

重要技術・実装領域に関する J S T・C R D S、N E D O・ T S Cからの発表資料



AT A TCTATAAGA CTCTAACT

GA CCC

CC AAAA GGCCI

ATAAGA CTCTAACT CI

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCT/

CTC GCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTA ACT

CTCTAACT

CTC GCC AATTAATA

C CTA ACT CTCA

A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA C CTA ACT CTCAGACC

0(1 1110 000

) 11 001010 1

11 1110 000

0011 1110 000

10 1

11 1110 000

マテリアル研究開発動向

- 俯瞰から見出す重要領域 -

TCTATA.

GCC AATTAATA

ATC A AAGA CC

A TCTATAAGA

AATC A AAG

C CTA ACT C

1 1110 00

11 001

永野 智己



国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

主要国におけるマテリアル科学技術政策関連動向



日本	<ul style="list-style-type: none"> •内閣府 第5期科技基本計画：新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術に「素材・ナノテクノロジー」を位置付け •文部科学省 第6期科技基本計画への提言「マテリアルテクノロジー」公表（2019） 次世代蓄電池、元素戦略、マテリアライズ、ナノテクプラットフォーム、MI2I（JST, NIMS）等 •経済産業省 化学品連続精密生産プロセス技術、超先端材料超高速開発基盤技術PJ 超微小量センシング技術等、NEDO-PJで推進 •ナノ材料のELSI/EHS国際戦略・データ構築に課題。ルール化が進む世界に遅れ
米国	<ul style="list-style-type: none"> •NNI(国家ナノテクイニシアティブ)を4代の政権にわたり継続。2020年予算 \$ 1470M規模 •ホワイトハウス5Gサミット(2018)、DARPA電子技術復活イニシアティブ(2018-)、NSTC先進製造国家戦略(2018-)、国家量子イニシアティブ(2019-)など続々開始 •希少鉱物大統領令（2017）をもとに、希少鉱物イニシアティブ（2020.10-開始予定） •計測ツール・テストベッドへのAI技術導入（2020.10-開始予定）
欧州	<ul style="list-style-type: none"> •Horizon 2020でナノテク・先端材料をKETsとして位置付。Graphene, Brainに続きQuantum Flagship(2018-)開始。ナノELSI/EHSの枠組み作りで世界のリーダーに •英「産業戦略」でAI・データ・エネルギー等のグランドチャレンジを呈示 •独「ハイテク戦略2025」でAI、量子、蓄電池へ集中投資 •仏「Nano2022プログラム開始」 AI/IoTの産業技術確保へ大型投資
中国	<ul style="list-style-type: none"> •第13次五ヶ年計画 2030年を見据えた15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「量子通信・量子コンピュータ」等を指定 •中国製造2025 半導体自国化へ向け投資拡大(2025年までに自給7割を目指す) •合肥に量子科学技術国家実験室を建設中（2020年完成予定）

米国ナノテクイニシアティブ予算の動き

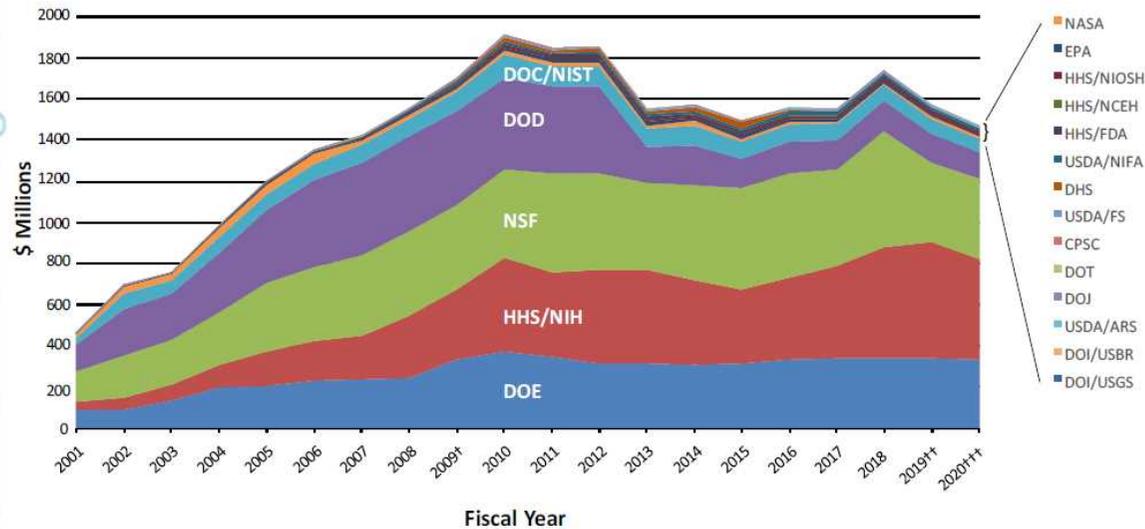


Figure 1. NNI Funding by Agency, 2001–2020.

† 2009 figures do not include American Recovery and Reinvestment Act funds for DOE, NSF, NIH, and NIST.
 †† 2019 numbers are based on appropriated levels.
 ††† 2020 Budget.

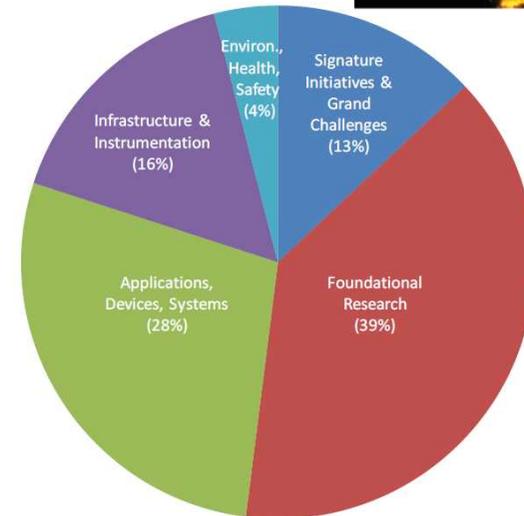
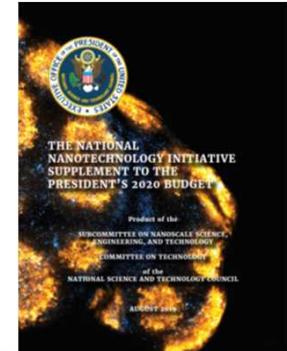


Figure 2. Breakout of NNI Funding by Program Component Area in the 2020 Budget.

- 米NNI2020予算は \$ 1,469M。前年比マイナス▲ \$ 100M(約6%)
- 2019年は増額だったDOEは、2020では微減の \$ 335(▲9M)。
- NIHは大幅減 \$ 487M(▲72M)。
- NSIシグニチャーイニシアティブが大幅増の \$ 267(△100M)、6テーマのうちナノエレとコンピューティングが増 →ナノエレ△ \$ 109M (前年比倍増) 関連するDARPA Electronics Resurgence Initiativeは (5年間1500M※NNI予算とは別に確保)
- NSF \$ 389Mは、2018年までの減額がストップし前年同
- MGIマテリアルゲノム関連は、NKI(Nanotechnology Knowledge Infrastructure)として \$ 24Mをキープ。
 ※ただしNNIにおけるMGI関連予算は分散しているので正確な数字はない。MGI自体は当初の5年間のイニシアティブを終了している
- EHSIに5%の予算を確保

米国



- ◆ **DOE “Critical Materials Strategy” (2011年)**
 - 日本の元素戦略に対応する国家戦略
- ◆ **DOE-エームズ研にCritical Materials Institute設立 (2012年)**
 - 最初の5年間で120M\$, 2018年7月からさらに5年間の延長、特に磁石材料と電池材料に注力
- ◆ **大統領令“Critical Minerals Executive Order”発令 (2017年12月)**
 - 経済と軍事の脆弱性の要因となりうる希少鉱物の輸入依存の低減と安定供給ルートの確保
 - DOIに希少鉱物リスト作成、他省庁にも対応策を講じるよう指示
 - DOI「希少鉱物リスト(35鉱物)」公開(2018年5月)
 - DOC「希少鉱物供給確保に向けた連邦政府戦略」公開(2019年6月)
- ◆ **DOE-アルゴンヌ国立研に電池リサイクルR&Dセンターを設置 (2019年2月)**
 - 使用済みリチウム電池からCritical Materials (LiやCo) を回収するリサイクルプロセス開発。
 - 米国内のリチウム電池の90%を回収、回収した電池から主要材料の90%のリサイクルを目指す
- ◆ **連邦議会も共同歩調**
 - 上院エネルギー資源委員会において、希少鉱物に関する中国依存の懸念、国内生産・リサイクルの必要性について複数の公聴会で議論
- ◆ **超党議員団が関連法案を提出**
 - 希少鉱物確保を強化する法案 (2019年5月) 提出

脱中国依存を意識
した新たな動きへ

欧州



- ◆ **Raw Materials Initiative (2008年)**
 - 原材料の持続可能な供給ルート確保が目的
 - 希少物質リストの作成 (2011年：14種、2014年：20種、2017年：27種)
 - 2020年版リスト作成に向けた準備中
- ◆ **Horizon 2020 (2014-2020)**
 - Societal Challenge –Raw Materials part ~600M€
 - 欧州イノベーション・技術機構 (EIT) Raw Materials ~400M€ from EU
 - SCRREEN (Solutions for CRM’s – a European Expert Network、3M€) や IRTC (International Round Table on Materials Criticality) などの専門家ネットワーク形成プログラムの他、リサイクルやマイニングに関するプロジェクトが多数
- ◆ **Horizon Europe (2021-2027)**
 - 欧州委員会案100B€のうち、第2の柱(社会的課題の解決)の中の6つの社会的課題群(クラスター)の一つ「デジタル・産業・宇宙」(15B€) の一部にRaw Materialsを位置づけ

欧州圏の Circular
Economy 確立へ

米国DOE 2021年度予算要求内容



2021会計年度（20年10月-21年9月）
大統領予算教書 OMB発表
(2020.2.10付)

1. 重点投資トピック

- ▶ 「未来の産業」に資する、量子情報科学(QIS)、AI/機械学習によるデータ科学、次世代マイクロエレクトロニクス、希少鉱物の分離、ゲノム科学等に15億ドル

2. 主要項目別予算

	FY2020	FY2021要求
DOE全体	385億ドル	354億ドル (8.2%減)
科学局 (Science)	70億ドル	58億ドル (17%減)
先端科学コンピューティング研究	9.8億ドル	9.9億ドル (0.8%増)
基礎エネルギー科学	22億ドル	19億ドル (13%減)
生物・環境研究	7.5億ドル	5.2億ドル (31%減)
融合エネルギー科学	6.7億ドル	4.3億ドル (37%減)
高エネルギー物理学	10億ドル	8.2億ドル (22%減)
原子物理学	7.1億ドル	6.5億ドル (8.4%減)
エネルギー効率・再生可能エネルギー	28億ドル	7.2億ドル (74%減)
原子力エネルギー	15億ドル	12億ドル (21%減)
化石エネルギー研究開発	7.5億ドル	7.3億ドル (2.6%減)
サイバーセキュリティ・エネルギー安全保障・緊急対応	1.6億ドル	1.8億ドル (18%増)
エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)	4.3億ドル	廃止
国家核安全保障局 (NNSA)	167億ドル	198億ドル (18.4%増)

ハイテク、サイバー分野に重点

- **人工知能 (AI) に2.6億ドル**
 - ▶ 2019年9月にAI・技術室新設
- **エクサスケールコンピューティングに7.1億ドル**
- **量子分野に2.5億ドル**
- **電力網のサイバーセキュリティを含むCSESERに1.8億ドル**

製造・サプライチェーン確保重視

- **先進エネルギー貯蔵イニシアティブに1.9億ドル**
 - ▶ **2020年1月に打ち出したエネルギー貯蔵グランドチャレンジの一環**
- **過酷環境材料イニシアティブに5,850万ドル**
- **希少鉱物イニシアティブに1.3億ドル**

新エネルギー関係大幅削減

- **ARPA-E廃止**
- **エネルギー効率・再生可能エネルギー(EERE)74%減**

注釈) 本情報は予算教書ベースであり、予算編成権を持つ議会の審議により変わる可能性がある。

概要

- 次世代エネルギー貯蔵技術の開発、商業化、利用を加速し、エネルギー貯蔵で米国のリーダーシップを維持するための、総合的プログラム(2020.1月に発表)。既存の「先進エネルギー貯蔵イニシアチブ」を包含。

ビジョン

- 2030年までに希少材料の外国に依存しない国内製造サプライチェーンを確保し、エネルギー貯蔵の利用と輸出における世界の主導的地位を確立し、維持する
 - ・ ミッション領域： 1) 国内イノベーション、2) 国内市場、3) 国内製造およびサプライチェーン

取り組み項目

- 1) 技術開発、2) 技術移転、3) 政策と評価、4) 製造とサプライチェーン、5) 労働力開発
- 研究開発ファンディング、賞 (prize)、パートナーシップ、およびその他のプログラムを活用

予算と取り組み例 ※FY2020は該当する既存施策の予算。FY21のうち、先進エネルギー貯蔵イニシアチブにあたる予算は1.9億ドル

	FY2020	FY2021要求
合計	3.67億ドル	2.14億ドル
電力	0.56億ドル	0.84億ドル
○グリッドアプリケーション向けの電池材料・システムの材料開発、テスト、評価		
エネルギー効率・再生可能エネルギー	2.83億ドル	0.97億ドル
○電池：化学と技術の初期段階研究		
○水素：生産・貯蔵・使用と再エネ・原子力等との統合		
○太陽光：電力システムへの統合とグリッドの信頼性確保		
○水力：水力の特性とグリッドの信頼性		
○地熱：グリッドの安定性・信頼性・復元性、フレキシブルな地熱発電技術		
○先進製造：エネルギー貯蔵システムの製造プロセス改善		
○ビル技術：熱エネルギー貯蔵と建物の負荷制御		
化石エネルギー研究開発	0.45億ドル	0.50億ドル
○化石燃料発電所の運用の柔軟性に資するエネルギー貯蔵技術		
○電力を超えた化石エネルギーシステムプラットフォーム（産業、分散発電、ポリジェネレーション、廃熱回収、その他の革新的技術）		
原子力エネルギー	0	0.40億ドル
○高度センサーおよび計装、原子力施設のサイバーセキュリティ、先進製造技術		
科学局 (Science)	0.24億ドル	0.24億ドル
○エネルギー貯蔵研究統合センター (JCESR)：電気化学の基礎研究における、理論、シミュレーション、実験を密接に統合し、新しい電池材料の予測設計を実現		

注釈) 本情報は予算教書ベースであり、予算編成権を持つ議会の審議により変わる可能性がある。

概要

- DOEの希少鉱物関係の既存施策をパッケージ化(FY21新規)。DOE国立研究所主導のコンソーシアムを設立して取り組む。

DOEの希少材料戦略 (3つの柱)

- (1) 供給の多様化 (2) 代替材料の開発 (3) リサイクルの改善

DOEの希少材料研究開発計画

- 希土類物性の基礎の理解：十分に特性評価された材料の組成を制御し、準備、精製、処理、および製造することのできる新たな合成技術
- 使用の削減と代替材料の発見：希土類材料の代替物の予測設計の鍵となる、材料科学および化学における実験的に検証された計算モデル
- 希土類の分離と化学処理の向上：鉱物の分離の基礎を成す、水溶液と鉱物界面の相互作用理解

