

「マテリアル革新力」に関する 参考資料・データ集

マテリアルの重要性

重要性①～重要政府戦略の実現にはマテリアルの革新が不可欠

政府のAI戦略、バイオ戦略、量子戦略、環境戦略において、マテリアルに係る技術課題が多数掲げられているが、いずれもチャレンジングな技術課題であり、産学官のマテリアル関係者が戦略的・一体的に取り組む必要。

AI戦略2019

- 中核基盤研究開発として、例えば以下の取組を提示
 - ・エッジ向けコンピューティング・デバイス（自立型フレキシブルモジュールへ向けた**革新的センサ・アクチュエータ**等の開発、情報処理に係る消費電力性能を従来比10倍以上に向上させる**革新的AIチップ技術の確立**）
 - ・クラウド型コンピューティング・デバイス（消費電力がDRAMの数分の1以下、記憶容量は100倍以上の**ストレージクラスメモリの開発**）
 - ・産学官における**計算科学・AIを用いた材料研究開発**

バイオ戦略2019

- 市場領域（計9つ）として、例えば以下の領域・取組を提示
 - ① **高機能バイオ素材（軽量性、耐久性、安全性）**
 - ・持続可能な炭素循環社会の実現は世界共通の課題。軽量強靱なバイオ素材に対するニーズの大幅拡大が予想。我が国は素材技術及びその利用領域に強み。**生産培養技術を強化することで素材開発を促進**し世界市場を開拓。
 - ② **バイオプラスチック（汎用プラスチック代替）**
 - ・化石資源に依存しないプラスチック製造が実用化していないこと、廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチックごみ等による環境汚染が世界的課題。我が国の豊富な遺伝資源と競争力ある素材物性情報はバイオプラスチックの開発において有望資源。**バイオプラスチック、生分解性プラスチックの開発促進**等により世界市場を開拓。
 - ④ **有機廃棄物・有機排水処理**
 - ・世界の廃棄物の急激な増加、環境問題の深刻化に対応する環境浄化関連市場の大幅な拡大が予想。**高付加価値を有する物質・素材等への転換を図るバイオを活用した資源循環システムの構築**等により、市場を獲得・拡大。
 - ⑥ **バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業**
 - ⑧ **バイオ関連分析・測定・実験システム**

量子技術イノベーション戦略

- 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。

重要性①～重要政府戦略の実現にはマテリアルの革新が不可欠（2）

革新的環境イノベーション戦略

○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

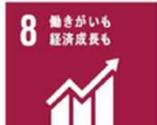
13. 最先端のバイオ技術等を活用した資源利用及び農地・森林・海洋へのCO₂吸収・固定

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。

重要性②～SDGs達成にはマテリアルの革新が不可欠

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。

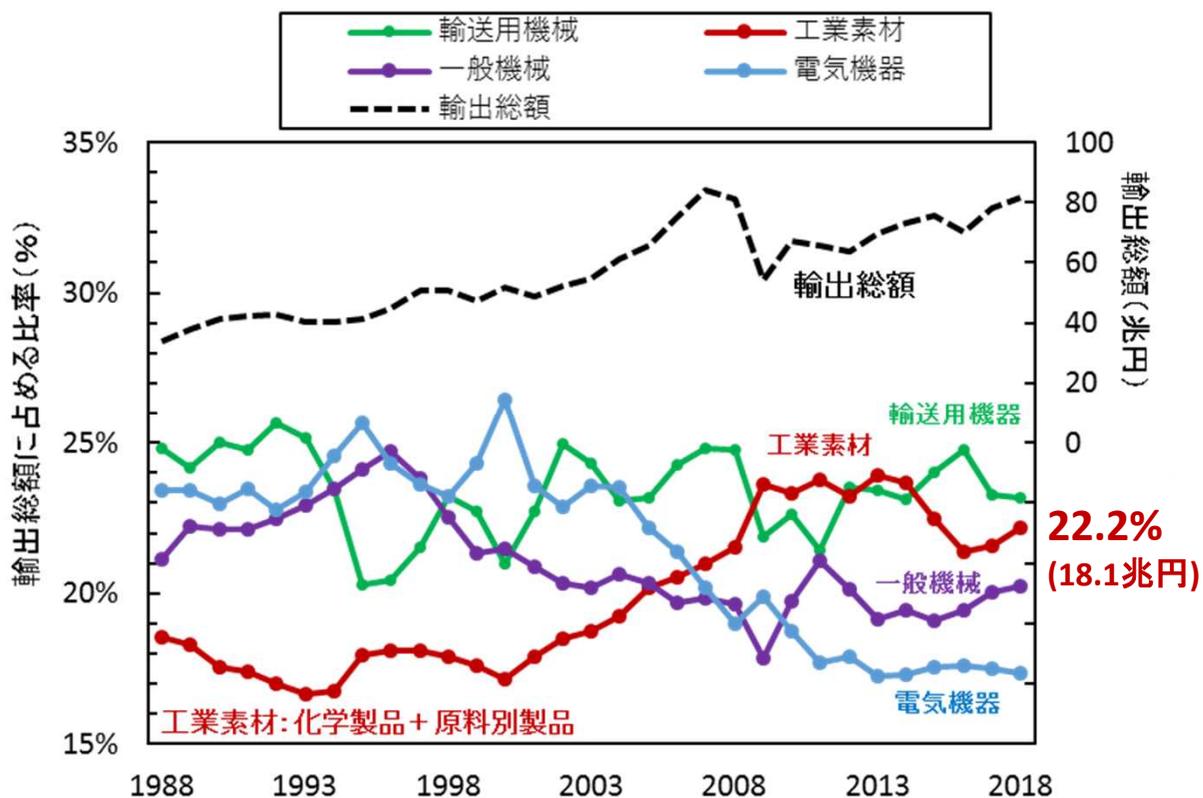
<p>貧困の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 衣: 合成繊維 (ナイロン、ポリエステル、など) 食: 脱脂粉乳、人工甘味料、など 住: 合板 (ベニヤ、木質ボード) 	<p>製造消費</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 大量生産: オートメーション、ロボット 消費: 迅速な大量輸送 (道路、輸送機器)
<p>飢餓の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ナノ食材 (吸収性・安定性・溶解性向上、食味改善、など) 衛生技術 (ナノバブルを用いた殺菌・滅菌・洗浄、など) 	<p>気候変動</p> 	<ul style="list-style-type: none"> (衛星搭載) 地球観測センサ スーパーコンピュータ (地球シミュレータ)
<p>健康と福祉</p> 	<ul style="list-style-type: none"> バイオチップ (診断デバイス) ナノドラッグデリバリーシステム 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) 	<p>海洋資源</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 計測技術 レアメタル、レアアース
<p>水とトイレ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 逆浸透膜 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 	<p>陸上資源</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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)
<p>エネルギー クリーン</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 電子エネルギー変換 太陽電池、LED、熱電変換、など 化学エネルギー変換 光触媒、燃料電池、二次電池、など 発電用材料 タービンブレード用超耐熱材料、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 バイオ燃料 バイオエタノール、廃棄物利用、など クリーンプロセスング 吸着材料、分離膜、排ガス触媒、など 	<p>産業 技術革新</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ◎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) 原子スイッチ ➢ Beyond CMOS (CMOSと異なる動作原理、その物理限界を超える性能。スピントロニクス、など)
<p>労働 経済成長</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 産業用ロボット・ロボットスーツ (軽量化材料) ナノセンサ・アクチュエータ 	<p>不平等の是正</p> 	<ul style="list-style-type: none"> パソコン、インターネット 輸送網 (道路、輸送車両…)
		<p>持続可能都市</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ◎建築土木資材 鉄鋼 コンクリート プラスチック

【出典】第10期ナノテクノロジー・科学技術委員会 (第4回) 中山智弘氏 (JST/CRDS) 発表資料
(2018.2.16ナノテクノロジー総合シンポジウム 岸輝雄 外務大臣科学技術顧問発表資料をJST/CRDSが改変)

重要性③～マテリアルは日本の輸出産業の要

我が国の輸出総額（2018年：81兆円）のうち「工業素材」が「輸送用機器(自動車等)」と並んで2割を超える。また、約30年間の輸出品目の推移においても、部素材関係が常に上位（一定の輸出割合）を占めている。

輸出総額に占める概況品各分野の比率



輸出上位10品目の推移

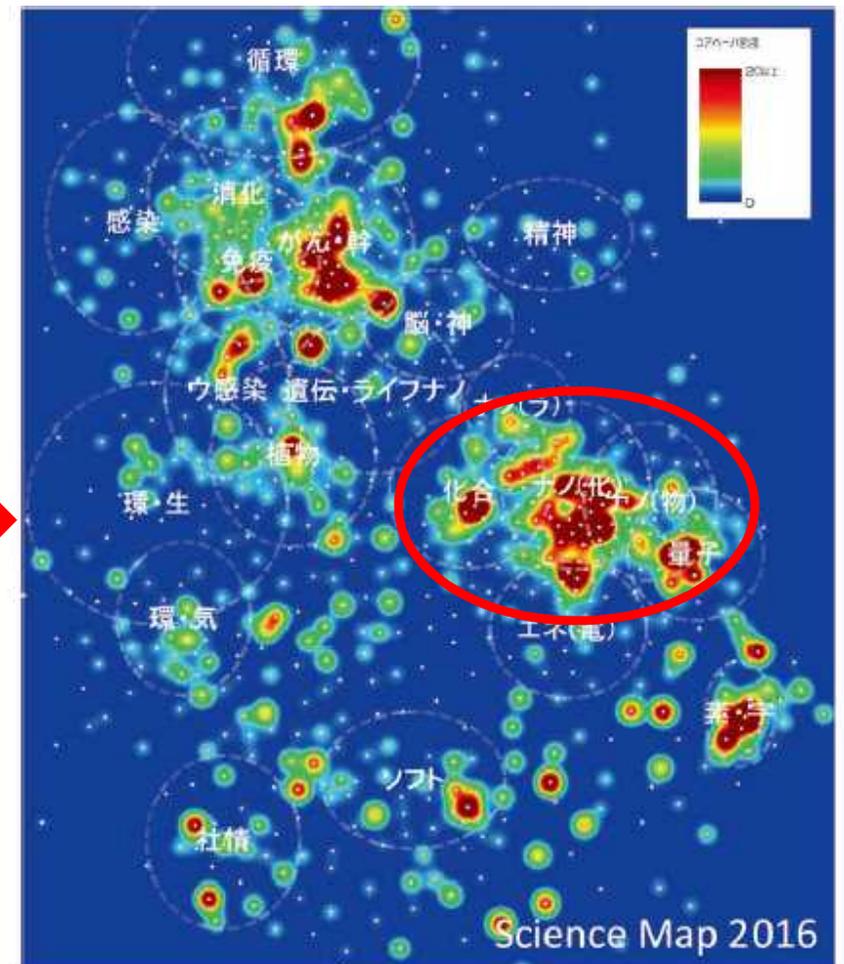
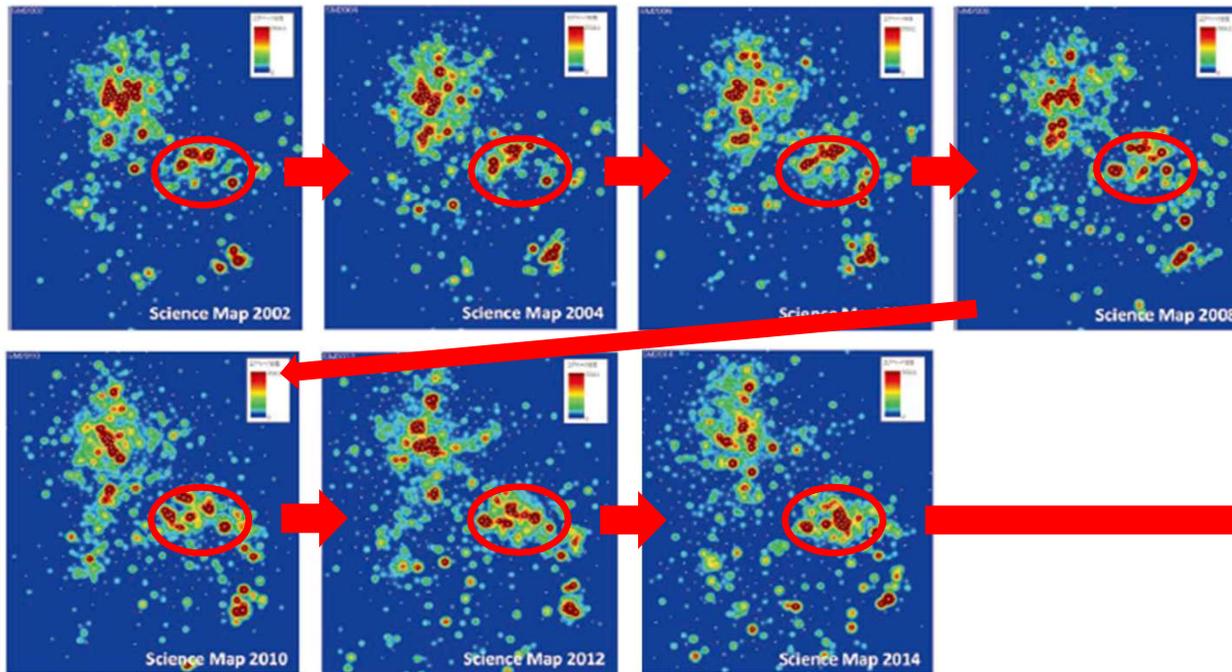
順位	品目	1990年 輸出総額 41兆4,569億円	2000年 輸出総額 51兆6,542億円	2010年 輸出総額 67兆3,996億円	2018年 輸出総額 81兆4,788億円			
1	自動車	17.8%	自動車	13.4%	自動車	15.1%		
2	事務用機器	7.2%	半導体等電子部品	8.9%	半導体等電子部品	6.2%	半導体等電子部品	5.1%
3	半導体等電子部品	4.7%	事務用機器	6.0%	鉄鋼	5.5%	自動車の部分品	4.9%
4	映像機器	4.5%	科学光学機器	5.1%	自動車の部分品	4.6%	鉄鋼	4.2%
5	鉄鋼	4.4%	自動車の部分品	3.6%	プラスチック	3.5%	原動機	3.6%
6	科学光学機器	4.0%	原動機	3.2%	原動機	3.5%	半導体等製造装置	3.3%
7	自動車の部分品	3.8%	鉄鋼	3.1%	船舶	3.3%	プラスチック	3.1%
8	原動機	2.7%	映像機器	2.7%	科学光学機器	3.0%	科学光学機器	2.8%
9	音響機器	2.3%	有機化合物	2.3%	有機化合物	2.8%	電気回路等の機器	2.6%
10	通信機	2.1%	プラスチック	2.0%	電気回路等の機器	2.6%	有機化合物	2.5%

【出典】財務省「貿易統計（概況品）」を基に文部科学省作成

【出典】日本貿易会「本貿易の現状と課題」

重要性④～世界のリサーチフロントの中心は常にマテリアル

マテリアル周辺（とライフサイエンス周辺）の研究が、過去15年にわたって世界のリサーチフロントの最も大きな割合を常に占めている。



短縮形	研究領域群名	短縮形	研究領域群名
循環	循環器系疾患研究	環・生	環境・生態系研究
感染	感染症研究	環・気	環境・気候変動研究
消化	消化器系疾患研究	化合	化学合成研究
免疫	免疫研究	ナノ(ラ)	ナノサイエンス研究(ライフサイエンス)
がん・幹	がんゲノム解析・遺伝子治療・幹細胞研究	ナノ(化)	ナノサイエンス研究(化学)
脳・神	脳・神経疾患研究	ナノ(物)	ナノサイエンス研究(物理学)
精神	精神疾患研究	量子	量子情報処理・物性研究
ウ感染	ウイルス感染症研究	エネ(電)	エネルギー創出(リチウムイオン電池)
遺伝・ライフナノ	遺伝子発現制御研究、ライフナノブリッジ	素・宇	素粒子・宇宙論研究
植物	植物科学研究	ソフト	ソフトウェア・コンピューティング関連研究
		社情	社会情報インフラ関連研究(IoT等)

注1: 本マップ作成には Force-directed placement アルゴリズムを用いているため、上下左右に意味は無く、相対的な位置関係が意味を持つ。報告書内では、生命科学系が左上、素粒子・宇宙論研究が右下に配置されるマップを示している。

注2: 白丸が研究領域の位置、白色の破線は研究領域群の大きな位置を示している。他研究領域との共引用度が低い一部の研究領域は、マップの中心から外れた位置に存在するため、上記マップには描かれていない。研究領域群を示す白色の破線は研究内容を大まかに捉える時のガイドである。研究領域群に含まれていない研究領域は、類似のコンセプトを持つ研究領域の数が一定数に達していないだけであり、研究領域の重要性を示すものではない。

データ: 科学技術・学術政策研究所がクラリベイト・アナリティクス社 Essential Science Indicators (NISTEP ver.)及び Web of Science XML (SCIE, 2017 年末バージョン)をもとに集計・分析、可視化(ScienceMap visualize)を実施。

【出典】科学技術・学術政策研究所「サイエンスマップ2016」

重要性⑤～感染症対策や強靱な社会・産業づくりへの貢献事例

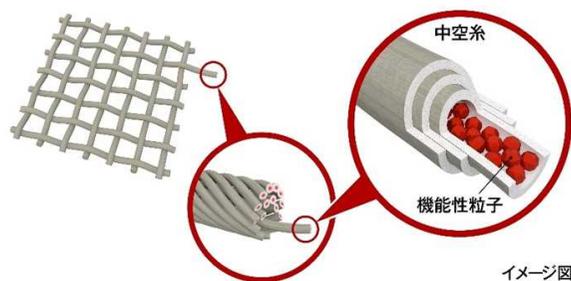
経済産業省事業、所管機関におけるマテリアルの研究開発から、**新型コロナウイルス感染症対策に貢献する、また、新型感染症の拡大に伴う影響からの脱却を図るための取組事例**が生まれてきている。

感染症対策（防疫、治療、診断等）

研究開発

① 繊維に抗菌性等の機能性付与を可能とする マイクロ波処理技術の開発 【産総研】

- 繊維の中空部分に、選択的に機能性微粒子や結晶を成長させる技術を開発。例えば、**コットンの中空部分に銀ナノ粒子を合成して抗菌性をもつ繊維の製造が可能。**
- 本技術により製造した綿は機能性粒子が中空部分にのみあるため、繊維の特徴は維持しつつ、摩擦等による機能劣化の抑制も期待でき、医療用の病衣、シーツ等への利用が想定。



繊維の中空部分への機能性微粒子導入のイメージ

<出典等>

① 産総研プレスリリース：発表・掲載日：2020/01/21
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200121_3/pr20200121_3.html

② 経済産業省 令和2年度補正予算
 「サプライチェーン強靱化に資する技術開発・実証」として実施

③ NEDO 次世代人工知能・ロボット中核技術開発にて実施（2015年7月～2020年2月）
<https://www.nedo.go.jp/content/100902378.pdf>

サプライチェーンの強靱化

研究開発

② 部素材の代替・使用量低減に資する 技術開発・実証 【経済産業省】

- 供給途絶リスクが高い**レアアースの使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発により、サプライチェーンの強靱化を図る。**

<重希土類等>
 使用量を減らしても同等程度の性能を発揮させる技術開発
 <軽希土類等>
 品位向上や低品位のままでも利用できる技術開発



重希土類を使用しない磁石の開発（イメージ）

無人化／省力化、リモート社会

研究開発

③ 人との親和性が高いアシスト機器のための 革新的ソフトアクチュエータの開発 【NEDO】

委託先：学校法人中央大学

- 人のように粘弾性を制御できる**人工筋肉と機能性流体デバイス**の開発、その動作アシストへの応用。



重要性⑤～感染症対策や強靱な社会・産業づくりへの貢献事例（2）

文部科学省事業、所管機関等におけるマテリアルの施策・研究開発から、**新型コロナウイルス感染症対策に貢献する、また、新型感染症の拡大に伴う影響からの脱却を図るための取組事例**が生まれてきている。

研究開発活動の継続支援

施策

- **産学官のマテリアル研究開発を支援する共用施設・設備での技術代行サービスの実施**

文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォーム事業では、実施機関へ出張できない利用者に代わって技術スタッフが試作や測定を行う「技術代行」サービスを活用し、**日本全体の研究開発活動の継続を支援**。令和2年4月時点※で、33の実施機関において技術代行を受付。

