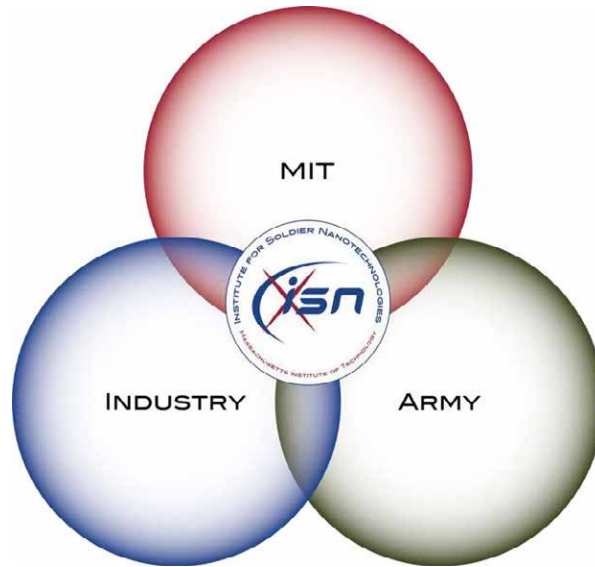


(図 2-10 MGI の概念⁸²⁾)

米国の素材研究は、大学の研究機関と政府との連携に特徴がある。例えば、マサチューセッツ工科大学(MIT)では、Institute for Soldier Nanotechnologies(ISN)という研究機関が2002年に設立され、米国陸軍そして産業界と連携して、軍事技術に資する素材研究を進めてきた(図2-11)。ISNはナノテクノロジーの根幹に関わる基礎研究に従事するとともに、そうした技術を戦闘員の生命保護とその戦闘能力の向上に結びつける役割を担っている⁸³。MIT物理学部のJohn Joannopoulos教授は、ISNとそのナノテクノロジー分野におけるイノベーションが産業技術そして軍事技術に多大な影響を与えてきたことを強調する。また、ISNの研究に携わった学生たちは自らスタートアップ企業を立ち上げることも珍しくなく、テキサスA&M大学教授で元ISNのディレクターを務めたNed Thomas博士は、MITの企業家精神相まって、米国の多くのスタートアップ企業がISNから生まれたことを説明している。

⁸² Ibid., p. 8.

⁸³ National Academies of Sciences, *Engineering, and Medicine. Materials Science and Engineering in a Post-Pandemic World: A DoD Perspective: Proceedings of a Workshop.* (2022).

