

ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰 ～世界の研究トレンドと日本の課題～

2017年4月28日（金）

中山智弘

JST研究開発戦略センター（CRDS）

※本内容は、2017年4月CRDS発行の「研究開発の俯瞰報告書
ナノテクノロジー・材料分野（2017年版）」に基づいています。



<p>技術革新の世界的潮流</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 来たるIoT/AI時代に活躍するデバイスおよび構成素材は先端ナノテクノロジーの塊になる ✓ AIチップ、IoTセンサ、クラウド、自動車・輸送機器、ロボット、モバイル、エネ変換デバイス、診断・治療・計測デバイスなど、ハード側は先端ナノテクが競争を左右 ✓ 新コンピューティング／新アーキテクチャへの挑戦 ✓ これらに使われる新素材は、データドリブンの材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)から生み出そうとする大きな流れ。しかし勝者はまだ不在 ✓ 過去15年間あまりで蓄積された個々のナノ要素技術が、融合し、製品・システム化され市場へ浸透していく ✓ ナノテクで実現された製品(nano enabled products)市場は1.6兆ドルに成長 (2012-14年で2倍, LuxResearch社2014年)
<p>日本の位置づけ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 元素戦略、分子(制御)技術、蓄電池材料、電子材料、パワー半導体、先端構造材料など、物質創製・材料設計技術に日本の歴史的特徴にもとづく強み ✓ そこで用いられる計測評価・分析・品質管理も強い ✓ これらが生きるかたちで省エネ・低環境負荷技術にアドバンテージ ✓ 一方、弱点は、計算・データ科学、ソフト・標準化・規制戦略、医療応用や、水平連携・産学連携、ナノテク特有のELSI・EHS、教育・コミュニケーション、に大きな課題あり
<p>挑戦課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 異分野融合／深みのある研究開発と水平・垂直連携の両立 ✓ 府省連携・産学連携／研究開発フェーズや時間ギャップの解消 → 先端研究開発と事業化トライアルのエコシステム形成 (ex,アジアのR&Dを吸引) ✓ 10の具体的挑戦課題(後述)

1章	目的と構成
2章	俯瞰対象(ナノテクノロジー・材料)分野の全体像 (=100ページ相当)
2.1	分野の範囲と構造
2.1.1	ナノテクノロジー・材料の定義と分野の特徴
2.1.2	ナノテクノロジー・材料への社会的期待と実現への課題
2.1.3	ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図
2.2	分野の歴史、現状、及び今後の方向性
2.2.1	分野の変遷 ~国際動向と日本~
2.2.1.1	ナノテクノロジー・材料の進化
2.2.1.2	主要国の基本政策と代表的な研究開発プログラム・プロジェクト
2.2.1.3	研究コミュニティと研究者の動向
2.2.1.4	世界の研究開発の動向
2.2.1.5	産業動向
2.2.1.6	世界のR&Dイノベーション促進方策(環境整備)
2.2.2	今後の展望と日本の課題
2.2.2.1	ナノテクノロジー・材料の今後の方向性と挑戦課題
3章	研究開発領域 →37の主要研究領域の最新動向を詳述 (=400ページ相当)

ナノテクノロジー・材料分野の研究開発俯瞰図 (2017年版)



社会実装

システム化 量産化 高機能/コスト 信頼性 環境負荷 安全性 省エネ・省資源プロセス リサイクル

デバイス・部材	環境・エネルギー 太陽電池 人工光合成、光触媒 燃料電池 熱電変換 蓄電デバイス(電池、キャパシタ) パワー半導体 グリーン触媒 分離材料・分離工学 エネルギーキャリア 超電導送電、バイオマス	ライフ・ヘルスケア 生体材料(バイオマテリアル) 再生医療材料 ナノ薬物送達システム(DDS) バイオ計測・診断デバイス 脳・神経計測 バイオイメーjing	社会インフラ 構造材料(金属、複合材料、マルチマテリアル) 非破壊検査 腐食試験法 劣化センシング技術 劣化予測・シミュレーション 接合・接着・コーティング	ICT・エレクトロニクス 超低消費電力 IoT/AIチップ スピントロニクス 二次元機能性原子薄膜 フォトニクス 有機エレクトロニクス MEMS・センシングデバイス エネルギーハーベスト 三次元ヘテロ集積 量子コンピューティング ロボット基盤技術	共通支援策 産学官連携・オープンイノベーションの方策 国際連携・グローバル戦略 府省連携 異分野融合の促進策
---------	---	---	---	--	---

