

マテリアル研究開発の国内外動向と論点に関する話題提供

2024年10月10日

科学技術振興機構 (JST)
研究開発戦略センター (CRDS)



これまでの社会・科学技術とマテリアル関連政策の流れ

		2000年以前	2001	2011	2016	2021
社会・経済			グローバル化、新興国の台頭 希少資源制約/優位性の認識、産業競争への影響			米中覇権争い (経済) 安全保障 環境の変化
			持続可能な社会・循環経済に向けた要請			
科学技術		日本ナノテク 先駆	ナノテクの世界的隆盛	マテリアルズ・インフォマティクス勃興		AI高度化、量子技術進展 国際標準化・規制
マテリアル関連政策	日本	'81 林超微粒子PJ '88 榊量子波PJ '92 アトムテクノロジー研究体	'01 第2期・第3期基本計画 重点分野化 '02 ナノ支援 '07 元素戦略PJ '07 ナノネット	'11 第4期以降は 横断的基盤技術に '12 ナノテクノロジー プラットフォーム	'15 MI2I拠点, 超超PJ	'21 マテリアル革新力強化戦略 '20 量子技術イノベーション戦略 '22 蓄電池産業戦略 '23 半導体・デジタル 産業戦略
	米国	NNI構想期の 国際調査 (NSF/WTEC)	'01 NNI開始 '04 ナノテクインフラネット	'11 マテリアルゲノム イニシアチブ(MGI) '11 希少資源戦略 '14 NNCI	'17 希少資源対策の強化 '18 量子イニシアチブ	'21 サプライチェーン強化の大統領令 '21 MGI戦略計画 '22 CHIPS・科学法 '23 クリーン水素戦略
	欧州		'04 欧州ナノテク戦略 '06 (独) ハイテク戦略 拠点整備推進(IMEC MINATEC)	'11 (独) インダストリー4.0	'14 Horizon2020 '15 欧州循環経済パッケージ '16 量子マニフェスト	'21 Horizon Europe '23 欧州半導体法 '24 先端材料指針 '24 重要原材料法
	中国		'01 国家ナノテクノロジー発展綱要 '06 中長期科学技術 発展規画綱要		'15 中国製造2025 '15 中国版MGI '16 国家イノベーション駆動 発展戦略綱要	'21 第14次五カ年計画 '23 レアメタル輸出規制 '24 レアアース管理条例

近年の世界的なマテリアル関連政策の動き

■ 経済安全保障の観点からの政策見直し

- サプライチェーンの見直し：
 - － 戦略物資（半導体、電池などの）の自国・友好地域内での製造・供給
 - － 特定国への依存度の高い資源の使用量削減/供給国多様化/代替/規制
- 技術優位性の確保のため研究開発投資：量子、先端半導体、次世代電池、水素など

■ カーボンニュートラル、ネイチャーポジティブの実現へ

- 国際協力の元、資源循環や化学物質の評価・データ共有の検討が進む
- 一方で CO₂削減や蓄電・エネルギー変換などに関わるマテリアルの研究開発競争は激化
- バイオテクノロジーとの融合領域、生物生産の活用への期待

■ データ駆動科学・研究開発DXの推進、研究インフラの拡充

- マテリアルズ・インフォマティクス（MI）が新たな先端研究基盤技術として成長期に
- ロボットやAIを活用したハイスループット実験や、実験自動化・自律化などによるDX
- マテリアルのイノベーションに欠かせない最先端研究インフラ、融合・連携を促進する拠点の重要性の高まり。計測解析機器や加工プロセス装置の新技术・発展がより重要に

■ マテリアルのELSI・RRI・国際標準化/規制戦略の進展

- 欧州を中心にナノマテリアルの規制や標準化が進む。今後は様々なアドバンスドマテリアルへと拡大。輸出入に影響を与える可能性（マイクロプラスチックやPFAS規制など含む）

日本のマテリアル関連政策



基本法・基本政策

- **科学技術・イノベーション基本法 (2021改訂)** : 科学技術・イノベーション創出を振興
- **第6期科学技術・イノベーション基本計画 (2021-2025)** : マテリアル分野を基盤分野の1つに位置づけ
- **マテリアル革新力強化戦略 (2021)** : 産官学一体となりマテリアル・イノベーションの実現へ
- **新・素材産業ビジョン (中間整理2022)、半導体・デジタル産業戦略 (2023改訂)、蓄電池産業戦略 (2022)、水素基本戦略 (2023改訂)**

経済安全保障

「経済安全保障推進法」(2022)

安全保障の確保に関する経済施策を総合的かつ効果的に推進
(1)重要物資 (2)基幹インフラ (3)先端重要技術 (4)特許の非公開

■重要技術育成

- ✓ **特定重要物資の指定 (2022, 2024.2追加)**
永久磁石、工作機械・産業用ロボット、航空機の部品半導体、蓄電池、可燃性天然ガス、重要鉱物、船舶の部品、先端電子部品 など
- ✓ **経済安全保障重要技術育成プログラム (2022)**
海洋、宇宙・航空、サイバー、バイオ、領域横断、量子・AI等
- ✓ **半導体・デジタル産業戦略 (2023改訂)** : 半導体・デジタル産業基盤を整備・確保
- ✓ **蓄電池産業戦略 (2022)** : 蓄電池の国内製造基盤の拡充
- ✓ **水素基本戦略 (2023改訂)** : 水素製造、燃料電池、水素利用など

■技術流出防止

- 「みなし輸出管理」の明確化 (2022)
- 研究インテグリティの確保に係る対応方針 (2022)
- 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 (2023)
- 特許出願非公開制度 開始 (2024.5)
- 重要経済安保情報保護活用法 (2024.5)

研究開発プログラム・研究拠点の例

- ✓ **マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォーム (2021, 経産省)**
先進触媒拠点、セラミックス・合金拠点、有機・バイオ拠点



- ✓ **マテリアルDXプラットフォーム (2021, 文科省)**
 - NIMSデータ中核拠点(MDPF)
 - マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM)
 - データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト (DxMT)



- ✓ **戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)(第3期, 2023-2027)**
「マテリアル事業化イノベーション・育成システムの構築」ほか
- ✓ **NEDO グリーンイノベーション基金事業 (2021)**
次世代太陽電池、廃棄物・資源循環、水電解、CO₂を用いた製造技術、次世代デジタルインフラ、バイオモノづくり技術 など
- ✓ **文科省 革新的GX技術創出事業 (GteX) (2023)**
「蓄電池」「水素」「バイオものづくり」

米国のマテリアル関連政策



基本法・基本政策

- **インフラ投資・雇用法 (2021)** : 国内のインフラ整備に総額1.2兆ドル (うち約5,500億ドルが新規投資)
- **インフレ抑制法 (2022)** : エネルギー安全保障と気候変動対策へ3,690億ドルを投資
- **CHIPS・科学法 (2022)** : 半導体分野 (527億ドル) を中心とする製造・研究開発に総額2,500億ドルを措置
- **21世紀ナノテクノロジー研究開発法 (2003)** : ナノテクノロジーの研究開発推進を法制化

経済安全保障

「国家安全保障戦略」(2022)

米国の優位性の再構築へ : (1) 米国の国力と影響力のソースとツールへの投資、(2) 多国間協力の構築、(3) 軍備の現代化・強化

■重要技術育成

- ✓ **サプライチェーン強化のための大統領令 (2021)**
重要4品目 : 半導体、バッテリー、医薬品、重要鉱物
- ✓ **重要・新興技術 (Critical and Emerging Technologies: CETs)**
 - **リスト更新 (2024.2)** : 先進工学材料、クリーンエネルギー、量子情報、半導体およびマイクロエレクトロニクス など18技術
 - **CETsの国家標準化戦略 (2023)** → ロードマップ発表 (2024.8)
- ✓ **CHIPS・科学法 (2022)** : 半導体製造力強化/NSTC設置のほか、重要技術10分野に先進材料、先端製造、量子、AI、バイオなど設定

■技術流出防止

- ✓ **対内外投資規制**
 - CFIUS審査の強化
 - 半導体・AI・量子の懸念国との取引に届出義務化 (2023)
- ✓ **CETs輸出管理の暫定最終規則 (2024.9)**、エンティティリスト拡大
- ✓ **研究セキュリティ強化**
 - NSPM-33ガイドライン (2022)
 - リスク分析センター (SECURE)
 - 研究の機微性評価 (NSF, DOE)
 - 悪質な外国人材誘致プログラムへの参加制限

イニシアティブ、研究開発プロジェクトなど

- ✓ **国家ナノテクノロジーイニシアティブ (NNI)**
2001年開始、累計430億ドル以上投資。今後は成熟分野としての体制再構築へ (2023, PCASTによる第7次評価より)
- ✓ **マテリアルズ・ゲノムイニシアティブ (MGI)**
2011年開始。MGI戦略計画2021を策定 : (1)材料イノベーション基盤の統合、(2)材料データの活用 (3)R&D人材の教育と訓練
- ✓ **国家クリーン水素戦略およびロードマップ (2023)**
国内でのクリーン水素の生産から利用までを加速。2050年までに年間5,000万トンのクリーン水素の国内生産を目指す。
- ✓ **マイクロエレクトロニクス研究戦略 (2024.3)**
CHIPS・科学法を背景とした、マイクロエレクトロニクスの今後5年間の実効策
- ✓ **国家バイオテクノロジー・バイオ製造イニシアティブ (2022)**
バイオの可能性を最大限に活用し、国内製造・経済を成長
2023年 OSTP具体的研究開発目標を発表、DODバイオ製造戦略
- ✓ **DOE METALLIC プロジェクト (2024.4)**
重要鉱物サプライチェーン研究施設を9つの国立研究所で立ち上げ



基本法・基本政策

- **Global Approach to Research and Innovation (2021)、European Innovation Agenda (2022)**
- **Horizon Europe (2021-2027)** : 第9期の枠組みプログラム、予算総額955億ユーロ
- **Advanced Materials for industrial Leadership (2024)** : 先端材料のエコシステムの強化と5億ユーロの投資(うち2.5億ユーロは民間投資)を目指す。標準化やガバナンス体制の構築も進める。
- **欧州半導体法 (2023)、欧州重要原材料法 (2024)、欧州水素戦略 (2020)**

経済安全保障

「経済安全保障戦略」(2023)

域外への経済的依存度を減らし、開かれた戦略的自律性を確保する(先端半導体、AI、量子、バイオ、宇宙、先端材料、製造など)

■重要技術育成

- ✓ **欧州重要原材料法 (European Critical Raw Materials Act) (2024)** : 重要原材料のサプライチェーンの確保
- ✓ **欧州半導体法 (European Chips Act) (2023)** : 2030年までに430億€以上の官民投資
- ✓ 欧州防衛基金 (EDF) 設立 79.5億ユーロ/7年 (2021)
- ✓ 安全保障・防衛のための重要技術ロードマップ (2022)

■技術流出防止

- ✓ **経済安全保障に関する政策パッケージ (2024.1)**
 - 外国投資審査強化法案
 - 海外投資リスクの監視と評価
 - デュアルユース技術輸出規制
 - EU全体の研究セキュリティ強化
- ✓ **研究セキュリティ強化**
 - EU理事会勧告 (2024.5)
 - Horizon Europeでセキュリティ審査
 - ガイドライン「外国干渉に対処の作業文書」

研究開発プログラム・研究拠点の例

✓ Horizon Europe (2021-2027)

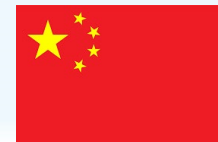
- Graphene Flagship (2013-)
- Human Brain Project (2013-2023)
- Quantum Flagship (2016-)
- BATTERY 2030+ (2019-)
- **欧州パートナーシップ**
高性能コンピューティング、重要デジタル技術、AI・データ・ロボティクス、フォトニクス、クリーン水素、バッテリー など



標準化・規制

- 欧州委員会 ナノマテリアルの定義改訂 (2022)
- 新規物質を「アドバンスドマテリアル」としてより広く安全性評価の検討を推進
- 欧州化学品庁が(表面被覆を含む) **マイクロプラスチック**を制限する規制を適用開始 (2023)
- **有機フッ素化合物 (PFAS)** 全般を対象とした規制案の検討も進む (2025年ごろ採択見込み)

中国のマテリアル関連政策



基本法・基本政策

- **第14次五カ年計画（2021-2025）**：重要な先端科学技術分野に、量子技術、集積回路などを指定
- **国家創新駆動発展戰略綱要（2016-2030）**：科学技術、産業のイノベーションを強化
- **中国製造2025（2015）**：「製造強国」を目指す10の重点領域に、次世代情報通信技術、先端デジタル制御工作機械・ロボット、新材料、バイオ医薬・高性能医療機器などを指定

経済安全保障

「**総体国家安全観（2014）**」、「**国家安全法（2015）**」
「科技安全（科学技術の安全）」のため、戦略的ハイテク技術・重要核心技術の発展加速と、知的財産権保護・科学技術の機密強化

■重要技術育成

✓ 政府誘導ファンド

- 国家先進製造業産業投資基金：「中国製造2025」関連産業（2016: 1兆4000億円）
- 国家製造業高度化基金：ハイテク製造業高度化（2019: 3兆円）
- **国家集成電路産業投資基金**：半導体製造、関連産業サプライチェーンの強化（2014: 2.7兆円, 2019: 4.0兆円, 2024: 7.4兆円）
- ✓ 各種国家プログラムで量子、バイオ、AI、宇宙、海洋などへ投資

■技術流出防止

✓ 情報流出管理法の強化

- データ管理：データ管理3法（サイバーセキュリティ法、データ安全法、個人情報保護法）（2021）
- データ促進規定（2024.3）
- 反スパイ法 改正（2023）
- 国家秘密保護法 改正（2024.5）

✓ 輸出管理の強化

- 信頼できない主体リスト（2020）
- 輸出管理法（2020）
- 中国輸出禁止・輸出制限技術リスト（2023）
- レアメタル輸出規制（2023）
- レアアース管理条例（2024.6）

研究開発プログラム・研究拠点の例

- ✓ **国家重点研究開発計画**（2023年は56課題）
レアアース新素材、高度複合材料、スマートセンサー、水素エネルギー技術、情報光技術、先端ナノテク、触媒技術など
- ✓ **科技创新2030**（2016年～, 16課題）
量子通信および量子計算、スマート製造とロボット、重点新材料の開発および応用 など
- ✓ **大型研究施設**
 - 大電流重イオン加速装置（2025年 広東）
 - 高エネルギーシンクロトロン光源施設（2025年 北京）
- ✓ **材料ゲノム工学**（中国版MGI）に関する研究拠点を、上海大学、上海交通大学、北京科技大学、中国科学院物理研究所に相次いで設置

標準化・規制

- 「品質強国」を目指し、標準化とSTIの相互発展を促進
- 中国標準2035（2018）
 - 中国標準化発展綱要（2021）
 - ISO、IEEE-SA等の国際規格の策定にも積極的に関与

AI・データ×マテリアル：諸外国の主な取り組み

◆印：自動自律実験関連

【欧州】

- ◆ **FAIR-DI (2015-)**: (FAIR Data Infrastructure for Physics, Chemistry, Materials Science, and Astronomy e.V) FAIR原則*に従う世界的なデータインフラストラクチャーの構築を目指す。
- ◆ **MAX (2018-)**: (Materials design at the exascale a European centre of excellence) 5ヶ所のHPCリソースをネットワークし、データ管理プラットフォームMaterials Cloudを運用。
- ◆ **EMMC (2019-)**: (European Materials Modeling Council) 材料分野でのデータ流通のための仕組みを検討。

【英国】

- ◆ **グラスゴー大学**: 有機合成の自律実験を推進。スピンアウト企業 Chemifyを2019年に設立。投資家より6,600万ポンドを調達。
- ◆ **リバプール大学 : Material Innovation Factory (2018-)**: ユニバーバの共同発足。8,100万ポンド投入。ロボットと計算の組合せによる自動自律実験で最先端材料の研究開発を推進

【中国】

- ◆ **Shanghai Materials Genome Institute (2024-)**
- ◆ **マテリアルズゲノム連合研究センター (2016-)**
- ◆ **北京マテリアルズゲノム工学イノベーション連盟 (2016-)**

*) FAIR原則 (研究データの公開と共有のための原則)

Findable	検索可能
Accessible	アクセス可能
Interoperable	総合運用可能
Re-purposable / Reusable	再利用可能

【米国】

- ◆ **The Materials Project (2011-)**: シミュレーションによるデータ蓄積や機械学習ツールを用いて材料スクリーニングを可能にすることを目指す。開発されたツールやデータベースは世界中で広く使用されている。
- ◆ **HTE-MC (2017-)**: (High-Throughput Experimental Materials Collaboratory) 材料合成・特性評価・データ管理の統合ネットワーク (バーチャル研究所)
- ◆ **CHiMaD (2014-)**: (Center for Hierarchical Materials Design) 構造材料を中心に、結晶構造から材料組織までのマルチスケールを、プロセス、材料組織との関係も含め、データ統合。熱力学・状態図計算、速度論のシミュレーションにより材料特性の予測、材料開発の支援。
- ◆ **MaRDaC (2019-)**: (Materials Research Data Council) オープンアクセス・相互運用可能な材料データを実現する「材料研究データアライアンス (MaRDa)」の運営委員会。
- ◆ **ローレンスバークレー国立研究所: A-Lab (2022-)**: Googleと共同で材料開発 AIシステム“GNoME”を開発し、予測した結晶構造の合成を自律ロボットシステムを用いて検証。

