



平成29年7月19日
ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略検討作業部会
文部科学省

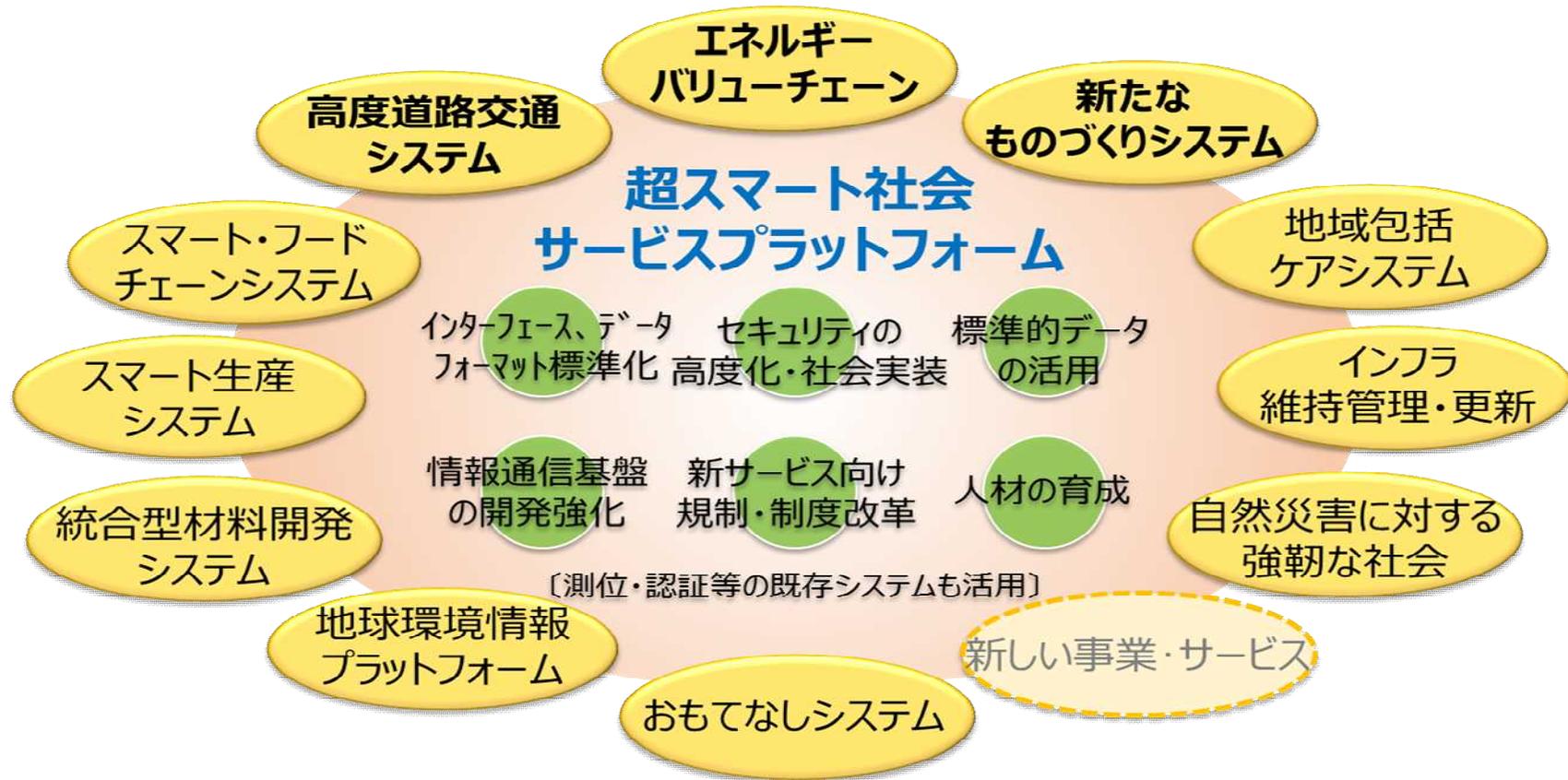
ナノテクノロジー・物質・材料分野の今後の進むべき方向性について

渡慶次 学

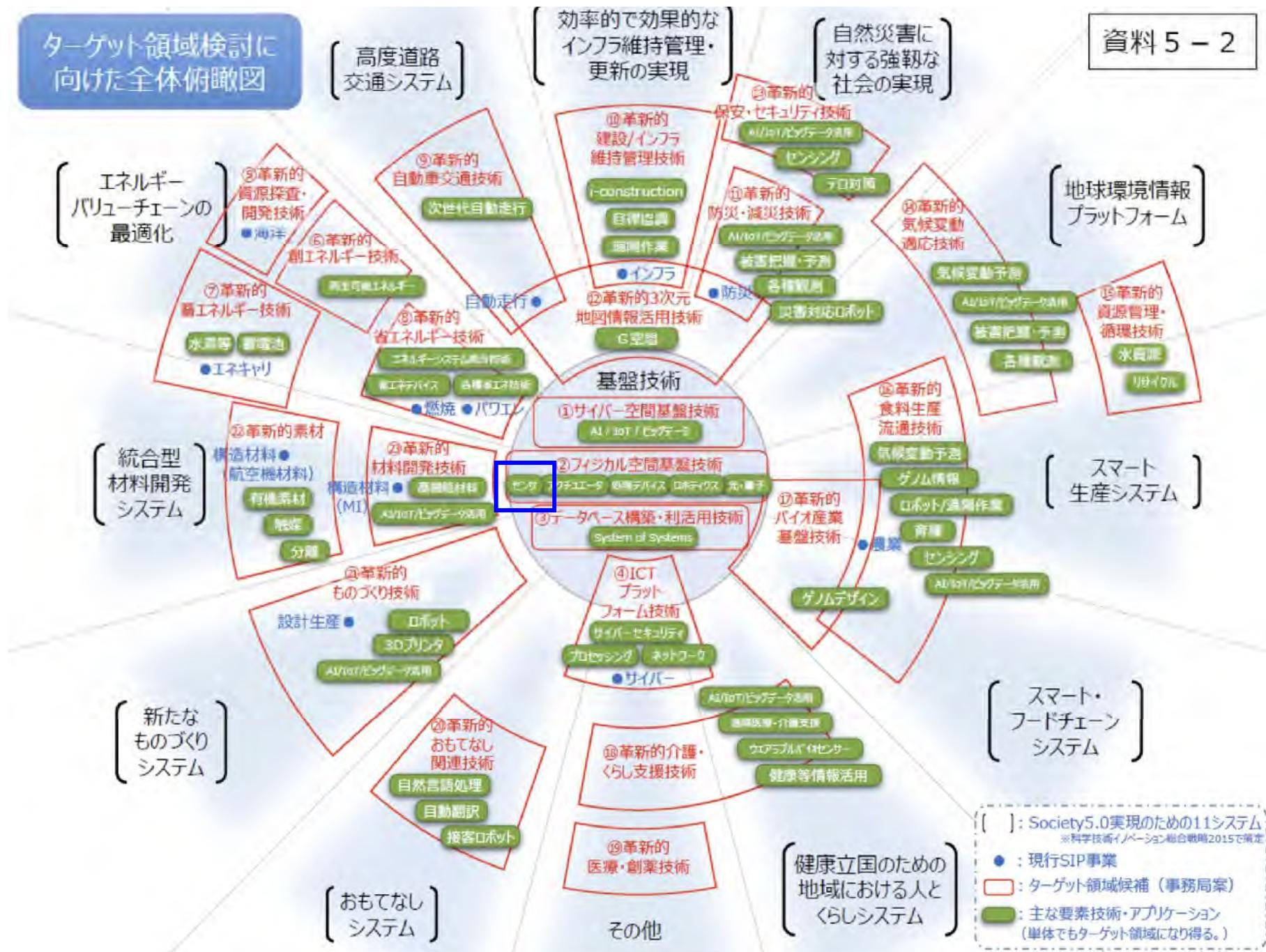
北海道大学大学院工学研究院
名古屋大学ImPACT先進ナノバイオデバイス研究センター
名古屋大学予防早期医療創成センター
名古屋大学未来社会創造機構

超スマート社会 (Society 5.0)