予算と取り組み例 ※FY2020は該当する既存施策の予算

	FY2020	FY2021要求
合計	1.47億ドル	1.31億ドル
エネルギー効率・再生可能エネルギー	1.04億ドル	0.53億ドル
○電池用希少材料の使用とリサイクル、EV用磁石材料の重希土類低減		
○燃料電池用の電極の白金量を低減、白金フリー触媒/電極⇒60ドル/KW、3万時間目標		
○地熱かん水からの希少鉱物分離		
○Critical Materials Instituteを解消し、国立研究所主導のコンソーシアムに再構成		
化石エネルギー研究開発	0.23億ドル	0.32億ドル
○資源の特性評価とサンプリング		
○分離技術開発		
○希土類資源探査用センサー開発		
○プロセスおよびシステムのモデル化		
○技術経済的分析		
原子力エネルギー	0	0.01億ドル
○非ウラン希少鉱物研究 (Co, In, 重希土類など)		
科学局 (Science)	0.20億ドル	0.45億ドル
○希土類その他の希少材料の物性決定 (電子相互作用から原子分子のスケールまで)		
○理論、モデル化、データマイニング/AIも活用した希土類や希少材料の代替、減量のための研究		
○希土類の化学 (溶液からの選択的分離、プロセスおよびシステムのモデル化)		
○技術経済的分析		

注釈) 本情報は予算教書ベースであり、予算編成権を持つ議会の審議により変わる可能性がある。

概要

- DOE内横断で、先進的原子炉技術や高効率・低排出モジュラー石炭プラントに関連する活動を活用・調整し、**新材料、統合型センサー、製造プロセスの研究開発に取り組む(継続:FY20開始)**。
- **FY21予算要求では、特に積層造形技術を使用して製造された超小型炉**の燃料運転テストに関連する活動に
焦点
 - ・ 運転試験用に核燃料炉心をホストするための原子炉システムの設計を確定
 - ・ 実証反応コンポーネントの製造を通じて、デジタルプラットフォームの検証を開始
 - ・ 運転実証に必要なDOE安全認証プロセスをサポートする予備安全文書の準備を完了

予算と取り組み例

	FY2020	FY2021要求
合計	6,845万ドル	5,850万ドル
エネルギー効率・再生可能エネルギー	2,500万ドル	650万ドル
○ 過酷環境で動作する費用対効果の高い材料・部材により、システムの耐久性を向上させる技術を開発		
化石エネルギー研究開発	2,000万ドル	2,200万ドル
○ 材料、センサー、部材の初期段階の研究開発を継続		
原子力エネルギー	2,345万ドル	3,000万ドル
○ 先進的原子炉設計に必要な材料、部品、システムを積層造形およびモデリング手法を用いて開発		

注釈) 本情報は予算教書ベースであり、予算編成権を持つ議会の審議により変わる可能性がある。

欧州の次期フレームワークプログラム “Horizon Europe” (2021-2027年)の構成と予算



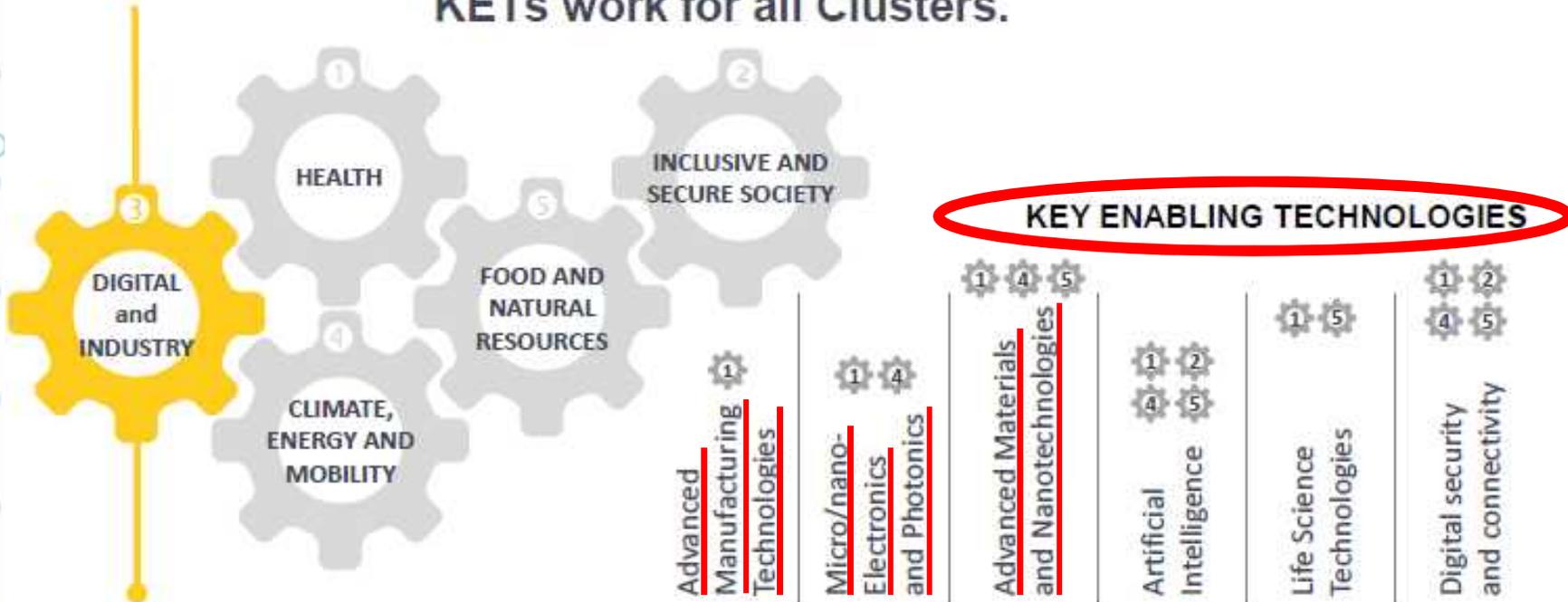
- 欧州委員会案の**941億ユーロ**に対し、欧州議会は**1,200億ユーロ**への増額を提案
- なお、欧州委員会による予算配分案は以下の通り。

単位：ユーロ

第一の柱 (最先端研究支援) 「オープンサイエンス」	258億	第二の柱 (社会的課題解決) 「グローバルチャレンジ・産業競争力」	527億	第三の柱 (市場創出の支援) 「オープンイノベーション」	135億
ERC(欧州研究会議)	166億	クラスター 1 保健(77億) 2 包括的で安全な社会(28億) 3 デジタル化、産業化(150億) 4 気候、エネルギー、輸送(150億) 5 食料、資源(100億)	505億	EIC(欧州イノベーション会議)	100億
マリーキュリーアクション	68億			欧州イノベーション・エコシステム	5億
欧州研究インフラ	24億			JRC(共同研究センター)	22億
ERA (欧州研究圏)					21億
合計					941億

CLUSTER 3 works for all KETs

KETs work for all Clusters.



INTERVENTION AREAS	KEY ENABLING TECHNOLOGIES					
	1	2	3	4	5	6
1 <u>Manufacturing Technologies</u>	1					
2 Key digital technologies		1, 4				
3 <u>Advanced materials</u>			1, 4, 5			
4 Artificial intelligence and robotics	1			1, 2, 4, 5		
5 Next generation internet			1			1, 2
6 Advanced computing and big data			1			4, 5
7 Circular industries					1, 5	
8 Low-carbon and clean industries					1, 5	
9 Space	1			1, 4, 5	1, 2	4, 5

- **国（中国科学院、中国工程院）や上海市が中国版MGIを積極的に支援**
 - 上海大学に材料ゲノム研究所を設立（2014年）
 - 上海交通大学に材料ゲノムイニシアティブセンターを設立（2016年）
 - 中国科学院物理研究所・北京科技大学等が共同で「北京材料ゲノム工学イノベーションアライアンス」（2016年）を設置、中国鋼研科技集团有限公司等も参加し、「北京材料ゲノム工学イノベーションセンター」を設立（2017年）
- **国家重点研究開発計画「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」開始**
 - 2016年から3回の公募で、採択課題数44（3～5年）、総額約8億元（約126億円）
- **上海大学材料ゲノム研究所**
 - 2014年設立、Shanghai Institute of Materials Genome（SiMG）の1つ
 - スタッフ38名（うち、教授8名）、教育と研究の両輪
 - 主な対象は、エネルギー材料、スマート材料、構造材料
 - 4つの部門で構成（iMaterDB, iCMS, iEnergy, iSmart）
 - 8万2000件のDB（CAS予算）



<http://en.mgi.shu.edu.cn/Centers/SIMG.htm>

中国「マテリアルズゲノム工学のキーテクノロジーとサポートプラットフォーム」 重点特定プロジェクト

No.	プロジェクト	機関	予算 (万元)	期間 (年)
1	高性能複雑合金のレーザー冶金・ハイスループット型作製法の原理及び 装備	北京航空航天大学（宇宙） 大学	1,453	4
2	ハイスループット材料・スペクトル特性の新理論、新技術・新装備	天津大学	1,342	4
3	マテリアルズゲノム工学に基づく熱電材料のハイスループット研究と応用モ デル	中国科学院上海珪酸 塩研究所	1,510	4
4	液晶複合材料に基づく新型PDLCフィルムのハイスループット予測、作製 法とモデル応用	北京大学	1,470	4
5	潤滑材料のマテリアルズゲノムと実演検証	西北大学	1,417	4
6	産学研協同のハイスループット材料コンピューティング融合サービスプラッ トフォーム	国家スパコン天津セン ター	2,304	3.5
7	ハイスループット・マルチスケール材料シミュレーションと性能最適化設計プ ラットフォーム	湖南大学	1,809	4
8	ハイスループット材料作製法技術プラットフォーム	中南大学	2,246	3
9	先進光源に基づく高分子材料加工-構造-性能関連ハイスループット特 性プラットフォーム	四川大学	2,326	4
10	国家マテリアルズ・ゲノムエンジニアリングデータ送信と管理サービス技術プ ラットフォーム	北京科学技術大学	2,192	4
11	マテリアルズ・ゲノムエンジニアリング専用データベースプラットフォームの建 設とモデル応用	上海大学	1,858	4

中国「ナノテクノロジー」重点特定プロジェクト

No.	プロジェクト	機関	予算 (万元)	期間 (年)
1	カーボンナノチューブ (CNT) マクロの秩序機能化及び極限条件での応用	清華大学	1,937	5
2	グリーン印刷製造技術とナノ構造装置システム集成応用	中国科学院化学 研究所	1,763	5
3	機械学習ポテンシャル関数に基づくナノ材料触媒動態モデルと合理的設計	復旦大学	1,360	5
4	領域・時間を跨ぐナノ構造の動力学特性	中国科学院大連 化学物理研究所	1,713	5
5	新型ナノ酸化強磁性共鳴・造影剤のマクロ作製法及び臨床転化研究	中国科学院化学 研究所	1,944	5
6	マクロ環境相応型・自己組織化生物ナノ材料の表面/界面制御及び腫瘍 治療研究	国家ナノ科学セン ター	2,032	5
7	多重場結合ナノヘテロ構造光電子部品の基礎研究	中国科学院半導 体研究所	2,115	5
8	高性能中赤外半導体レーザー発生装置と探測イメージングチップ及び応 用	南京大学	2,103	5
9	有機無機ナノ複合光学フィルム及び顕示、省エネルギー応用	華中科学技術大 学	1,457	5
10	工業用揮発性有機硫黄化合物処理及び資源化ナノ触媒材料と技術	福州大学	1,434	5
11	破壊的なナノメソポーラス分子水素化クラッキング触媒の創製及び産業化	復旦大学	1,454	5
12	ジュール加熱反応に基づくカーボンナノチューブ (CNT) 耐食複合フィルムの 淡水化研究	アモイ大学	290	4.5
13	半固体リチウム金属電池のマイクロ・ナノ構造と界面設計関連の基礎研究	浙江大学	284	5
14	脳幹グリオーマ (brain glioma) に対する精確協同治療の集成型生物 化学薬物・ナノ・デリバリーシステム	南開大学	289	5
15	脳標的・バイオミメティクス・ナノ薬物の精確診療技術及び応用	河南大学	275	5

技術覇権争いの先鋭化

- 次代の産業競争力を大きく左右する先端技術分野で技術覇権争いが激化
- コアを担うデバイス群はナノテク・材料技術の革新から創出
- 希少資源の「脱中国依存」への動きが欧米で活発化
→ハイテク素材（例：EV用電池など）の急騰、不確実性の高まり



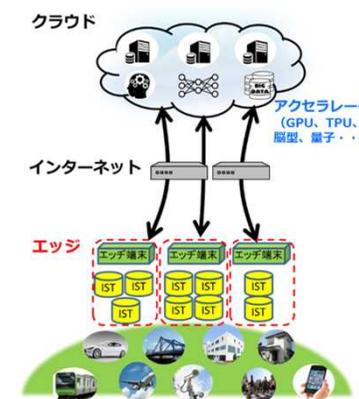
<https://www.jst.go.jp/crds/sympo/20190829/pdf/08.pdf>

デジタル化に伴う変革

- GAF A、BATなどビッグデータを握る企業が大きく台頭
- データを取得するエッジ側、データを蓄積するクラウド側とも、ソフトだけでなくハードウェアの進歩が鍵
→半導体産業の活況、将来の量子への期待
- 電子機器は「高機能・高性能」から「多機能・低消費電力」へ
→ポストムーア時代、ヘテロ集積モジュール化デバイスへ

研究手法の変革、今後の方向性

- 研究開発成果到達までのスピードアップへの要請
- 材料開発におけるデータ科学の重要性が増大
- 新機能・新価値を実現する研究開発の方向性
 - ① ナノスケール機能の実装・活用、マクロとの接続
 - ② 多元化・複合化による新機能材料とそれを実現するプロセスサイエンス・エンジニアリング
 - ③ データ・インフォマティクスと先端装置群のテクノロジープラットフォームによる研究成果生産性向上
→ 研究開発のデジタルトランスフォーメーション



