

# 「マテリアル革新力」に関する 参考データ

---

令和2年4月

# マテリアルの重要性

---

# 重要性①～重要技術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、環境戦略等において、マテリアルの革新が必要となる取組が多数掲げられている。マテリアルに係る技術課題は、いずれも**チャレンジングな課題**であるにもかかわらず、**推進方策が明確でない**場合が多い。

## 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～重要技術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CO<sub>2</sub>の原燃料化など

⑲ 低コストメタネーション（CO<sub>2</sub>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

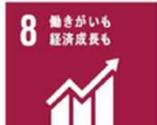
13. 最先端のバイオ技術等を活用した資源利用及び農地・森林・海洋へのCO<sub>2</sub>吸収・固定

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。

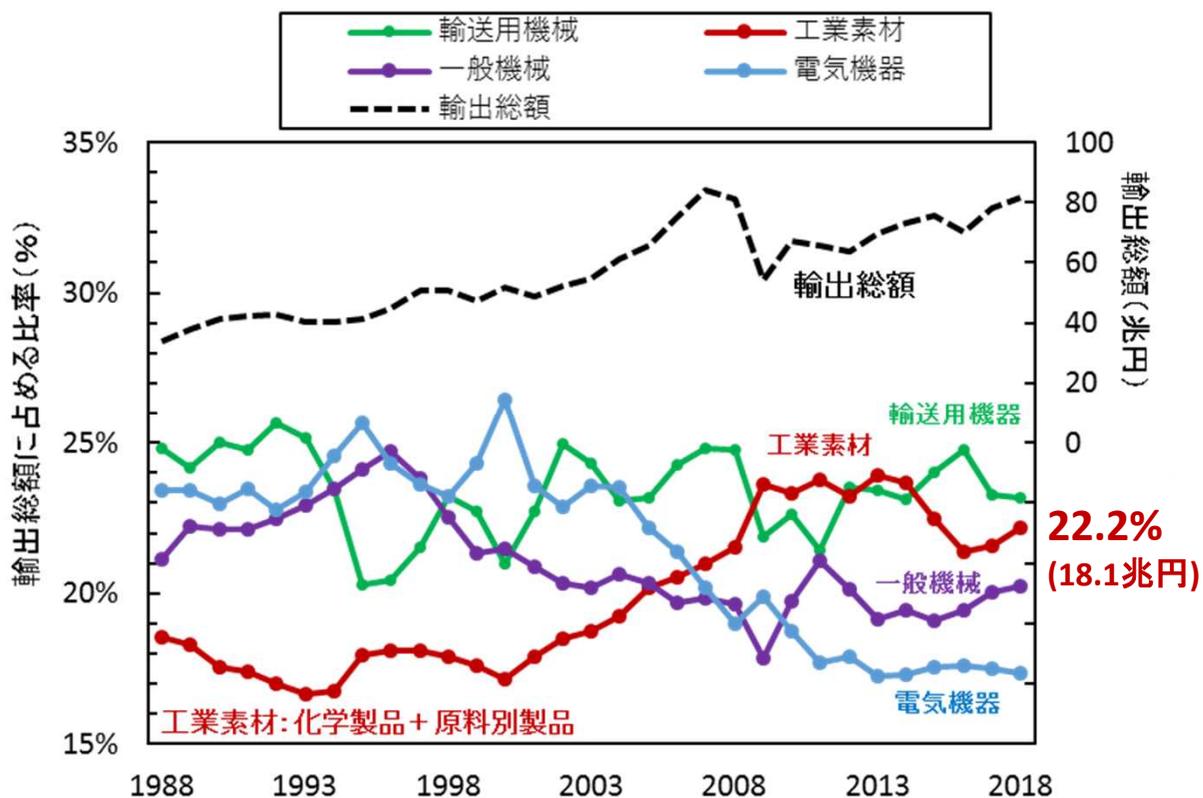
<p>貧困の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>衣: 合成繊維 (ナイロン、ポリエステル、など)</li> <li>食: 脱脂粉乳、人工甘味料、など</li> <li>住: 合板 (ベニヤ、木質ボード)</li> </ul>	<p>製造消費</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>大量生産: オートメーション、ロボット</li> <li>消費: 迅速な大量輸送 (道路、輸送機器)</li> </ul>
<p>飢餓の撲滅</p> 	<ul style="list-style-type: none">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

【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



【出典】財務省「貿易統計（概況品）」を基に文部科学省作成

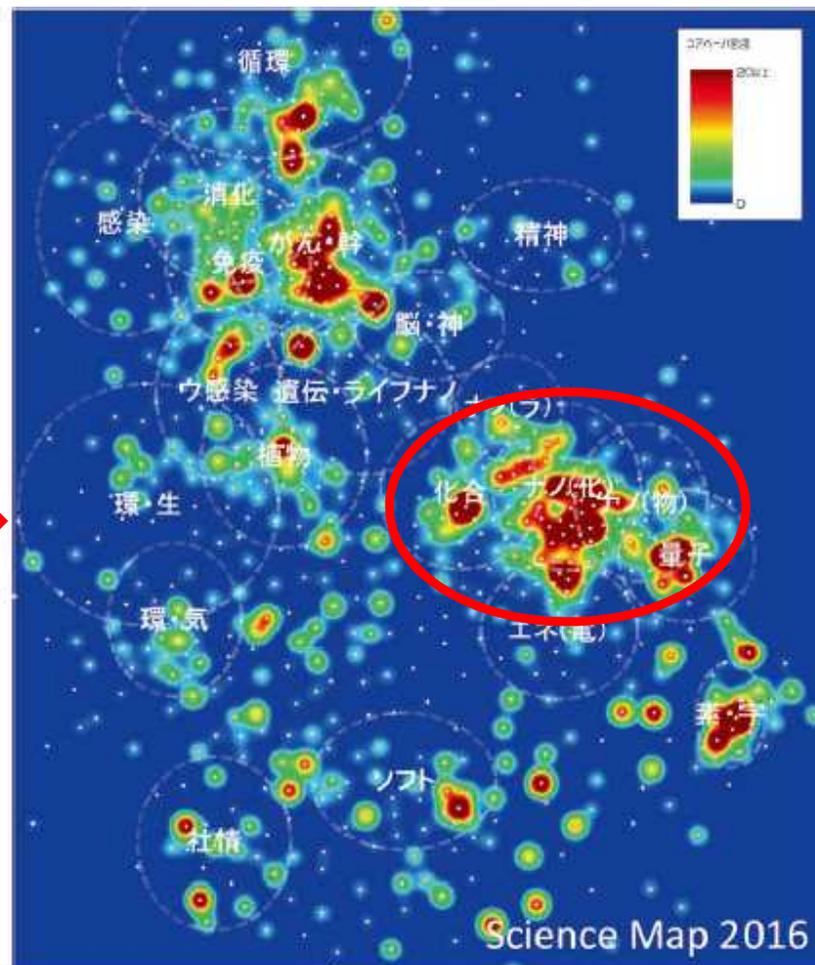
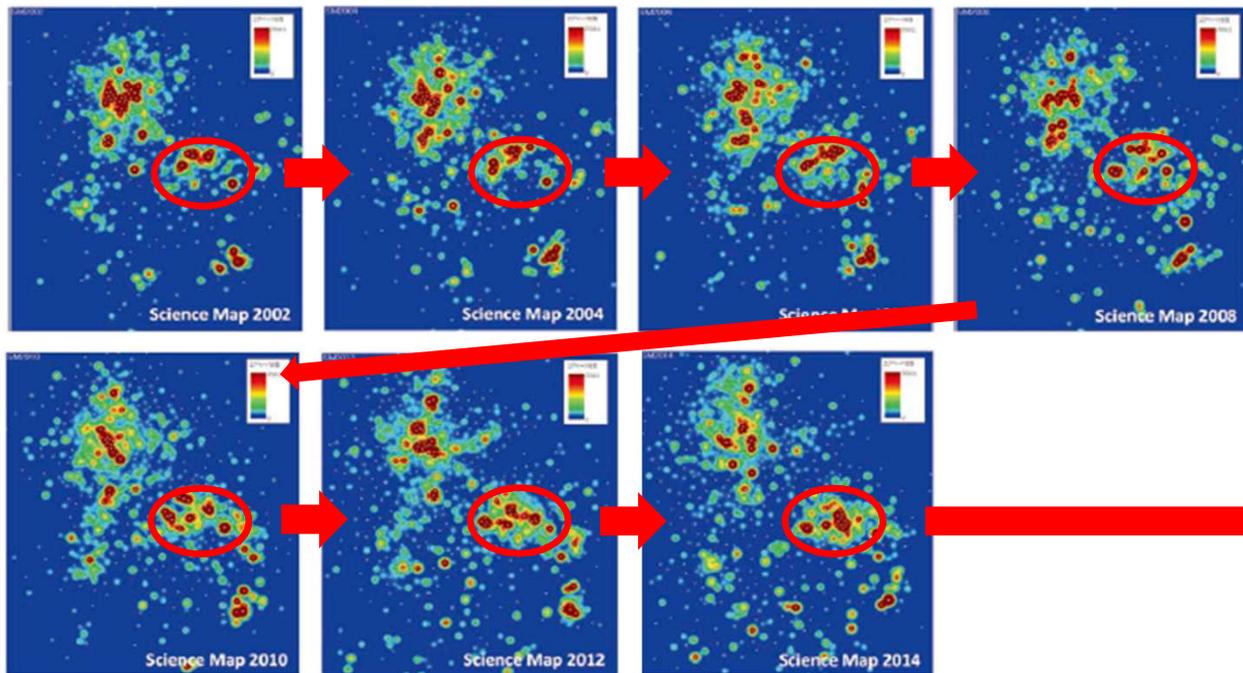
輸出上位10品目の推移

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】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」

# 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"> <li>◆ 「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）</li> <li>◆ 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<b>データ駆動型材料開発「Materials Genome Initiative」を世界に先駆けて開始</b></li> <li>◆ 2018年、中国の半導体等の巨額投資へ対抗するため、DARPAが<b>「Electronics Resurgence Initiative（電子技術復活イニシアティブ）」を開始</b>。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</li> <li>◆ <b>希少鉱物に関する2017年12月の大統領令「Critical Minerals Executive Order」発令</b>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</li> </ul>
	EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「Horizon 2020（2014-2020）」の<b>「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</b>。「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</li> <li>◆ 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</li> </ul>
	独	◆ 2018年発表の「ハイテク戦略2025（2018-2021）」において、 <b>「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</b>
	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 <b>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</b>
	仏	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 2015年発表の「SNR France Europe 2020」において、社会的課題に対する<b>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</b></li> <li>◆ 2019年3月に<b>「Nano2022プログラム」を開始</b>。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<b>半導体の研究開発と実用化を強化</b></li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「国家中長期科学技術発展計画綱要（2006-2020）」において、<b>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</b>。「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<b>「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</b></li> <li>◆ 2015年発表の<b>「中国製造2025（Made in China 2025）」</b>では、2049年（建国100周年）までに<b>「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</b>。まずは<b>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</b></li> <li>◆ 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<b>ハードウェアのシリコンバレー</b>を築き、次の覇権獲得を狙う動き</li> </ul>	
韓国	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「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</li> <li>◆ 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</li> <li>◆ 2019年9月に、<b>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</b></li> </ul>	