【カナダ】

- ◆ **トロント大学 : Acceleration Consortium (2021-)**: 材料・物質発見の加速を目的とした産学官連携のコンソーシアム。Canada First Research Excellence Fund (CFREF)から、自動運転ラボに7年間約2億カナダドル投入。

【韓国】

- ◆ **Creative Materials Discovery Project (2015-)**
- ◆ **MIDAS (Materials Informatics Database for Advanced Search) (2016-)**
- ◆ **ASTRAL (Automated Synthesis Testing and Research Augmentation Lab) (2022-)**: ロボットを利用した無機材料合成ワークフローをSamsung先端技術研究所 @米ケンブリッジ大 に設置

2000年代前半から推進した日本のナノテク・材料政策の振り返り

- ナノテク・材料は、第2期科技基本計画で**重点4分野**の1つ、第3期で**重点推進4分野**の1つとして位置づけ。
- **課題解決を掲げた第4期・第5期では横断的基盤技術**として、さらに**第6期開始の「マテリアル革新力強化戦略」**として、かたちを変え強化してきた。
- 文部科学省は2001年にナノテク・材料委員会を設置し、2002年の報告書「ナノテクノロジー・材料に関する研究開発の推進方策について」を皮切りに施策を開始、以降数年おきに研究開発推進方策を適時に取りまとめ、政策に活用・展開してきた。
- 2001-2002年の検討において、20年後の実用化を展望した研究課題が掲げられたが、現に20年を経過した今振り返ってみると、現在に通じる様々な見解もみえてくる。CRDSではこれらについて一定数の識者へインタビュー調査等を実施し、以下のような見解を得ている。

インタビュー調査結果の概略

◆ 研究開発の実施

- **異分野融合・連携を促進した施策**（例：元素戦略やナノテクプラットフォーム）や、個々の領域を力強く推進したもの（例：電池、エレクトロニクス）など、**多彩な施策**が推進されてきた。
- 結果、この20年間で日本が強みを持つ部素材産業の技術的基盤となる**合成・加工プロセス技術、計測・解析技術、シミュレーション技術**とそれらを担う人材が育まれた。いずれも**中長期的な施策展開が重要であった**。
- 基礎・基盤領域の成果が、他の応用領域に発展・展開していったものがあり、開始段階でこれらを予測することは困難。**裾野の広がり**が重要であったといえる。（例：自己組織化⇒量子ドット、単一電子トランジスタ⇒超電導量子ビット/スピン量子ビット）
- 重点分野化の初期には未成熟だった研究概念「元素戦略」「ナノバイオ」「マテリアルズ・インフォマティクス」などの潮流や、グラフェン、ペロブスカイトPVなど、**新材料の登場が研究開発の流れを形成**してきた。

◆ 今後への示唆

- 国際情勢や社会の変化は常に起こるなか、特定テーマへフォーカスする「重要研究課題」の判断や「基礎研究の成果がどのような応用へ展開するか」などを**予測することは極めて困難**。変化が起きても対応できるだけの、**フレキシブル且つ広がり**と**厚みを持つ、研究開発の基盤的土壌が重要**。
- 今後も進展が予想される様々な技術に関する適切なベンチマークと、関係者間での**チャレンジングな目標の共有が重要**。
- 日本が蓄積・優位性を有するマテリアル技術の深掘りや、**異分野・産学の連携・融合の促進および国際連携**による活用・応用領域の拡大、**柔軟で強固な科学技術と人材の基盤**を築いていくことが極めて重要。

■ ナノテクノロジー研究開発の推進に関する考え	22
1. ナノテクノロジーを語る視座認識及び推進にあたっての基本的な考え方	23
2. 施策の推進方針	26
3. 具体的な課題の抽出 - 20年後までの実用化、産業化を展望した研究開発の推進に関する考え	28
4. 25の研究課題	31
(1) 次世代通信用ナノデバイス	31
(2) 新規量子化学・高分子・新材料の創製	38
(3) 単一分子量子電機	42
(4) ナノビット級メモリの原理・素材・方式	45
(5) 新原理・量子デバイスの基礎的研究	48
(6) 次世代フォトニクス基礎	50
(7) 量子分子デバイス	54
(8) 超高感度知覚センサー技術	57
(9) IT化医療：ドラッグデリバリー・ナノマシン	60
(10) ナノソフトマシン	65
(11) ナノ構造工学系半導体・電機材料	68
(12) ナノ構造薄膜機能	72
(13) ナノ空間材料	74
(14) 超分子制御	81
(15) ナノチューブ・フラーレン	84
(16) ナノ炭素・ナノ炭素	88
(17) ナノコンポジット構造材料	90
(18) ナノ組織制御・機能材料	100
(19) ナノ制御有機電極表面層材料	105
(20) 有機・無機複合ナノ構造体機能	110
(21) ナノスピネレトロニクス	113
(22) ナノ炭素	119
(23) プログラム自己組織化	123
(24) ナノ新薬	127
(25) ナノバイオ	131

25の研究課題

文部科学省「ナノテクノロジー・材料に関する研究開発の推進方策について」（2002年）では、20年後の実用を展望した研究課題を25テーマ掲げた

日本のマテリアル研究成果事例 (過去20年程度)

PCP/MOF

1997 北川進(京都大学)

有機配位子
金属イオン
例: Ag⁺, Cu⁺
例: Cu²⁺, Pb²⁺
例: Zn²⁺
例: Co²⁺, Ni²⁺, Fe²⁺

ハニカム構造のPCP/MOF
四面体構造のPCP/MOF

JST ERATO

DDS

2006 片岡 一則(東京大学)

薬剤などを搭載し
狙った場所で放出
生体の真物認識を
免れるステルス機能を
持った外殻

MEXT キーテック

元素間融合

2010 北川宏 (京都大学)

ルテニウムとパラジウムでロジウムに似た合金を作製

合金粒子
Pd原子 Ru原子

JST-CREST, ACCEL

DyフリーNd磁石

2016 宝野和博(NIMS)

400nm x
400nm
~60nm
保磁力=16kOe
保磁力=20kOe

JST-CREST, 元素戦略拠点型

スピン物理/スピントロニクス

2004 湯浅新治(AIST)
2007 齊藤英治(東京大学) 内田健一(NIMS)

保磁力 (kOe)
電流 H (Oe)

JST-PRESTO,
CREST, ERATO

超イオン伝導体(LGPS)

2011 菅野了次 (東京工業大学)

JSPS, ALCA-SPRING

IGZO TFT

2004 細野秀雄(東京工業大学)

InGaO₃(ZnO)_m 単結晶薄膜
ITO a-ITO ITO
InGaO₃(ZnO)₅
single crystalline film
YSZ(111)

JST-ERATO

CNT量産/スーパーグロース

2004 畠賢治(AIST)

■スーパーグロース法のイメージ
微量の水分を
含んだガス
加熱炉
アルゴンガス
化学反応
ガス出口
基板
金属触媒
カーボン
ナノチューブ

NEDOプロジェクト

ペロブスカイト太陽電池

2009 宮坂力(桐蔭横浜大)

● NH₃CH₃⁻
● Br or I⁻
● Pb²⁺

Photocurrent density / mA cm⁻²
Voltage / V

J_{sc} 22.4 mA/cm²
V_{oc} 1.16 V
FF 0.83
PCE 21.6%

JSPS-科研費, JST-ALCA

タフポリマー

2017 伊藤耕三(東京大学)

Double Network gel
1st network
2nd network

JST-ImPACT

第6期科技イノベ基本計画（2021-2025） 各政府戦略におけるマテリアルの位置づけ

各戦略	各戦略中の研究開発課題等（青字：マテリアル関連）	（マテリアル革新力強化戦略 対応記述）
GX推進戦略（2023）	GXに向けた脱炭素の取り組み： 1) 燃料・原料転換、2) 再生可能エネルギー、3) 原子力、4) 水素・アンモニア、5) 電力・ガス市場の整備、6) 資源外交、7) 蓄電池産業、8) 資源循環、9) 運輸部門、10) デジタル投資、11) 住宅・建築物、12) インフラ、13) CCS、14) 食料・農林水産業	<ul style="list-style-type: none"> 革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル マテリアルの高度循環のための基盤技術 極限機能を有するマテリアル
量子未来産業創出戦略（2023）	取り組みの方向性： (1) 量子コンピュータ（ソフトウェア、利用環境整備等） (2) 量子コンピュータ（ハード、基盤技術） (3) 量子セキュリティ・ネットワーク (4) 量子計測・センシング／量子マテリアル (5) イノベーション基盤	<ul style="list-style-type: none"> 量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル
バイオエコノミー戦略（2024）	戦略の対象とする市場領域： (1) バイオモノづくり・バイオ由来製品 (2) 持続的一次生産システム (3) 木材活用大型建築・スマート林業 (4) バイオ医薬品・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業 (5) 生活習慣改善ヘルスケア、デジタルヘルス	<ul style="list-style-type: none"> 次世代バイオ・高分子マテリアル
AI戦略2022	わが国が強みを有する分野とAIの融合（医療、創薬、材料科学等）	
核融合戦略（2023）	フュージョンテクノロジーの開発戦略	<ul style="list-style-type: none"> 極限機能を有するマテリアル
半導体・デジタル産業戦略（経産省、2023）	(1) 半導体分野：先端ロジック半導体、先端メモリ半導体、産業用スペシャリティ半導体、先端パッケージ、製造装置・部素材 (2) 情報処理分野 (3) 高度情報通信インフラ分野：(i) DC、(ii) 5G (4) 蓄電池分野（製造装置、次世代電池など）	<ul style="list-style-type: none"> 高度な機能発現を可能とするマテリアル 革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル

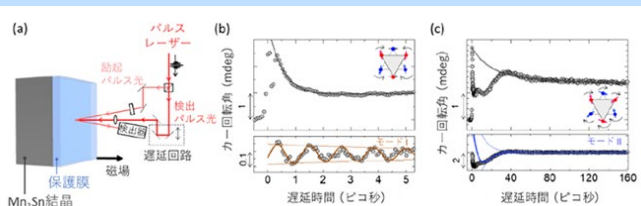
• •
マテリアルと機能の設計・制御技術
の共通基盤技術

第6期科技イノベ基本計画期間以降の研究成果例 (JST成果集掲載例より)

トポロジカル反強磁性体の特異物性の探求*1

中辻 知 (東京大学)

次世代のテラヘルツ電子デバイスの実現につながる不揮発性メモリの開発を見据えたトポロジカル反強磁性金属 Mn_3Sn の研究

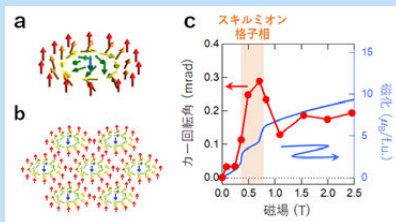


トポロジカル反強磁性金属の超高速スピン反転を実証

スキルミオンのトポロジカル磁気光学効果の観測に成功*2

高橋 陽太郎 (東京大学)

高密度のスキルミオンをもつ材料において、スキルミオンが光の偏光面をねじる「トポロジカル磁気光学カー効果」を観測することに初めて成功した。

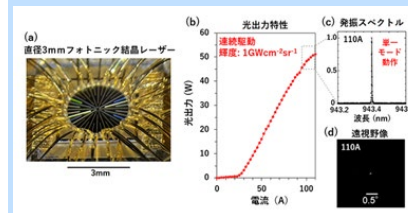


スキルミオン粒子のイメージ

フォトニック結晶レーザーの高輝度化*3

野田 進 (京都大学)

非エルミート光学を活用した「フォトニック結晶レーザー (PCSEL)」技術により、小型半導体レーザーの輝度を、既存の大型レーザーに匹敵するレベルまで高めることに成功

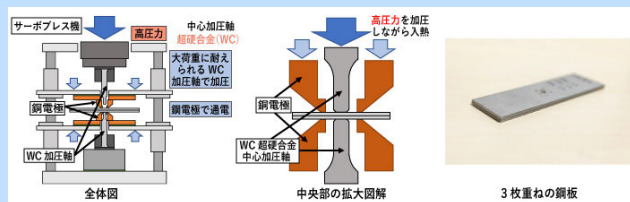


開発したフォトニック結晶レーザーの写真(a)とレーザー特性(b)

金属の強度特性を保つ低温接合*4

藤井 英俊 (大阪大学)

「圧力制御通電圧接法」として結実した接合技術の要素を組み込み、これまで困難とされていた固相で金属同士の接合を可能にする「固相抵抗スポット接合」を確立した。

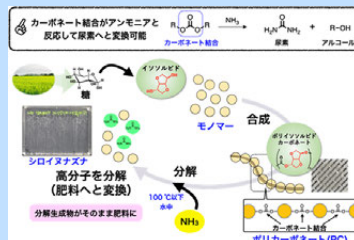


「固相抵抗スポット接合」を取り入れた試作機

プラスチックを肥料に変換するリサイクルシステムを開発*5

青木 大輔 (千葉大学)

糖由来のプラスチック(ポリカーボネート)を、アンモニアで分解することで生成する尿素と糖由来の化合物が、実際に植物の成長促進につながることを実験によって証明した。

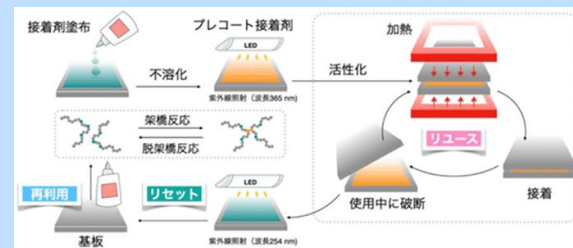


プラスチックから肥料を作るリサイクルシステム

光で制御するリサイクル可能な接着剤*6

内藤 昌信 (NIMS)

特定の波長の光をスイッチに、何度でも接着と剥離を繰り返すことができる接着剤を開発した。従来難しかった「強い接着」と「容易な剥離」を両立させることを可能にした。



接着剤のリユースと不要後のリサイクル

JST成果集 <https://www.jst.go.jp/seika/index.html>

*1 CREST <https://www.jst.go.jp/seika/bt2023-02.html>

*2 創発的研究支援事業 <https://www.jst.go.jp/seika/bt2024-11.html>

*3 ACCEL <https://www.jst.go.jp/seika/bt2024-01.html>

*4 未来社会創造事業 <https://www.jst.go.jp/seika/bt2023-11.html>

*5 さきがけ <https://www.jst.go.jp/seika/bt2023-03.html>

*6 CREST <https://www.jst.go.jp/seika/bt2024-06.html>

日本のマテリアル分野の現況（産業・研究）

■ マテリアル産業は日本経済の重要な柱

- わが国の産業貿易輸出の約7割*1、製造業が創出するGDPの約6割を占める*2

■ 物質創製、計測評価、製造装置などに強み、一方で国際競争は激化*3

- 製造プロセスにおける省エネ・低環境負荷技術に優位性
- 半導体製造用素材/装置・化成品・機能材料などで高シェアを維持。一方で新興国が躍進。
- 水素利用関連・蓄電池・太陽光発電などで、中国や韓国に市場を奪われる
- 長期の研究開発投資とスケールアップにリスクが高く、スタートアップが育ちにくい

■ 相対的な研究開発力の低下

- 論文数で相対的な存在感が低下
- 学会会員数の減少など、研究コミュニティの弱体化の兆候
- データ科学、標準化、規制戦略、国際連携、異分野融合からの価値創造に弱み

■ 人材育成・確保に長期的懸念

- マテリアル分野は産学ともに今後の人材確保が危ぶまれる
- 研究開発環境のアップデートの遅れ、魅力・将来性の提示が不十分

*1 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術指標2024より。ミディアムハイテクノロジー産業と電子機器分野の輸出額（2021年）の和として。

*2 経済産業省 2023年経済構造実態調査 製造業事業所調査より。化学工業、プラスチック、ゴム、鉄鋼、非金属、金属、はん用機械器具、生産用機械器具、業務用機械器具、電子部品・デバイス・電子回路、電気機械器具、情報通信機械器具の付加価値額（2022年）の和として。

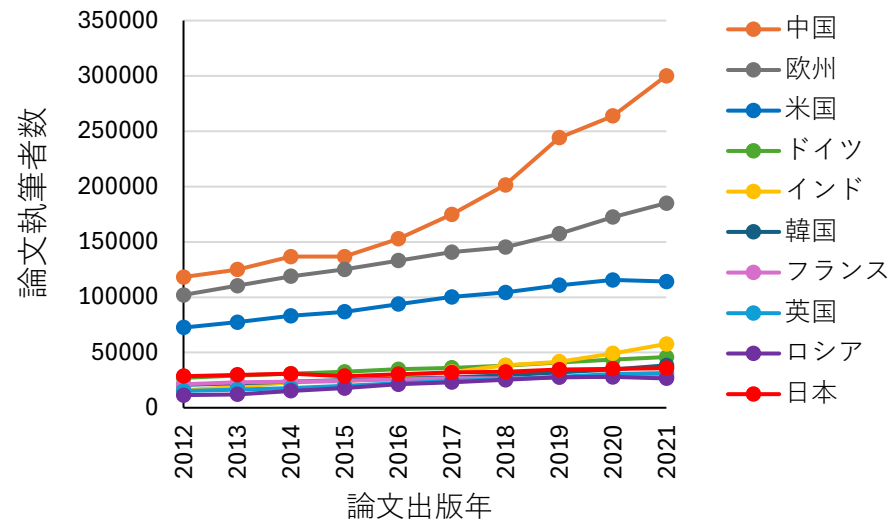
*3 経済産業省 産業構造審議会 製造産業分科会「新・素材産業ビジョン（中間整理）」 https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/20220428_1.pdf