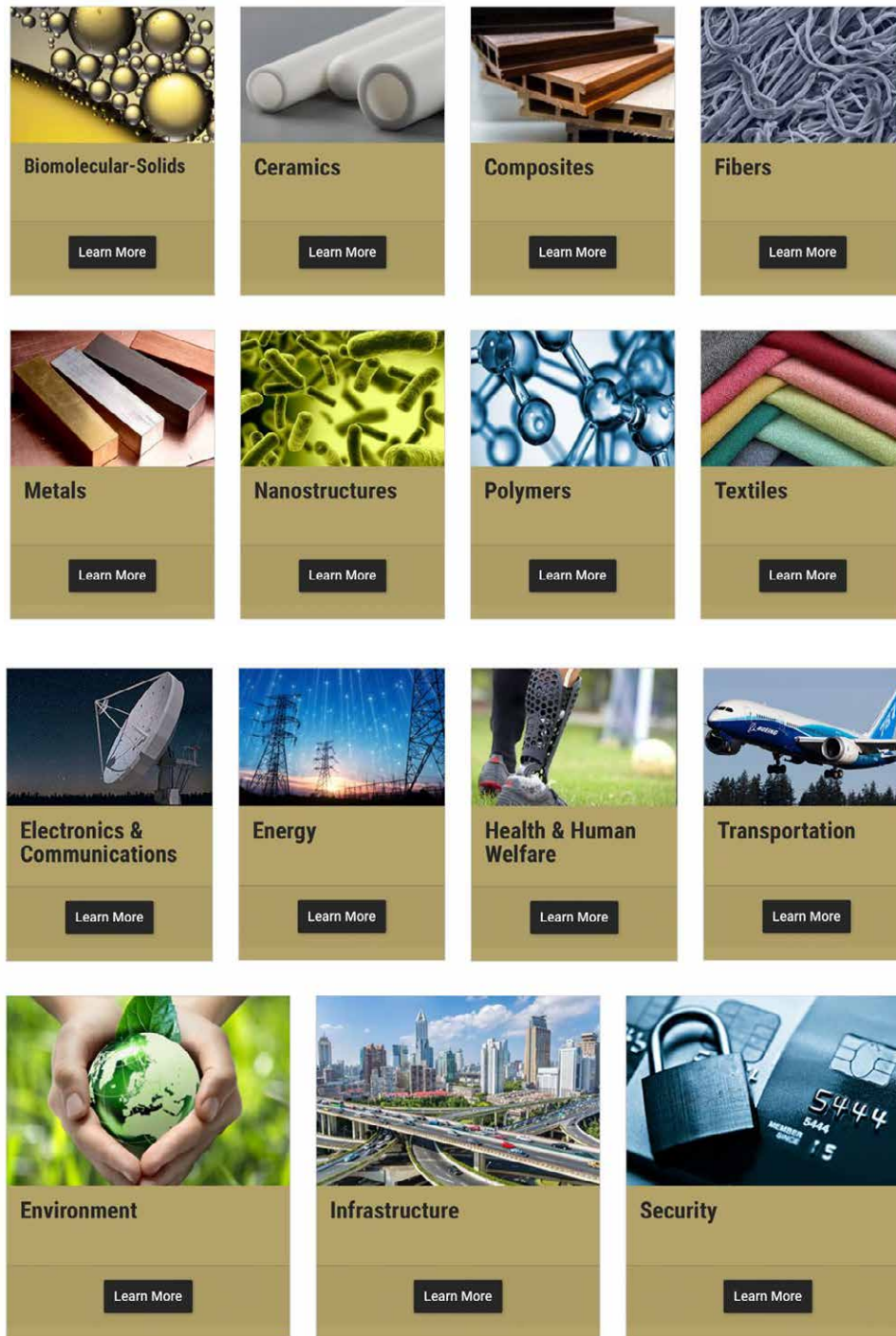


(図 2-11 ISN の概念⁸⁴⁾)

また、リチウムイオン蓄電池の研究に代表されるように、素材の基礎研究と応用技術のニーズとをうまくマッチングさせる仕組みは大学の組織体制とも関連しているように思われる。例えば、ジョージア工科大学の素材科学工学部の HP では、基礎となる素材に関する研究と合わせて、“Challenges”と題した社会における技術課題項目が列挙されている(図 2-12)。このように米国の大学研究機関では、素材の基礎研究と特定の技術ニーズとを一つのつながりとして研究するという体制が構築されており、それゆえに革新的な素材技術が即座に実際の応用技術や社会実装に結びつく仕組みが形成されているとあって良いだろう。近年、米国エネルギー省が Critical Materials Institute という重要素材研究の官民学連携プラットフォームを形成しているのも、こうした素材の基礎研究と技術ニーズそして社会実装が関連していることの証左である⁸⁵。

⁸⁴ MIT, “What is ISN?” <https://isn.mit.edu/what-isn>

⁸⁵ CMI, <https://www.ameslab.gov/cmi/>



(図 2-12 ジョージア工科大学素材科学工学部の HP。上が素材研究、下が技術課題⁸⁶⁾)

