



ナノテクノロジー・材料科学技術の推進方策について 参考資料

我が国の強みと課題の現状認識

我が国の強み	強みに関連する現状認識	課題
論文の量・質で存在感を維持	- 一定の論文数、質は維持。(P21, 22) - 生体イメージング、スピントロニクス、パワー半導体材料・デバイス、磁石・磁性材料、分子技術、量子マテリアル、微細加工・三次元集積、が相対的に高いシェアを占める。(P29)	新興国における急激な伸びにより国際的なシェアが低下、相対的に我が国のプレゼンスは低下傾向が継続。(P21, 22)
世界的に有名な研究拠点・研究者が存在	- NIMSや大学等に、マテリアル分野の国際拠点が形成。(P66) - 多くのノーベル賞受賞研究者が存在。(P9)	研究活動や学会活動における国際的なプレゼンスの低下が指摘されている（国際共同研究相手としての我が国の位置づけの低下、主要な国際会議における招待講演者の減少、国際学術誌におけるエディターや国際会議における委員の減少等）(P26, 88)。
一定数の学生・研究者を確保	- 産学合わせて10万人規模の研究者数を維持しており、保健、電気・情報、機械系に次ぐ4番目の規模。(P23左) - 国内の分野別の論文執筆者数では、マテリアル分野が第2位、他分野に比して高い産学の基礎研究アクティビティを示唆。(P23右)	- マテリアル分野の研究者数の割合は低下傾向(P23左) - 複数の主要関連学会の会員数が減少。(P24, 25) - 理・工系の博士課程の日本人学生が減少傾向。(P81, 82) - 若手研究者や学生のマテリアル分野への関心の低下。
産業界と学界の距離の近さ	- 論文の企業共著率は多くの領域で世界第1位。(P27左) - 日本のマテリアル分野の論文は自国のパテントファミリーに多く引用されている。(P27右)	マテリアル革新力強化戦略策定時点から、「自国のパテントファミリーでの引用割合」は減少。(P28)
計測、分析技術に強み	- 計測、分析機器（ライフサイエンス系機器を除く）の日系企業の世界シェアは第2位。(P13) - 産学官共同で先進機器を開発してきた実績。(P14)	電子顕微鏡などのマテリアル研究における重要な計測、分析機器が世界シェアを下げつつある。(P16)
先端の研究インフラを保有	- マテリアル分野の先端設備共用事業（現在の事業名はARIM）が20年以上継続。データ収集と連動した点が海外に先行。(P46) 「Nano Terasu」、「SPRING-8」、「SACLA」、「J-PARC」、「富岳」など世界最高水準の大型研究施設を保有。(P20) - 国内の計測、分析機器メーカーの充実したサポートを背景に、研究室単位でも質の高い研究環境を維持。	- ロボット技術を活用した自動実験に関する大規模な研究インフラ投資において海外が先行。(P62, 73) - 我が国の研究開発費の伸び悩みに反して計測、分析機器が高額化、最新機器の確保が困難になりつつある。(P92)
特徴的なマテリアルデータインフラを保有	- MDPF*が世界最大級のデータベースを保有。(KINZOKU（金属信頼性）、Atomwork Adv.（無機結晶材料）、PolyInfo（高分子材料））(P56) - MDPF*のRDEが系統的な研究データの収集に世界に先行して成功。データ取得からデータベース化を一元的に行う取組は世界にも類を見ない。(P56, 57) *MDPF：Material Data Platform（NIMS）	- 計算データの収集・共用には米欧が先行（ただし、我が国の研究者も重要な貢献）。(P56) - 世界に先行して研究データの系統的な収集に成功した一方、大規模な投資（P74）に裏付けられた諸外国の急激な追い上げを想定した、我が国の特徴を生かしたデータ利活用戦略が必要。

(参考) 我が国の強み弱み 「マテリアル革新力強化戦略」策定時の認識

 学
界

強み	弱み・課題
- 論文の量・質両面で世界トップレベルを維持 - 世界的に有名な研究拠点・研究者の存在 - 常に一定数の学生・研究者を確保 - 産業界と学界の距離の近さ - 良質なデータ	- 新興国等における積極的な研究開発、海外の研究レベルの向上 - 博士課程の日本人学生の激減と海外留学生の大幅増 - 教員の高齢化、研究施設・設備の老朽化

 産
業

強み	弱み・課題
- 汎用品から機能性製品に至るまで、多様な企業群が国内に集積 - 優秀な人材等に支えられた、高い製品開発力 - 環境問題に対する、高い適応力 - 現場技術者のレベルの高さ、QC活動等に支えられた現場改善力の高さ - 各社が多様で質の高いデータを保有 - 川下産業との距離の近さによる、作り込み（すり合わせ）開発の容易さ	- 地球環境問題の深刻化 - 環境負荷低減、資源循環といった環境問題に対する、市民・社会の意識の高まり - 汎用製品のコモディティ化による、価格競争の激化 - 機能性製品の開発サイクルの短期化と開発競争の激化 - 原料調達における国際競争の激化 - データやAIを活用した研究開発の拡大 - 新たなバイオ技術を用いた製品・プロセス開発の加速 - 顧客の多様化・ニーズの変化 など

マテリアルの重要性と取り巻く状況

世界の社会・産業課題の解決にはマテリアル革新が不可欠(1)

社会課題・産業課題の解決に重要幅広い先端技術分野において、
分野横断技術であるマテリアルの革新が必要不可欠である

AI戦略2022 (2022.4 統合イノベーション戦略推進会議決定)

- 日本が強みを有する分野とAIの融合として、例えば以下の目標を提示
 - ・医療、創薬、材料科学等の分野におけるAI利活用の更なる注力
 - ・我が国が強みを有する文化産業等におけるAI利活用の促進
 - ・我が国ならではの課題（①健康・医療・介護、②農業、③インフラ・防災、④交通インフラ・物流、⑤地方創生、⑥ものづくり、⑦安全保障）に対処するAIと我が国の強みの融合の追求

バイオエコノミー戦略 (2024.6 統合イノベーション戦略推進会議決定)

- 市場領域（計5つ）として、例えば以下の領域・取組を提示
 - ① バイオものづくり・バイオ由来製品：バイオ化学品（高機能バイオ素材、バイオプラスチック等）、繊維、香料・化粧品、バイオ燃料、農薬・肥料、食品（細胞性食品等）、新規酵素、バイオファウンドリ、有機廃棄物・有機排水処理、計測分析機器等
 - ・化石燃料由来からバイオ技術を活用した持続可能な素材への転換
 - ・化石資源からバイオマス資源への原料転換による脱炭素化
 - ・生分解性製品の普及による海洋汚染の減少
 - ② 持続的・一次生産システム：スマート農業技術を活用した農業機械等、ゲノム情報等を利用して育成された新品種等
 - ③ 木材活用大型建築・スマート林業：中層木造建築物、建築用木材等
 - ④ バイオ医薬品・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業
ワクチン、抗体薬（モノクローナル抗体）、核酸医薬品、iPS細胞、CAR-T細胞治療薬、遺伝子治療用製品等
 - ⑤ 生活習慣改善ヘルスケア、デジタルヘルス
健康増進サービス、アプリ、ウェアラブルデバイス、フィットネス、生活支援サービス、ロボット介護機器

量子技術イノベーション戦略 (2020.1 統合イノベーション戦略推進会議決定)

- 主要技術領域（計4つ）として、例えば以下の領域・方針を提示
 - i) 量子コンピュータ・量子シミュレーション
 - ・ゲート型量子コンピュータを実現する基盤技術の中で、超伝導量子ビットは我が国発の技術であり、有力候補の一つとなっている。我が国は、高品質な超伝導量子ビットの作製・制御に関しては、世界と比肩する高い技術力を保持しており、かつ、国際的にも高く評価されている著名な研究者が存在する。
 - ・シリコン量子ビットは、既存の半導体集積技術を応用し、多量子ビット化に向けて注目が集まるなど、国際的にも研究開発競争が激化している。
 - ・量子シミュレーションは、多体電子系等のシミュレーションにより、物質の機能解明や新物質探索への貢献が期待されており、欧米や中国との間で研究開発競争が拡大している。我が国においても国際的に評価の高い研究者が存在する。
 - ii) 量子計測・センシング
 - ・固体量子センサ（ダイヤモンドNV中心等）は、室温・大気中において、磁場、電場、温度を、それぞれ超高感度で計測できる特長があり、センサ材料の中でも特に競争が激しい分野である。我が国は、固体量子センサの材料開発で高い技術力を保持している。
 - iv) 量子マテリアル（量子物性・材料）
 - ・量子状態を精密制御することで機能を発現する物性・材料「量子マテリアル」は、我が国が長年にわたる基礎研究・応用研究の積み重ねにより、理論・実験・材料開発等において、世界的にも強み・競争力を有する領域である。
 - ・グラフェン等のトポロジカル量子物質は、高効率なスピン・電荷変換等の実現を通じて、省エネデバイスや新物性材料等への応用が期待される物質材料であり、将来の産業波及効果が高い技術領域とされている。
 - ・スピン流を利用可能な材料（スピン流材料）は、単一デバイスで熱、振動、光等からエネルギーを獲得するスピントロニクスデバイスに利用することが可能な革新材料と期待されている。スピントロニクス技術は、我が国の大学・研究機関等が、長年の基礎研究等の蓄積を有する技術領域である。

世界の社会・産業課題の解決にはマテリアル革新が不可欠(2)

革新的環境イノベーション 戦略 (2020.1 統合イノベーション戦略推進会議決定)

○全5分野について、重要かつ共通的な16の技術課題及びGHG削減量が大きく、日本の技術力による大きな貢献が可能な39テーマとして、例えば以下の取組を提示

I. エネルギー転換

1. 再生可能エネルギーを主力電源に

① 設置場所の制約を克服する柔軟・軽量・高効率な太陽光発電の実現
・ペロブスカイト系(軽量、曲面追従、鉛フリー等)、次世代タンデム型、Ⅲ-Ⅳ族系など、要素技術開発フェーズにある革新的なデバイス・素材等について、2030年頃の社会実装開始を目指し、産学官の連携の下で研究開発を進める。

2. デジタル技術を用いた強靱な電力ネットワークの構築

④ 再生可能エネルギーの主力電源化に資する低コストな次世代蓄電池の開発
⑥ 高効率・低コストなパワーエレクトロニクス技術等の開発
・既存用途よりは高い耐圧が求められる車載・産業用途や、より高速動作が求められる通信機器用途のために、シリコンデバイスの新構造化技術や、炭化ケイ素や窒化ガリウムといった次世代パワー半導体の開発に取り組んできたところ、引き続き、窒化ガリウム等の次世代パワー半導体の高性能化技術や低コスト化技術の開発に取り組む。

3. 低コストな水素サプライチェーンの構築

⑧ 輸送・貯蔵：圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等の輸送・貯蔵技術の開発
・モビリティ、水素発電、産業利用等を想定した水素輸送・貯蔵(圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等)の技術開発を行う。

II. 運輸

6. 多様なアプローチによるグリーンモビリティの確立

⑬ 自動車、航空機等の電動化の拡大(高性能蓄電池等)と環境性能の大幅向上

＜自動車＞ 電動車(BEV, PHEV, HEV, FCEV)の実現に向け、高性能蓄電池、モーター、インバーター(次世代パワー半導体等)、燃料電池、部材軽量化等の様々な要素技術の開発、実用化段階にある技術の実証を進める。

＜航空機＞ 次世代電動航空機に求められる軽量・高出力を満たすコア技術(モーター、蓄電池、パワエレ、装備品等)の開発、実証を進める。また、燃費向上に資する機体やエンジンの材料軽量化等の開発を進める。

⑭ 燃料電池システム、水素貯蔵システム等水素を燃料とするモビリティの確立

⑮ カーボンリサイクル技術を用いた既存燃料と同等コストのバイオ燃料・合成燃料製造や、これら燃料等の使用に係る技術開発

III. 産業

7. 化石資源依存からの脱却

⑱ プラスチック等の高度資源循環技術の開発
・回収されたプラスチック製品を汚れや複合品などの品質に応じて最適に循環させる、要素技術段階から実用化技術段階にある高度選別・高物性材料再生・基礎化学品化・高効率エネルギー循環などの基盤技術を開発する。加えて、海洋生分解性プラスチックの海洋での生分解機構の解明を通じ、多様な用途に利用できる革新的な新素材を開発するとともに、安全性の評価手法の確立と国際標準化により、それらの普及を促進する。

8. カーボンリサイクル技術によるCO₂の原燃料化など

⑲ 低コストメタネーション(CO₂と水素からの燃料製造)技術の開発

IV. 業務・家庭・その他・横断領域

9. 最先端のGHG削減技術の活用

⑳ 未利用熱・再生可能エネルギー熱利用の拡大

V. 農林水産業・吸収源

13. 最先端のバイオ技術等を活用した資源利用及び農地・森林・海洋へのCO₂吸収・固定

㉑ バイオマスによる原料転換技術の開発

・改質リグニン、CNF等の用途拡大に向けた量産・低コスト製造技術の開発を進める。

世界の社会・産業課題の解決にはマテリアル革新が不可欠(3)

SDGsに関して、マテリアルの革新なしには達成できない目標が数多く含まれている

貧困の撲滅 	- 衣: 合成繊維(ナイロン、ポリエステル、など) - 食: 脱脂粉乳、人工甘味料、など - 住: 合板(ベニヤ、木質ボード)	製造消費 	- 大量生産: オートメーション、ロボット - 消費: 迅速な大量輸送(道路、輸送機器)
飢餓の撲滅 	- ナノ食材(吸収性・安定性・溶解性向上、食味改善、など) - 衛生技術(<u>ナノバブル</u>を用いた殺菌・滅菌・洗浄、など)	気候変動 	(衛星搭載)地球観測<u>センサ</u> - スーパーコンピュータ(地球シミュレータ)
健康と福祉 	<u>バイオチップ</u>(診断デバイス) <u>ナノドラッグデリバリーシステム</u> - ウェアラブルデバイス - 人工感覚器 - 生体材料(再生医療材料)	海洋資源 	- 計測技術 <u>レアメタル</u>、レアアース
水とトイレ 	<u>逆浸透膜</u> - イオン交換材料 - ゼオライト吸着材料 - ナノ多孔質材料 - 光触媒	陸上資源 	- 木質耐火材 - レアメタル・レアアース活用 - バイオマス(燃料・素材)
エネルギー クリーン 	- 電子エネルギー変換 太陽電池、LED、<u>熱電変換</u>、など - 化学エネルギー変換 光触媒、燃料電池、<u>二次電池</u>、など - 発電用材料 タービンブレード用<u>超耐熱材料</u>、など - エネルギー輸送・転換材料 超伝導材料、磁気冷凍材料、永久磁石材料、軟磁性材料、パワー半導体、アクチュエータ、など <u>バイオ燃料</u> バイオエタノール、廃棄物利用、など <u>クリーンプロセッシング</u> <u>吸着材料</u>、<u>分離膜</u>、排ガス触媒、など	産業 技術革新 	◎技術革新＝材料イノベーション - 鉄鋼⇒蒸気機関、鉄道、アルミ⇒大型航空機 - シリコン⇒半導体、炭素⇒プラスチック ◎次のナノテク・材料発イノベーション - 半導体(グラフェン、カーボンナノチューブ、など) <u>原子スイッチ</u> ➢ Beyond CMOS(CMOSと異なる動作原理、その物理限界を超える性能。<u>スピントロニクス</u>、など)
労働 経済成長 	- 産業用ロボット・ロボットスーツ(軽量化材料) <u>ナノセンサ</u>・アクチュエータ	不平等の是正 	- パソコン、インターネット - 輸送網(道路、輸送車両…)
		持続可能都市 	◎建築土木資材 - 鉄鋼 - コンクリート - プラスチック