※緊急事態宣言前



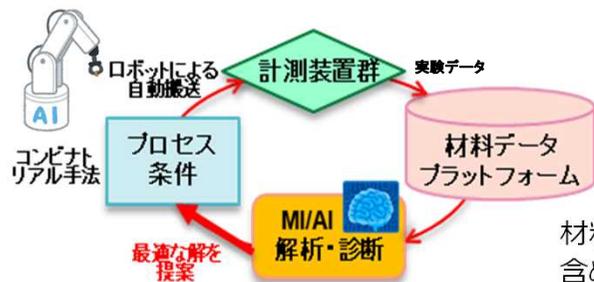
電話でのお問い合わせ
☎029-859-2777

(出典)
ナノテクノロジー・プラットフォームHP

施策

- **研究データの共有環境整備やスマートラボ導入など、研究環境のデジタル転換の推進**

NIMSでは、材料データプラットフォームを最大限活用し、**実験の自動化などスマートラボトリへの転換を進めており、実験室での研究活動が制限される中、成果を持続的に創出**。



材料データプラットフォームを含めたスマートラボの概念図

感染症対策能力の強化

研究開発

- **感染症対策能力の持続的強化に向けた研究開発の実施**

大学等の研究現場において、**感染症対応能力の強化に貢献する、あるいは今後貢献が大きく期待されるマテリアルからの研究成果が生まれている**。

- ① **病院等で使用する器具や素手で触る箇所のウイルス不活性化を通じた感染リスク低減への貢献**

【具体的事例】

- ✓ ウイルスを分解する性能に優れた新しい光触媒材料をはじめとする、**抗菌・抗ウイルス材料**の開発
- ✓ **滅菌効果が高い深紫外線LED**の開発や、当該技術を用いたどこでも使えるUV滅菌機の開発

- ② **極微量ウイルスの迅速検出や分離・分解・除去を通じたウイルス蔓延防止への貢献**

【具体的事例】

- ✓ **微細加工技術**や**ナノ物質**を活用した、簡易で高感度な極微量ウイルス検出法や検出センサ、**分離・分解・除去技術**の開発

- ③ **医療従事者や生活者の遠隔操作や支援ロボットの活用を通じた感染リスク低減への貢献**

【具体的事例】

- ✓ **遠隔操作技術**や**ロボット向け**の材料・デバイスの開発

諸外国の動向・デジタル化の影響

動向・影響①～主要国の政府・企業はマテリアルの戦略的強化を実施

世界の主要国は、**政府の科学技術イノベーション政策において、強化すべき重要技術として必ず「マテリアル」を掲げている状況。**特に近年は、マテリアルの重要性に鑑み、**自国の特徴・強みを最大限活かしたマテリアルへの投資を大きく強化し始めている。**また、世界のIT企業が、新時代のビジネス展開を見据え、**ハードウェア（半導体）の大型M&Aを加速している状況も注目すべき点。**

<各国政府の主な政策・取組動向>

欧州	米国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 「National Nanotechnology Initiative（国家ナノテクノロジーイニシアティブ）」を2001年から4代の政権にわたって継続（19年間で累計270億ドル以上を投資） ◆ 2011年、材料データベースと情報科学的手法を活用し、物質探索・設計手法を革新するデータ駆動型材料開発「Materials Genome Initiative」を世界に先駆けて開始 ◆ 2018年、中国の半導体等の巨額投資へ対抗するため、DARPAが「Electronics Resurgence Initiative（電子技術復活イニシアティブ）」を開始。最先端の軍事を支えるのは半導体、部材、製造技術であるとの認識の下、5年15億ドルの投資を予定 ◆ 希少鉱物に関する2017年12月の大統領令「Critical Minerals Executive Order」発令を受けて、DOEの「Innovation Hub」の一つである「Critical Materials Institute」について、2018年以降の5年間の延長を決定
	EU	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 「Horizon 2020（2014-2020）」の「Key Enabling Technologies」として、ナノテクノロジー、先端材料、先進製造技術、バイオテクノロジーの4分野を選定。「Future and Emerging Technologies（10年10億ユーロ投資）」では、「Graphene Flagship」、「Human Brain Project」、「Quantum Flagship」の3プロジェクトを推進 ◆ ELSI（倫理的・法的・社会的課題）/EHS（環境・健康・安全）に関する取組を世界的に主導
	独	◆ 2018年発表の「ハイテク戦略2025（2018-2021）」において、 「未来技術」としてマイクロエレクトロニクス、材料、バイオテクノロジー、AI等を位置付け
	英	◆ 2014年発表の科学技術イノベーション戦略「Our Plan for Growth」において、英国が世界をリードする 8つの重要技術としてナノテクノロジーと先端材料を指定
中国	仏	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 2015年発表の「SNR France Europe 2020」において、社会的課題に対する重点研究として、希少資源依存の減少、化石燃料からの脱却、新材料設計、センサを指定 ◆ 2019年3月に「Nano2022プログラム」を開始。5年10億ユーロ（うち公的資金約9億ユーロ）。STマイクロエレクトロニクス社等を中核に半導体の研究開発と実用化を強化
	中国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 「国家中長期科学技術発展計画綱要（2006-2020）」において、先端技術8分野に「新材料技術」、重大科学研究4分野に「ナノ研究」を指定。「科学技術イノベーション第13次五ヶ年計画（2016-2020）」では15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「スマート製造・ロボット」「航空エンジン・ガスタービン」等を指定 ◆ 2015年発表の「中国製造2025（Made in China 2025）」では、2049年（建国100周年）までに「世界の製造強国のリーダー」となることを掲げ、半導体、部材、材料の自給に向けた投資を拡大。まずは2025年までに、核心的部材とその鍵となる基礎材料の70%の自給実現を目指す ◆ IT・ソフトウェア系の覇権を握る米国のシリコンバレーに対抗し、深セン等にハードウェアのシリコンバレーを築き、次の覇権獲得を狙う動き
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 「ナノ技術開発促進法（2003）」に基づく「第4期ナノ技術総合発展計画（2016-2025）」にて、米国の技術レベルを100%とした場合に92%まで到達させることを提示 ◆ 2018年に「未来素材源泉技術確保戦略」を公表し「30の未来素材」を導出。「第3次National Nanotechnology Map（2018-2027）」で70のコアテクノロジーを同定 ◆ 2019年9月に、素材・部品・装備（装置や設備）産業の自立を目指し、2,179億ウォン（約200億円）の政府投資を発表 	

<民間企業の半導体M&A動向>

IoT/AI時代のビジネスを見据え、各国で**ソフトウェアとハードウェアを一体的に開発する動きが加速**。半導体企業の大型M&Aが進展している（以下は主な事例）

- 米Intelが米Altera（FPGA（プログラミング可能な集積回路）の専門会社）を167億ドルで買収。従来のCPUに加えFPGAを事業ポートフォリオに組み込み（2015年）
- HPから分離した米Avago Technologies（半導体メーカー）が同業の米Broadcomを370億ドルで買収（2015年）
- Soft BankがIoTビジネスを見据え、英ARM（半導体設計会社）を240億ポンド（約3.3兆円）で買収（2016年）

動向・影響②～データ駆動型の研究開発が世界的に進展（1）

デジタル革命によるAIやビッグデータの発展が、マテリアルの研究開発手法を大きく変革しており、**データ駆動型の研究開発が世界的に進展**している。

米、材料ゲノム「の衝撃」

「材料ゲノム」は、材料の原子レベルから電子レベルまで、あらゆるスケールで、材料の性質を予測・設計するための技術的アプローチである。このアプローチは、従来の材料開発手法（経験的試行錯誤）と異なり、コンピュータシミュレーションと実験の組み合わせによって、材料の設計・開発を加速させる。特に、材料の性能を予測するためのデータベースの構築が重要な役割を果たしている。このデータベースは、材料の組成、構造、加工条件などの情報を蓄積し、材料の性能と関連付けることで、材料の設計・開発を加速させる。このデータベースは、材料の設計・開発を加速させるための重要なツールとなっている。



海外では、インフォーマティクス的な手法を活用し材料開発を既に実施！

国内
2011年5月：国内A社 特許出願（特許公開は2012年11月）

海外
'12年10月：韓国B社・MIT論文公開
*この系の開発情報なく、突然特許公開前に論文発表

実験せず知財化も 日本勢に危機感

「材料ゲノム」は、材料の原子レベルから電子レベルまで、あらゆるスケールで、材料の性質を予測・設計するための技術的アプローチである。このアプローチは、従来の材料開発手法（経験的試行錯誤）と異なり、コンピュータシミュレーションと実験の組み合わせによって、材料の設計・開発を加速させる。特に、材料の性能を予測するためのデータベースの構築が重要な役割を果たしている。このデータベースは、材料の組成、構造、加工条件などの情報を蓄積し、材料の性能と関連付けることで、材料の設計・開発を加速させる。このデータベースは、材料の設計・開発を加速させるための重要なツールとなっている。

- ✓ 米国では、2012年に「Material Genome Initiative」の研究者が中心となり、日本が発表した電池材料の論文情報に基づき、コンピュータシミュレーションを実施
- ✓ その結果、日本のA社の未公開特許（出願はA社が先）の実験データと同等の物性値を算出



$Li_{(4-x)}Ge_{(1-x)}P_xS$

リチウムイオンが速く動ける
構造を持つことを**実験的に**見出した
従来型研究

$Li_{(4-x)}Ge_{(1-x)}P_xS$

実験なしでデータ分析だけで
実験と同じ結果を導出
マテリアルズインフォーマティクスの手法

米国「Material Genome Initiative」の中心研究者が深く関与し推進

【出典】2015.6.22日経新聞朝刊13面

【出典】文部科学省作成資料を基に経済産業省作成

動向・影響②～データ駆動型の研究開発が世界的に進展（2）

データ駆動型の研究開発に対して、**2011年以降、主要国の政府や企業が投資を強化。**

主要国政府のマテリアル×データの取組

国	概要
米国	<ul style="list-style-type: none">◆ Materials Genome Initiativeを2011年に立上げ。マテリアル開発の短期化・低コスト化に向け、従来の実験、計算に加え、データの重要性に着目。2014年6月に“Strategic Plan”を公表。2016年までに約5億米ドル（約560億円）を投資。◆ NIST, NSF, DOE, DoDなどで関連プロジェクトを実施（下記は代表例）。 CNGMD（ローレンスバークレー国立研究所, UCバークレーなど）、 SUNCAT Center（スタンフォード大, SLAC国立研究所）、 CHiMaD（NIST, ノースウェスタン大, シカゴ大など）、 PRISMS（ミシガン大）◆ データプラットフォーム（レポジトリ）も各所で構築。
欧州	<ul style="list-style-type: none">◆ EUの枠組みでNOMAD（Novel Materials Discovery）プロジェクト（2015～2018：約500万ユーロ（約7億円））を実施。マックスプランク協会フリッツ・ハーバー研究所が中核。◆ スイスは独自にMARVEL（Materials’ Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials）プロジェクト（第1フェーズ：2014～2018で約1800万スイスフラン（約20億円））を実施。スイス連邦工科大学（EPFL）が中核。
アジア	<ul style="list-style-type: none">◆ 中国では、2016年、国家重点研究開発計画の一つとして、「材料ゲノム工学のキーテクノロジーと支援プラットフォーム」（約3億元（約50億円）/5年）を開始。上海、北京において大学を中心に拠点を構築。<ul style="list-style-type: none">・上海大学に「Materials Genome Institute」（2015年）、上海交通大学に「材料ゲノム共同研究センター」（2016年）を設立。・中国科学院物理研究所・北京科技大学、中国鋼研科技集团有限公司等が共同で「北京材料ゲノム工学イノベーションセンター」（2017年）を設立。◆ 韓国では、2015年から10年計画で「Creative Materials Discovery Project」を実施（採択課題あたり最大約2.4億ウォン（約2500万円）/6年）。2016年、韓国科学技術研究所（KIST）に「Materials Informatics Database for Advanced Search（MIDAS）」を設置。

【出典】科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター作成資料を基に文部科学省作成

マテリアル開発をAIで支援するスタートアップ（例）

シトリン・インフォマティクス@シリコンバレー

- **2013年**に創設されたスタートアップ企業
- マテリアルデータベースにAIの機械学習機能を統合して、求められる条件に最適化された組成を選び出すなど、マテリアル開発を加速するソフトを開発。
- 投資家にはアルファベット（旧グーグル）元会長のエリック・シュミット氏やヤフー創業者のジェリー・ヤン氏らが含まれている。

【出典】三菱総合研究所「17号 フロネシス 知財誕生！」より文部科学省作成

日本におけるマテリアル×データの取組動向

- 我が国政府では、**2013年**にJST研究開発戦略センターが戦略プロポーザル（※）においてデータ駆動型物質・材料開発の重要性について政府に提言を行ったことをきっかけに、**2015年**にNIMSを中核機関とする「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」が発足。その後、内閣府（SIP）、文科省、NIMS、経産省、AIST等が取組を強化。
 - （※）「データ科学との連携・融合による新世代物質・材料設計研究の促進（マテリアルズ・インフォマティクス）～物質・材料研究を飛躍的に発展させるための新たなパラダイムシフト～」
- 企業においても、特に**2017年以降**、素材メーカーで、IT関連投資を拡大させる動き
 - **2017年10月** 日立製作所
新材料開発の期間・コストの削減を支援する「材料開発ソリューション」提供開始
AIを活用したマテリアルズ・インフォマティクスに基づくデータ分析支援サービスなどを提供
 - **2017年10月** 横浜ゴム
インフォマティクス技術を活用した**タイヤ設計技術**を開発
 - **2019年6月** 三菱ケミカル株式会社
統計数理研究所と**三菱ケミカル**の**共同研究部門設置**について
 - **2019年10月** 住友ゴム工業株式会社
タイヤの**性能持続技術開発を加速させるAI技術**「Tyre Leap AI Analysis」を確立

【出典】各社ニュースリリースより文部科学省作成

補足資料（データ・基盤関係の政府事業の成果と課題）

現在実施中の文科省、経産省所管の主なデータ・基盤関係事業において、**成果と課題を踏まえた取組の方向性**が見えてきている。

	ナノテクノロジープラットフォーム（2012～2021年度）【文部科学省】	情報統合型物質・材料開発イニシアティブ（MI2I）（2015～2019年度）【文部科学省】	超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト（2016～2021年度）【経済産業省】
概要	<ul style="list-style-type: none"> ○ ナノテクノロジーに関する最先端の研究設備とその活用のノウハウを有する大学・研究機関が連携し、全国的な共用体制を構築 ○ 産学からの利用を促進し、異分野融合によって課題解決への最短アプローチを提供 	<ul style="list-style-type: none"> ○ NIMSをハブ拠点として、多くの大学、国研、企業等からの人材糾合を行い、データ駆動型の物質科学研究に取り組むと同時に、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）分野のコミュニティを形成 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 有機系機能性材料を対象にマルチスケールシミュレーション等の計算科学を活用し、材料データ群を作り出し、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）と融合させることで革新的な機能性材料の創成・開発の加速化を目指す
成果	<ul style="list-style-type: none"> ○ 共用研究施設や技術専門人材を通じた異分野融合や産学官連携が促進され、また、独自に大型施設・設備等を保有できない若手研究者が活躍できる機会が提供されている ○ 大型・特殊機器等の共通基盤の仕組み構築と技術ノウハウ提供による解析結果やマテリアル創成により、質の高い研究論文が増加し、企業利用による先端技術の実用化を促進している ○ 震災に伴い研究活動に支障をきたした研究者の利用を積極的に受け入れて支援を行うなど、セーフティネットの役割を果たしている 	<ul style="list-style-type: none"> ○ フォーラム、チュートリアル、ハンズオンなどのアウトリーチ活動によりMIに馴染みの薄かった産業界からの理解を深めた ○ 大学・研究機関に所属する情報系・材料系のアカデミア人材を糾合し、200名規模のハブ活動拠点を構築した ○ アカデミアのMI研究開発拠点を全国各地に分散配置しMIの研究者ネットワークを構築した ○ データ駆動型科学技術推進のエコシステム実現に向けた第一歩となった ○ 機械学習を用いて、圧力誘起超伝導材料をはじめとした材料の設計・合成に成功するなど、MIによる新物質・新材料開拓の有効事例が創出された 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 有機・高分子材料を対象とした約10のシミュレーターを公開 ○ 化学反応における触媒反応率を予測するなどのAIによる予測に成功 ○ プロジェクトの基盤技術である、計算、プロセス、計測の三位一体で開発するシステムの実証成功 ○ シミュレーターの利用により実験回数を劇的に削減し、材料開発の加速に貢献
課題を踏まえた取組の方向性	<ul style="list-style-type: none"> ○ プラットフォームの装置群の老朽化や陳腐化の進行への対策、技術専門人材等の恒常的な雇用・配置 ○ 科学技術の新たな発展・進歩に合わせて先端研究設備群を全国最適の観点で整備 ○ 技術専門人材の能力向上及びキャリアパスの拡大 ○ 企業からの利用を更に促すため、中小企業、ベンチャー企業などとの共同研究を含めた技術支援の提供を拡大する取組の実施 ○ 施設・設備、技術、成果の各情報のデータベース化 ○ これまで蓄積された技術的知見（知識、ノウハウ、特許、データ）が利活用可能となる仕組み作り 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 物質科学・材料工学に興味をもつ情報工学・データ科学の研究者の確保 ○ MIという学問の体系化 ○ 産業界のニーズを集約し、ニーズに応じたより高度なMI手法の開発、適切なデータの収集、データベース利用法の確立 ○ 知財の取扱いや研究データポリシーなどの制度面の整備、利活用可能なデータを効果的に集めるための仕組み作り ○ セキュリティを確保しつつ、利便性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ○ シミュレーターや計測機器、プロセス装置等がお互い連携し、ユーザーニーズに対応した材料設計が可能となる材料設計プラットフォームの構築 ○ 材料設計プラットフォームの効果的な運用に向けた環境整備

（出典）「第六期科学技術基本計画策定に向けたナノテクノロジー・材料科学技術の推進方策について（第1次案）」、「イノベーション創出の最重要基盤となるマテリアルテクノロジーの戦略的強化に向けて（第6期科学技術基本計画に向けた提言）」、「ナノテクノロジープラットフォームの中間評価結果（平成29年）」、「ナノテクノロジープラットフォーム「先端共用施設・技術プラットフォーム展望調査WG」報告書」を基に文部科学省作成

（出典）「イノベーションハブ構築支援事業ノウハウレポート」、「研究成果展開事業 共創の場形成支援（イノベーションハブ構築支援事業）事後評価報告書」を基に文部科学省作成

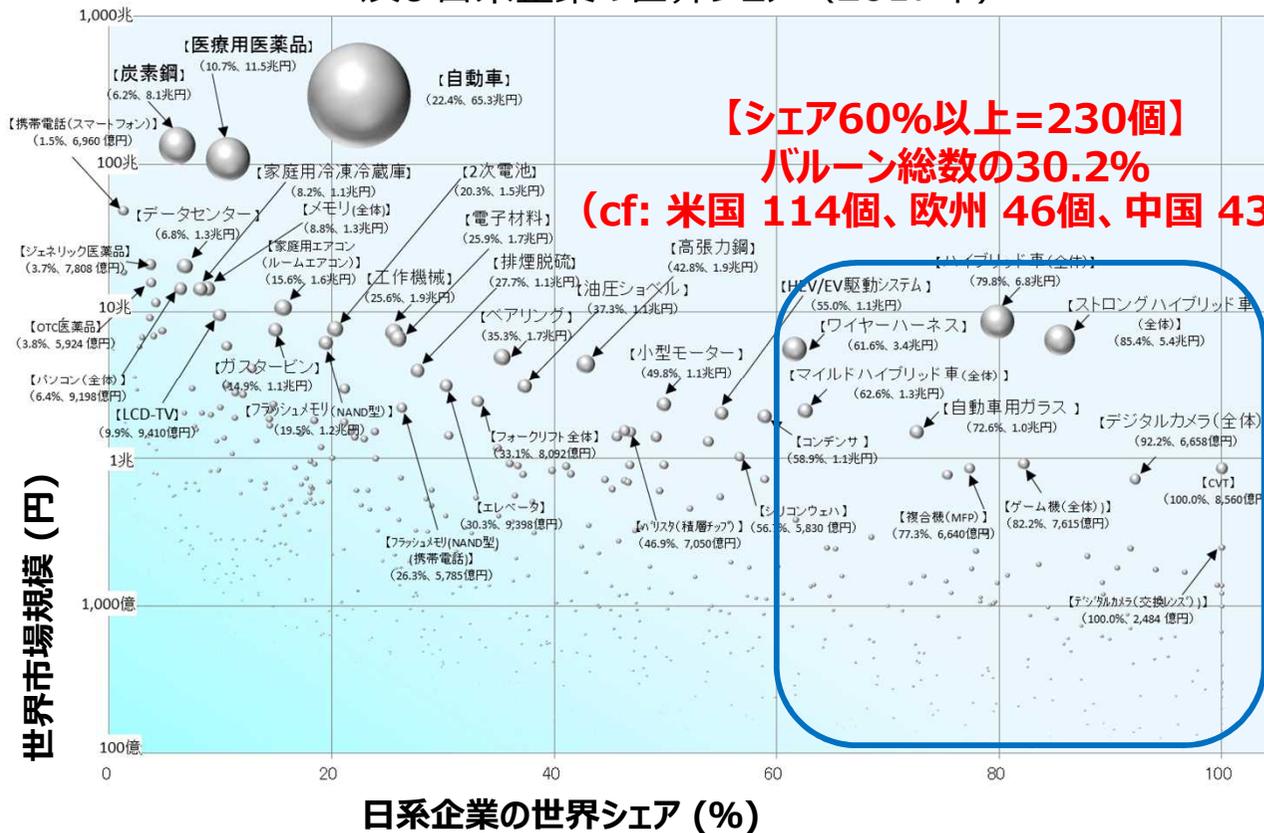
（出典）「「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」中間評価報告書」、「NEDO超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクトウェブサイト」、「先端素材超高速開発技術研究組合（ADMAT）ウェブサイト」を基に経済産業省作成