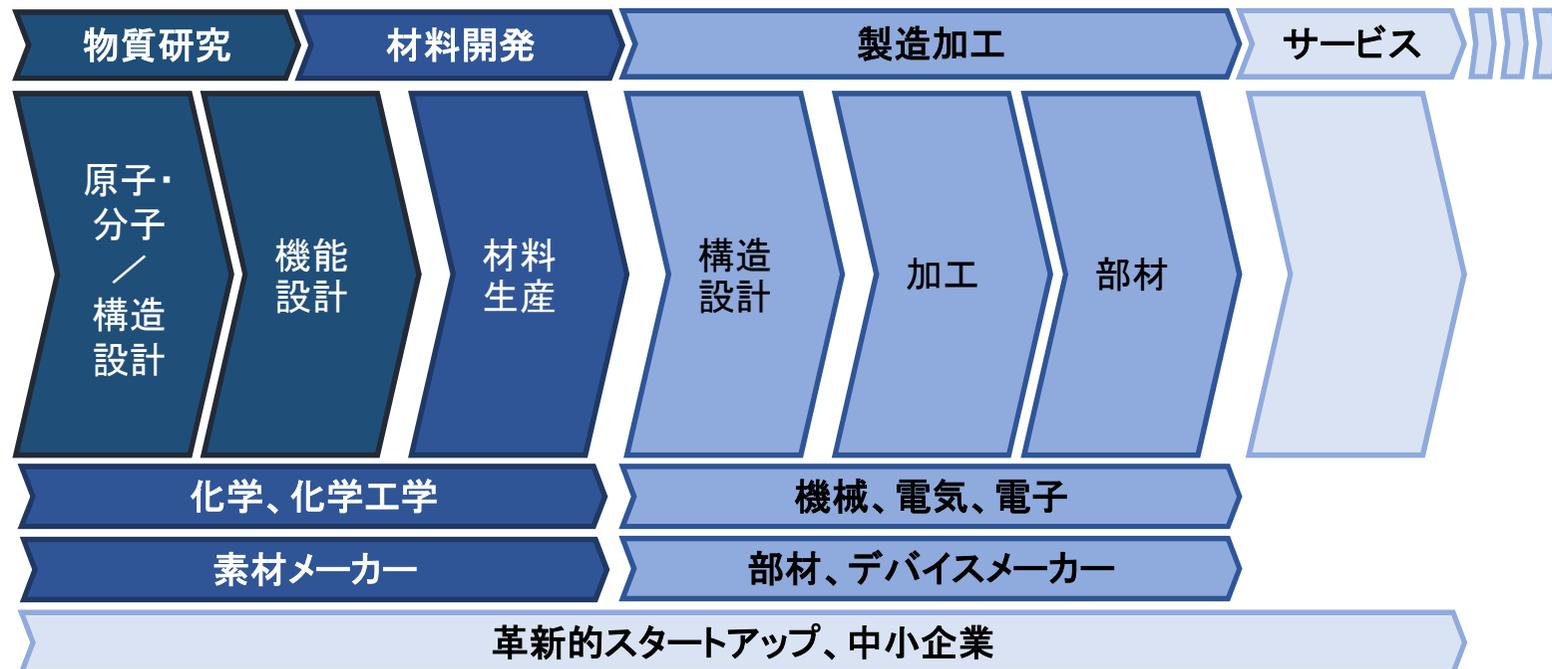
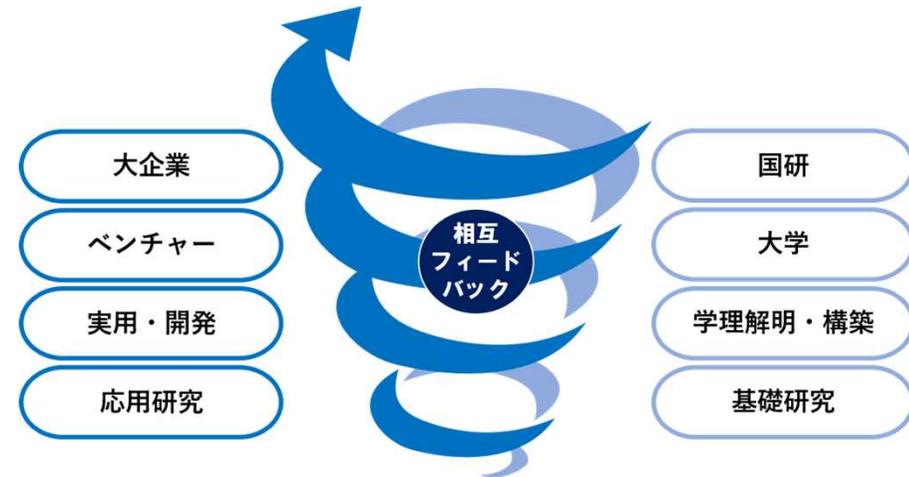
SDGsへの貢献

- 水・大気・土壌の持続性と浄化、温室効果ガス削減、クリーンエネルギー創成、資源物質循環技術への期待
- 分離・吸着材料、リサイクル技術、太陽光発電・風力発電・蓄電池
→SDGsはギブン。技術ベースで支えるナノテク・材料技術への期待大



進化発展・循環するダイナミックなエコシステム

世界の新たな製造の姿において、日本の強みを強化するためには、材料、設計、加工の一貫通貫研究開発フローとそれを支える産学連携・データ連携型プラットフォームが重要



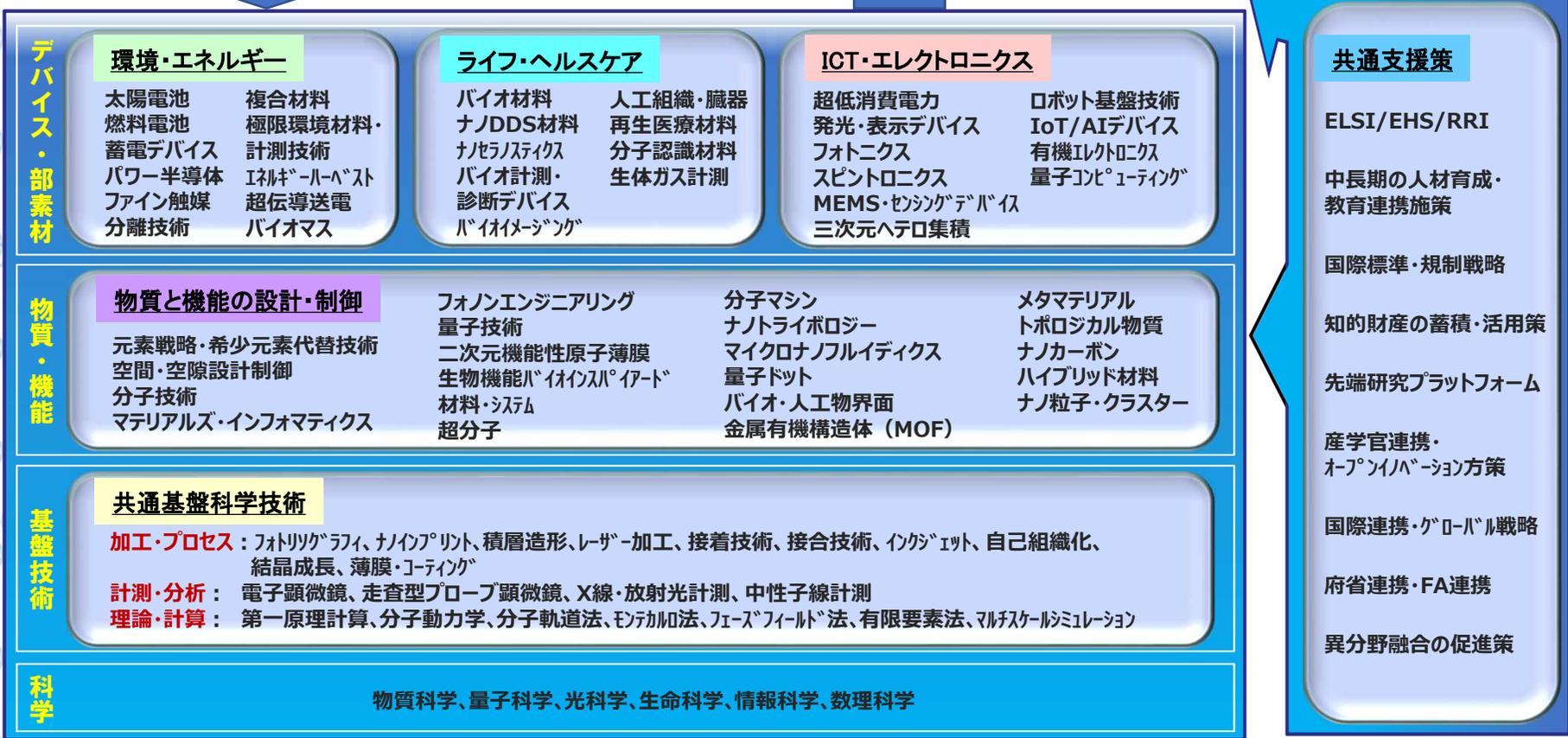
ナノテク・材料分野 研究開発俯瞰図 2019



Society5.0、持続可能社会の実現 (SDGs)

低環境負荷 安全性 信頼性 省エネ・省資源プロセス リサイクル 資源保全 低コスト

安全・低環境負荷の 交通・輸送	水・大気・鉱物資源の循環を可能にする スマート材料	ウェアラブル 健康・医療モニタリング
人と共生する サービスロボット	安全・快適社会へ IoT/AIチップ・量子デバイス	省/創/蓄エネのための 先端材料・デバイス



掲載研究開発領域（32領域）



俯瞰区分	研究開発領域
環境・エネルギー応用	太陽電池
	蓄電デバイス
	パワー半導体
	ファイン触媒
	分離技術
	複合材料
	極限環境材料・計測技術
ライフ・ヘルスケア応用	バイオ材料
	ナノDDS・ナノセラノスティクス
	バイオ計測・診断デバイス
	バイオイメージング
ICT・エレクトロニクス応用	超低消費電力（ナノレベルデバイス）
	発光・表示デバイス
	フォトニクス
	スピントロニクス
	MEMS・センシングデバイス
	三次元ヘテロ集積
	ロボット基盤技術

俯瞰区分	研究開発領域
物質と機能の設計・制御	空間空隙設計制御
	分子技術
	元素戦略・希少元素代替技術
	マテリアルズ・インフォマティクス
	フォノンエンジニアリング
	量子技術
	二次元機能性原子薄膜
生物機能インスパイアード材料・システム	
共通基盤科学技術	加工・プロセス
	微細加工プロセス
	積層造形・レーザー加工
	接着技術
計測・分析	ナノ・オペランド計測技術
理論・計算	物質・材料シミュレーション
共通支援策	ELSI・EHS
	ナノテクノロジーのELSI/EHS、国際標準

国際比較表一覧 (32研究開発領域)



環境・エネルギー応用

国	フェーズ	太陽電池		蓄電デバイス		パワー半導体		ファイン触媒				分離技術				複合材料		極限環境材料・計測技術					
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	C1ケミストリー		人工光合成		気体と液体の分離技術		CO ₂ 分離技術		金属分離		宇宙分野		原子力分野			
		基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発		
日本	基礎	◎	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	→	○	→	○	→	○	→	◎	→
日本	応用・開発	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→	◎	→	○	↗	◎	→	○	→	◎	↗	△	↗	○	↘
米国	基礎	○	↗	○	→	◎	↗	○	→	○	↘	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	↘
米国	応用・開発	○	↗	△	→	◎	↗	◎	↗	△	↘	○	→	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	→	○	→	◎	↗	○	→	○	↘	◎	↗	○	→	○	→	○	→	◎	↗	◎	→
欧州	応用・開発	◎	→	○	↗	◎	↗	△	↘	△	↘	△	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↘
中国	基礎	○	↗	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	○	→	△	↗	△	↗
中国	応用・開発	◎	↗	◎	↗	○	↗	△	→	△	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗
韓国	基礎	○	↗	◎	↗	△	↘	△	→	△	→	◎	↗	△	→	○	→	△	→	△	→	△	→
韓国	応用・開発	○	↗	◎	↗	△	↘	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→

ICT・エレクトロニクス応用

国	フェーズ	超低消費電力(ナノエレクトロニクス) <th colspan="2">発光・表示デバイス</th> <th colspan="2">フォトニクス</th> <th colspan="2">スピントロニクス</th> <th colspan="2">MEMS・センシングデバイス</th> <th colspan="2">三次元集積</th> <th colspan="2">ロボット基盤技術</th>		発光・表示デバイス		フォトニクス		スピントロニクス		MEMS・センシングデバイス		三次元集積		ロボット基盤技術	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
		基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→	◎	↘	○	→
日本	応用・開発	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	○	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗
米国	応用・開発	◎	↗	○	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
欧州	基礎	○	↗	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→
欧州	応用・開発	○	↗	○	→	○	↗	△	→	◎	↗	◎	→	○	→
中国	基礎	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	×	→	△	→
中国	応用・開発	○	→	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	×	→	△	→
韓国	基礎	○	↗	○	→	△	→	○	↗	△	↘	△	↘	○	↗
韓国	応用・開発	○	↗	◎	→	△	→	○	↗	△	→	◎	→	○	↗
台湾	基礎	○	→									○	↘		
台湾	応用・開発	◎	↗									◎	→		

共通支援策

国	フェーズ	ナノテクノロジー	
		現状	トレンド
		基礎	応用・開発
日本	基礎	△	→
日本	応用・開発	×	→
米国	基礎	◎	→
米国	応用・開発	○	→
欧州	基礎	◎	↗
欧州	応用・開発	◎	↗
中国	基礎	○	↗
中国	応用・開発	○	↗
韓国	基礎	○	↗
韓国	応用・開発	○	↗

ライフ・ヘルスケア応用

国	フェーズ	バイオ材料		ナノDDS・ナノセラノス		診断バイオ計測		バイオイメージング	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
		基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	◎	→
日本	応用・開発	○	→	○	↗	○	→	◎	→
米国	基礎	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
米国	応用・開発	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗
欧州	応用・開発	◎	→	◎	↗	○	→	◎	↗
中国	基礎	○	↗	◎	↗	○	↗	○	↗
中国	応用・開発	○	↗	◎	↗	○	↗	△	↗
韓国	基礎	○	→	○	↗	○	→	△	↗
韓国	応用・開発	○	→	○	↗	○	→	△	↗
シンガポール	基礎							◎	↗
シンガポール	応用・開発							△	→

物質と機能の設計・制御

国	フェーズ	空間隙隙設計		分子技術		元素戦略・希少元素代替技術		マテリアルズ・インフォマティクス		フォノンエンジニアリング		量子技術		二次元薄膜性能		生物機能性・シールド材料	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
		基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発	基礎	応用・開発
日本	基礎	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗
日本	応用・開発	○	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	○	↗	○	→	○	→	○	↗
米国	基礎	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	↘	◎	↘	◎	↗	◎	↗	◎	↗
米国	応用・開発	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
欧州	基礎	◎	↗	◎	→	○	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	応用・開発	◎	→	○	→	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
中国	基礎	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗
中国	応用・開発	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	→
韓国	基礎	○	→	△	→	△	→	○	↗	○	→	×	→	○	→	○	→
韓国	応用・開発	△	→	○	→	×	→	×	→	○	↗	△	→	◎	↗	△	→

共通基盤科学技術

国	フェーズ	加工・プロセス						計測・分析		理論・計算	
		ブ微細加工		ザ形加工		接着技術		計測技術		理論・計算	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗
日本	応用・開発	○	↘	○	↗	○	↗	○	→	○	↗
米国	基礎	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗
米国	応用・開発	◎	→	◎	→	○	→	○	↗	◎	↗
欧州	基礎	○	→	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗
欧州	応用・開発	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	→	◎	↗
中国	基礎	○	↗	◎	↗	○	↗	△	→	○	↗
中国	応用・開発	○	↗	○	↗	○	↗	△	→	○	↗
韓国	基礎	○	→	△	→	○	→	△	→	△	→
韓国	応用・開発	◎	↗	△	→	○	→	△	→	△	→
台湾	基礎	△	→								
台湾	応用・開発	◎	↗								

(註1) フェーズ

基礎：大学・国研などでの基礎研究の水準
 応用・開発：応用研究・技術開発の水準

(註2) 現状

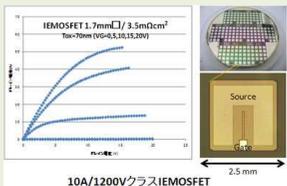
※わが国の現状を基準にした評価ではなく、CRDSの調査・見解による評価
 ◎ 特に顕著な活動・成果が見えている、 ○ 顕著な活動・成果が見えている
 △ 顕著な活動・成果が見えていない、 × 活動・成果がほとんど見えていない

(註3)トレンド

↗：上昇傾向、 →：現状維持、 ↘：下降傾向

次世代パワー半導体

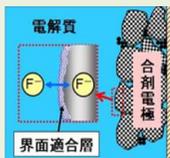
SiCやGaN、 Ga_2O_3 等のワイドギャップ半導体デバイスの実用化開発とシステム化に向けたモジュール開発が活発化。



SiC IEMOSFETと電気特性 (産総研)

次世代蓄電デバイス

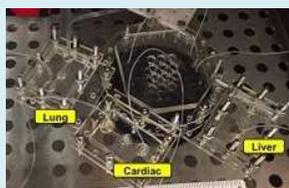
全固体型、アニオン移動型、金属-空気電池、Li硫黄など、次世代の高性能電池に期待が集まる。



アニオン移動型電池 (京都大学発表より)

ヒト体内動態再現モデル・チップ

ヒト体内における物質・材料や薬剤の動態をin vitro(生体外)で再現するモデル・チップの研究開発が進む。生物・医学研究、創薬、バイオ材料開発への応用に期待。



Scientific Reports, 7(1), [8837]

センサ・MEMS技術

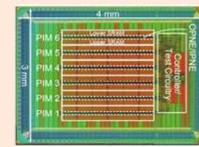
自動運転、IoT、POCTなどへの応用に向け、小型・高感度・低電力のMEMSを用いた物理センサや、生体物質検出用の化学センサの開発に期待。



高性能MEMSジャイロスコープ (東北大学)

