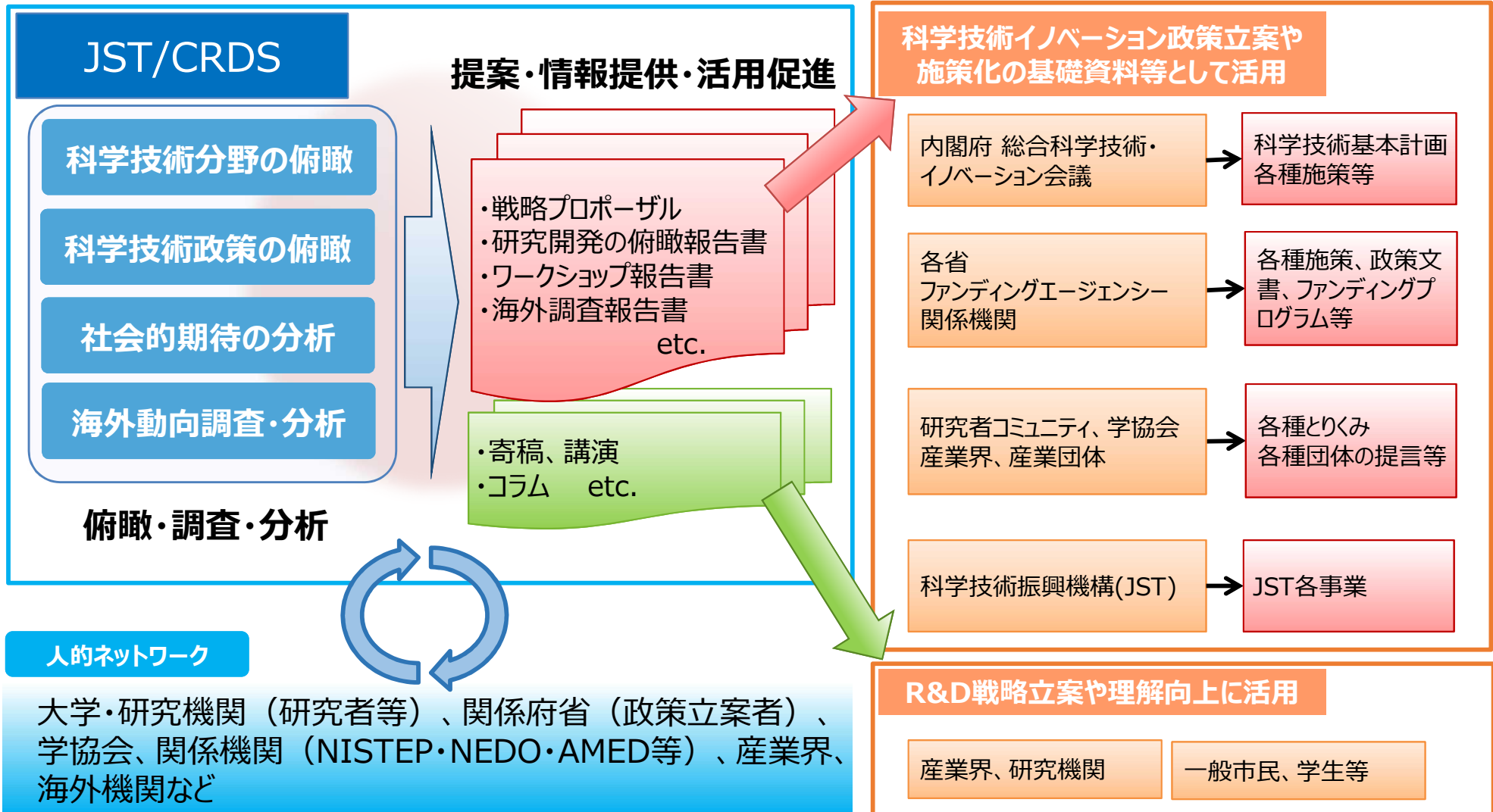
Apple	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2015年、Appleは医療の研究調査用に設計されたソフトウェアフレームワーク「ResearchKit」を研究者や開発者向けに提供開始。国内ではNTTドコモが東京大学と共同で糖尿病用のアプリを開発。順天堂大学でも花粉症用など複数の疾患研究に活用。</li> <li>■ スタンフォード大学とのApple Watch心臓健康調査のために1年足らずで400,000人を募集、医療情報を共有</li> <li>■ Apple社のAppleWatch 4の「ECG App (心電図アプリ)」FDA認可 (2018年9月)</li> <li>■ 100のCHS関連病院 (米国最大のヘルスケアサービスプロバイダーの1つ) がOSデバイスのHealth Records機能をサポート。患者が複数のプロバイダからのEHR情報にアクセス可能。</li> <li>■ 2018年3月には自前の医療機関ACウェルネスを設立</li> </ul>
Google	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 英国では、2016年からDeepMind Health (Google)が国民健康サービス (NHS)運営の国立病院で実装され、患者の容態をモニターする病院関係者向けアプリ「Streams」の開発目的で提供されている。</li> <li>■ 2017年～、Verily Life Sciencesにおいて、デューク大学、スタンフォード大学とGoogle Baseline Project (スマートウォッチを介して各種センサーから得られた心拍数、皮膚電位、運動習慣などのデータを収集)を実施。</li> <li>■ 2018年、NIHのSTRIDES (発見、実験のための持続可能な科学技術研究基盤) イニシアティブ開始。生物医学研究者が、Googleクラウドを活用して、大規模な生物医学データにアクセスし、コンピューティングへの経済的、技術的障壁を軽減することが目的。</li> </ul>
Amazon	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2018年1月、パークシャー・ハサウェイ、Amazon、JPEルガン・チェースは共同で新たな医療ケアアシテム事業Havenの立ち上げを発表。ビッグデータや仮想技術を利用し、自社の従業員 (百万人規模) の慢性疾患への対応や医療費を減らすとともに、このシステムを他の企業にも広げる可能性。パークシャー・ハサウェイはイスラエルのジェネリック医薬品大手テバの株を買増し。</li> <li>■ Amazonはインターネット薬局のスタートアップPillPackを買収</li> </ul>
平安保険グループ	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 世界最大の保険会社。世界に先がけてインターネット医療サービスプラットフォームを構築。</li> <li>■ ファミリードクター・サービス、消費者ヘルスケア、ネット通販、健康管理サービスなどデジタル展開</li> </ul>