物質・機能	機能と物質の設計・制御				
	機能設計・制御 超分子 分子マシン ナノ熱制御 ナノライポロジー マイクロ・ナノフルイディクス 量子ドット バイオ・人工物界面 ナノ界面・ナノ空間制御 バイオミメティクス 金属有機構造体(MOF)				
	物質設計・制御 元素戦略 分子技術 マテリアルズ・インフォマティクス トポロジカル絶縁体 ナノカーボン メタマテリアル 低次元物質 ハイブリッド材料 ナノ粒子・クラスター				

基盤技術	共通基盤科学技術		
	製造・加工・合成 フォトリソグラフィ ナノインプリント ビーム加工 インクジェット 自己組織化 結晶成長 薄膜、コーティング 付加製造(積層造形)	計測・解析・評価 電子顕微鏡 走査型プローブ顕微鏡 X線・放射光計測 中性子線計測 先端光計測(超短パルス、時空間分解) 元素分析・組成分析・質量分析	理論・計算 第一原理計算 モンテカルロ法 分子動力学法 フェーズ・フィールド法 分子軌道法 有限要素法 マルチスケールシミュレーション

科学 **ナノサイエンス**
 物質科学、量子科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学

ELSI-EHS
 中長期の人材育成・教育施策
 国際標準化・規制戦略
 知的財産の蓄積・活用策

社会実装

7つの区分で構成

環境・エネルギー

ライフ・ヘルスケア

社会インフラ

ICT・エレクトロニクス

共通支援策

デバイス・部素材

①

②

③

④

機能と物質の設計・制御

物質・機能

⑤

⑦

共通基盤科学技術

基盤技術

⑥

科学

37 の主要研究開発領域 (報告書第3章に詳細動向を掲載)



俯瞰区分	研究開発領域
環境・エネルギー 応用	太陽電池
	人工光合成
	燃料電池
	熱電変換
	蓄電デバイス
	パワー半導体
	グリーン触媒
	分離技術
ライフ・ヘルスケア 応用	生体材料(バイオマテリアル)
	再生医療材料
	ナノ薬物送達システム(DDS)
	計測・診断デバイス
	脳・神経計測
	バイオイメーjing

俯瞰区分	研究開発領域
機能と物質の設計・ 制御	空間空隙設計制御
	バイオミメティクス
	分子技術
	元素戦略・希少元素代替
	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