革新的コンピューティング・デバイス技術

IoT/AI時代の高度な情報処理の実現に向け、デバイス・材料からアーキテクチャ、アルゴリズムに跨がる新たなコンピューティング技術開発に期待。



ハйнаリDNNチップ (北海道大学)

量子コンデバイス

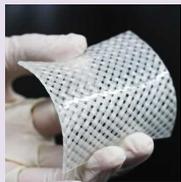
米国のGoogle、IBMなどがゲート型量子コンピュータの開発を加速。量子超越性の実現やキラーアプリによる量子化学計算、機械学習の高度化に期待。



極低温に冷却される量子コンピュータの心臓部

超複合材料

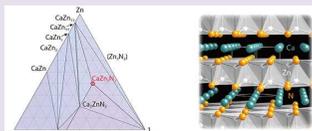
材料の力学特性発現メカニズムをナノスケールレベルで解明することで、既存の複合材料を凌駕する相反物性や複数物性を実現する革新材料に期待。



金属より強靱な「繊維強化ゲル」(北大)

データ駆動型材料設計

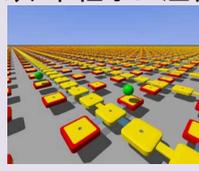
材料DBと機械学習など情報科学的手法を併用することで物質探索・設計手法を革新。開発期間を極端に短縮するマテリアルズ・インフォマティクス。



<http://www.titech.ac.jp/news>

トポロジカル物質

数学におけるトポロジー(位相幾何学)で特徴付けられる物質群。次世代の電子デバイスや量子デバイスの候補として、トポロジカル絶縁体やマヨラナ準粒子に注目。



トポロジカル量子計算用デバイスの模式図 (NIMS)

3Dプリンティング

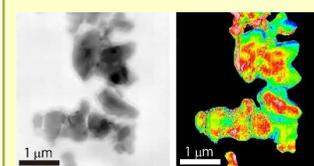
積層造形技術による強度や耐久性に優れた金属部品の製造に向け、装置の開発とともに、各種の合金原料、シミュレーションの技術開発が活発化。



ハニカム人工関節 (TRAFAM)

オペランド計測

時間・空間・エネルギー・角度分解能の向上や分光法と顕微法による複合同時計測を実現。実作動下における現象の精密な可視化、定量化に期待。



タイコグラフィXAFSによる機能可視化 (理研・阪大・名大)

新しい技術の登場と社会課題の顕在化によって ナノテク・材料の技術世代は重層的かつ階層的に進化



先鋭化	融合化	システム化
<p>要素技術の原子・分子レベル、ナノスケールの極限性能追求・実現</p>	<p>極限まで先鋭化された要素技術同士の学際的な研究を通じ異分野融合を惹起。複数技術が結合することで新機能を有する融合技術へ</p>	<p>課題解決に資する高度な機能を提供する部品・装置・システムへ。先鋭化した諸々の要素技術が融合して生まれた新たなマテリアル技術が、価値創出システムへと統合される</p>
<p>ex. 計測技術</p> <p>対象がマクロスケールのバルク結晶から、原子・分子個々の分解能の走査型プローブ顕微鏡や収差補正電子顕微鏡、単分子分光技術等へ進化。初めて明らかになった構造は、新しいマテリアル設計のアイデアの創出へ</p>	<p>ex. 環境・エネルギー</p> <p>キーデバイスとしての蓄電池、エネルギー変換デバイス、さらに人工光合成、ガス分離などへの期待。マテリアルのイノベーションが要求され、デバイスを構成する電極・電解質材料など、個々の材料の性能追求ではなく、デバイス全体としての性能向上に向けた、構成要素材料群の最適化が必要となる</p>	<p>ex. 健康・医療</p> <p>生命科学の膨大な知の集積と最先端半導体技術、電子・光技術との融合から生まれるイノベーション。マイクロ流路など人工ナノデバイス上でDNAや細胞・生体組織の検出・同定を行う。機能性ナノ粒子をDDSの輸送物質として活用したり、細胞培養環境を提供する足場材料を導入する事で、細胞を固定し分化誘導するなど、治療・診断技術の革新へ</p>
<p>ex. 微細加工</p> <p>シングルnm以下の領域へ突入した素子の微細化技術、リソグラフィを始め、製造・ものづくりに関わる全ての要素技術の革新が求められている。先鋭化の過程は新しい概念も登場させながら、不断の研究開発が必須となる</p>	<p>ex. AI / IoTデバイス</p> <p>微細化に伴い、ゲート絶縁膜の薄膜化が要求、既存のSiO₂膜では素子性能の向上は期待できず、高誘電体材料の開発、新規ゲート電極材料の開発が不可欠。微細化技術の追求とそれに伴う新材料の導入・開発を合体させた融合化技術の登場が、AI/IoTチップの性能向上に必須</p>	<p>ex. AI / IoTデバイス</p> <p>メモリ、演算、通信、センシング、イメージング、エネルギー供給といった多様な機能を複数チップで実現、それらを3次元的にヘテロ集積した一体化システムを実現する期待が高まっている。エッジAIを搭載したロボットや、生活支援システムが可能になる</p>

高強度軽量複合材料 (ボディ、車台、タンク)

- ・繊維強化複合樹脂
- ・金属/樹脂接合材料

排ガス浄化触媒 (NO_x, CO, HC)

- ・ナノ構造多元触媒
- ・MOF

高性能バッテリー (LIB, FC) 高出力耐高温モータ

- ・正極/負極材料
- ・電解質膜
- ・高イオン伝導材料
- ・高性能磁石

環境・エネルギー技術



監視・測長センサー

- ・高精度GPS
- ・ミリ波レーダー
- ・レーザーライダー(Lidar)
- ・高出力レーザーヘッドライト

自動運転制御

- ・大容量3Dマップ
- ・高精度ジャイロ
- ・超高速CPU (実時間処理)
- ・車間、車/道路間通信



モニタリング

- ・イメージセンサー
(可視光、赤外光)
- ・ドライブレコーダー用
大容量不揮発メモリ

スマート・フレキシブル ディスプレイ

- ・有機EL、OLED
- ・曲面/3D投影

超小型電力素子

- ・AI/IoTデバイス
- ・GaN/SiCデバイス

自動運転 技術

- SDGsの17ゴールは、マテリアルだけではできないことばかり
- しかしそこには、根源的にマテリアルにしかできないことが多く含まれている

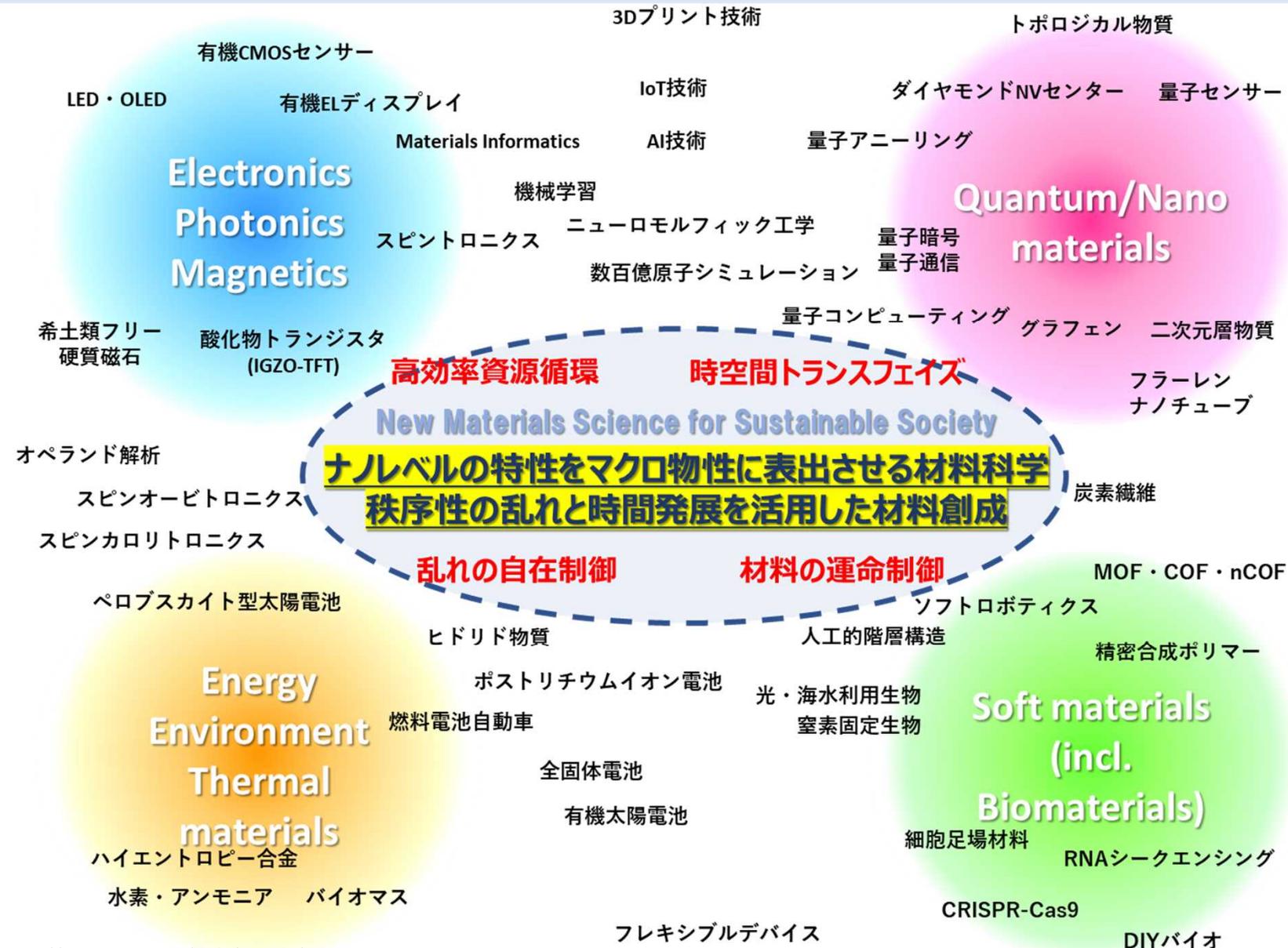
- 大気や水を綺麗にするシステム
- モビリティの軽量化、温室効果ガス削減
- フレキシブル電池、どこでも再エネ発電
- 炭素循環、CO₂から素材を生み出す



- 原子分子レベルでマテリアルを精緻に制御し、さらに応用のシステム全体を設計することが求められる時代に
- これは人間の身体がおこなっていることと同じで、ライフ・ヘルスケアシステムを設計することと本質でつながる
- 学術と産業の区分けを意識しすぎてはいけない。両者が重なる面積は今後拡大に。この境界領域・融合領域こそ、マテリアルがSDGs実現に重要な貢献をする

俯瞰ワークショップ° ナノテクノロジー・材料分野

区分別分科会「物質と機能の設計制御～材料科学の未来戦略～」 2018.9.22-23開催



10のグランドチャレンジ（重要技術）と6つのニーズ



10技術

構造物の省エネ・強靱化を実現する
ナノ・マクロの力学制御技術

近未来の知的集約型社会を支える
量子状態制御技術

安全・安心、健康で快適な社会システムに求められる
センサ融合技術

少子高齢化社会に貢献する
ナノ・メカ・IT・バイオ統合ロボティクス

生体现象を能動的に制御し、ヘルスケアに貢献する
バイオアダプティブ材料・設計技術

ポストムーア時代を牽引する
IoTデバイス集積技術

資源制約を打破する
次世代元素戦略・マテリアルサイクル

物質合成プロセスや吸脱着プロセスを革新する
物質分離・分解技術

相反物性・新機能・高機能実現のための
多機能・複雑系の新材料設計技術

新物質・材料開発の基盤技術
データ・計算・計測・プロセス統合技術

6ニーズ

安全・低環境負荷の**交通・輸送**

- ・ 高強度軽量複合材料、排ガス浄化触媒材料
- ・ 超小型パワーデバイス、蓄電池/燃料電池、
- ・ 高出力耐高温モータ、高精細ジャイロセンサ
- ・ フレキシブルディスプレイ、超高速CPU

安全・快適社会へ**IoT/AIチップ・量子デバイス**

- ・ 超低消費電力デバイス、エッジコンピューティング
- ・ 小型高感度センサ（光・物理/化学・バイオセンサ）
- ・ 量子コンピュータ、量子通信
- ・ 超高感度量子センサ

ウェアラブル**健康・医療モニタリング**

- ・ 高選択性・分子認識能材料/デバイス
- ・ 脳機能センシングとAI解析
- ・ ヒト体内動態モデリング、細胞・組織制御材料
- ・ 遠隔医療・診断を可能にするセンサネットワーク

人と共生する**サービスロボット**

- ・ 自律的行動を可能にするセンシング機能、認識・判断・予知機能（3D画像センサ・軽量ジャイロ・匂い/炎/騒音センサ、高性能CPU・5G通信・AI）
- ・ 柔軟軽量アクチュエータ、筐体（ソフトロボット）

水・大気・鉱物資源の循環を可能にする**スマート材料**

- ・ 汚染水/塩水分離・吸着膜材料
- ・ ガス分離・吸蔵材料
- ・ 鉱物資源分離（環境汚染物質除去、希少物質回収）

省／創／蓄エネのための**先端材料・デバイス**

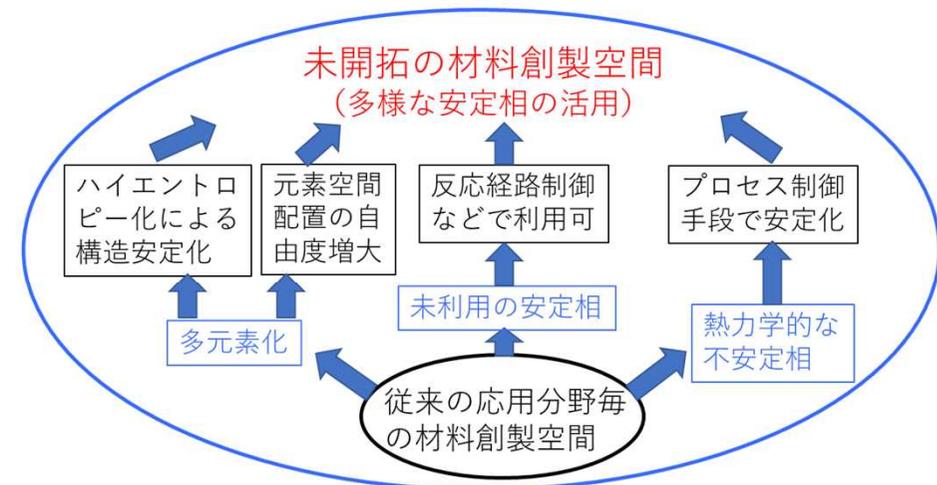
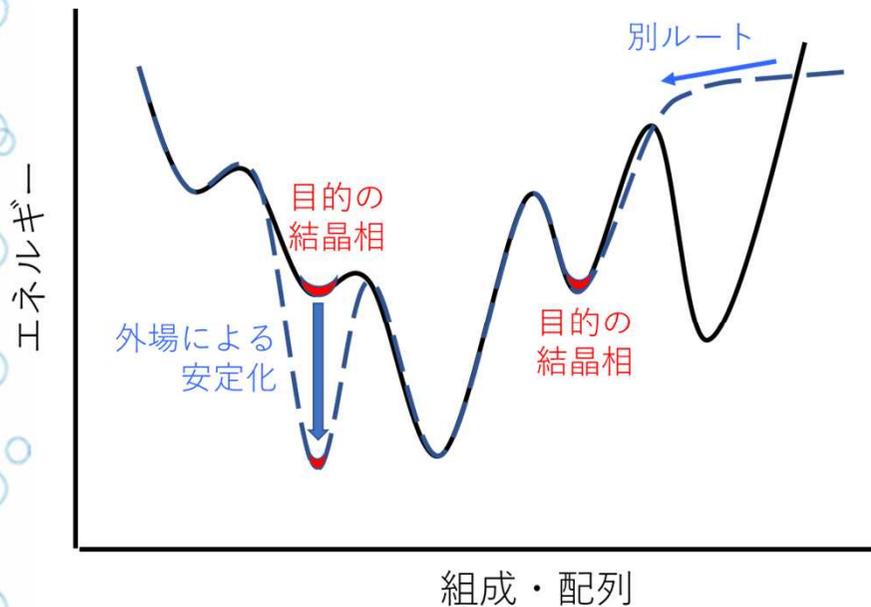
- ・ 高性能蓄電池、燃料電池、太陽電池
- ・ 高Tc超伝導材料、高ZT熱電材料
- ・ 高効率人工光合成
- ・ 高輝度蛍光体、高磁気材料・磁石材料