「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」であり、人々に豊かさをもたらすことが期待される

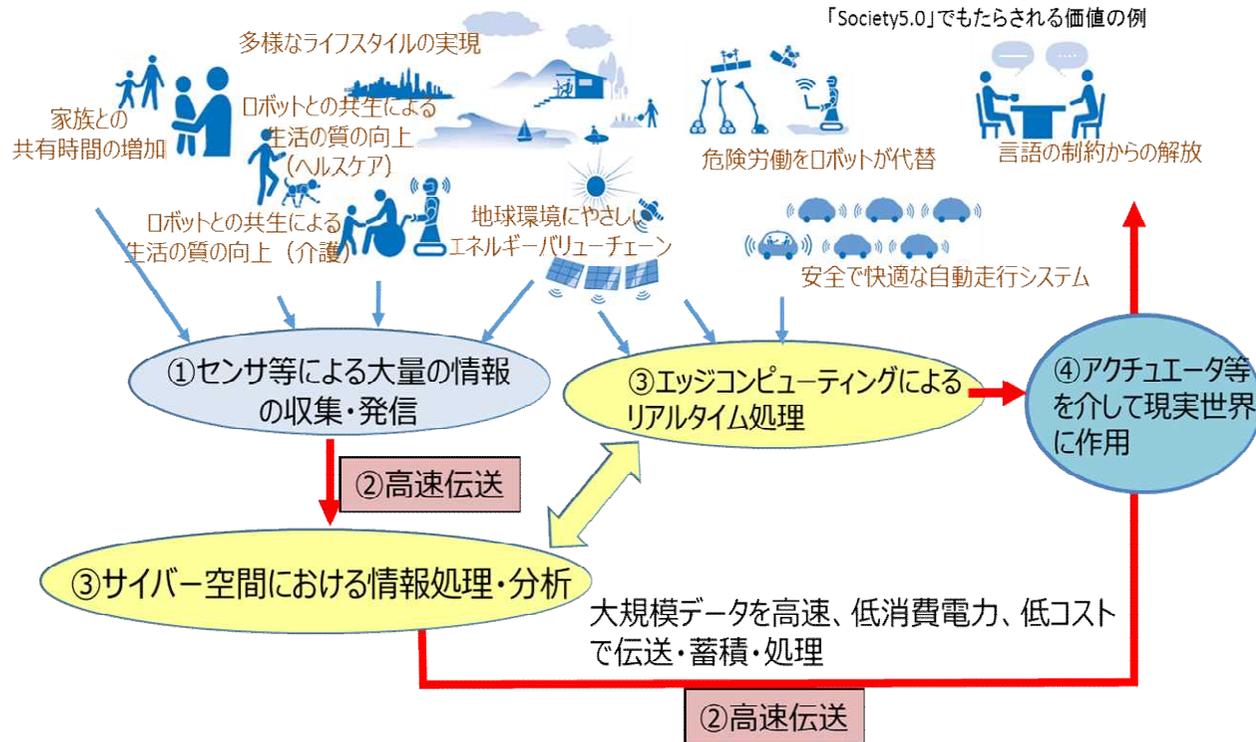


ターゲット領域検討に向けた全体俯瞰図



スマートセンシングシステム(無意識・継続・非侵襲・低コスト)

Society 5.0 : サイバー空間とフィジカル空間(現実空間)が高度に融合



日常生活における

- ・生体センシング
- ・環境センシング
- ・生活習慣センシング

トイレ, 車, 職場・家庭(空間)

ビックデータ解析

スマート介入

- 早期発見・疾患予想(個人)
- スマート発見(←AI)
- 新たな診断法・治療法
- 生活・環境改善

超スマート社会

- ・安全・安心
- (フィジカル・メンタル)
- ・心地よい
- ・医療費削減

第1回ナノテクノロジー・材料科学技術委員会資料

日本主導の安全・安心・心地よい超スマート社会の実現

関連技術・産業の創出とグローバル展開

文部科学省における研究開発計画

- ②広範な社会的課題の解決に資する研究開発の推進
 - ア.エネルギーの安定的な確保とエネルギー利用の効率化
 - イ.資源の安定的な確保と循環的な利用
 - ウ.世界最先端の医療技術の実現による健康長寿社会の形成
 - エ.効率的・効果的なインフラの長寿命化への対策／国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現
 - オ.ものづくりの競争力向上
 - カ.更なる社会課題への対応

第1回ナノテクノロジー・材料科学技術委員会資料から抜粋

✓ センシングと問題解決(基盤・応用)技術が必要:

生体 → 診断ナノデバイス, ナノDDS, 再生医療, ナノロボット, 臓器チップ

環境 → 環境用ナノバイオセンサ, Exosomeバイオンサ

アグリ → システムバイオロジー, テーラーメイド機能食品

Society5.0の実現や、更なる未来社会の実現に向けて
、
ナノテク・材料の研究開発に関する方向性・問題意識・議論すべき事項の提案

物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 異材接着材料G
東京大学大学院新領域創成科学研究科
内藤昌信

Society5.0の実現に向けて：問題意識・議論すべき事項

システム

Society5.0：超スマート社会
(人間中心の社会)
→社会基盤づくり

システム化：市場創出・定着
環境整備

デバイス

アセンブリ化：最適な材料を選定し、
アセンブルする目利き・司令塔と
チーム（グループでない）
水平分業/Collaborative networks

材料

ナノテク：材料づくりの基盤技術

第5期科学技術基本計画



超スマート社会で求め
られる材料は？

問題意識：2030年に日本がフラッグ
シップを取るべきシステム・デバイスは
？

実現に必要な要素技術の抽出

↓ 材料に落とし込み

必要なナノテク材料は何か？

議論すべき事項

ナノ材料の先鋭化・深化（現状の理解と展望）

ナノ材料を産業材料につなげる仕組み（時間・コスト）→企業のセンス

既存材料の活用：性能を飛躍的に向上させる取り組み→新しいサイエンスのタネ

2030年に日本がフラッグシップを取るべきシステム・デバイスとは？ 高分子材料の位置付け

自動車の自動運転

システム

事故のない車社会：車＝快適空間……………

構造・材料設計の刷新

→材料の安全率の低減
→軽量化・構造最適化
(適材適所で金属—FRP—樹脂の組み合わせ)

デバイス

アセンブリ化：異材接着→欧州に20年の遅れ……………

(元々日本が強かった分野)

レオロジー→大学では減少傾向

3D造形→今のところ、限定的

データ駆動型材料科学

Collaborative networks

計算科学

- ・CAE解析
- ・粗視化 MD など

ビックデータ

- ・信頼性・破壊・劣化
- ・機械学習・非還元的解析

計測技術

- ・界面・バルク
- ・環境因子

プロセス・成型加工：射出成形（最先端は欧州企業）
海外：多くの国/EUプロ（飛行機・自動車向け）

コンポジット化：素材の性能向上
従来は経験的→MGI(米) の課題の一つ

材料

産業界：世界トップレベルの素材力……………

アカデミック：合成技術（精密合成・触媒）

- ・高分子物理・構造解析

材料に求められる性能

信頼性・生産性・補修性・易解体性・リサイクル性など

2030年に日本がフラッグシップを取るべきシステム・デバイスは？

将来の実装化を見据えた異分野融合

量子コンピュータと高分子（例えば）

研究開発の本流

フェイズが揃う開発段階

システム

2030年：日本製量子コンピュータが
人工知能のコアシステムに

エッジ・コンピューティングとIoT

デバイス

レーザーネットワーク方式（NII: 日本）
D-Wave Systems（カナダ）・
Google（米）がビジネス先行

有機エレクトロニクス
センサー・アクチュエータ

↑
集積化

材料

量子アニーリング：西森
量子ビット：蔡・中村
トポロジカル量子

導電性高分子
LED材料



Society5.0実現に向けたNIMSの当面の取組

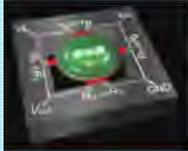
未来投資戦略2017より

- 我が国の強みに政策資源を集中投資
 - (i) モノづくりの強さ
 - ① ものづくりの現場がある
 - ② **データ取得に必要なセンサー・デバイスの強み**
 - ③ ロボットなど ものづくりの強み

CSTI-官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) 30年度設定領域

- サイバー空間基盤技術 (AI/IoT/ビッグデータ)
- **フィジカル空間基盤技術 (センサ/アクチュエータ/処理デバイス/ロボティクス/光・量子)**
- 革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術

産業化への実績 (MSSアライアンス) 例) においセンサの開発



強力な産学官連携機能

世界最先端の研究基盤

様々なデバイスの開発実績
(非還元論的解析手法の確立)