## <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

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」  
 情報科学省が、材料ゲノムを推進する。材料ゲノムとは、材料の原子レベルの構造や組成をデータベース化し、コンピュータシミュレーションでその物性を予測する手法だ。米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。材料ゲノム研究は、材料の原子レベルの構造や組成をデータベース化し、コンピュータシミュレーションでその物性を予測する手法だ。米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。

## 人工知能を駆使 開発速度2倍に

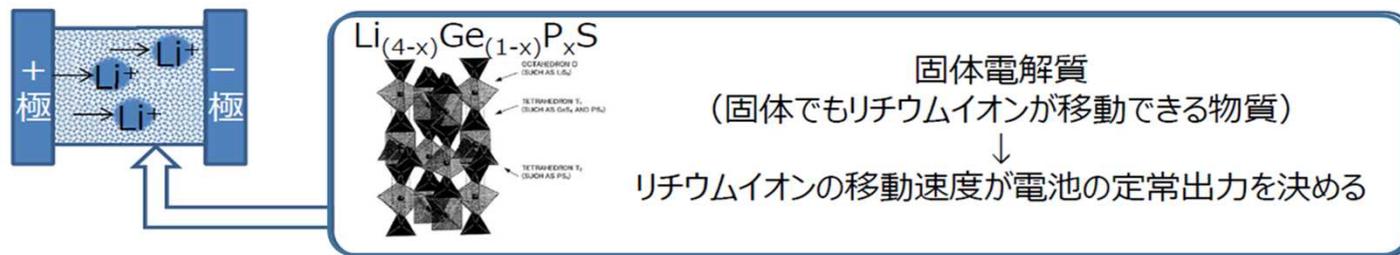


米、材料ゲノム「の衝撃」  
 米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。材料ゲノム研究は、材料の原子レベルの構造や組成をデータベース化し、コンピュータシミュレーションでその物性を予測する手法だ。米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。

## 実験せず知財化も 日本勢に危機感

米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。材料ゲノム研究は、材料の原子レベルの構造や組成をデータベース化し、コンピュータシミュレーションでその物性を予測する手法だ。米政府は、2011年に「Material Genome Initiative」を立ち上げ、材料ゲノム研究を推進している。日本は、2012年に「材料ゲノム」を推進する。

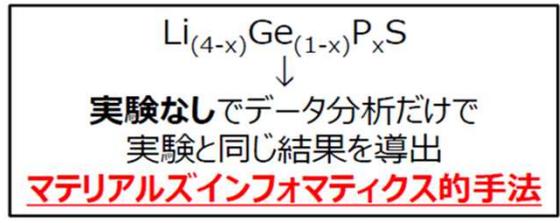
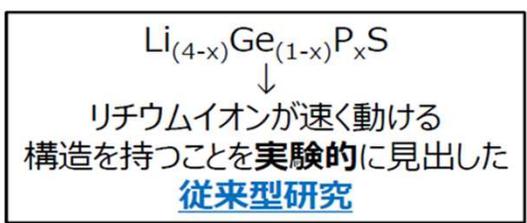
- ✓ 米国では、2012年に「Material Genome Initiative」の研究者が中心となり、日本が発表した電池材料の論文情報に基づき、コンピュータシミュレーションを実施
- ✓ その結果、日本のA社の未公開特許（出願はA社が先）の実験データと同等の物性値を算出