未来材料開拓イニシアチブ ～多様な安定相のエンジニアリング～

従来の応用分野毎（電池、磁石、熱電材料、構造材料、触媒・・・）の限定された材料探索・創製範囲から脱却し、新たな**多様な安定相の活用による、未開拓材料開発に挑戦**

多元素化：元素空間配置の自由度拡大、エントロピー制御による構造安定化

- 未利用の安定相：反応経路制御
- 熱力学的な不安定相：プロセス制御による安定化



複合材料の高度化

- ① 新たな設計・成形技術開発
- ② 破壊メカニズムの解明
- ③ プロセスコストの低減

新規力学材料への展開

発光性メカノクロミズム、有機超弾性、超低摩擦ポリマー、高靱性ダブルネットワークゲル、耐熱性自己治癒セラミックス など

- ✓ **寿命**
- ✓ **信頼性**
- ✓ **耐久性**

接着・接合・溶接・剥離

- ① 異種材料接着・接合のための界面科学
- ② 接着力の起源となるナノ・メソ・マクロ現象の解明
- ③ 多様な外部刺激を利用した解体性接着
- ④ 半導体デバイスに関する接合・剥離技術

- ① 接触界面における現象理解と実用機器への展開
- ② 「なじみ」現象の物理的・化学的解明と低摩擦設計手法の確立

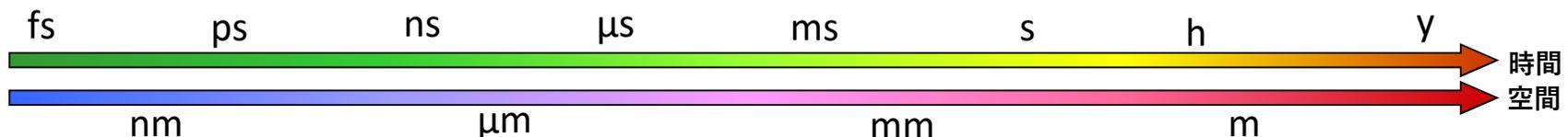
摩擦・摩耗

- ① 損傷界面における原子・分子的挙動の解明
- ② 自己修復力の定量的な指標および計測評価手法の確立

自己修復

トランススケール科学

トランススケール工学、シミュレーション技術、ナノ構造およびマクロ構造のオペランド計測評価技術

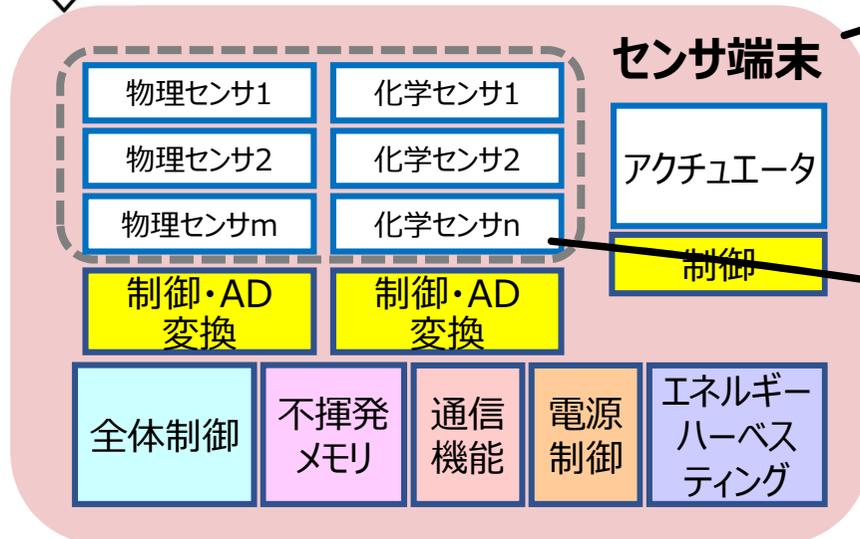
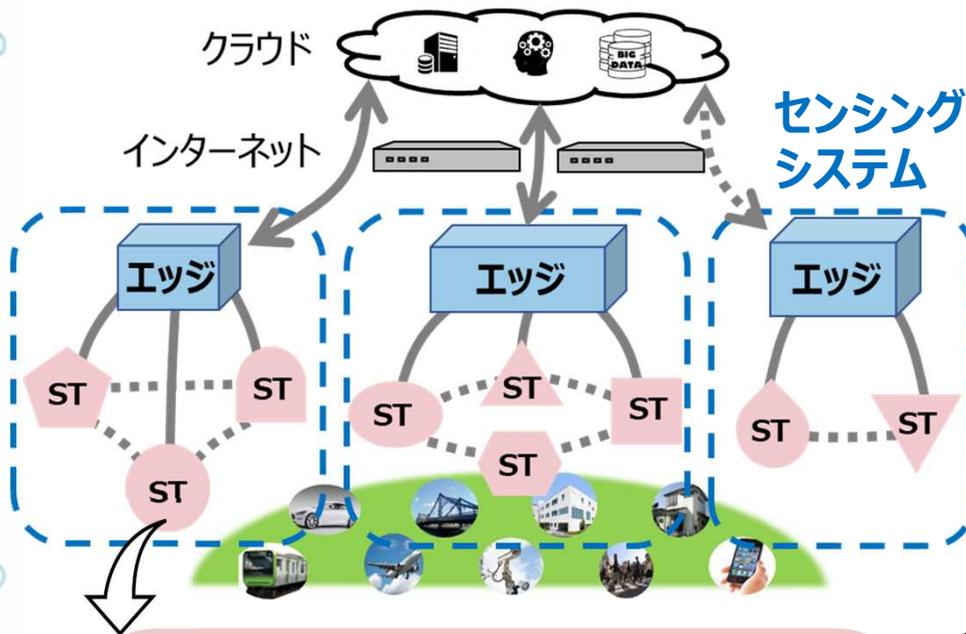


IoT時代のセンサ融合基盤技術の構築

(※CRDS戦略プロポーザル
2020.3 発行予定)



センシング情報の高付加価値化に向けた多様なデータの取得と統合的処理



課題1 センシング情報の統合的処理

センシングシステム
アーキテクチャ、
センサフュージョン、etc.

課題2 センサ端末の最適化・高機能化

アナログフロントエンド、
小型・軽量、長寿命、
マルチモーダル、etc.

課題3 センサ性能の向上

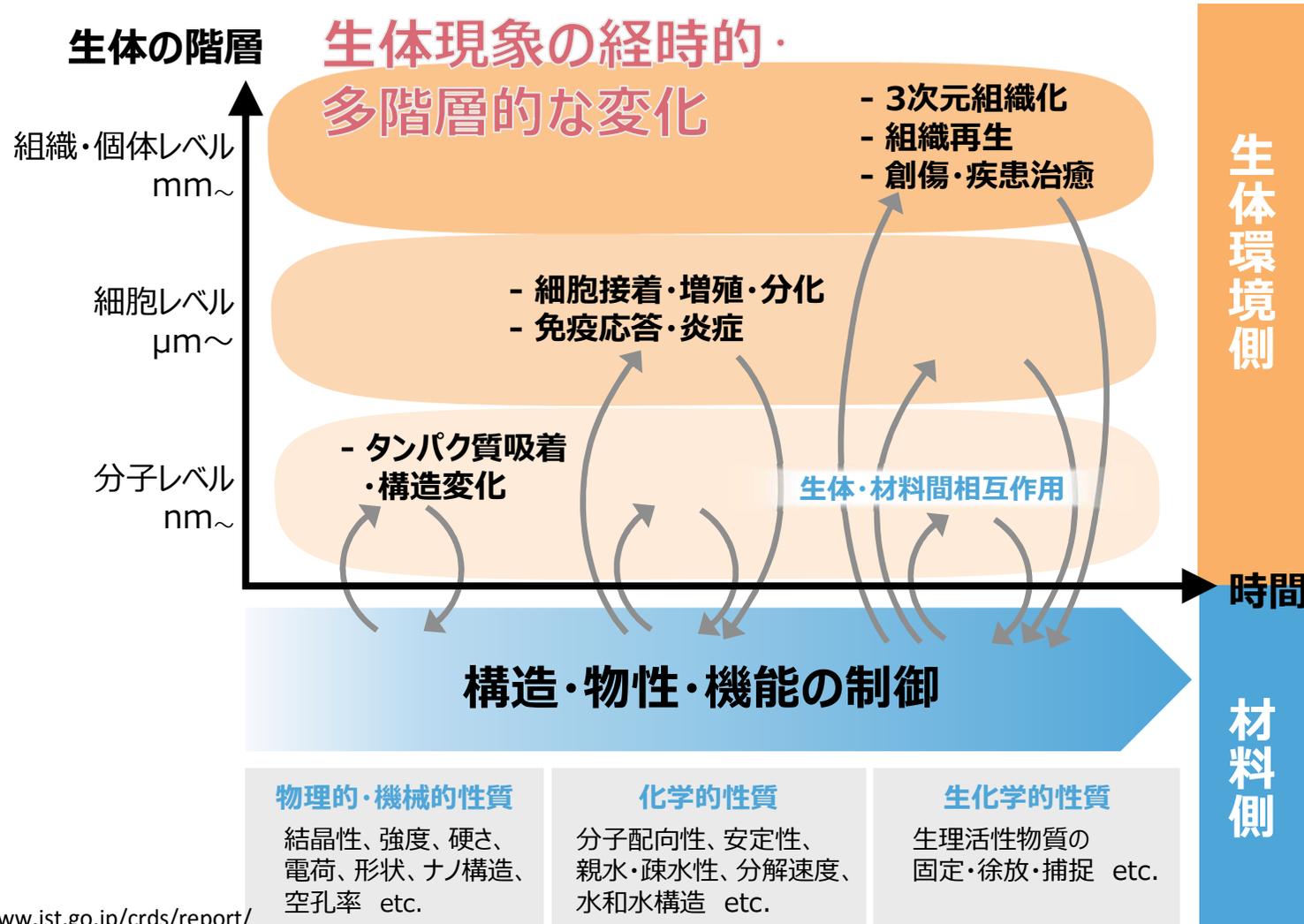
高感度、高選択性、
アレイ化、新検出原理、
etc.

<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2019/SP/CRDS-FY2019-SP-10.pdf>

ヘルスケア社会の鍵となる「バイオアダプティブ材料」



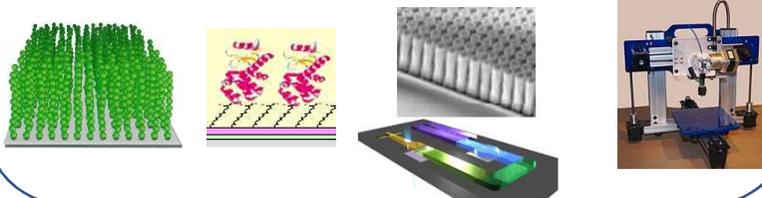
生体環境に適応、能動的に生体/材料相互作用を活用して目的機能を発揮



合成・加工技術

ナノ・マイクロ加工、精密合成、3D造形など
⇒ 精緻な材料設計・創製

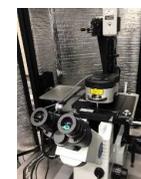
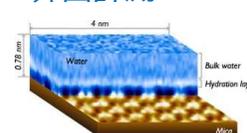
精密重合、表面修飾、生体分子固定
ナノ・マイクロ加工、MEMS技術、 μ -TAS
3Dプリンタ