マテリアルズ
インフォマティクス

非還元論的
手法の応用

センサ開発等に
資する基盤技術

国内最大規模の
データプラット
フォーム

ハードマテリアルでのセンサ/アクチュエータ
デバイスの開発技術

Society5.0の実現

サイバー空間 (仮想空間) とフィジカル空間 (現実社会) との融合

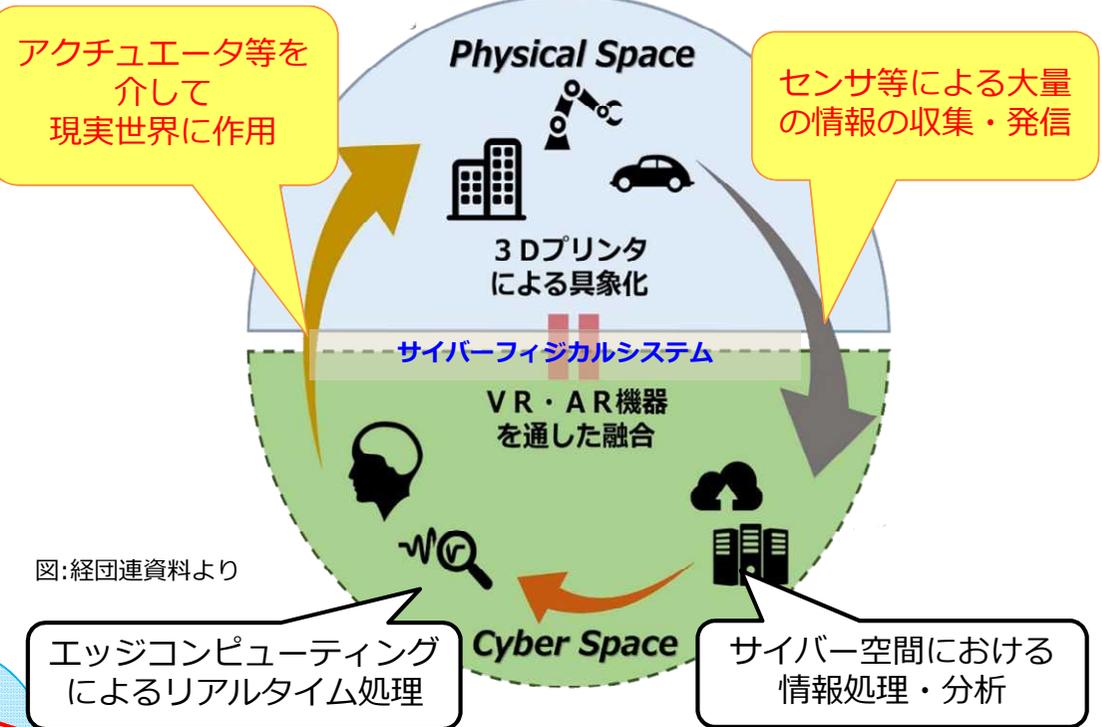


図:経団連資料より

革新的センサ・アクチュエータ 国際研究拠点の構築

人間社会との融合するウェアラブルな
革新的センサ・アクチュエータの研究開発

多種多様な計測対象の大規模同時センシング
AI解析の組み合わせにより非還元論的アプローチ
既存センサー技術の汎用化と高度化による
【新しいセンサ・アクチュエータ材料の開発】

材料の物理特性を用いた機械学習法: Physical reservoir computingの視点

中嶋浩平

東京大学大学院情報理工学系研究科

先端人工知能学教育寄附講座/ JST さきがけ

2017/07/19

第1回ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略検討作業部会
15F特別会議室（文部科学省15階）³¹⁻

Soft Robotics: exploiting soft materials for devices

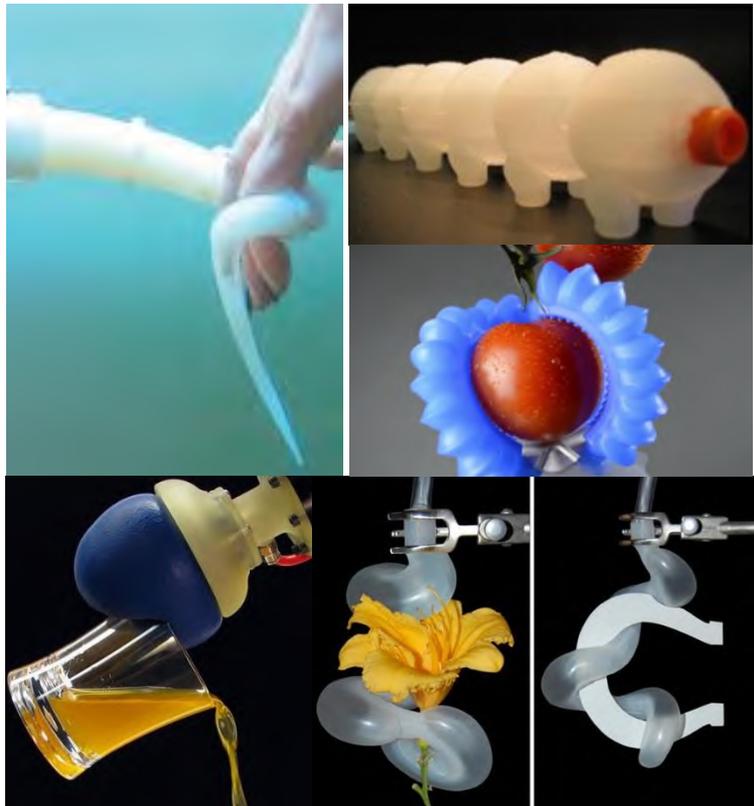
(やわらかいデバイス固有の特性)

Good

- **伸縮自在に形を変えられる!**
→レスキューロボット、有機半導体、etc
- **人にやさしい相互作用!**
→高齢者用ユーザ・インタフェース、手術用ロボット、etc

Bad

複雑で多様なダイナミクス!
大自由度、非線形性、弾性（記憶）のため、制御するのが非常に困難!



Brown, E., et al., *PNAS* 107, 18809 (2010).
Martinez, R. V., et al., *Adv. Mater.* 25, 205212 (2013).



“この特性をむしろ有効活用してやることはできないか？”

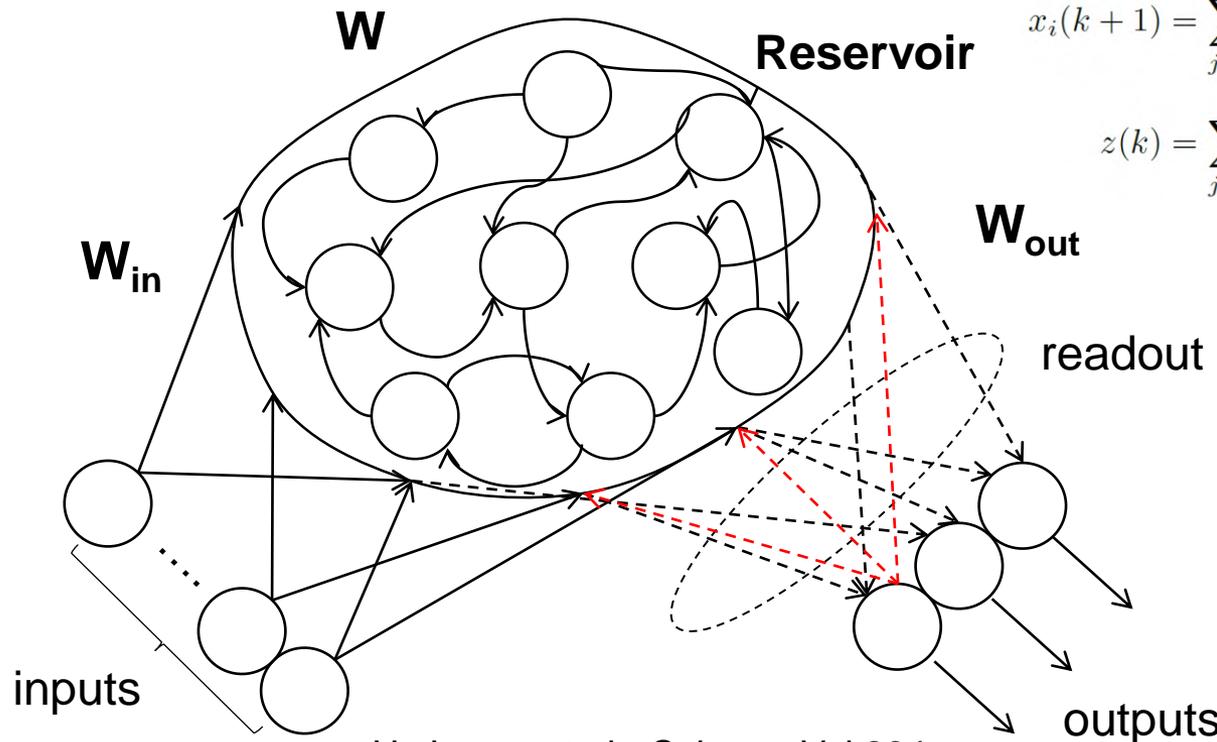
Physical Reservoir Computing (PRC)

近年提案された、物理系のダイナミクスを計算資源として活用する手法！ - 32-

Reservoir computingとは？

$$x_i(k+1) = \sum_{j=1}^N J_{ij}^{GG} \tanh(g_{GG} x_j(k)) + \sum_{\mu=1}^{N_I} J_{i\mu}^{GI} u_{\mu}(k+1)$$

$$z(k) = \sum_{j=1}^N W_j^{\text{Out}} \tanh(g_{GG} x_j(k))$$



Adjust only the linear readout!