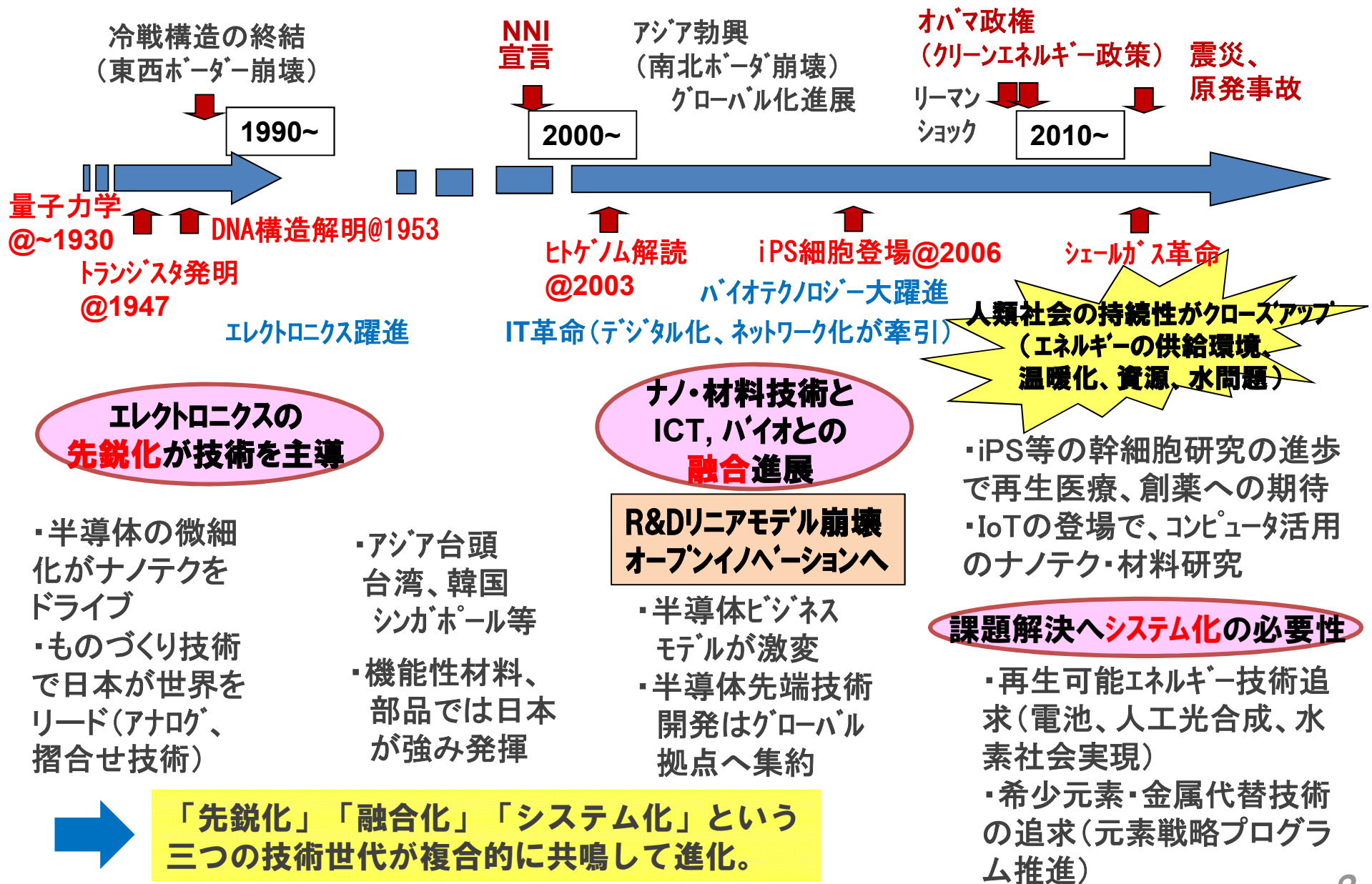
俯瞰区分	研究開発領域
ICT・エレクトロニクス 応用	超低消費電力(ナノエレクトロニクスデバイス)
	スピントロニクス
	二次元機能性原子薄膜
	フォトニクス
	有機エレクトロニクス
	MEMS・センシングデバイス
	エネルギーハーベスティング
	三次元ヘテロ集積
	量子コンピューティング
	ロボット基盤技術
社会インフラ 応用	構造材料(金属、複合材料)
	非破壊検査・劣化予測
	接合・接着・コーティング

俯瞰区分	研究開発領域	
共通基盤 科学技術	加工・プロセス	加工・プロセス技術
	計測・分析	ナノ・オペランド計測技術 (SPM、TEM、放射光・X線、分光、etc)
	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