高いポテンシャル（産業の観点）

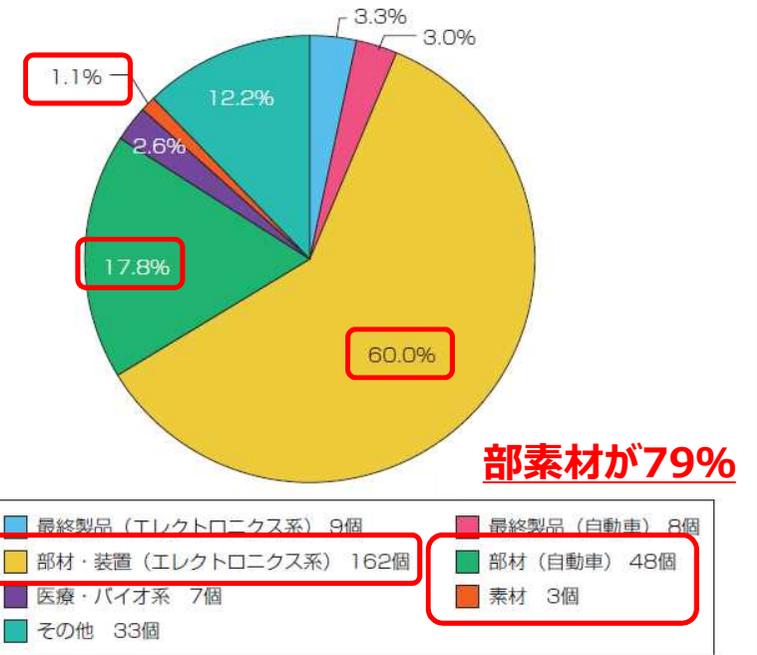
ポテンシャル：産業①～高い世界シェアを持つ製品の多くは部素材

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。この高い世界シェアを持つ製品のうち約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



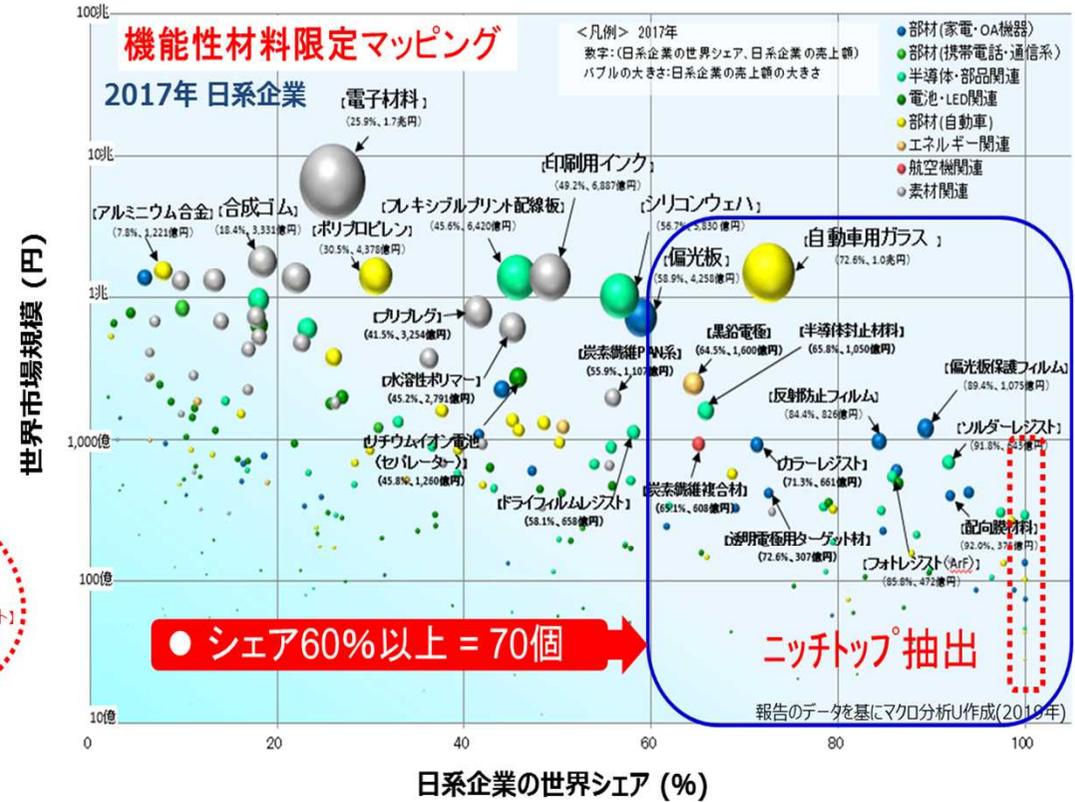
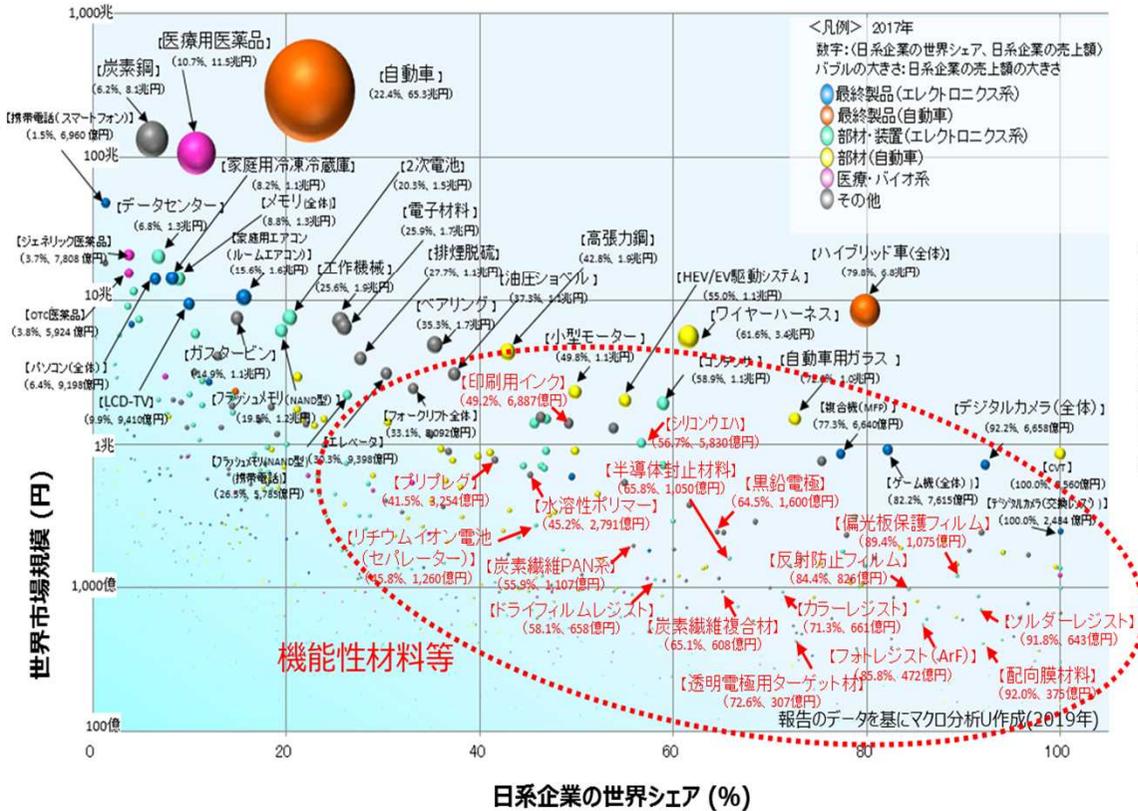
【出典】「2019年版ものづくり白書」及び新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成29年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に文部科学省作成

ポテンシャル：産業②～機能性材料が日本の部素材産業を支える

製品の差別化が図れる機能性材料に着目すると、個々の市場規模は小さいものの高いシェアを確保している。（世界シェア60%以上の材料が70種類、世界シェア100%の材料（ニッチトップ）が19種類存在。）

- 機能性材料…（機能による分類） 光学材料、磁性材料、導電・絶縁材料、伝熱・遮熱材料、触媒…
（形態による分類） 粒子、繊維、フィルム、シート、膜…

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）
（機能性材料に関する詳細分析）

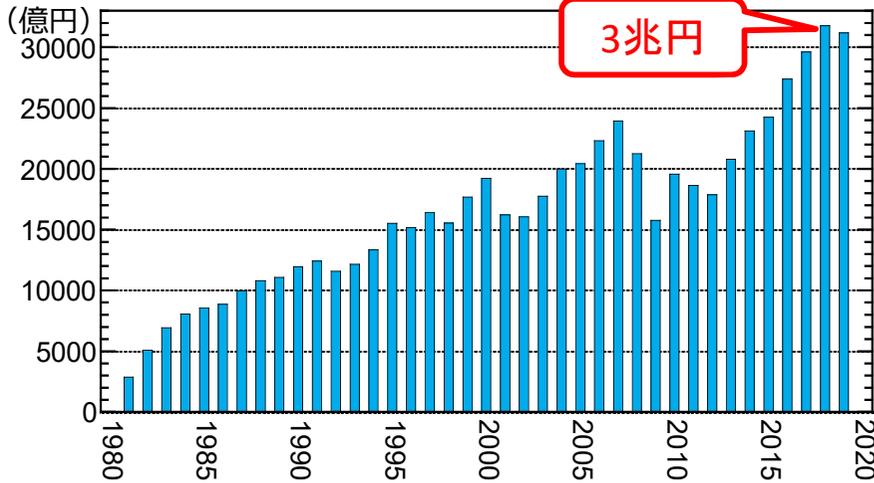


【出典】新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成30年度日系企業のモノ、サービス及びソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に経済産業省作成

ポテンシャル：産業③～模倣困難な製造技術を伴う材料は強い

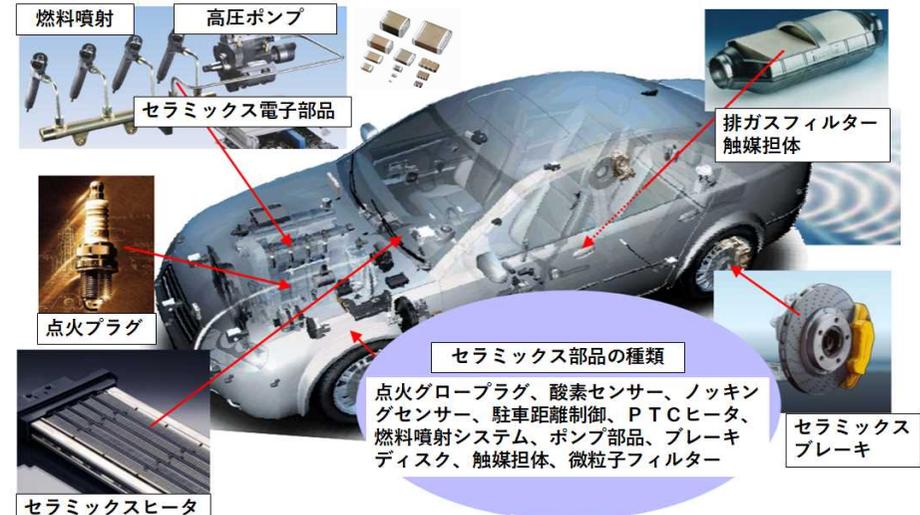
製造プロセスが複雑で模倣困難な**ファインセラミックス部材産業**は近年堅調に成長し、**2019年国内生産額は約3兆円**。日本のシェアは世界の約4割を占める。

ファインセラミックス部材の国内生産総額推移



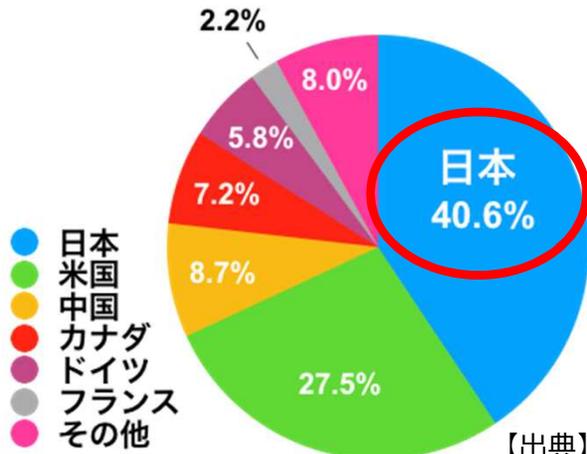
【出典】ファインセラミックス協会、産業動向調査、2019年
作成資料を基に経済産業省作成

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。



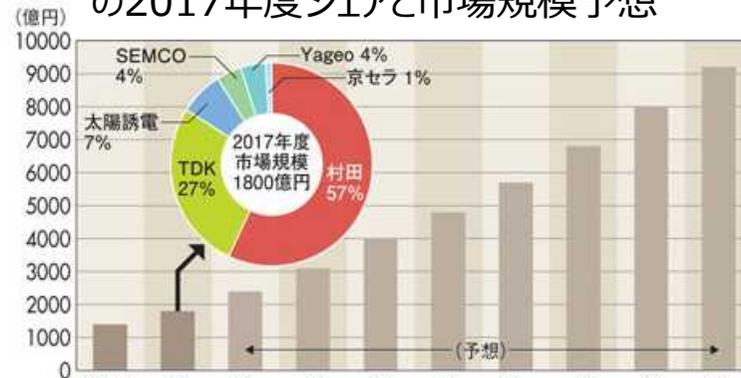
【出典】Institute for Applied Material, Ceramics in Mechanical Engineering
作成資料を基に経済産業省作成

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

ポテンシャル：産業④～マテリアル×プロセス技術で数多くのイノベーション

日本から生まれた、革新的なデバイスのイノベーションは、**先進的な材料開発とそれを活用するためのプロセス技術開発を両輪として推進**することで実現されている事例が多い。

材料開発



プロセス技術開発



マテリアル・イノベーション

【特徴】

- ◆ 論文、特許データ等による材料探索
- ◆ アカデミアの役割が重要
- ◆ 最適な組成・配合・物性設計等のマテリアルズ・インフォマティクス (MI) 活用により競争が激化

【特徴】

- ◆ ユーザー企業のニーズを踏まえた試行錯誤や摺り合わせをプロセス・インフォマティクス (PI) により簡略化
- ◆ 日本企業の強みである一方、競争力の源泉であるが故に共有・体系化に至らず、暗黙知化・喪失のおそれ



<https://www.iza.n.e.jp/kiji/>より転載



<https://www.excite.co.jp/news/>より転載

高成形性超ハイテン：

<組成制御×プロセス技術>

国内鉄鋼メーカー各社が2000年前後から開発を加速。両立が困難な「高強度」と「良加工性」を、組成×制御冷却・熱処理のプロセス技術管理を通じて自在に制御可能に。



イノベーション

- ・自動車等の軽量化、高強度化

青色LEDの事例：

<優れた研究シーズ>

1980年代、天野浩教授、赤崎勇教授がGaN（窒化ガリウム）材料に関する論文発表。



<プロセス開発+研究開発投資>

中村修二日亜化学研究員（当時）の材料やプロセス技術の研究によりLED発光輝度の飛躍的な向上。



イノベーション

- ・レーザー開発、光源の代替、省エネ化、LEDディスプレイ

危機への直面（産業の観点）

危機感：産業①～一部材料製品でシェアが低下

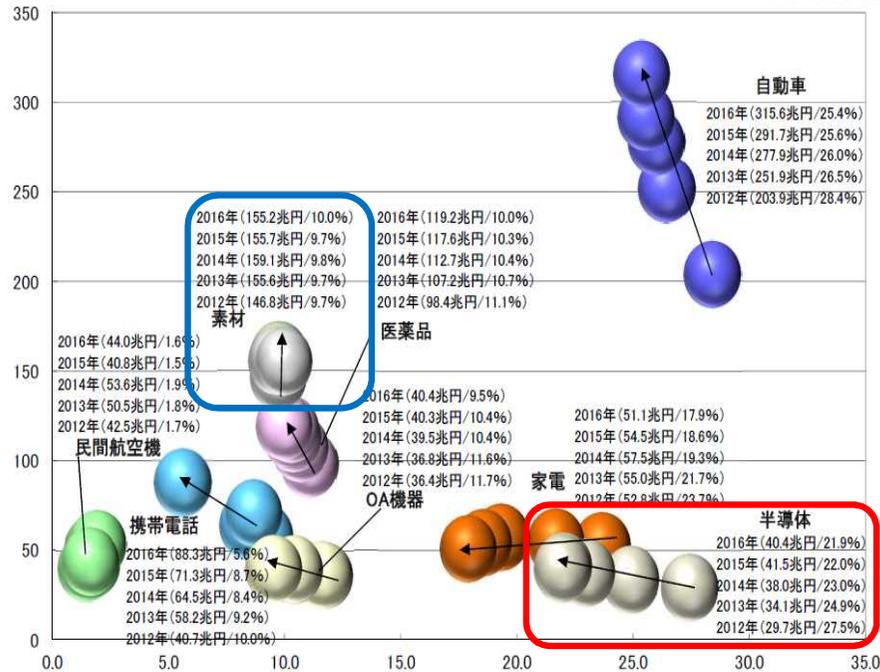
近年、素材産業では世界の市場シェアを維持している一方、電池や半導体については、市場シェアを徐々に下げている状況にある。

産業カテゴリ別の市場規模及び日系企業のシェア推移

【市場規模30兆円以上】

縦軸：市場規模(兆円)

凡例：年(世界市場規模/日系シェア)

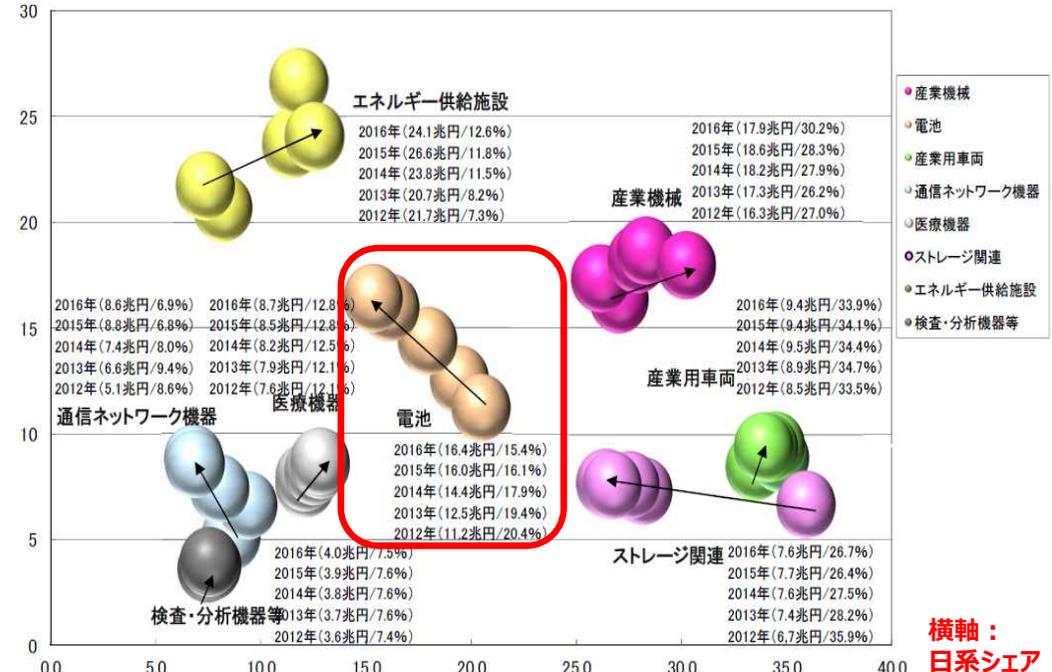


横軸：
日系シェア
(%)

【市場規模30兆円未満】

縦軸：市場規模(兆円)

凡例：年(世界市場規模/日系シェア)



横軸：
日系シェア
(%)

【出典】新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成29年度成果報告書 日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集 情報収集項目(1)「モノを中心とした情報収集と評価」(委託先：富士キメラ総研)に文部科学省が一部追記

危機感：産業①～一部材料製品でシェアが低下（2）

電気自動車（EV）等のモーター用磁石として広く使用されているネオジム磁石は、日本で開発された材料である一方で、現在の世界シェアは、中国企業が5割を超え、日本企業は2割未満となっている。その背景として、基本特許が切れたことに加えて、プロセス上のブラックボックスが存在しなかったこと（ある組成比で材料を混合させ、一般的な粉末焼結プロセスで作製すると、ほぼ求める特性を得ることが可能）等が挙げられる。