## ■ 欧米では、アカデミックエクセレンスが求心力となるイノベーション・エコシステムの3つの方向性

- ベンチャーキャピタル型 (例：米ボストンエリア-MIT、ハーバード大学)
- 大学、国研、企業財団によるクラスター型 (例：オランダ・フードバレー)
- オープンサイエンス型 (例：英フランスクリック研究所、英ケンブリッジ)

# 研究開発戦略センター（CRDS）活動概要

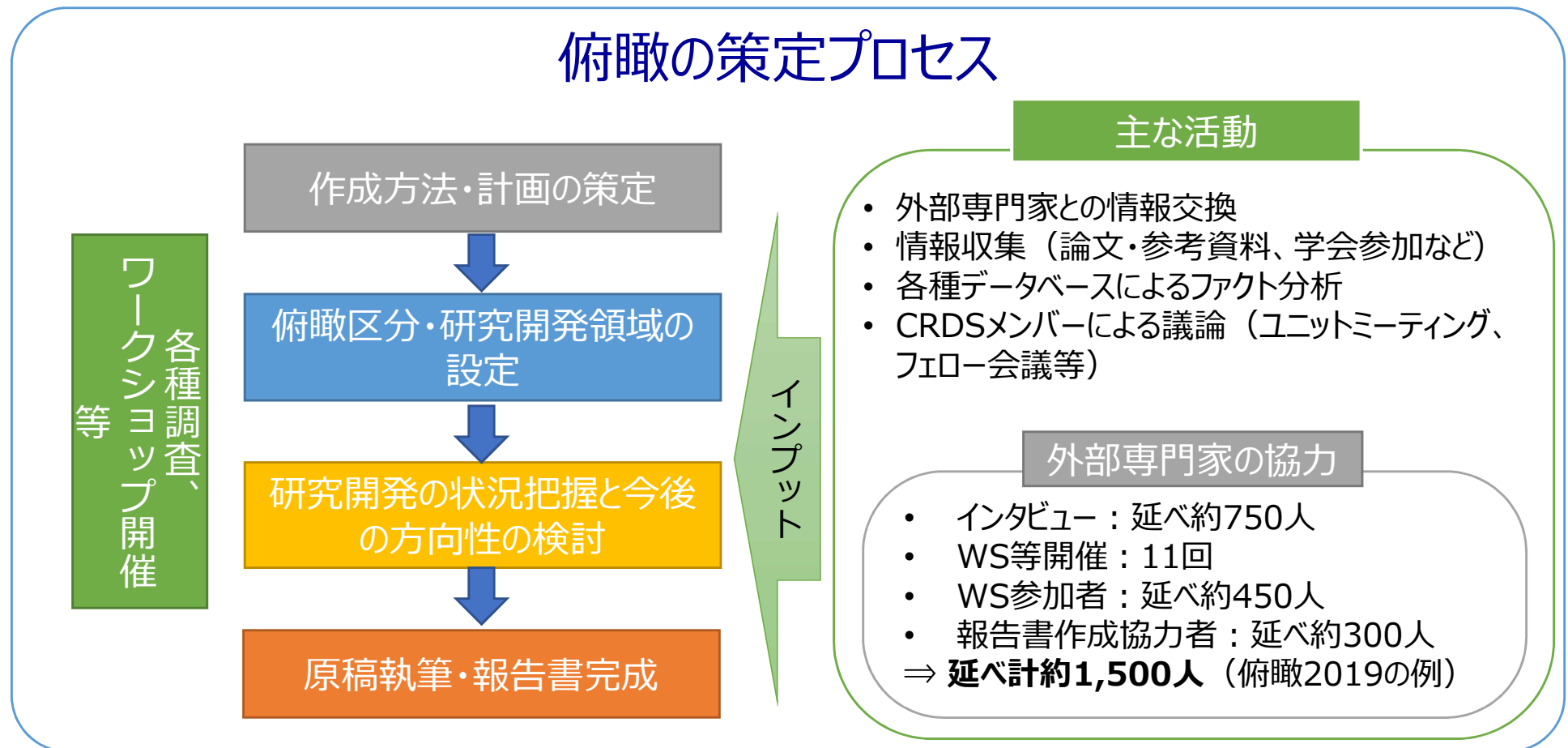
- ①国内外の社会や科学技術イノベーションの動向及びそれらに関する政策動向を把握し、俯瞰し、分析します。
- ②俯瞰報告書や研究開発戦略提言「戦略プロポーザル」をとりまとめ、提言の実現に向けた取組を行います。
- ③ワークショップ等を開催し、関係者の共通認識の醸成を図っています。