マテリアル分野の論文指標

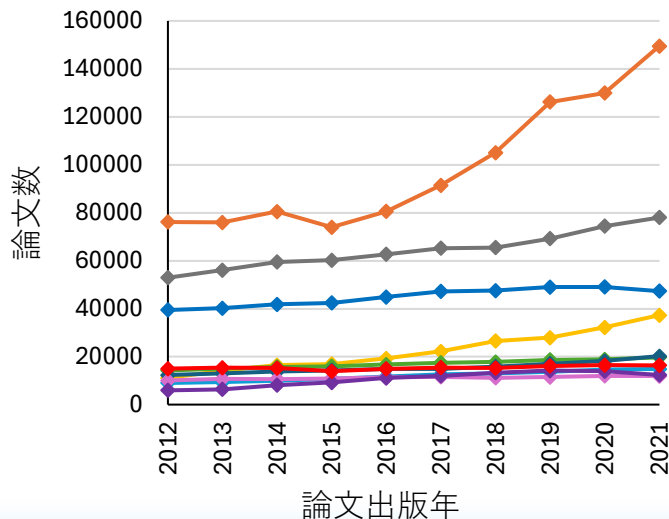
わが国のマテリアル分野の論文執筆者数は微増傾向。

論文数は横ばいだが、他国の論文数増加により相対的に存在感を落としている。

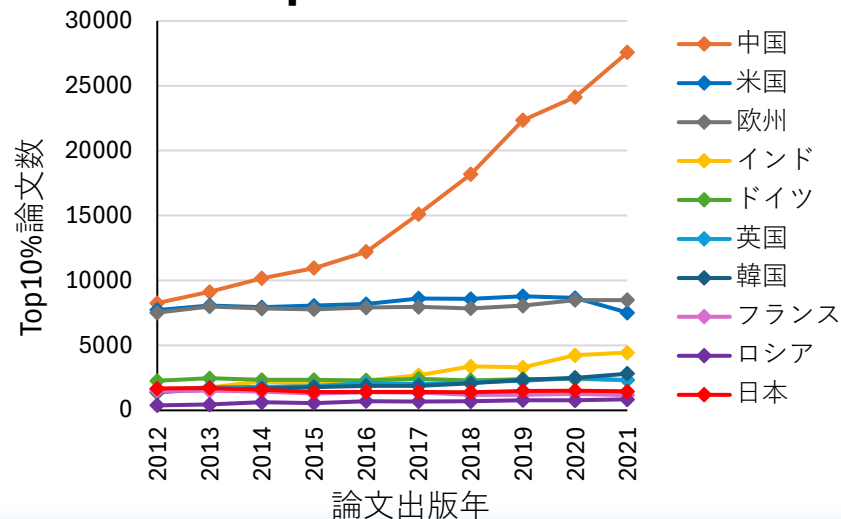
論文執筆者数



総論文数



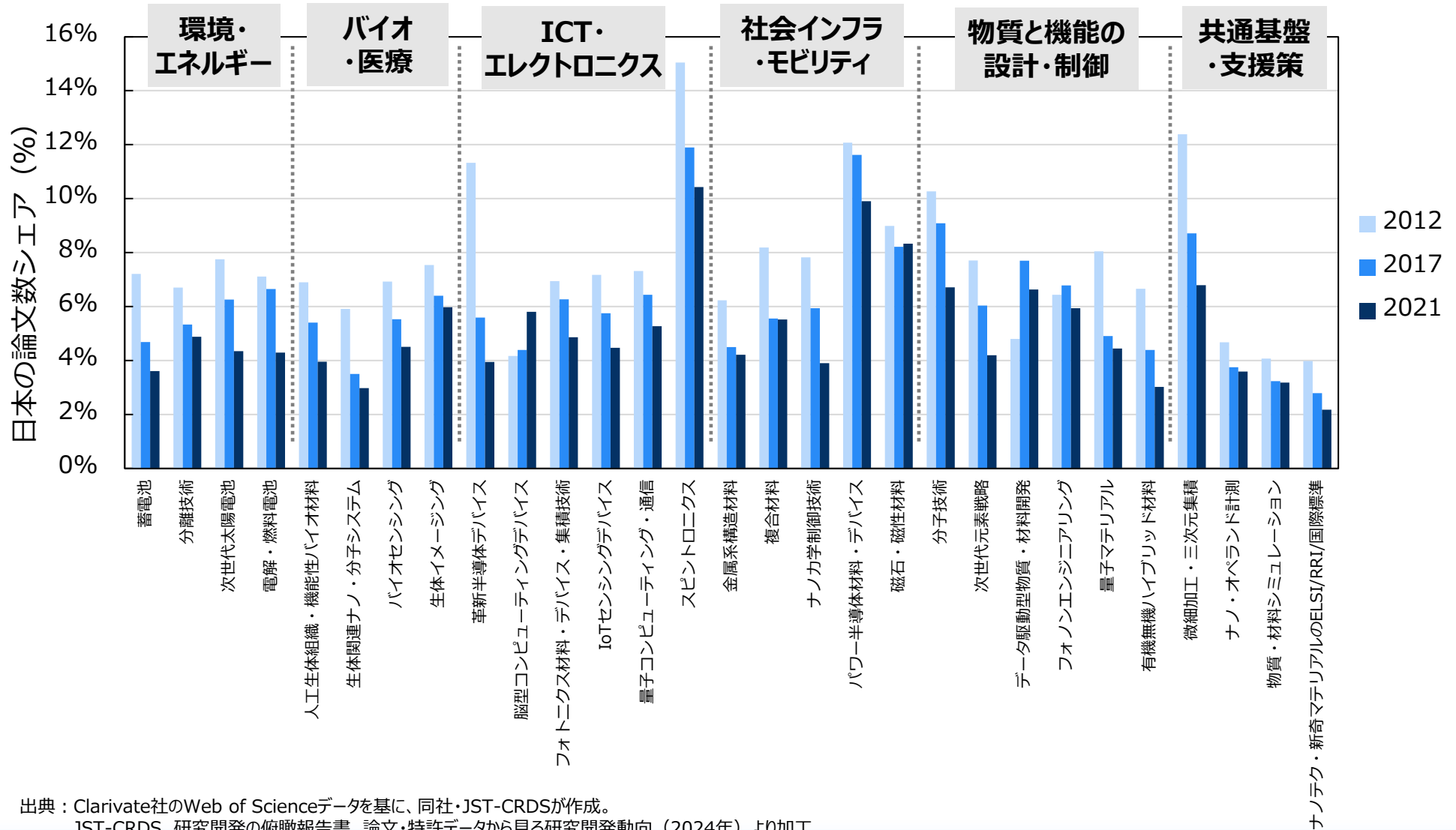
Top10%論文数



出典：Clarivate社のWeb of Scienceデータを基に、同社・JST-CRDSが作成。

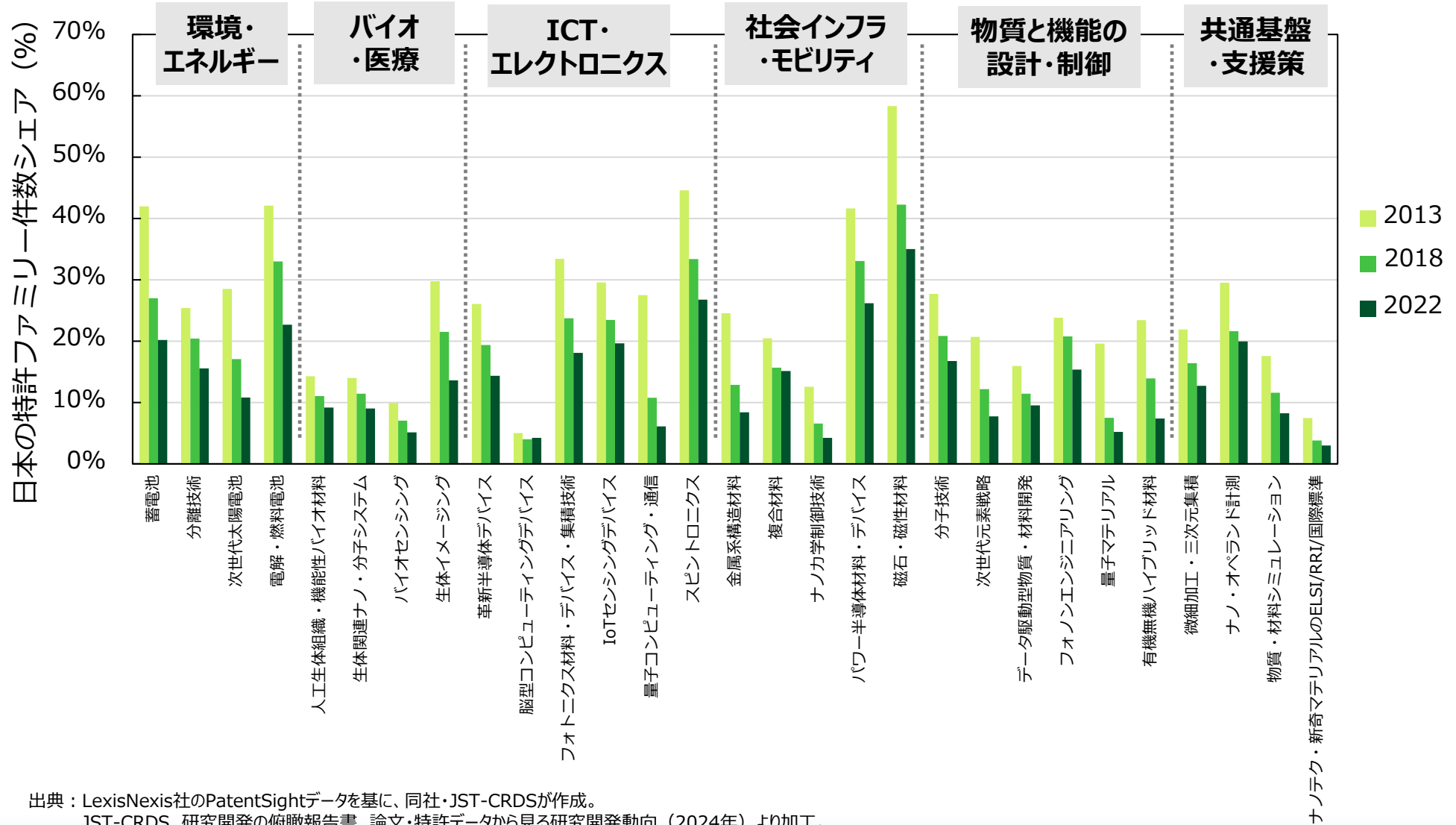
論文検索式には、“Z. Wang, et al., *J. Nanopart. Res.* **21**, 199 (2019).”で報告されているナノサイエンス・ナノテクノロジー分野を定義する検索式に、Web of Scienceの「材料科学」分野を加えたものを使用。

日本の論文数シェアの変遷 – 研究開発領域別



出典：Clarivate社のWeb of Scienceデータを基に、同社・JST-CRDSが作成。
 JST-CRDS 研究開発の俯瞰報告書 論文・特許データから見る研究開発動向（2024年）より加工。

日本の特許数シェアの変遷 – 研究開発領域別



国内外の主要学会の会員数の変化

【日本】

学会名	会員数（近年）	会員数（過去）
応用物理学会	17,478（2023年12月）	21,033（2013年12月末）
日本化学会	22,729（2024年2月末）	29,722（2014年2月末）
日本金属学会	4,605（2024年2月末）	5,569（2014年2月末）
高分子学会	7,670（2024年3月末）	11,283（2014年3月末）

【海外】

学会名	会員数（近年）	会員数（過去）
(米) Materials Research Society	>13,000（2024年9月）	16,600（2013年）
(米) American Chemical Society	>200,000（2023年末）	161,000（2013年）
(米) American Physical Society	49,701（2022年）	51,523（2014年）
(英) Royal Society of Chemistry	56,383（2023年）	>49,000（2013年）
(独) German Chemical Society	29,154（2024年1月）	30,446（2014年1月）
(中) Chinese Chemical Society	>120,000（2024年9月）	60,000（2019年）
(韓) Korean Chemical Society	>7,000（2020年11月）	7,095（2016年12月）

今後の研究開発の方向性（例示）

マテリアル研究開発を取り巻く環境、日本の状況、世界的研究開発動向の観点を踏まえ、CRDSにおいて複数回のワークショップ等を含む調査検討を経て同定した**12の研究開発テーマ・方向性**の例示

1	先進半導体材料・デバイス技術	ポスト5GやAI活用に向けた、高速・大容量・低消費電力な半導体デバイスの開発。新たな材料や回路、チップ構成技術が必要。	7	生物機能を活かすハイブリッド材料	非生物材料と生物由来材料を合わせた、生物機能を活かした機能性材料の創出。高度な生体適合性や環境応答性を実現。
2	量子特有の性質の操作、制御、活用	「状態の重ね合わせ」や「量子もつれ」などを動作原理とし、量子計算、量子暗号・通信、量子センシングなどを高性能化。	8	ナノスケール高機能材料	ナノスケール構造をボトムアップ的に制御・設計した高機能材料の開発。物質の吸着・分離やエネルギー変換などへ応用。
3	電気-物質エネルギー高度変換技術	再生可能エネルギーを最大限活用するための次世代蓄電デバイスの開発。水電解・燃料電池や、電力を介したCO ₂ やN ₂ からの化学合成も注目。	9	極限環境下の高信頼性材料	航空・宇宙・フュージョンエネルギー等、極限環境下で動作する高信頼性材料の創出。インフラの多様化や安全保障上の要請も。
4	マルチスケール熱制御技術	デバイスの廃熱利用や集積回路の放熱など、ナノからマクロまでのスケールを跨いだ熱流制御技術の開発。	10	マテリアルDX基盤技術	データ活用により材料開発を加速。データ科学手法やハイスループット実験技術の開発。データの管理・共用も重要。
5	資源循環と炭素循環を両立する材料技術	希少資源の代替/使用量削減/分離・回収に関する技術や易分解材料術などの開発。環境負荷の定量的評価手法の確立も必要。	11	オペランド・マルチモーダル計測	動作中のデバイスから多様な情報を同時観測するオペランド・マルチモーダル計測。計測データの処理手法の開発も重要。
6	生体適合性の拡張的理解と制御	生命科学の新たな知見を取り込みながら、材料と生体の間の相互作用を制御。医療材料・ヘルスケアデバイスの多様化へ。	12	新物質・新材料の戦略的ガバナンス	産学官による安全性評価研究と国際標準化提案の推進。国際的なビジネス展開と、社会とのコンセンサス形成へ。

JST-CRDS 研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー材料分野（2024年）より

わが国におけるマテリアル研究開発検討の論点・課題提示

日本の科学技術全般に共通する論点・課題

1. 研究力：研究の国際的な存在感の低下

- 注目論文の割合が低下
 - 国際共著・引用のネットワークに十分に入れていない
- 国際学会の招待講演や論文誌のエディターの数が少ない
 - 海外からの認知度が高い研究者数が減少

2. イノベーション：研究成果を産業競争力へ転換できていない

- テクノロジー・エンジニアリング・インテグレーション力不足
 - 基礎研究の強みを産業の強みへと繋がられていない
 - 産業上重要であっても、論文になりにくい領域が敬遠されがち

3. 人口減少時代における研究開発人材

- 理工系や研究開発職への魅力・インセンティブが不足
 - 将来のキャリアパス・処遇への不安
- 海外の人材は日本より他の先進国を選ぶ
 - 他主要国と比べて研究環境や処遇条件が劣後

4. 伝統領域の衰退、連携・融合の不足

- 重点化や流行により学問領域の淘汰が加速
 - 現在の産業規模は大きくない分野や、成熟し尽くしたと見なされる領域などで、基盤的なアカデミア研究が衰退

マテリアル分野における状況

- 論文総数・高被引用論文数ともにシェアは低下
- **高被引用論文数のシェアは他分野と比べても低い**
- 国際学会の招待やエディターの数も低下、新領域開拓の存在感低下

- アカデミアから産業界への**人材供給・受給ギャップ**は顕著
- マテリアル分野の**スタートアップの難しさ**
- 論文が出にくい、新しさが少ない、などの理由で産業上重要な材料研究が未充足

- AIなどの他分野に比べマテリアル分野への**進路希望者は減少**
- 分野の強みや重要性を伝えられていない
- 魅力的な研究環境・拠点や処遇等条件を提示できていない、これらの**変革が遅い**