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3つの技術世代は重層的且つ階層的に進化する



先鋭化	融合化	システム化
<p>要素技術の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。他技術と結合して新機能を有する新しい融合ナノテクに進化</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。先鋭化した諸々の要素技術が融合して新しく生まれた融合ナノ・材料技術を、価値創出システムへと統合構成する</p>
<p>ex. 計測技術 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。これらにより初めて明らかになった構造は、新しい材料設計アイデアの創出へつながる</p>	<p>ex. 環境・エネルギー分野 キーデバイスとしての太陽電池、燃料電池、蓄電池、さらには人工光合成、ガス分離などへの期待。特に素材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であり、融合化技術が不可欠</p>	<p>ex. 健康・医療分野 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や単一細胞・分子の検出・同定を行う。ナノ粒子をDDSの輸送物質として活用したり、足場材料を導入する事でiPS細胞を固定し所望の組織に分化誘導するなど、診断・治療の革新を目指す</p>
<p>ex. 微細加工 10nm以下の領域へ突入する素子の微細化技術、リソグラフィを始め、製造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</p>	<p>ex. ナノエレクトロニクス 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、LSIの性能向上には必須条件</p>	<p>ex. ナノエレクトロニクス 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。小型のAIを搭載したロボットや、生活を支援してくれるナビゲータのようなシステムが可能になる</p>



各国ナノテクノロジー関連政策の変遷



	～2005年 ナノテク政策の発進期	2006年～2010年 要素技術の融合・複合化の時代	2011年～ ナノテクのシステム化・社会実装へ
米 国	<p>1st NNI戦略プラン(2001)</p> <ul style="list-style-type: none"> - NNI予算 \$465 M/y, 20省庁が連携, 7つのPCAでNNCOが予算配分を管理 - ナノ要素技術・先鋭化技術の創出 - NRI(ナノエレリサーチイニシアティブ) 21州35大学が参画 - NNINIによる研究インフラの強化 13拠点、EHSと合わせ NNI全予算の20% 	<p>2nd NNI戦略プラン(2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> - \$1.4 B/y, ナノテクの複合化・融合化研究に焦点。ナノバイオの研究開発投資を強化 - さらにオバマ政権のグリーンニューディールと連携し、DOEが①全米に46の Energy Frontier Research Center (EFRC)を採択(内8割がナノテク)、②ARPA-Eを設置しハイリスク・ハイリターンPJを開始、さらに③8つの Energy Innovation Hubsを創設 	<p>6th NNI戦略プラン(2016)</p> <ul style="list-style-type: none"> - \$1.5 B/y, 省庁横断テーマNSIを更新。National Strategic Computing Initiative やBRAIN Initiative と連携し新コンピューティング開発に着手。 - NNINの後継としてNNCI開始、5年間で81Mドル。16拠点27機関が参画 <p>MGI(2011)</p> <ul style="list-style-type: none"> - データ科学を活用して材料研究の発見から実用化までの期間を半分にする
欧 州	<p>【EU】FP6(2001) 【EC】Towards a European Strategy for Nanotechnology(2004)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ナノテクの重点化を開始、1,429 M€/5y - ①ナノテク・ナノサイエンス、②知識ベースの多機能材料開発、③新製造プロセス・新デバイス - 欧州全体で142のEU Nanotech & Infrastructure Network 	<p>【EU】FP7(2007)</p> <ul style="list-style-type: none"> - FP6の約2倍の予算投入、各国投資を合わせれば米国の投資を上回る - IMEC(ベルギー)、MINATEC(仏)が世界の産学人材を吸引する拠点に成長 - EU NanoSafety Cluster を構築し、域内で ELSI/EHS研究の一大コミュニティ形成 <p>【独】Nano Initiative action plan(2010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - エクセレンスイニシアティブにより拠点を強化 <p>【英】UK Nanotechnologies Strategy(2010) UK COMPOSITES STRATEGY(2009)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 国立複合材料センターを設立(Bristol大学) 	<p>【EU】Horizon2020(2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6つのキー技術(KETs)の内4つがナノ・材関係(ナノテク、先端材料、マイクロ・ナノエレ、フォトニクス)。ナノテクと先端材料の合計で €29億/7y - グラフェンフラッグシップ開始(€10億/10y) - NanoSafety Cluster 継続 <p>【独】Action Plan Nanotechnology 2020 (2016)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 新ハイテク戦略の一環。BMBFを中心に7省が連携し材料からのイノベーションを掲げる <p>【英】「国立グラフェン研究所」設立(2013)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ノーベル賞を受賞したグラフェンの実用化開発
そ の 他	<p>【中国】863計画、973計画</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6分野の一つに新材料技術 - ナノテク・材料、ナノ構造材料研究 - 国立ナノ科学技術センター設立(2003) <p>【韓国】ナノテ総合発展計画(2001-)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 研究開発、教育・人材育成、研究インフラ整備の3本柱、NSFC5拠点を開始 	<p>【中国】国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 先端8分野の一つに「新材料」 - 重点化学計画4分野の一つに「ナノ研究」 <p>【韓国】第2期ナノテ総合発展計画(2006-)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ナノテク、材料ともに世界Top3の競争力をめざす。「World Premier Materials」を開始 	<p>【韓国】第3期(2011-2015)、第4期ナノテク総合発展計画(2016-2025)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nano Convergence Foundation を創設(第3期) - 倫理・社会的責任を備えたナノテク開発(第3期)、5省庁横断の Nano Safety Management Master Plan \$83M/5y (2012-) - 製造業のリーディング技術開発、ナノテク産業でグローバルリーダーとなることを目指す(第4期)
日 本	<p>2nd科学技術基本計画(2001)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 重点推進4分野の一つ - ナノテクノロジー総合支援プロジェクト 	<p>3rd科学技術基本計画(2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 重点推進4分野の一つ - 元素戦略<産学官連携型> - ナノテクノロジーネットワーク 	<p>4th科学技術基本計画(2011)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 分野横断的な基盤技術, SIP, ImPACT <p>5th科学技術基本計画(2016)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Society5.0を実現する新たな価値創出のコアとなる強みを有する技術 - 元素戦略<拠点形成型>、ナノテクプラットフォーム