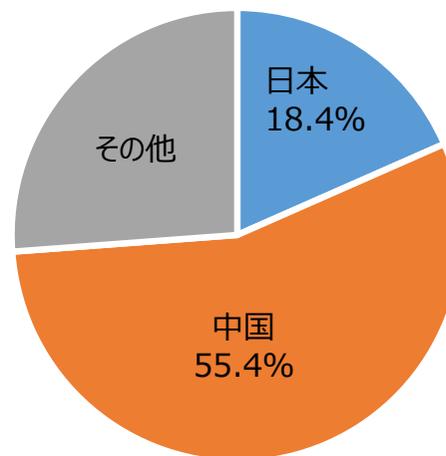
ネオジム磁石の世界シェア（2018年、2019年）

単位：t

メーカー	2018年（実績）	2019年（見込）
北京中科三環高技術	12,200	12,000
信越化学工業	7,500	7,500
天津天和磁材	6,500	6,500
煙台首鋼磁性材料	6,200	6,100
日立金属	4,300	4,100
煙台正海磁性材料	4,150	6,000
寧波韻升高科磁業	4,000	3,800
安泰科技	2,400	2,300
その他	16,750	14,700
合計	64,000	63,000

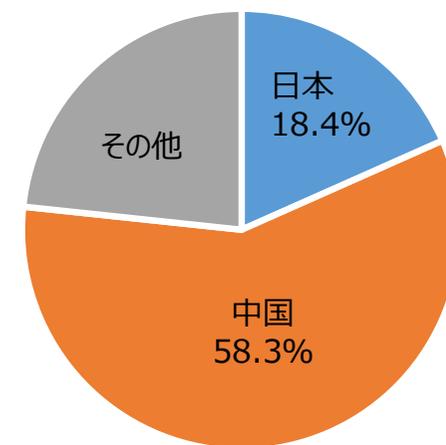
* オレンジ背景は中国企業、青背景は日本企業、灰色背景はその他

2018年（実績）



■ 日本企業 ■ 中国企業 ■ その他

2019年（見込）



■ 日本企業 ■ 中国企業 ■ その他

【出典】富士経済「精密小型モーター市場実態調査2019」を基に経済産業省作成

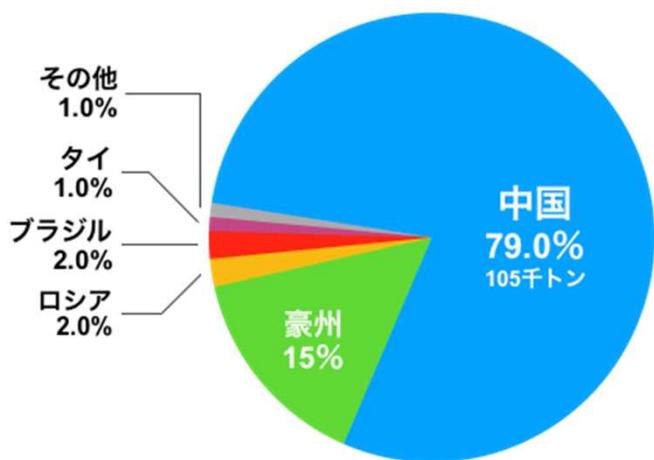
危機感：産業②～マテリアルの原料供給リスク増大の懸念

一部のマテリアルの原料（レアアース、リン（特に黄リン）など）は、供給源が特定の国に偏在している状況にある。これらのマテリアルは、電子機器等の先端産業や、日本の強みである機能性化学産業等において必要不可欠であるのみならず、今後、脱炭素社会への転換によって再エネ機器や電気自動車（EV）等が普及することで、世界的な需要増が見込まれる。こうした中で、米中貿易摩擦等による原料供給リスクの増大が懸念される。

【レアアース関係】

レアアース国別鉱石生産量（2017年）

（合計130千トン（REO換算））



鉱石生産は中国に一国集中

【出典】USGS2018を基に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が作成、経済産業省が一部改変

【リン（黄リン）関係】

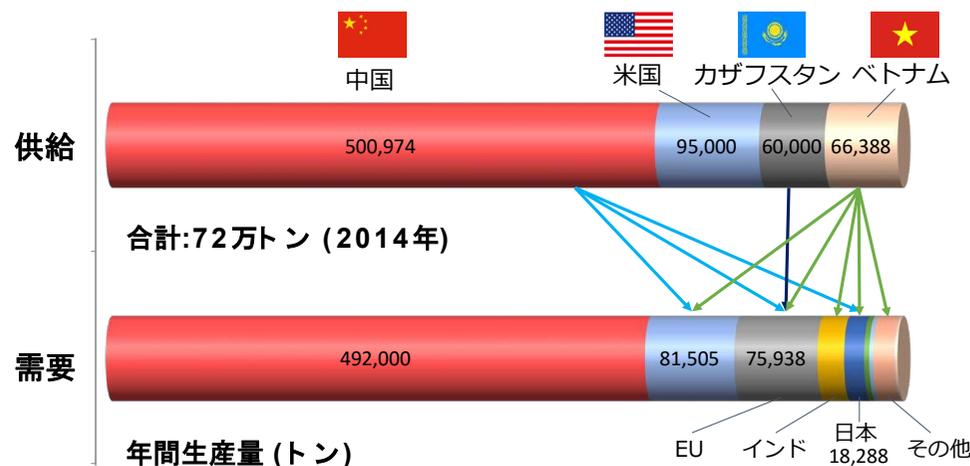
単位 1000元/トン 中国黄リン価格の経年変化



現在、中国の環境規制等によって多くのリンメーカーが生産を停止し、価格高騰。2008年のリンショックの際の価格を上回る水準

【出典（上下ともに）】
一般社団法人リン循環産業振興機構

黄リンの国別需要・供給割合（2014年）

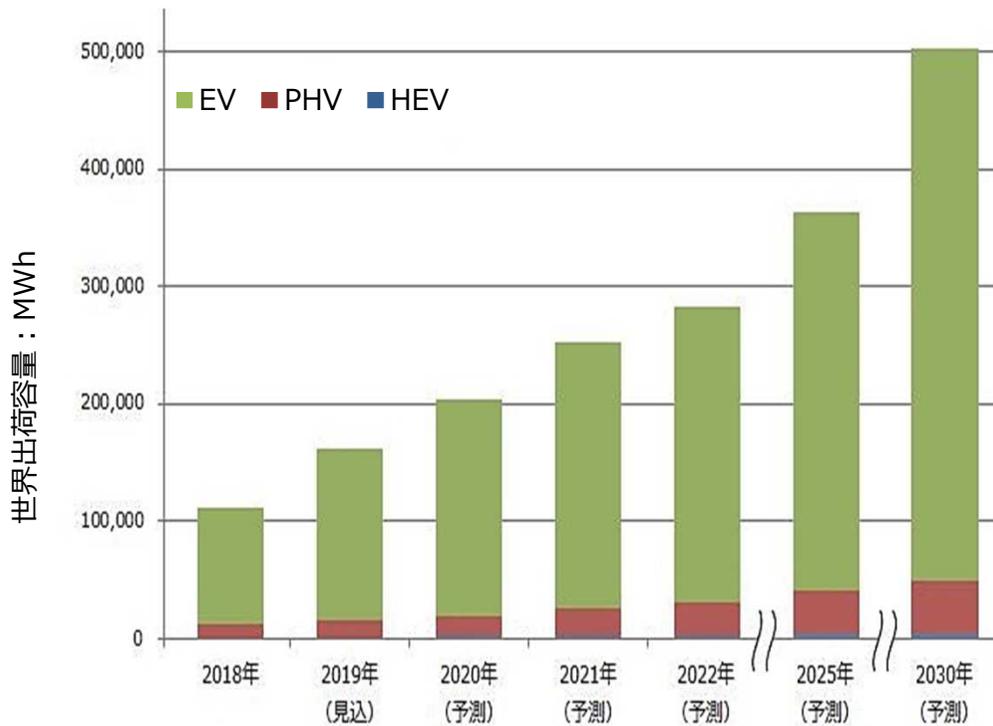


供給量全体の85%を占める米国・中国がリンを戦略物資として囲い込んでおり、我が国はベトナム1国に事実上依存している状況

危機感：産業③～資源循環を考慮したマテリアルが不可欠に

電気自動車（EV）等の普及によって、世界的に需要増が見込まれるマテリアルについてはリサイクルが重要に。特に、EUでサーキュラーエコノミーが強く推進されている中、今後、性能の非常に優れたマテリアルであっても、リサイクル技術が確立されていない場合には、当該マテリアルが世界販売できなくなる可能性。

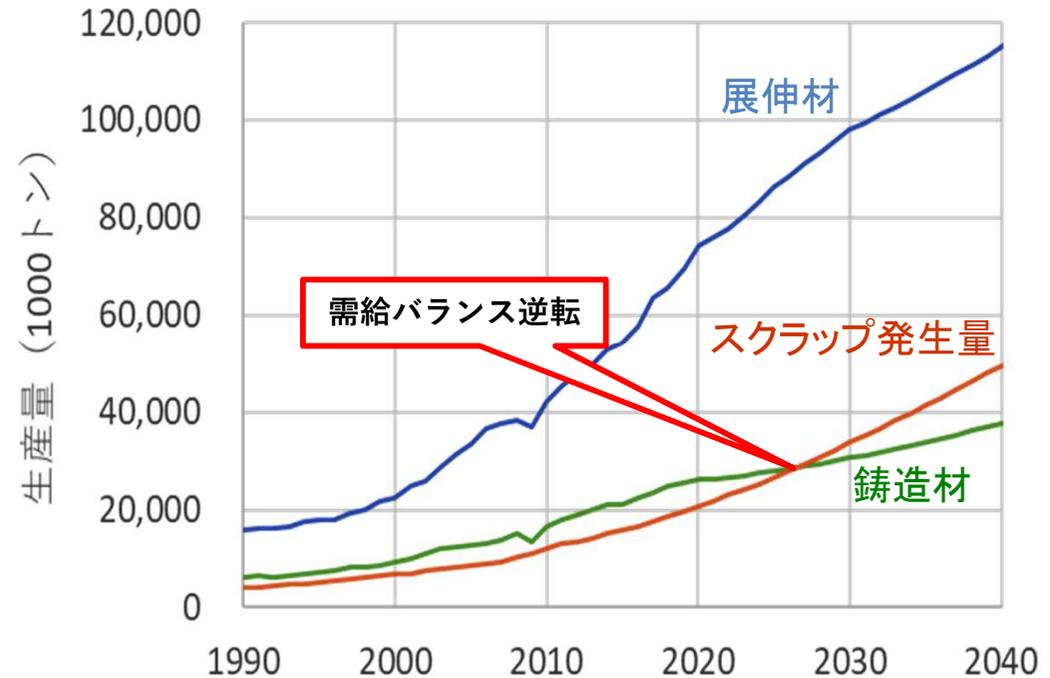
【車載用Liイオン電池（LiB）世界市場規模推移】



【出典】2019年版 車載用リチウムイオン電池市場の現状と将来展望（富士経済、図面は日経オンライン版より転載）を元にNEDO-TSCにて作成

EV等の増加に伴うLiBの普及により、LiBリサイクルへのニーズが増大。他方、レアメタル等（Co、Ni、Li）は海外偏在資源であり、LiBの回収・再資源化がクローズアップ

【世界のアルミニウム素材の生産予測】



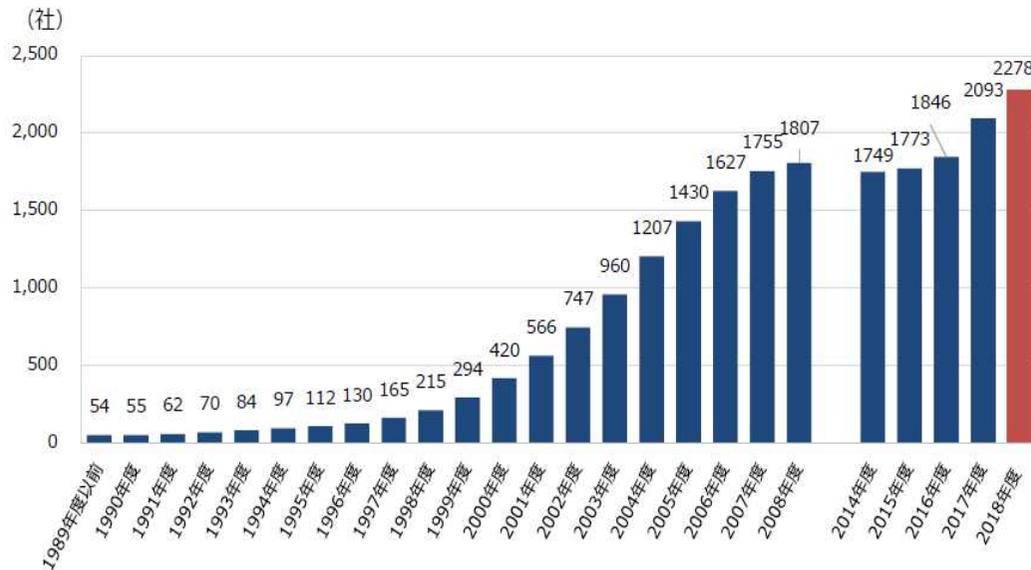
【出典】International Aluminium Institute, Regional Aluminium Flow Model 2017 (1)

EVの増加により、自動車用アルミ素材の需要が減少。アップグレードリサイクル技術の確立がなされなければ、大量のスクラップ材料が余剰発生する懸念

危機感：産業④～大学発スタートアップが少ない

マテリアル系の大学発スタートアップ企業は徐々に数を増やしてはいるものの、IT系やバイオ系といった他分野と比較すると少ない。

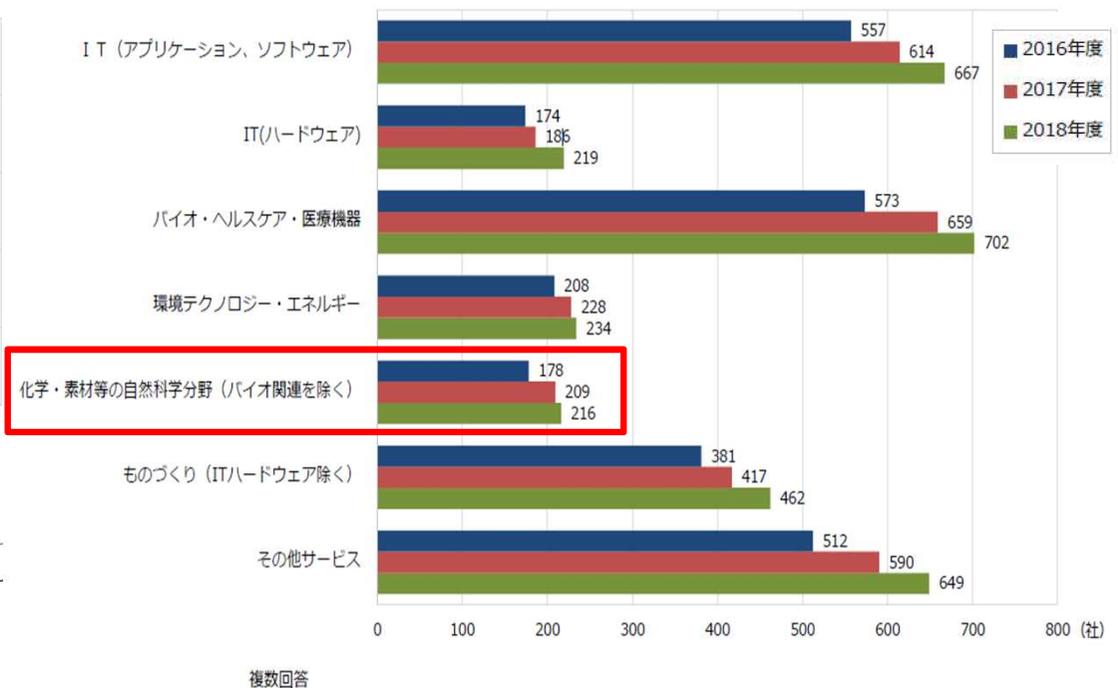
大学発ベンチャー数の推移



本調査では、下記の5つのうち1つ以上に当てはまるベンチャー企業を「大学発ベンチャー」と定義している。

1. 研究成果ベンチャー：大学で達成された研究成果に基づく特許や新たな技術・ビジネス手法を事業化する目的で新規に設立されたベンチャー
2. 共同研究ベンチャー：創業者の持つ技術やノウハウを事業化するために、設立5年以内に大学と共同研究等を行ったベンチャー
3. 技術移転ベンチャー：既存事業を維持・発展させるため、設立5年以内に大学から技術移転等を受けたベンチャー
4. 学生ベンチャー：大学と深い関連のある学生ベンチャー
5. 関連ベンチャー：大学からの出資がある等その他、大学と深い関連のあるベンチャー

業種別のベンチャー数の推移



【出典】経済産業省「平成30年度産業技術調査（大学発ベンチャー実態等調査）調査結果概要」

高いポテンシャル（基礎の観点）

ポテンシャル：基礎①～他分野と比較して論文の生産性が高い

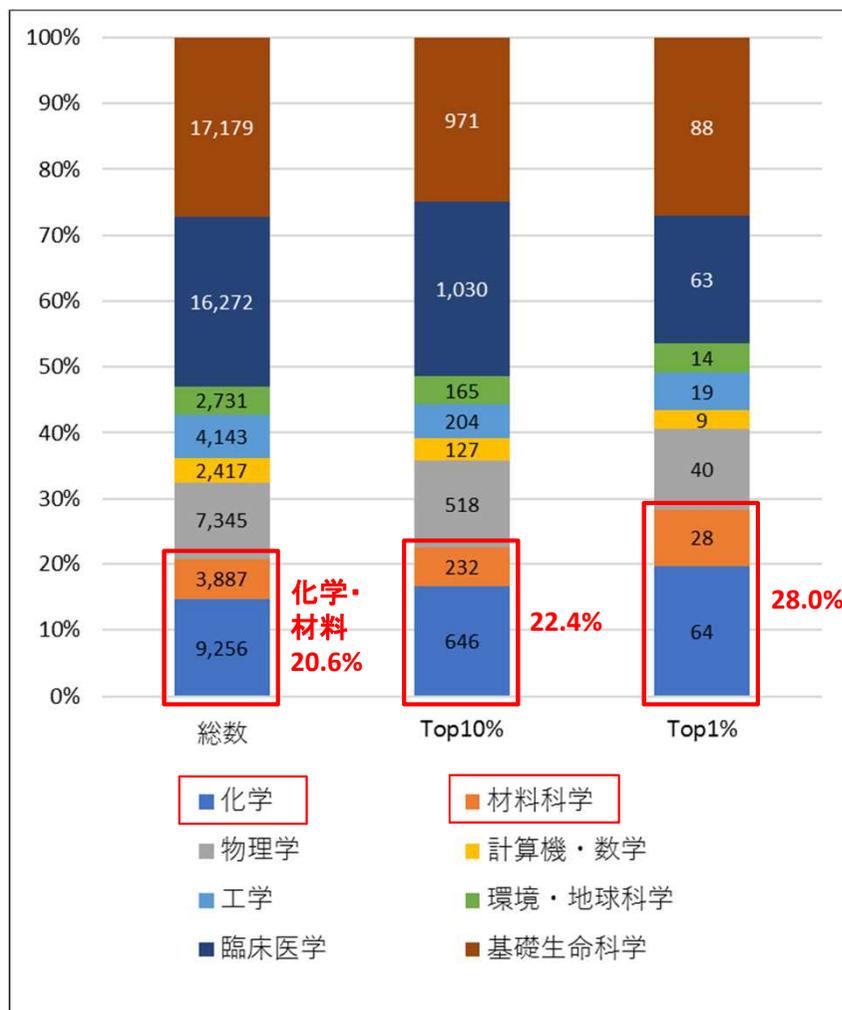
我が国において、化学・材料科学を専門とする研究者は自然科学系全体の約1割強。大学・国研に限定すると全体の約5%。他方、論文数については、化学・材料科学分野が全体の約21%を占めており、トップ1%論文だとその割合は約28%まで高くなる。つまり、化学・材料科学分野の研究者の論文生産性は、日本国内では他分野と比較して非常に高いことが示唆される。また、研究費に対する論文生産性も高いことも推察される。