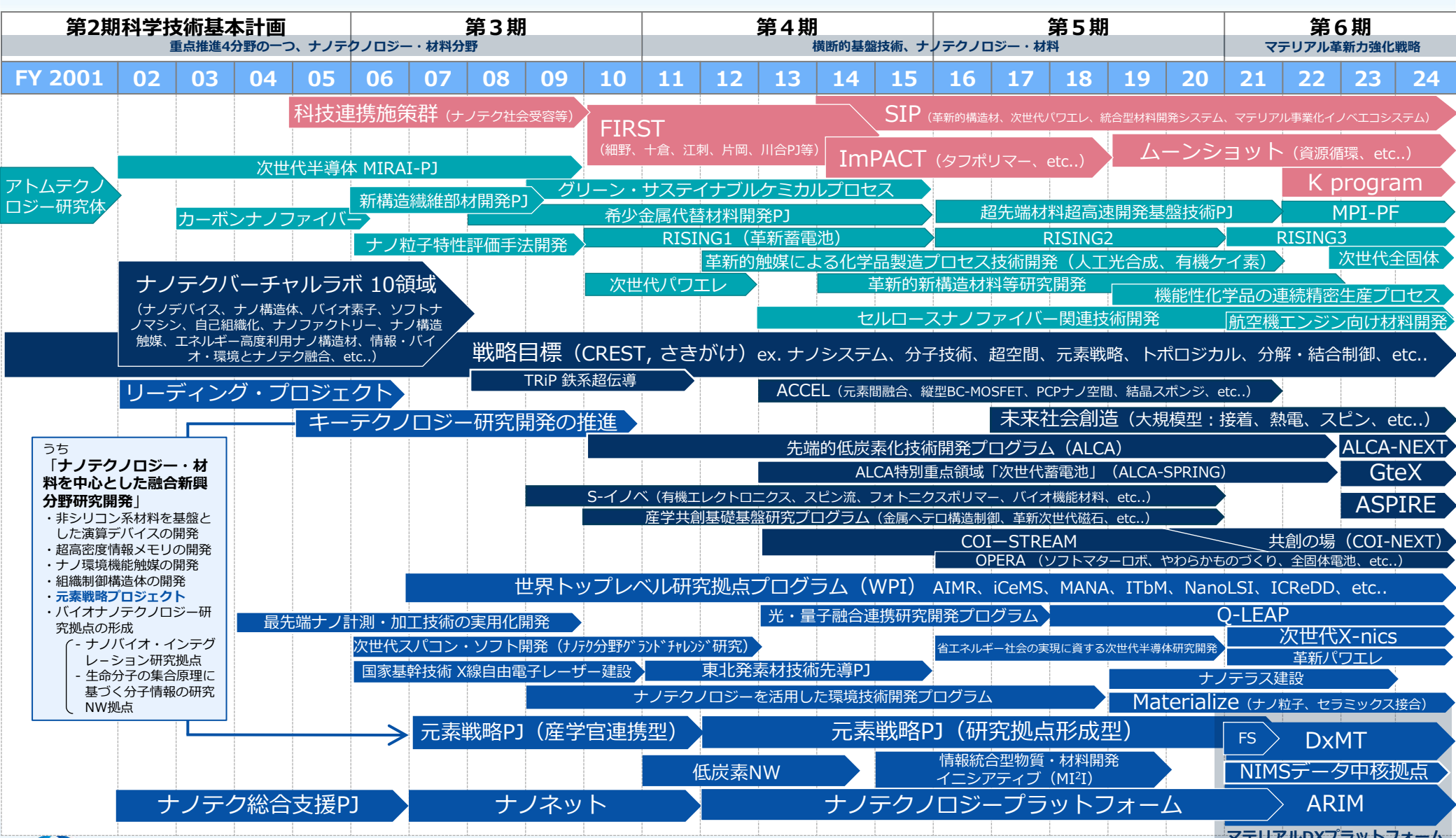
- 例えば鋳業・金属精錬、石油化学・化学工学などの研究室は減少
- **異分野との連携・融合や新規研究手法の導入**などによって**伝統領域を再生・再定義できていない**

以下参考

近年の主要国・地域の主なマテリアル関連政策

 <p>日本</p>	<ul style="list-style-type: none"> マテリアル革新力強化戦略 (2021) 新・素材産業ビジョン (2022)、半導体・デジタル産業戦略 (2023改訂)、蓄電池産業戦略 (2022) マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォーム (2021) マテリアルDXプラットフォーム (2021) : データ中核拠点、ARIM、DxMT 	 <p>欧州</p>	<ul style="list-style-type: none"> Advanced Materials for industrial Leadership (2024) Horizon Europe (2021-2027) : Graphene Flagship、Quantum Flagship、Battery 2030+ 欧州半導体法 (European Chips Act) (2023) 重要原材料法 (European Critical Raw Materials Act)(2024) ナノマテリアルの戦略的規制や国際標準化を先導
 <p>米国</p>	<ul style="list-style-type: none"> CHIPS・科学法 (2022) マイクロエレクトロニクス研究戦略 (2023) 21世紀ナノテクノロジー研究開発法 (2003) 国家ナノテクノロジーイニシアティブ(NNI) (2001年～) マテリアルゲノムイニシアティブ(MGI) (2011～)、MGI戦略計画2021策定 	 <p>英国</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「国家イノベーション戦略：未来を創ることによって先導する」を発表 (2021) : 7つの重要技術群に先端材料・製造、電子工学・光工学・量子、エネルギー・環境技術などを指定 重要鉱物戦略 (2021)、国家量子戦略 (2023)、国家半導体戦略 (2023)、国家バッテリー戦略 (2023)など Materials and Manufacturing Vision 2050 (2023, UKRI)
 <p>中国</p>	<ul style="list-style-type: none"> 第14次五カ年計画 (2021) : 重要な先端科学技術分野に、量子技術、集積回路など指定。各地に研究センター等を重点整備。 国家イノベーション駆動発展戦略綱要 (2016) 中国製造2025 (2015) : 製造強国を目指す産業振興策 国家標準化発展要綱 (2021) : 品質強国を目指す 	 <p>ドイツ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ハイテック戦略2025 (2018-2021) : 「未来技術」にマイクロエレクトロニクス、材料、バイオテクノロジー、人工知能、量子などを指定 未来戦略 (2023) : ハイテック戦略2025を引き継いだSTI基本方針 量子技術のアクションプラン (2023) : 量子技術に30億ユーロの投資 国家水素戦略 (2023改訂) : 国内水素生産の拡大と国外からの輸入
 <p>韓国</p>	<ul style="list-style-type: none"> 第5期科学技術基本計画 (2023) : 12大国家戦略技術に半導体・ディスプレイ、二次電池、水素、次世代原子力、量子など 国家先端戦略産業育成・保護基本計画 (2023) : 4分野 (半導体、ディスプレイ、二次電池、バイオ) ・17技術を指定 半導体超強大国達成戦略 (2022)、量子科学技術戦略 (2023)、水素先導国家ビジョン (2021) 	 <p>フランス</p>	<ul style="list-style-type: none"> フランス2030 (2022-2026) : 6つの基盤的条件に、原材料へのアクセスや製造業スタートアップ支援など。10の目標に、小型原子炉、グリーン水素製造、製造業の脱炭素化など。 <ul style="list-style-type: none"> - ナノテック研究のネットワーク「RENATECH+」を支援 - 量子技術国家戦略 (2021) の組み込み - 重要鉱物や金属のバリューチェーン確保のための投資基金の設立

日本におけるマテリアル関連主要施策の流れ



うち
「ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発」

- ・非シリコン系材料を基盤とした演算デバイスの開発
- ・超高密度情報メモリの開発
- ・ナノ環境機能触媒の開発
- ・組織制御構造体の開発
- ・元素戦略プロジェクト
- ・バイオナノテクノロジー研究拠点の形成

（- ナノバイオ・インテグレーション研究拠点
- 生命分子の集合原理に基づく分子情報の研究NW拠点）



材料プロセス × データ科学に関連する施策・プログラム（国内）

施策・プログラム		開始年度
文部科学省	材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業（マテリアライズ）	2019
	ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス	
	全固体電池を実現する接合プロセス技術革新	
文部科学省	科学研究費助成事業 学術変革領域（A）	2021
	デジタル化による高度精密有機合成の新展開（デジタル有機合成）	
JST	未来社会創造事業 共通基盤領域	2021
	マテリアル探索空間拡張プラットフォームの構築	
NEDO	マテリアル革新技术先導研究プログラム	2021
	SiCバルク成長技術の革新に向けたプロセスインフォマティクス技術の研究開発	
	水分解水素製造用光触媒結晶のマテリアルDX研究開発	
	データ駆動科学によるスマートスケラブルケミストリーの確立	
	ファインセラミックスのプロセスインフォマティクス基盤構築	
NEDO	先端計算科学等を活用した新規機能性材料 合成・製造プロセス開発事業	2022
	機能性化学品の連続精密生産の開発	
	ファインセラミックスの革新製造プロセスの開発	

日本の関連する戦略 半導体

■ 「半導体・デジタル産業戦略」 (経済産業省)

➤ 2021年6月策定 ⇒ 2023年6月改訂

- 経済安全保障リスクへの対応がより大きく・現実的な課題に
- 生成系AIの登場と量子コンピュータやAIコンピュータ等の情報処理の飛躍
- エッジ領域における分散情報処理の拡大と消費電力の削減
- ものづくり産業の競争力にとっても絶好機かつ取り残されると死活問題。
- 世界各国・地域も重要性を認識し、異次元の支援策を実施。

➤ 4分野+a：半導体／情報処理／高度情報通信インフラ／蓄電池

➤ 半導体分野

◆ 先端ロジック半導体、先端メモリー半導体、産業用スペシャリティ半導体

➤ 先端半導体の製造基盤確保

✓ TSMC/JASM(熊本)、KIOXIA/Western Digital(四日市)、Micron(広島市)

➤ 次世代半導体

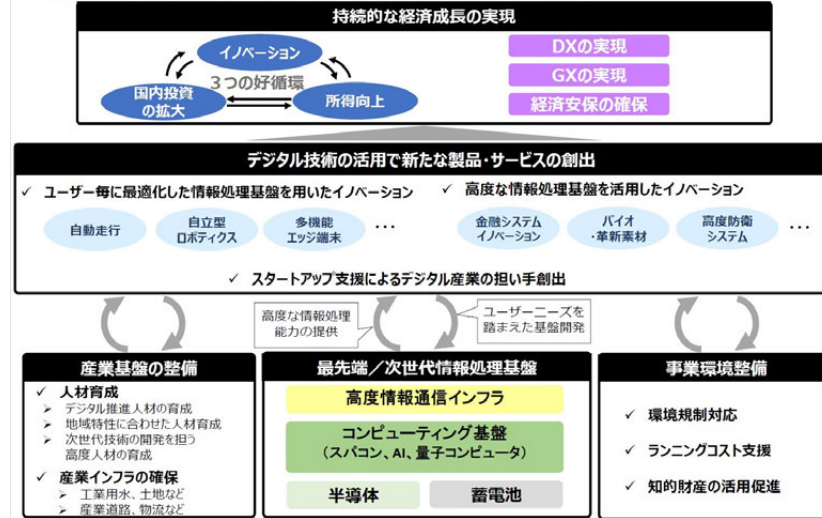
✓ 研究開発拠点：LSTC 設立 (Leading-edge Semiconductor Technology Center)

✓ 量産製造拠点：Rapidus (株) (IBM、imecと連携)

◆ 先端パッケージ

◆ 製造装置、部素材、原料

半導体・デジタル産業による付加価値創出のエコシステム



出展：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略 2023.6
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/semicon_digital/kaitei_senryaku.pdf

■ 他に、以下も進行中

- グリーンイノベーション基金：パワー半導体開発
- X-nics：人材育成を行い拠点事業が進行中

日本の関連する戦略 カーボンニュートラル、量子技術

◆ カーボンニュートラル

■ 「2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略」

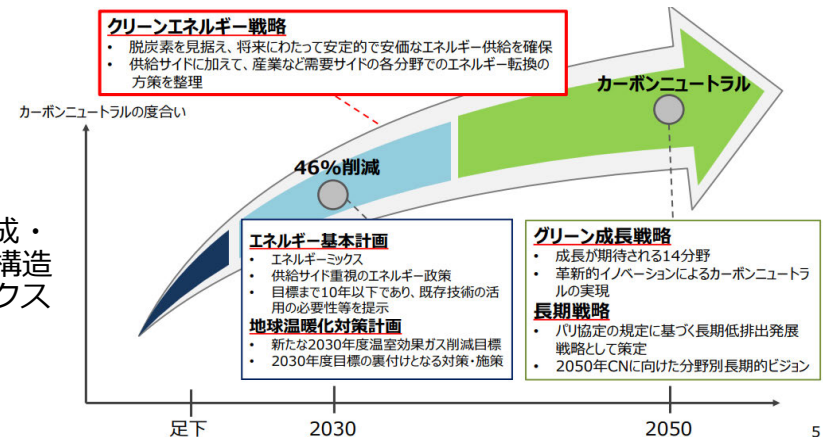
- 2021年6月
- グリーンイノベーション (GI) 基金：2兆円。2021年～
 - ・ 次世代太陽電池。水素製造（水電解）、水素製鉄、アンモニア合成・利用、CO2利用（機能性材料・燃料）、蓄電池、モーター、軽量構造材料（風力発電・航空機）パワー半導体、光電融合エレクトロニクス

■ 「クリーンエネルギー戦略」：2022年 中間整理

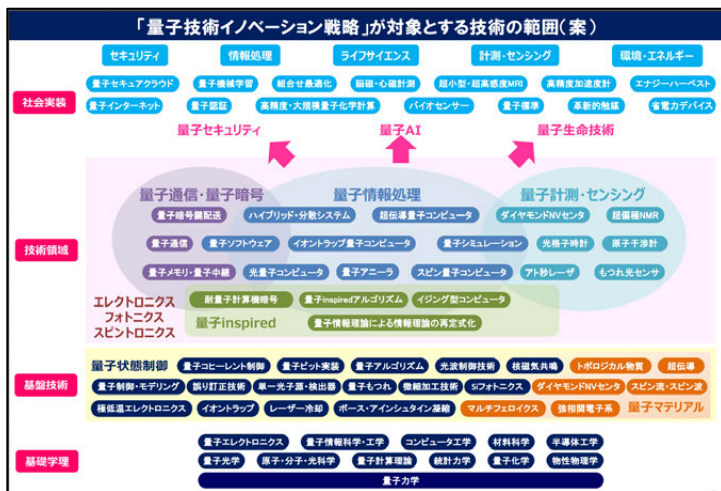
■ 革新的GX技術創出事業(GteX)：500億円/5年。2023年～

- ・ 3領域：蓄電池、水素・燃料電池、バイオものづくり

■ 先端的脱炭素化技術開発(ALCA-NEXT) 10億/年。2023年～



出展：クリーンエネルギー戦略 中間整理。経産省。2022.5
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/bas ic_policy_subcommittee/carbon_neutral/report_20220519_01.pdf



出展：量子技術イノベーション有識者会議 2019.11
<https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/6kai/siryoy1-3.pdf>

◆ 量子技術関連

■ 「量子技術イノベーション戦略」

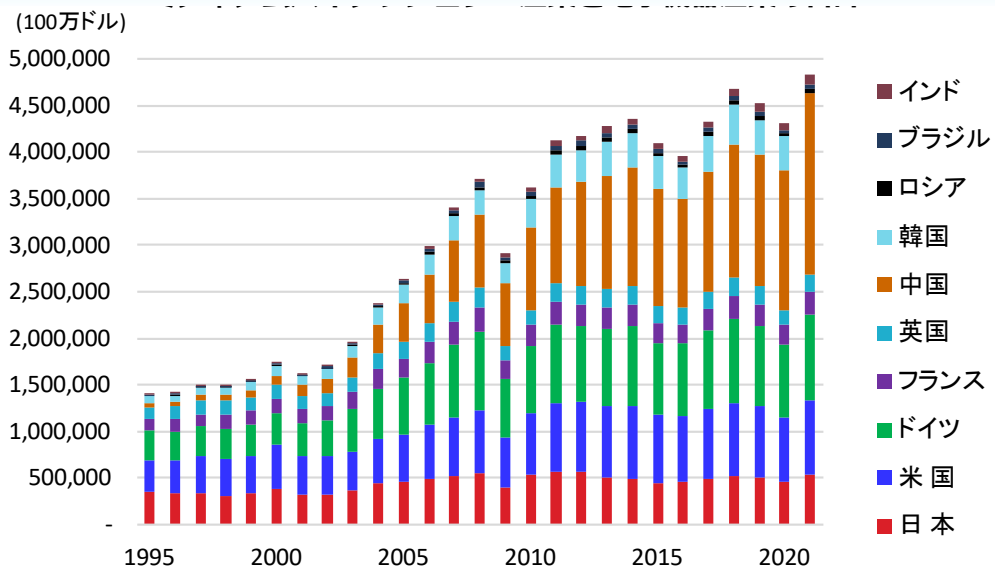
- 2020年1月 ⇒ 「見直し検討」2021年10月開始
- 4領域：量子コンピュータ・量子シミュレーション、量子計測・センシング、量子通信・暗号、量子マテリアル（量子物性・材料）