社会に飛躍的な発展をもたらした我が国発の MATERIAL

社会・産業課題を解決・貢献する我が国発の MATERIAL が多数創出されてきた

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

マテリアル関連のノーベル賞研究

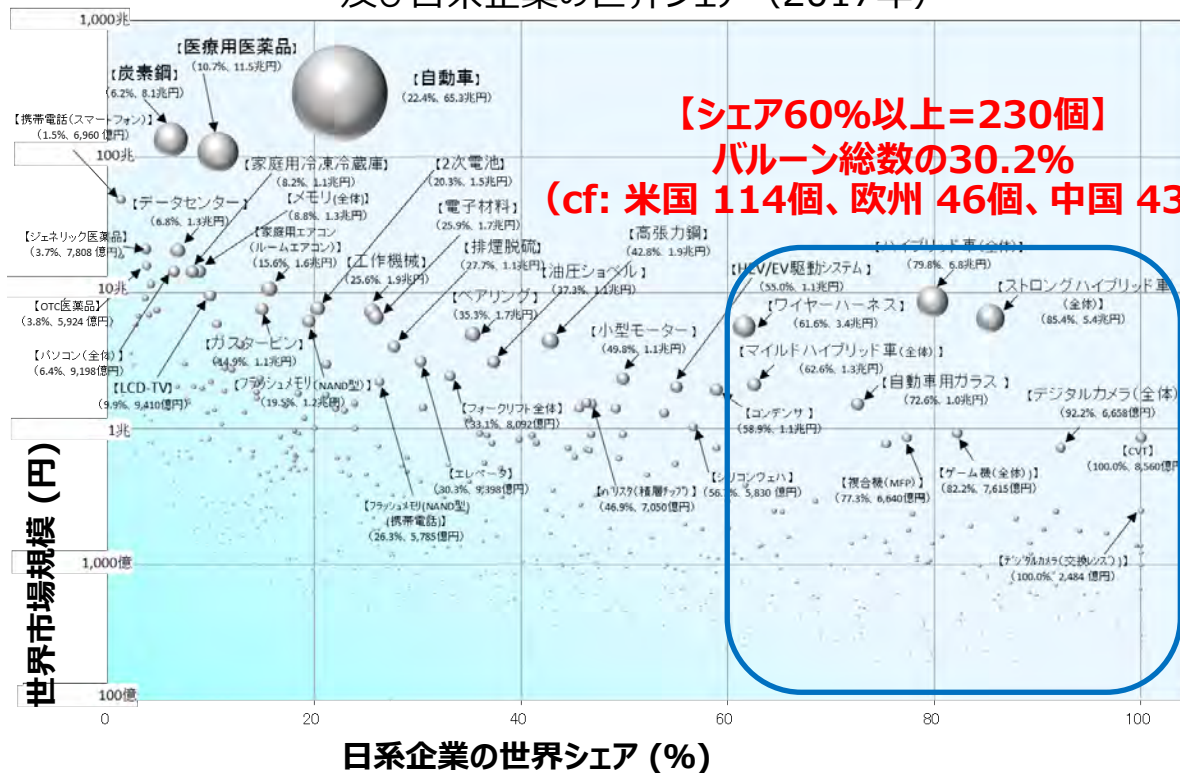
我が国の自然科学系分野でのノーベル賞受賞の約半数がマテリアル関連研究
受賞対象となる研究成果が、社会実装を経て大きな社会変革にまでつながっている

受賞年	氏名 (受賞時年齢)	部門	対象研究
1949	湯川 秀樹 (42)	物理学賞	核力の理論的研究に基づく中間子の存在の予想
1965	朝永 振一郎 (59)	物理学賞	量子電磁力学の分野における基礎研究と素粒子物理学についての深い結論
1973	江崎 玲於奈 (48)	物理学賞	半導体内および超伝導体内の各々におけるトンネル効果の実験的発見
1981	福井 謙一 (63)	化学賞	化学反応過程の理論的研究
1987	利根川 進 (48)	生理学・医学賞	抗体の多様性に関する遺伝的原理の発見
2000	白川 英樹 (64)	化学賞	導電性高分子の発見と発展
2001	野依 良治 (63)	化学賞	キラル触媒による不斉反応の研究
2002	小柴 昌俊 (76)	物理学賞	天文物理学、特に宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献
2002	田中 耕一 (43)	化学賞	生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発
2008	南部 陽一郎 (87)	物理学賞	素粒子物理学における自発的対称性の破れの発見
2008	小林 誠 (64)	物理学賞	小林・益川理論とCP対称性の破れの起源の発見による素粒子物理学への貢献
2008	益川 敏英 (68)	物理学賞	
2008	下村 脩 (80)	化学賞	緑色蛍光タンパク質 (GFP) の発見と生命科学への貢献
2010	根岸 英一 (75)	化学賞	有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング反応の開発
2010	鈴木 章 (80)	化学賞	
2012	山中 伸弥 (50)	生理学・医学賞	成熟細胞が、初期化され多能性を獲得し得ることの発見
2014	赤崎 勇 (85)	物理学賞	明るく省エネルギーの白色光源を可能にした効率的な青色発光ダイオードの発明
2014	天野 浩 (54)	物理学賞	
2014	中村 修二 (60)	物理学賞	
2015	大村 智 (80)	生理学・医学賞	線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見
2015	梶田 隆章 (56)	物理学賞	ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見
2016	大隅 良典 (71)	生理学・医学賞	オートファジー (自食作用) のメカニズムの解明
2018	本庶 佑 (76)	生理学・医学賞	負の免疫制御の抑制によるがん治療の発見
2019	吉野 彰 (72)	化学賞	リチウムイオン電池の開発
2021	眞鍋 淑郎 (90)	物理学賞	地球温暖化予測モデルを開発

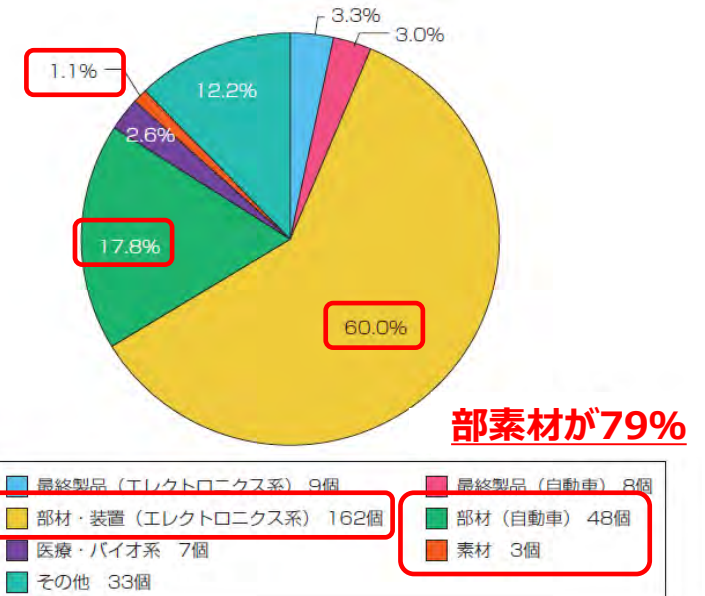
国際競争力の根幹となるマテリアル関連産業（１）

日本企業が生み出す製品群のうち、世界シェア60%以上を誇る製品が約3割を占める
このうち約8割が部素材関係である

日系企業が生み出した主要先端製品・部材の世界市場規模
及び日系企業の世界シェア（2017年）



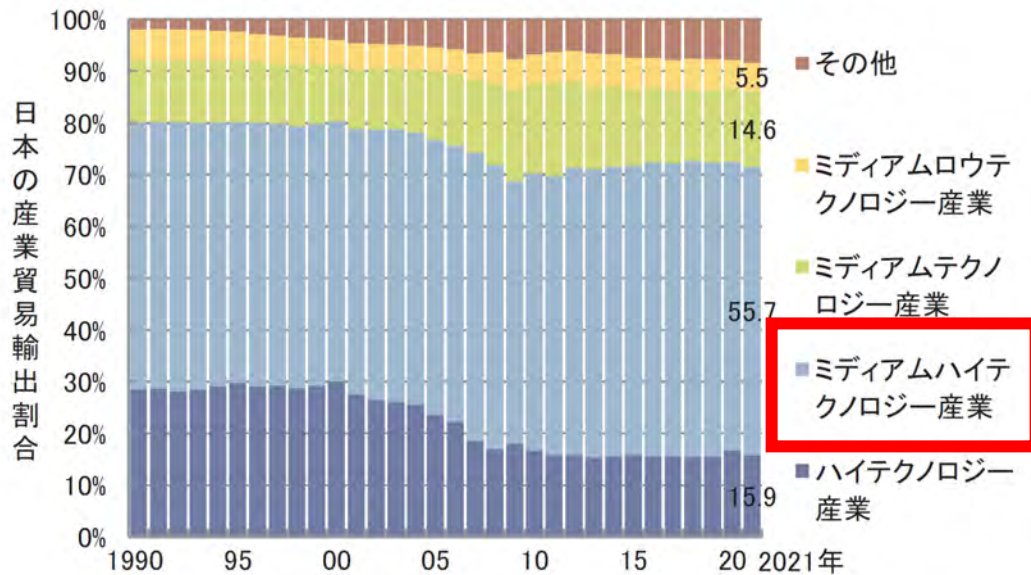
シェア60%以上を誇る製品群の内訳



国際競争力の根幹となるマテリアル関連産業（２）

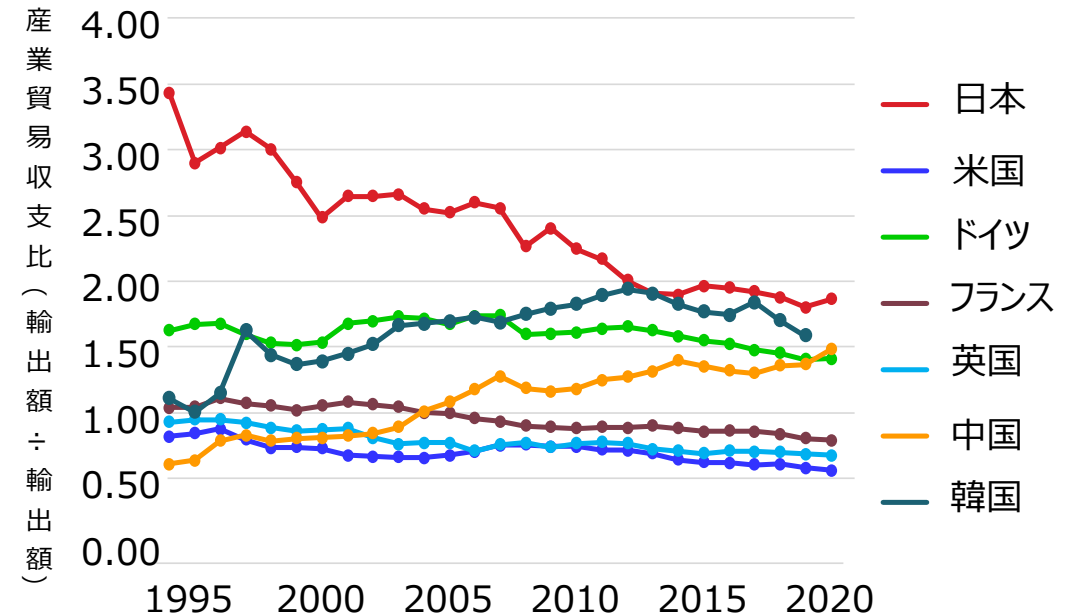
マテリアルは我が国の産業力の根幹を支えるものであり、国際競争力の源泉である

日本の産業貿易輸出割合



各国の産業貿易収支比

ミディアムハイテクノロジー産業と
電子機器産業の合計



✓ マテリアル分野と関連の強いミディアムハイテクノロジーが我が国の産業貿易輸出の50%以上を占める

ミ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」
「その他主奏者」「その他（磁気・光学メディア、医療及び歯科用機器・備品など）」