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**

超伝導材料

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

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、タッチパネル**

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**

光触媒

本多健一、藤嶋昭(TiO₂光触媒@1968)
→**光触媒コーティング、環境浄化**
(@1994 by橋本和仁)

触媒(有機合成)

根岸英一、鈴木章(クロスカップリング反応@1970年代)
野依良治(不斉合成反応@1986)
→**創薬、農薬、香料、アミノ酸**

青色LED, LD

赤崎勇、天野浩(GaN単結晶、p型ドーピング@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**

酸化物材料

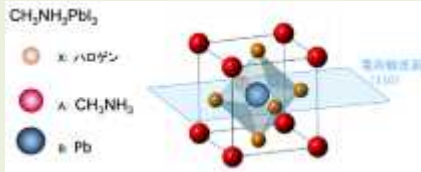
細野秀雄(IGZO材料開発、TFT動作@2004)
→**透明電極、LCD・OLEDディスプレイ駆動TFT**

その他にも、**リチウムイオン電池**(吉野彰)@1983、**Erドーピング光ファイバー増幅器**(中沢正隆)@1989等これまでに**ノーベル物理学賞受賞者11名、化学賞受賞者7名**。

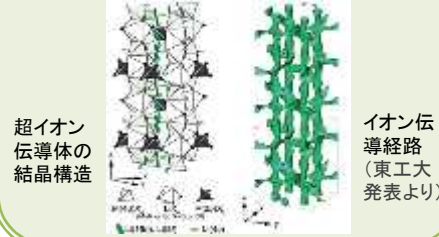
世界も注目する代表的な日本の科学技術成果例 (直近10年程度)



有機無機ペロブスカイト太陽電池: 宮坂 (桐蔭横浜大)



超イオン伝導体で高出力・大容量全固体セラミックス電池: 菅野 (東工大)



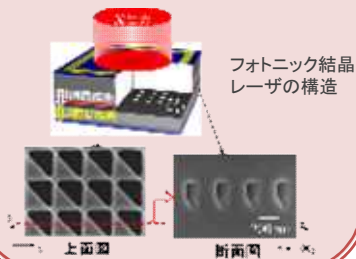
生体分子の超微量・高速解析を実現するナノバイオデバイス (名大・阪大)