■ 「量子未来社会ビジョン」 2022年4月

■ 「量子未来産業創出戦略」 2023年4月

■ 「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」 2024年4月

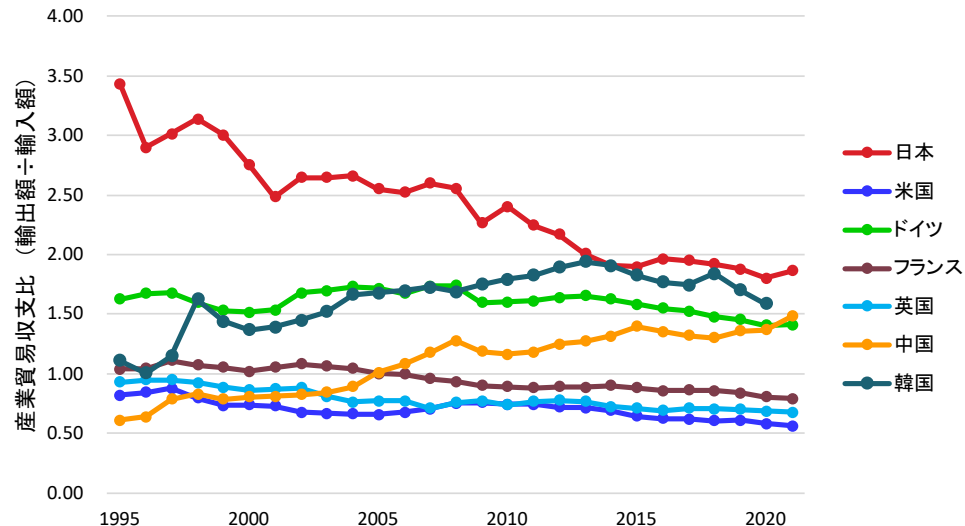
マテリアル関連産業の貿易動向



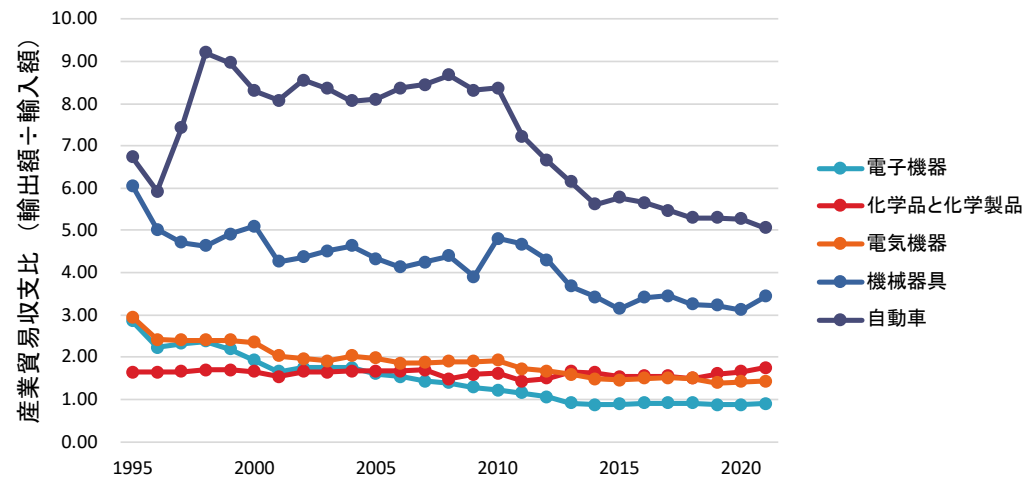
主要国の輸出額

メディアムハイテクノロジー産業と電子機器産業の合計

ハイテクノロジー: 「医薬品」「電子機器」「航空・宇宙」
 メディアムハイテクノロジー: 「化学品と化学製品」「電気機器」「機械器具」「自動車」「その他輸送」「その他（磁気・光学メディア、医療及び歯科用機器・備品など）」



主要国のメディアムハイテクノロジー産業と電子機器産業の合計の貿易収支比



日本における産業ごとの産業貿易収支比

JST-CRDS 研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー材料分野 (2024年) より
 (元データは、文部科学省 科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2023」)

日本が誇るナノテク・材料研究による社会的・経済的なインパクト

磁石

本多光太郎（世界初合成磁石@1917）
佐川真人（世界最強の永久磁石@1984）
→モーター、電気自動車、風力発電、HDD

炭素繊維強化複合材料

進藤昭男（PAN系炭素繊維@1961）
→航空機・自動車用CFRP

光触媒

本多健一、藤嶋昭（TiO₂光触媒@1968）
橋本和仁（@1994）
→光触媒コーティング、環境浄化

触媒（有機合成）

根岸英一、鈴木章（カスカップリング@1970代）
野依良治（不斉合成反応@1986）
→創薬、農薬、香料、アミノ酸

リチウムイオン電池

吉野彰（炭素負極@1985）
→モバイル機器、電動車、大規模蓄電

カーボンナノチューブ

飯島澄男（カーボンナノチューブ発見@1991）
遠藤守信（CVDによる大量合成@1988）
→Liイオン電池材料、タッチパネル

スピントロニクス

岩崎俊一（垂直磁気記録方式@1977）
宮崎照宣（TMR素子室温動作@1995）
湯浅新治（MgOバリアで巨大MR@2004）
→超高密度磁気ストレージ、MRAM

青色LED, LD

赤崎勇、天野浩（GaN単結晶、p@1989）
中村修二（高輝度青色LED、LD@1993）
→LED照明、ディスプレイのバックライト、信号機

酸化物材料

細野秀雄（IGZO材料、TFT動作@2004）
→透明電極、LCD・OLEDディスプレイ駆動TFT

その他にも、超伝導（前田弘 Bi系@1998、秋光純 MgB₂ @2000、細野秀雄 Fe系 @2008）
Erドープ光ファイバー増幅器（中沢正隆）@1989等
ノーベル物理学賞受賞者11名、化学賞受賞者8名

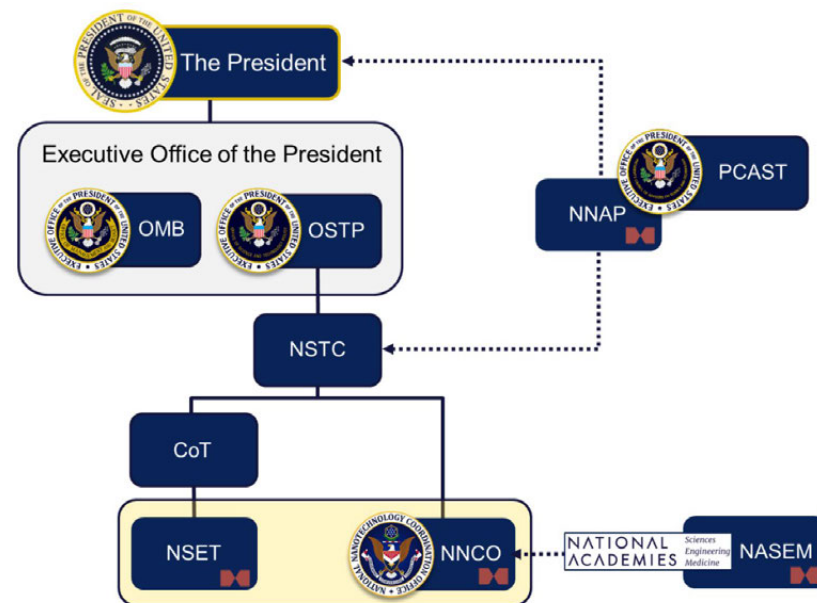
JST-CRDS 研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー材料分野（2024年）より

米大統領科学諮問会議(PCAST) : 国家ナノテクノロジーイニシアティブ 第7次評価 (概略)

概要

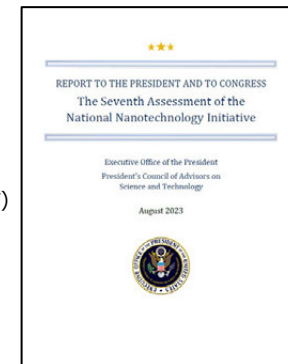
- 米国家ナノテクノロジーイニシアティブ (NNI) は、クリントン元大統領が2000年に発表後、「21世紀ナノテクノロジー研究開発法」のもと国家計画として実施。5年毎に戦略計画を更新し、NNI開始から20年が経過。
- 本法は科学技術政策局 (OSTP) における国家科学技術会議 (NSTC) の技術委員会の下に、**ナノスケール科学・工学・技術 (NSET) 小委員会**、及び**国家ナノテクノロジー調整局 (NNCO)** 並びに**国家ナノテクノロジー諮問委員会 (NNAP)** の設置を定めている。NNAPは、NNIを定期的に見直す目的でPCAST内に設置された評価委員会。さらにNNCOは、全米科学・工学・医学アカデミー (NASEM) にも評価を委託しており、NNIの開始以来、計12回 (内、PCAST-NNAPが6回、NASEMが6回) の評価を実施している。現在では、それぞれ4年毎に評価を公表している。
- 今回、PCAST-NNAPはNNIの評価を行い、評価結果およびNNIの今後へ向けた提言を公表した。提言項目は以下の3つ

提言 1	PCASTは、21世紀ナノテクノロジー研究開発法の廃止または大幅な改正をするために、大統領と議会が協力することを提言
提言 2	PCASTは、OSTP長官がNSTC事務局長と協力して、NSET小委員会にナノテクノロジー戦略計画、実施、アウトリーチの連邦内調整のためのリーダーシップを継続するよう指示することを提言
提言 3	PCASTは、NSET小委員会に対し、ナノテクノロジーや他の先端技術に必要なとされる協調的・学際的な労働力を創出するため、学生・科学者のナノテクノロジーに関する体験学習プログラムの強化を提言



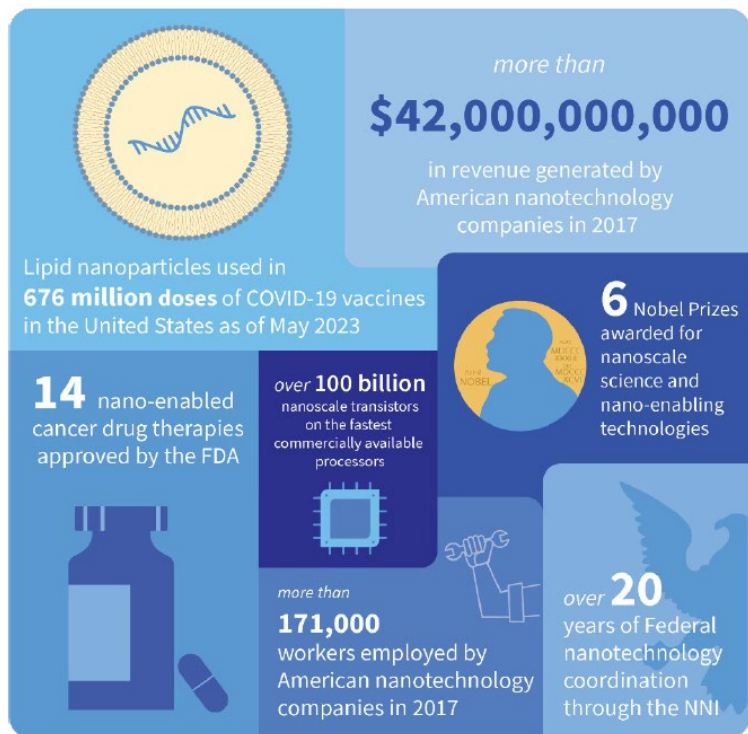
米国NNIの組織図

- 行政管理予算局 (OMB)
- 科学技術政策局 (OSTP)
- 国家科学技術会議 (NSTC)
- 技術委員会 (CoT)
- ナノスケール科学・工学・技術小委員会 (NSET)
- 国家ナノテクノロジー調整局 (NNCO)
- 国家ナノテクノロジー諮問委員会 (NNAP)
- 全米科学・工学・医学アカデミー (NASEM)



https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/08/PCAST_NNI_Review_August2023.pdf

米国家ナノテクノロジーイニシアティブ (NNI) が達成した成果 (第7次評価)



NNIが達成した成果認識

- 米国は30年以上にわたり、国内の大学、民間企業、連邦政府機関、国立研究所にまたがる無数の科学者やエンジニアの総力を結集し、ナノスケールでの物質に対する理解と制御能力を拡大するナノスケール研究の道を切り開いてきた。
- こうした取り組みは、現代の差し迫った課題に対応しており、ナノテクは太陽エネルギー利用のコストを劇的に削減し、EV用バッテリーの性能を向上させるなど、米国が2050年までにカーボンニュートラルを実現する道を加速させた。
- COVID-19ワクチンを実現した脂質ナノ粒子や、ナノテクを用いたがん治療など、救命治療に採用されている。また、ナノスケール微粒子研究は、ナノマテリアルを含む製品を使用する労働者や消費者を保護する安全基準に反映されている。
- これら**広範な技術成果は、米国の経済成長を促進し、米国民へ研究投資に対する大きな見返りをもたらしている。**
- 2017年には、**ナノテクノロジー企業と認定された3,700以上の企業が、171,000人以上の労働者を雇用し、420億ドルの収益を計上した。**これらの企業の製品は、他の多くの産業を支え、可能にしている。

図 ナノテクノロジー研究の成果

- CDC COVIDデータトラッカー：米国におけるCOVID-19ワクチン接種 (2023)
- NNIが米国経済に与える影響：1年間で少なくとも420億ドル(2022)
- ナノテクノロジーによって実現したがん治療
- 6つのノーベル賞、2007、2010、2014物理学賞、1996、2014、2016化学賞は、ナノスケール研究に直接関連するものとして、専門家レビューを通じ特定された

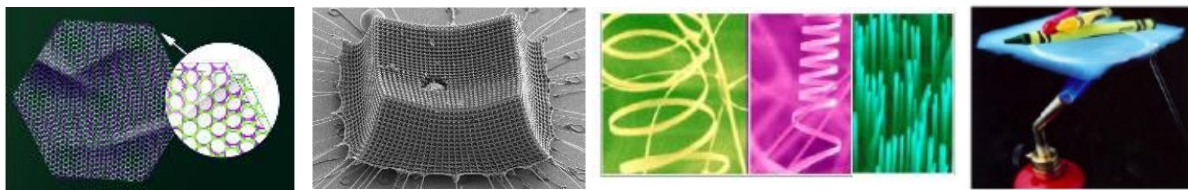


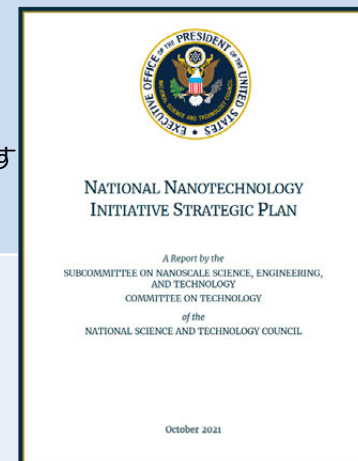
図 ナノスケールで生じる新しい材料特性の例

- 左：二層グラフェンのツイストはツイストロニクスによる新規デバイスに発展
- 中左：ボディーマーテクノロジーによる、弾道・耐衝撃性材料開発
- 中右：同じ化学組成のナノスケール材料でも、形状によって電気的特性が変化
- 右：ナノ材料複合体は極端な熱に対して高い耐性を示す

https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/08/PCAST_NNI_Review_August2023.pdf

NNI 戦略計画2021/5つのゴール

No.	項目
ゴール1. 研究開発において世界トップの座を維持	<ul style="list-style-type: none"> 世界レベルのナノテクノロジーR&Dを実現し進展させる NNI 参加機関の間のターゲットを絞った協働を通じて共通の関心分野を進展させる 連邦政府の既存及び新規の優先事項・イニシアティブとNNIのつながりを強化する ナノテクが世界的問題に対処することができる分野に取り組みを集中させる 共通の関心分野における国際的協働とコミュニケーションを推進する。
ゴール2. R&Dの商業化促進	<ul style="list-style-type: none"> ナノテク起業家コミュニティの訓練及び強化、支援を行う 国内のあらゆる地域においてナノテクの商業化を支援するために、地域イノベーションエコシステムと協働し、つながりを強化する 技術開発経路の後半を支える連邦政府の活動に対する認識を高め、調整を行う（ロードマップを作成する「タイガーチーム」を設置） ターゲット分野における官民パートナーシップを構築・拡大する
ゴール3. 研究、開発、実用化を持続的に支援する研究インフラの提供	<ul style="list-style-type: none"> ナノテクR&Dインフラを支援する連邦政府の取り組みを調整する 重要なナノテクインフラの開発と入手性を支援する 米国全土において全ての米国人のためにナノテク研究開発インフラへのアクセスを促進する データベースの相互運用性とベストプラクティスを推進することでデータの共有を促す 研究インフラからプロトタイピング・試験・製造リソースへの移行に対する認識を高め、経路を支援する ターゲットとする技術分野においてテストベッドとプロトタイピング施設を整備する 特殊なナノテクインフラを活用した教育及び訓練、人材開発の機会を提供・促進する
ゴール4. パブリック・エンゲージメントを求め、ナノテク人材を拡大	<ul style="list-style-type: none"> ナノテクを用いて、科学・技術・工学・数学の学位及びキャリアパスを追求する学生を増やす 教員訓練を提供し、ナノテク教育リソースへのアクセスを促す 学生の研究及びインターンシップ、交流、国際経験の機会を促進・拡大する 特殊なナノテクインフラを活用した教育及び訓練、労働力開発を提供・推進する 労働者を、ナノテクを活用した新技術に関する高度な仕事に備えさせる ナノテク人材を拡大・多様化する ナノテクの科学及び用途、影響に関連する問題について一般市民に情報を提供し、参画を求める
ゴール5. 責任ある開発を保証	<ul style="list-style-type: none"> ナノテクの責任ある開発に関連する連邦政府の活動の調整を行う ナノEHSに関する科学的理解を進展させ、幅広く共有する ナノテク活用製品及びナノマテリアルの研究、商業化における責任ある開発の原則の採用を支援する 教育・訓練プログラムにおける責任ある開発の原則の採用を奨励する ナノテクの責任ある開発を支援するために国際的エンゲージメントを強化する