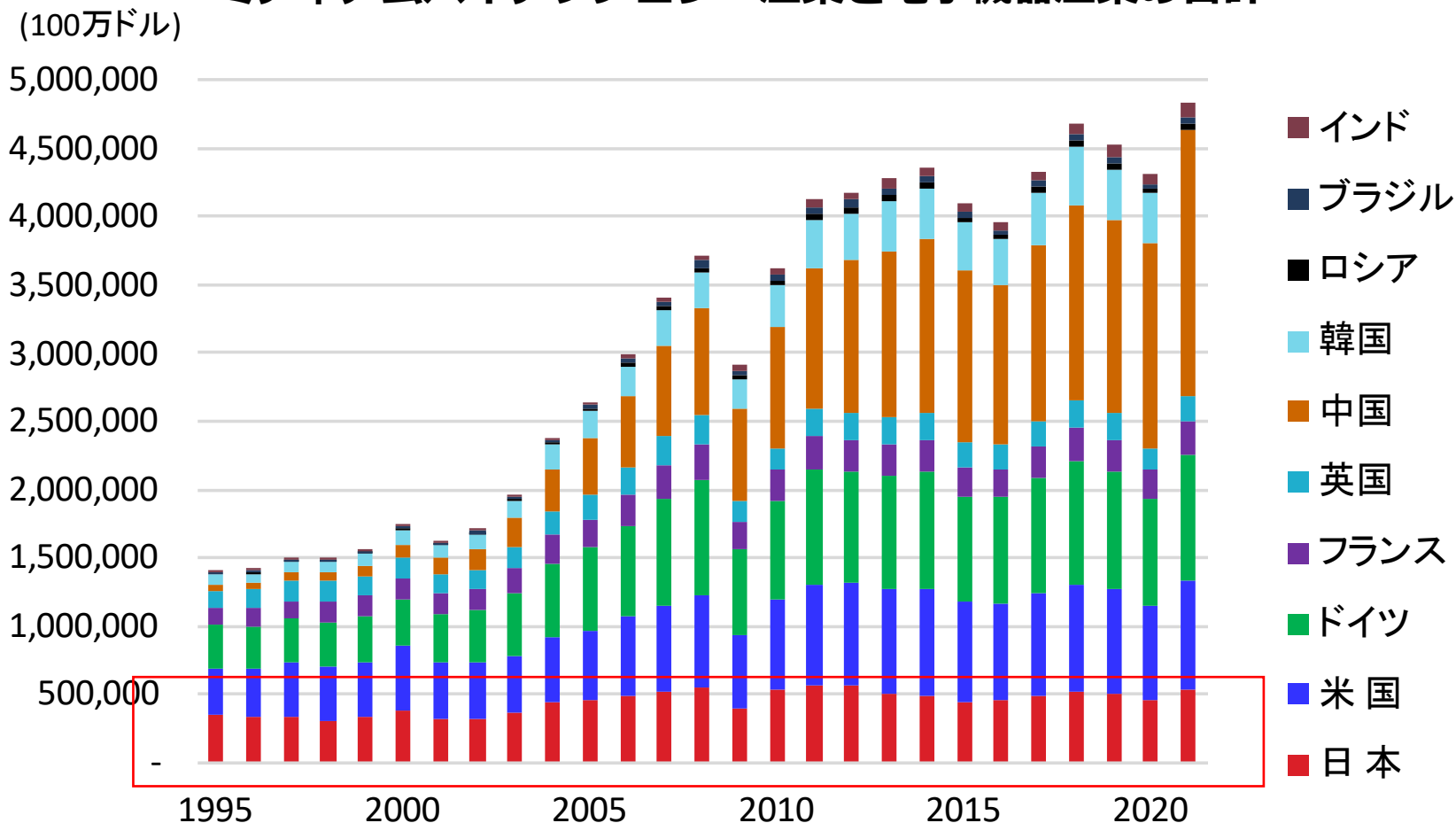
我が国の国際競争力の根幹となるマテリアル関連産業（3）



我が国のマテリアル産業は根幹となる産業であるが、近年は輸出規模は縮小はしていないものの、世界市場に占める割合は、新興国の経済成長等に伴い低下している

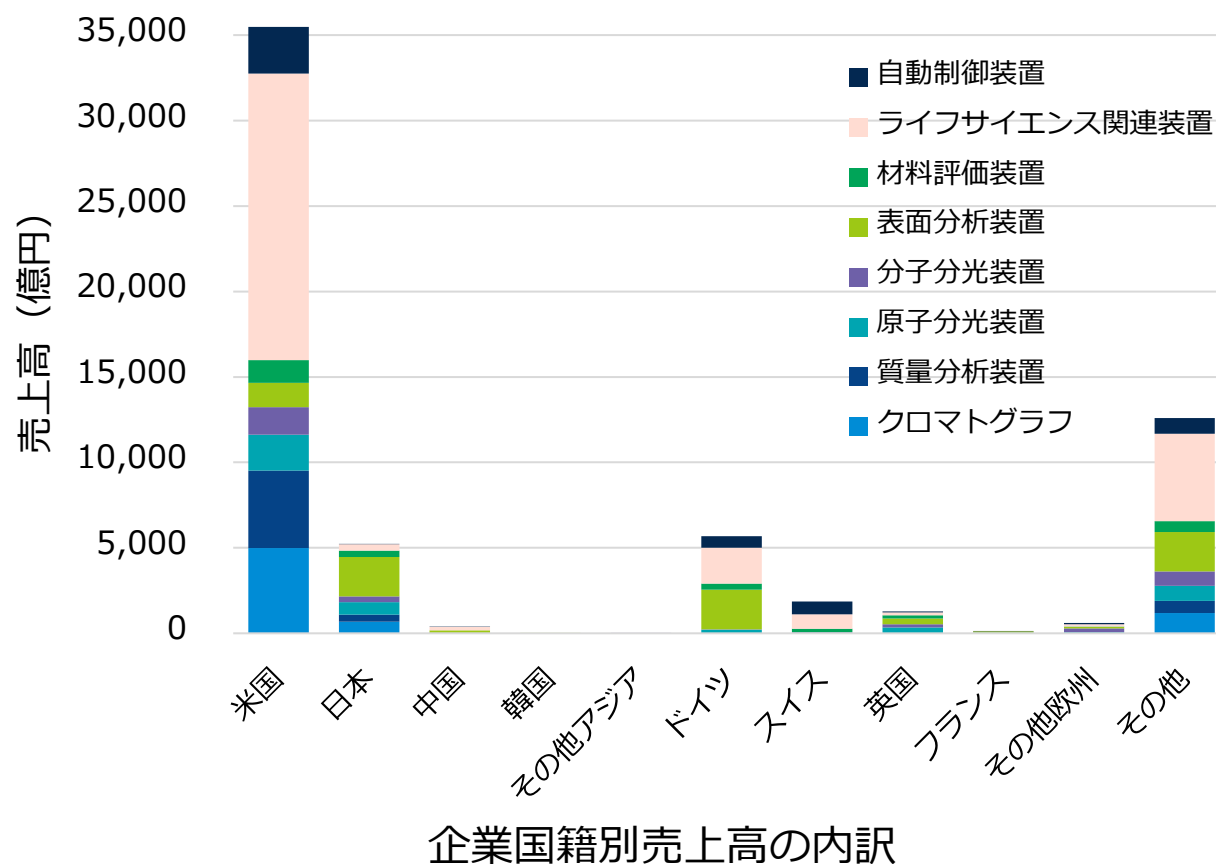
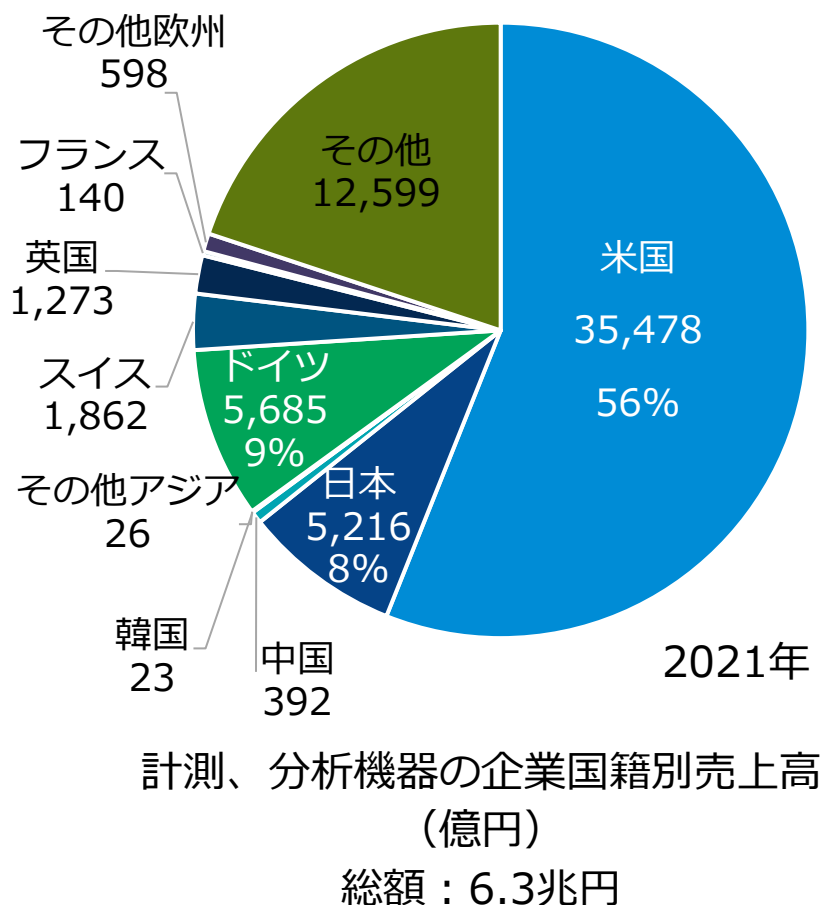
主要国の輸出額

ミディアムハイテクノロジー産業と電子機器産業の合計



我が国の革新的マテリアル創出を支えてきた計測、分析技術

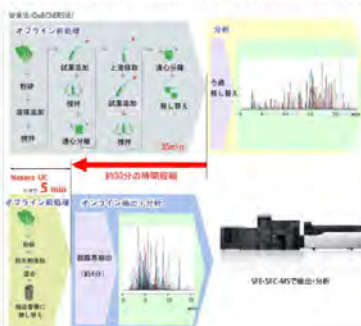
計測、分析機器市場における日本企業のシェアは世界第3位
(ライフサイエンス関連装置を除くマテリアル研究に関連の深い機器に限れば世界第2位)
基盤技術として我が国のマテリアル研究を支えてきた



開発成果が研究開発や産業用途に広く利用されたケース 超臨界流体抽出/超臨界流体クロマトグラフシステム

「質量分析用超臨界流体抽出分離装置の開発」
チームリーダー：大阪大学 馬場健史 サブリーダー：株式会社島津製作所 富田 真巳
開発期間：2012年度～2014年度 機器開発タイプ
参画機関：宮崎県総合農業試験場、神戸大学

超臨界流体抽出 (SFE) 装置と超臨界流体クロマトグラフィー (SFC) を一体化することで、従来の LC/MS や GC/MS が抱えていた課題解決に貢献する。目的成分の抽出から分析までの自動化や、酸化されにくい遮光環境における自動抽出、高感度の全量 MS 分析等が可能になった。



Nexera UC オンラインSFE-SFC-MSシステム

- 前処理操作の時間短縮、幅広い化合物の一斉分析
- SFEの抽出溶媒にCO₂を用いることで、濃縮工程で分解してしまうような不安定成分も試料中の状態を保ったまま分析可能。
- 微量液体サンプルの成分の抽出が可能

通常1週間程度かかっていた500種の残留農薬検査検出を50分で測定可能とした

主な適用分野
医療分野 バイオマーカーの探索、薬品分析、毒性評価
食品分野 機能性成分の分析
環境分野 汚染物質分析

2015年 十大新製品賞 受賞
R&D Magazine 2015 R&D 100 Awardに選出
Pittcon Editors' Award 2015 金賞受賞
2019年 「第1回 日本オープンイノベーション大賞 農林水産大臣賞」を受賞

参考資料・島津製作所 製品情報 https://www.an.shimadzu.co.jp/hp/c/nexera_uc/index.html (2021年2月1日アクセス)
・文部科学省 研究基盤整備・高度化委員会資料(第2回) 資料1-2「研究機器・共通基盤技術の開発について 先端計測分析技術・機器開発プログラムの成果」

© 2021 CRDS



開発成果が新たな診断技術となり、社会実装が進んだケース 3次元眼底像撮影装置

「生体計測用超高速フーリエ光レーザ顕微鏡」
チームリーダー：筑波大学 谷田貝 豊彦 サブリーダー：富士フイルム株式会社 戸井田 昌宏
開発期間：2004年度～2007年度 機器開発タイプ
参画機関：富士フイルム株式会社

生体試料からの反射光を基準参照光と干渉させ、そのスペクトルをフーリエ変換することにより、非接触・非破壊・無侵襲で生体組織の断面映像を高速に取得する。眼球の観察や皮膚組織の評価はもちろんのこと、内視鏡にこの顕微鏡を組み込むと、胃や肺の表層組織の観察、あるいは、ガン組織の評価・診断なども可能になる。



Topcon 3D OCT-1000装置外観

3D OCT-1000 MARK II
(2008年3月発売)
発売目標：初年度500台以上
価格：1,690.5万円 (消費税込)

3D OCT-1 Maestro
(2013年1月発売)
価格：997.5万円 (消費税込)

医療診断を目的として、生体試料の実時間 in vivo 計測を実現するため、

- (1) 高速度測定試作機、(2) 光ファイバー試作機、(3) 偏光感受型試作機の装置、などを試作・評価し、データ転送速度の向上のための方式の検討した。また、位相シフト法の実装およびこれを利用した複素データの効率的な処理法の開発を行った結果、

世界記録の計測時間を実現した。この技術の一部を技術移転して作成されたのが、左図の3次元眼底計測装置である。

Topcon社製 3D OCT-1000は、世界で初めてOCT (Optical Coherence Tomography、光干渉断層計) と無散瞳眼底カメラを融合した 3次元眼底像撮影装置である。(発売日：2006年07月07日)

2006年6月に導入された世界初のスペクトルドメインOCT(3D OCT-1000シリーズ)は、それまでの眼科診断にとってまさに画期的なイノベーションであり、OCTという診断機器が第一線の研究者から眼科臨床医やオプトメトリストまで広く普及するきっかけとなった。

2016年には、3D OCTシリーズの販売台数は10,000台を突破し、世界シェアの約1/3を占めるまでに成長。

- ・科学技術振興機構 先端計測分析技術・機器開発事業成果集2008 「生きたままの生体の三次元内部構造をリアルタイムで可視化する」
- ・株式会社トプコン 2006年度ニュースリリース 「3次元眼底像撮影装置 3D OCT-1000」 <https://www.topcon.co.jp/news/20060707-260.html> (2021年2月1日アクセス)
- ・2007年度ニュースリリース 「3次元眼底像撮影装置 3D OCT-1000 MARK II」 <https://www.topcon.co.jp/news/20080331-286.html> (2021年2月1日アクセス)
- ・2016年度トピックス 「OCT販売台数10,000台突破」 <https://www.topcon.co.jp/topics/20160819-22262.html> (2021年2月1日アクセス)

© 2021 CRDS



未知の構造の科学的解明に寄与したケース 原子分解能磁場フリー電子顕微鏡 (MARS)

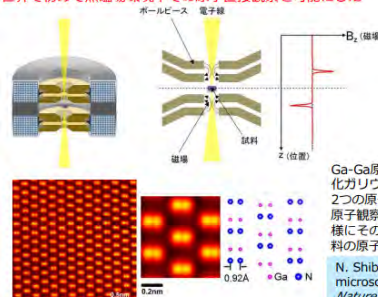
「原子分解能磁場フリー電子顕微鏡の開発」
チームリーダー：東京大学 柴田 直哉 サブリーダー：日本電子株式会社 河野 祐二 EM事業ユニット 主務
開発期間：2014年度～2020年度(予定) 先端機器開発タイプ

電子顕微鏡での高分解能観察が不可能とされていた磁性材料を、磁気・磁区構造を保ったまま原子レベルで観察する原子分解能磁場フリー電子顕微鏡を実現。磁石、鉄鋼材料、磁気デバイス、トポロジカル材料など、さまざまな材料やデバイスの研究開発を格段に向上させる契機となると期待される。

収差補正技術と顕微鏡の心臓部に当たるレンズの設計、超高精度・高感度位置分解型検出器を開発。
世界で初めて無磁場環境中での原子直接観察を可能にした



東京大学 電子顕微鏡材料科学室



(左) 新開発対物レンズの断面模式図

(右) 新開発対物レンズ内部の磁場分布の模式図。上下2つのレンズで発生する磁場が、上下反対向きであるため、試料の位置で磁場同士が打ち消し合い、試料環境を無磁場条件に保つことができる。この構造を用いると、電子線を曲げるための強い磁場を試料まで近づけられるため、原子分解能観察が実現できる。

Ga-Ga原子間の距離はわずか92pmしか離れていない窒化ガリウム(GaN)単結晶において、明瞭に分離している2つの原子の観察に成功。典型的な軟磁性材料であり、原子観察が最も困難な材料の1つである電磁鋼板でも同様にその原子構造を観察できた。これはあらゆる磁性材料の原子観察が可能になったことを意味している。

N. Shibata et al., "Atomic resolution electron microscopy in a magnetic field free environment", *Nature Communications* 10, Article number: 2308 (2019)

- ・科学技術振興機構、東京大学、日本電子株式会社共同発表「88年の常識を覆す画期的な電子顕微鏡を開発～磁石や鉄鋼などの磁性材料の原子が直接見える～」
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190524/index.html> (2020年12月21日アクセス)

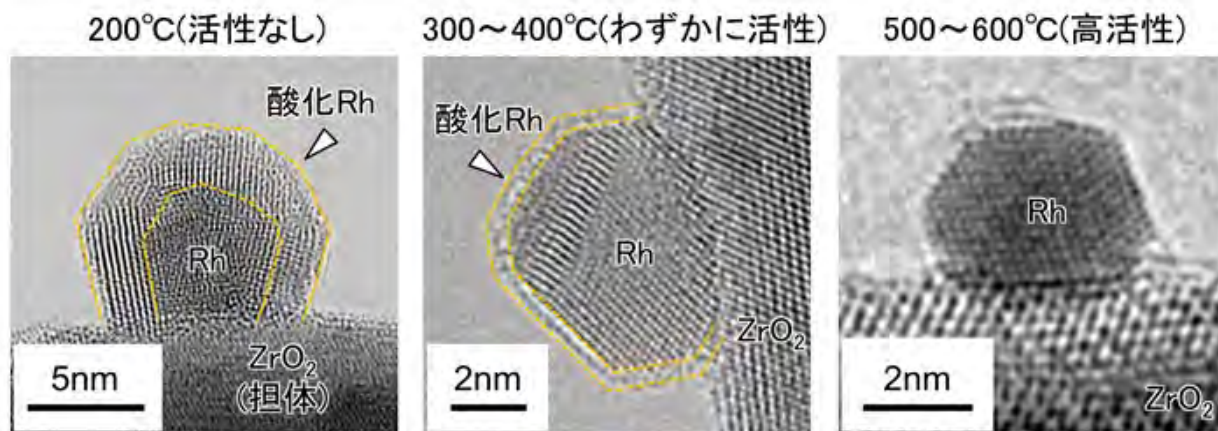
© 2021 CRDS



国内外における近年のマテリアル計測、分析技術の発展

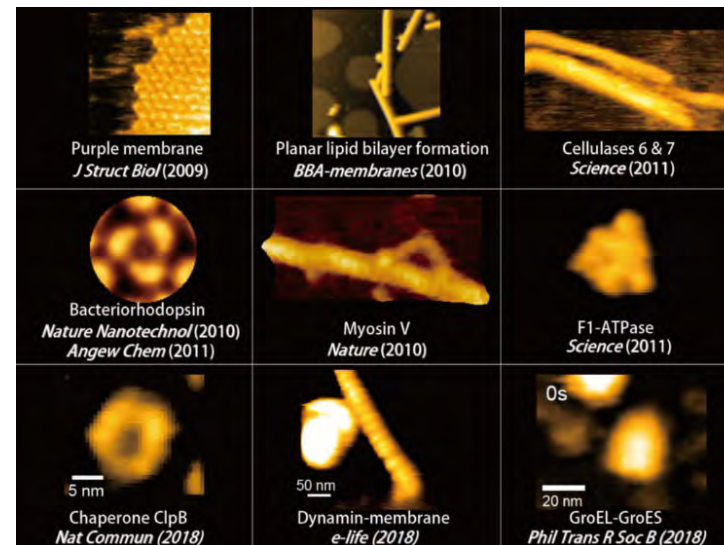
近年のオペランド計測等の発展は、従来困難であった対象の直接観察・計測を可能にしており、生きた細胞から蓄電池などの実デバイスにまで広がりを見せ、産学に不可欠な研究手法となりつつある

ガス環境下オペランドTEM観察による反応条件下での触媒構造変化のその場観察



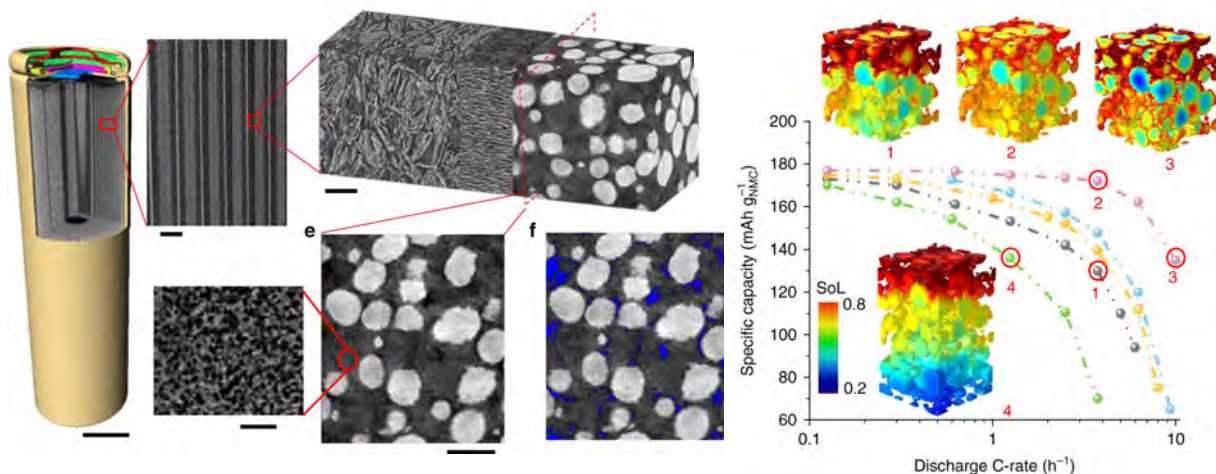
【出典】 NIMSプレスリリース、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム令和元年度「秀でた利用成果」最優秀受賞受賞課題、2019年12月