$$XW_{\text{out}} = \mathbf{O}$$

$$\downarrow$$

$$W_{\text{out}} = X^* \mathbf{O}_{\text{target}}$$

H. Jaeger et al., *Science*, Vol.304. no.5667, pp.78–80 (2004).

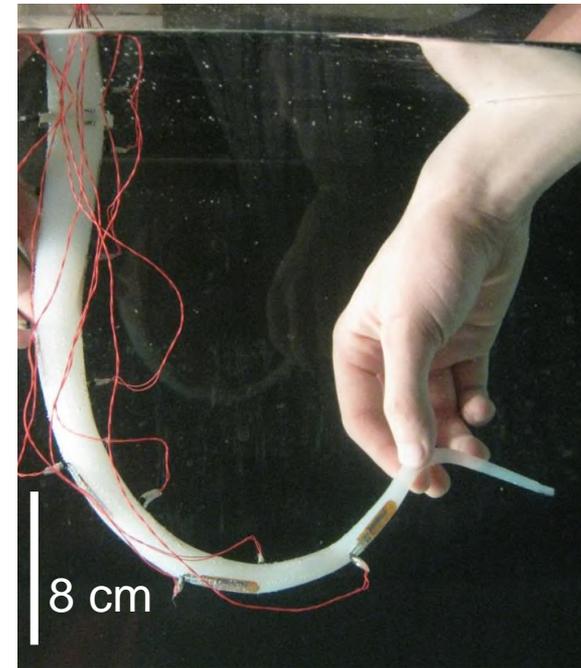
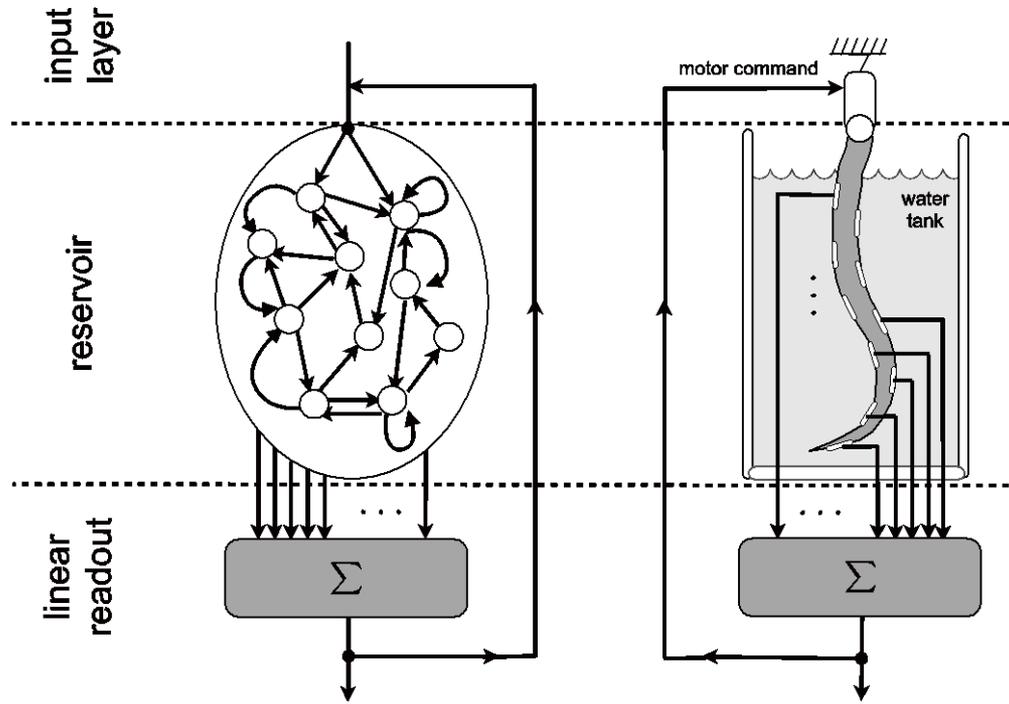
(Good points)

- 大自由度力学系を用いた機械学習法！
- 学習がきわめて速く実装できる！
- 環境のノイズに対して頑健！

(Computational power)

- **非線形性**
- **記憶容量**

Physical Reservoir Computingとは？



やわらかいデバイスのダイナミクスはreservoirとして活用できる!

- K. Nakajima et. al., *Front. Comput. Neurosci.*, 7 (91), 2013.
- K. Nakajima et. al., *J. R. Soc. Interface* 11: 20140437, 2014.
- K. Nakajima et. al., *Scientific Reports* 5: 10487, 2015.
- K. Nakajima et. al., *Soft Robotics* (submitted)

“どのような材料・物性を用意すれば、どのような情報処理が実装できるのか？”

系統的な実験研究・定式化が必要！

材料・物理系のダイナミクス自体を計算資源として活用する！

(材料の研究に機械学習・人工知能を用いるのとは異なる！)

- どのような材料・物理系を用意すればどのような情報処理が実装可能かを系統的に明らかにする (万能性だけが重要ではなく、情報処理技術に多様性を導入する)
- これまでのPCの機能を材料・物理系のダイナミクスに担わせる・アウトソースすることができ計算コスト、計算速度、そしてエネルギーコストが大幅に削減！
- 純粹に材料特性として、研究されてきた現象・物性に対し、新たに情報処理・計算の側面から光を当てる！

ナノテクノロジー・材料分野の 今後の推進に関する考察

2017. 7. 19

JST研究開発戦略センター(CRDS)

中山智弘

年度／分野／主要施策の関係（ナノ・材分野）

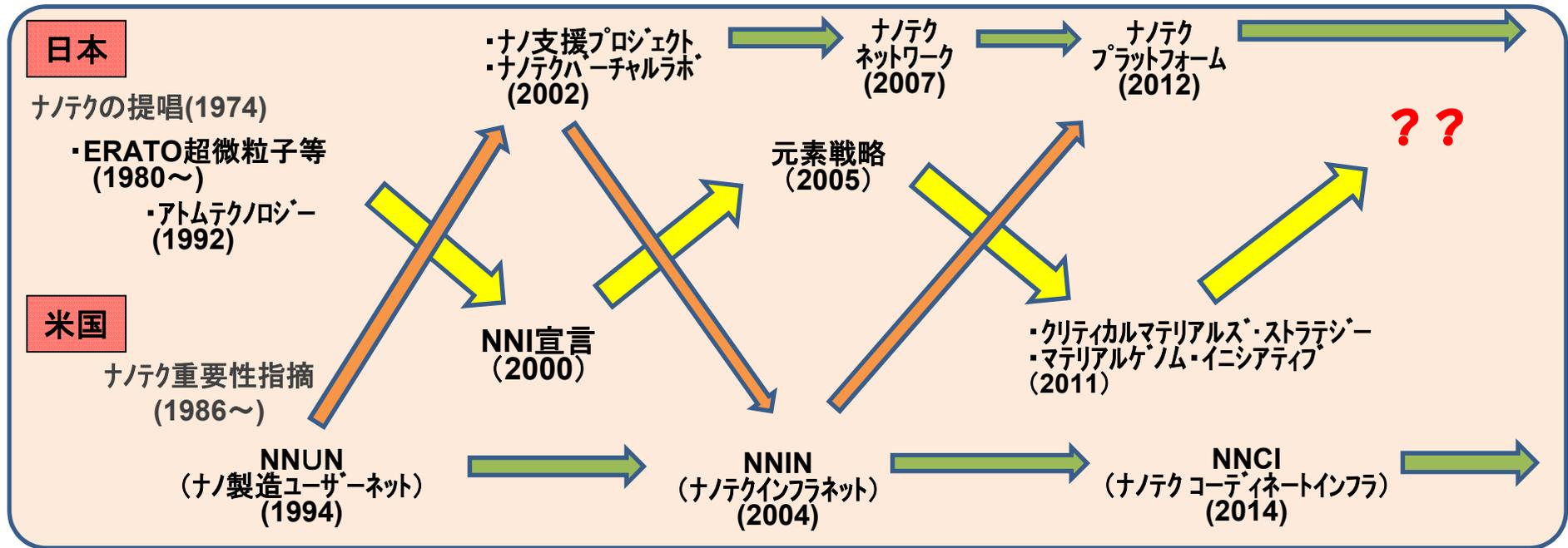
年度／分野	第2期基本計画の下で					第3期基本計画の下で					第4期基本計画の下で				第5期基本計画		
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ナノエレクトロニクス	(リーPJ) ・ナノテク活用新原理デバイス ・EUV光源等先進半導体製造技術					※元素戦略、ナノ環境P等と戦略目標(CREST等)による重点的推進											
						(キーテク) ・フォトニック結晶 超光情報メモリ ・非シリコン系材料演算デバイス開発 ・超高密度情報メモリ開発					※既存施策(元素、ナノ環境)と戦略目標(CREST等)による推進						
環境・エネルギー	(リーPJ) 次世代型燃料電池プロジェクト										※ここをどうするか!						
						元素戦略プロジェクト(産学官連携型) (3年に亘り16課題採択) ~2013					元素戦略プロジェクト(研究拠点形成型) (4拠点)						
						(キーテク) ・ナノ環境機能触媒 ・組織制御構造体の開発											
	※ナノバーチャルラボ、リーディングP、キーテク等による多角的推進										(GRENE) 先進環境材料分野 2011補正 ← 低炭素研究基盤ネットワーク整備						
ナノテクノロジーを活用した環境技術開発プログラム→統合型材料開発PJへ再編2017																	
東北発素材技術先導プロジェクト																	
バイオ	(リーPJ) ナノテク活用人工臓器・人工感覚の開発																
						(キーテク) ・ナノバイオ研究拠点 ・分子情報の科学研究ネットワーク拠点											
共通基盤	(リーPJ) 計測・分析・評価機器開発																
						最先端ナノ計測・加工技術の実用化開発											
						国家基幹技術 X線自由電子レーザー建設											
	ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ										情報統合型物質・材料開発イニシアティブ(MIRI)						
ナノテクノロジー総合支援プロジェクト					ナノテクノロジーネットワーク					ナノテクノロジープラットフォーム							