## 海外では、インフォーマティクスの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



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

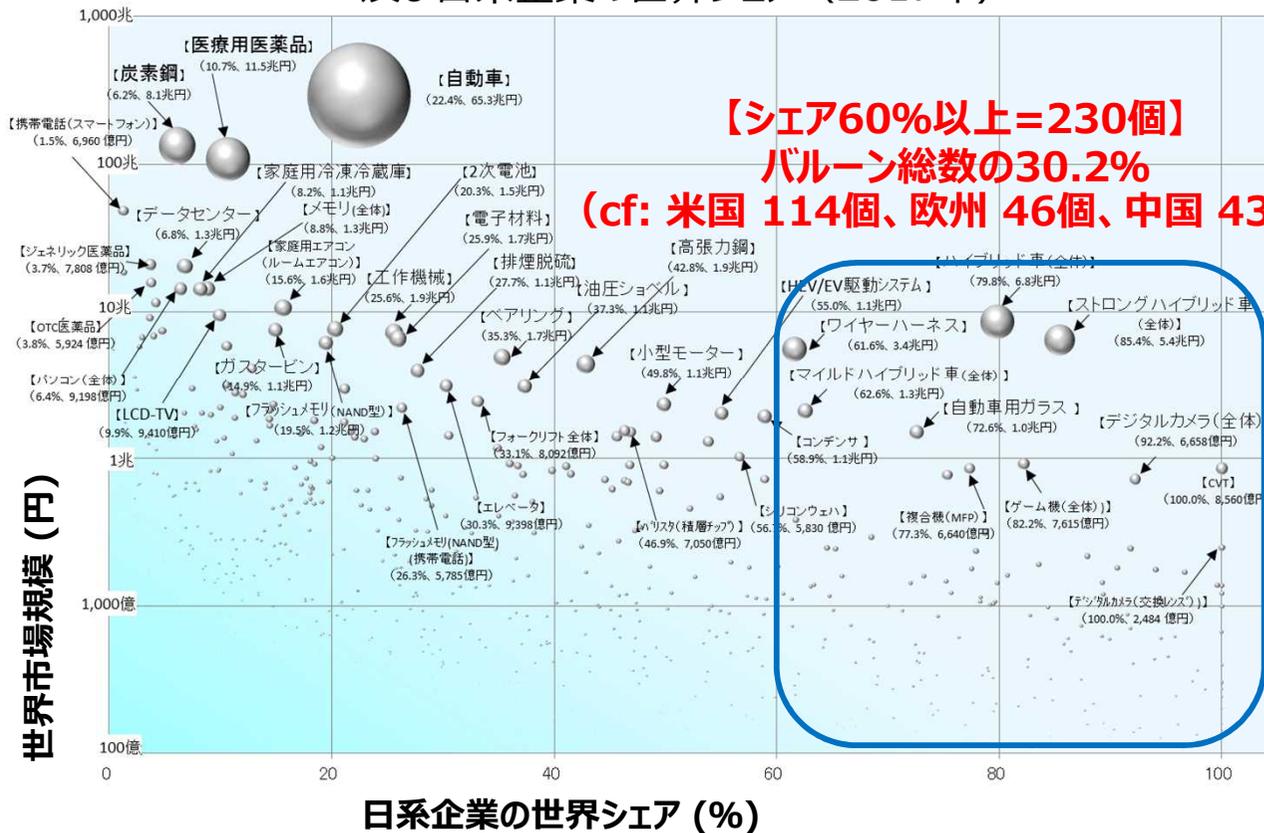
# 高いポテンシャル（産業）

---

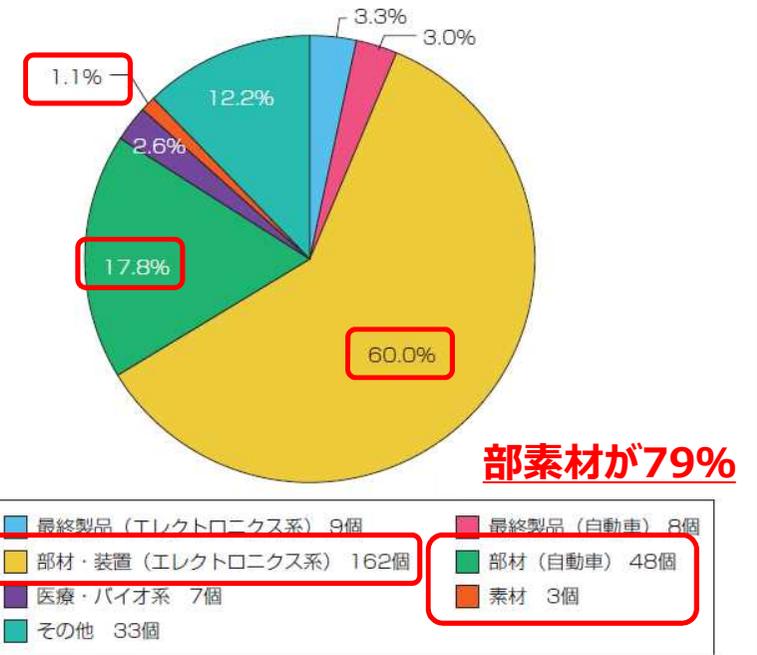
# ポテンシャル：産業①～高い世界シェアを持つ製品の多くは部素材

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



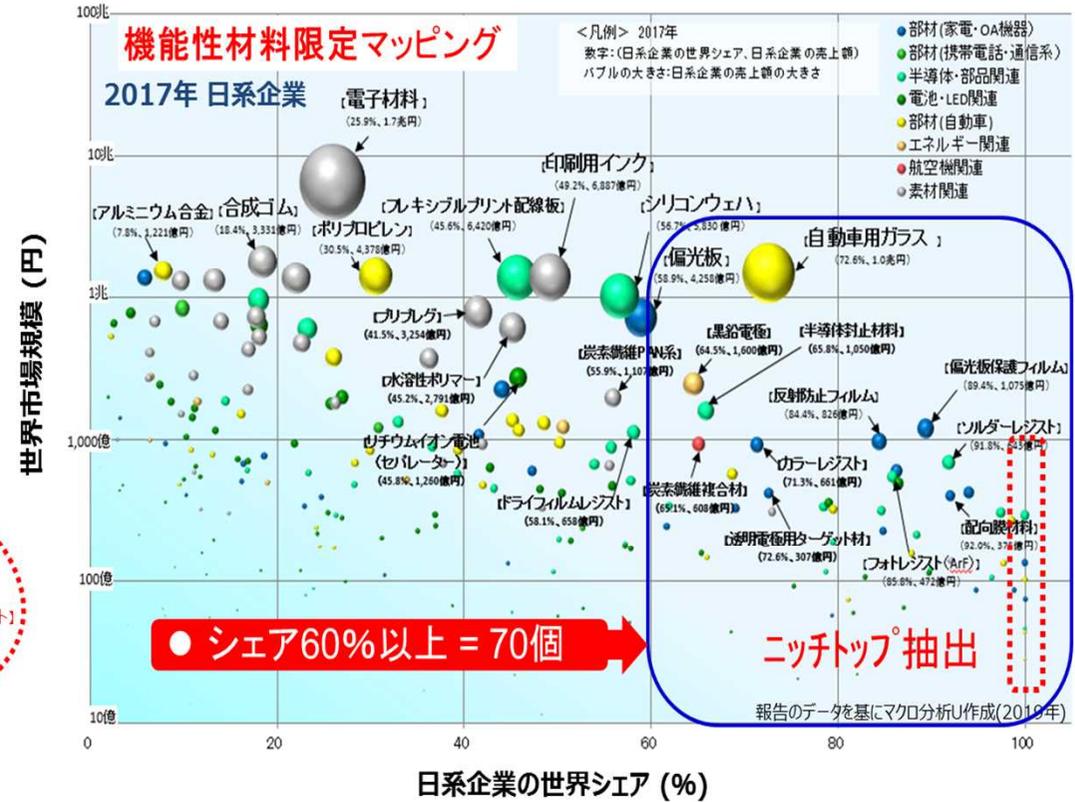
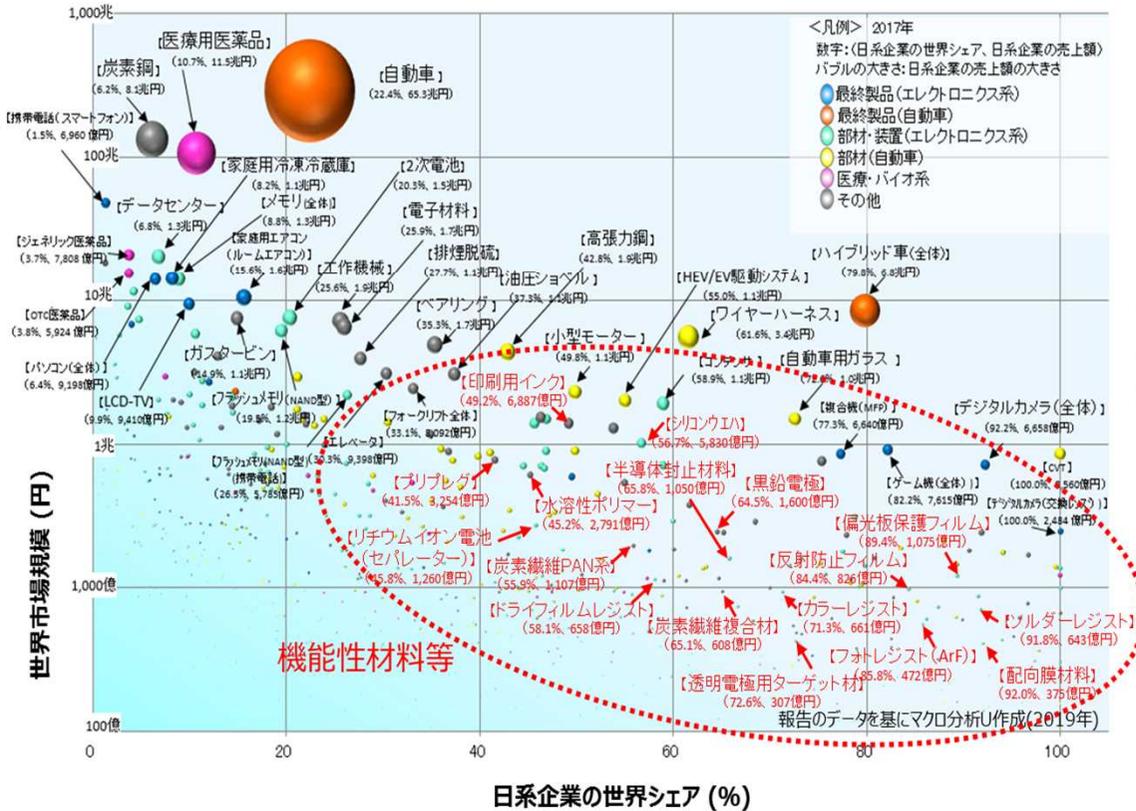
【出典】「2019年版ものづくり白書」及び新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成29年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に文部科学省作成

# 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）

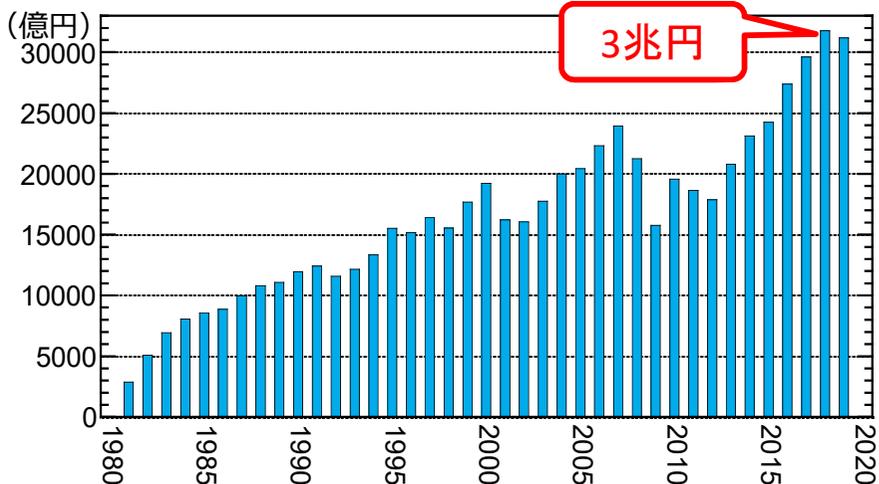


【出典】新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成30年度日系企業のモノ、サービス及びソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に経済産業省作成

# 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

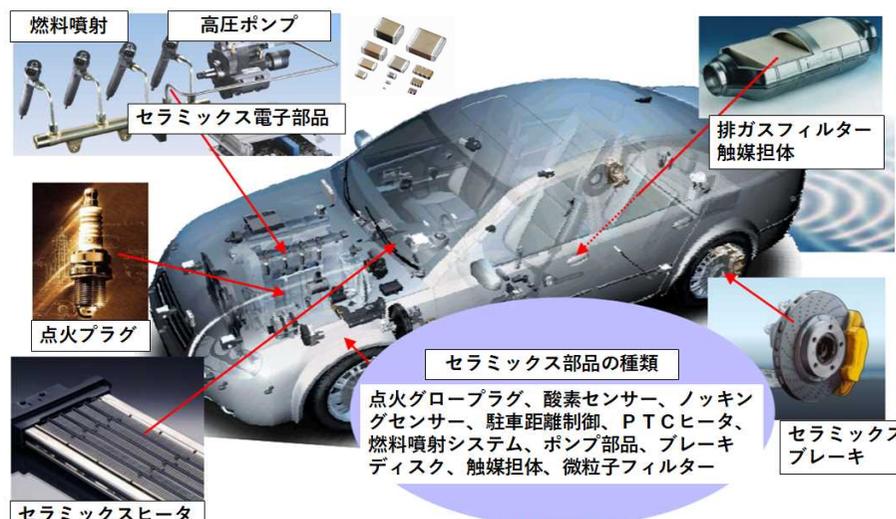
製造プロセスが複雑で模倣困難な**ファインセラミックス部材産業**は近年堅調に成長し、**2019年国内生産額は約3兆円**。  
日本のシェアは世界の約**4割**を占める。

ファインセラミックス部材の国内生産総額推移



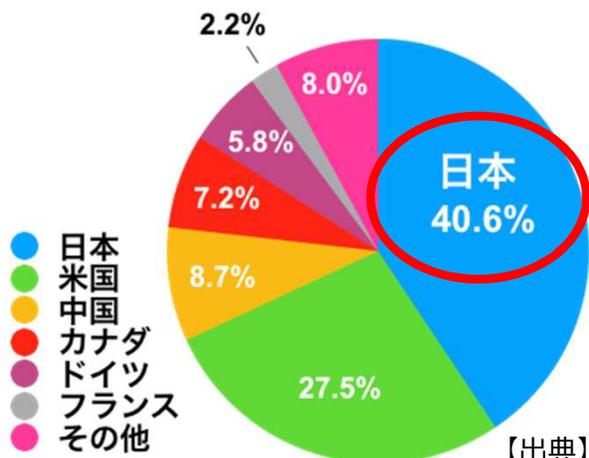
【出典】ファインセラミックス協会、産業動向調査、2019年  
作成資料を基に経済産業省作成

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。



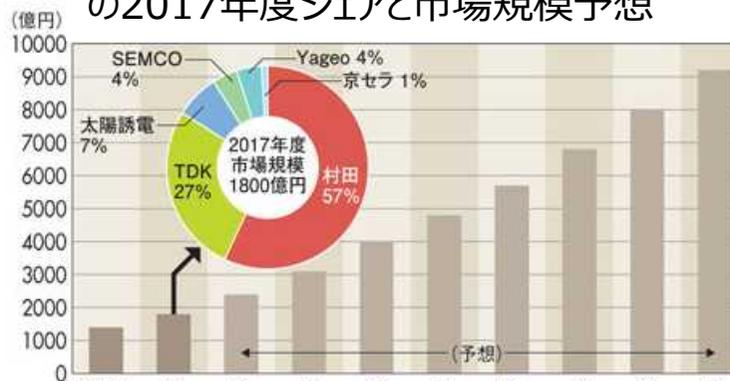
【出典】Institute for Applied Material, Ceramics in Mechanical Engineering  
作成資料を基に経済産業省作成