高速原子間力顕微鏡による動くタンパク質分子を直接可視化



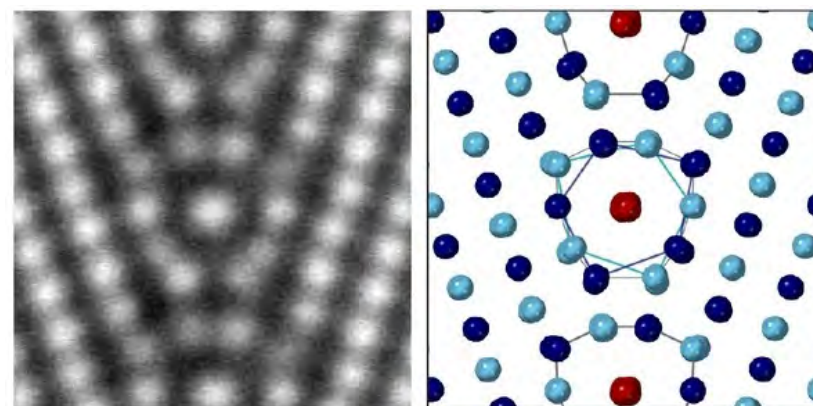
【出典】 WPI NanoLSIウェブサイト <https://nanolsi.kanazawa-u.ac.jp/researcher/toshio-ando/toshio-ando-page/>

X線CT、3DモデリングとシミュレーションによるLIBのミクロな電気化学挙動の理解（国外事例）



【出典】 Nat Commun 11, 2079 2020年

原子分解能磁場フリーTEMによる鉄鋼材料の粒界原子配列の発見



【出典】 JST・東京大学プレスリリース, Nat Commun 14, 7806 2023年

重要計測、分析機器の世界シェアの低下

我が国の基盤技術と支えてきた計測、分析機器であるが、電子顕微鏡などマテリアル研究における重要な機器が世界シェアを下げつつある

計測・分析機器の世界市場における日本企業シェア

- 2018年と2021年の計測・分析機器の世界市場における、日本企業のシェアを一覧表で示した。一覧表は2018年もしくは2021年の世界市場において、日本企業が10%以上のシェアをもつ機器を中心に抜粋し、機器ごとの日本企業シェア・日本企業の販売額・世界市場規模をまとめている。
- 2021年の日本企業の販売額が、2018年を下回る機器を表中に青文字で示している。世界市場規模について、2021年が2018年を下回る機器は網掛けしている。
- 「日本企業シェア増減」の欄に、世界市場における市場規模の成長率に対する日本企業販売額の成長率が、5%以上、上回る場合に「↑」、下回る場合に「↓」を記入している。

機器中分類	機器名	2018			2021			日本企業 シェア増減
		日本企業 シェア	日本企業販売額 (億円)	世界市場規模 (億円)	日本企業 シェア	日本企業販売額 (億円)	世界市場規模 (億円)	
表面分析装置	表面分析計 (AugerやESCA等)	40.8%	172	423	40.6%	186	459	→
表面分析装置	光学顕微鏡	32.0%	1,177	3,678	30.5%	1,228	4,031	↓
表面分析装置	電子顕微鏡	32.0%	888	2,774	22.3%	736	3,302	↓
原子分光装置	X線回折装置 (XRD)	31.0%	253	815	32.4%	294	907	↑
質量分析装置	MALDI-TOF MS	31.0%	133	429	34.8%	144	413	↑
原子分光装置	全有機炭素 (TOC) & その他SUMパラメータ	30.0%	49	163	28.5%	51	179	↓
材料評価装置	熱特性評価装置	22.2%	164	737	19.6%	169	863	↓
原子分光装置	蛍光X線分析装置 (XRF)	19.0%	233	1,225	19.5%	246	1,263	→
原子分光装置	アーク/スパーク光放出分光装置	17.0%	54	320	15.2%	48	317	↓
クロマトグラフ	分析用高速液体クロマトグラフ	13.0%	749	5,763	9.8%	657	6,703	↓
クロマトグラフ	超臨界流体クロマトグラフ	13.0%	18	136	13.3%	20	150	→
分子分光装置	赤外分光装置	13.0%	133	1,025	11.4%	130	1,136	↓
表面分析装置	共焦点及び高度顕微鏡	13.0%	80	616	11.1%	81	725	↓
表面分析装置	走査型プローブ顕微鏡	13.0%	54	416	13.8%	65	470	↑
質量分析装置	GC/MS	11.0%	93	847	12.1%	114	941	↑
原子分光装置	誘導結合プラズマ発光分析装置 (ICP-OES)	10.0%	61	605	8.1%	53	658	↓
材料評価装置	物理特性評価装置	10.0%	92	919	10.7%	106	991	↑
材料評価装置	粒子特性評価装置	10.0%	81	813	10.1%	100	991	→
分子分光装置	核磁気共鳴分光装置 (NMR)	8.9%	87	975	8.1%	83	1,026	↓
分子分光装置	エリブソメーター	8.0%	8	101	20.6%	25	123	↑
分子分光装置	ラマン分光装置	8.0%	35	443	16.7%	91	543	↑
ライフサイエンス関連装置	PCR装置	3.0%	105	3,493	2.6%	137	5,284	↓
ライフサイエンス関連装置	シーケンサー	0%	0	4,115	0%	0	4,583	
ライフサイエンス関連装置	フローサイトメーター	0%	0	2,223	1.4%	39	2,769	
ライフサイエンス関連装置	マイクロアレイ	0%	0	1,310	1.5%	19	1,246	



©2024 CRDS

図2-2-15 計測・分析機器の世界市場における日本企業シェア（2018年と2021年の比較）

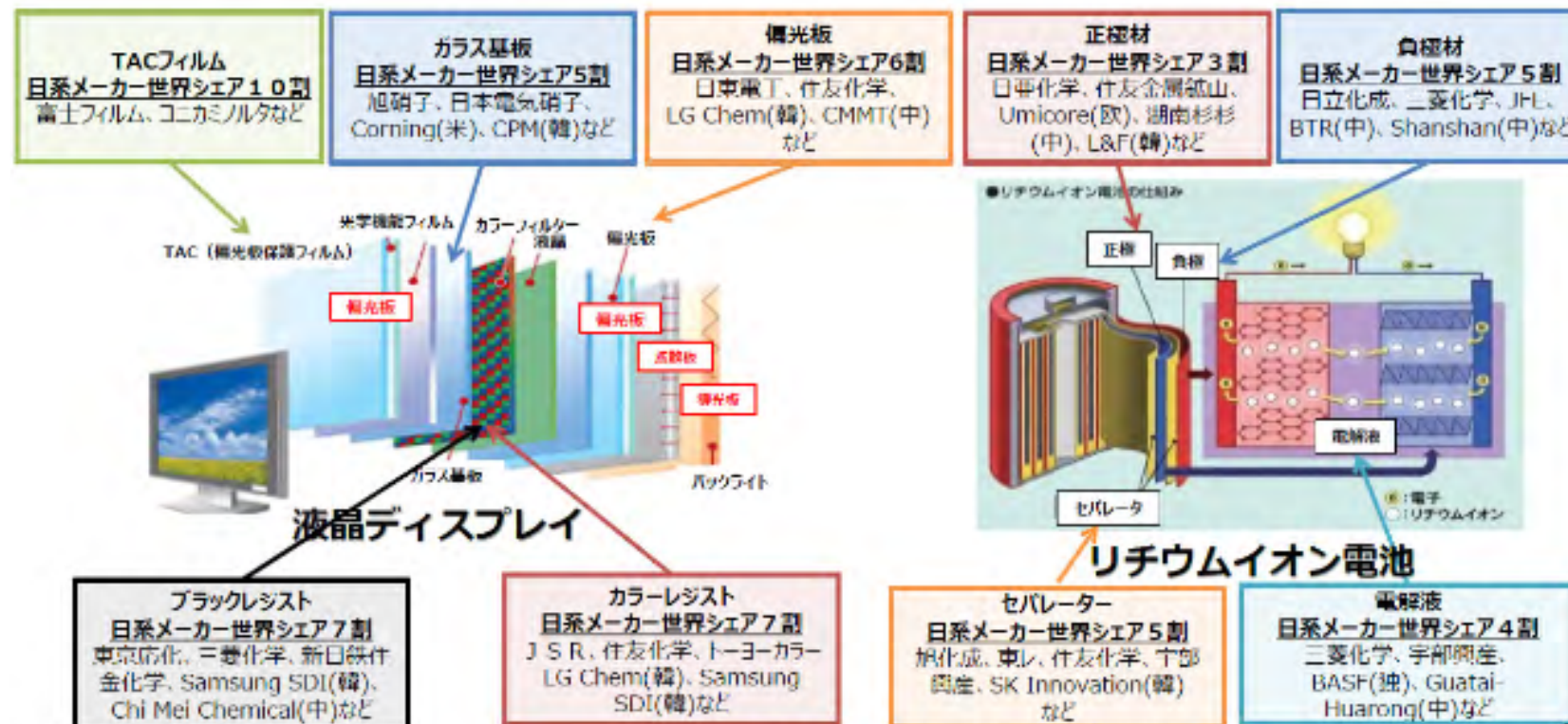
我が国のマテリアル創出を支える加工・合成技術（１）

『原料』面の弱み（輸入依存、価格優位性無し、市況コントロール余地が極めて小さい）を高度な『技術』と、競争力を持つ国内ユーザー産業からの厳しい要求に対応する中で差別化され高機能化が進んだ『製品』でカバー。



「擦り合わせ型」の技術・製品開発

材料・成形法の開発と用途開拓を同時進行。材料の調整と加工プロセスの擦り合わせのノウハウが暗黙知として材料メーカーの内部に蓄積され、他社は容易にまねできない技術・製品を開発。川下ユーザーとの垂直連携がうまく機能（光ディスクの記録媒体の製造工程、偏光フィルムやTACフィルムといったフィルム材料など）。

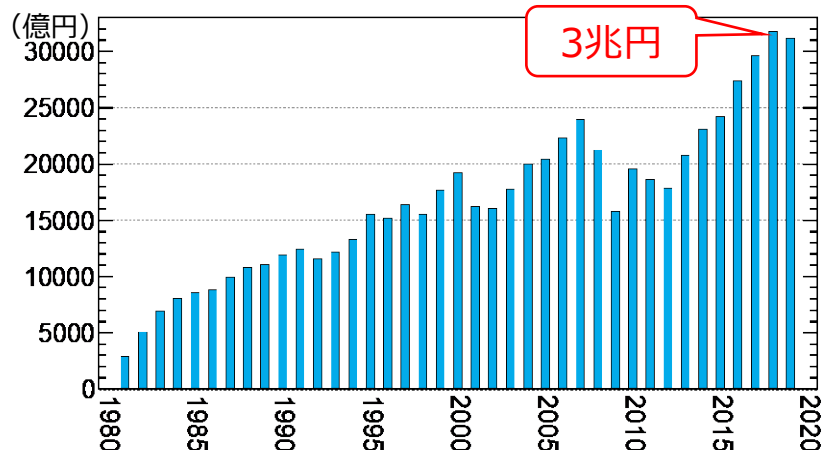


【出典】経産省資料「素材産業におけるイノベーションの役割と期待」

我が国のマテリアル創出を支える加工・合成技術（２）

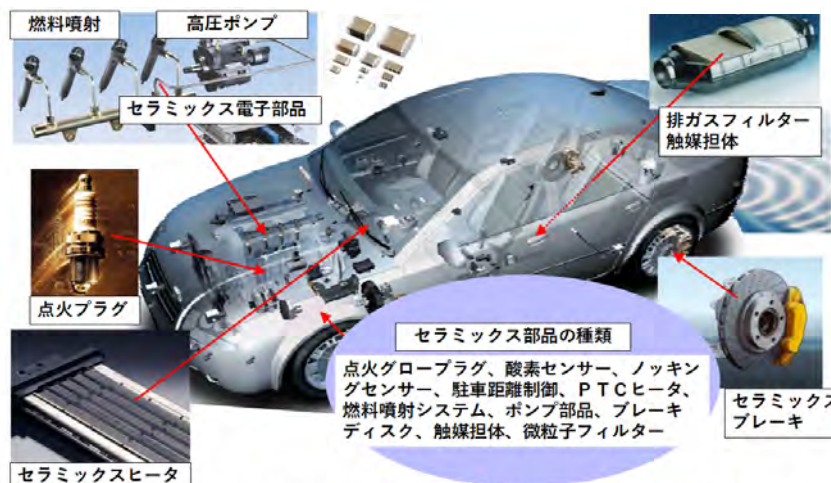
製造プロセスが複雑で模倣困難なファインセラミックス部材産業は近年堅調に成長し、2019年国内生産額は約3兆円。日本のシェアは世界の約4割を占める

ファインセラミックス部材の国内生産総額推移



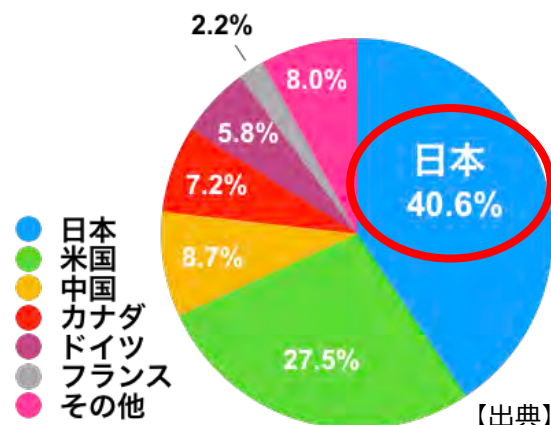
【出典】ファインセラミックス協会、産業動向調査、2019年
作成資料を基に経済産業省作成

最新電気自動車(EV)には、7,000～10,000個の電子セラミックス部材が搭載され、今後、さらに市場が拡大することが予想されている。



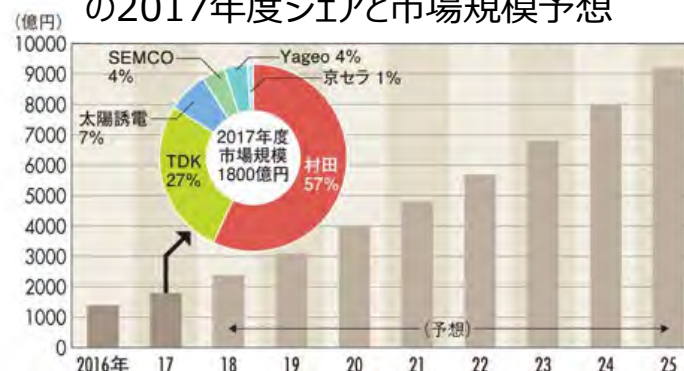
【出典】Institute for Applied Material, Ceramics in Mechanical Engineering
作成資料を基に経済産業省作成

ファインセラミックス産業の2018年国別市場規模



【出典】富士経済、2019年8月
作成資料を基に経済産業省作成

自動車向け積層セラミックコンデンサ(MLCC)の2017年度シェアと市場規模予想

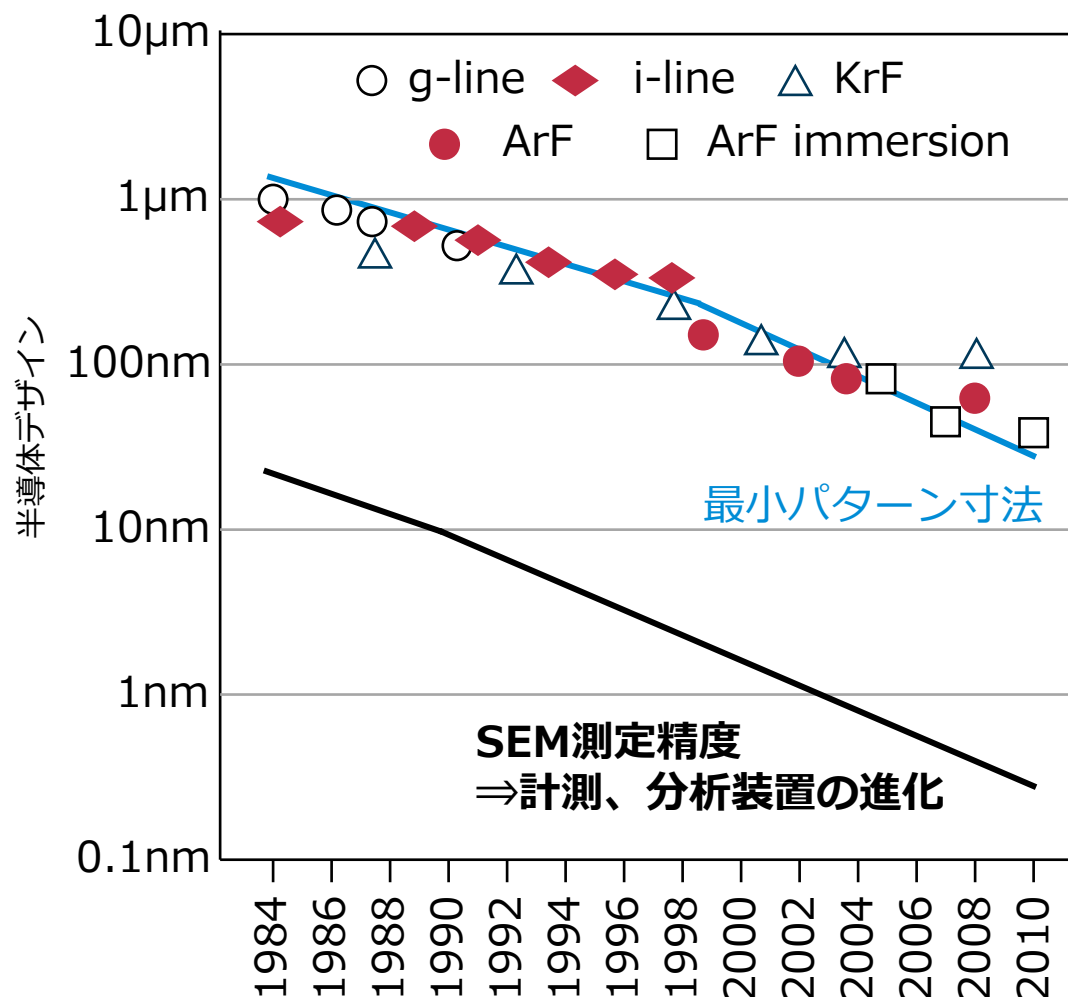


【出典】週刊ダイヤモンド 2018.10.19

マテリアルの成長と表裏一体である計測、分析・加工・合成技術

例えば半導体において、半導体デザインの進化に伴い、マテリアル、その加工・合成技術、これらを評価・解析するための計測、分析装置が一体となり進化してきている
革新的なマテリアルを創出する上で、これら基盤技術を有することは我が国の強み