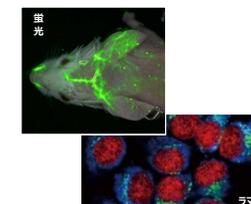
固液界面観察、生体イメージング

1分子計測、分光分析、生体イメージングなど
⇒ 分子・細胞レベルその場観察

生理環境（水溶液中）
界面計測



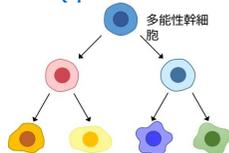
バイオイメージング



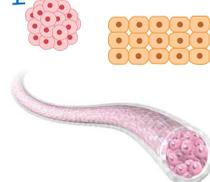
細胞関連技術の高度化

幹細胞の作成・培養・分化など
⇒ 再生医療研究、創薬応用研究

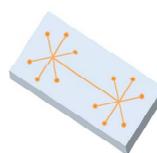
分化誘導



3次元培養



臓器チップ



オミクス、データ科学

次世代シーケンサ、プロテオームなど
⇒ 生体情報の網羅的解析、生体现象の理解

スーパーコンピュータ、
ビッグデータ解析



1000ドルゲノム、
次世代シーケンサ



質量分析



Courtesy of Pacific Biosciences of California, Inc., Menlo Park, CA, USA

～化学物質としてのプラスチックの安全な管理・活用を推進するための戦略的研究

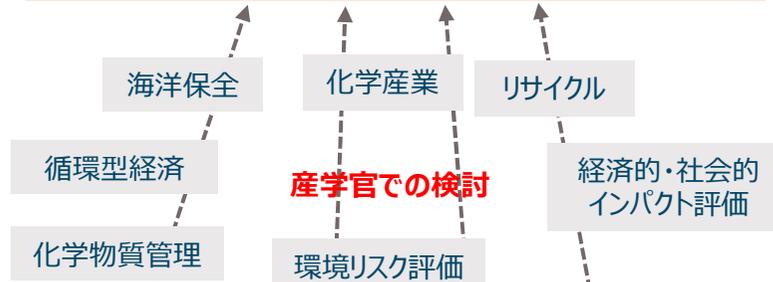
ミッション：

海洋プラスチックごみ問題解決

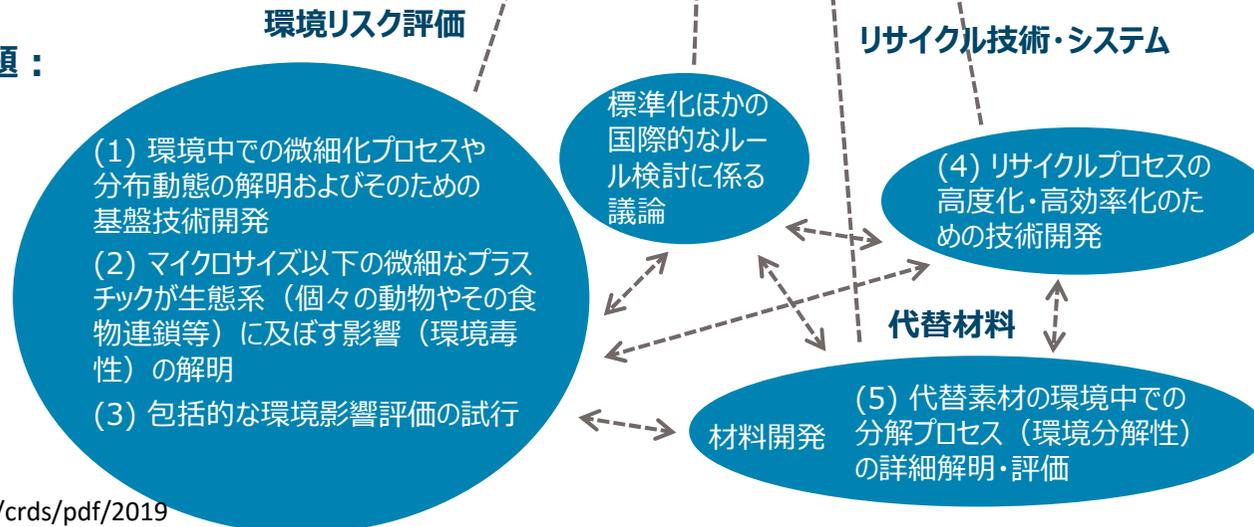
環境調和型プラスチック戦略

- ナノ・マイクロプラスチックの環境リスク評価の実施
- 国内リサイクル処理能力の強化
- 環境分解性を備えた新素材開発

関連分野・セクター等：



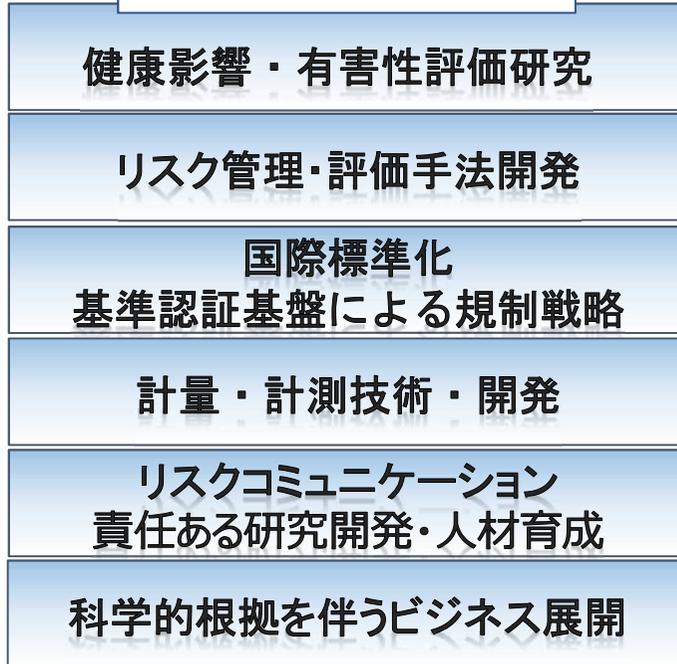
研究開発課題：



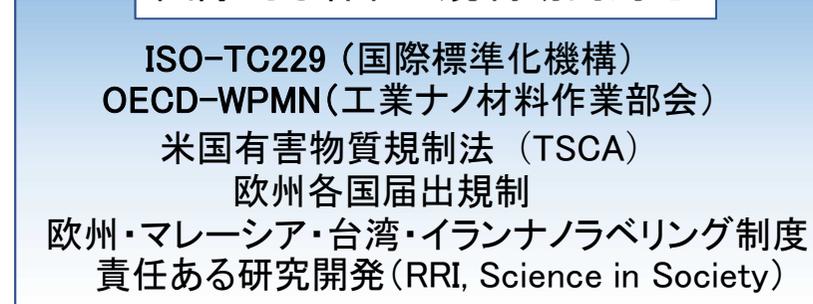
責任あるナノテク・材料研究開発の在り方 (ELSI/RRI)



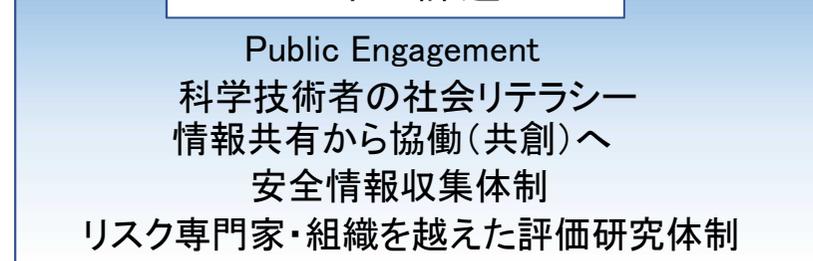
主要6項目



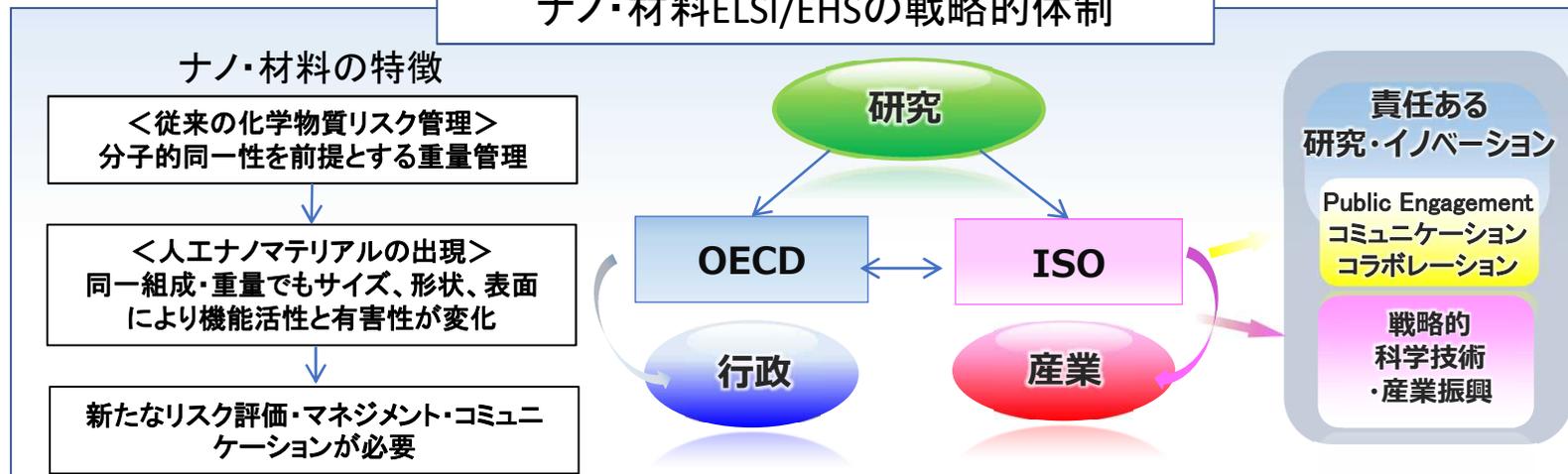
国際的な枠組と規制動向対応



日本の課題



ナノ・材料ELSI/EHSの戦略的体制



世界：持続可能な開発目標（SDGs）

日本の目指す姿：世界の中で日本のプレゼンスを発揮し、個人が個性を発揮して活躍できる社会の実現へ

- ・日本の文化、価値観と並ぶ科学技術力のブランド強化
- ・個の能力の拡張、研究インフラの進化とカスタマイズの両立

社会的課題の克服
(少子高齢化、社会インフラ、等)

Society 5.0の推進

産業競争力強化



強化する材料・デバイス基盤技術：

- ・プレゼンス向上技術：技術統合・システム化、小型・省エネ・高信頼化のコア技術（センサー、機能材料、ものづくり基盤 [加工・プロセス、信頼性・安全性評価等]）
- ・強化の方向性：信頼性・安全性に関わるメカニズム解明、ハード+ソフト（サービス）、革新的技術への挑戦

強化方策：

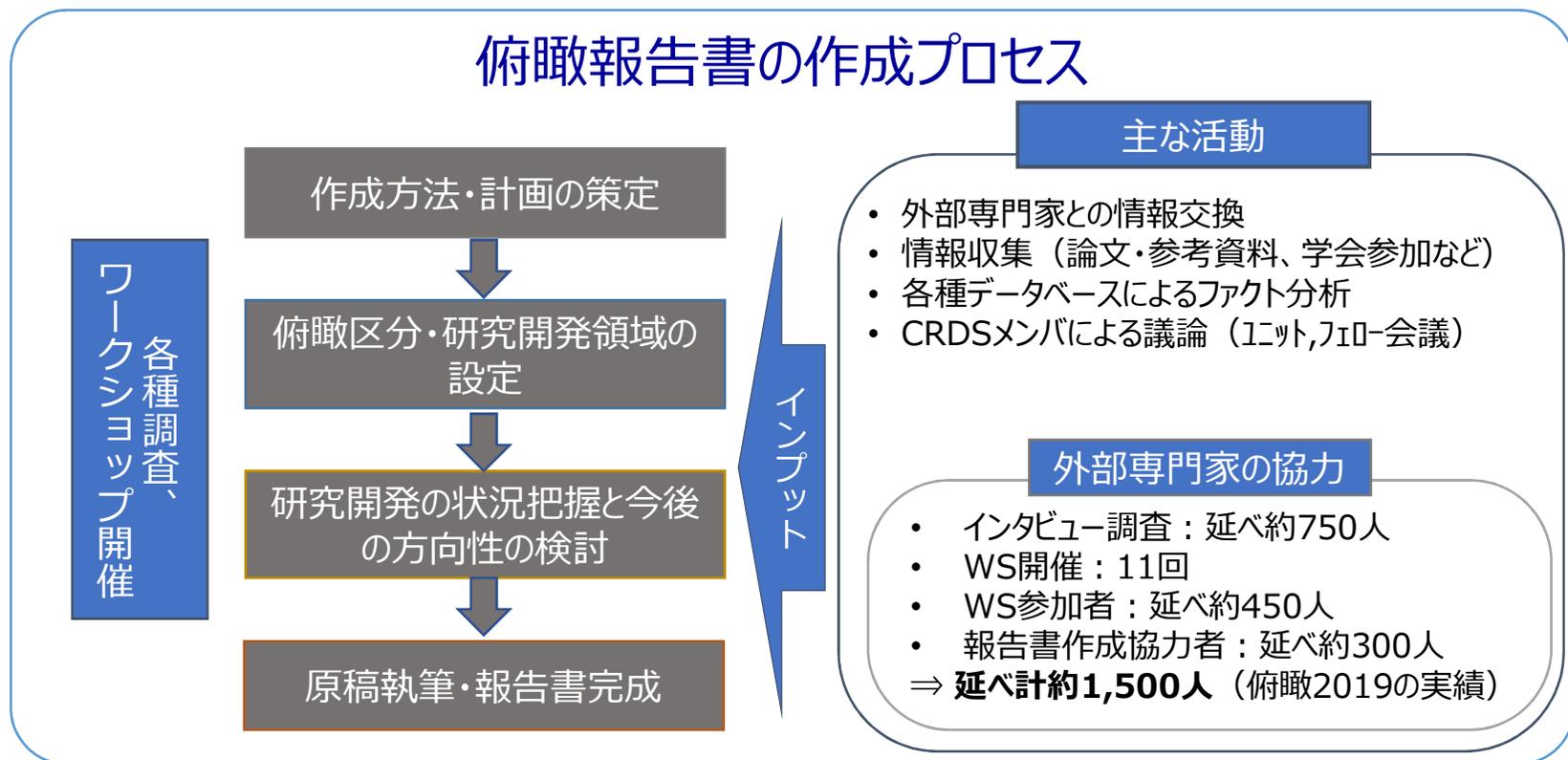
- ・プロセス基盤、データ連携基盤の産学官連携拠点整備と世界的エコシステム構築
- ・有望技術の加速とベンチャー創出への支援、基礎・応用・開発・試験の成果指標構築
- ・長期的視点の継続的なプロジェクト推進と、次世代リーダーへのバトンタッチ

参考資料

研究開発分野と国内外の科学技術イノベーション政策の動向を俯瞰するため、主要分野（ナノテク・材料、システム・情報、環境・エネルギー、ライフ・臨床医学）ごとに全体像や新たな潮流、主要研究開発領域の詳細技術動向、政策的課題や各国動向、日米欧中韓の国際比較などをまとめたもの。（隔年発行）

研究開発戦略立案の基礎資料・根拠資料として、CRDS内に留まらず、関係府省や研究者コミュニティ、産業界等の内外で活用

俯瞰報告書の作成プロセス



1章	俯瞰対象分野（ナノテクノロジー・材料研究）の全体像（約100ページ）
1.1	俯瞰の範囲と構造
1.1.1.	社会の要請、ビジョン
1.1.2.	科学技術の潮流
1.1.3.	俯瞰の考え方（俯瞰図）
2.1.	分野の研究開発を取り巻く現状（世界と日本）
1.2.1.	社会・経済の動向
1.2.2.	研究開発投資や論文、コミュニティ等の動向
1.2.3.	主要国の科学技術・研究開発戦略の動向
1.2.4.	研究開発の動向
1.2.5.	社会との関係における問題
1.3.	今後の展開・方向性
1.3.1.	今後重要となる研究の展望・方向性
1.3.2.	日本の研究開発力の現状
1.3.3.	国として推進すべき重点テーマ
1.3.4.	研究開発体制・システムのあり方

2章	研究開発領域 →6区分32研究開発領域の 最新動向（＝約400ページ）
2.1.	環境・エネルギー区分（7領域）
2.2.	ライフ・ヘルスケア区分（4領域）
2.3.	ICT・エレクトロニクス（7領域）
2.4.	物質と機能の設計制御（8領域）
2.5.	共通基盤科学技術（5領域）
2.6.	共通支援策（1領域）

■ 俯瞰ワークショップ ナノテクノロジー・材料分野 区分別分科会

- 「再生可能エネルギー大量導入時代を見据えたエネルギー材料・デバイス研究開発」
2017年12月13日開催
(WS報告書) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2017-WR-10.html>
- 「共通基盤科学技術（製造加工）－デジタル情報を基にした製造加工の姿」
2018年 3月11日開催
(WS報告書) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2018-WR-02.html>
- 「共通基盤科学技術（計測分析）－オペランド計測技術」
2018年 3月10日開催
(WS報告書) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2018-WR-01.html>
- 「物質と機能の設計制御～材料科学の未来戦略～」
2018年9月22日-23日開催
(WS報告書) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2019-WR-01.html>

■ 全体会議

- 「世界を先導する材料・デバイス研究の方向性」
2018年9月1日開催
(WS報告書) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2018-WR-08.html>



マテリアル分野における 重要技術・研究領域について (産業・市場の視点)

NEDO技術戦略研究センター

- 2014年4月、技術戦略研究センター（TSC）は、調査・研究を通じ、産業技術やエネルギー・環境技術分野の**技術戦略の策定**及びこれに基づく重要な**プロジェクトの構想**に取り組む研究機関として設立。
- 以下に掲げる6つのミッションを達成することで、エネルギー・地球環境問題の解決及び産業技術力の強化に貢献。
- 「産業技術政策の策定に必要なエビデンスや知見を提供する重要なプレイヤー」として、**政策当局と一体となった活動を展開**。

1. 国内外の**技術情報等の分析・動向調査**を行う。
2. **重要分野の技術戦略を示す**。
3. 技術戦略に基づく**重要なプロジェクトを構想**する。
4. 横断的な**プロジェクトマネジメント手法を開発・整備**する。
5. プロジェクトマネジメントを担う**人材を育成**する。
6. 適切な情報発信等による**技術戦略の社会への浸透**を図る。

- 技術は社会実装されてこそ価値を生むため、TSCでは、重要な技術・研究分野を、**グローバルな社会課題・産業ニーズ、市場動向、技術動向**の視点から分析を実施。

- **グローバルな社会課題**
(社会課題の体系化と構造化
(TSC技術ツリー図))

社会・産業
ニーズ

- 国内外の政策動向
(日本：統合イノベーション戦略、
エネルギー基本計画等)
(海外：米国、EU、中国等)

重要分野

- 先端技術や
企業・機関の動向
(論文・特許動向、
NISTEPデルファイ調査、
CRDS俯瞰報告書等)

技術

市場

- **グローバル市場
の動向**
(日本企業の国際競争
ポジションに関する調査
(TSC) 等)

分析① グローバルな社会課題

- グローバルな社会課題を起点とした重要な技術領域の検討・探索が重要
- TSCでは、社会ニーズの解決策となりうる技術領域を探索する中で、「サステナビリティ（持続可能性）」を共通課題として重要視