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

# 高いポテンシャル（基礎）

---

# 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

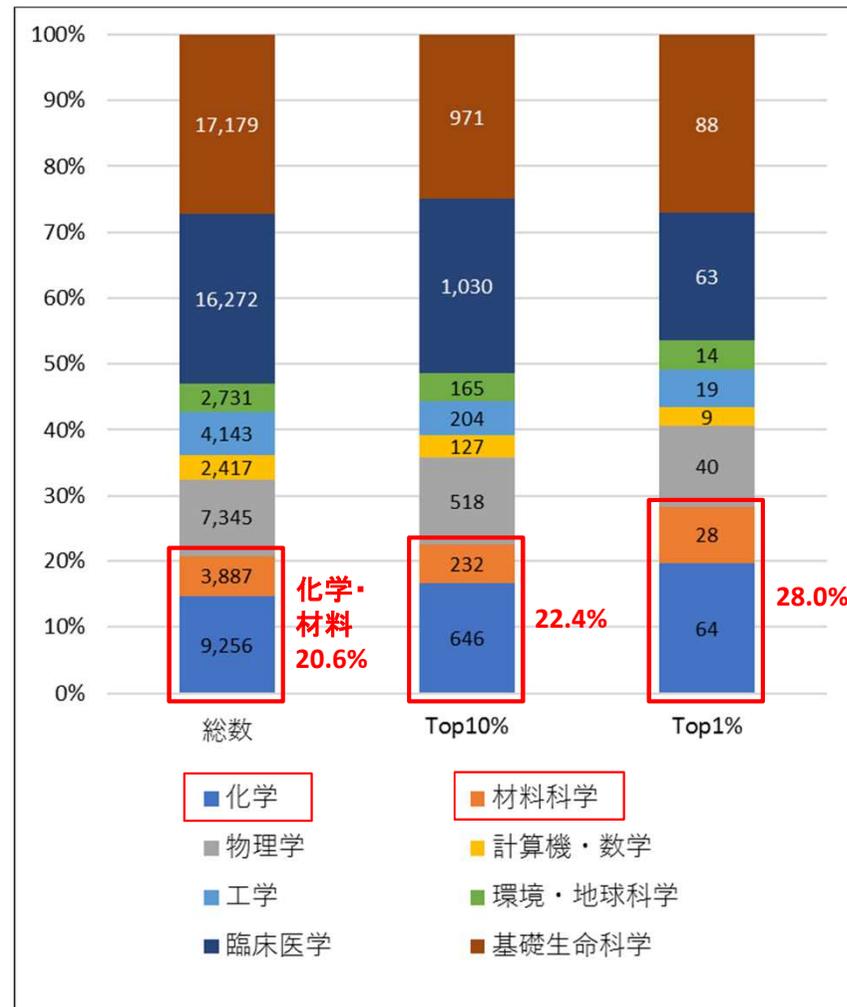
我が国において、化学・材料科学を専門とする研究者は自然科学系全体の約1割強。大学・国研に限定すると全体の約5%。他方、論文数については、化学・材料科学分野が全体の約21%を占めており、トップ1%論文だとその割合は約28%まで高くなる。つまり、化学・材料科学分野の研究者の論文生産性は、日本国内では他分野と比較して非常に高いことが示唆される。また、研究費に対する論文生産性も高いことも推察される。

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ク2019」

研究費総額に占める特定目的別研究費の割合（2016）

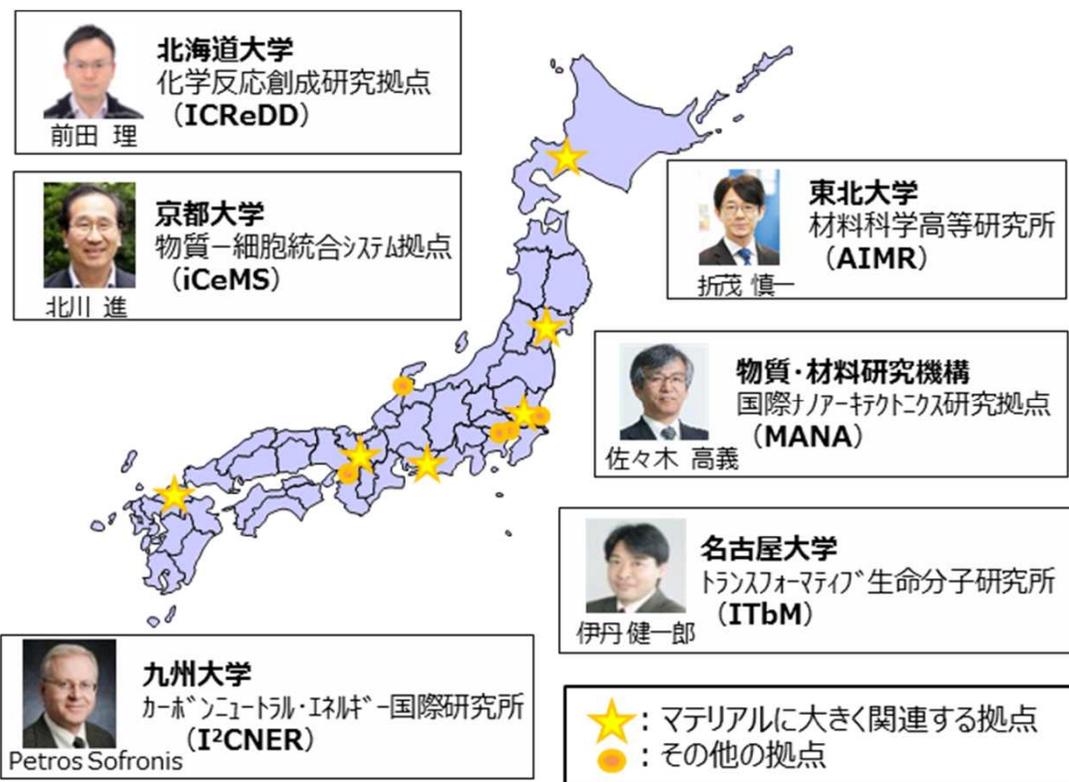


【出典】文部科学省「科学技術要覧」

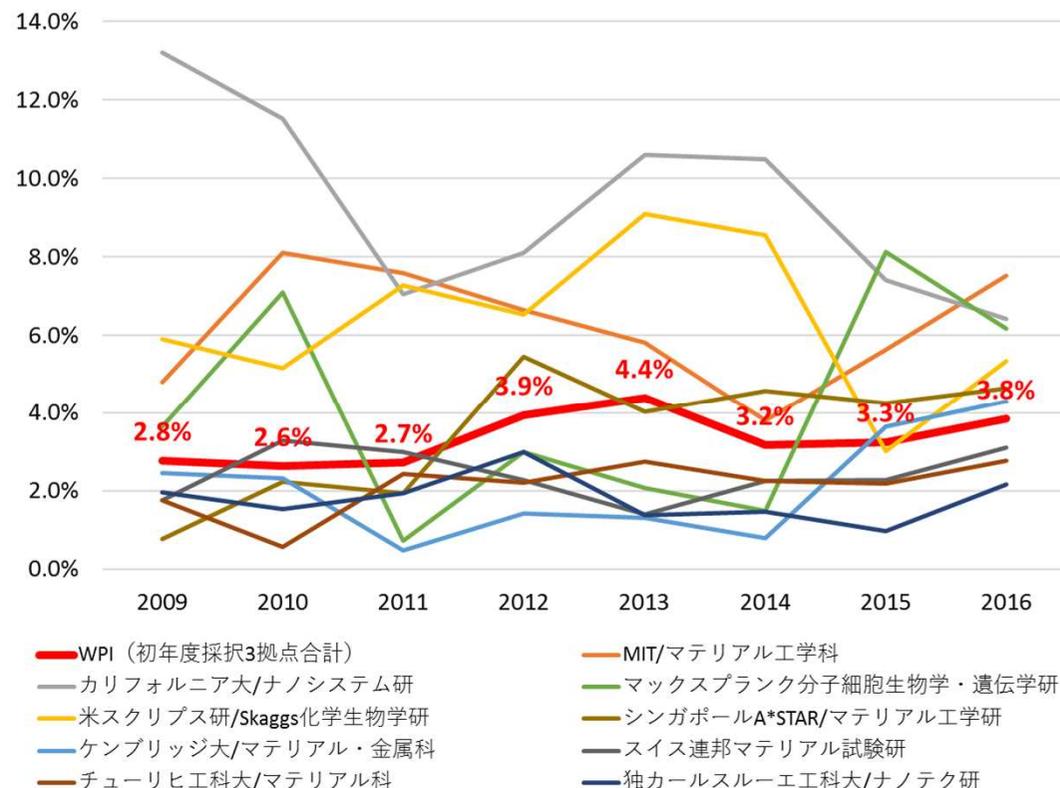
# ポテンシャル：基礎②～世界と戦える研究拠点が存在

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。初年度採択拠点を見ると、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