半導体デザインの進化に伴う、関連基盤技術の進化



半導体デザインの推移
⇒加工・合成装置の進化
マテリアルの進化

我が国における大型研究施設

令和6年4月1日より次世代放射光施設 Nano Terasu が運用を開始、SPring-8、スパコン「富岳」等と同様に、ナノテクノロジー・材料分野の開発競争力の強化に繋がることが期待されている

3GeV高輝度放射光施設ナノテラスが稼働 —日本の競争力の強化に大きく貢献—

(2024年4月1日プレスリリース)

- 令和5年12月のビームラインへの放射光導入に成功、令和6年3月の施設検査合格を経て、令和6年4月1日より予定通り稼働
- 触媒化学や生命科学、磁性・スピントロニクス、高分子科学などの先端分野において、学術研究から産業利用までの幅広い利用により、日本の競争力の強化に大きく貢献
- 先端科学の開拓と産業界でのイノベーション創出を目指す2つの利用制度を両輪として、産官学の多様な利用ニーズに対応



4月1日各局配信

次世代放射光施設ナノテラスが稼働開始 活用に期待が高まる | khb東日本放送

<https://www.khb-tv.co.jp/news/15216755>

経済効果は約1兆9000億円「ナノテラス」稼働開始〈仙台市〉|仙台放送ニュースセンター

<https://nc.ox-tv.co.jp/news/detail/2024040100010>

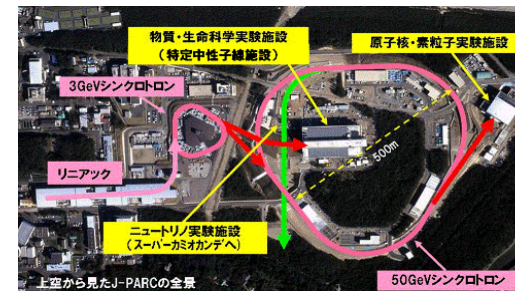
“巨大な顕微鏡”のナノテラス 1日から運用を開始| NHK 宮城のニュース

<https://www3.nhk.or.jp/tohoku-news/20240401/6000027038.html>

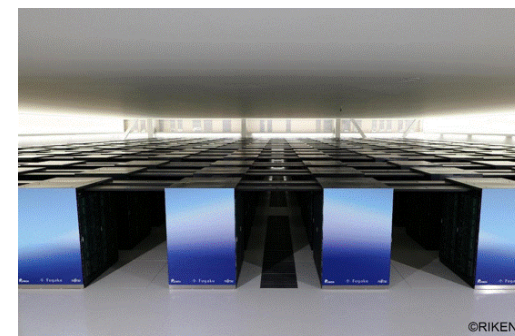
【出典】文部科学省量子科学技術委員会 量子ビーム利用推進小委員会（第9期～）（第53回） 配付資料「資料1-1 NanoTerasuの最近の話題」 2024年4月



大型放射光施設「SPring-8」、
X線自由電子レーザー施設「SACLA」



大強度陽子加速器施設「J-PARC」



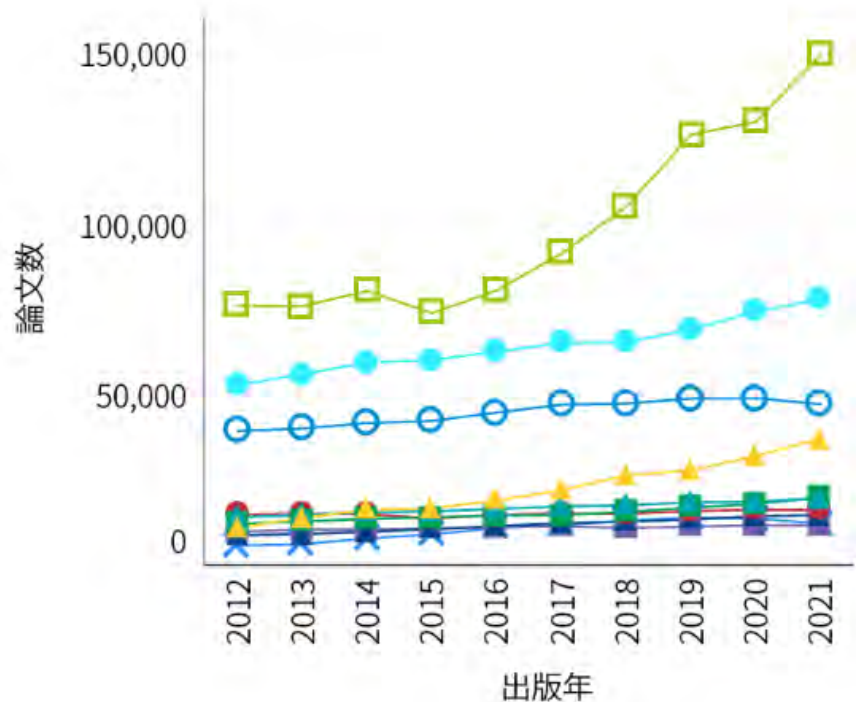
スーパーコンピュータ「富岳」

研究開発力の低下（1）

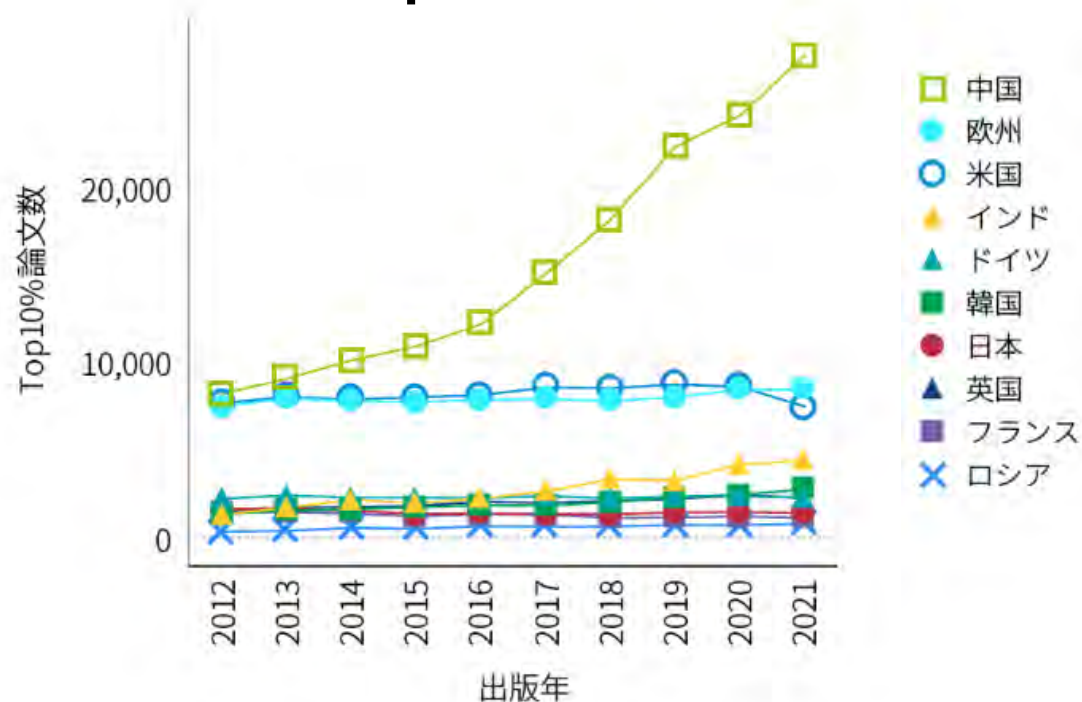
一定の論文数、質は維持しているものの、国際的なシェアが低下しており、
アカデミアにおける我が国のプレゼンスは低下している

ナノテクノロジー・材料分野の論文指標

総論文数



Top10%論文数



研究開発力の低下（２）

我が国の材料分野における論文数シェア推移

【化学（2009-11→2019-21）】

※分数カウント

総論文数	: 6.6%	(3位)	→	4.5%	(4位)
トップ10%	: 6.0%	(4位)	→	2.3%	(9位)
トップ1%	: 5.0%	(5位)	→	2.4%	(8位)

【材料科学（2009-11→2019-21）】

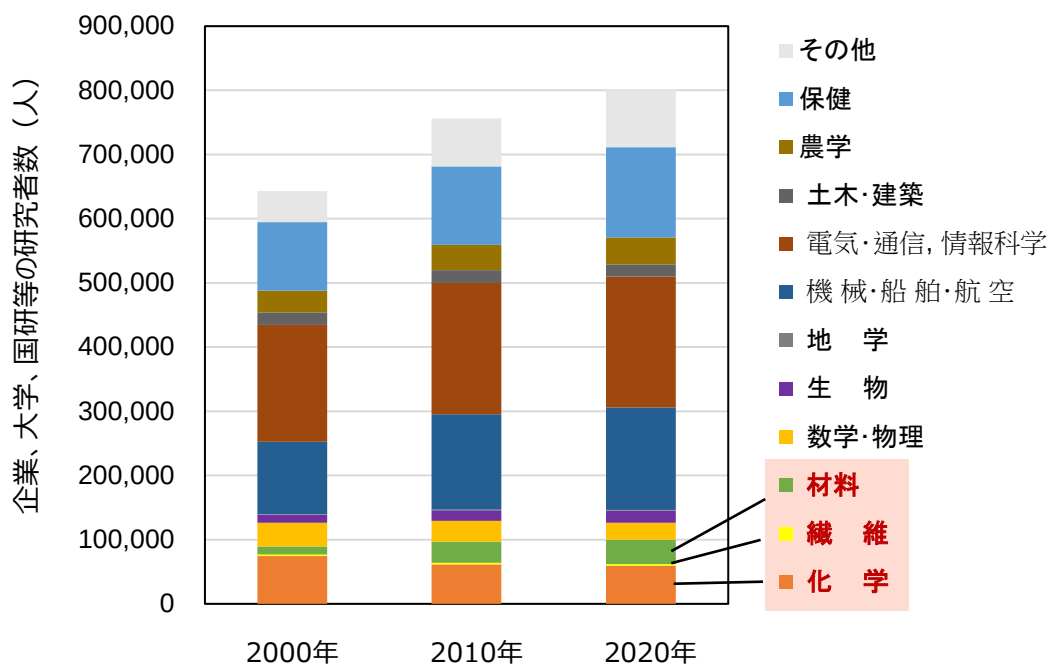
※分数カウント

総論文数	: 6.6%	(3位)	→	3.3%	(5位)
トップ10%	: 4.9%	(4位)	→	1.5%	(10位)
トップ1%	: 4.5%	(4位)	→	1.5%	(10位)

マテリアル分野の研究者数の推移

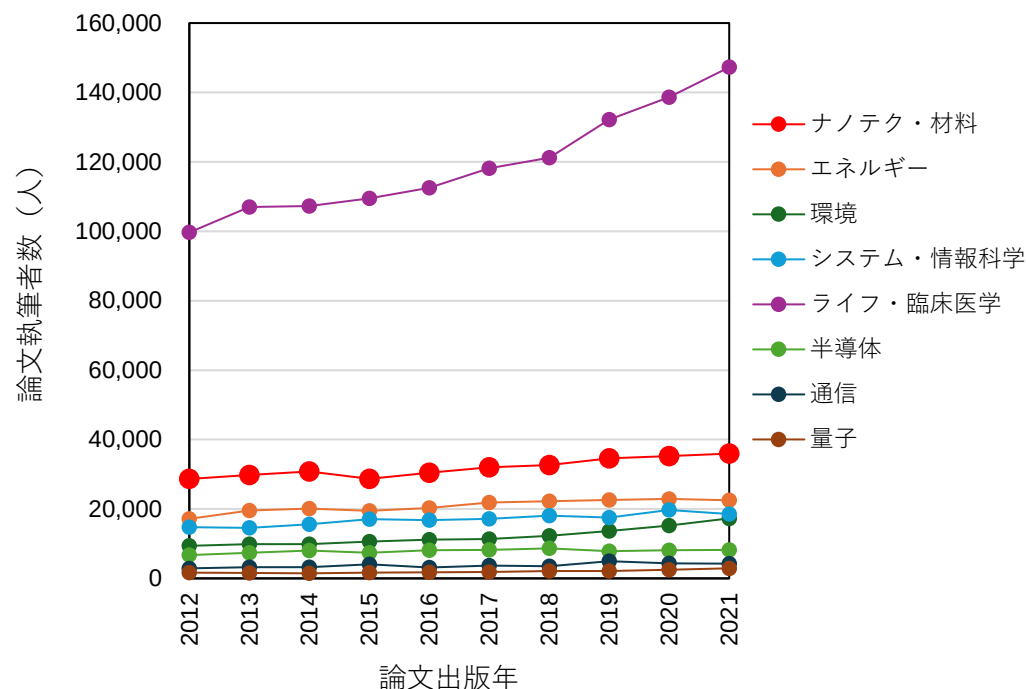
マテリアル分野は、研究者数の割合は減少傾向にあるが10万人規模を維持
論文執筆者数が国内で2番目に多い分野であり、日本で最も存在感を有する研究分野のひとつ

分野別の研究者数



【出典】 総務省統計局「科学技術研究調査」2023年をもとに文部科学省作成

日本の分野別の論文執筆者数



【出典】 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）」2024年6月をもとに文部科学省作成

マテリアル分野の研究コミュニティの縮小（１）

我が国のマテリアル分野における複数の学会で会員数が年々減少傾向
国際的な研究開発力の低下が懸念される

➤ マテリアル分野主要学会の会員数動向

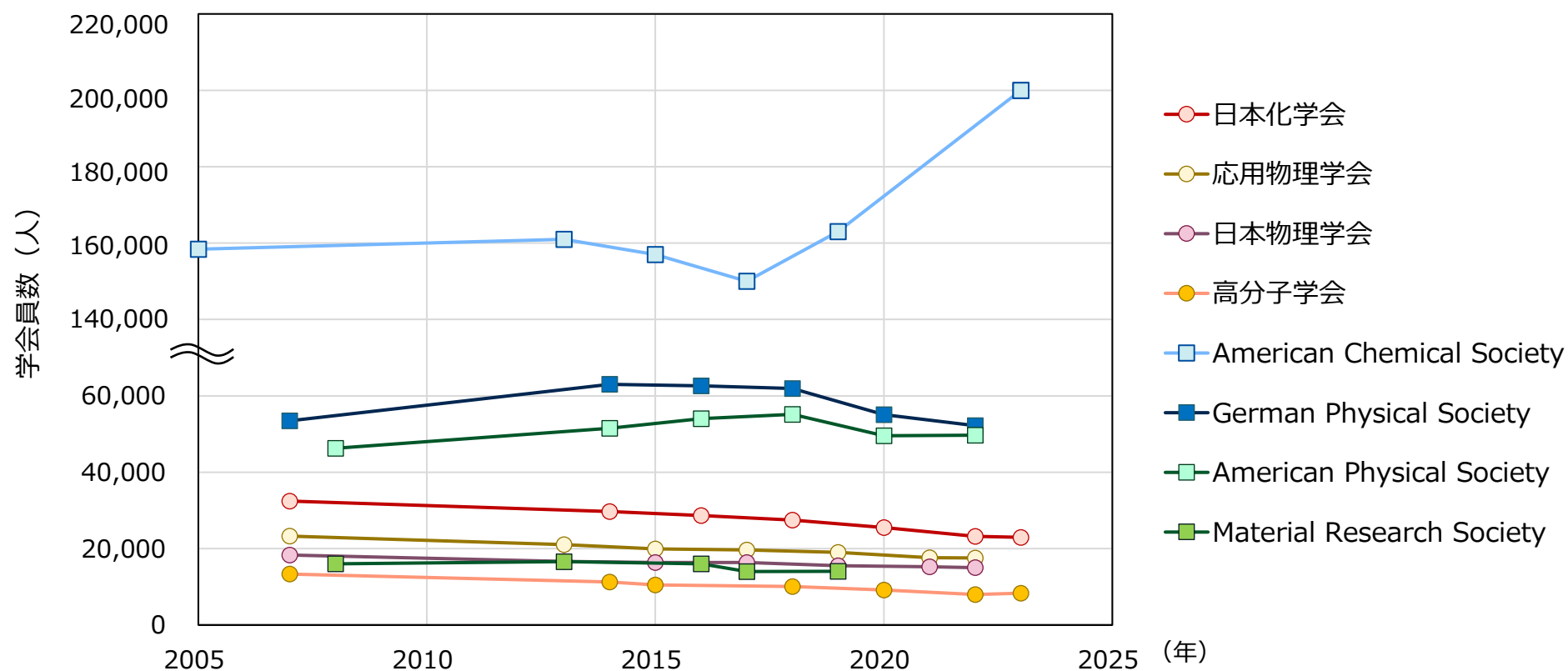
国	学会名	最新		2022- 2021		2020- 2019		2018- 2017		2016- 2015		2014- 2013		2008 以前
日本	日本化学会	22,955 (2023.2)	↘	23,182 (2022.2)	↘	25,487 (2020.2)	↘	27,469 (2018.2)	↘	28,653 (2016.2)	↘	29,722 (2014.2)	↘	32,447 (2007.3)
	日本物理学会	15,014 (2022.12)	↘	15,270 (2021.12)	↘	15,540 (2019.12)	↘	16,338 (2017.12)	↘	16,332 (2015.12)	↘	16,620 (2013.12)	↘	18,321 (2007.3)
	応用物理学会	17,556 (2022.12)	↘	17,641 (2021.12)	↘	18,991 (2019.12)	↘	19,616 (2017.12)	↘	19,937 (2015.12)	↘	21,033 (2013.12)	↘	23,273 (2007.12)
	高分子学会	8,307 (2023.3)	↘	7,984 (2022.3)	↘	9,152 (2020.3)	↘	10,111 (2018.3)	↘	10,505 (2015.3)	↘	11,283 (2014.3)	↘	13,334 (2007.3)
米国	American Chemical Society	>200,000	↘	>151,000	↘	約163,000 (2019)	↘	約150,000 (2017)	↘	約157,000 (2015)	↘	161,000 (2013)	↘	158,422 (2005)
	Material Research Society	>12,000		>12,000		14,092 (2019)	↘	約14,000 (2017)	↘	約16,000 (2016)	↘	16,600 (2013)	↘	約16,000 (2008)
	American Physical Society	—		49,701 (2022)	↘	49,555 (2020)	↘	55,158 (2018)	↘	54,029 (2016)	↘	51,523 (2014)	↘	46,269 (2008)
ドイツ	German Physical Society	—		52,200 (2022)	↘	55,051 (2020)	↘	61,954 (2018)	↘	62,656 (2016)	↘	63,012 (2014)	↘	53,449 (2007)