自然科学系における研究者数の分野別割合（2017）



【出典】総務省「科学技術研究調査」

自然科学系における論文数の分野別割合（PY2015年-2017年）



【出典】科学技術・学術政策研究所「科学技術のベンチマーキング2019」

研究費総額に占める特定目的別研究費の割合（2016）

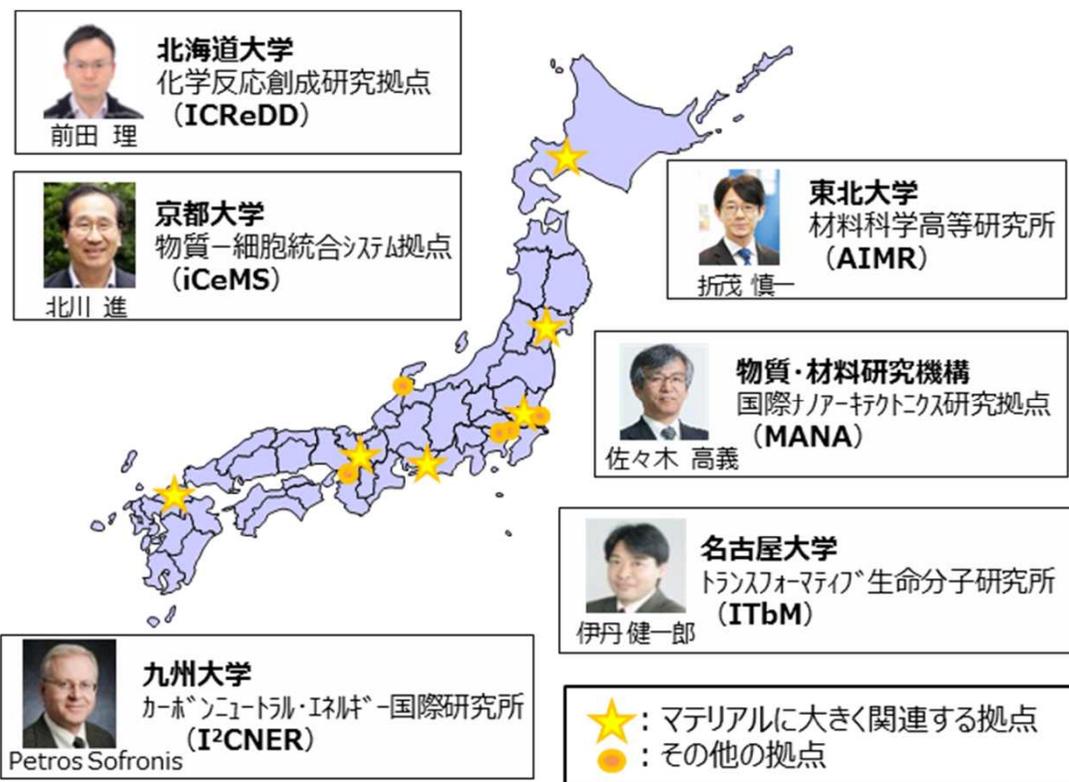


【出典】文部科学省「科学技術要覧」

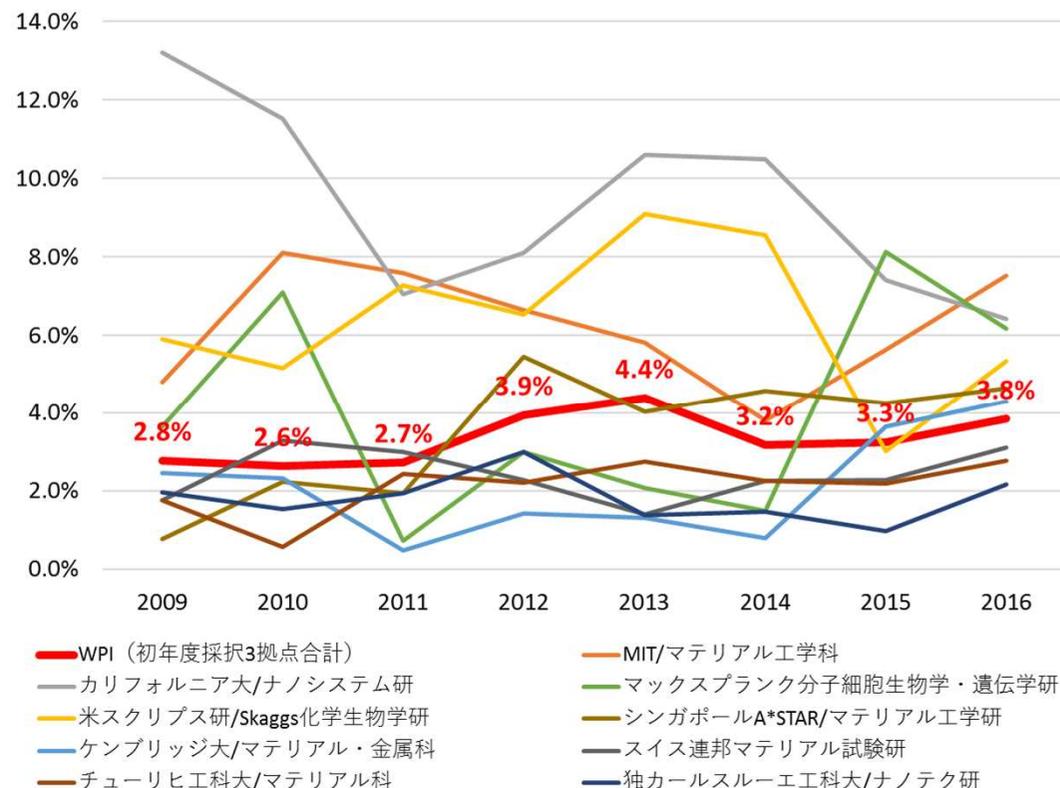
ポテンシャル：基礎②～世界と戦える研究拠点が存在

WPI（世界トップレベル研究拠点プログラム）採択拠点の約半数がマテリアル関連の融合拠点。初年度採択拠点をみると、全論文に占めるトップ1%論文割合が約4%であるなど、世界トップレベルの大学・研究機関と比較しても遜色ない、質の高い研究活動を実施している。

マテリアル関連のWPI採択拠点



執筆論文数に占めるトップ1%論文数割合



※グラフに関して、WPIの数値は、2007年度採択5拠点のうち、マテリアル融合分野における3拠点（AIMR：東北大学材料科学高等研究所、iCeMS：京都大学物質-細胞統合システム研究拠点、MANA：物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点）の論文データを統合し作成。WPI以外に記載している大学・研究機関は、WPI拠点（AIMR、iCeMS、MANA）の海外ベンチマーク機関（注：各WPI拠点が、研究領域が近く、ベンチマークすべき世界トップレベルの拠点として設定（1拠点あたり5つ）している研究機関）のうち、2016年のTop1%論文数割合が2%を超えている機関を全て抽出して記載。

【出典】（左）文部科学省作成、（右）クラリベイト・アナリティクス社提供のデータ（2019年5月）を基に J S P S・文部科学省にて作成

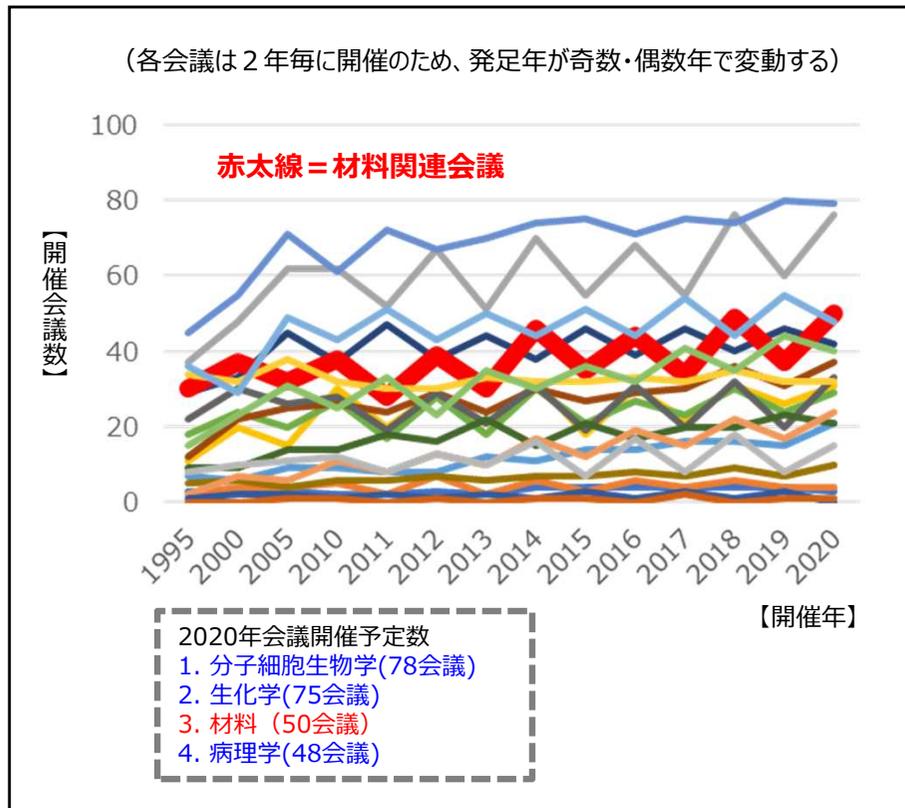
ポテンシャル：基礎③～国際会議で日本の研究者は存在感を有する

最先端の国際会議の招待講演者数を見ると、我が国のトップ研究者は一定（世界第5位）の存在感を有している。米国の研究者が圧倒的な存在感を有しており、中国は我が国とほぼ同等の位置づけにある。

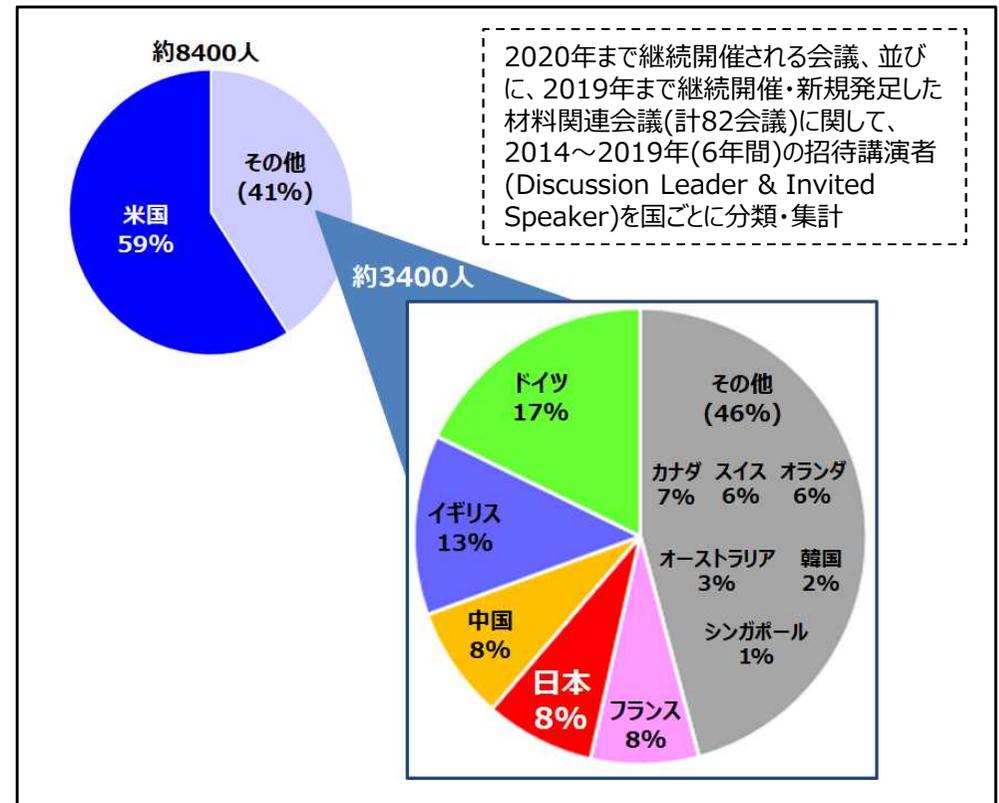
GRC (Gordon Research Conference)

：サイエンスの分野で歴史と権威があり、広く知られている研究集会の一つで、生物、化学、物理、工学、およびそれらのインターフェース分野における最新・最先端の研究のプレゼンテーションとディスカッションのための国際会議を提供している(2018年：会議開催数=203件)。材料に関連する会議も多く開催されている。

分野別の開催会議数変化



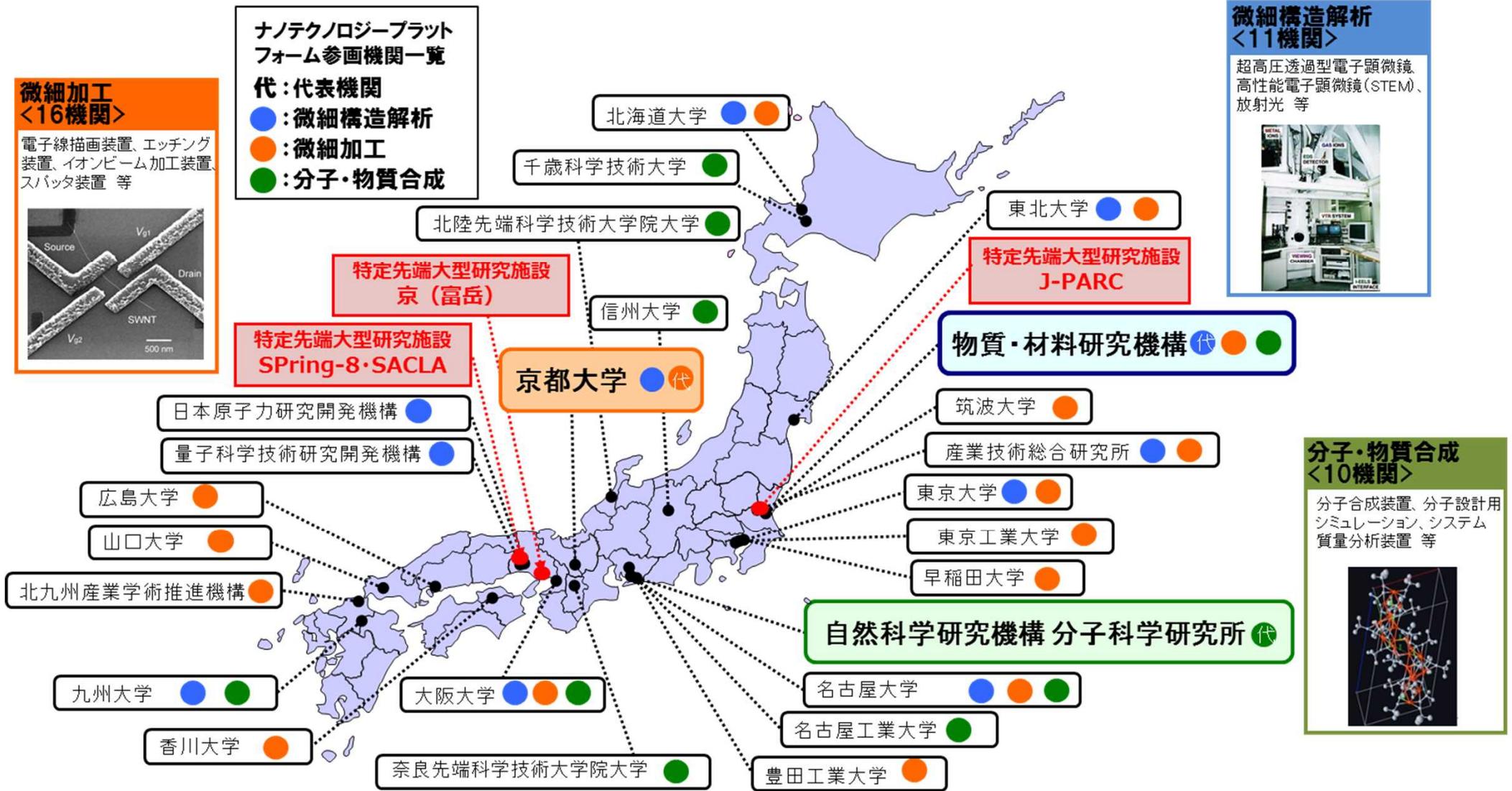
材料関連会議の各国招待講演者



【出典】 Gordon Research Conferences (<https://www.grc.org/>) を基に科学技術振興機構 (JST) プログラム戦略推進戦部で分析・作成した資料を文部科学省で一部改変

ポテンシャル：基礎④～世界最高水準の研究施設・設備が存在

SPring-8やSACLA、J-PARC、京（富岳）といった**世界最先端の大型研究施設が日本国内に整備・共用**されているとともに、長期にわたる政府の取組（ナノテクノロジープラットフォーム等）を通じて、**マテリアル分野においては世界最高水準の研究環境（先端研究設備・機器の共用プラットフォーム）が効果的に整備**されている。



ポテンシャル：基礎⑤～良質なマテリアル・データベースが存在

物質・材料研究機構（NIMS）において、専門家により収集・構築された良質なマテリアル・データベースが保有されている。



無機材料



世界最大の無機材料データベース

	Atom Work	Atom Work Adv.
結晶構造	82,000	303,885
状態図	15,000	42,406
特性	55,000	365,517
更新	なし	年1回

高分子



33万物性
(2019.4現在)

国産高分子データベース

- ・学術論文からの精選データ
- ・人手による高品質データ
- ・過去20年の蓄積(10人体制)

金属・合金



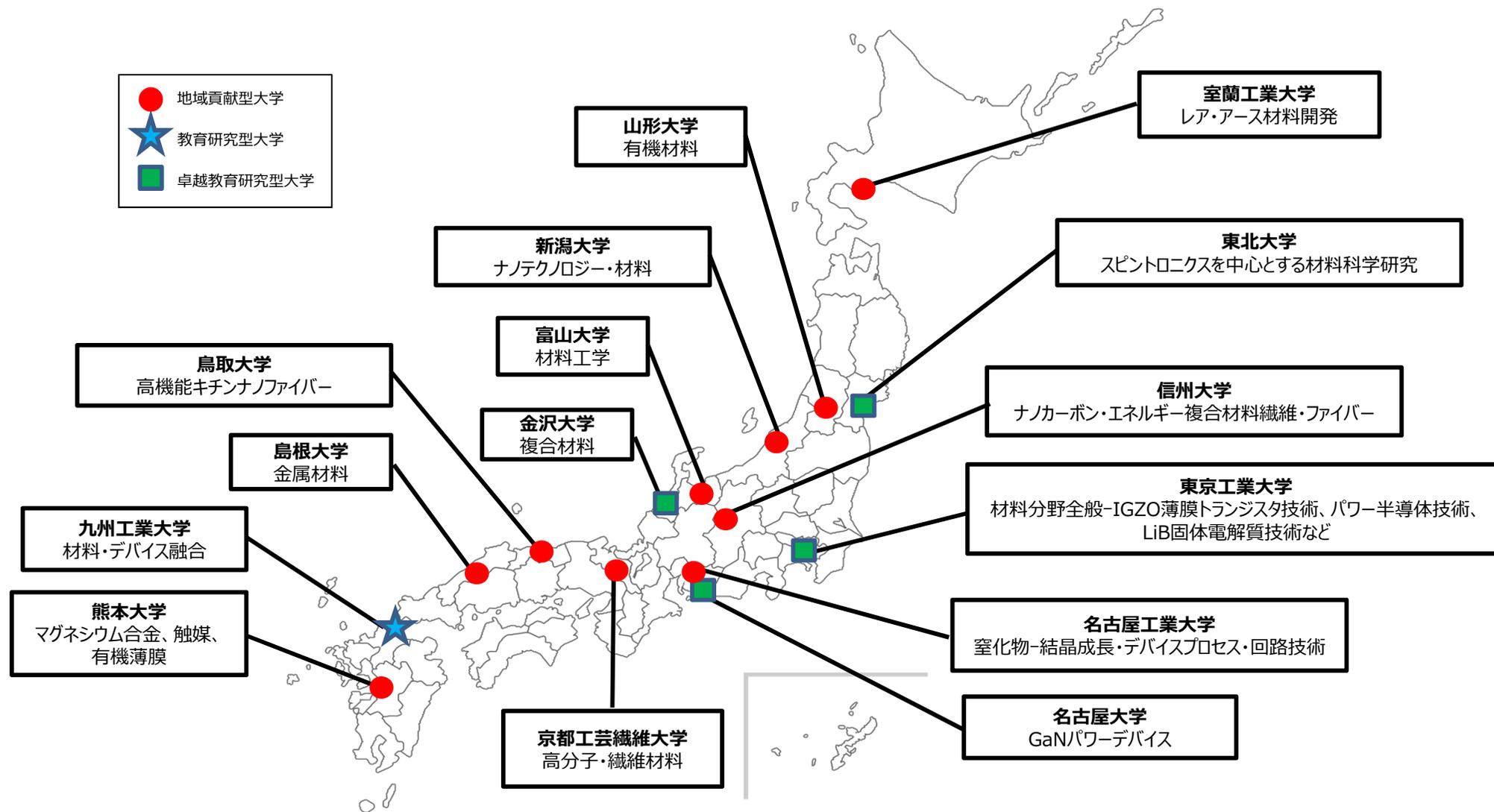
500種以上の鉄鋼材料の
機械的性質、クリープ、疲
労:82,700以上



CCT曲線図: 214; 硬度:
2213; 金属組織図: 627

ポテンシャル：基礎⑥～マテリアルは全国の大学の強み

大学の得意分野としてマテリアル関連の研究を掲げている大学が多数存在する。また、このことは、我が国においてマテリアルを強化することが、地方創成に大きく貢献する可能性を持つことを示唆している。