(2) 中国

中国の素材開発戦略

⁸⁶⁾ <https://www.mse.gatech.edu/materials>

中国は 2015 年に国家産業マスタープラン「中国製造 2025」を掲げて以来、先端素材を含む 10 の先端科学技術項目を挙げて急速な研究開発を進めてきた。特に先端素材は、10 つのうちの他の産業項目である情報科学技術やロボティクス、新エネルギー技術といった先端科学技術の基礎をなすものでもあり、中国政府も先端素材の発見及びその開発にこの 10 年あまり巨額の研究資金を投じてきた。他国と比較した場合、中国の素材研究開発は包括的に様々な素材分野で論文発行数と特許数を増やそうという狙いが見受けられる。例えば、中国科学技術部は 2016 年から 2020 年の期間で 3 億ドルもの予算を電子素材、バイオ・メディカル マテリアル、ナノテクノロジー、及び素材遺伝子工学の分野等に投じている。これに加えて、中国国家自然科学基金は、640 百万ドルの研究費を確保し、メタルマテリアル、無機非金属素材、有機ポリマー素材といった分野の研究開発を助成している⁸⁷。先端素材研究へのこうした多額の国家投資の背景には、独自のサプライチェーンを構築することで、外国のサプライヤーへの依存を軽減するという中国政府の意図がある。また、研究者数を見ても、他国の研究者数が比較的横ばいに推移しているのに対して、中国における先端工業素材研究の研究者数はここ数年で増加傾向にある⁸⁸。

2011 年に米国で設立された MGI を模倣する形で、中国政府は Materials Genome Engineering (MGE) を 2016 年に設立。素材科学研究に資するデータベースの構築ビッグデータ科学の活用を推進してきた。MGE は、製鉄企業や自動車製造企業のような素材科学に関連する民間企業にタイムリーなナレッジ提供を行うため、データマイニングソフトウェアのプラットフォームを集権化させることをその目的としており、政府主導でより効率的で低コストの先端素材の生産に着手してきた⁸⁹。こうした国家産業戦略 は次期マスタープランとなる「中国標準 2035」でも踏襲されることとなる⁹⁰。「中国標準 2035」では 従来の重要科学技術のみならず、農業や製造業分野での技術革新にも焦点が置かれている点で、先端素材の重要性もより一層増していると言って良い。「中国標準 2035」戦略がある種の「技術の冷戦」(Technological

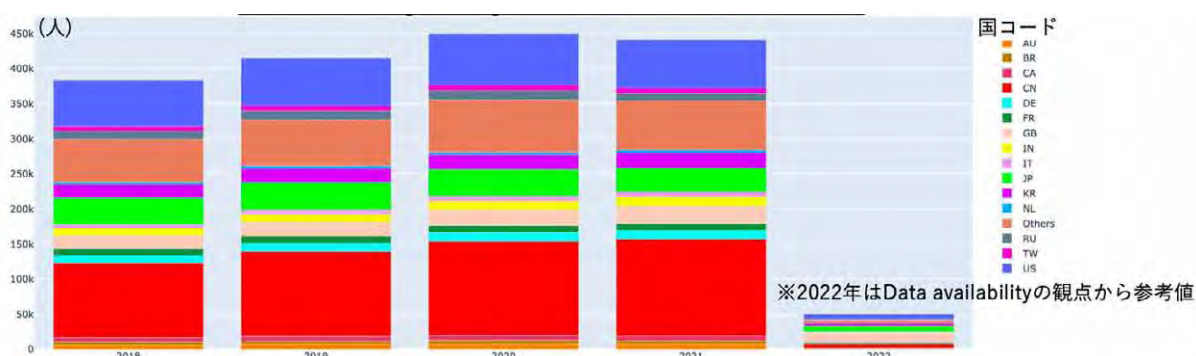
⁸⁷ National Academies of Sciences, *Engineering, and Medicine, frontiers of materials research: A decadal survey*. (Washington DC: National Academies Press, 2019).

⁸⁸ アスタミューゼ、『令和 4 年度 「我が国が戦略的に育てるべき安全・安心の確保に係る重要技術等の検討業務」 内閣府が指定する 20 の技術分野の広範囲調査に関する業務委託 最終報告書』(GRIPS 向けの再委託調査報告書)(2023 年 2 月 16 日)(以下、アスタミューゼ社再委託レポート), p. 34 頁

⁸⁹ O' mera, Sabah, The materials reality of China. *Nature* 567 (2019).

⁹⁰ Bruyère, Emily de La & Picarsic, Nathan, *China Standard 2035: Beijing' s Platform Geopolitics and "Standardization Work in 2020*. (Horizon Advisory, April, 2020).