括弧内は会員数確認時点の年、月を表す

マテリアル分野の研究コミュニティの縮小（２）

我が国のマテリアル分野における複数の学会で会員数が年々減少傾向
国際的な研究開発力の低下が懸念される

➤ マテリアル分野主要学会の会員数動向



マテリアル分野の研究コミュニティの縮小（3）

米国の国際共著論文の相手国として日本の存在感は幅広い分野で低下している

米国における主要な国際共著論文の相手国（2019-2021）

	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	9位	10位
全分野	中国 27.6%	英国 14.5%	ドイツ 11.8%	カナダ 11.0%	フランス 7.7%	オーストラリア 7.2%	イタリア 7.2%	日本 5.7%	スペイン 5.6%	オランダ 5.2%
化学	中国 35.3%	ドイツ 9.7%	英国 8.3%	韓国 5.9%	インド 5.6%	フランス 5.6%	カナダ 5.3%	イタリア 5.0%	日本 4.8%	スペイン 4.2%
材料科学	中国 49.8%	韓国 8.9%	ドイツ 7.4%	英国 6.5%	日本 4.6%	インド 4.5%	カナダ 4.4%	フランス 4.0%	オーストラリア 4.0%	イタリア 3.1%
物理学	中国 27.1%	ドイツ 24.2%	英国 21.7%	フランス 16.3%	イタリア 13.1%	日本 11.8%	スペイン 10.4%	カナダ 10.4%	スイス 8.7%	ロシア 8.4%
計算機・数学	中国 38.6%	英国 9.6%	カナダ 7.8%	ドイツ 7.1%	フランス 5.6%	韓国 4.5%	インド 4.3%	オーストラリア 4.1%	イタリア 4.1%	スペイン 3.1%
工学	中国 46.5%	英国 6.6%	韓国 6.5%	カナダ 5.7%	ドイツ 4.8%	インド 4.3%	イタリア 4.2%	オーストラリア 3.9%	イラン 3.7%	フランス 3.6%
環境・地球科学	中国 32.5%	英国 15.0%	カナダ 12.0%	ドイツ 11.5%	オーストラリア 9.3%	フランス 8.9%	スイス 5.2%	スペイン 5.2%	イタリア 5.0%	オランダ 4.5%
臨床医学	英国 18.6%	カナダ 16.7%	中国 16.5%	ドイツ 13.0%	イタリア 11.1%	オーストラリア 9.4%	オランダ 8.5%	フランス 8.3%	スペイン 7.1%	日本 6.9%
基礎生命科学	中国 22.4%	英国 14.6%	ドイツ 11.6%	カナダ 10.9%	オーストラリア 7.2%	フランス 7.1%	ブラジル 6.2%	イタリア 6.2%	日本 5.6%	スペイン 5.4%

日本
12位
日本
11位
日本
11位

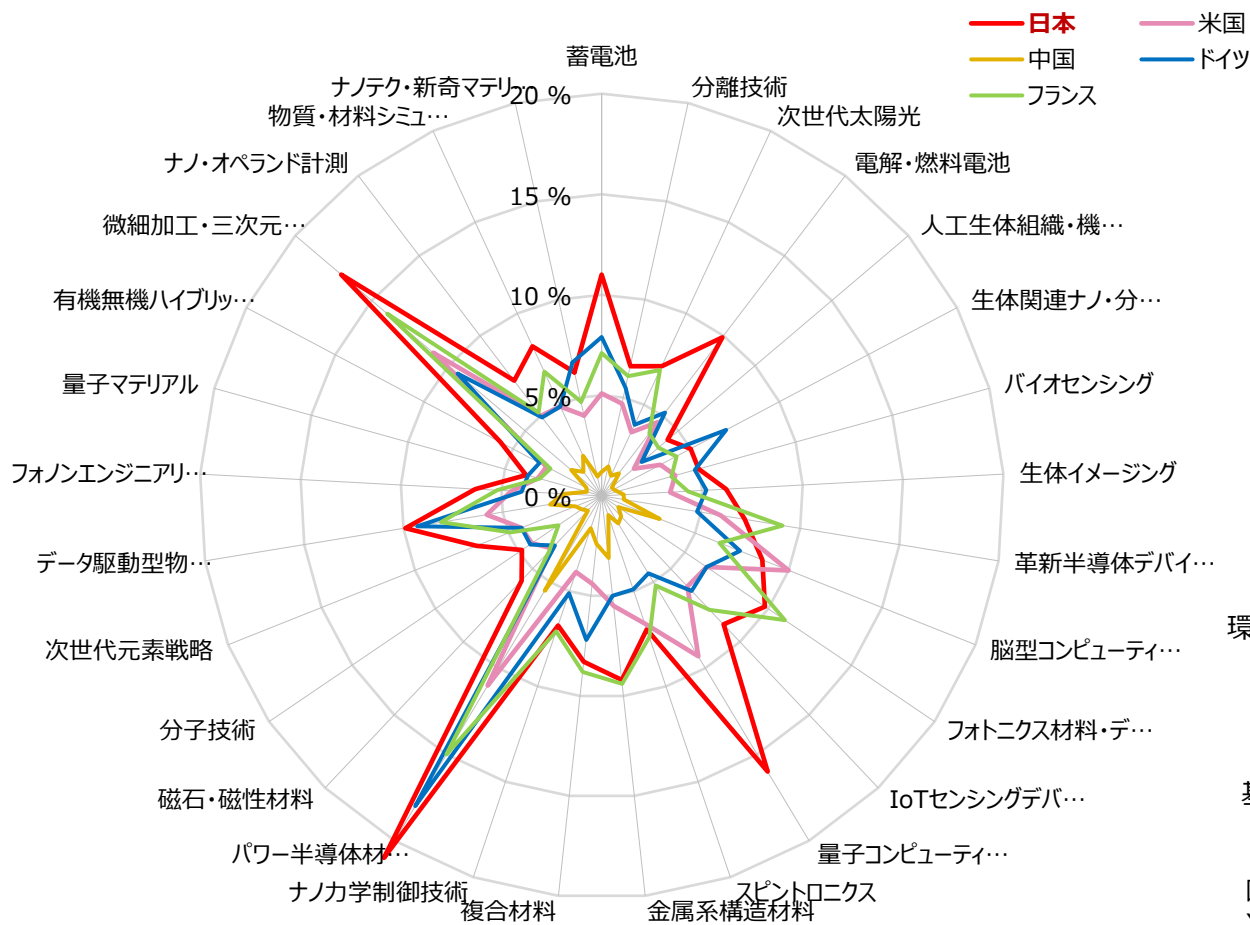
（注） 整数カウント法による。矢印始点●の位置は、2009-2011 年の日本のランクである。矢印先端が 2019-2021 年の日本のランクである。シェアは、米国における国際共著論文に占める当該国・地域の割合を指す。

クラリベイト社 Web of Science XML (SCIE, 2022 年末バージョン)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

マテリアル分野における学界と産業界のつながり

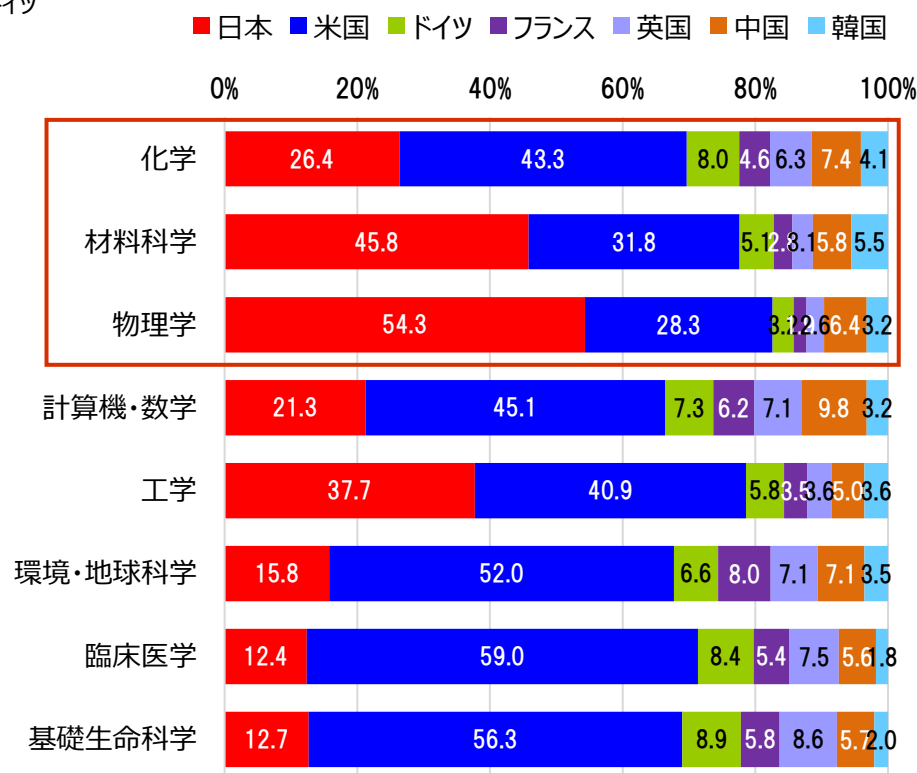
日本のマテリアル分野の論文は、産学共著の割合が主要国に比べて総じて高く、
また、材料分野では日本の論文が自国のパテントファミリーで引用される割合が高い

マテリアル分野における領域毎の論文の産学共著の割合（2012-2021）



【出典】CRDS「研究開発の俯瞰報告書 ナノテクノロジー・材料分野（2023）」2023年をもとに文部科学省作成

日本の論文を引用しているパテントファミリー
（国際特許出願）出願者の所属国



欧州特許庁のPATSTAT(2023年秋バージョン)、クラリベイト社Web of Science XML(SCIE, 2023年末バージョン)、クラリベイト社 Derwent Innovation Index(2024年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

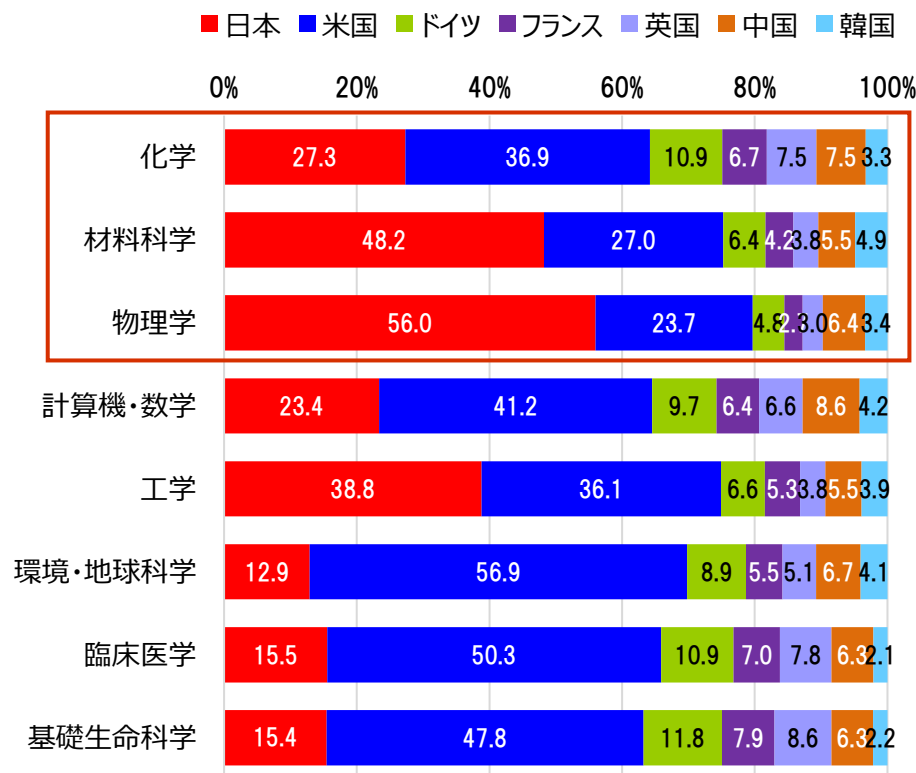
【出典】文部科学省科学技術・学術政策研究所、「科学技術指標 2024」2024年8月をもとに文部科学省加工

日本の論文と主要国のパテントファミリーとのつながり

日本の論文で自国のパテントファミリーに多く引用されている分野は「物理学」と「材料科学」、
マテリアル革新力強化戦略策定時点から割合は減少するも他分野に比して高割合を維持

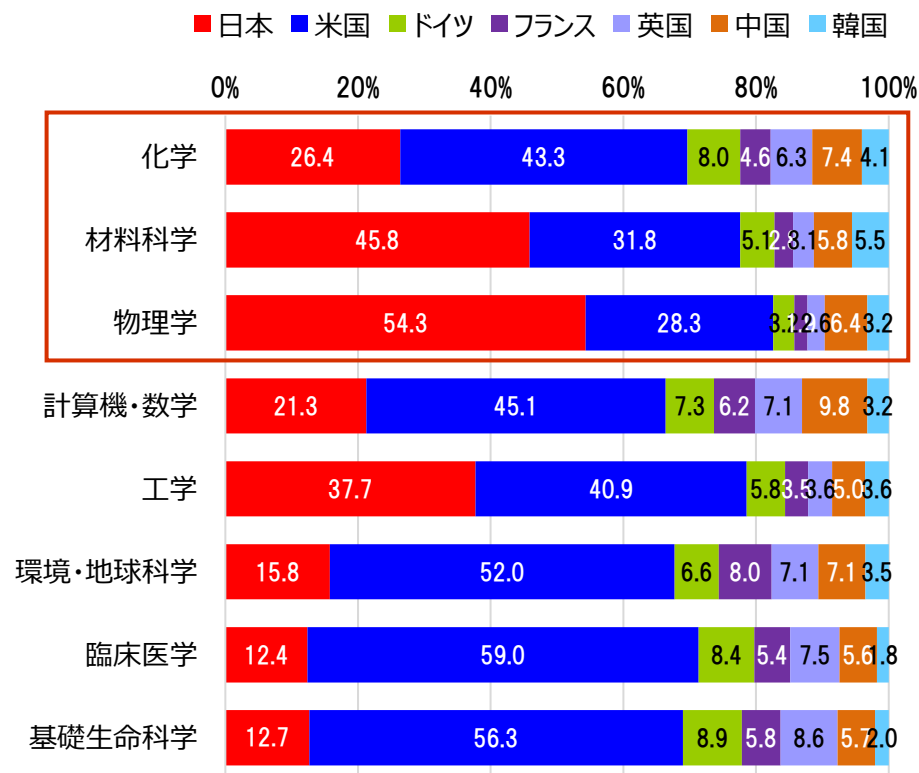
日本の論文はどの国のパテントファミリー（国際特許出願）で引用されているか

2020年時点（マテリアル革新力強化戦略策定時点）



欧州特許庁のPATSTAT(2019年秋バージョン)、クラリベイト社Web of Science XML(SCIE, 2019年末バージョン)、クラリベイト社 Derwent Innovation Index(2020年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。
【出典】文部科学省科学技術・学術政策研究所,「科学技術指標 2020」
2020年8月をもとに文部科学省加工