【出典】経済産業省「大学ファクトブック2019 国立大学」より文部科学省作成

(注) 大学ファクトブック「大学の得意分野とその具体例」に“材料”もしくは“具体的な材料名”のキーワードが表記されている大学を抽出

危機への直面（基礎の観点）

危機感：基礎①～論文数の国際シェアが低下

我が国の化学、材料科学分野の総論文数、トップ10%論文数、トップ1%論文数は、この10年間で国際シェアを大きく下げている。いずれの指標も中国が米国を抜き圧倒的1位となっている。なお、材料科学分野では、中国、米国に続き韓国が3位に入っている。

【化学（2005-07→2015-17）】※分数カウント

総論文数：8.4%（3位）→5.1%（4位）
 トップ10%：7.9%（3位）→3.6%（6位）
 トップ1%：5.7%（5位）→3.5%（5位）

【材料科学（2005-07→2015-17）】※分数カウント

総論文数：9.6%（3位）→4.0%（5位）
 トップ10%：7.5%（3位）→2.4%（9位）
 トップ1%：6.5%（5位）→2.8%（7位）

化学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
米国	20,253	16.1	1	
中国	19,979	15.9	2	
日本	10,533	8.4	3	
ドイツ	7,313	5.8	4	
インド	6,634	5.3	5	
ロシア	5,128	4.1	6	
フランス	4,889	3.9	7	
英国	4,799	3.8	8	
スペイン	4,063	3.2	9	
イタリア	3,567	2.8	10	

化学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	48,898	27.1	1	
米国	21,049	11.7	2	
インド	11,699	6.5	3	
日本	9,256	5.1	4	
ドイツ	8,500	4.7	5	
ロシア	6,551	3.6	6	
韓国	5,880	3.3	7	
イラン	5,296	2.9	8	
フランス	5,154	2.9	9	
英国	5,010	2.8	10	

材料科学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	9,484	19.5	1	
米国	6,614	13.6	2	
日本	4,671	9.6	3	
ドイツ	2,594	5.3	4	
韓国	2,466	5.1	5	
インド	2,048	4.2	6	
韓国	1,745	3.6	7	
フランス	1,732	3.6	8	
台湾	1,291	2.6	9	
ロシア	1,250	2.6	10	

材料科学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	論文数	シェア	順位	
中国	32,256	32.8	1	
米国	10,384	10.6	2	
韓国	5,788	5.9	3	
インド	5,638	5.7	4	
日本	3,887	4.0	5	
ドイツ	3,519	3.6	6	
イラン	2,675	2.7	7	
英国	2,409	2.4	8	
フランス	2,232	2.3	9	
ロシア	2,219	2.3	10	

化学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
米国	3,554	28.3	1	
中国	1,569	12.5	2	
日本	993	7.9	3	
ドイツ	889	7.1	4	
英国	643	5.1	5	
フランス	520	4.1	6	
スペイン	445	3.5	7	
インド	424	3.4	8	
カナダ	357	2.8	9	
イタリア	357	2.8	10	

化学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
中国	5,959	33.1	1	
米国	3,100	17.2	2	
ドイツ	977	5.4	3	
インド	813	4.5	4	
英国	703	3.9	5	
日本	646	3.6	6	
韓国	563	3.1	7	
フランス	457	2.5	8	
スペイン	448	2.5	9	
イラン	445	2.5	10	

材料科学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
米国	1,242	25.5	1	
中国	696	14.3	2	
日本	364	7.5	3	
ドイツ	312	6.4	4	
英国	261	5.4	5	
韓国	221	4.5	6	
フランス	206	4.2	7	
インド	154	3.2	8	
カナダ	151	3.1	9	
スペイン	107	2.2	10	

材料科学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	Top10%論文	シェア	順位	
中国	4,171	42.4	1	
米国	1,620	16.5	2	
韓国	560	5.7	3	
ドイツ	346	3.5	4	
インド	284	2.9	5	
英国	276	2.8	6	
オーストラリア	255	2.6	7	
シンガポール	242	2.5	8	
日本	232	2.4	9	
イラン	194	2.0	10	

化学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
米国	472	37.6	1	
中国	113	9.0	2	
ドイツ	96	7.7	3	
英国	78	6.2	4	
日本	72	5.7	5	
スペイン	43	3.4	6	
フランス	42	3.3	7	
カナダ	38	3.0	8	
イタリア	35	2.8	9	
韓国	32	2.5	10	

化学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
中国	596	33.1	1	
米国	388	21.6	2	
ドイツ	118	6.5	3	
英国	84	4.6	4	
日本	64	3.5	5	
韓国	54	3.0	6	
シンガポール	46	2.5	7	
オーストラリア	41	2.3	8	
インド	41	2.3	9	
スペイン	36	2.0	10	

材料科学		PY2005-2007（平均）		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
米国	179	36.7	1	
中国	46	9.5	2	
ドイツ	36	7.4	3	
英国	33	6.7	4	
日本	32	6.5	5	
フランス	20	4.1	6	
カナダ	15	3.1	7	
韓国	15	3.0	8	
シンガポール	14	2.8	9	
オランダ	12	2.5	10	

材料科学		PY2015-2017（平均）		
国・地域名	Top1%論文	シェア	順位	
中国	422	43.0	1	
米国	214	21.8	2	
韓国	46	4.6	3	
シンガポール	39	4.0	4	
オーストラリア	31	3.2	5	
ドイツ	31	3.1	6	
日本	28	2.8	7	
英国	28	2.8	8	
サウジアラビア	15	1.6	9	
カナダ	15	1.5	10	

【出典】科学技術・学術政策研究所「科学研究のベンチマーキング2019 -論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況-」を基に文部科学省作成

(補足資料) 部門別に見た論文数の減少率

化学及び材料科学分野の論文数及びトップ10%論文数は、企業での減少傾向が大きい。ただし、当該分野の論文数、トップ10%論文数の減少傾向の最も大きな要因となっているのは大学（減少分のうち、化学の約7割、材料科学の約5割は大学）。また、比較的小規模な国立大学や私立大学の論文生産力が落ちてきていることが示唆される。

部門別の論文数及びTop10%論文数の伸び率【分数カウント】

【化学分野】

化学 ※分数カウント	論文数			Top10%補正論文数		
	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率
大学	8,310	7,417	-11%	758	572	-24%
公的機関	1,267	1,186	-6%	154	144	-7%
企業	939	646	-31%	77	23	-70%
非営利団体	133	99	-25%	13	7	-46%
それ以外	135	121	-10%	11	6	-43%
合計	10,783	9,470	-12%	1,013	753	-26%

▲1313

▲260

【材料科学分野】

材料科学 ※分数カウント	論文数			Top10%補正論文数		
	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率
大学	3,122	2,574	-18%	236	160	-32%
公的機関	812	555	-32%	93	62	-33%
企業	626	412	-34%	37	15	-59%
非営利団体	87	45	-48%	7	3	-55%
それ以外	80	51	-36%	5	2	-59%
合計	4,727	3,637	-23%	378	242	-36%

▲1090

▲136

大学部門の内訳【責任著者カウント】

化学 ※責任著者カウント	論文数			Top10%補正論文数			
	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	
国立大学	第1G	2,090	2,007	-4%	312	267	-14%
	第2G	2,120	1,945	-8%	206	184	-11%
	第3G	1,087	1,004	-8%	64	44	-32%
	第4G	923	791	-14%	63	28	-55%
	国立全体	6,245	5,760	-8%	645	523	-19%
私立全体	1,698	1,485	-13%	118	57	-51%	

大学部門の内訳【責任著者カウント】

材料科学 ※責任著者カウント	論文数			Top10%補正論文数			
	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	PY2003 -2005	PY2013 -2015	伸び率	
国立大学	第1G	959	818	-15%	86	75	-13%
	第2G	647	588	-9%	60	44	-27%
	第3G	392	332	-15%	22	12	-45%
	第4G	444	308	-31%	23	9	-61%
	国立全体	2,451	2,051	-16%	190	140	-26%
私立全体	493	378	-23%	36	21	-41%	

【出典】科学技術・学術政策研究所『調査資料-271 日本の大学システムの

アウトプット構造：論文数シェアに基づく大学グループ別の論文算出の詳細分析』（2018）を基に文部科学省作成

※クラリベイト・アナリティクス社 Web of Science XML（SCIE、2016年末バージョン）を基に科学技術・学術政策研究所が集計。

※各大学グループの分類は論文数シェアを用いた大学グループに基づく。第G1：論文数シェアが1%以上の大学のうち上位4大学（大阪大学、京都大学、東京大学、東北大学）、第G2：上位4大学を除いた、論文数シェアが1%以上の大学（国立10大学、私立3大学の計13大学）、第G3：論文数シェアが0.5%以上1%未満の大学（国立18大学、公立3大学、私立6大学の計27大学）、第G4：論文数シェアが0.05%以上0.5%未満の大学（国立36大学、公立19大学、私立85大学の計140大学）

※責任著者カウント：論文の責任著者（研究をリードしている著者）をカウント。

危機感：基礎②～論文数の減少傾向は他分野より顕著

この10年間で、我が国の論文数が全体的に減少する中で、**マテリアルに関連する化学、材料科学、物理学分野の低下傾向が顕著**である。特に**トップ10%論文数の減少傾向が著しい**。ボリュームゾーンを占めるマテリアル関連の論文指標の停滞が、日本全体の論文指標の停滞に大きく影響していると推察できる。

分野	論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	10,533	9,256	↓ -12%
材料科学	4,671	3,887	↓ -17%
物理学	10,266	7,345	↓ -28%
計算機・数学	2,478	2,417	→ -2%
工学	4,663	4,143	↓ -11%
環境・地球科学	2,292	2,731	↑ 19%
臨床医学	13,141	16,272	↑ 24%
基礎生命科学	18,443	17,179	↓ -7%
合計	67,026	63,725	-5%

分野	Top10%補正論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	993	646	↓ -35%
材料科学	364	232	↓ -36%
物理学	750	518	↓ -31%
計算機・数学	107	127	↑ 19%
工学	267	204	↓ -24%
環境・地球科学	120	165	↑ 37%
臨床医学	746	1,030	↑ 38%
基礎生命科学	1,143	971	↓ -15%
合計	4,506	3,927	-13%

分野	Top1%補正論文数		
	PY2005-2007年 (平均値)	PY2015-2017年 (平均値)	伸び率
化学	72	64	↓ -11%
材料科学	32	28	↓ -12%
物理学	64	40	↓ -37%
計算機・数学	8	9	↑ 17%
工学	18	19	↑ 8%
環境・地球科学	12	14	↑ 21%
臨床医学	44	63	↑ 44%
基礎生命科学	106	88	↓ -17%
合計	355	328	-7%

※分数カウント法とは、1件の論文が、日本の機関Aと米国の機関Bの共著の場合、日本を1/2、米国を1/2と数える方法。論文の生産への貢献度を示している。

(注1) PYとは出版年 (Publication year) の略である。Article, Reviewを分析対象とした。分数カウント法を用いた。

(注2) 論文の被引用数 (2018年末の値) が各年各分野 (22分野) の上位10% (1%) に入る論文数がTop10% (Top1%) 論文数である。Top10% (Top1%) 補正論文数とは、Top10% (Top1%) 論文数の抽出後、実数で論文数の1/10 (1/100) となるように補正を加えた論文数を指す。

(注3) クラリベイト・アナリティクス社 Web of Science XML (SCIE, 2018年末バージョン) を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

【出典】科学技術・学術政策研究所「科学研究のベンチマーキング2019 -論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況-」

危機感：基礎③～人材に関する現場の主な意見

現場の研究者からは、**次世代を担う若手人材の不足**や、**中国の存在感が増大している状況**などについて多くの意見があった。

文部科学省参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付では、2019年5月から10月にかけて、国内の大学、国研、企業の研究者108名、並びに3団体へのヒアリングを実施。以下は、現場の課題や懸案事項として挙げられた意見の中から、多くの意見があった内容を抽出。

【若手人材の状況について（意見は大学教員又は国研研究者）】

- マテリアル関係の分野では、日本には強い企業があるので、学生が修士課程修了段階で企業に就職することがほとんど。このため、**博士課程進学を希望する学生は元々少ない。ただ、最近はさらに減少している。**
- 博士課程に行く学生についても、博士進学当初から、アカデミアではなく企業への就職を志望する学生が多くなった。
- 大学の研究室で**ポスドクを募集しても、最近では優秀な人材を確保できない**状況。優れた人材が来る場合、外国人であることがほとんど。
- 大学教員が忙しくて自ら研究できていない姿を学生に見せてしまっていることが、アカデミアを志望する人材を減らしている一因。
- **海外の国際学会で、日本人の若手研究者の存在感がほとんどない。**
- 化学や材料分野の研究手法は、地味で大変ではあるが、日本人気質（粘り強い、細かいところに気付ける）に合致し、日本人が多くの成果を上げてきた。ただ最近では、**実験で大変、雑用で忙しい、というイメージの分野には人材は集まらない。**また、**政府からこの分野に近年スポットライトを当ててもらえていないことも人気不足に拍車をかけている。**
- 研究職の魅力が社会に発信できていない。いわゆるポスドク問題や、博士号取得者が就職できないといったことは、この分野には一切当てはまらないのだが、間違った情報が発信されている。

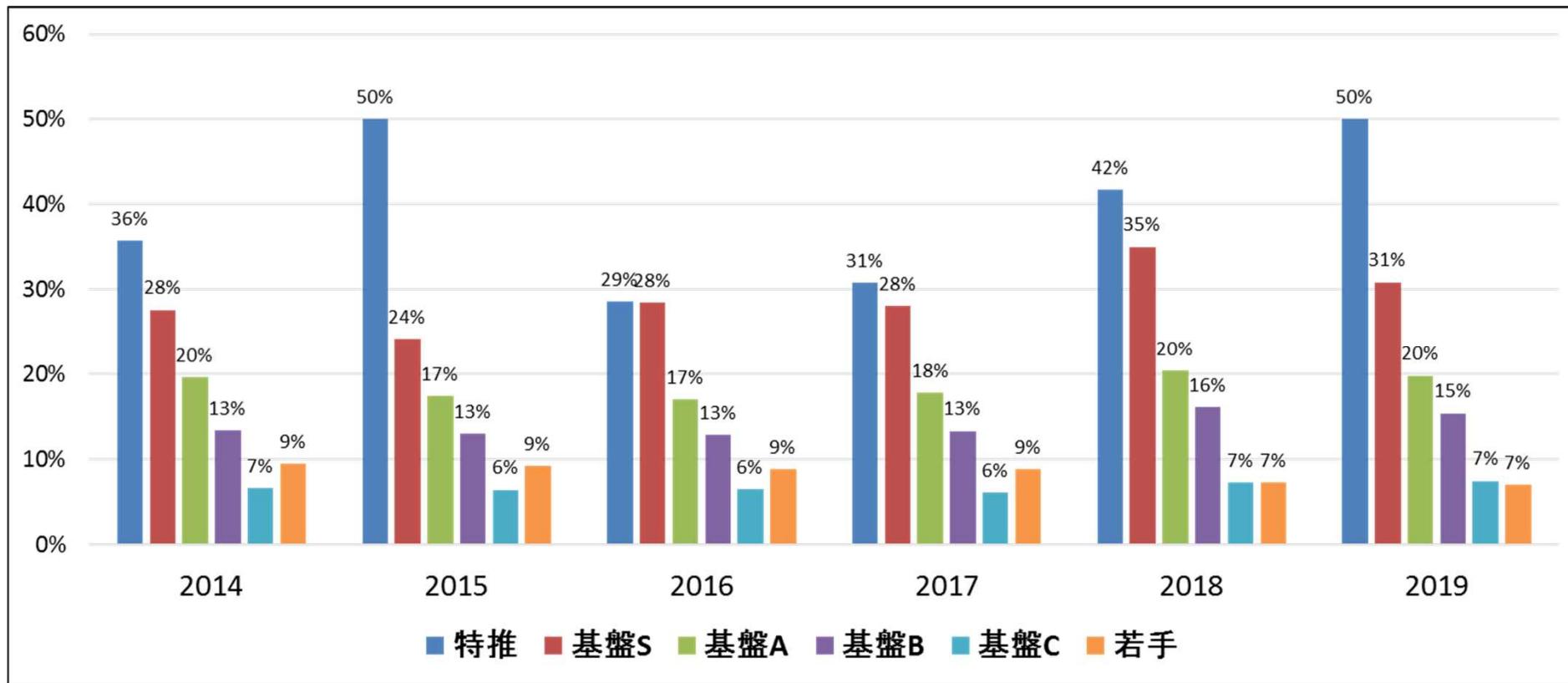
【海外（中国）の動向について（意見は大学教員又は国研研究者）】

- 中国は、**日本の退官した大学教員や企業技術者をどんどん引き抜いている。**そうした人が中国に研究室を構え、そこに若くて良い人材が付いていることは脅威。
- 中国は今、巨額の予算を付けて、日本の技術と人を買いに来ている。その背景には、経済が成長して予算が潤沢な間に投資を行い、世界の主導権を取っておかないと、今後高齢化、人口減少が進む中で、インド等他国に負けてしまうという危機感がある。現在、**0→1（知の創出）も含めて全方位的に投資しているが、0→1を自分たちで生み出せなければ日本の知を買ってしまうばよい、と割り切って大型投資を行っている。**
- 巨額予算をバックに、**短期間で人海戦術で戦うような方法では、日本は中国には勝てない。**
- マテリアル関連の分野の中国の基礎研究のレベルは一気に上がってきている。**日本の大学・国研に来ている中国人の若手は、最近では日本人の若手よりも優秀**であるように思う。

補足資料（科研費の種目別の採択結果）

科研費について、マテリアルに関連すると思われる採択課題を見ると、シニア・中堅の採択が比較的多い大型種目についてはマテリアル関連の研究課題が大きな割合を占めている一方、小型種目、若手種目のマテリアル関連の研究課題の割合は小さい。

科研費各種目の採択課題全体に占めるマテリアル関連の課題割合



- 特推については、第10期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会（第4回）での中山智弘氏（JST・CRDS）発表資料において、「ナノテク・材料関連課題」として抜粋された課題を抽出。
- 基盤Sについては、2017年までは、科研費における審査区分の「ナノ・マイクロ科学」、「応用物理学」、「物性」、「原子・分子・量子エレクトロニクス」、「化学」、「機械材料・材料力学」、「生産工学・加工学」、「電子・電気材料・デバイス」、「材料工学」、「プロセス・化学工学」、2018年以降は大区分B、C、D、Eのうち、マテリアルに特に関係していると考えられる「固体」、「凝固」、「磁石」、「電子化物」、「スピン」、「金属」、「反応」、「分子」、「強相関電子系」、「熱光発電」、「エレクトロニクス」、「界面」、「計測」、「材料」、「触媒」、「電池」、「超電導」、「センサ」、「結晶」、「imaging」、「合成」、「ヘテロ接合」、「物性」、「凝縮相」、「ナノ」、「レーザー」、「デバイス」、「電波吸収体」、「metamaterial」、「イオン」、「粒界」、「強相関物質」、「スペクトロスコピー」、「ファイバ」、「炭素クラスター」、「半導体」、「組織制御」、「ケミストリー」、「センシング」、「超伝導」、「核生成」、「走査トンネル顕微鏡」、「磁束回路」、「量子プロセッサ」、「電子化学」、「X線タイログラフィ」、「エニオン」のキーワードが採択課題名に含まれる研究課題を機械的に抽出。
- 基盤A、B、C、若手については、2017年までは、科研費における審査区分の「ナノ・マイクロ科学」、「応用物理学」、「物性」、「原子・分子・量子エレクトロニクス」、「化学」、「機械材料・材料力学」、「生産工学・加工学」、「電子・電気材料・デバイス」、「材料工学」、「プロセス・化学工学」から機械的に抽出。2018年以降は、「物性物理学及び関連分野」、「材料力学、生産工学、設計工学及び関連分野」、「電気電子工学およびその関連分野のうち、電気電子材料工学関連、電子デバイスおよび電子機器関連」、「材料工学及びその関連分野」、「化学工学及びその関連分野」、「ナノマイクロ科学及びその関連分野」、「応用物理物性及びその関連分野」、「応用物理工学及び化学分野」から機械的に抽出。

【出典】科学研究費助成事業データベースを基に文部科学省において作成

高いポテンシャル（融合の観点）

ポテンシャル：融合①～マテリアル系のノーベル賞研究は社会を変革

我が国では、自然科学系でこれまで24人がノーベル賞を受賞しており、その約半数がマテリアル関連研究での受賞。注目すべきは、マテリアル関連の受賞者全員について、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たという点。