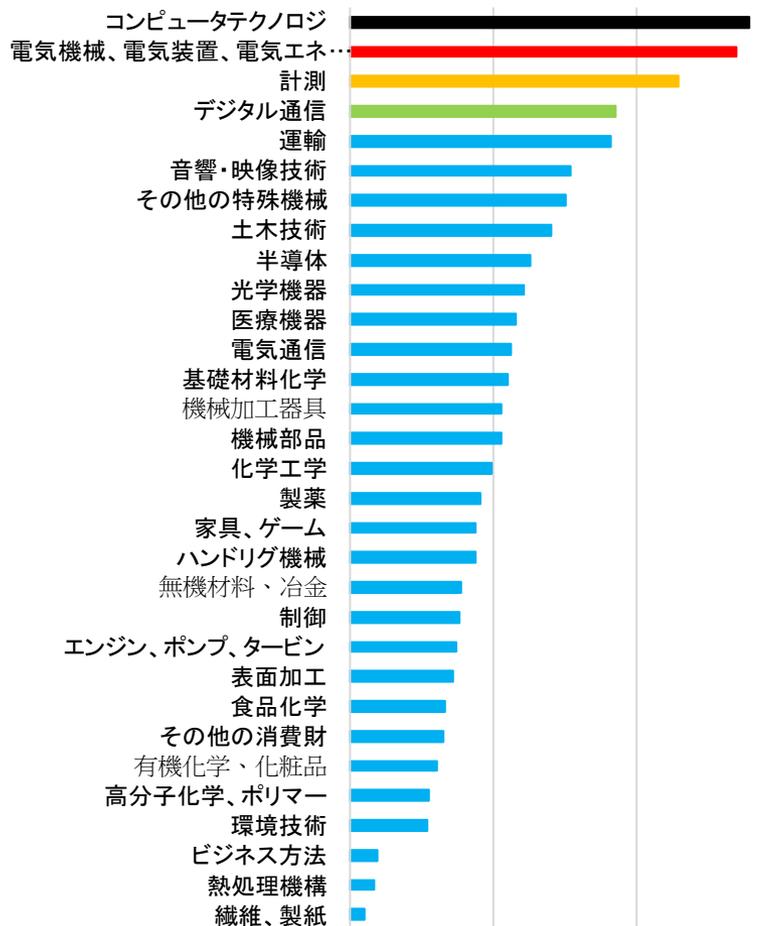
1.	エネルギー	持続可能なエネルギー、エネルギーアクセス、3E+S、エネルギー源多様化、省エネ、エネルギー利用効率化	11.	資源	持続可能な資源利用、3R、保護、回復、宇宙利用、海洋、陸上
2.	格差	経済、地域、年齢、性別など格差解消	12.	消費と生産	モノ・情報の飽和、持続可能な生産、生産責任、価値の創造、モノ・コトの創造、バリューチェーン、サプライチェーン
3.	移動	モノ・ヒトの移動手段、交通事故、渋滞、安全な移動	13.	情報	セキュリティ、ネットワーク、Society 5.0、サイバー空間、リアルデータの収集・活用
4.	衛生	感染防止、伝染防止、生活環境の汚れ、海洋汚染、環境汚染	14.	水	水資源、水処理、上下水道
5.	気候変動	大気汚染、CO2、NOx、温暖化、異常気象	15.	世界平和	戦争、紛争、法制度、兵器取引、テロ、組織犯罪
6.	共感	社会受容性、幸せ、感動、ニーズ発掘、娯楽、コミュニケーション、QOL、価値観・感性の把握	16.	生物多様性	動植物・細菌・微生物などのあらゆる生物多様性の確保
7.	教育	教育の質向上、生涯学習、人間力・創造力、人材育成	17.	都市計画	持続可能なインフラ、居住環境、震災復興
8.	経済	経済情勢の変化、持続的経済発展、産業構造、不況、地域経済、制度、標準化	18.	農林水産	飢餓、土壌、土地、持続可能な食料確保、食品ロス、食品安全、食品ロス、食品産業の高付加価値化
9.	健康長寿	少子化・高齢化、労働人口の減少、介護、医療費の増大、社会保障費	19.	防災	災害予測、応急対応、防災設備
10.	研究開発	産学官連携、協調と競争の切分、戦略	20.	労働	労働生産性、産業保安、人材マッチング、労働衛生、労働の高度化

- 特許・論文分析を踏まえると「デジタル」、「環境」、「材料科学」、「計測技術」、「エレクトロニクス」が技術のキーワード。

分野別特許出願数の伸び率

(% : 2001-2010→2007-2016)

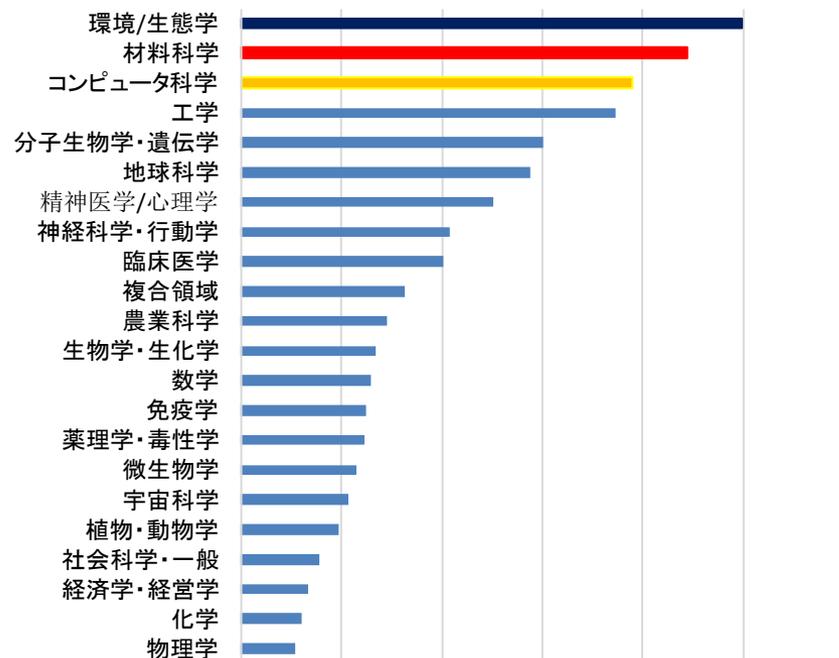
0 50 100 150



研究分野別の論文数の伸び率

(% : 2011-2016)

0 10 20 30 40 50 60



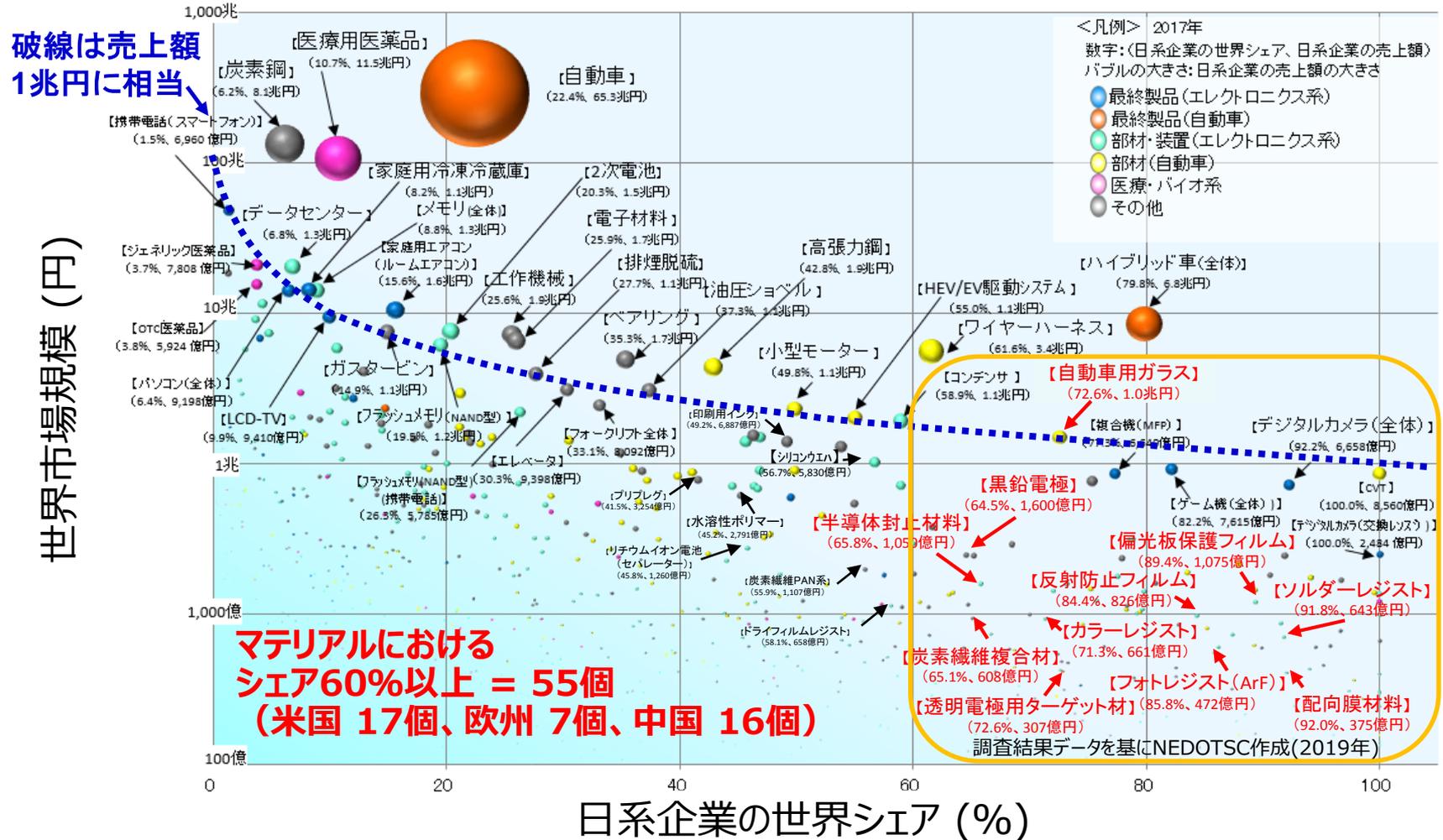
(注) Essential Science Indicators
の分野分けによる。

出典：平成30年度特許出願動向
調査報告書からNEDOTSC作成

分析③ 世界市場における日系企業のポジショニング分析 NEDO

Technology Strategy Center

- 日系企業は自動車で大きな市場を形成。機能性材料等の「**マテリアル**」関連は**60%以上のシェアを持つ製品群が圧倒的に多く**、サプライチェーンの根幹を支えている。



<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

「社会的価値」に繋げるための「産業技術力」の実現

- ・ グローバルな社会課題として考える必要がある「**サステナブル**」
- ・ 個々人の生活や社会の快適性を高める可能性を秘めた「**デジタル**」
- ・ それらのモノやサービスをサプライチェーン上で支える「**マテリアル**」

本格的なデジタル化・サービス化へ対応

デジタル

快適、活力、質の高い生活を
実現する社会 (Society 5.0)

社会課題と経済成長の同時解決

サステナブル

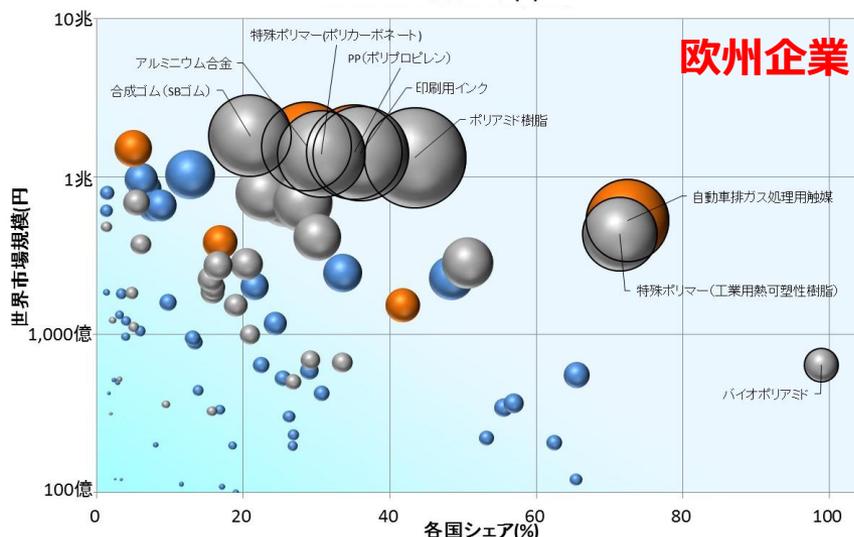
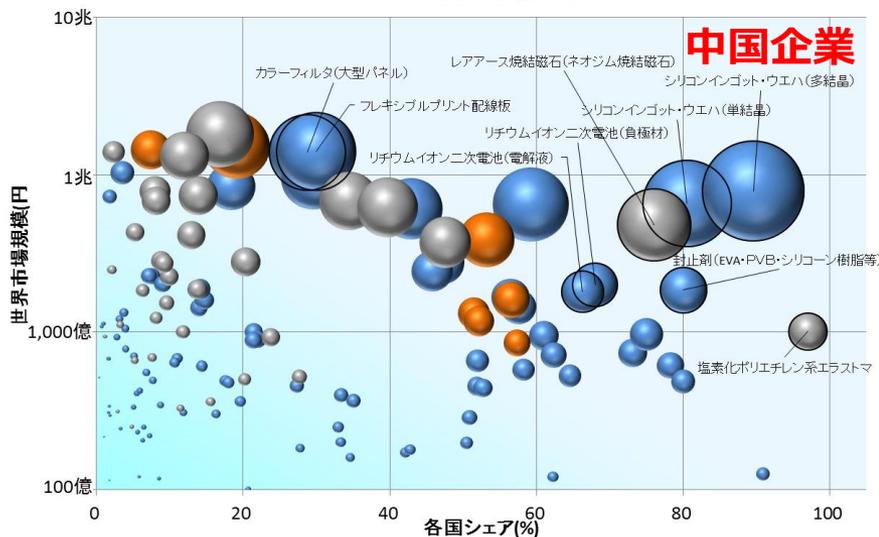
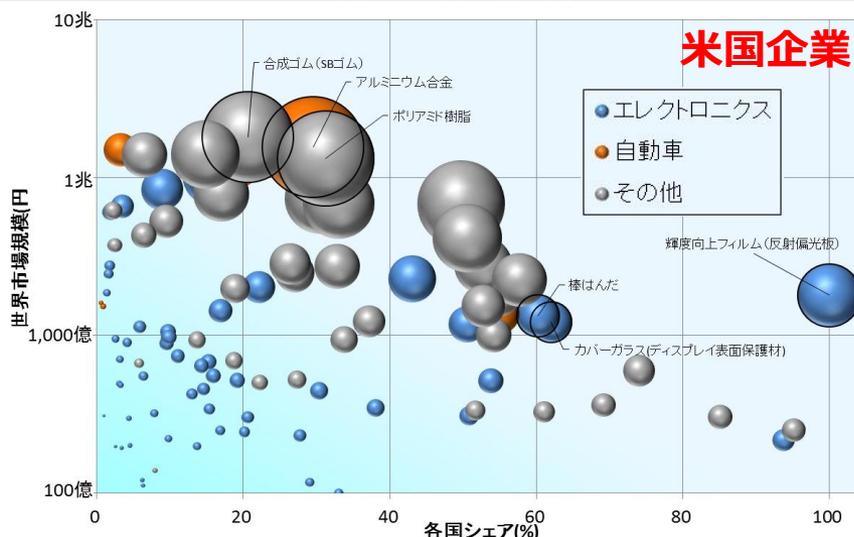
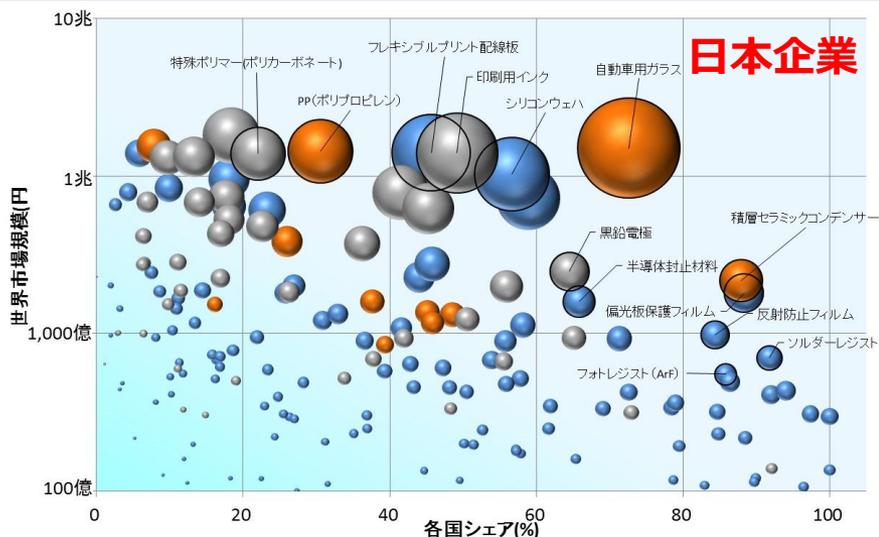
サーキュラーエコノミー、バイオエコノミー、
持続可能なエネルギーが経済合理性を持って
成り立つ社会