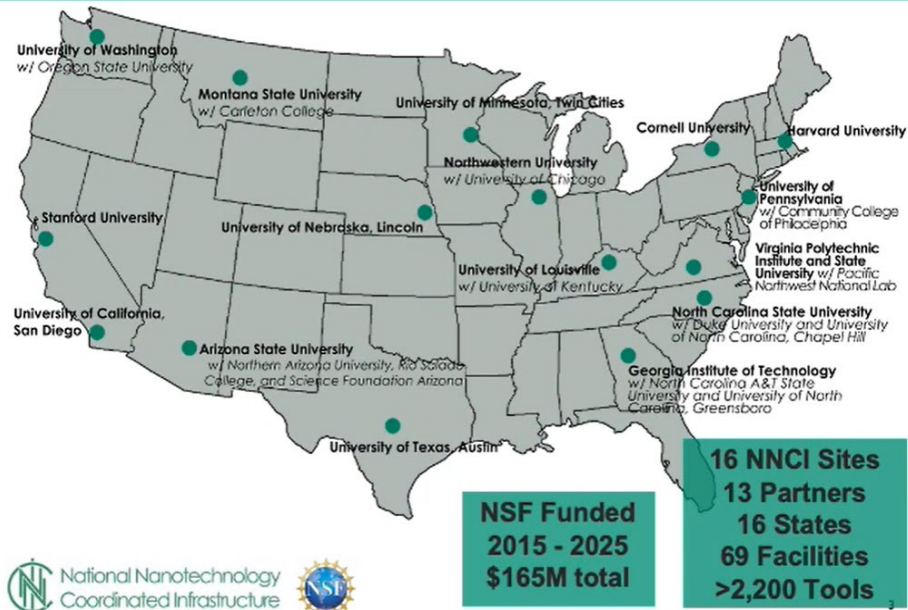


全米にわたる広範な先端ナノテクノロジー研究インフラ (第7次評価)

研究インフラ

- 連邦政府機関は、ナノテク研究開発を推進するための広範な研究インフラを構築した。NNI の参画省庁・研究機関は、ナノテクノロジーに特化した研究資金と、応用に特化した研究資金との両方を通じて、研究投資をおこなった。
- NNI参画機関は、連邦政府、学術機関、および民間の研究者がナノスケール研究に必要な先端設備と専門知識を利用できるようにする研究センターと研究所ネットワーク（研究インフラネットワーク）を設立した。
- 2022 年度には、NSFの国家ナノテクノロジー・コーディネーター・インフラストラクチャー（NNCI）の 16 主要拠点で、約 100 万時間の研究施設利用を記録、このうち NNCI 外の利用者が 25%を占めた。
- これらの基盤のもと、NNIを通じ米国はナノテクの世界的リーダーとしての地位を確立した。
- 米国はナノテクに関する国家イニシアチブを創設した最初の国のひとつであり、2011年までに49カ国以上がこれに続いた。
- 米国の研究機関や企業の科学者たちは、引用度の高い論文や特許で世界をリードする一方、連邦政府は、国際協力やナノテクのリスクと利点の共通理解、ナノテク活用製品やサービスの世界市場を実現する枠組みを確立した。

NNCI Network



<https://nnci.net/>

https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/08/PCAST_NNI_Review_August2023.pdf

米国のナノテクノロジーを未来に向けて位置づける (第7次評価)

- 現在のナノテクは、NNI開始時とは異なる連邦政府調整が必要。今日、各省の研究公募は、ナノテクの特定側面に関する研究募集よりも、ナノテクが解決策のひとつとなりうる各省の目標に取り組む研究を要求する傾向が強まっている
- 研究者はより広範な文脈で、ナノスケールの特性や材料を研究したり、異なる分野や技術と統合する傾向がある
- 次世代ナノマテリアル・技術は、半導体の性能を向上させ、国内製造能力を強化する。希少重要鉱物を補い代替することで、米国経済と国家安全保障を強化する
- 例えば、ナノマテリアルの基礎研究は現在、量子コンピュータの部品や宇宙船の軽量ヒートシールドを開発するために行われている。また、分子やタンパク質間の相互作用に関する知識は、生化学プロセスの理解を深め、医薬品開発を最適化することに利用されている
- 20年間の連邦政府の累積投資額は407億ドル。2008年以降は毎年15億ドル超新興技術にふさわしく、2001~2010年度にかけ5億ドルから18億ドルへと急増し、その後は成熟技術にふさわしく、2019~2022年度にかけては18~19億ドルで頭打ちとなった**
- 各省はNSETとNNCOの取組みが、ナノテクの成熟に不可欠であることを確認し、省庁間の協力を促進するメカニズムとしてのNNIの有用性を指摘**
- 調査結果は、2000年代に新興技術としてのナノテクノロジーに有効であった連邦組織構造が、成熟分野としての文脈で再考されるべきであることを示している
- 連邦政府の支援構造を現在の科学技術要件に合わせて進化させることで、米国のナノテクが将来を見据え、機敏で革新的であり続けることが保証される

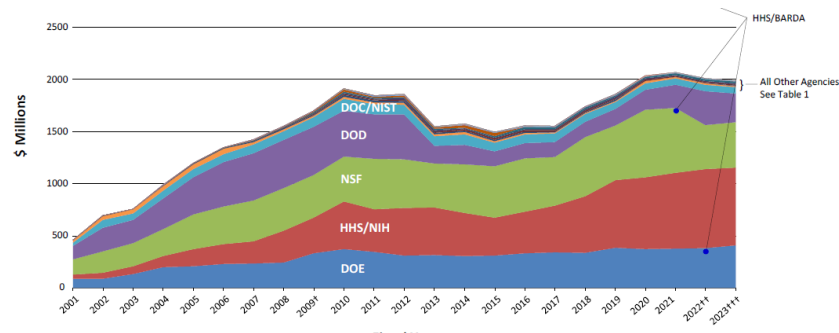
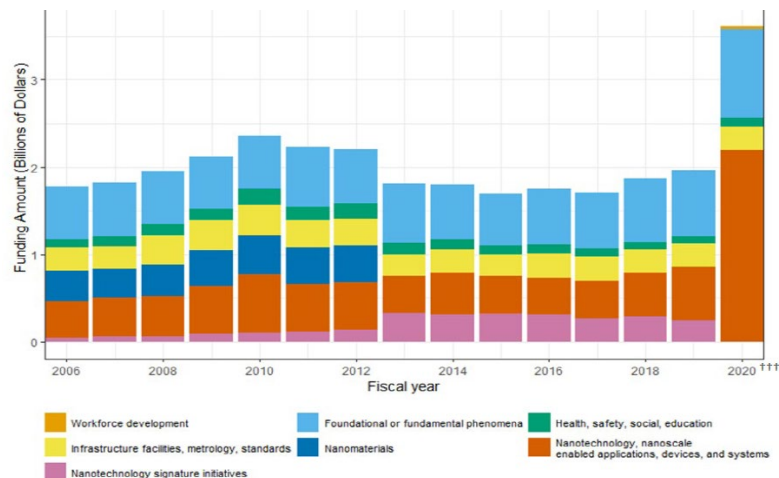


Figure 1. NNI Funding by Agency, 2001-2023.*

* 2021 figures include supplemental funding, BARDA investments (blue dots) not included in line graph totals.
 † 2009 figures do not include American Recovery and Reinvestment Act funds for DOE, NSF, NIH, and NIST.
 ‡ 2022 numbers are based on appropriated levels.
 ††† 2023 Budget.



NNI Supplement to the President's 2023 Budget

https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/08/PCAST_NNI_Review_August2023.pdf

米国 マイクロエレクトロニクス研究戦略

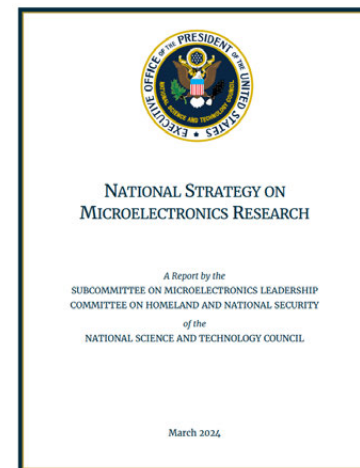
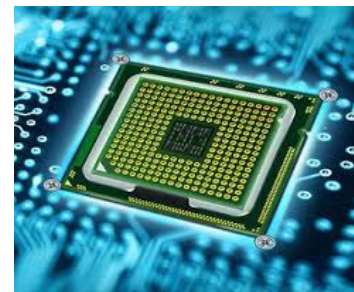
- 名称 : NATIONAL STRATEGY ON MICROELECTRONICS RESEARCH
- 発行年月 : 2024年3月15日
- 発行元 : ホワイトハウス科学技術政策局 (OSTP) 国家科学技術会議 国土安全保障委員会マイクロエレクトロニクス小委員会 (SUBCOMMITTEE ON MICROELECTRONICS LEADERSHIP COMMITTEE ON HOMELAND AND NATIONAL SECURITY of the NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL)

■背景

- **CHIPS・科学法(2022)**より、半導体製造基盤の成長とマイクロエレクトロニクスの研究開発のため**520億ドル以上**の予算を計上
- CHIPS法を効果的に実施するために政策立案を調整するCHIPS実施運営協議会を設置 (2022年8月25日大統領令)
- ホワイトハウス科学技術政策局(OSTP)は、国家科学技術会議の下に**マイクロエレクトロニクス・リーダーシップ小委員会 (SML)** を設置
- SMLはマイクロエレクトロニクス研究に関する**国家戦略の策定**、研究、開発、製造、安全なサプライチェーンに関する**連邦政府機関の予算調整**、これら活動が戦略に合致しているか確認することに責任を負う

■概要

- 本戦略においてSMLは、マイクロエレクトロニクスの国家戦略として今後5年間に取組むべき4つの目標を設定
 - 次世代マイクロエレクトロニクスのための**研究進展を可能にし、加速する**
 - 研究から製造までのマイクロエレクトロニクスインフラの**支援、構築、橋渡し**
 - R&Dから製造へのエコシステムのための**技術労働力成長・維持**
 - 活力あるマイクロエレクトロニクス・**イノベーション・エコシステムを構築し、研究開発から産業化への移行を加速する**
- 4つの目標に取り組むことで**国内製造業の活性化、良質な雇用創出、サプライチェーン強化、半導体産業における米国の将来のリーダーシップ確保**を目指す



<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/03/National-Strategy-on-Microelectronics-Research-March-2024.pdf>

欧州委員会: Advanced Materials for Industrial Leadership (概要)

- 欧州委員会 (EC) は**2024年2月27日**、欧州圏の産業界が**先端材料のリーダーシップを確保**することに向けた戦略を示す文書を発表
- 同文書では、EUの長期的な競争力強化と、経済安全保障観点での対外依存の低減を掲げ、グリーンとデジタルを軸に、循環経済や欧州半導体法 (Chips Act) の実行においても不可欠な**先端材料のエコシステム強化**を目指すとしている
- 同文書は先端素材に関する**EU共通のアプローチ**策定に向けたもので、今後、戦略・施策の具体化や体制を構築する
- Horizon Europeのもと、**2025~2027年**に**かけ5億€** (うち少なくとも半分の2.5億€は民間投資を想定) の投資を目指す

【目指すビジョン】

先端材料におけるEUの産業的リーダーシップの確保

- ▶ レジリエントで開かれた戦略的自律性の確立
- ▶ グリーンとデジタルの両翼への移行の促進

【本戦略における目標】

先端材料の動的で安全かつ包括的なエコシステムの構築

- 研究開発におけるリーダーシップを確保する
- イノベーションの迅速な市場展開

先端材料

優れた性能や特別な機能を備えるべく設計・合成された材料

(例)



太陽光パネルのエネルギー変換効率を高める金属ナノ粒子



より安価で持続可能なエネルギー貯蔵を可能にするナトリウムイオン電池



建材の自律的室温調整を可能にする熱変色性マイクロカプセル



フレキシブル電子デバイスのためのエラストマーやナノ結晶

【取り組むべき課題】

- R&Iエコシステムの断片化
- 高まる民間投資ニーズ
- 循環性や材料利用効率が不十分
- 長期の開発過程とデジタル化の遅れ
- 革新研究と産業応用・製造間の断絶
- 試験・実験設備の不足
- 統一規格の必要性
- 高度技能人材の不足

【アクション：5つの柱】



柱 1:

先端材料の欧州の R&I: レジリエンスと開かれた戦略的自律性に向けて



柱 2:

基礎研究 (lab) から産業 (fab) への迅速な展開



柱 3:

設備投資と研究開発費支援の増強



柱 4:

先端材料の製造と使用の促進



柱 5:

包括的なガバナンス体制の構築

先端材料への期待、本戦略における目標

先端材料：優れた性能や特別な機能を備えるべく設計・合成された材料（OECDでも検討・定義が進む）

- ・ 欧州の産業競争力における重要な要素¹
- ・ 経済安全保障上の10の重要技術にも含まれる²
- ・ 経済・産業の多様な側面で寄与し、今後数年で大幅な需要の増大が見込まれる：
（クリーンエネルギー技術、電池、ゼロ・エミッション建築、希少元素材料の代替、半導体技術、宇宙・航空、防衛、農業・医療 など）（※EUの関連する戦略を参考資料に示す）

【目標】

先端材料のダイナミックで安全かつ包括的なエコシステムを構築する

- 研究開発におけるリーダーシップを確保
- イノベーションの迅速な市場への展開

実現のための要件

1. EU、各国・地域のR&Iに関する優先的事項を、**欧州共通のアプローチ**と**民間投資の増大**によって調整する必要がある
2. 開発者や中小企業に対し、循環性や持続可能性に資する優れた性能や特性を持つ材料の設計や評価ができるよう支援する必要がある
3. 先端材料のより大規模で迅速な展開は、両翼（グリーン、デジタル）の移行への市場のカタリスト（触媒）として機能し、またEUのレジリエンスや経済的安全性の向上に資する必要がある

(1) Materials 2030 Manifesto

(2) Critical technology areas for the EU's economic security for further risk assessment with Member States, C(2023) 6689 final

取り組むべき課題 (Challenges for creating an inclusive ecosystem for advanced materials)

(1) 研究－イノベーション (R&I) エコシステムの断片化

少数の加盟国のみが特定の材料戦略有し、残りは一般的な国家プログラムで材料研究がされている。連携・調整された戦略なしには、R&Iの公共リソースをEUの競争力強化や技術革新へ効率的に活かせない。

(2) 増大する需要に対して民間投資が不十分

EUの産業R&I投資は米国の半分以下。また、EUの産業界所有の特許数は世界5位で国際的地位が弱まっている。

(3) 循環性や材料利用効率の不十分

EUの循環型材料の利用率は12%以下と停滞。材料R&Iでは循環性が重視されておらず、材料使用の流れに対する深い理解も不足している。

(4) 長期に渡る開発過程とデジタル化水準の低さ

従来の先端材料開発には10-30年掛かる。研究開発のデジタル化により新材料開発の加速・複雑化が期待される。

(5) 革新的研究と産業応用・製造の間の溝

研究と産業の間のギャップにより、連携や戦略的調整が限定され、先端材料の産業への展開が妨げられている。

(6) 評価や実験のための設備が足りない

製品の上市へは実験・試作・評価・制御のための技術設備が必要。欧州内の既存インフラを繋げ広域的連携を。

(7) 統一された規格・標準が必要

材料の特性、性能、安全性、持続可能性に関する統一的評価法は、新材料の信頼性確保やデジタル化に有用。

(8) 技能の不足

先端材料の研究者・技術者には多様な分野を跨いだ技能が必要。AIを含むデジタルツールの使用も求められる。専門職の人材プールや、技能を備えたスタートアップ創業者も有用。

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1121

アクションの提言：5つの柱

柱 1:
先端材料の欧州のR&I:
 両翼（グリーン、デジタル）の
 移行と、EUのレジリエンスと戦
 略的自律に向けて

- ・加盟国と産業界で、先端材料のR&I投資に関する**共通の目標や優先領域**を定める（e.g., エネルギー、モビリティ、建設、エレクトロニクス）
- ・社会経済的/科学技術的な発展および共通の需要を踏まえて、優先領域を更新する
- ・先端材料における希少元素使用の代替促進に関するR&Iニーズを見出す

柱 2:
基礎研究 (lab)から産業
(fab) への迅速な展開

- ・先端材料開発の加速を目指し、**長期的で持続可能なデジタルインフラ**（the ‘materials commons’）を構築する（2025年中期まで）
- ・中小企業を含む開発者が、先端材料の評価やスケールアップのための技術インフラを簡単に利用でき、またその費用の支援も得られる仕組みを提供する（2024年まで）

柱 3:
設備投資と研究開発費支
援の増強

- ・公共-民間パートナーシップによる共同プログラムをHorizon Europeのもと実施し、**2025～2027年に掛けて5億€（うち民間から少なくとも2.5億€）を投資**する
- ・The Joint European Forumで“Important project of common European interest”を協議する
- ・欧州イノベーション評議会（EIC）の支援による先端材料の開発やスケールアップ、ならびに先端材料への投資やスタートアップの取り組みを奨励する
- ・EUファンドを通して先端材料の技術開発・展開に関する公共・民間投資を強化する