文部科学省・戦略目標の変遷(ナノ・材分野)

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<p>○情報処理・通信における集積・機能限界の克服実現のためのナノデバイス・材料・システムの創製</p> <p>○非侵襲性医療システムの実現のためのナノバイオテクノロジーを活用した機能性材料・システムの創製</p> <p>○環境負荷を最大限に低減する環境保全・エネルギー高度利用の実現のためのナノ材料・システムの創製 (※この3件のもとNVL 10領域が発足)</p>																				
○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																				
<p>○ナノスケール科学による製造技術の革新</p> <p>○革新的ナノ界面技術の創出とその応用</p>																				
○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																				
<p>○分子の自在設計『分子技術』の構築</p> <p>○先導的な物質変換技術の創出</p>																				
<p>○情報デバイスの革新的基盤技術</p> <p>○空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製</p>																				
○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																				
<p>○ナノスケール熱動態の理解と制御技術</p> <p>○実験とデータ科学融合による材料開発</p>																				

青: ICT応用
 ピンク: ライフ応用
 緑: 環境・エネ応用
 黒: 物質・材料共通基盤

ナノ材分野 施策の大きな流れ



- ・日米で、施策や取組のキャッチボールが歴史的に行われてきた。今後我が国が打つ手は何か。
- ・当初ナノテクはナノエレが牽引、その後バイオ応用とエネルギー応用にフォーカス。
- ・世界で先に大きな結果をもたらしたのはエネルギー関連であり日本もそこで成果を出した。
- ・時間のかかるバイオ応用への投資は諸外国ではゆるまなかったが、日本では難しく、水をあけられた。
- ・これはデータ科学についても同様で、初動・意志決定スピードの差が大きい。
- ・産業動向の変化(例えば半導体の低調)で、研究までも低調になってしまうのが日本の悪いところ。
- ・産業と研究は当然時差があり、一方が沈んだときこそ、一方は未来のために逆張りするのが戦略のはず。日本はそれができない。

ナノテクノロジー・材料分野の今後の展開

- 大きくは、①融合・統合・システム化、②研究開発基盤
- ①②とも、デマケされた「分野」にこもる話ではない。

①融合、統合、システム化

- ナノテクの本質は融合（分野タコツボの排除と根幹の共有こそがナノテク）
- 融合、統合化で付加価値・競争力・新概念を構築
→多分野と一緒にやる、もしくは傘をかける話になる

展開すべき事例として

- エネルギー制御材料システム（材料とエネルギーは相互に変換される。）
- バイオシステム（生命を切れば物質、でも積み上げて生命にならず。）
人間の力の拡張や生命の利用のための競争→産業的付加価値大。
生物のメカニズムを取り込んだ材料創製
- ロボット・IoTシステム（目的を持ったシステム設計と構築。）
- 分離システム（純粋化、単離、もとに戻す作業は多くのシステムの根幹）
- モビリティシステム（システム化ナノテクノロジーの典型）
- 水システム（世界の潮流のひとつ）
- 両立しえない複数の機能を持つ革新的材料システム

②研究開発基盤

- もう一つの要点は基盤（物質・材料基盤、計測基盤、研究開発基盤）
- 物質材料基盤（以下にわかるものはなかなか無い。）
 - 戦略的革新材料創出（新しくはトポロジカル物質など）
 - 元素戦略（希少元素に行き過ぎた。本質は元素と機能創出。物質材料と出口の直結）
 - 空間空隙制御（ナノテクの別の表現）
 - 分子技術
 - サイバーとフィジカルをつなぐ新材料創成（デジタルツイン等）
- 計測基盤・最先端計測
 - 先端計測機器研究開発
 - オペランド的計測
- 微細加工
 - トップダウン MEMS・NEMS
 - ボトムアップ 自己組織化（MOF・超分子の展開、他）、先進造形（3Dプリントの先）
- 研究推進基盤
 - 多分野の集う研究開発プラットフォーム
 - マテリアルインフォマティクス（材料×理論・シミュレーション）
 - 新たな材料開発手法（新サイエンスの成果 MI、脳科学、階層の超越）

※ナノテクノロジー・材料分野の戦略立案と求心力の確保のために

- 学協会（材料戦略委員会、化学連合等）、産業界（NBCI、JACI等）との協働。考え方の共有。
- 各府省、各国研法人の強い連携も必須。

NEDOの取組紹介と話題提供 (ナノテクノロジー・材料分野)

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
材料・ナノテクノロジー部

林 智佳子

平成29年7月19日（水）

文部科学省 第1回ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略検討作業部会

技術戦略研究センター

技術戦略研究センター（**T**echnology **S**trategy **C**enter）は、調査・研究を通じて、「産業技術分野」と「エネルギー・環境技術分野」の**技術戦略の策定**、及び戦略に基づく**重要なプロジェクトの企画・構想**等に取り組む研究機関。（平成26年4月設立）