# 研究開発の俯瞰報告書の策定プロセス

研究開発分野と国内外の科学技術イノベーション政策の動向を俯瞰するため、科学技術分野の全体像や主要な研究開発領域についての国内外の研究開発動向、科学技術的・政策的課題や日米欧中韓等の国際比較などをまとめたもの。

(2年に1度発行)



# 研究開発の俯瞰報告書（2019年）の概要

## ■ 科学技術分野（4分野）

- ① 環境・エネルギー ② システム・情報科学技術 ③ ナノテクノロジー・材料 ④ ライフサイエンス・臨床医学

研究開発の全体像（俯瞰の構造と範囲、歴史、現状、今後の展開）や主要な研究開発領域ごとの動向や国際比較等を記載

### ① 研究対象分野の全体像

- ・ 俯瞰の範囲と構造
- ・ 分野の研究開発を取り巻く現状  
（社会・経済の動向、研究開発の動向等）
- ・ 今後の展望・方向性  
（日本の研究開発力の現状、推進すべきテーマ等）

### ② 研究開発領域（全126領域）ごとに以下を詳述

- ・ 研究開発領域の定義と概要
- ・ 国内外の注目動向
- ・ 科学技術的課題、その他の課題
- ・ 日、米、欧、中、韓等の国際比較

## ■ 主要国の研究開発戦略 ※毎年発行

主要国（日本、米国、EU、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国、インド）の科学技術政策立案体制、ファンディング・システム、科学技術基本政策、研究基盤政策、研究開発投資戦略等について記載。

## ■ 日本の科学技術イノベーション政策の変遷

我が国の科学技術イノベーション政策・予算の動向や、主要事業、新たな動向等を記載。

## ■ 統合版～俯瞰と潮流～

各分野で発刊した報告書のポイントを集約、社会や政策等の動向を踏まえた全体像としてとりまとめ。

# 我が国の強み弱みを検討するための国際比較

■ 研究開発戦略センターでは、俯瞰的な目線で、各国/地域毎の基礎研究または応用研究・開発の現状を、独自の調査・見解により、「国際比較表」としてまとめている。

※手法：産学官のステークホルダーとの対話を通じて、設定した調査分析上の「俯瞰区分」を構成する主要な研究開発領域ごとに整理している。2019年度は126領域を取り上げている。

## 環境・エネルギー分野 (26領域)

俯瞰区分	研究開発領域
エネルギー	トライボロジー、等15領域
環境	気候変動観測、等11領域

## システム・情報科学技術分野 (33領域)

俯瞰区分	研究開発領域
人工知能・ビッグデータ	機械学習、等8領域
ロボティクス	認知発達ロボティクス、等12領域
社会システム科学	計算社会学、等6領域
コンピューティングアーキテクチャ	量子コンピューターサイエンス、等7領域

## 例：機械学習領域の現状・トレンド

国・地域	研究フェーズ	現状	トレンド
日本	基礎研究	○	↗
	応用研究・開発	○	↗
米国	基礎研究	◎	↗
	応用研究・開発	◎	↗
欧州	基礎研究	○	→
	応用研究・開発	○	↗
中国	基礎研究	○	↗
	応用研究・開発	◎	↗
韓国	基礎研究	△	→
	応用研究・開発	△	↗

## ナノテクノロジー・材料分野 (32領域)

俯瞰区分	研究開発領域
環境・エネルギー応用	複合材料、等7領域
ライフ・ヘルスケア応用	バイオイメージング、等4領域
ICT・エレクトロニクス応用	スピントロニクス、等7領域
物質と機能の設計・制御	分子技術、量子技術、等8領域
共通基盤科学技術	積層造形・レーザー加工、等5領域
共通支援策	ELSI/EHS、等1領域

## ライフサイエンス・臨床医学分野 (35領域)

俯瞰区分	研究開発領域
基礎基盤科学技術	遺伝子発現機構、等13領域
分析・計測技術	生体イメージング、等6領域
ホワイト・グリーンバイオ技術	機能性物質・食品、等5領域
創薬、診断、医療技術	再生医療、等11領域