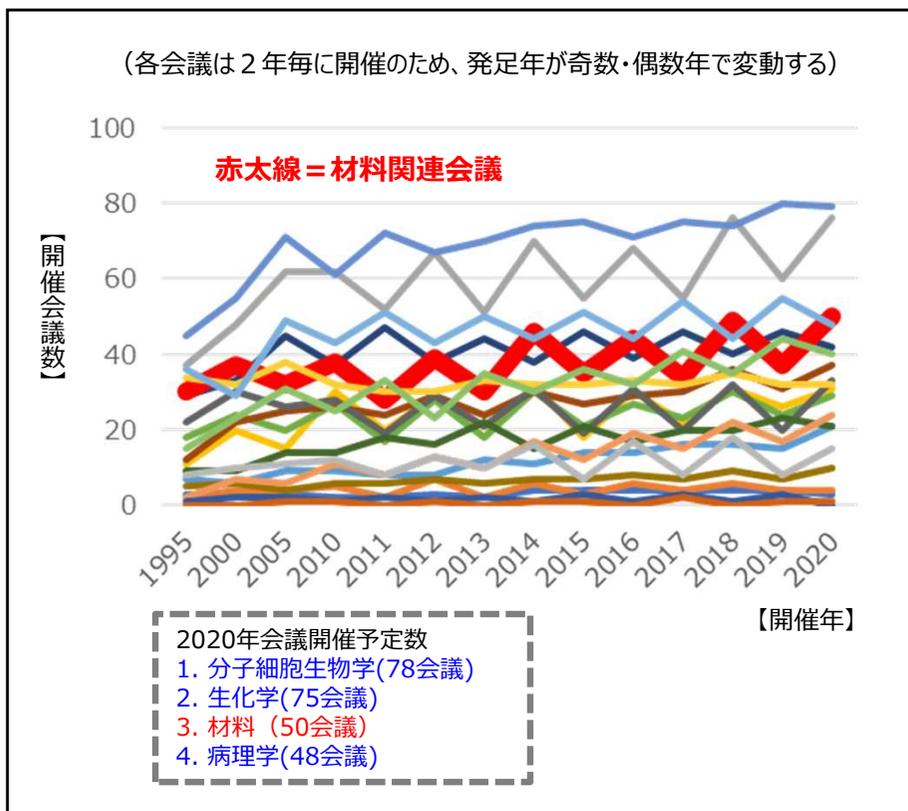
# ポテンシャル：基礎③～国際会議で日本の研究者は存在感を有する

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。

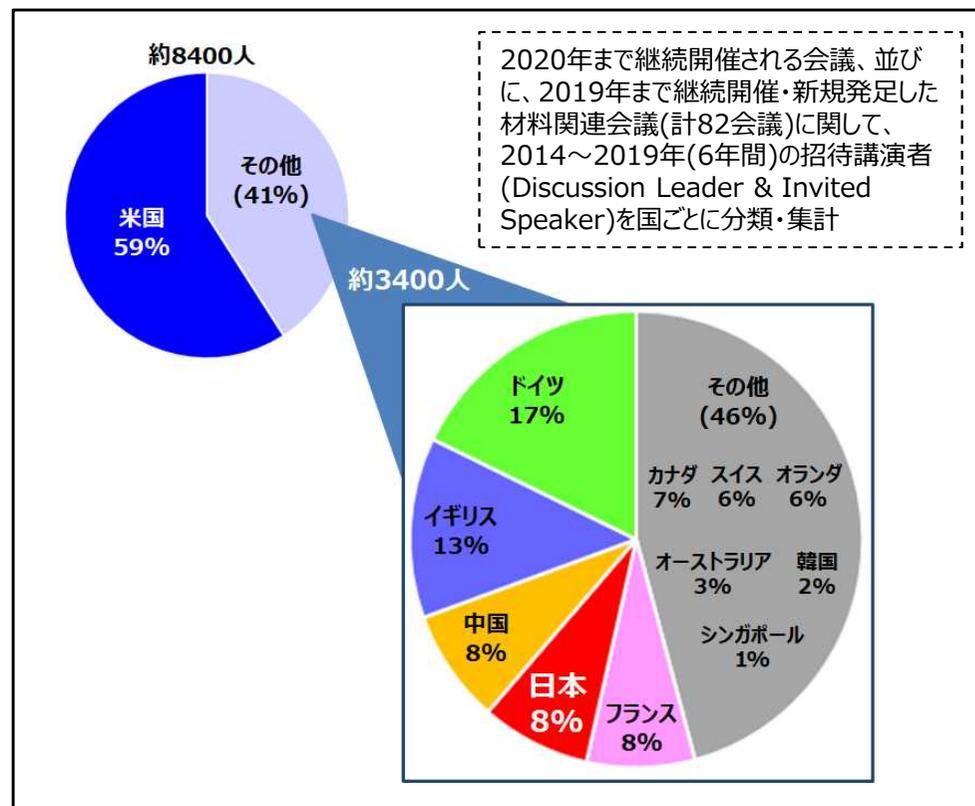
GRC (Gordon Research Conference)

：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



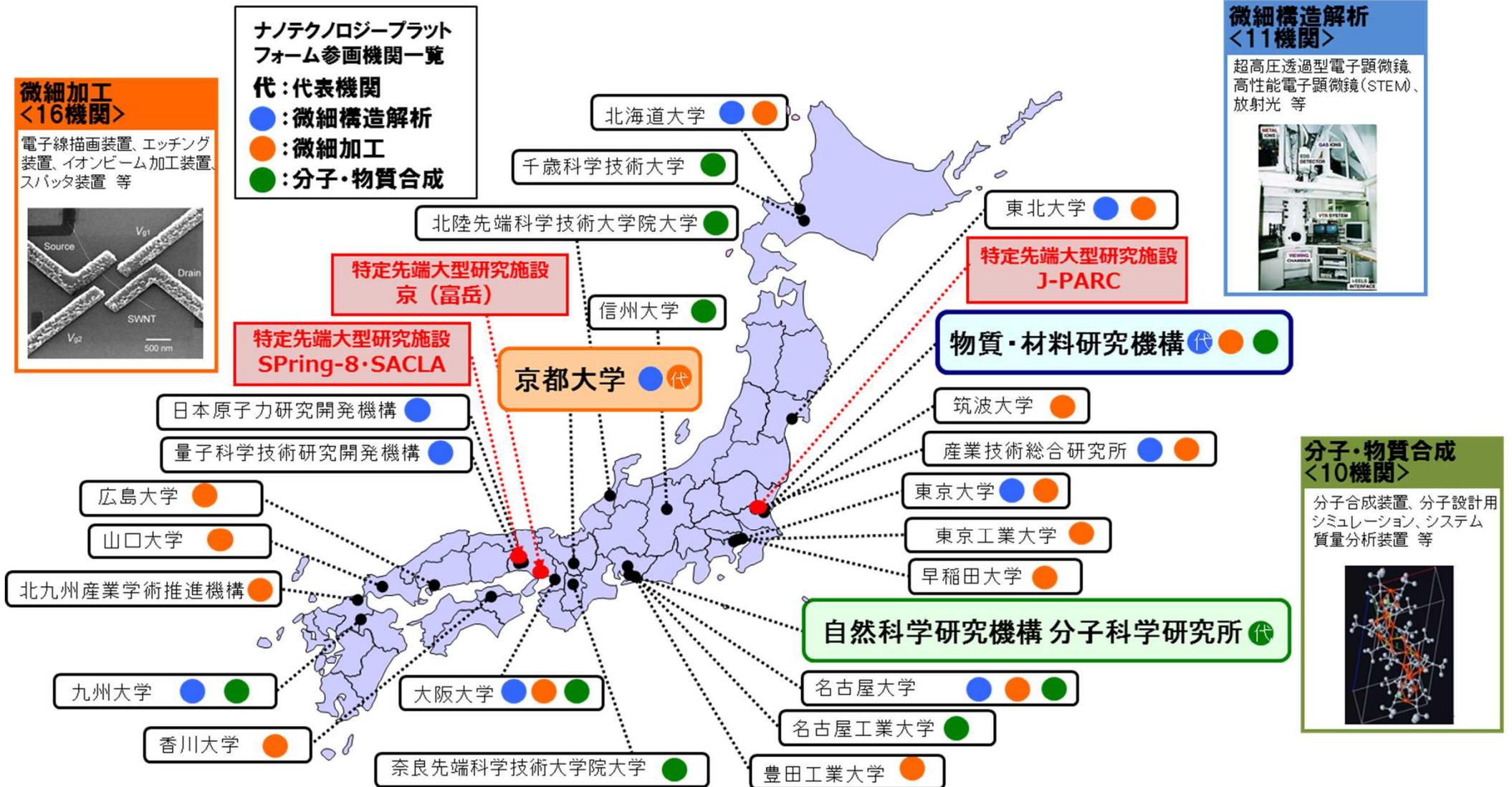
材料関連会議の各国招待講演者



【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

Kakusan  
Diffusion Database

SuperCon

CompES-X

## 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



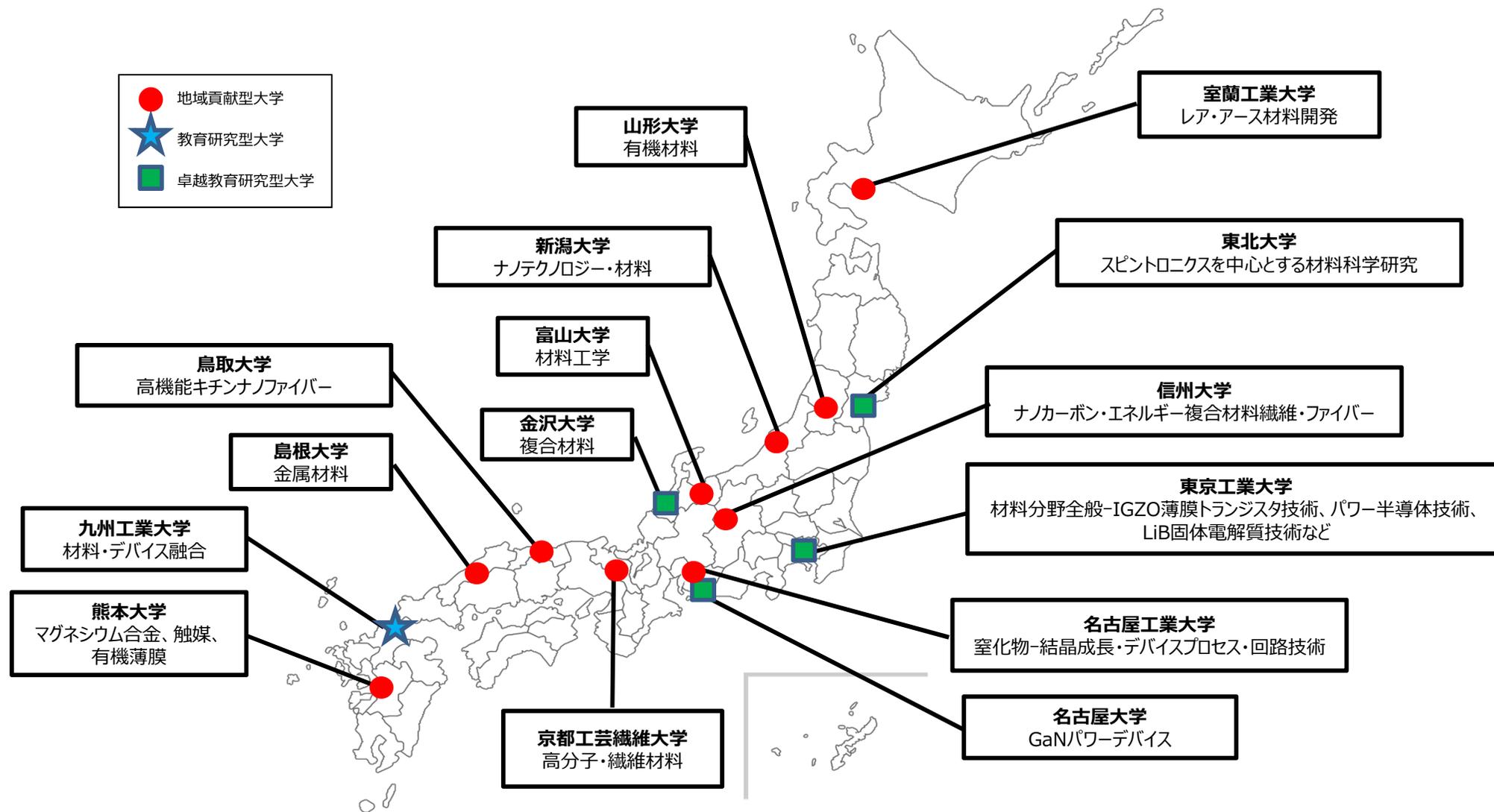
500種以上の鉄鋼材料の  
機械的性質、クリープ、疲  
労:82,700以上



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

# 高いポテンシャル（融合）

---

# 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（TiO<sub>2</sub>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**