マテリアル

サプライチェーンの根幹をおさえる

世界のマテリアル市場における四極企業の比較

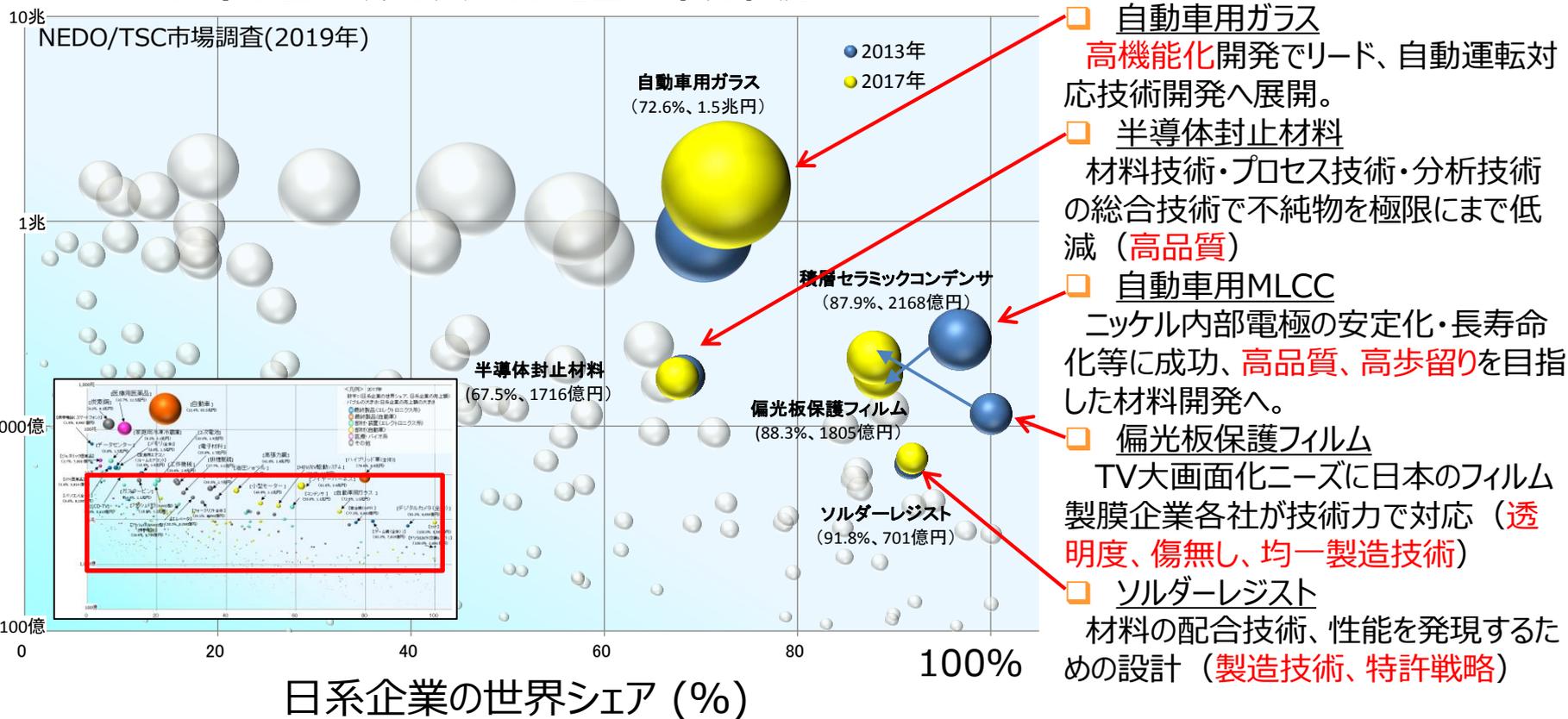
- 高付加価値材料（日本）、コモディティ化した材料（中）、特殊機能材と基幹材料（米）、環境規制対応等に関連する材料（欧）がそれぞれシェア獲得。



● 日本のマテリアルの強みは「**高品質**」とそれを実現する「**高い製造技術**」。

■ 「**高品質（～高機能・高性能・高付加価値）**」と「**模倣困難な高い製造技術**」の強みを活かしたマテリアルの差別化が高いシェア獲得に繋がっている。

日本が強いマテリアルの例と当該業界状況



- コモディティ化すると国際市場での競争力が急速に低下。
- マテリアルズ・インフォマティクス(MI)等の技術革新により開発競争がさらに激化している。

「太陽光発電」に関する特許出願件数推移

MIによるマテリアル開発短期間化の実例

TSC調査：技術戦略分野における特許分析2019

出典：素材におけるイノベーションの役割と期待（経産省、平成30年）、およびマテリアルズ・インフォマティクスによる材料開発（住友銀行、2019）を元にTSCにて作成

マテリアル分野が直面する課題②：資源問題

● 国際情勢の変化により、**資源の確保とリサイクル**への必要性が拡大。

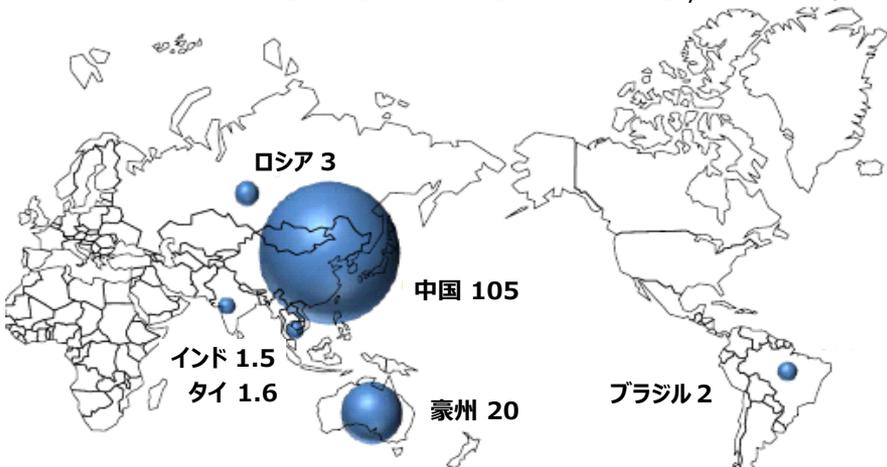
■ 特定国／地域に偏在する資源、輸出国との関係変化、SDGsへの対応の緊要性が増大。
マテリアルの高機能化に必要なリン、レアアース、レアメタル等の資源調達リスクが増大している。

日本の黄リン輸入相手国 (2017年合計 21,249 t)



最大産出国中国の輸出規制。

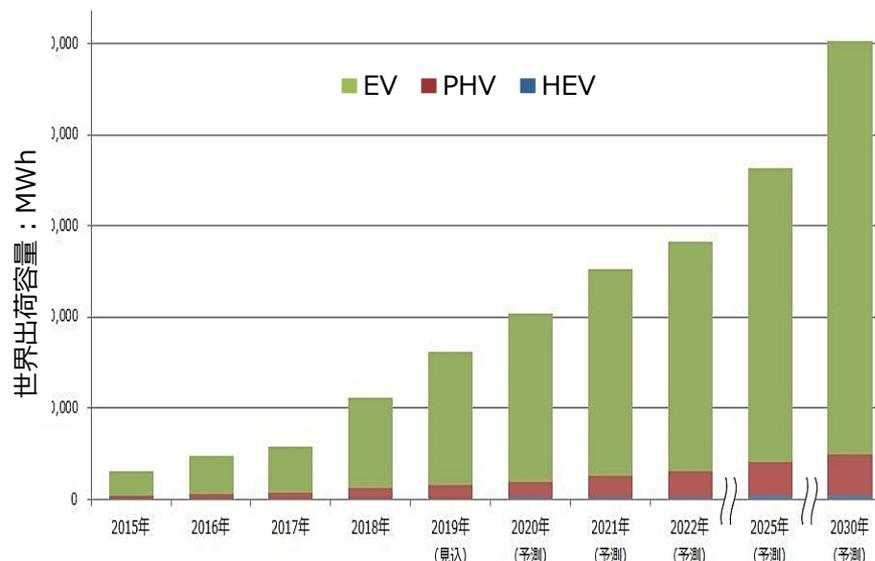
レアアース鉱石主要生産国 (2017年合計, 千 t-REO)



最大生産国は中国（占有率79%）。

出典：鉱物資源マテリアルフロー2018 (JOGMEC) を元にTSCにて作成

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TSCにて作成

LiBの普及に伴い、**LiBリサイクルへのニーズが増大**。

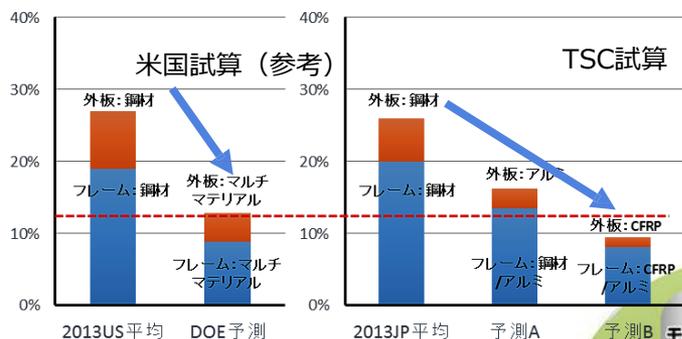
また、レアメタル等 (Co、Ni、Li) は海外偏在資源。
LiBの回収・再資源化がクローズアップ。

EV分野の技術動向とマテリアル開発の方向性

- EVのCASE対応におけるマテリアル開発のトレンドは、「軽量化」「省エネ・リサイクル・環境」「高度解析技術」。

航続距離向上のための軽量化

軽量材料が車両重量に与えるインパクト試算



高度な機能を発現する材料

EV化、電子デバイスや高機能センサの利用による新たなサービス、モビリティの創造

センサ、パワー半導体、エッジAI、



出典：トヨタ自動車ニュースリリースより転載 (2018)

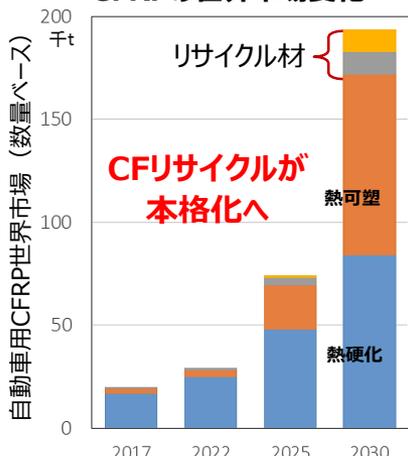
MaaS市場予測

→6兆円 (国内:2030)、900兆円 (世界:2050)



出典：「環境展望台」ホームページより

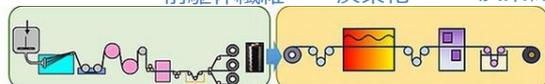
CFRPの世界市場変化



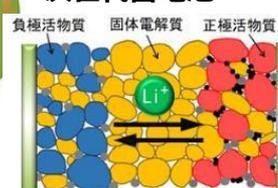
省エネ・リサイクルによる環境対策が重要

CFの省エネ・低環境負荷製造プロセス

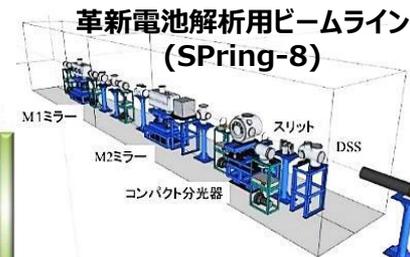
耐炭化不要 前駆体繊維
マイクロ波炭素化
革新炭素繊維



次世代蓄電池



高分解能構造観察・解析



高度解析技術による材料高機能化開発

高効率モータ (希土類磁石)



出典：炭素繊維複合材料 (CFRP/CFRTP) 関連技術・用途市場の展望2019 (富士経済)

マテリアル技術開発の視点

共通基盤的技術

高品質化とそれを実現するプロセス技術高度化

- ・マテリアル高機能・多機能化・高付加価値化を支える要素技術、日本のモノづくり力の進化

マテリアルズ・インフォマティクス/高度先端解析技術

- ・AIやビッグデータを活用した材料設計、データの共用
- ・高度解析技術による高精度データの創出

特に重要な技術開発の取組

- ・界面・粒界制御技術、反応制御技術、物質空間・結晶性制御技術
- ・プロセスインフォマティクス

- ・ハイスループットデータ取得技術、データセキュリティ保全技術、異種材料界面分析技術、オペランド評価技術

個別応用技術

資源戦略・マテリアルリサイクル

- ・市場が拡大する蓄電技術、ライフサイクルアセスメント(LCA)を考慮したモビリティの実現

環境負荷低減

- ・エネルギー消費を大幅に低減するモビリティの軽量化技術
- ・インフラ等の長寿命化を実現するマテリアル

高度な機能を発現する材料

- ・環境変化や刺激に応答して機能が変化するマテリアル
- ・極限環境等で機能を発現するマテリアル

- ・Liイオン電池・アルミニウム・CFRP等のリサイクル技術、希土類の戦略的活用

- ・軽量化技術、マルチマテリアル設計、異種材料接合技術、自己修復材料

- ・センサ、光や熱を自在に操る材料、高耐熱性蓄電池、刺激応答材料

日本の強み「プロセス技術」の更なる高度化

- マテリアルイノベーションは、**材料開発とプロセス技術開発の両輪**の推進によって実現。
- 日本企業の強みであるプロセス技術の優位性を保つための**更なる高度化、情報科学と融合（プロセスインフォマティクス PI）**、**アカデミアとの連携が必要**。

材料開発



プロセス技術開発



マテリアルイノベーション

- ◆ 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MI活用により競争が激化

- ◆ 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により多様な材質を自在に制御可能に。



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：

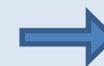
<優れた研究シーズ>

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

- 素材メーカーはユーザー企業からの厳しい要求と連携によって鍛えられてきたと同時に、川下産業の市場が素材産業の競争力へ直結。
- 日本のマテリアル産業を更に強くするためには、研究開発を支える「分析機器」産業や、プロセス技術を支える「装置」「プラント」産業の強化も必要。

素材メーカー

マテリアルを支える製造プロセス技術

基礎研究

開発

試作

量産化

厳しい要求

ユーザー企業

新たな材料の利用

エンドユーザー

エンドユーザー

分析機器メーカー
・高度分析技術

加工・装置メーカー
・高精度制御技術

プラントメーカー
・大型化すり合わせ

基準・規格等

素材メーカーを支える産業