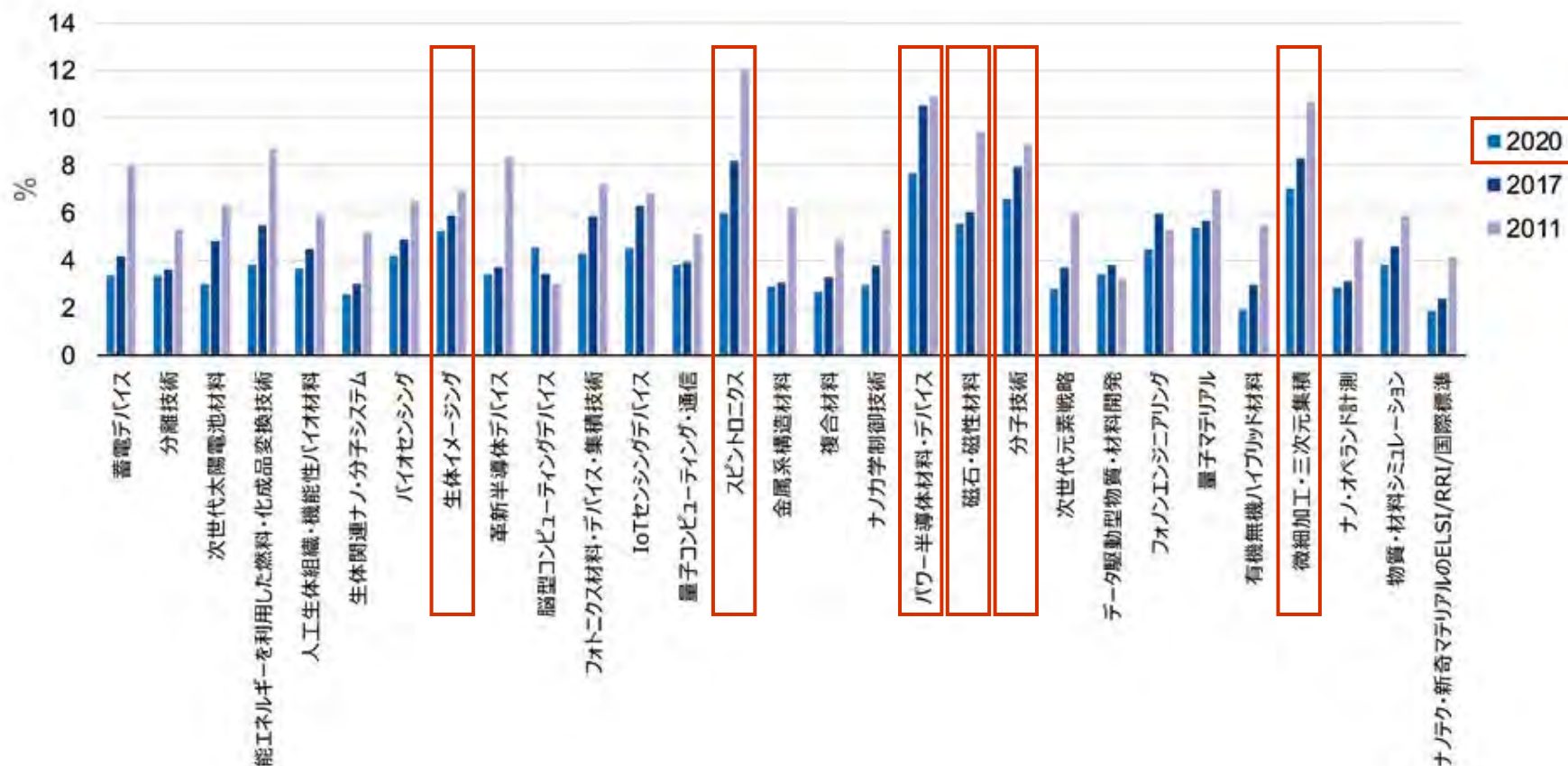
2024年時点



欧州特許庁のPATSTAT(2023年秋バージョン)、クラリベイト社Web of Science XML(SCIE, 2023年末バージョン)、クラリベイト社 Derwent Innovation Index(2024年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。
【出典】文部科学省科学技術・学術政策研究所,「科学技術指標 2024」
2024年8月をもとに文部科学省加工

ナノテクノロジー・材料分野における領域別の論文数シェア

2020年時点では、「生体イメージング」、「スピントロニクス」、「パワー半導体材料・デバイス」、「磁石・磁性材料」、「分子技術」、「量子マテリアル」、「微細加工・三次元集積」が相対的に高いシェアを占める



出典：エルゼビア Scopusカスタムデータを基に、JSTが集計、作成。各研究開発領域の論文検索式はJST-CRDSにて定義。

図 1.2.5-6 ナノテクノロジー・材料分野の研究開発領域別の日本の論文数シェア

各研究開発領域（抜粋）における論文数の国別動向

*図の右に行くほど近年の論文数増加率が高く、上部に行くほど長期的な論文数増加率が高いことを意味する。バブルサイズは2020年の論文数。

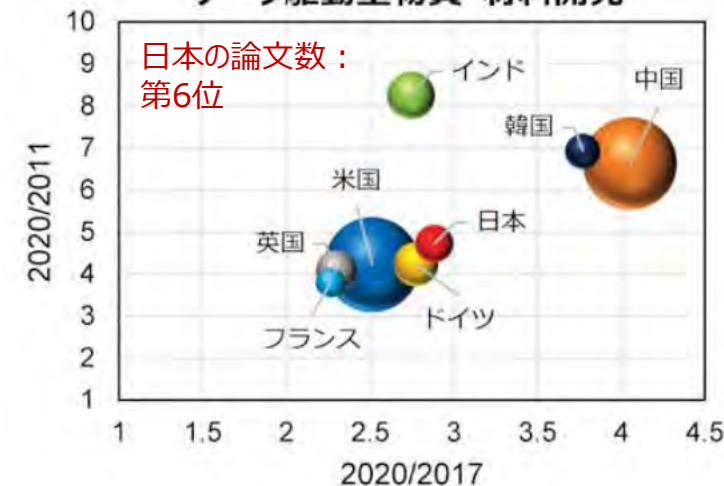
蓄電デバイス



スピントロニクス



データ駆動型物質・材料開発



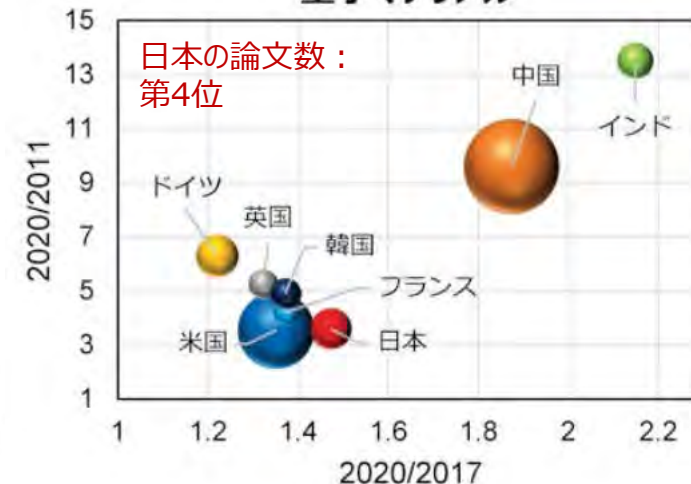
生体イメージング



パワー半導体材料・デバイス



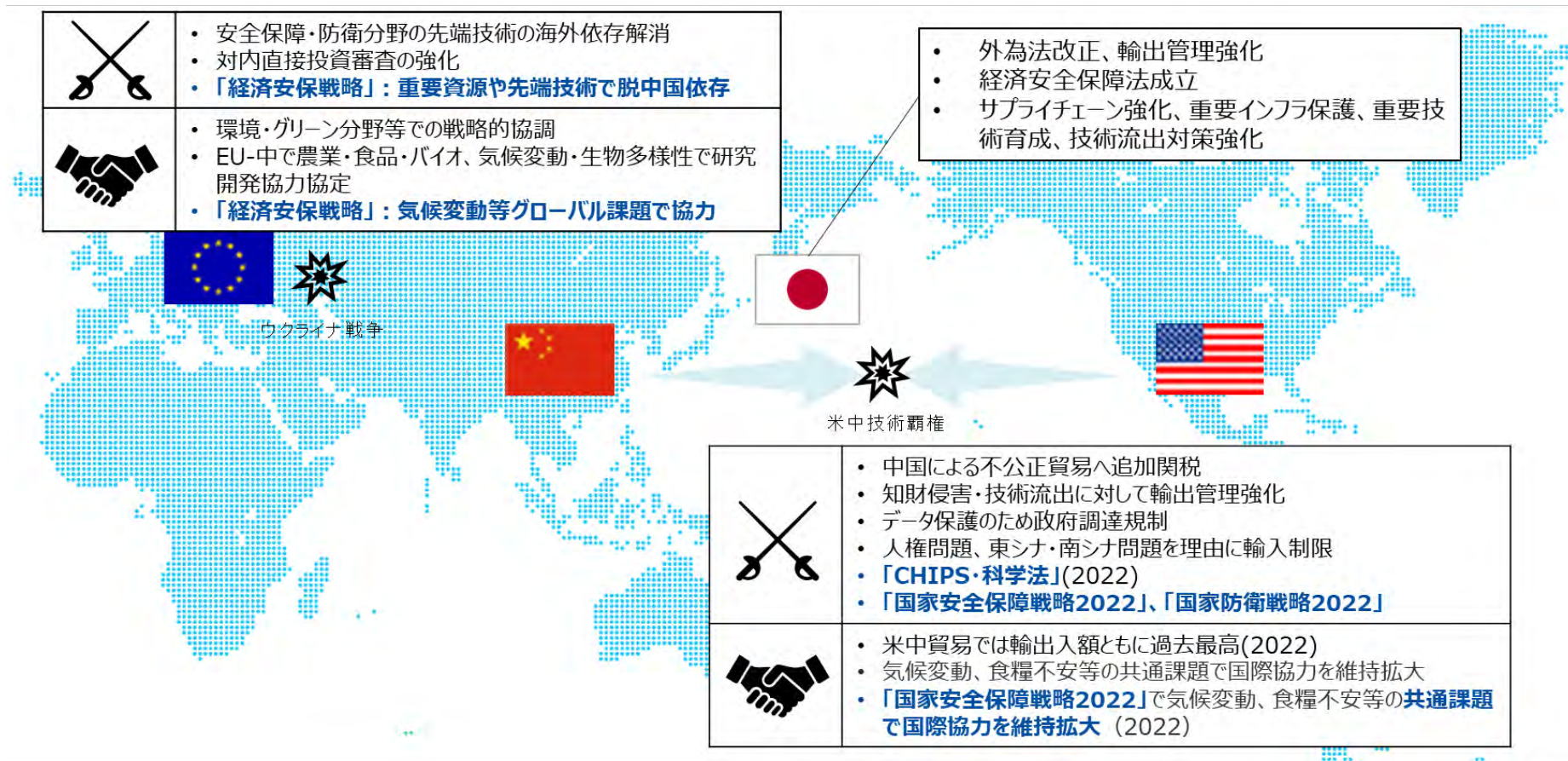
量子マテリアル



出典：エルゼビア Scopusカスタムデータを基に、JSTが集計、作成。各研究開発領域の論文検索式はJST-CRDSにて定義。

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。

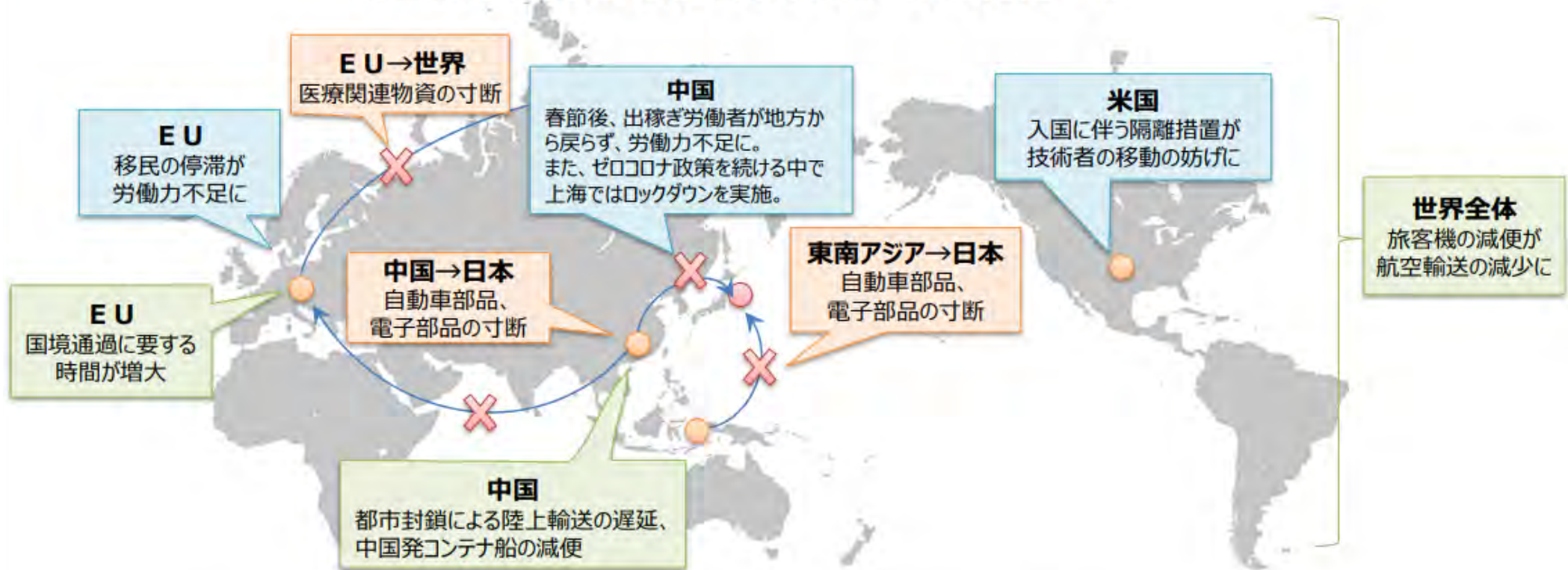


各国公表資料を元にJST研究開発戦略センターで作成

新型コロナウイルス感染症の世界的な拡大によるサプライチェーンの寸断

- コロナショックにより、部品や素材調達等のサプライチェーンが寸断。
- 効率的な生産体制（少ない在庫、コスト競争力のある海外での集中生産）、や陸海空の機動的な物流など現代の経済活動を支える機能が停止に追い込まれ、リスクが顕在化。

新型コロナウイルスを受けたサプライチェーンの寸断の一例



（資料）GlobalTradeAlert、独立行政法人日本貿易振興機構「地域・分析レポート」、内閣府「景気ウォッチャー調査」、Sixfold、Baldwin「Supplychaincontagionwaves: Thinkingaheadonmanufacturing'contagionandreinfection'fromtheCOVIDconcussion」

カーボンニュートラルに向けた国際的な動向

2050カーボンニュートラルに向けた国際的なロードマップと環境規制の動き

クリーンエネルギーの成長により：

- ・新たな石炭火力発電が不要になる
- ・新たな油田とガス田が不要になる

10年間の主要なグローバル目標：

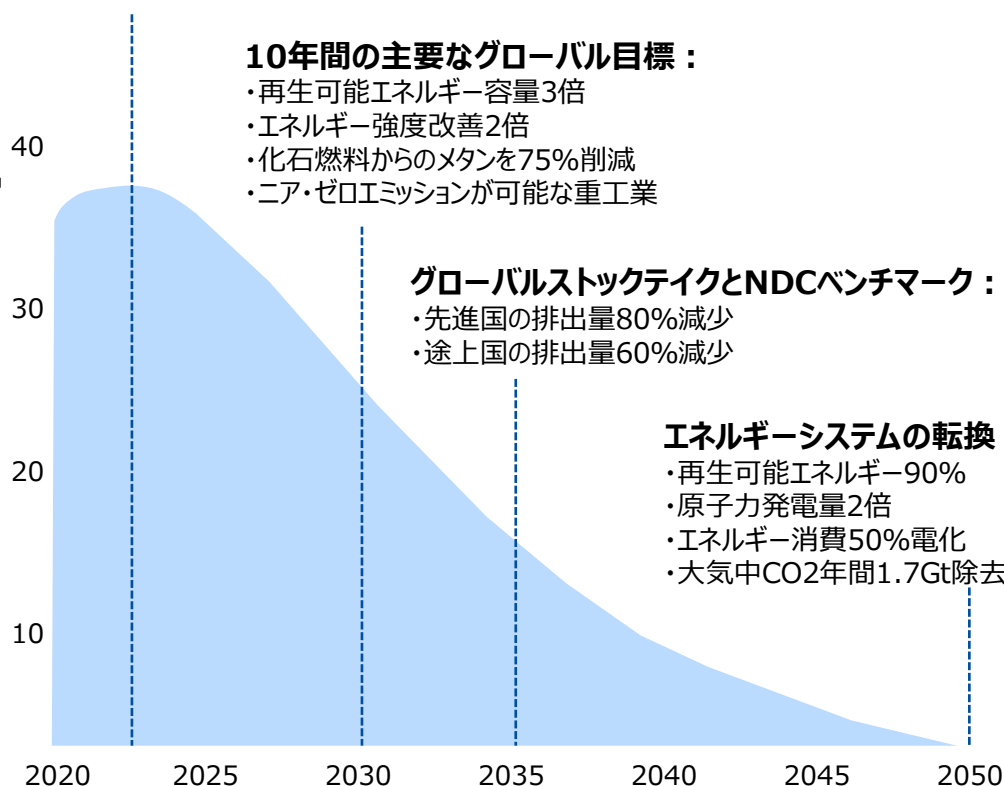
- ・再生可能エネルギー容量3倍
- ・エネルギー強度改善2倍
- ・化石燃料からのメタンを75%削減
- ・ニア・ゼロエミッションが可能な重工業