標的細胞に薬剤を的確に送達するナノデリバリーシステムの開発: 片岡 (東大)



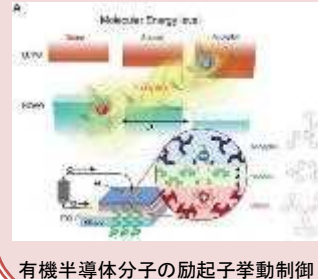
高強度・高ビーム品質フォトニック結晶レーザの開発: 野田 (京大)



磁性絶縁体がスピンドルを介して電気を通す: 齊藤 (東北大)



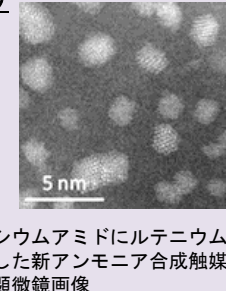
次世代有機EL用の発光新材料: 安達 (九大)



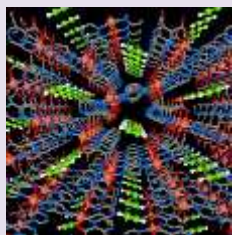
柔らかい有機電子回路の開発: 染谷 (東大)



アンモニア合成触媒の開発: 細野 (東工大)



多孔性材料(金属有機構造体)開発: 北川進 (京大)

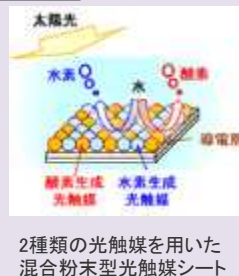


アセチレンを吸着するMOF/CPL-1 (京大)

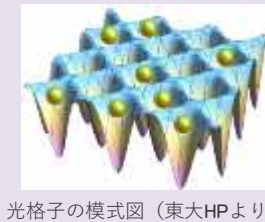
多数の金属元素の組み合わせを原子レベルで固溶化: 北川宏 (京大)



人工光合成を実現する光触媒: 堂免 (東大)



秒の再定義の有力候補となる光格子時計の開発: 香取 (東大)



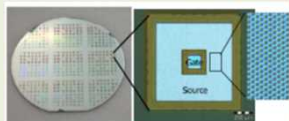
単層CNTの大量合成法: 島 (産総研)、日本ゼオン



スーパーグロース法開発初期の単層CNT

次世代パワー半導体

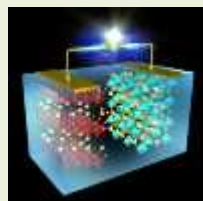
早期実用化を目指すSiCやGaNなどのワイドギャップ半導体基板・素子開発が活発化



SiCウェハとSiCデバイス (産総研)

次世代蓄電デバイス

全固体型、多価カチオン型、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。



ナトリウムイオン電池のプロトタイプ (東京大学発表より)

バイオフィブリケーション

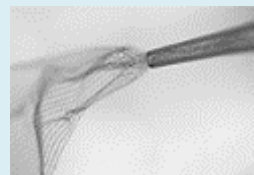
バイオマテリアルや細胞を自在配置するバイオ3Dプリントが出現。組織・臓器構築、創薬、再生医療への応用が期待される。



1細胞分解能3Dプリント (大阪大学)

脳計測

脳を電氣的・光学的に計測する技術の目覚ましい進展により脳機能・情報処理の仕組み解明が期待される。



<http://cml.harvard.edu/>

IoT×人工知能デバイス

人工知能やディープラーニング技術に基づくIoT/AIスマート社会の到来に期待が集まる。



(北海道大学発表より)

量子コンピューティング

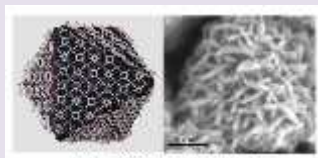
量子力学で演算を超高速化。「量子ゲート方式」と「量子アニーリング方式」がある。人工知能への応用が期待される。