Cold War) 的状況を作り出すことで、国内製造バリューチェーンの根幹を担う先端素材とそれに付随する科学技術の重要性が増している⁹¹。



(図 2-13 Advanced Engineering Materials 領域の国別研究者数推移⁹²)

ナノテクノロジー

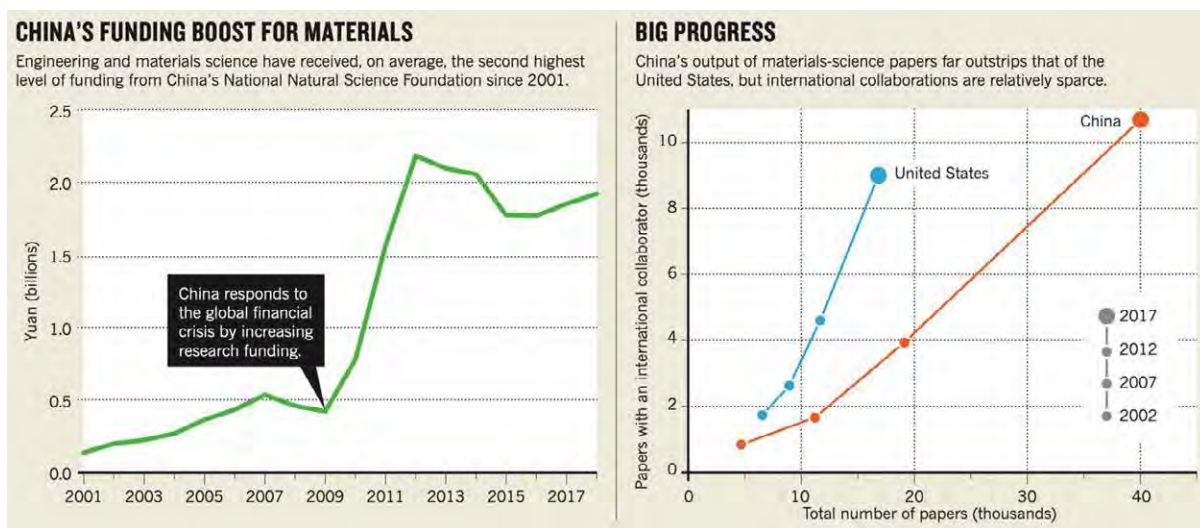
中国が素材研究を包括的に支援する中でも、特に注力している素材分野がいくつかある。まず、近年ナノテクノロジー分野での発展が目覚ましい。2000 年から 2015 年の間に 10 億ドル以上もの予算がナノテクノロジー研究に費やされ、政府の中長期技術開発計画でも重要領域の一つとして認識されてきた⁹³。国家自然科学基金委員会は 2018 年に 20 億元を超える国家予算をナノテクノロジーを含む 701 の研究プロジェクトに提供した上に、同年中国科学技術部は、16 億元をナノテクノロジーを含む 6 つの特別研究プロジェクトに投じることを発表した。近年の研究資金の推移と研究成果を見てもその傾向は顕著である(参考: 図 2-14)。中国は素材科学が関連するバッテリー(蓄電池)、半導体、先端素材、バイオテクノロジーを含む 23 の分野や世界トップの研究水準を維持している。特にリチウムイオン蓄電池の研究は、中国科学院主導の下、盛んに行われており、2018 年 11 月には清華大学発のスタートアップである Qing Tao

⁹¹ Gargeyas, Arjun, “China’s ‘Standards 2035’ project could result in a Technological Cold War.” *The Diplomat* (September 18, 2021). Retrieved from <https://thediplomat.com/2021/09/chinas-standards-2035-project-could-result-in-a-technological-cold-war/>

⁹² アスタミューゼ社再委託レポート, p. 34.

⁹³ Qiu, Jane, “Nanotechnology development in China: challenges and opportunities.” *National Science Review*, 3 (2016), 148-152.