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

【出典】文部科学省作成

ポテンシャル：融合②～社会を変えた我が国発の研究成果が沢山

今後のノーベル賞受賞も期待できるような、大きな社会的・経済的インパクトをもたらしたマテリアルの研究成果事例が数多く存在。

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年代）
野依良治（不斉合成反応@1986）
→**創薬、農薬、香料、アミノ酸**

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**

リチウムイオン電池

水島公一（正極材料の提案@1980）
吉野彰（負極材料・構造提案@1980年代）
→**ポータブル電子機器、自動車電源**

超伝導材料

前田弘（Bi系110K、線材応用@1988）
秋光純（40K金属系@2000）
細野秀雄（32K鉄系@2008）
→**超電導線材、超高磁場NMR**

青色LED, LD

赤崎勇、天野浩（GaN単結晶、p型@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**

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、触媒**

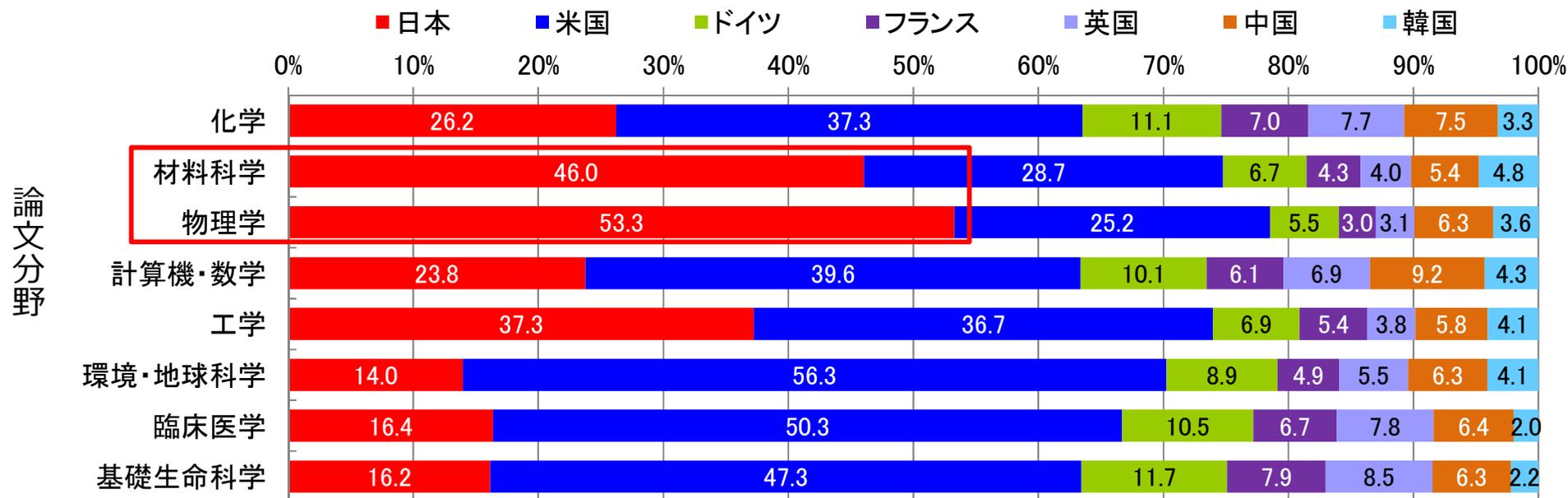
酸化物材料

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**

ポテンシャル：融合③～産業界は日本の大学等の知を活用

我が国の論文が国際特許出願に引用される場合、材料科学・物理学分野では他分野と比較して、日本の企業等の特許出願の際に引用される割合が高い。このことは、材料・物理分野において、大学等で生まれた「知」が、日本企業に比較的有効に活用されている状況を示している。

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



※パテントファミリー：優先権によって直接・間接的に結び付けられた2か国以上への特許出願の束

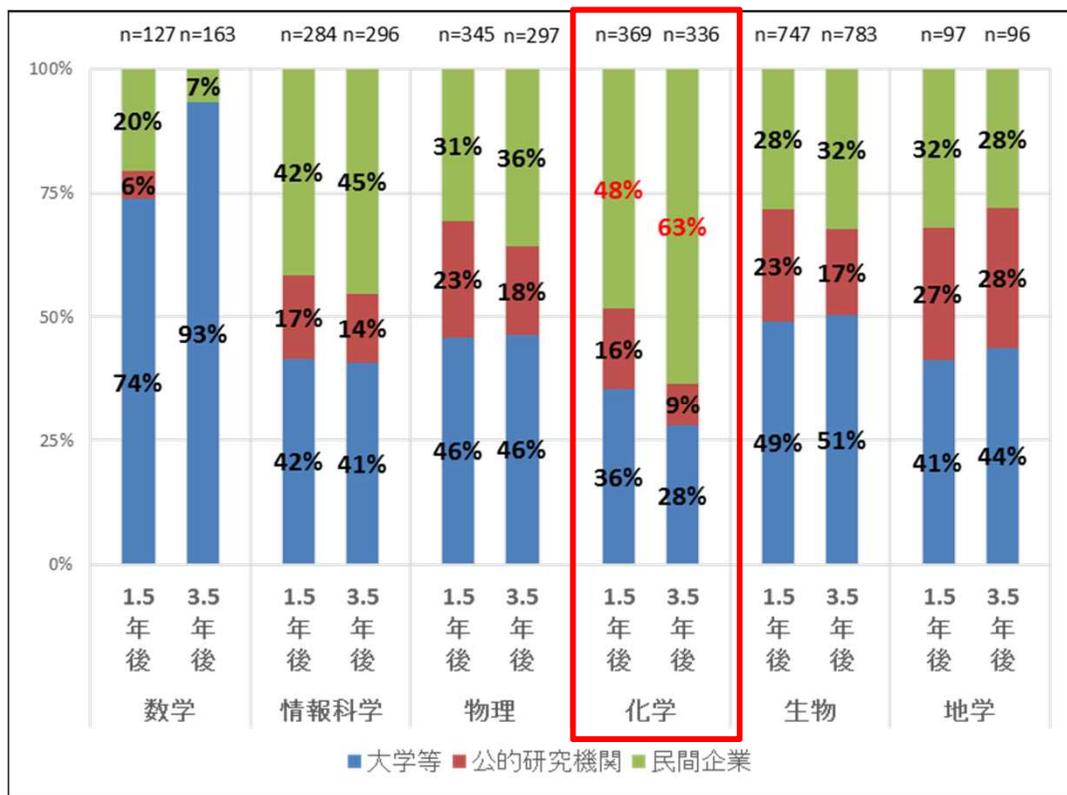
・欧州特許庁のPATSTAT(2018年秋バージョン)、クラリベイト・アナリティクスWeb of Science XML(SCIE, 2018年末バージョン)クラリベイト・アナリティクスDerwent Innovation Index(2019年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

【出典】科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

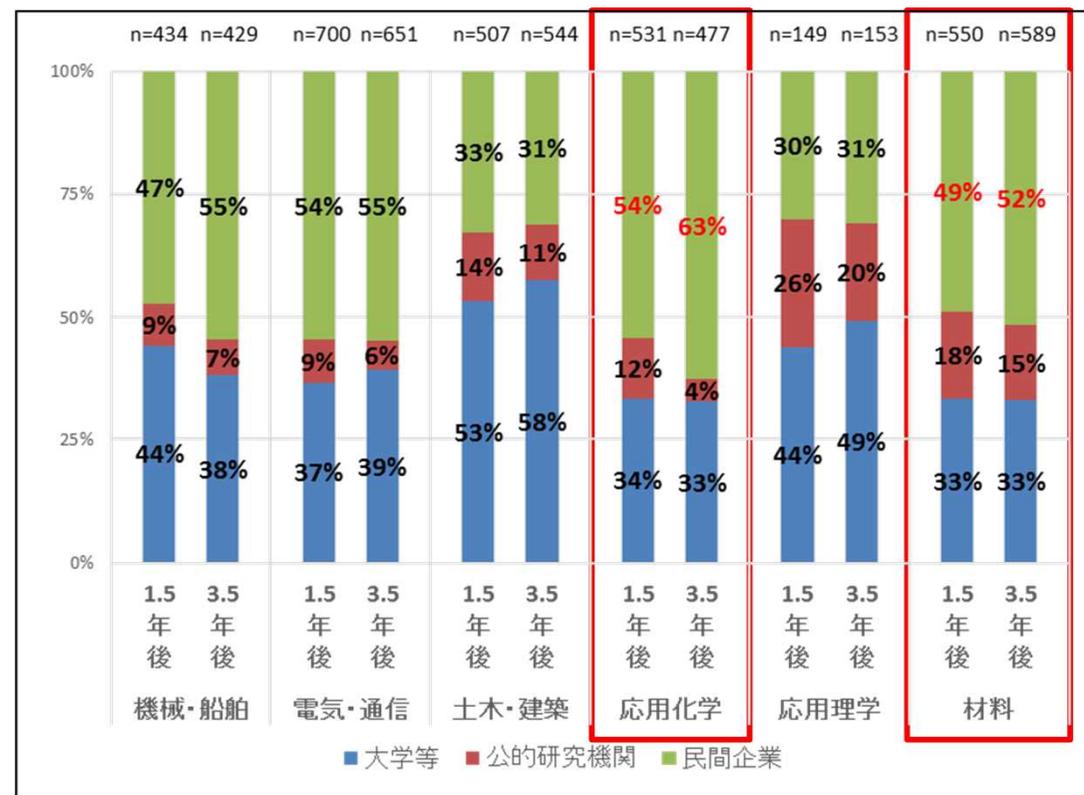
ポテンシャル：融合④～博士課程修了者の産業界就職割合が高い

化学、材料、応用化学といったマテリアル関連分野において、博士課程を修了した学生は、他分野と比べて、その後民間企業に就職している割合が高い。

理学系学科の分野別雇用先



工学系学科の分野別雇用先



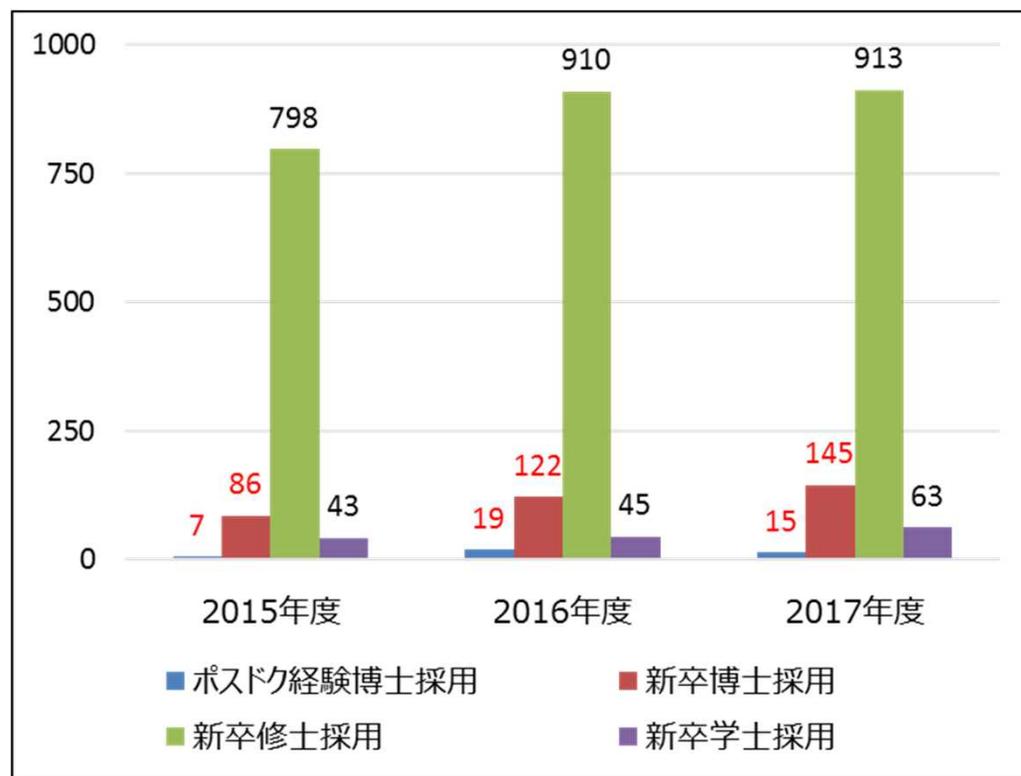
【出典】「博士人材追跡調査」の個票から、科学技術・学術政策研究所が集計したものを基に文部科学省作成

- ・2012年度に日本の大学院の博士課程を修了した者（以下「2012年コホート」）が対象。
- ・回答者が申告している博士課程在籍時の研究分野ごとに博士課程修了後1.5年後及び3.5年後に所属しているセクター（大学等、公的研究機関、民間企業、その他）毎に集計。
- ・2012年コホート1.5年後は、悉皆調査、3.5年後は、1.5年後の回答者に調査票を送付するコホート調査。
- ・回答者個人の意思に基づく調査の為、回答バイアスが存在している。よって、バイアス除去の為のキャリブレーションウェイトを用いて集計している。
- ・文部科学省にてグラフ作成の際、「その他」セクターへの就職者を除いた上で集計・加工している。

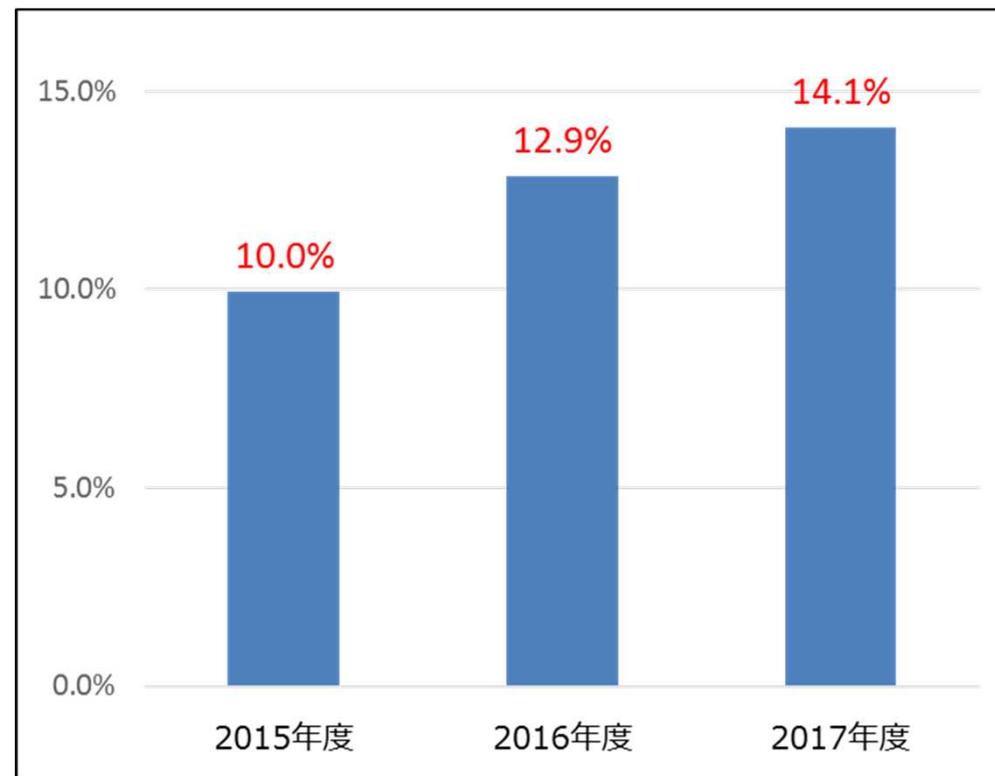
補足資料（化学系企業の博士採用の推移）

日本の化学系企業において、新規採用者に占める博士号取得者の割合が徐々に増加傾向にある。

化学系企業（※）の学歴別採用人数の推移



化学系企業（※）の新規採用者に占める博士号取得者割合の推移



※ 化学系企業・・・公益社団法人新化学技術推進協会（JACI）に加盟する化学系企業

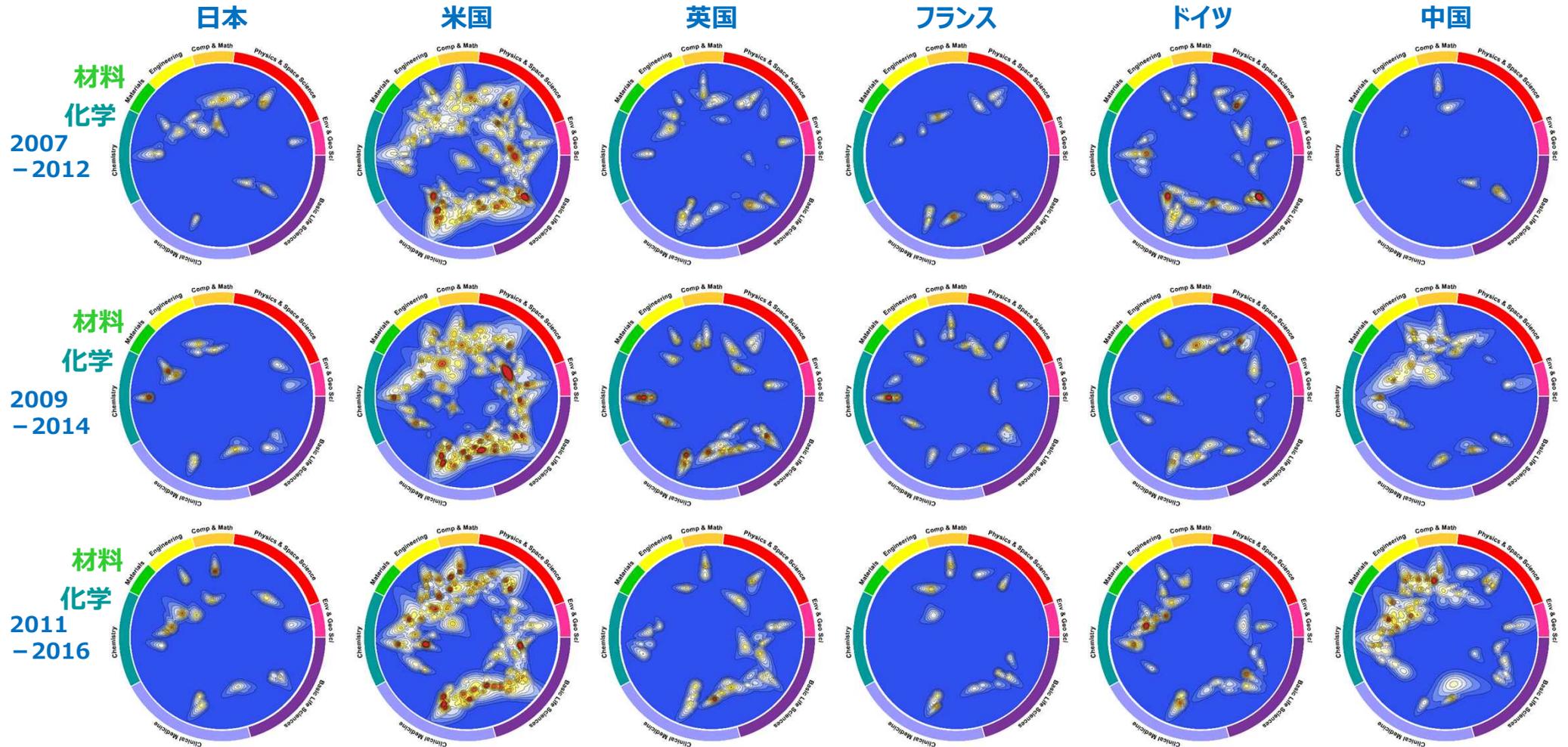
【出典】公益社団法人新化学技術推進協会の調査結果を基に文部科学省作成

危機への直面（融合の観点）

危機感：融合①～融合・新興領域の開拓が十分でない

世界のリサーチフロント（トップ1%論文クラスター）において、その構成論文に占める自国シェアが25%以上となるRFを国別、年代別に可視化。米国と中国が大きな存在感を持って、融合・新興領域の開拓を牽引している。特に中国は、左上方向（化学、材料科学、工学）の融合領域において、短期間で急激に存在感を増している。日本はいずれの領域も存在感が低い。

各国が高い存在感を持つ研究領域の分布（円の中心部ほど分野融合度が高い）



【出典】科学技術・学術政策研究所，サイエスマップ2010&2012，NISTEP REPORT No.159（2014年7月）、サイエスマップ2014，NISTEP REPORT No.169（2016年9月）及びサイエスマップ2016，NISTEP REPORT No.178（2018年10月）をもとに文部科学省にて作成。以下の手法により、各リサーチフロントの構成論文に占める各国シェア（分数カウント）が25%以上のものについて国別・時期毎に可視化したもの。