センター長
川合 知二



N E D O本部
ミュージア川崎セントラルタワー

調整課

企画課

プロジェクトマネジメント室

マクロ分析ユニット

標準化・知財ユニット

電子・情報・機械システムユニット

ナノテクノロジー・材料ユニット

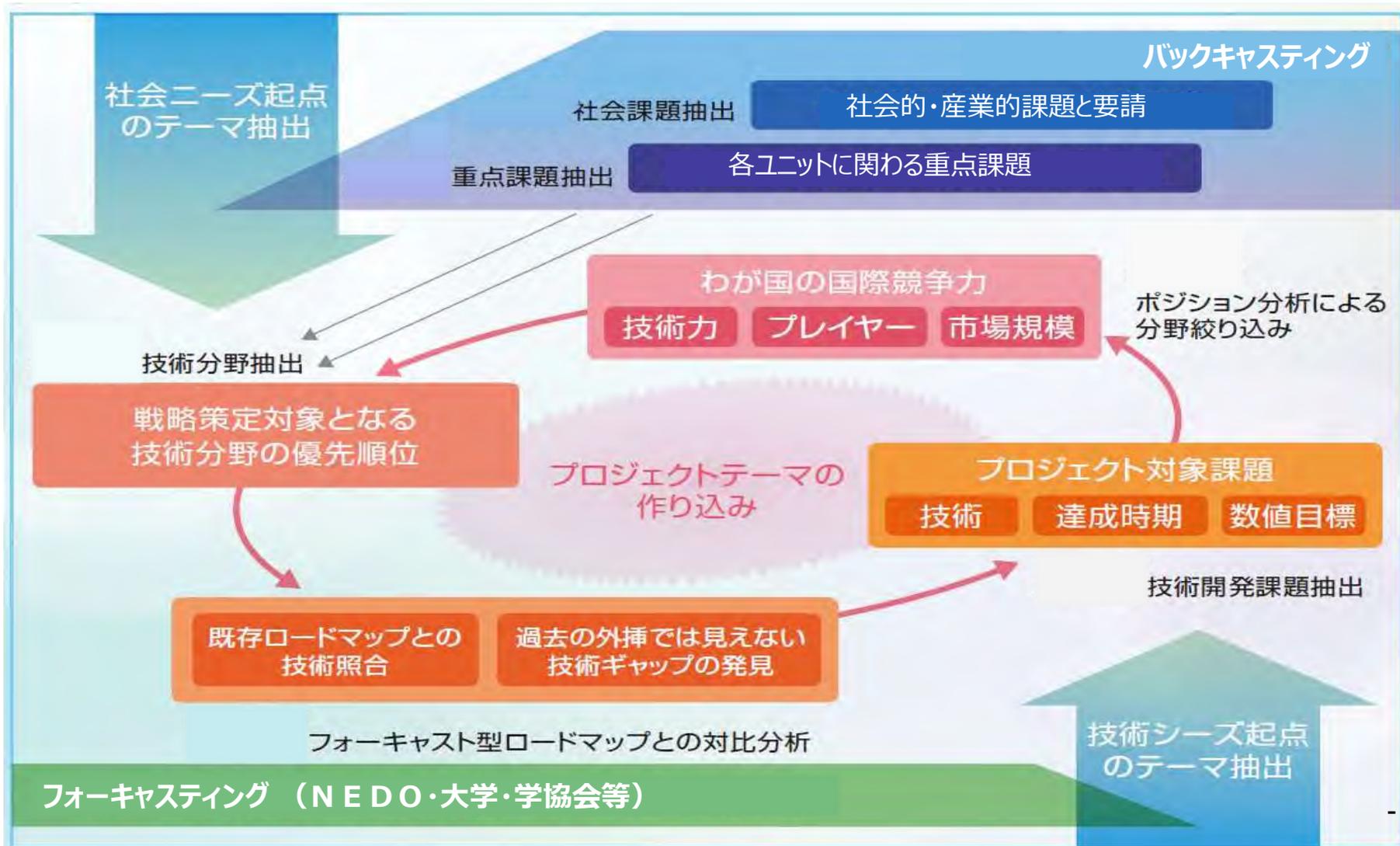
エネルギーシステム・水素ユニット

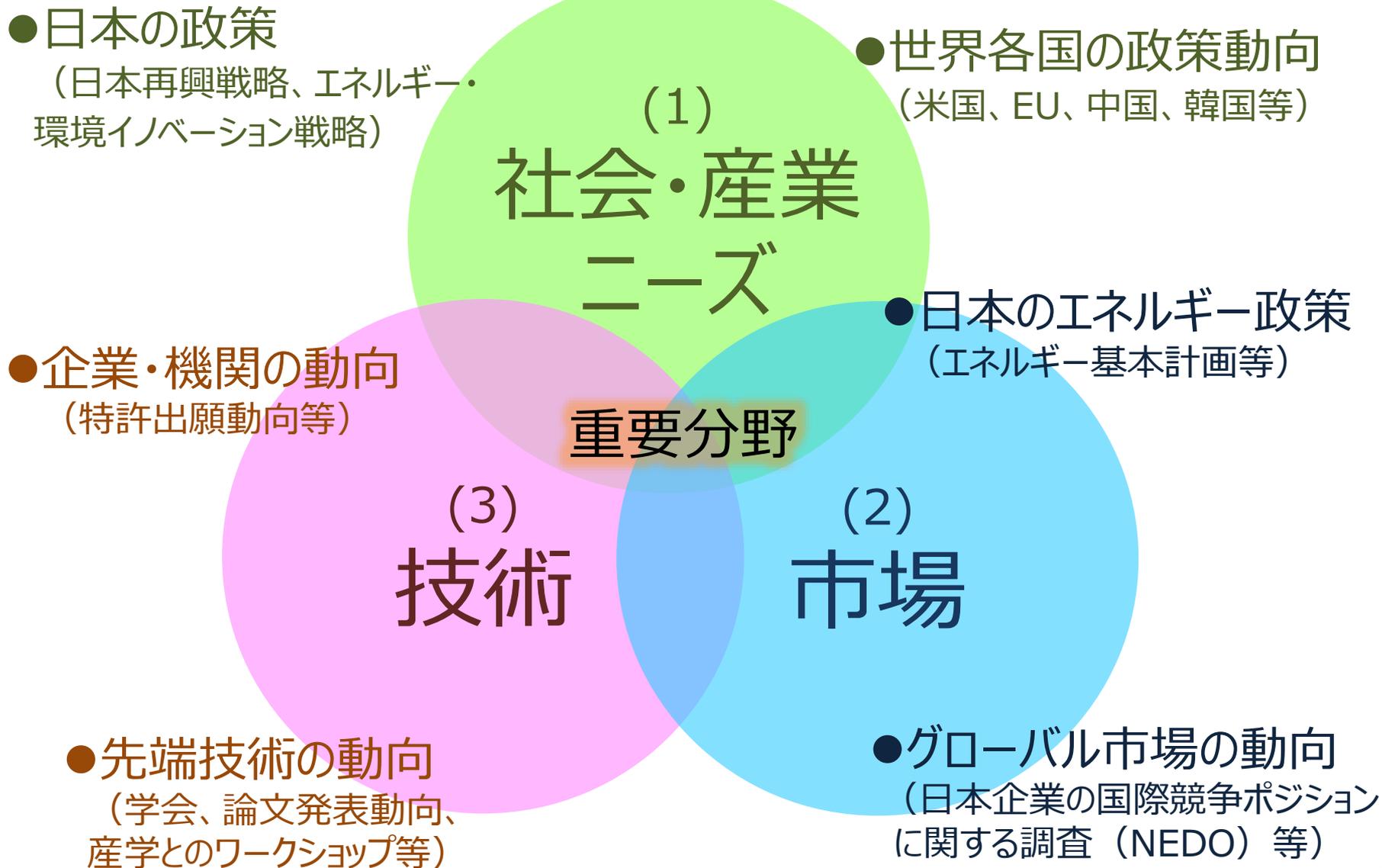
再生可能エネルギーユニット

環境・化学ユニット

新領域・融合ユニット

- フォーカシングとバックカスティング、及びポジション分析を組み合わせた俯瞰的視点に基づく調査・分析により、重点的に取り組むべき技術分野を選定。





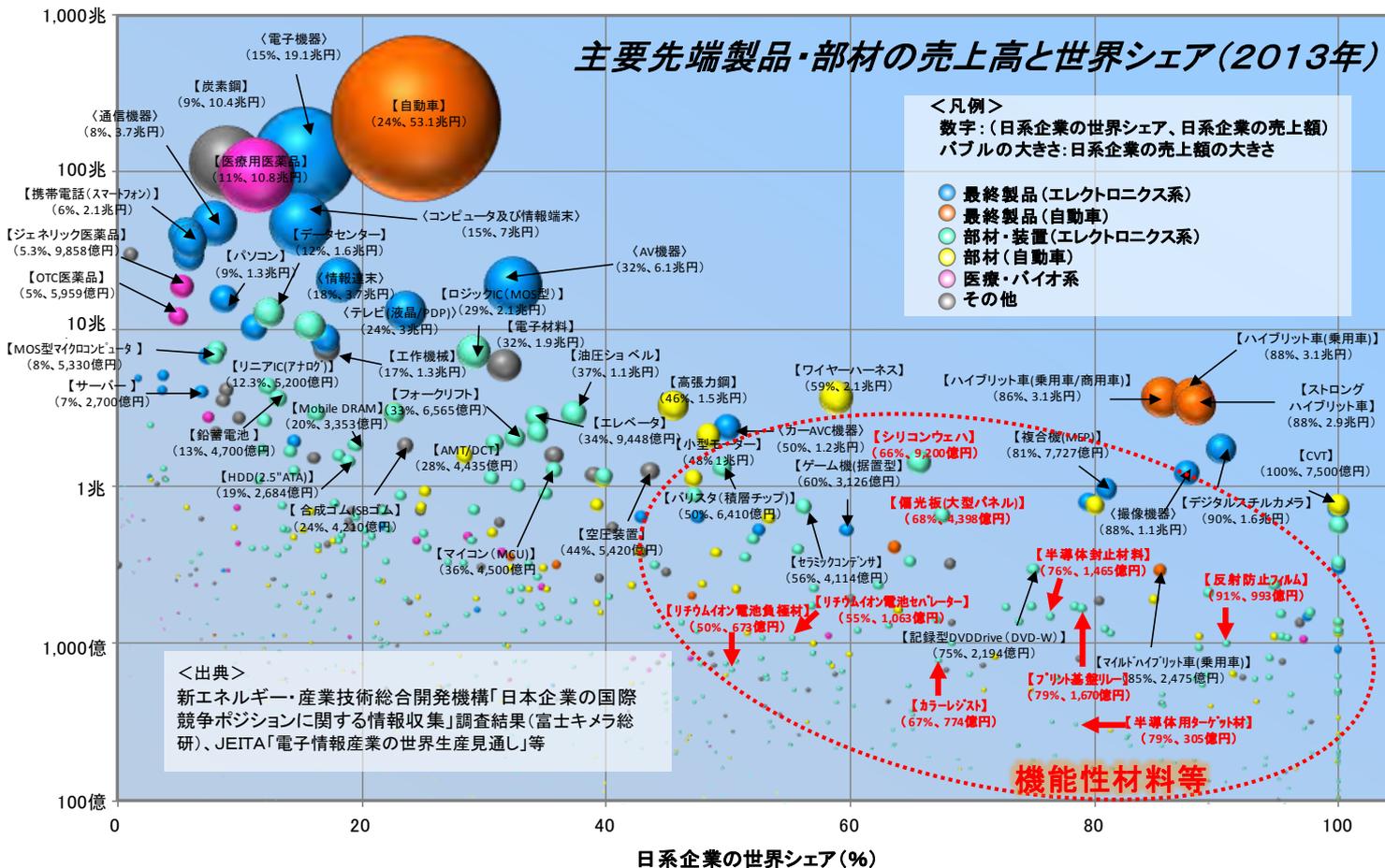
(事例紹介) 機能性材料分野

(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、…

- ✓機能性材料が生み出す機能によって製品の付加価値が発現され製品の差別化が図れる。
- ✓機能性材料は、個々の市場規模は小さいが、各々で高いシェアを確保し、面的に大きな市場を獲得。