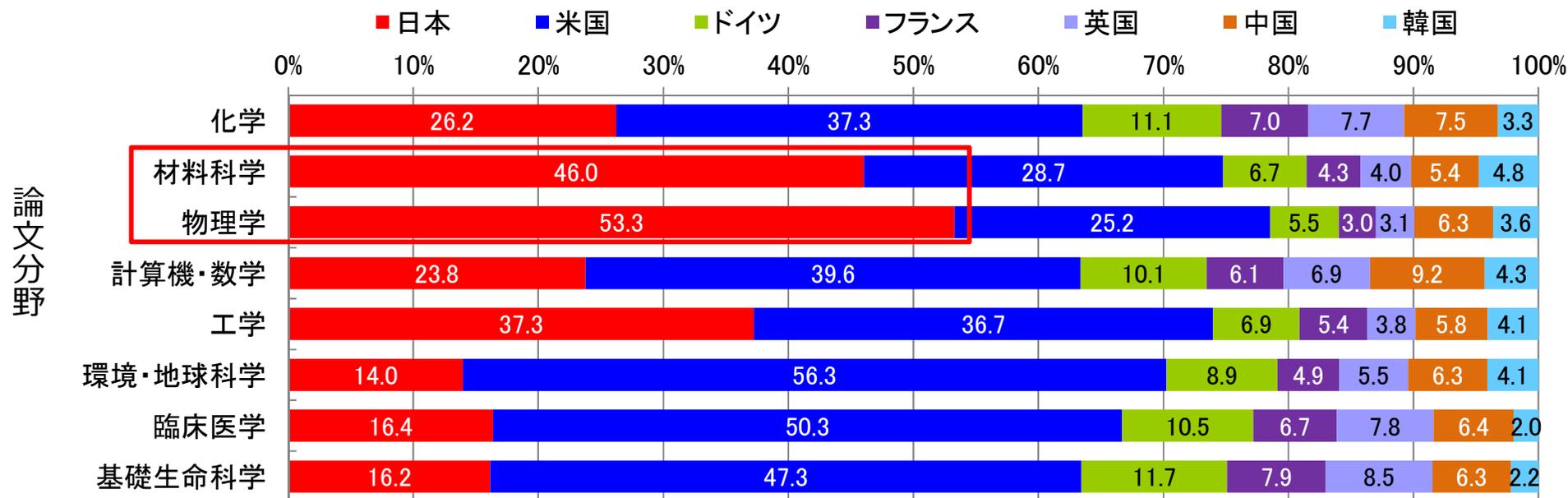
## 酸化物材料

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

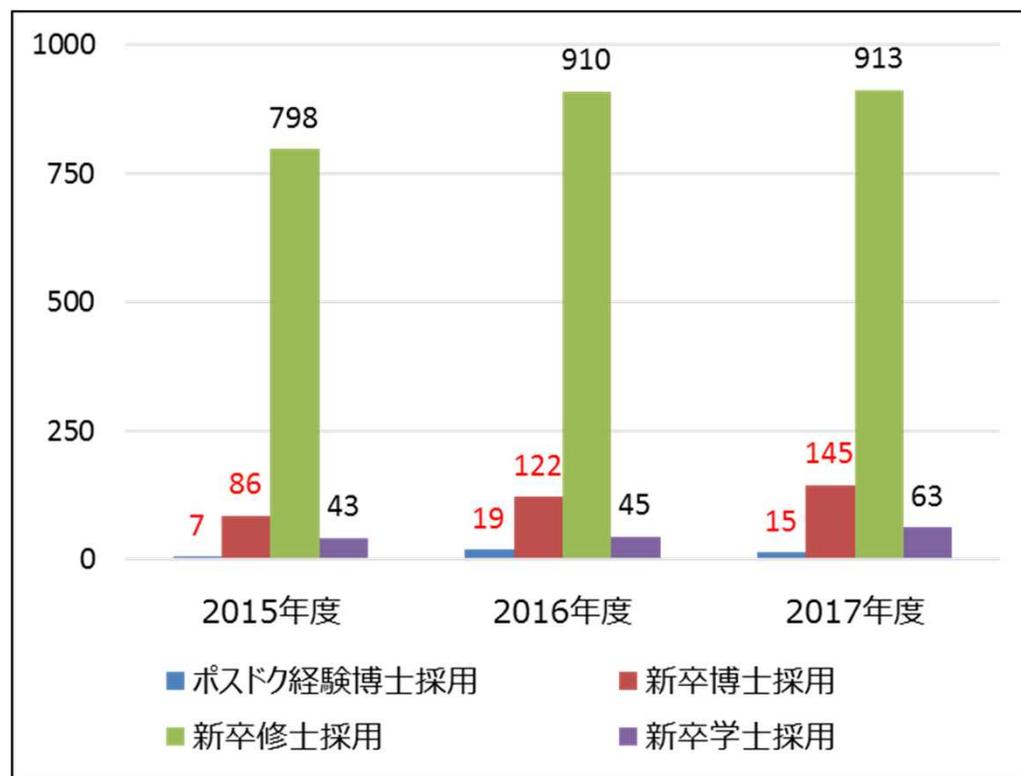
・欧州特許庁のPATSTAT(2018年秋バージョン)、クラリベイト・アナリティクスWeb of Science XML(SCIE, 2018年末バージョン)クラリベイト・アナリティクスDerwent Innovation Index(2019年2月抽出)を基に、科学技術・学術政策研究所が集計。

【出典】科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2019」

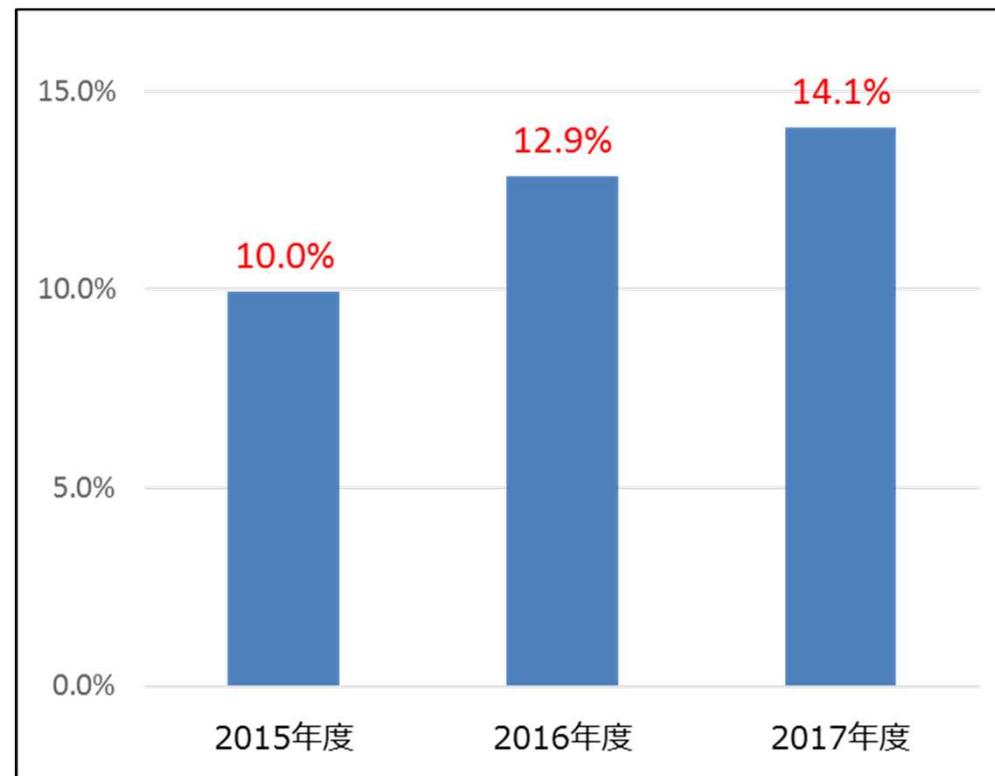
# 補足資料（化学系企業の博士採用の推移）

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（産業）

---

# 危機感：産業①～一部材料製品でシェアが低下

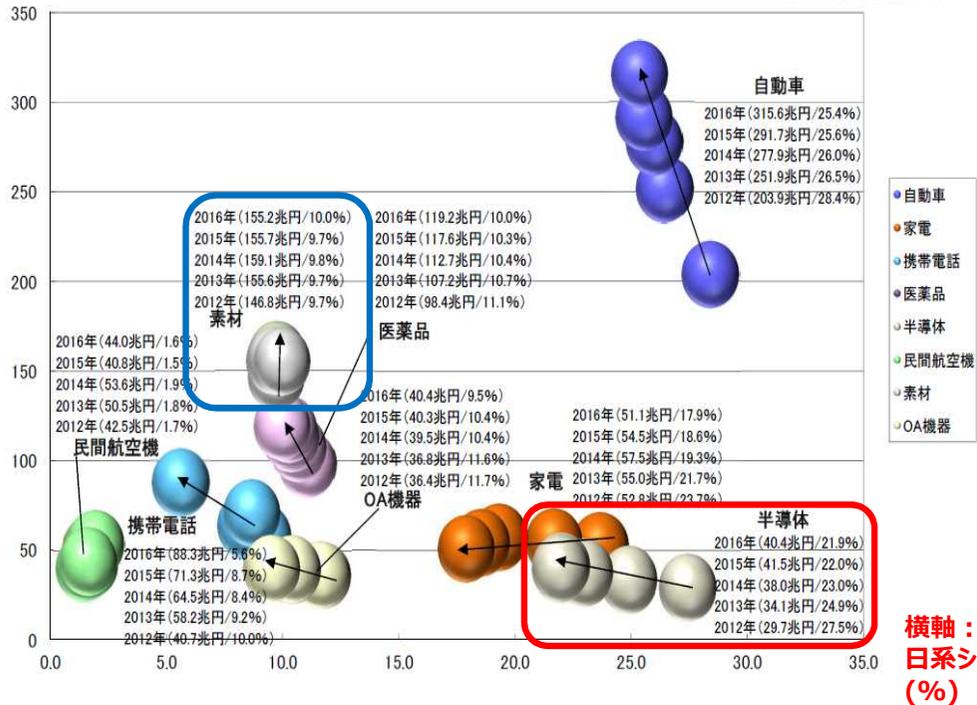
近年、素材産業では世界の市場シェアを維持している一方、半導体や電池といった、モジュラー型（組み合わせ型）に移行した製品等については、市場シェアを徐々に下げている状況にある。