- 8分野（①環境・地球科学、②物理学、③計算機科学・数学、④工学、⑤材料科学（黄緑）、⑥化学（緑）、⑦臨床医学、⑧基礎生命科学）を円環状に配置。各分野に割り当てられた角度は各分野に属する論文数に比例。
- 各RFの「高さ」はリサーチ・インパクト（被引用数総数を分野間補正された期待値で除して対数をとったもの）に比例。赤いほどインパクトが高く、青いほどインパクトが低い。各RFのサイズは当該RFに含まれるTop1%論文数を反映。
- 各RFについて、その裾野の方向（一般には複数）は当該RFを構成する分野（群）を示す。円の中心に行くほど、分野融合度が高いことを示している。

危機感：融合②～産学連携・ファンディングに関する現場の主な意見

現場の研究者からは、大学における産学連携体制が十分でない状況や、政府のファンディングのスキームが十分に機能していない状況などについて多くの意見があった。

文部科学省参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）付では、2019年5月から10月にかけて、国内の大学、国研、企業の研究者108名、並びに3団体へのヒアリングを実施。以下は、現場の課題や懸案事項として挙げられた意見の中から、多くの意見があった内容を抽出。

【産学連携体制について】

- 特許の更新や、国際特許の取得といった基本的な知財取組が、予算や人材が足りない等の理由で実施できていない大学が多い。（企業関係者）
- 特許取得やスタートアップ立ち上げを支援してくれる優秀なスタッフが大学に十分に揃っていない。社会実装のアイデアがあっても相談できるスタッフがないので、相談をあきらめるケースが多い。質の高い産学連携支援体制が整っている大学は東大・京大クラスだけではないか。（大学教員）
- マテリアル関連の研究は、成果を出すとすぐに産業界が興味を持つので、研究者自身、多くの渉外業務をこなさないといけない。成果を出す研究者ほど、産業界との渉外業務に時間をとられてしまう。（大学教員、国研研究者）
- 日本の企業は大学の研究の価値を安く見積もりすぎである。日本の大学との連携案件については、1件数百万円という古い相場観が存在しており、これは海外大学との連携案件の相場より一桁低い。他方で、大学教員側も自らの研究成果の将来価値を正しく算定できないことが多く、組織としての支援体制が十分でない場合、企業に簡単に安価で売ってしまうことになる。（大学教員）
- 大学で産学連携やスタートアップ設立を進めたい人は増えているが、教員の評価軸がそうした取組を評価する仕組みになっていない。（大学教員）

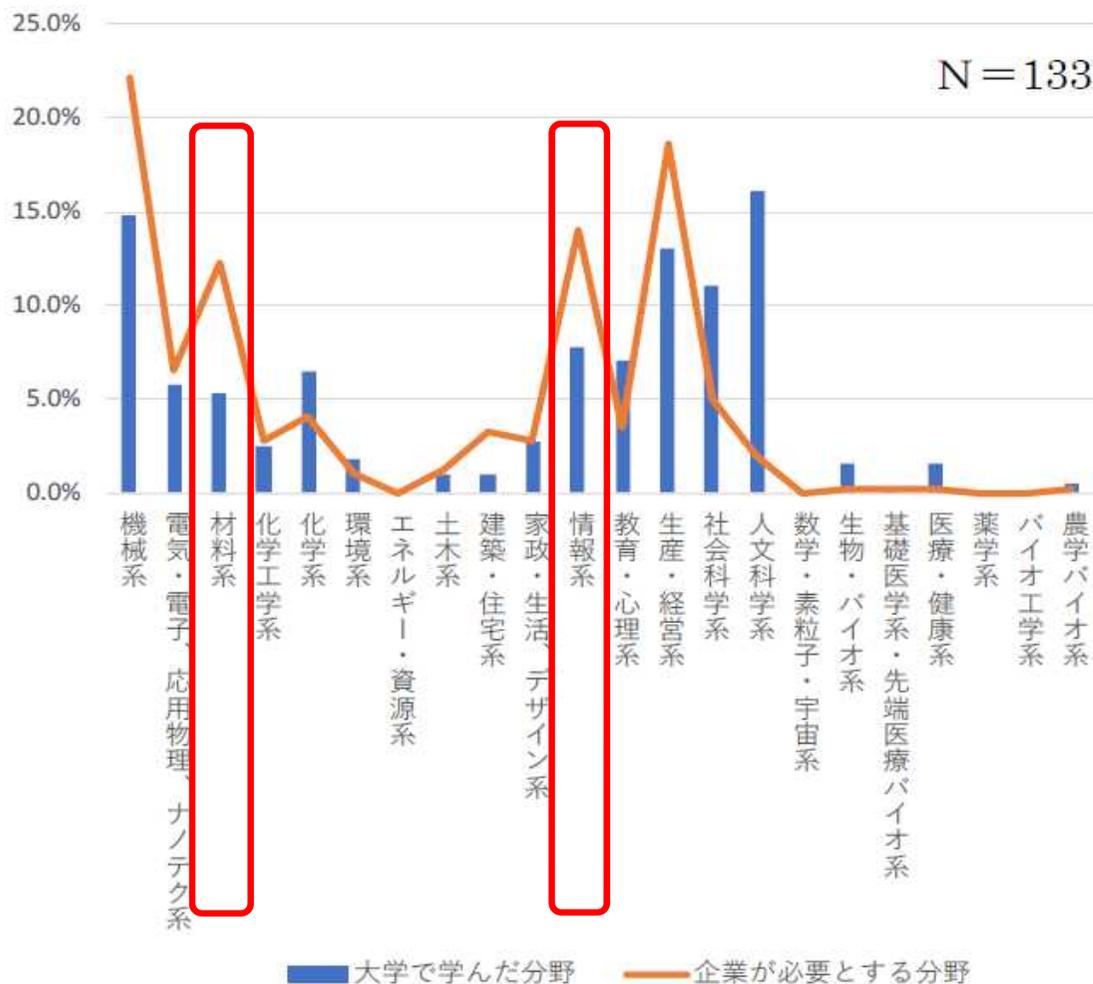
【政府のファンディングスキームについて（意見は大学教員又は国研研究者）】

- JSTの戦略的創造研究推進事業の戦略目標については、なるべく間口の広いテーマで設定してほしい。
- 最近では、JST戦略事業の採択件数（採択率）が少なすぎる。研究者にとっては研究予算が途切れないことが最優先であるため、科研費や戦略事業が取れない場合、同じ研究テーマ、研究内容について、出口志向の予算制度の公募に説明を変えて申請せざるを得ず、結果的に現場の事務負担と研究に対する制約が増える状況につながっている。
- JSTの研究費の評価やマネジメントに企業関係者が入りすぎであり、短期間で分かりやすい成果を出すことを事業趣旨を超えて求められる傾向。
- AMED設立以降、医学と材料・工学の中間領域を支援するプログラムがなくなってしまった。AMEDでは、医者側に明確なニーズがあるテーマしか採択されない状況。この中間領域はJSTも手を引いており、間に落ちてしまっている。

補足資料（企業における人材需給ギャップ）

企業へのアンケート調査結果を見ると、材料系の企業においては、材料系、情報系の専門性を持つ人材に関して、需給ギャップが発生している傾向。

材料系企業における人材需給ギャップ（アンケート調査結果）



【出典】 経済産業省 平成29年度産業技術調査事業 産業振興に寄与する理工系人材の需給実態当調査 報告書

補足資料（文部科学省の戦略目標の変遷）

JST戦略創造研究推進事業に活用する戦略目標に関して、ナノテク・材料関係の目標については、1つ又は2つずつ毎年新規に設定されている。

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
○先端的な計測・分析機器実現に向けた基盤創出																				
○プログラムされたビルドアップ型ナノテクノロジー																				
○ナノスケール科学による製造技術の革新 ○革新的ナノ界面技術の創出とその応用																				
○新デバイスのための材料開拓とナノプロセス開発																				
○プロセスインテグレーションによるナノシステム																				
○自然光エネルギー変換材料及び利用基盤技術																				
○レアメタルフリー材料の実用化等の元素戦略																				
○分子の自在設計『分子技術』の構築 ○先導的な物質変換技術の創出																				
○情報デバイスの革新的基盤技術 ○空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製																				
○二次元機能性原子・分子薄膜																				
○革新的触媒の創製																				
○材料研究等における計測と情報処理の融合																				
○ナノスケール熱動態の理解と制御技術 ○実験とデータ科学融合による材料開発																				
○トポロジカル材料・デバイスの創出 ○革新反応技術の創出																				
○ナノスケール動的制御による力学特性 発現機構の解明																				

青：ICT応用
 緑：環境・エネ応用
 黒：物質・材料共通基盤

1/2 1/6 2/5 1/4 1/7 1/4 1/4 0/5 2/5 2/5 1/4 1/4 1/4 2/5 2/4 1/6 ←新規目標総数に占めるナノテク・材料関係の割合

※AMED所管分は入っていない。

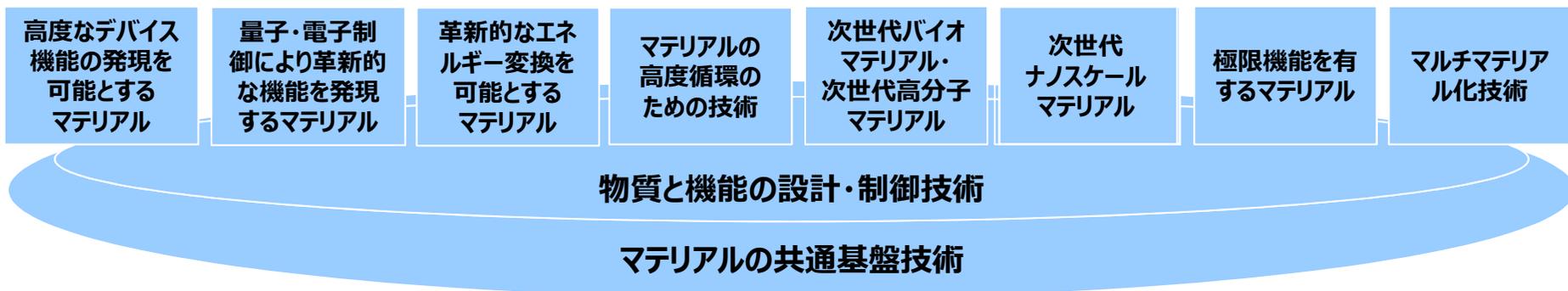
重要技術・実装領域マップ（試作版）

「戦略準備会合取りまとめ」で例示した、以下の社会実装領域（未来の姿）と重要技術領域について、両者の関係性や、具体的な技術の位置付けを示した俯瞰的なマップを試作した。

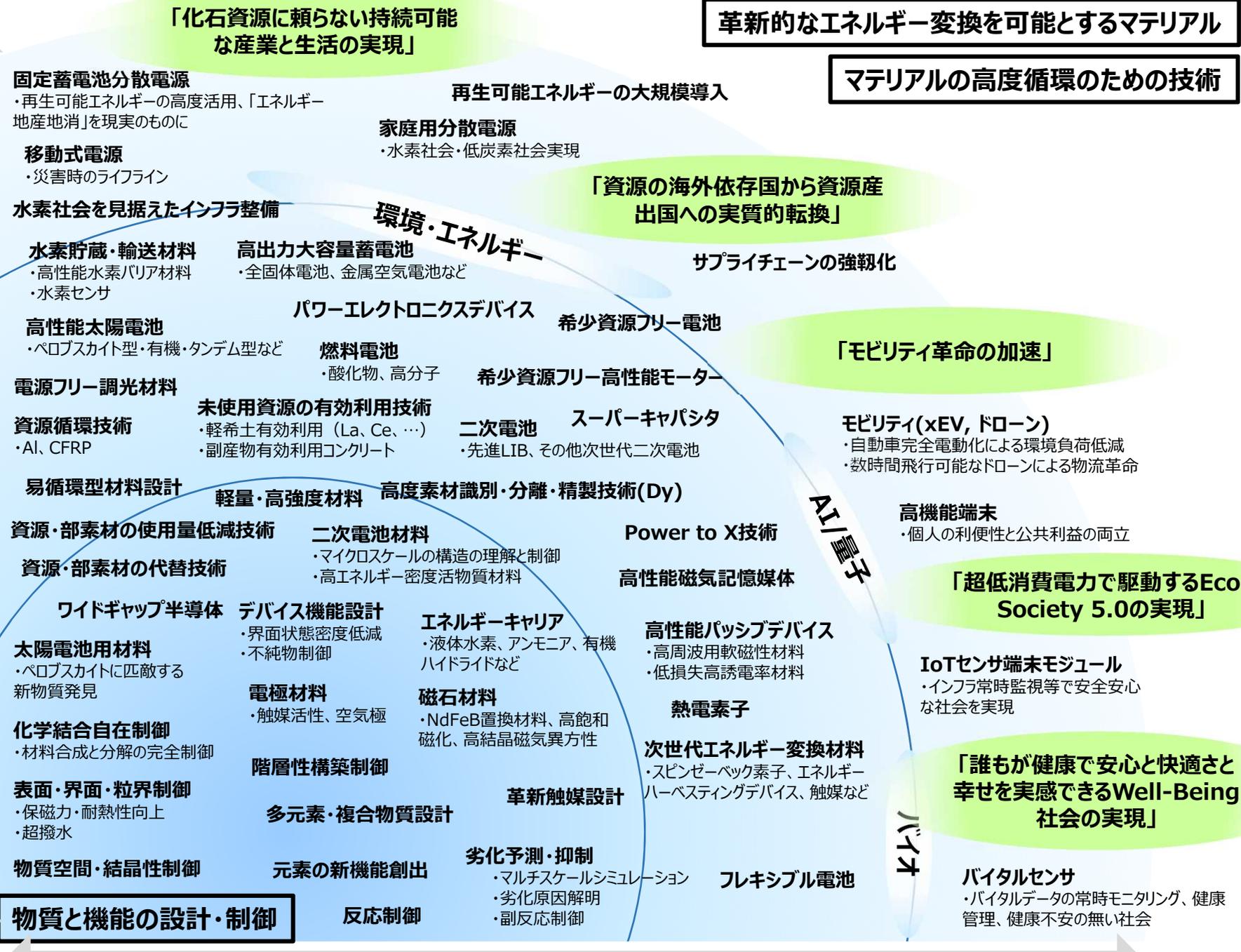
マテリアルが大きなバリューをもたらす社会実装領域（未来の姿）（例）

- ・ 低電力・自給電源デバイスやエネルギー変換・貯蔵デバイスの革新による「**超低消費電力で駆動するEco-Society 5.0の実現**」
- ・ 希少資源代替・循環技術の革新による「**資源の海外依存国から資源産出国への実質的転換**」
- ・ 耐久性や劣化を自在に操る高強度・高機能材料による「**世界一安全なレジリエンス国家の実現**」
- ・ 高感度センサシステムや身体機能を回復・増進する革新マテリアルによる「**誰もが健康で安心と快適さと幸せを実感できるWell-being社会の実現**」
- ・ 超軽量・極限機能マテリアルやエネルギー変換マテリアルによる「**モビリティ革命の加速**」
- ・ 生物由来・生物機能利用マテリアルや革新触媒による「**化石資源に頼らない持続可能な産業と生活の実現**」
- ・ マテリアル×デジタルによる研究開発手法の革新を通じた「**世界一の創造性・生産性・強靱性を持つ研究開発・製造現場の実現**」

重要技術領域（例）



マテリアルが生み出す社会実装領域
革新的なエネルギー変換のための技術
物質と機能の設計制御



次世代バイオマテリアル・次世代高分子マテリアル

次世代ナノスケールマテリアル

「誰もが健康で安心と快適さと
幸せを実感できるWell-Being
社会の実現」

「化石資源に頼らない持続可能
な産業と生活の実現」

「資源の海外依存国から資源産
出国への実質的転換」

マテリアルがバリュー
を生み出す社会実装領域

次世代バイオマテリアル・次世代高分子マテリアル
次世代ナノスケールマテリアル

物質と機能の設計制御

軽量強靱かつ安全性・信頼性
の高いバイオマテリアルの普及

感染症対応能力の強化
・極微量ウイルス等の迅速検出、分離・
分解・除去による蔓延防止
・DNA解析等による迅速判定・診断

生体モニタリングによる健康維持
・バイタルデータ多項目常時計測と結果
のリアルタイムフィードバック

抗菌・抗ウイルス材料
・ウイルス等を分解・不活化する材料・
表面処理
・繊維に抗菌性等の機能性付与を可
能とするマイクロ波処理技術

バイオ

極微量生物由来物質（ウイルス
等含む）計測・分析
・ナノデバイス（ナノボア等）による極微
量ウイルス等の迅速検出・解析

自己修復材料

分離膜
・大気中ウイルス等の
完全除去

生分解性材料
・生体内で分解する材料

DDSマテリアル

高精度生体イメージング
・ウイルス感染細胞などの可視化

細胞・組織再生誘導材料

薬剤徐放

ウェアラブルデバイス

バイオアダプティブ材料

ハイブリッドナノ粒子

バイオセンサ

高機能ハイドロゲル
・DNゲル、tetra-PEGゲルなど
構造・物性の制御されたゲル

ソフトナノ粒子
・ナノゲル、ミセル、
 dendリマーなど

ナノカーボン

リスク評価基盤技術

有機・無機・バイオ複合化

3D積層技術

二次元薄膜
・グラフェンなど

におい・ガスセンサ

流体制御

階層性構築制御

有機エレクトロニクス

触媒・光触媒

化学結合自在制御
・材料合成と分解の完全制御

高分子精密合成
・ナノ・マイクロ相分離構造制御、
精密重合など

ナノシート

フォトサーマル材料

表面・界面・粒界制御
・構造制御、界面水制御

物質空間・結晶性制御

ナノワイヤ・ナノファイバー

膜分離

原子・分子自在制御

元素の新機能創出

ナノ多孔体

高分子緻密膜

高強度・生分解性
プラスチック

高分子分解機構解明

無害化技術（海プラ）

メソポーラスシリカ

物質と機能の設計・制御

バイオ素材生産技術

生物機能を活用したバイオ新素材
・セルロースナノファイバー、改質リグニン、遺伝子
組み換えカイコなど

バイオ

環境・エネルギー

低エネルギー・高効率化学合成
・C1化学・触媒の活用

温室効果ガス・大気汚染物質分離・回収
・高性能ガスフィルター、ガス分離膜の実現

農林水産資源の活用領域拡大による
地域所得拡大・温暖化防止
・カイコ等の昆虫、バイオマス資源の活用

物質（原子・分子）

材料・デバイス

サービス

極限機能を有するマテリアル

マルチマテリアル化技術

「モビリティ革命の加速」

省エネ・環境低負荷の促進

- ・輸送機器の軽量化によるCO₂排出量削減や燃費向上 (無給油移動の超長距離化)
- ・耐熱性向上によるエンジンの超高効率化

豊かな生活

- ・SMACTIVE材料による安心して暮らせる社会

「誰もが健康で安心と快適さと幸せを実感できるWell-Being社会の実現」

製造プロセス・プロセス材料の革新

マルチマテリアル化技術

- ・設計技術
- ・軽量化技術
- ・易加工性技術
- ・耐食性・剛性・熱歪評価
- ・信頼性評価・分析技術

軽量・高強度材料

- ・タフポリマー、鉄鋼材料など

刺激応答材料

コンビナトリアル化技術

- ・大量合成・製造、大量試験・評価など

温度変化で応答する調光材料

コンポジット材料

- ・CFRP、CMC、CNF、ガラス繊維強化ゲルなど

自己修復材料

- ・セラミックス、高分子

調温・調湿材料

スマート建材

3D積層技術

光応答材料

- ・光自己修復、光粘着性、光易解離、フォトクロミックなど

異種材料接着・接合技術

形状記憶建材

社会インフラメンテナンスコスト半減
・自己修復材料によるメンテナンスフリー化
・刺激応答発光性材料による劣化部分の可視化

界面評価・モデル化

氷雪や粘性液体の付着低減技術

溶接技術

オペランド計測評価分析技術

低摩擦・低摩耗

自在接着剤

超耐熱材料

トポロジー最適化

階層性構築制御

トライボロジー
・摩擦、摩耗、潤滑など

超低摩擦・低摩耗材料

「世界一安全なレジリエンス国家の実現」

化学結合自在制御

- ・材料合成と分解の完全制御

力学機能制御

- ・自己修復、破壊、劣化、接着、接合、剥離など

新規力学機能材料

- ・発光性メカノクロミズム、有機超弾性など

多元素・複合物質設計

- ・ハイエントロピー材料

元素の新機能創出

余寿命予測

極限環境（宇宙、深海）における
長期間の動作寿命・信頼性確保

表面・界面・粒界制御

マルチスケール・マルチフィジクス
シミュレーション

極限環境構造材料

- ・耐放射線材料、耐高圧材料

物質空間・結晶性制御

反応制御

劣化評価

物質と機能の設計・制御

物質（原子・分子）

材料・デバイス

サービス

マテリアルがバリューを生み出す社会実装領域

極限機能を有するマテリアル化技術

物質と機能の設計制御