Energy Development が中国初となる全固体蓄電池を開発し、2020 年を目処に電気自動車向けの実装を目指し研究が進められてきた⁹⁴。



(図 2-14 中国における素材研究資金と論文発表数の推移⁹⁵)

極高温耐熱素材

中国は極度高温にも耐える耐熱素材 UHTCs の研究でもその論文出版数と特許申請数で他国を凌駕している。特に、高エントロピー合金(high-entropy alloys)、MAX materials, そして MXenes における論文出版数と特許申請数は 2010 年以降右肩上がりに上昇しており、2011 年の段階では中国のそれは米国や日本と同じかそれ以下の数であったのに対して、この 10 年で 5-8 倍近い数の論文出版と特許が申請されている⁹⁶。米国や日本と比較してもその量は圧倒的である。

中国の素材戦略の限界

量の面で他国を圧倒する中国の先端素材研究であるが、中国の科学者の間では限界も指摘されている。ナノテクノロジーや構造素材の分野では世界をリードする論文出版数とともに質

⁹⁴ Freist, Roland, "China manufactures solid state batteries in series". *Hannover Messe* (December 13, 2018). Retrieved from <https://www.hannovermesse.de/en/news/news-articles/china-manufactures-solid-state-batteries-in-series>

⁹⁵ O' mera, Sabah, "The materials reality of China."

⁹⁶ Priem, Jason, Heather Piwowar, and Richard Orr. *OpenAlex: A fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts*. (ArXiv, 2022).

を誇るものの、素材科学全体としては依然として、米国や欧州に劣る⁹⁷。また研究そのものの質においても幾つか懸念が示されている。中国の素材科学技術政策は非常に短期間での商業化と製品化に重きが置かれており、長期的視野に立った基礎研究が疎かになっている。また、こうした短絡的な視野は研究者そのものの姿勢にも影響を与えており、大学院生らもトップジャーナルへの査読付き論文の投稿が修了要件となっていることも多く、学会全体としてリスクが伴うイノベティブな研究が限られてしまうという弊害が生じている。研究者たちの間ではより長期的視野になった革新的な研究に取り組むべきという声もあり、急速に科学技術の発展を目指す中国政府当局の目論見の裏で、真に革新的な研究がどれほどあるのかと疑問を呈する国内科学者も少なくない⁹⁸。

(3) 日本

日本はこれまで、民間企業での技術開発を中心に、世界の素材科学の研究をリードしてきた。中でも化学産業が素材産業全体の6-8割を占めており、収益構造を見ても化学素材の製造で大きな利益を上げてきた⁹⁹。ここ半世紀近くの素材研究におけるノーベル賞受賞者数を見てもその研究の質の高さは明らかである(図 2-15)。また素材技術の実装においても、その可能は極めて高い。近年注目されているリチウムイオン蓄電池や炭素繊維に関わる研究でも今後多様な領域で社会実装が期待される技術が多数存在する(図 2-16)。

近年では様々な先端科学技術の開発に関わる先端科学素材のさらなる技術革新のために、「統合イノベーション戦略 2020」の枠組みの中で、「マテリアル革新力強化のための戦略」策定を目指し、産官学が一体となって総合的なマテリアル・イノベーションの実現に取り組んでいる。特に、素材研究は日本企業が大学等で生み出されたナレッジの実装に比較的成功している分野である。博士号取得者が企業で活躍する機会も他の技術領域と比較しても多い傾向にある¹⁰⁰。こうした民学のシナジーが発揮されやすい分野であるが故に、リチウムイオン電池や青色LED、ネオジム磁石等 20 世紀後半に様々な革新素材が日本初で生み出され、世界からも高い評価を受けてきた。

⁹⁷ O' mera, Sabah, "The materials reality of China."

⁹⁸ i bi d.

⁹⁹ 経済産業省「素材産業におけるイノベーションの役割と期待」(2018年1月)

¹⁰⁰ 経済産業省「マテリアル革新力強化のための政府戦略に向けて(戦略準備会合取りまとめ)」マテリアル革新力強化のための戦略策定に向けた準備会合(2021年6月2日)。