グローバルストックテイクとNDCベンチマーク：

- ・先進国の排出量80%減少
- ・途上国の排出量60%減少

エネルギーシステムの転換：

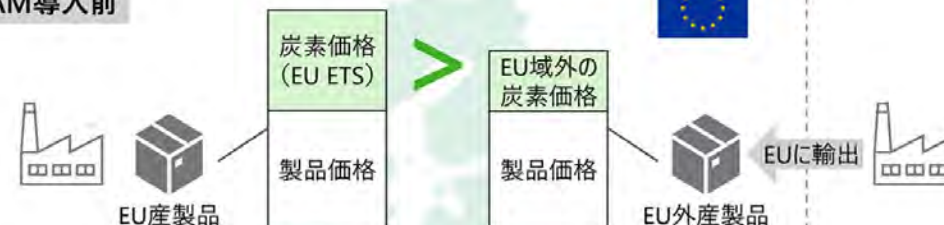
- ・再生可能エネルギー90%
- ・原子力発電量2倍
- ・エネルギー消費50%電化
- ・大気中CO₂年間1.7Gt除去



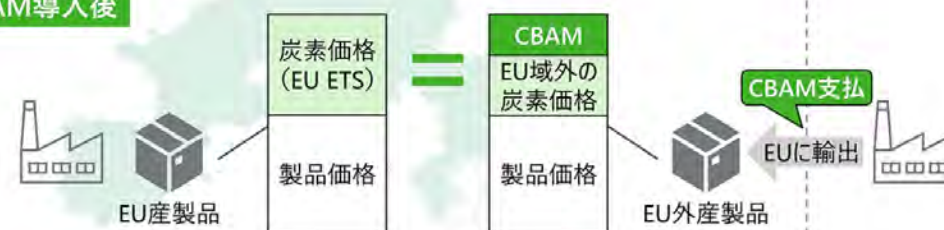
国際エネルギー機関（IEA）による
2050年ネットゼロに向けたロードマップ

【出典】 国際エネルギー機関（IEA）、「Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach」 2023年9月 もとに文部科学省作成

CBAM導入前



CBAM導入後



直接排出及び間接排出



直接排出：対象製品の生産工程で生じる排出であり、生産工程の中で消費される加熱や冷却にかかる温室効果ガスの排出を含む
間接排出：対象製品の生産工程で消費される電力の発電にかかる温室効果ガスの排出

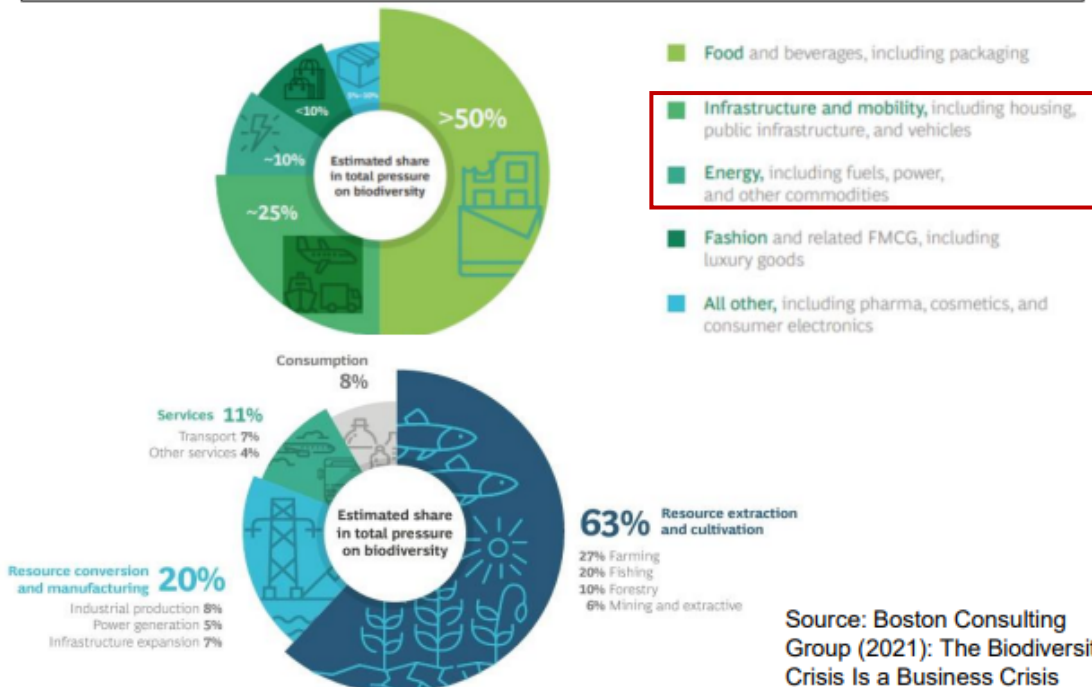
EUの炭素国境調整措置、CBAM（Carbon Boarder Adjustment Mechanism）が2023年より暫定適用開始、2026年より本格的な適用

【出典】 環境省、脱炭素ポータル、「EUによる炭素国境調整措置（CBAM）から読み解くカーボンプライシング」
European Commission（EC）「Carbon Boarder Adjustment Mechanism」
2023年12月

企業の自然資本の保全への貢献と価値創造

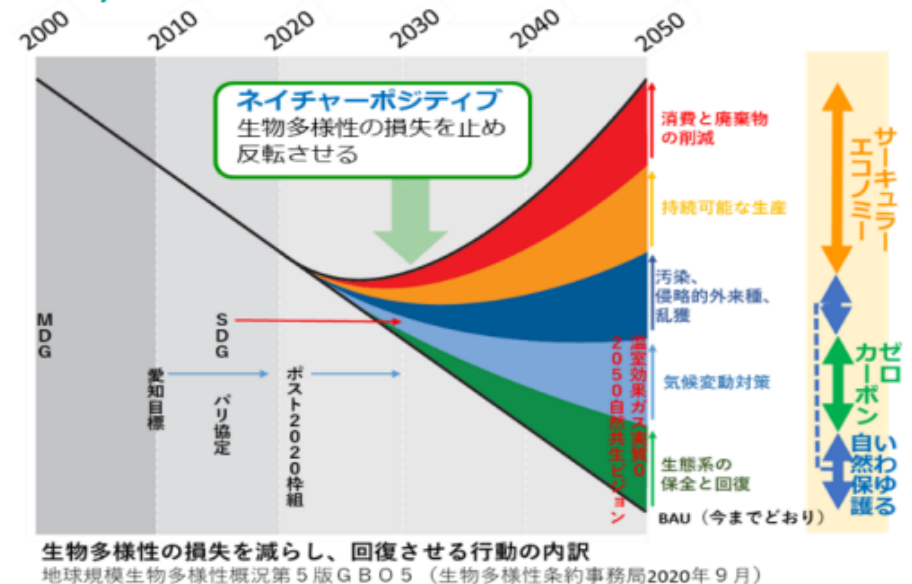
- 企業は自然資本に負荷を与えるのみならず、その技術の開発・活用、市場への製品供給等を通じ、自然資本の保全・回復に貢献する力も持つ。既に気候変動対策や資源利用に伴う環境負荷の低減等の分野において、企業の技術力等が発揮され、企業の価値創造にもつながっている現状に鑑みれば、**自然の保全・回復に関しても、企業によるソリューションの提供がネイチャーポジティブ実現の推進力となることが十分に期待**できる。
- ネイチャーポジティブの実現には、希少な自然の保全等のいわゆる狭義の「自然環境保全」に止まらず、**気候変動対策の推進、循環経済の実現、化学物質対策等の取組の総動員が必要**。言い換えれば、**企業がこれらの取組を講じていれば、それはすなわちネイチャーポジティブへの道を歩み始めている**ということである。

経済活動（日常生活や生産活動）による自然への負荷



ネイチャーポジティブを実現する経済への移行

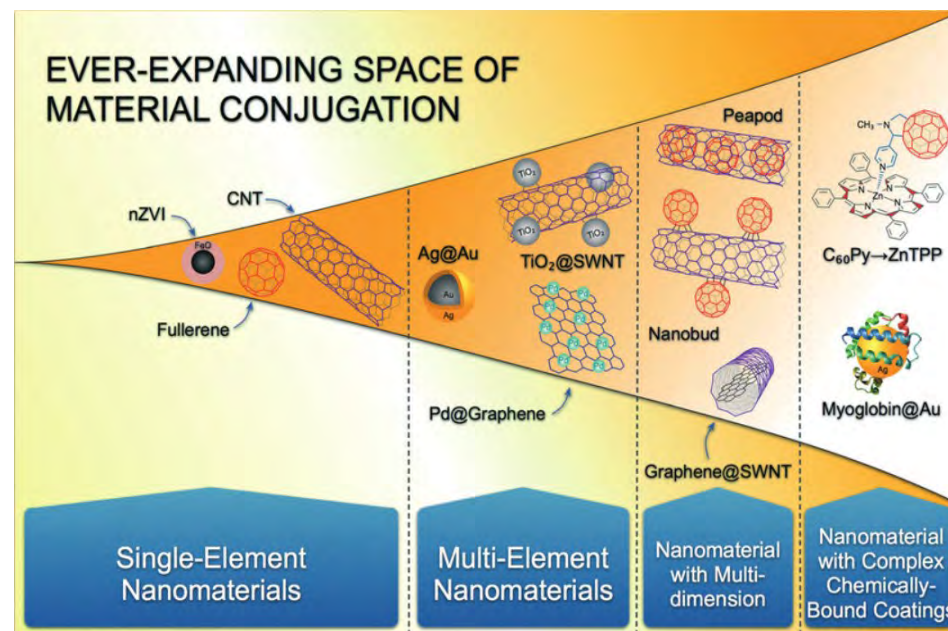
ネイチャーポジティブ（NP）実現のためには、**CN,CE含む施策の総動員＝社会経済の変革が必須**



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）

欧州 包装・包装廃棄物規則（PPWR）

Packaging and Packaging Waste Regulation

- 2022年11月、欧州委員会は、EU域内の包装全般の廃棄物の削減等を目的に、包装・包装廃棄物規則案（PPWR: Packaging and Packaging Waste Regulation）を提案。
- 2024 年 4 月の欧州議会本会議で暫定合意案を可決。今後、EU理事会で採択予定。
- 食品に限らず全ての包装及び包装廃棄物が対象
- 包装廃棄物削減に向け、以下の取組を強力に推進
 - ① 廃棄削減（prevention/avoiding waste）
 - ② 再利用（reuse）
 - ③ リサイクル（recycling）
- 輸入品を含め、多くの規制が 2030 年から適用
- 暫定合意内容
 - ✓ 包装廃棄物削減目標：
 - 2030年までに5%。2035年までに10%。2040年までに15%
 - ✓ リサイクル率



	2030年	2040年
PETを主成分とする、接触に注意が必要な包装材 （単回使用の飲料ボトルを除く）	30%	50%
PET以外のプラスチック材料で作られた 接触に注意が必要な包装材	10%	25%
飲料用使い捨てプラスチックボトル	30%	60%
上記以外のプラスチック包装	35%	65%

- ✓ その他、PFASの使用禁止、詰め替え可能容器の使用推進など

- 有機フッ素化合物**

フッ素化脂肪族化合物

PFAS

ペルフルオロアルキル化合物

PFAA

PFCA
PFOA

PFNA
PFHpA

PFBA, PFPeA,
PFHxA, PFDA,
PFUnA, PFDoA,
PFTeA, PFTeDA

PFSA
PFOS

PFHxS
PFBS

PFDS
PFNS
PFHpS
PFPeS

PASf
PFOSf

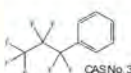
ポリフルオロアルキル化合物

n:2FTOH

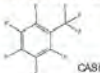
6:2FTOH
8:2FTOH

フッ素化芳香族化合物

オクタフルオロトルエン



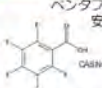
CAS No. 378-98-3
(ヘptaフルオロビル) ベンゼン



CAS No. 434-64-0

1つ以上のメチル基もしくはメチレン基が完全にフッ素化している脂肪族側鎖をもつフッ素化芳香族化合物もしくはフッ素化していない芳香族化合物

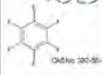
ペンタフルオロ
安息香酸



CAS No. 502-64-8

フッ素化していない脂肪族側鎖をもつフッ素化芳香族化合物

ヘキサフルオロ
ベンゼン



CAS No. 305-08-0

側鎖のないフッ素化芳香族化合物

ジフルオロメタン



HF022 CAS No. 75-10-5

ジクロロジフルオロメタン



HF027 CAS No. 75-46-7

トリフルオロメタン



HF029 CAS No. 75-71-8

メチル基もしくはメチレン基の一部がフッ素化している脂肪族化合物

テトラフル
オロメタン



CAS No. 75-75-6

ポリテトラフル
オロエチレン



PTFE

1つ以上のメチル基もしくはメチレン基が完全にフッ素化している脂肪族化合物

2-フルオロ
エチルベンゼン



CAS No. 408-877

メチル基もしくはメチレン基の一部がフッ素化している脂肪族側鎖をもつフッ素化芳香族化合物もしくはフッ素化していない芳香族化合物

環境中の注目度の
変遷

初期の
懸念物質

最新の
懸念物質

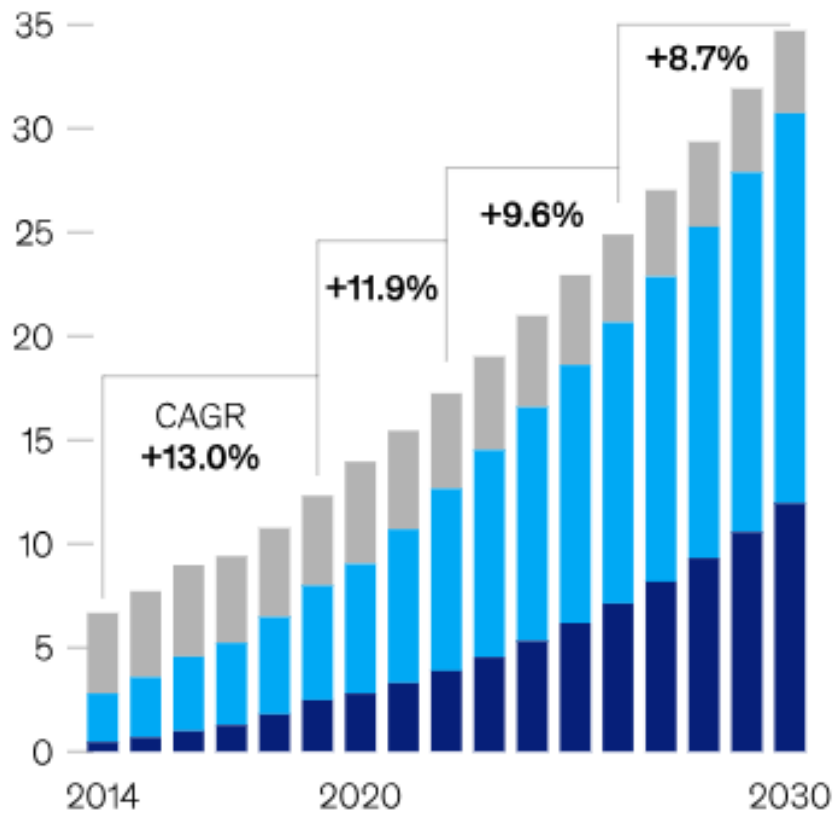
- < 參照資料 >
 * <https://pfasas.1.itrcweb.org/2-3-emerging-health-and-environmental-concerns/>
 * OECD (2021) Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance, OECD Series on Risk Management, No. 61.

37

Large-scale AIを実現するデータセンターで消費電力が増大

米国のデータセンターの電力消費は、2030年までに年率約10%の増加が予測されており、2030年までに35GWまで増加すると推定されている

データセンターの電力消費量（GW）



データセンターの電力消費量（%）