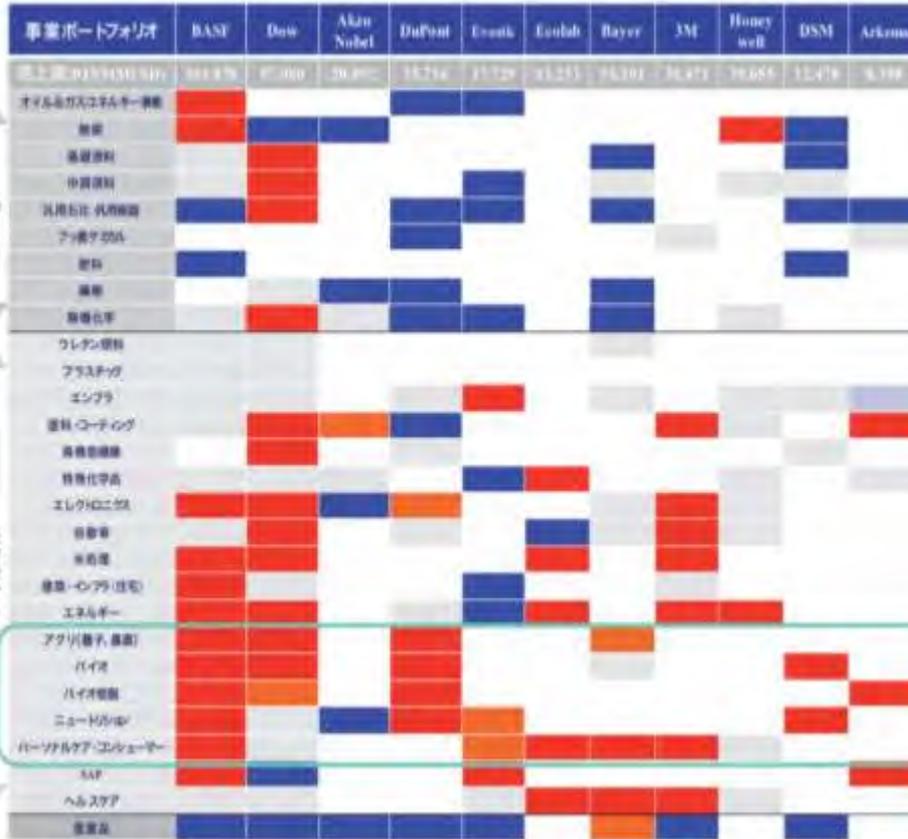
世界市場規模(円)



一機能性材料の産業動向一

- 欧米企業は汎用石油化学と医療品事業を大胆に売却。機能性化学品の強化に注力。
- 我が国は大型買収も売却もない安定事業が大宗。幅広い分野に展開。

欧米大手の事業分野選択



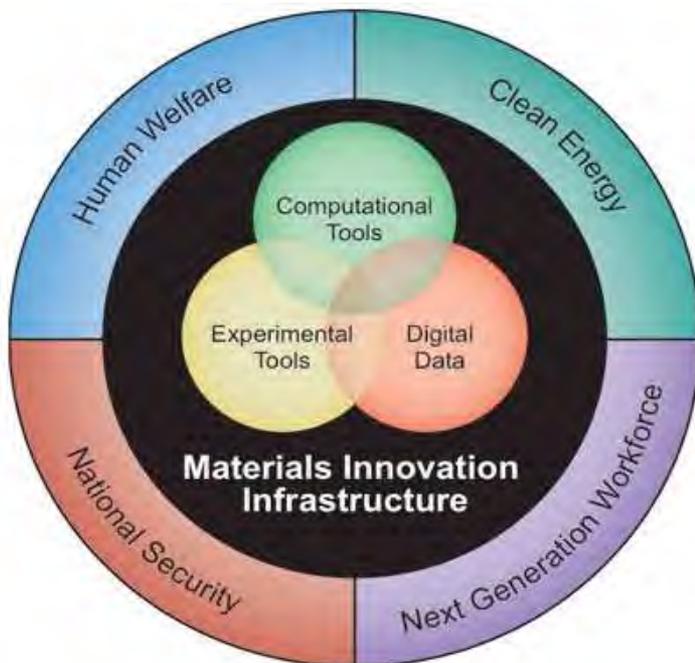
国内大手の事業分野



■ Divestmt (売却・撤退)
 ■ Investmt (買収・投資)
 ■ Investment&Divestment
 ■ Stable Growth (安定成長)

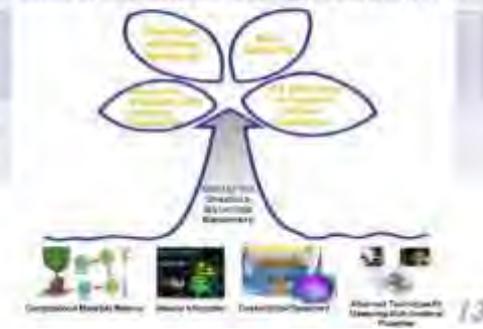
- マテリアル・ゲノムイニシアチブ (MGI) は、2011年6月にオバマ政権が打ち出した、新たな素材開発インフラの構築を目指すプロジェクト。
- 革新的素材の開発から市場導入までに要する時間を 1 / 2 にすることを目標に掲げている。
- 計算機シミュレーション、実験手法、データベースを用いて素材開発基盤の高度化を行う。
- 2015年度のNSF予算は2,200万ドル

Materials Genome Initiative overview



米国以外での素材開発動向

国	概要
	SIP革新的構造材料(PD:岸輝雄・東大名管教授、NIMS顧問)の一部においてマテリアルズ・インテグレーションで、材料開発期間を一桁短縮する取り組みが行われている。 科研費新学術領域の「ナノ構造情報(代表者:京大・田中功)」で一部試行されている他、日本金属学会や物理学界では公募シンポジウムが開催され、セラミックス協会、鉄鋼協会(鉄鋼ゲノム)ほか学協会誌特装号の企画もはじまっている。
	Computational Materials Engineering (マルチスケール計算材料科学)の確立に注力(シミュレーションに特化した動き)。 ESF (European Science Foundation) は2009年に"Materials Science and Engineering Expert Committee (MatSEEC)"を組織し、欧州各国において物質材料科学分野に集中的な支援を行う中で第4部会として"Computational Techniques, Methods and Materials Design"が選定されている。
	中国版Material Genome Initiativeを中国科学院・中国工學院が連携して着手、100億規模との情報も。
	2015年から"Creative Materials Discovery Project"を10年計画で立上げ予定(右図)。



機能性材料開発の課題

- 経験と勘に裏付けされた実験的手法が大きく貢献 ⇒ 実用化まで大幅な時間とコスト。
- 材料の高度化、相反する機能を同時に高めることによる材料の合成・構造が複雑化。
- 材料開発と計算科学との融合・連携による材料のさらなる高度化と開発加速化に期待。

機能性材料開発に求められる新しいアプローチ

- ① **マルチスケール(複数の階層性)に対応した計算科学の高度活用**
- ② **高次元の大量のデータから法則性をみいだす数理・情報科学の活用**
- ③ **仮説⇔実証を効率的に行うための計測評価・試作技術との連携**



産業技術環境局 研究開発課
03-3501-9221

計算科学等による先端的な機能性材料の技術 開発事業 平成29年度予算額 24.0億円 (17.8億円)

事業の内容

事業目的・概要

- 従来の機能性材料※（断熱材や触媒等）の開発は、基本的に、過去、蓄積してきた多くの材料の構造や物性、触媒を含む反応経路などの実験・評価データを踏まえ、“経験と勘”に基づく仮説を立てて、それを繰り返し実験によって検証しながら、時間をかけて進められてきました。
※断熱材や触媒等の優れた化学的機能・電気的機能等を有する材料
- 本事業ではこれまでの開発プロセスを刷新するため、高度なAI等の計算科学、高速試作、革新的なプロセス技術及び先端計測評価技術を駆使して、革新的な材料開発システムを世界に先駆けて構築します。
- 高い省エネ性能をもつ機能性材料の開発期間を劇的に短縮（試作回数・開発期間を1/20以下）することにより、省エネルギーの実現を目指します。

成果目標

- 平成28年度から平成33年度までの6年間の事業であり、平成42年度において、開発期間の劇的な短縮（試作回数・開発期間を1/20以下）による省エネ(原油約137万kL/年)及び革新的な機能性材料の導入による省エネ(原油約156万kL/年)を目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