柱 4:
先端材料の製造と使用の
促進

- ・**公共調達**と連携して先端材料の使用を促進する
- ・“**Advanced Materials Academy**”を欧州イノベーション技術研究所と設立し（2024年）、カリキュラム構築や資格取得を促進する
- ・先端材料の分野横断的特性の**標準化**をCEN/CENELEC/ETSIおよびISOとの共同で進める（2024年）
- ・先端材料の製造と使用ならびに特許動向の詳細な調査を行う（2025年まで）





柱 5:
包括的なガバナンス体制
の構築

- ・**先端材料技術評議会**（the Technology Council on advanced materials）を加盟国、研究業界、産業界、ECを構成メンバーとして設立し（2024年）、本提言遂行のための助言や支援を行う

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1121

主要国のバイオ製造（バイオエコノミー）関連戦略

※バイオエコノミーの定義・範囲は国・地域によって若干異なる

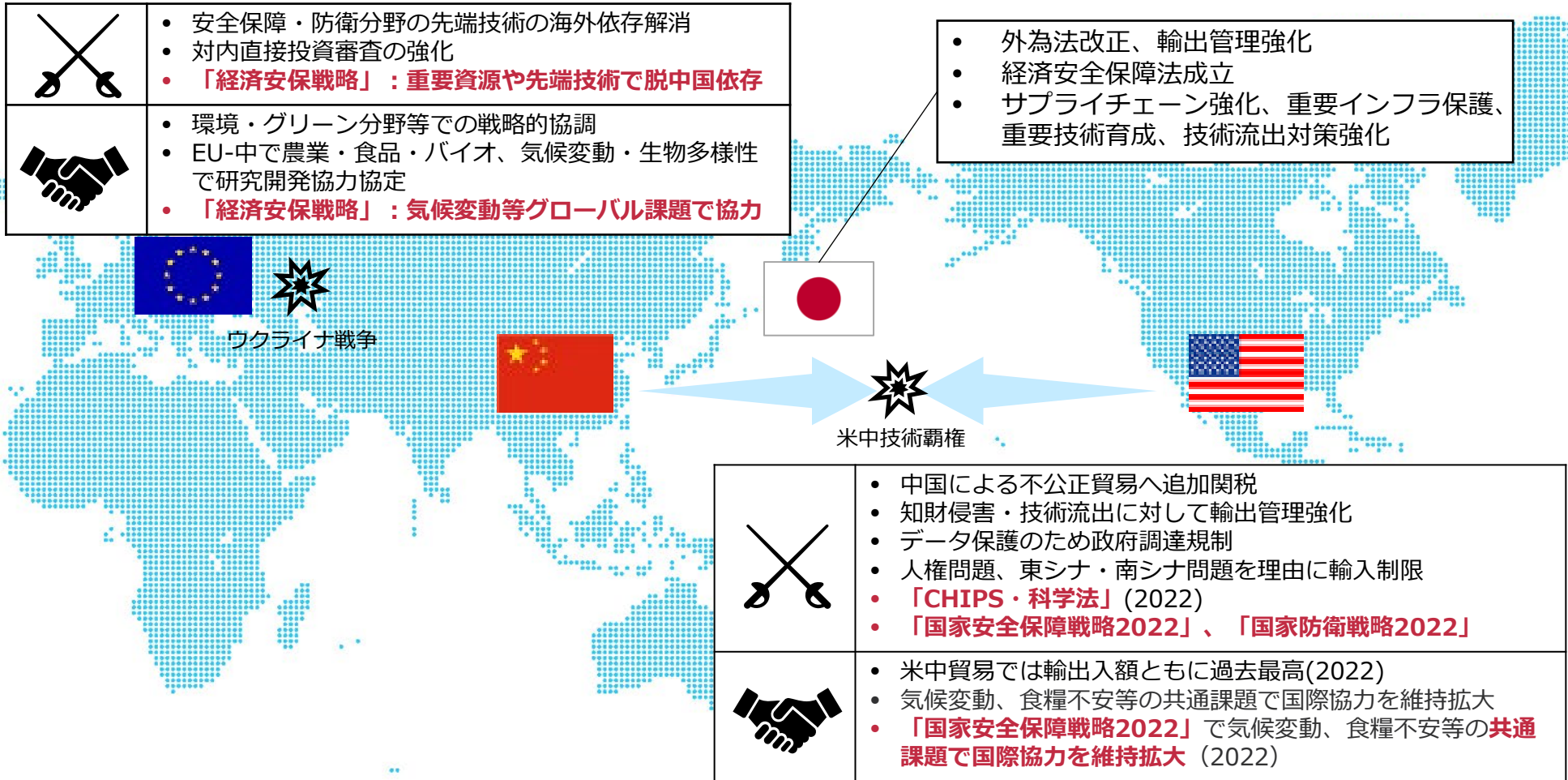
 <p>米国</p>	 <p>欧州</p>	 <p>中国</p>	 <p>日本</p>
<p>2012年 “National Bioeconomy Blueprint” 発表</p> <p>2019年 “The Summit of America’s Bioeconomy” 開催</p> <p>2022年 大統領令 “National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative”</p>	<p>2012年 “Innovation for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe” 策定</p> <p>2018年 “A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment” 策定</p> <p>2024年 “Building the future with nature: Boosting Biotechnology and Biomanufacturing in the EU” 発表</p>	<p>2016年 「国家イノベーション駆動発展戦略綱要（2016～2030年）」の中で、バイオテクノロジーやライフサイエンスを重点分野に</p> <p>2022年 「第14次五カ年計画バイオエコノミー発展計画」発表</p>	<p>2019年 バイオ戦略2019</p> <p>2020年 バイオ戦略2020 (市場領域施策確定版) (基盤的施策)</p> <p>2021年 バイオ戦略フォローアップ</p> <p>2024年 バイオエコノミー戦略</p>

“10年以内に世界の製造業の1/3がバイオ利用技術で置き換わる”

各国公表資料を元にJST-CRDSで作成

重要技術の確保を巡る国際環境の変化

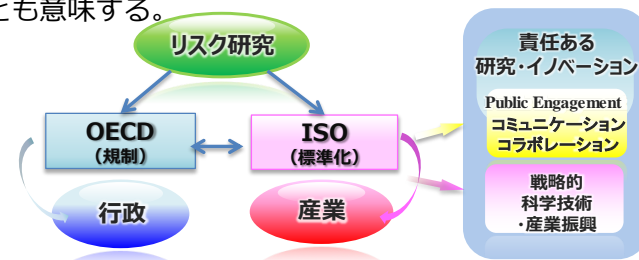
- 先端技術は依然として国家の競争力の源泉として強く位置づけられる。
- 米中対立を軸に脱リスク（de-risking）、戦略的競争と協調のバランスが問われている。



アドバンストマテリアル（ナノ材料）のELSI/RRI

アドバンストマテリアル（ナノ材料）概要：

- アドバンストマテリアル（ナノ材料）が従来の化学物質やバルク材料とは異なる新奇で優れた特性を有し、産業上有用な物質であると同時に、人の健康や環境に対して未知の影響をもたらす可能性があることも意味する。材料の有用面だけでなく、リスクが適切に評価・管理されることが重要となる。
- 材料～部材～最終（消費者）製品～廃棄とライフサイクルが長く、国・地域を跨いで移送されることも多い。
- また、動物毒性試験に対する忌避感、毒性予測手法の未確立・精度不足など新規物質のリスク評価が難しいという問題がある。



1. 研究開発とルールメイクの両輪を回すELSI/RRI関連の状況

- アドバンストマテリアル（ナノ材料）のリスク評価と通商政策や国家安全保障政策が密接に結びつくケースがある。

問題になるELSIの例：

新規物質の安全性に関する国際的な共通ルールがない。地区ごとのルールが（非関税）障壁になりえる。

2. 1を支える取り組み・体制に関する国内外動向

- 欧州では、研究開発機関と規制官庁が共同でクラスターを形成し、多様なステークホルダーが参画するプログラムを推進している。

3. 2に関する国内の取り組みのボトルネック・課題

- 日本は、個々の材料のリスク評価研究はある程度行われているが、規制枠組みの検討、および、規制枠組みを支える試験方法の方向性が明確になっていない。

国内外の取り組みの例



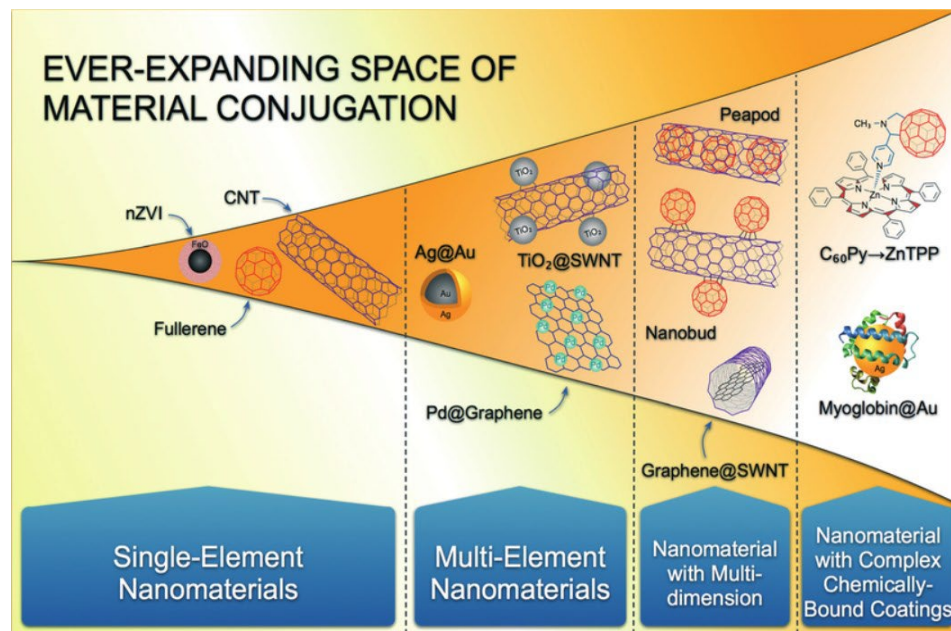
ナノテク・新奇マテリアルのELSI/RRI/国際標準

新物質や新製品の健康・環境への影響、倫理面の扱い、リスク評価・管理、標準化：

ナノテクに代表される新興技術・新奇マテリアルは、従来と異なる新物性を持つことから、適切な評価や管理が必要。近年特に評価・管理に関する科学的再現性の担保や、医学・疫学的評価、評価結果の知識基盤整備、社会への情報提供とコミュニケーション構築、産業界や社会における情報の活用、合意形成と意思決定の在り方など、RRIの観点から多様な課題が存在。ナノマテリアルの実用化の進展や、海洋マイクロ・ナノプラスチックなどに対し、各国・地域単位で規制・制度面の整備が顕在化

「新物質・新材料の戦略的ガバナンス」に関する論点・動き

- 欧州やOECDを中心に、先端ナノマテリアル等の安全性確保に係るアプローチや規制枠組に関する整備が進む。日本を含む域外からの事業者はビジネス展開にあたって特に影響を受ける**
- ECにおいてナノマテリアルの定義が10年ぶりに改訂（2022）**
 日本を含む各国は、海外ビジネス展開に必要な評価や製造・管理方法等の対応に迫られている
- アドバンストナノマテリアルズ**
 EUプロジェクトは、ナノマテリアルを4世代に分類。CNTやCNFが第1世代にあたり、第4世代はアドバンストナノマテリアルと呼ぶカテゴリとした。
 →現行の評価ツールやモデル等が、第2世代以降に対応できていないことを指摘。評価ツール等の開発よりも材料開発のスピードが速く、開発早期から有害性や機能を特定しようとする“Safe and Sustainable by Design (SSbD)”の考え方が広がってきている
- マイクロプラスチックの定義策定と動き（欧州化学品庁ECHA）**
 純粋なプラ製品だけではなく、表面が高分子で被覆された無機物質や固体高分子を1wt%以上含有する物質にまで規制対象範囲が拡大された。日欧の産業界は、表面被覆した無機物はマイクロプラスチック規制の対象外とすることなどを主張している

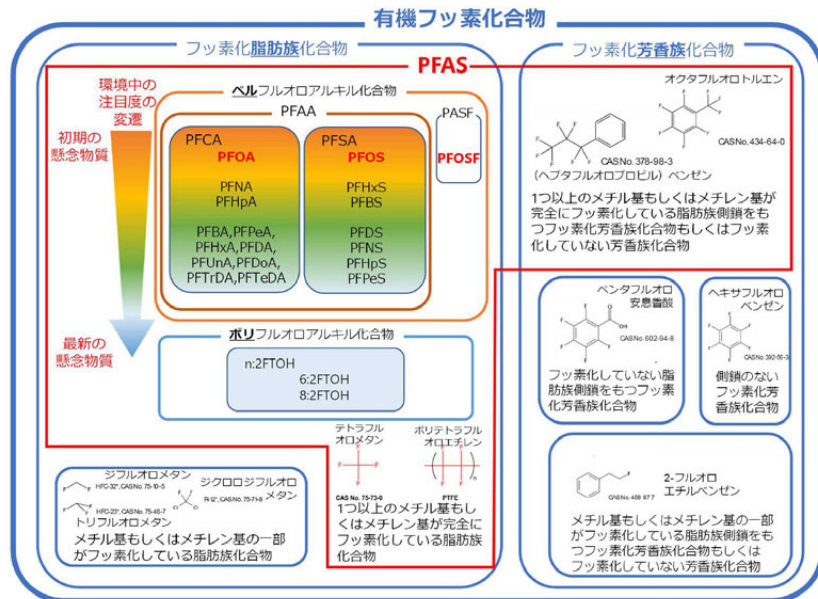


図：ナノマテリアルの世代分類例（EU-PJ ProSafeより）

Environ. Sci.: Nano, 2015, 2, 11

PFAS EU規制案

- PFOSなどスルホン酸(塩)、PFOAなどカルボン酸(塩)等のフッ素系界面活性剤の環境への悪影響から規制がスタート。
- 有機フッ素化合物（PFAS）全般を対象とし、一定濃度以上のPFASを含有する混合物・成型品について、EU域内での製造、上市、使用を全面的に禁止する規制案の検討が進められている。規制採択は2025年ごろと予想される。

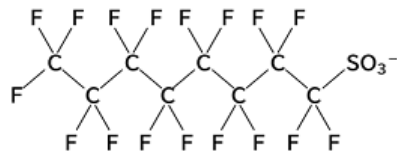


<参照資料>
 • <https://pfas-1.itrcweb.org/2-3-emerging-health-and-environmental-concerns/>
 • OECD (2021) Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance, OECD Series on Risk Management, No. 61.