## 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)

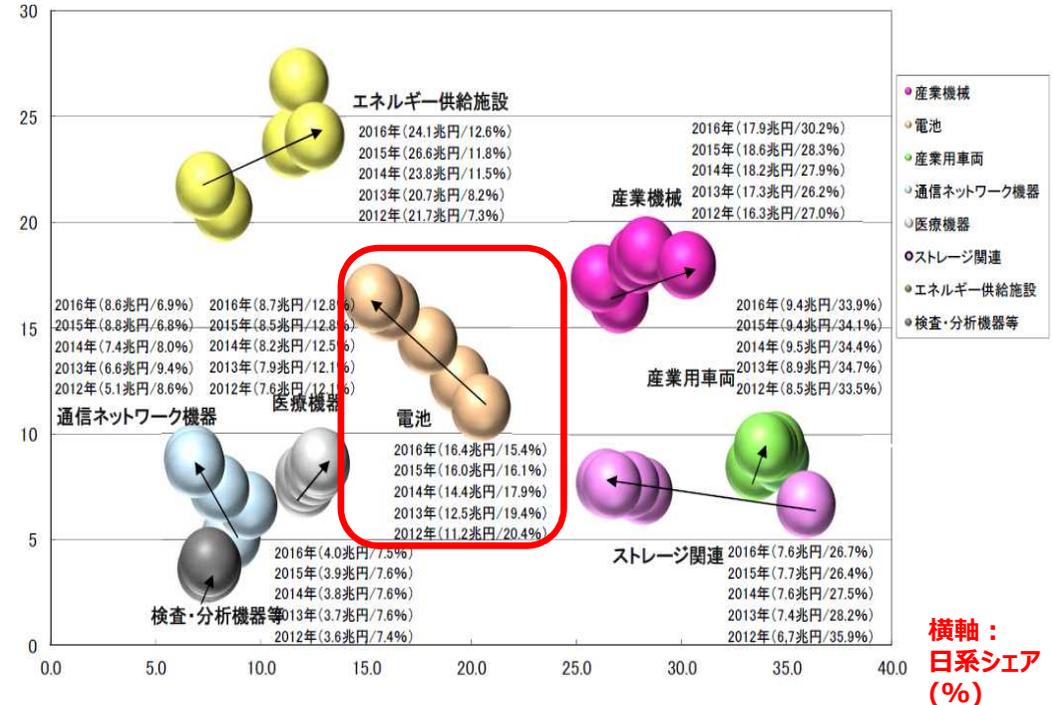
凡例：年(世界市場規模/日系シェア)



【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)



【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)

# 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。

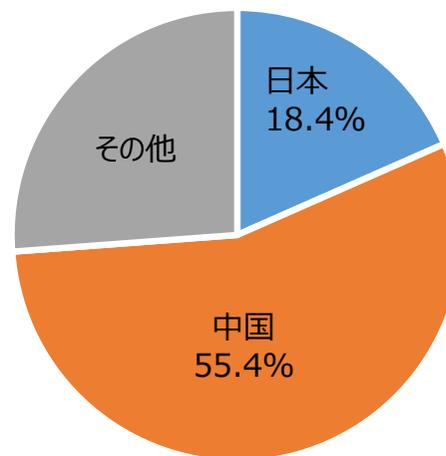
ネオジム磁石の世界シェア（2018年、2019年）

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

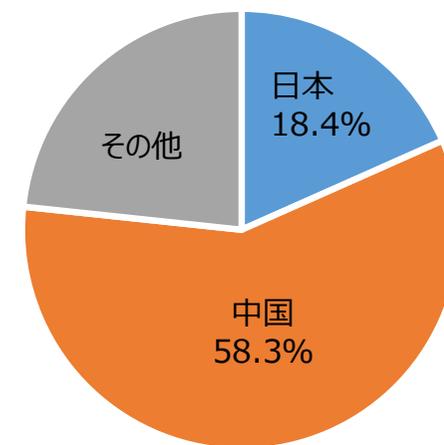
\* オレンジ背景は中国企業、青背景は日本企業、灰色背景はその他

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

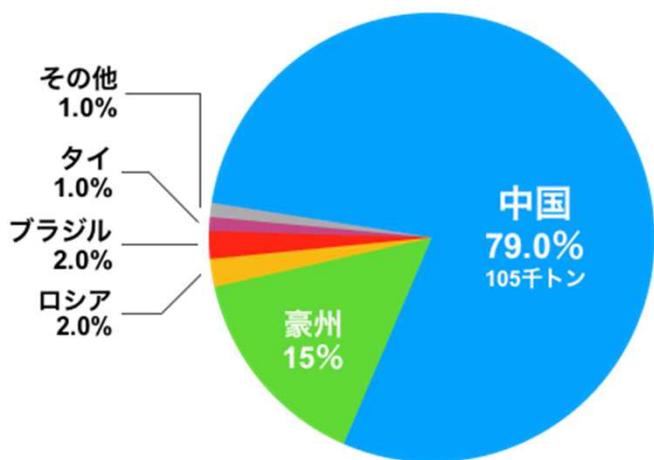
# 危機感：産業②～マテリアルの原料供給リスク増大の懸念

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】

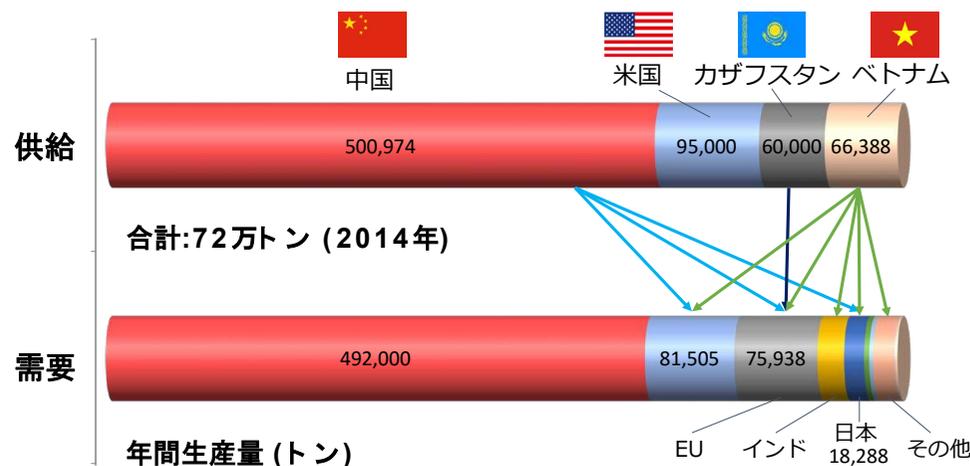
単位 1000元/トン 中国黄リン価格の経年変化



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）

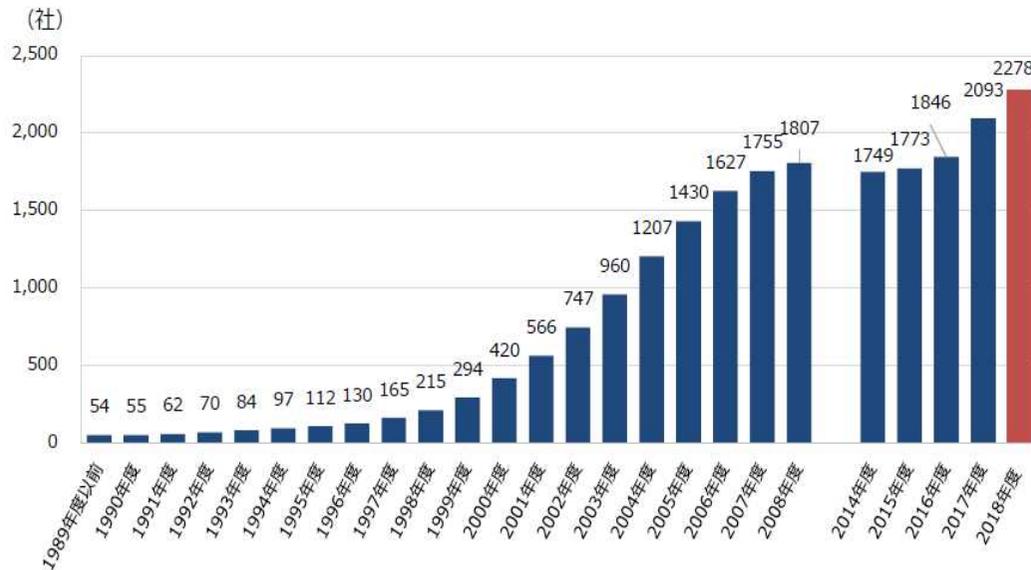


供給量全体の85%を占める米国・中国がリンを戦略物資として囲い込んでおり、我が国はベトナム1国に事実上依存している状況

# 危機感：産業③～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。

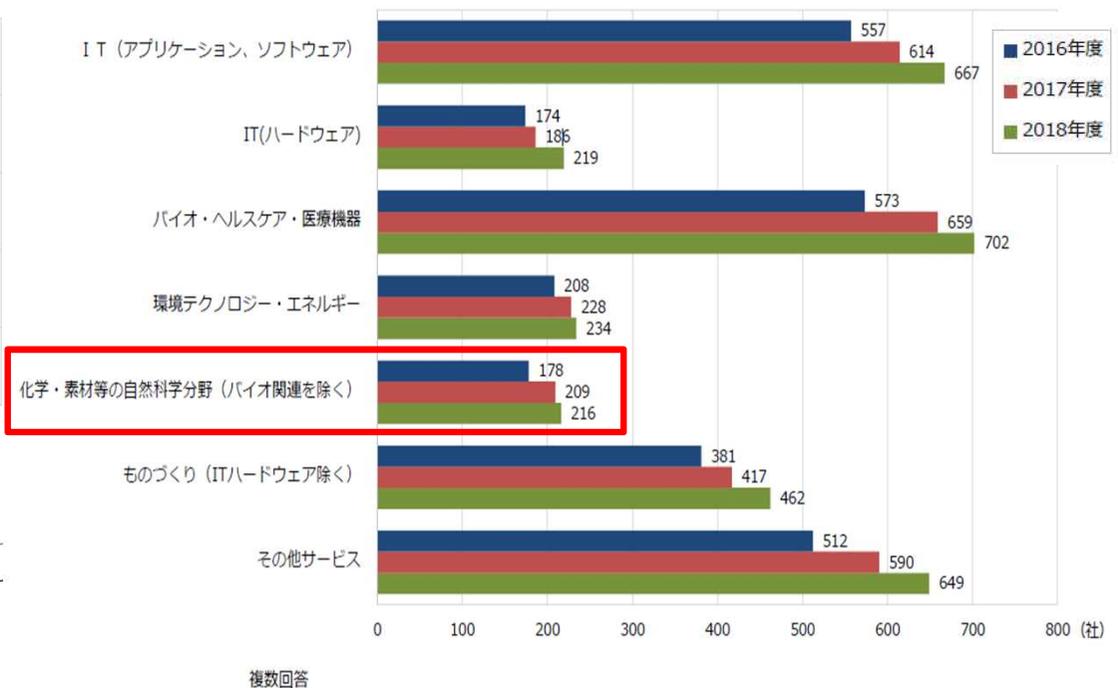
### 大学発ベンチャー数の推移



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」

# 危機への直面（基礎）

---

# 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	

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	

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	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	

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	

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

# 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%
<b>合計</b>	<b>67,026</b>	<b>63,725</b>	<b>-5%</b>

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%
<b>合計</b>	<b>4,506</b>	<b>3,927</b>	<b>-13%</b>

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%
<b>合計</b>	<b>355</b>	<b>328</b>	<b>-7%</b>