- 産学官連携による集中研究体制で進めることにより、本事業の研究開発期間の大幅な短縮を図ります。

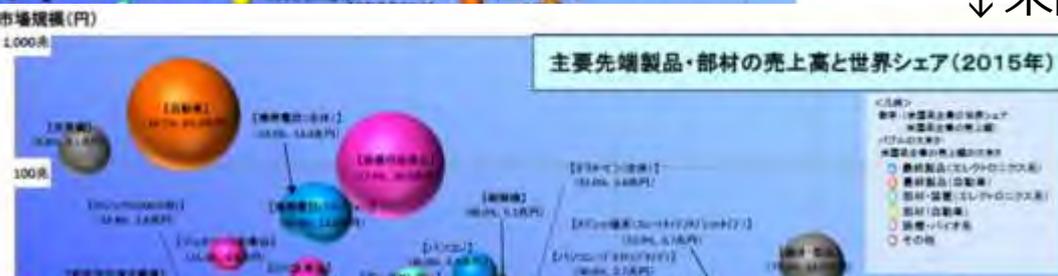


革新的機能性材料の創製

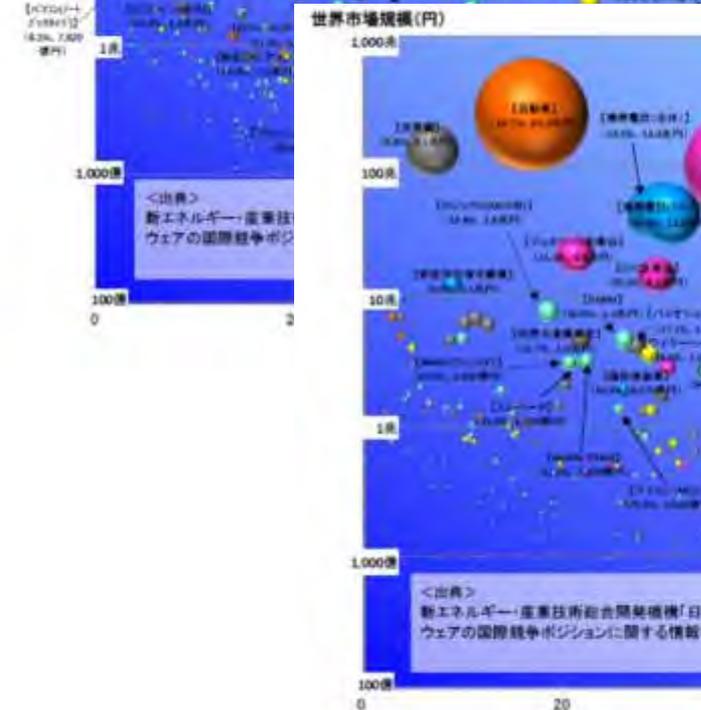
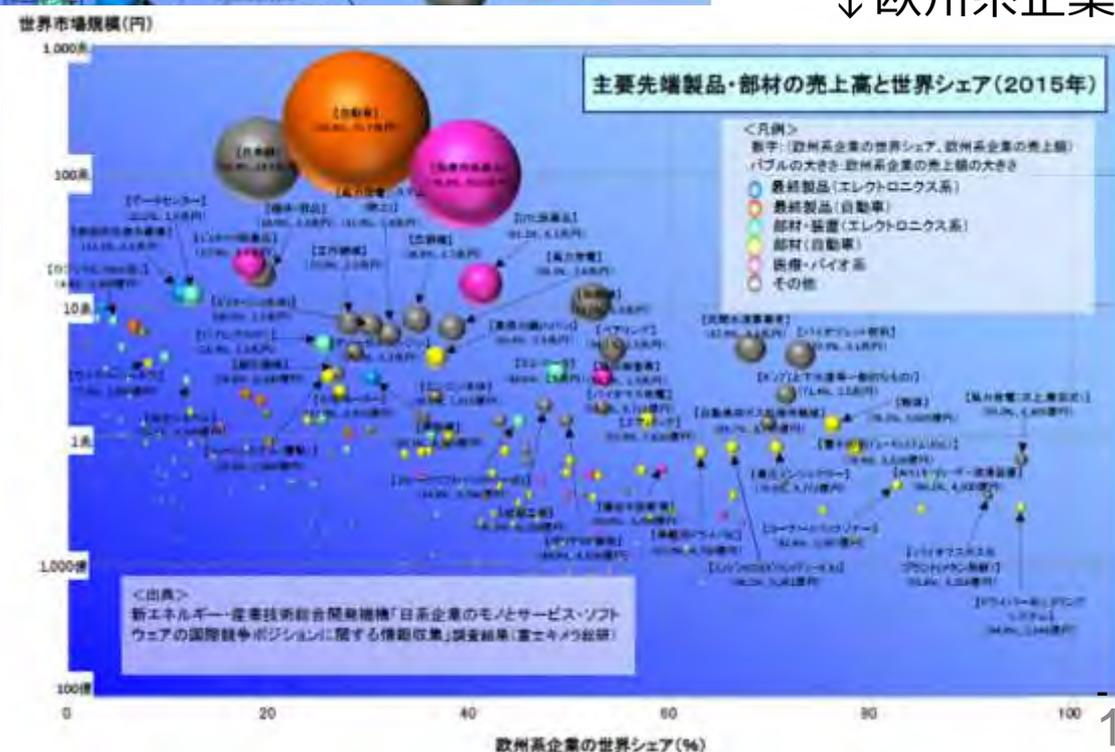
←日系企業



↓米国系企業



↓欧州系企業

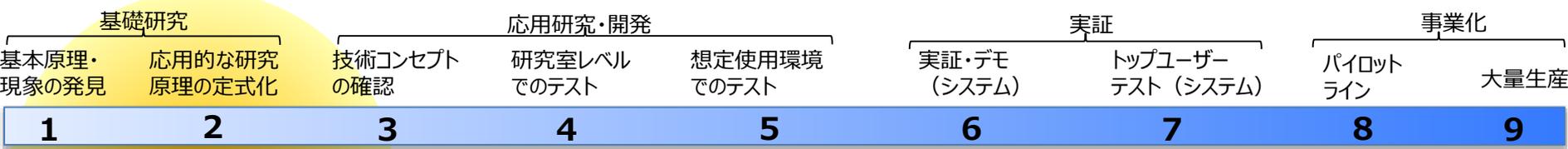


【出典】NEDO「平成28年度 日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」
 (委託先：株式会社富士キメラ総研)

文科省における研究開発事業への期待



TRL (Technology Readiness Level)



↑ イノベーションの源泉

現状を踏まえ、将来に向けてどのように研究開発を進めていくか

- <バルーンマップから考察する日系企業の現状 (分類) >
- ポジションが良い大きいバルーンが少ない領域
例：航空機、医薬品、医療機器
再生可能エネルギー関連
炭素鋼、電子機器・家電製品
 - 小粒ではあるがシェアの高い領域
例：自動車部材、電子系部材・装置、素材、ロボット等

・イノベーションの源泉となる革新性が高い研究を強化し、確実性を高めるとともに裾野を拡大。「基本原理・現象」や「応用的な研究原理」が確かな技術こそ、将来の事業化・産業化を推し進める

・次世代・次々世代領域の創出、Technology drivenの領域強化。

ナノテクノロジー・材料分野研究開発戦略検討

東京工業大学 原祐子

- バックグラウンド
 - 情報科学（組込みシステム）
 - さきがけ@ナノエレ[2013.10~2017.03]
 - ◇ 提案：新奇デバイスを想定した高信頼組込みシステム設計
 - ◇ 材料・デバイスの研究者ともっと連携できると期待していたが、お互いの前提、
どういう情報があれば（提供できれば・利用できれば）嬉しいのか、を探るの
に時間を要して具体的な連携まで至らなかった（現在も模索中）
 - 材料・デバイス～アーキテクチャ～アプリの分野縦断
 - ◇ さきがけ：推奨されてはいたものの相互理解もままならない
 - ◇ CREST：材料・デバイス～アーキテクチャの密な連携難
- アーキテクチャの視点から見たナノテク・材料の研究開発
 - 非ノイマン型アーキテクチャ
 - ◇ 材料・デバイス～アーキテクチャの密な連携の方向性
 - ◇ 材料固有の特徴を生かした設計・提案が生まれつつある（特に新奇メモリ）
 - ◇ 材料側から特定のアーキテクチャを狙った開発は可能か？
- Society5.0, 更なる未来社会の実現に向けて
 - 「新しい価値やサービスが次々と創出され、社会の 主体たる人々に豊かさをも
たらしていく」
 - 「豊かさ」よりもっと強力なドライブ力が必要
 - （閉鎖的ではなく）日本の存在を賭けた目標設定

次世代の科学は、 人工知能やロボット無しには 成り立たないだろう

実験室のものづくり環境(専門:薄膜作製)は

この20年間変化なし

「実験室の産業革命」が必要

**強烈な
危機感**

ロボット科学者と人間が協調して研究に取り組むと
スピードアップできることは確実

最初は仮説を人間が立て、ロボットが検証

そのうちロボットが仮説を立て、ロボットが検証

世界戦略

薄膜材料の例

産業界-府省連携プロジェクト

ロボット科学者システムで儲ける
(知財、システム販売、**世界標準化(規格)**)

データ生産工場の設立
(データ大量生産時代の到来)

これに接続できる
周辺システムも世界中に販売

Publish

均質なデータが得られる
すべての成膜データを
(日本の)サーバーに置く

計画された
セレンディピティ

ソフト、ハードの
エコシステム形成

産も利用

「論文」という型は
無くなる?
(ストーリーが
いらぬ時代?)

人工知能 → 新物質の予測

失敗したデータも含めて
マテリアルズインフォの
基礎データベース

ロボット科学者へ入力