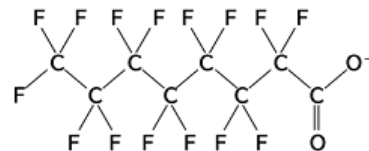
環境省 PFASに対する総合戦略検討専門家会議（第2回 令和5年3月28日）資料から

- 移行期間（1.5年）+ 猶予期間
 - 猶予期間 5年
 - 代替物質が開発段階にある場合
 - 代替物質が市場に十分な量存在しない場合
 - 例：PEM燃料電池、冷媒、非粘着性コーティングなど
 - 猶予期間 12年
 - 代替品が存在せず、研究開発によっても代替品が特定できない場合
 - 代替品の認証に5年以上を要する場合
 - 例：半導体製造プロセス、医療機器、消化剤、潤滑剤など
- 企業の動向例
 - Chemours：排出量抑制99%削減をコミット。フッ素樹脂は、有用性と代替不可を主張。
 - 3M：2025年までに、フッ素ポリマーを含めてPFASの製造中止。使用削減

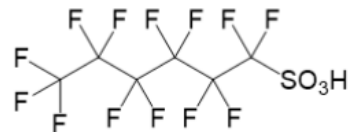
PFOS



PFOA



PFHxS



PFAS

有機フッ素化合物全般

文部科学省 JST 戦略的創造研究推進事業向け戦略目標

※マテリアル関係を抜粋

年度	戦略目標	研究領域 ※(さ) : さきがけ領域	研究総括
2015	多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製	多様な天然炭素資源の活用に至る革新的触媒と創出技術	上田 渉
		革新的触媒の科学と創製(さ)	北川 宏
		理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築(さ) (H25目標「ナノエレ」、「ビッグデータ」、H24目標「分子技術」にも紐付く)	常行 真司
2016	材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合	計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用	雨宮 慶幸 北川 源四郎
2017	ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発	ナノスケール・サーマルマネージメント基盤技術の創出	丸山 茂夫
	実験とデータ科学等の融合による革新的材料開発手法の構築	熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御(さ) 実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新	花村 克悟 細野 秀雄
2018	トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出	トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出	上田 正仁
	持続可能な社会の実現に至る新たな生産プロセス構築のための革新的反応技術の創出	トポロジカル材料科学と革新的機能創出(さ)	村上 修一
		新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出	吉田 潤一
2019	ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明	革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明	伊藤 耕三
	最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成	力学機能のナノエンジニアリング(さ)	北村 隆行
		独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成	河田 聡
2020	情報担体と新デバイス	革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出(さ)	田中 耕一郎
	自在配列と機能	情報担体を活用した集積デバイス・システム	平本 俊郎
		情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム(さ)	若林 整
2021	元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間の開拓	原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能	君塚 信夫
	資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御	原子・分子の自在配列と特性・機能(さ)	西原 寛
		未踏探索空間における革新的物質の開発	北川 宏
		物質探索空間の拡大による未来材料の創製(さ)	陰山 洋
2022	社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新	分解・劣化・安定化の精密材料科学	高原 淳
	量子情報と量子物性の融合による革新的量子制御技術の創成	持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解(さ)	岩田 忠久
		社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新	社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出
2023	新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術	物質と情報の量子協奏(さ)	小林 研介
	社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新	ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術	齋藤 理一郎
		新原理デバイス創成のためのナノマテリアル(さ)	岩佐 義宏
2024	選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～	計測・解析プロセス革新のための基盤の構築(さ)	田中 功
		材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築	岡部 朋永
		材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発(さ)	北川 進

文部科学省 JST 先端国際共同研究推進事業 (ASPIRE)

プログラムディレクター宮野 健次郎

※マテリアル関係を抜粋

分野	タイプ	研究課題	日本側研究代表者	相手側研究代表者
エネルギー	Top	イオン伝導性酸化物薄膜の製造とカーボンニュートラル化のための革新的な中温電解セル	石原 達己 九州大学	(ドイツ) ウィルヘルム メウレンベルグ ユーリッヒ国立研究所 (英国) ステフェン スキナー インペリアルカレッジロンドン (米国) ペトロス ソフロニス イリノイ大学
		分散型国際ネットワークが実現する基盤蓄電技術革新とネットゼロ社会	大久保 将史 早稲田大学	(ドイツ) フィリップ アデルヘルム フンボルト大学 (米国) ジエ シャオ パシフィックノースウェスト国立研究所
		発電と水素製造が可能な次世代固体酸化物形セルの設計指針構築	佐々木 一成 九州大学	(米国) ハリー L. タラー マサチューセッツ工科大学
		究極の蓄電池「リチウム空気電池」の技術革新を導く国際パートナーシップ	中西 周次 大阪大学	(ドイツ) ピーター ビーカー ユーリッヒ総合研究機構 (英国) リー ジョンソン ノッティンガム大学 (米国) ヤン シャオハーン マサチューセッツ工科大学
	次世代	世界規模エネルギーシステムモデルの開発及びそれをを用いた革新的なエネルギー技術評価と脱炭素エネルギーシステムの提示	藤森 真一郎 京都大学	(オーストリア) ケイワン リアヒ 国際応用システム分析研究所
		光電解デバイス電極における高速電荷輸送のための有機-無機複合界面に関する国際頭脳循環	渡邊 源規 九州大学	(スイス) トーマス リッパート パウル・シェラー研究所
マテリアル	Top	金属マグネシウム層とGaN層の超格子構造(MiGs)の物性とデバイス応用およびウルトラワイドバンドギャップ半導体材料(AlN、Ga ₂ O ₃ 等)への超高濃度ドーピング	天野 浩 名古屋大学	(米国) デブディーブ ジェナ ,ファイリ グレイス シン コーネル大学, ハイメ マリアン, カン ワン カリフォルニア大学, スラバンティ チョウダリ スタンフォード大学
		巨大分子の精密認識を可能にする革新的ナノ空間材料の開発	植村 卓史 東京大学	(フランス) クリスチャン セレ パリ文理研究大学
		極限アスペクト比 (EXAR) ナノ材料の学際的研究	塩見 淳一郎 東京大学	(ドイツ) ヤナ ザウムゼイル ハイデルベルク大学 (スウェーデン) ダニエル セルデベリ スウェーデン王立工科大学 (米国) 河野 淳一郎 ライス大学
		先進的合成法を駆使した遷移金属化合物の創製と構造物性相関に基づく新規機能特性の探求	島川 祐一 京都大学	(英国) ポール アットフィールド エジンバラ大学
		強誘電体ルネッサンス：ペロブスカイトを凌駕する「第四世代材料」で実現するカーボンニュートラル	舟窪 浩 東京工業大学	(ドイツ) ウベ シュローダー 非営利会社NamLab (米国) スーザントロイラー-マッキンストリー
	次世代	サステナブルな発光デバイスを志向した究極の高効率発光 dendrimer 材料の創製	アルプレヒト 建 九州大学	(ドイツ) ルーベン コスタ ミュンヘン工科大学 (英国) アンドリュー モンクマン ダラム大学
	糖質系ハイブリッドポリマーの精密設計を基盤とした次世代サステナブル材料の国際共同開発	磯野 拓也 北海道大学	(フランス) レドワン ボルサリ	
	レーザー微細加工と炭素材料の融合による3次元テラヘルツメタマテリアルの創生	小西 邦昭 東京大学	(フィンランド) ユーリ シビルコ 東フィンランド大学	

文部科学省 JST 先端国際共同研究推進事業 (ASPIRE)

プログラムディレクター宮野 健次郎

※マテリアル関係を抜粋

分野	タイプ	研究課題	日本側研究代表者	相手側研究代表者
マテリアル	次世代	フレキシブル・ストレッチャブルエレクトロニクスに関する包括的研究	松久 直司 東京大学	(オーストリア) マーティン カルティンブルナー ヨハネスケプラー大学 (フィンランド) カリ ロンカ VTTフィンランド技術研究センター (ドイツ) クリストファー シナシュキ マックスプランク研究所 (英国) ジョージ マリアラス ケンブリッジ大学 (米国) ケビン ブラックスコ, トウック・クエングエン カリフォルニア大学, ジェナン バオ スタンフォード大学
量子	Top	先端量子技術プラットフォームと国際頭脳循環による量子ネイティブ人材育成拠点	浅井 祥仁 東京大学	(米国) デイヴィッド オーシャロム シカゴ大学
		重力波天文学のための量子制御技術	宗宮 健太郎 東京工業大学	(オーストラリア) デイヴィッド マクレラン オーストラリア国立大学
		トポロジカル物質に基づく革新的量子エレクトロニクスの創成	中辻 知 東京大学	(米国) コリン プロホルム ジョンズホプキンス大学
		理研-パークレー 数理量子科学イニシアティブ	初田 哲男 理化学研究所	(米国) ウィック ハクストン カリフォルニア大学
		量子情報と量子生命科学を包括する国際共同研究網の構築	水上 渉 大阪大学	(ベルギー) クリスチャン デ・グリーブ IMEC (ドイツ) マーチン プレニオ ウルム大学 (英国) ドミニク オブライアン オックスフォード大学 (米国) ジャバド シャバニ ニューヨーク大学
	次世代	トポロジカル量子物性を利用した革新的光回路の実現	雨宮 智宏 東京工業大学	(米国) アレクサンダー カニカエフ ニューヨーク市立大学
		半導体およびトポロジカル物質のスピン軌道ナノ構造を用いた量子状態制御	好田 誠 東北大学	(ドイツ) トーマス シェーパース ユーリッヒリサーチセンター
		ダイヤモンド量子情報技術の基盤構築	鹿野 豊 筑波大学	(ドイツ) ティム シュレーダー ベルリン・フンボルト大学
		次世代高速通信に向けたテラヘルツ波量子検出の実現	村手 宏輔 名古屋大学	(カナダ) フランソワ ブランチャード
	半導体	Top	最先端原子層プロセス国際共同研究ネットワークの構築	浜口 智志 大阪大学
スピントロニクス確率論的コンピュータの大規模集積化に向けた基盤構築と『確率超越性』の実証			深見 俊輔 東北大学	(米国) ケレム カムサリ カリフォルニア大学
次世代		次世代の高効率計算基盤を実現する適応型データ圧縮ハードウェアの探求	上野 知洋 理化学研究所	(カナダ) ジェイソン アンダーソン トロント大学 (米国) フランク カベロ アルゴンヌ国立研究所
		ASIC設計ユニバーサル化に向けた、粗粒度ロジックアレープラットフォームの創生	小菅 敦丈 東京大学	(米国) プリヤンカ ライナ スタンフォード大学
		Ⅲ-V族化合物半導体ナノ選択成長技術の確立とナノフォトニクス応用	富岡 克広 北海道大学	(オーストラリア) ハクホー タン オーストラリア国立大学

文部科学省関連拠点事業

※マテリアル関係を抜粋

■センターオブイノベーション（COI）プログラム 2013-2021年度

ビジョン	拠点名	中核機関
少子高齢化先進国としての持続性確保	さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する自助と共助の社会創生拠点	東北大学
	自分で守る健康社会拠点	東京大学
	スマートライフケア社会への変革を先導するものづくりオープンイノベーション拠点	川崎市産業振興財団
	活力ある生涯のためのLast 5Xイノベーション拠点	京都大学
豊かな生活環境の構築（繁栄し、尊敬される国へ）	『サイレントボイスとの共感』地球インクルーシブセンシング研究拠点	東京工業大学
活気ある持続可能な社会の構築	フロンティア有機システムイノベーション拠点	山形大学
	コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点	東京大学
	革新材料による次世代インフラシステムの構築拠点	金沢工業大学
	世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点	信州大学
	持続的共進化地域創成拠点	九州大学

■共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）2020年度-

分野	採択年度	拠点名称	代表機関	
共創分野（本格型）	2021	再生可能多糖類植物由来プラスチックによる資源循環社会共創拠点	金沢大学	
	2022	セキュアでユビキタスな資源・エネルギー共創拠点	名古屋大学	
	2022	「ビヨンド・“ゼロカーボン”を目指す“Co-JUNKAN”プラットフォーム」研究拠点	東京大学	
	2022	フォトンクス生命工学研究開発拠点	大阪大学	
	2023	カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点	東京農工大学	
政策重点分野（本格型）	量子技術分野	2020	量子ソフトウェア研究拠点	大阪大学
		2020	量子航法科学技術拠点	東京工業大学
		2022	量子ソフトウェアとHPC・シミュレーション技術の共創によるサステイナブルAI研究拠点	東京大学
	環境エネルギー分野	2020	先進蓄電池研究開発拠点	物質・材料研究機構
	バイオ分野	2020	つくば型デジタルバイオエコノミー社会形成の国際拠点	筑波大学
		2020	世界モデルとなる自律成長型人材・技術を育む総合健康産業都市拠点	国立循環器病研究センター

JST 過去の関連事業

※マテリアル関係を抜粋

■ACCEL 2013-2021年度

採択年度	研究開発課題	研究代表者
2013	縦型BC-MOSFET による三次元集積工学と応用展開	遠藤 哲郎
	P C P ナノ空間による分子制御科学と応用展開	北川 進
	フォトニック結晶レーザの高輝度・高出力化	野田 進
	自己組織化技術に立脚した革新的分子構造解析	藤田 誠
	エレクトライドの物質科学と応用展開	細野 秀雄
2014	P S D 法によるフレキシブル窒化物半導体デバイスの開発	藤岡 洋
	超活性固定化触媒開発に立脚した基幹化学プロセスの徹底効率化	魚住 泰広
	ダイヤモンド電極の物質科学と応用展開	栄長 泰明
2015	元素間融合を基軸とする物質開発と応用展開	北川 宏
	近接場結合集積技術による革新的情報処理システムの実現と応用展開	黒田 忠広
	濃厚ポリマーブラシのレジリエンシー強化とトライボロジー応用	辻井 敬巨
2016	スローライト構造体を利用した非機械式ハイレゾ光レーダーの開発	馬場 俊彦
2017	スーパーバイオイメージャーの開発	染谷 隆夫
	半導体を基軸としたテラヘルツ光科学と応用展開	田中 耕一郎

■戦略的イノベーション創出推進プログラム (S-イノベ) 2009-2020年度

設定年度	研究開発テーマ	プログラムオフィサー
2009	有機材料を基礎とした新規エレクトロニクス技術の開発	谷口 彬雄
	フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発	宮田 清藏
	超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出	佐藤 謙一
2011	スピン流を用いた新機能デバイス実現に向けた技術開発	安藤 功兒
2012	革新的医療を実現するためのバイオ機能材料の創製	岩田 博夫

■産学共創基礎基盤研究プログラム 2010-2020年度

設定年度	技術テーマ名	プログラムオフィサー
2010	テラヘルツ波新時代を切り拓く革新的基盤技術の創出	伊藤 弘昌
	革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築	加藤 雅治
2011	ヒト生体イメージングを目指した革新的バイオフォトンクス技術の構築	高松 哲郎
	革新的次世代高性能磁石創製の指針構築	福永 博俊

■産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (OPERA) 2016年度-

	採択年度	プロジェクト名	領域統括
共創プラットフォーム型	2016	有機材料の極限機能創出と社会システム化をする基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開	大場 好弘
	2017	生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出 安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出	齋藤 直人 中野 貴志
共創プラットフォーム育成型	2018	物理・化学情報をミクロンレベルで可視化するマルチモーダルセンシング技術の創出	澤田 和明
オープンイノベーション機構連携型	2018	マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト3D界面の創製とやわらかものづくり革命への展開	古川 英光
		地域資源活用型エネルギーエコシステムを構築するための基盤技術の創出	北 英紀
		超スマート社会実現のカギを握る革新的半導体技術を基盤としたエネルギーイノベーションの創出	木本 恒暢
	2019	目的指向型材料科学による全固体電池技術の創出 安全な酸化剤による革新的な酸化反応活性化制御技術の創出	菅野 了次 井上 豪

■ 未来社会創造事業 2017年度-

探索加速型	重点公募テーマ
「超スマート社会の実現」 領域 運営統括：前田 章（元日立製作所）	<ul style="list-style-type: none"> •多種・多様なコンポーネントを連携・協調させ、新たなサービスの創生を可能とするサービスプラットフォームの構築（2017年度-） •サイバー世界とフィジカル世界を結ぶモデリングとAI（2018年度-） •サイバーとフィジカルの高度な融合に向けたAI技術の革新（2019年度-） •異分野共創型のAI・シミュレーション技術を駆使した健全な社会の構築（2020年度-）
「持続可能な社会の実現」領域 運営統括：國枝 秀世（あいちシンクロトロン光センター）	<ul style="list-style-type: none"> •新たな資源循環サイクルを可能とするものづくりプロセスの革新（2017年度-） •労働人口減少を克服する"社会活動寿命"の延伸と人の生産性を高める「知」の拡張の実現（2017年度-） •将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出（2018年度-） •モノの寿命の解明と延伸による使い続けられるものづくり（2019年度-） •社会の持続的発展を実現する新品種導出技術の確立（2020年度-）
「世界一の安全・安心社会の実現」領域 運営統括：田中 健一（三菱電機）	<ul style="list-style-type: none"> •ひとりひとりに届く危機対応ナビゲーターの構築（2017年度-） •ヒューメインなサービスインダストリーの創出（2017年度-） •生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現（2018年度-） •食・運動・睡眠等日常行動の作用機序解明に基づくセルフマネジメント（2019年度-） •心理状態の客観的把握とフィードバック手法の確立による生きがい・働きがいのある社会の実現（2020年度-）
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域 運営統括：魚崎 浩平（NIMS）	<ul style="list-style-type: none"> •「ゲームチェンジングテクノロジー」による低炭素社会の実現（2017年度-）
「共通基盤」領域 運営統括：長我部 信行（日立ハイテク）	<ul style="list-style-type: none"> •革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現（2018年度-）
大規模プロジェクト型	技術テーマ
運営統括：大石 善啓（三菱総研）	<ul style="list-style-type: none"> •粒子加速器の革新的な小型化及び高エネルギー化につながるレーザープラズマ加速技術（2017年度-） •エネルギー損失の革新的な低減化につながる高温超電導線材接合技術（2017年度-） •自己位置推定機器の革新的な高精度化及び小型化につながる量子慣性センサー技術（2017年度-） •通信・タイムビジネスの市場獲得等につながる超高精度時間計測（2018年度-） •Society5.0の実現をもたらす革新的接着技術の開発（2018年度-） •未来社会に必要な革新的水素液化技術（2018年度-） •センサ用独立電源として活用可能な革新的熱電変換技術（2019年度-） •トリリオンセンサ時代の超高速情報処理を実現する革新的デバイス技術（2020年度-） •安全・安心かつスマートな社会の実現につながる革新的マイクロ波計測技術（2021年度-）

JST 関連事業

■革新的GX技術創出事業 (2023-)

プログラムディレクター：魚崎 浩平（北海道大学／NIMS／JST）

技術領域		プログラムオフィサー	
エネルギー変換・蓄エネルギー領域		渡邊 正義	横浜国立大学
資源循環領域			
グリーンバイオテクノロジー領域		江面 浩	筑波大学
半導体領域		正) 黒田 忠広	東京大学
グリーンコンピューティング・DX領域		副) 竹中 充	東京大学
未来本格型領域		近藤 昭彦	神戸大学

■先端的カーボンニュートラル技術開発 (2023-)

プログラムディレクター：魚崎 浩平（北海道大学／NIMS／JST）

技術領域		プログラムオフィサー	
蓄電池領域	実用電池の革新と次世代電池技術の創出	桑畑 進	大阪大学
水素領域	水素機能の本質理解に基づく水素イノベーション	内田 裕之	山梨大学
バイオものづくり領域	未知の経路解明による新たなバイオ生産技術	近藤 昭彦	神戸大学