※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。

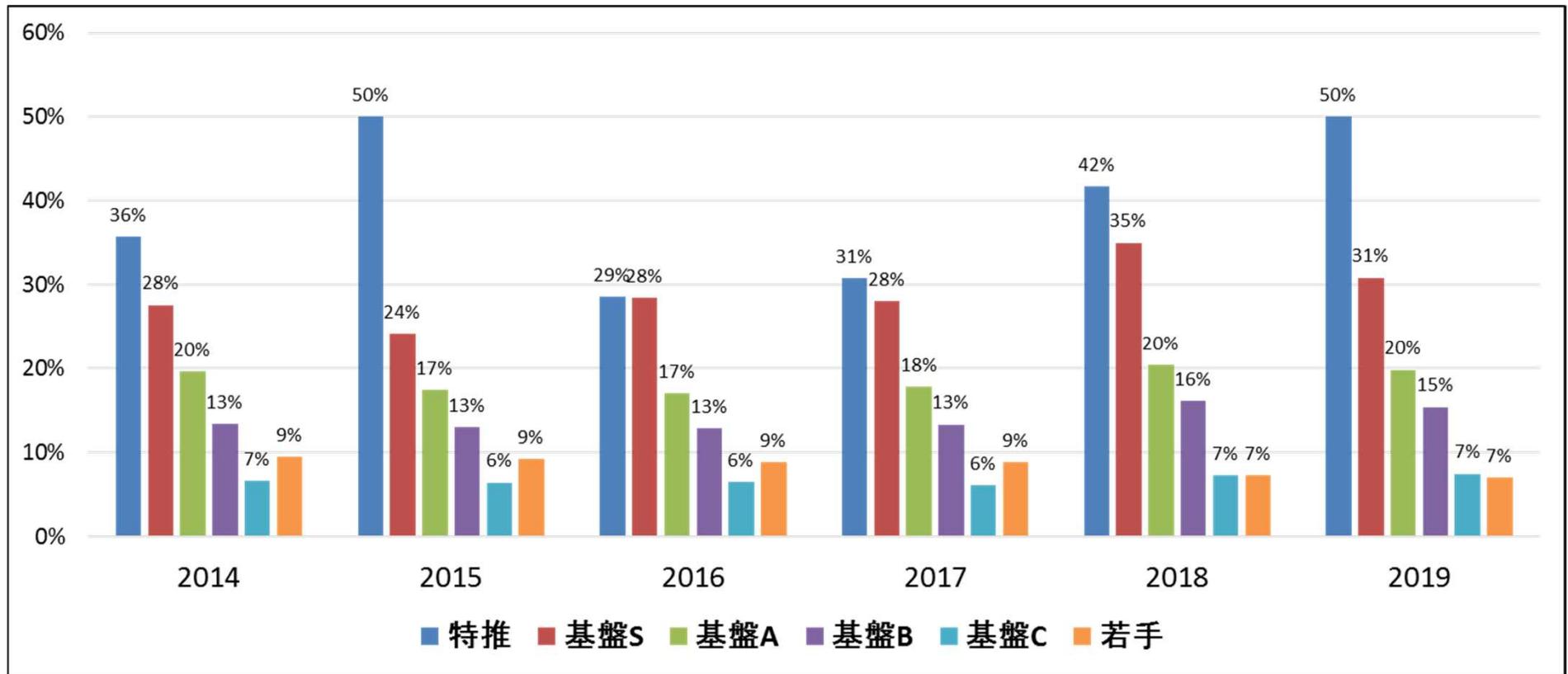
## 【海外（中国）の動向について（意見は大学教員又は国研研究者）】

- 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線タイコグラフィ」、「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

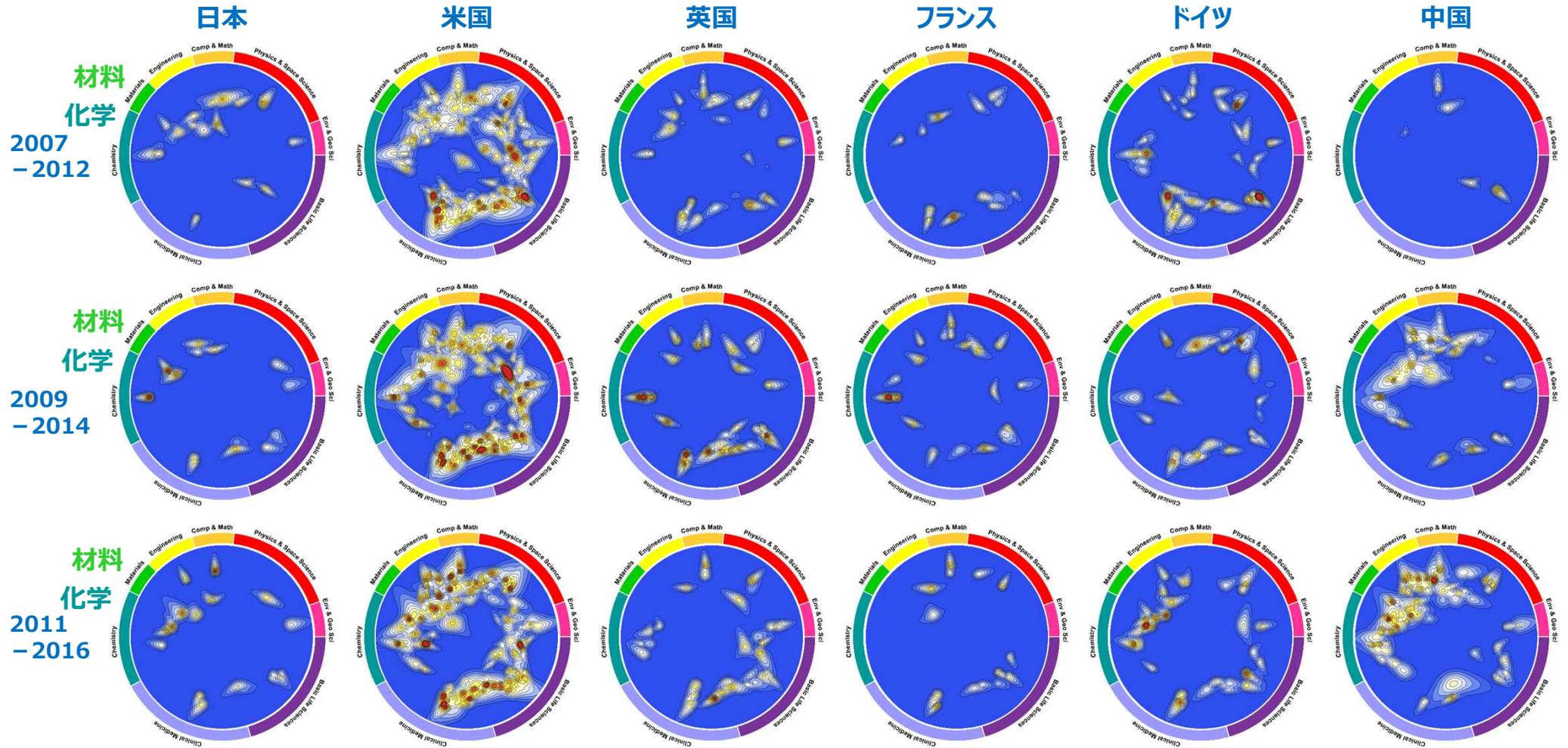
# 危機への直面（融合）

---

# 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）

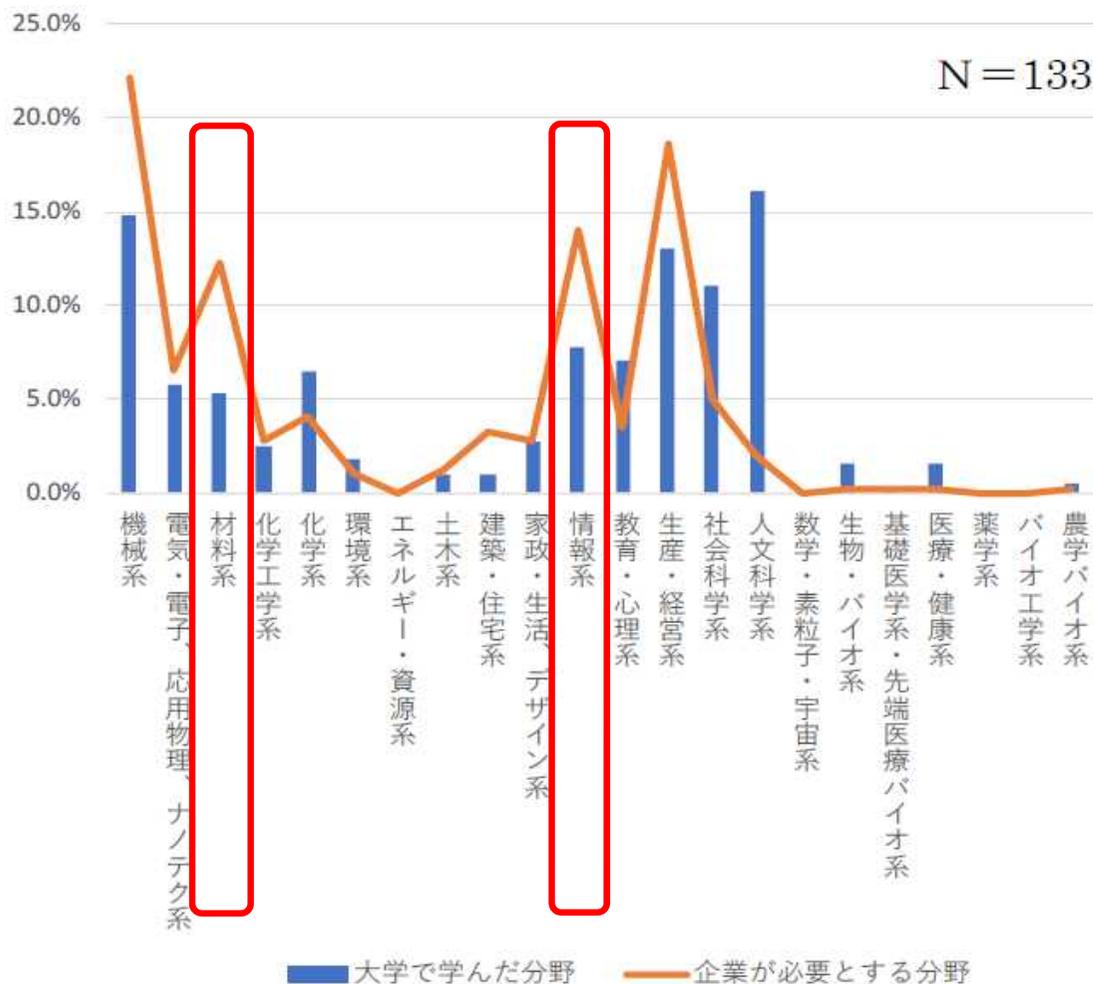
## 【政府のファンディングスキームについて（意見は大学教員又は国研研究者）】

- 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。