<http://technology.mit.edu/technologies/18087>

多孔性構造体 (PCP/MOF/COF)

規則的なナノ空間を有し、高選択的な吸脱着場や電子・イオン伝導性、特異反応空間としての革新機能に期待。



<http://yaghi.berkeley.edu/>

データ駆動型材料設計

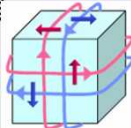
材料DBと機械学習など情報科学的手法を併用することで物質探索・設計手法を革新。開発期間を極端に短縮するマテリアルズ・インフォマティクス



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

トポロジカル絶縁体

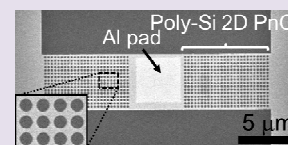
物質の境界(3次元系では表面、2次元系ではエッジ)に内部(絶縁体)と異なる特殊な金属状態が自発的に現れ、無散逸な電流が流れる。次世代電子デバイスの候補として期待



3次元トポロジカル絶縁体の表面を流れる無散逸流

フォノンエンジニアリング

ナノスケールの熱をフォノンとして理解し、熱を発生起源から制御する新材料・デバイス創出の研究が活発化。



フォノン結晶の例 (東大)

オペランド計測

物質から生物にわたる広範囲の対象に対してオペランド(実動作下)計測への期待が増し、技術開発が活発化



ナノテク・材料分野の研究開発 10のグランドチャレンジ



持続性／安全安心／競争力

社会実装
デバイス・部材
物質・機能
基盤技術
科学

“分離工学イノベーション”
物質分離の科学技術

分離技術
“ガス分離、化学プロセス、水素社会”、“浄化”、“医薬分離”

生体／人工物間のナノレベルの相互作用を可視化・解析

生体／人工物間相互作用制御バイオ材料・デバイス
“生体・人工物界面制御、3次元組織・細胞分析・制御デバイス”

ナノスケール動力学からの機能材料創出

ナノ動力学制御のスーパー複合材料開発
“物質と力の関係から新材料を。自己修復、アクチュエータ、接着”

革新コンピューティング、ナノシステム・新アーキテクチャ

IoT/AIチップ革新
“センシング、コンピューティング、ネットワーク、新アーキテクチャ”

“ナノ・IT・メカ統合スマートロボット”

Nano-Manufacturing
“Smart Robotics、Bio Inspired 設計製造”

“トポロジカル量子制御”
量子コンピューティング、スピントロニクス

量子系の統合設計・制御
“電子、光子、スピン、フォノン統合、トポロジカル量子”

“時空間分解スペクトロスコーピー”

オペランド計測
“実環境・超解像・時空間分解”

データ駆動型新材料設計

ナノスケール熱制御によるデバイス革新

マテリアルズ・インフォマティクス

ナノELSI/EHS産学官国際戦略対応

世界の知を吸引するR&D拠点・プラットフォーム形成、技術専門人材の長期確保

ナノテク・材料分野の研究開発のグランドチャレンジ



社会の期待や産業的要請の観点に加え、R&Dの世界動向における新しい展開・科学的発見・イノベティブな新技術の可能性(芽)が見えつつあるホット領域を抽出

分離技術 (分離工学イノベーション)
“温暖化ガス分離、化学プロセス、水素社会”、“浄化”、“医薬物質分離”

化学プロセス分離工程の省エネ化、環境汚染物質除去、来たる水素社会に向けたガス分離・吸蔵、鉱物資源分離、医療など広範な分野における分離・吸着機能材料・システムの研究開発。近年の新材料・ナノ構造制御技術や、計測・シミュレーションの進展を最大限活用し、実現へ向かう

生体/人工物間相互作用制御バイオ材料・デバイス “生体・人工物界面制御、組織・細胞分析・制御”

生体内における材料と生体分子、細胞の間に働くナノレベルの相互作用を可視化・解析。半導体チップ、マイクロ流路上に細胞、タンパク質、DNAを搭載、分子レベルの相互作用を制御、診断・創薬スクリーニングに応用。日本が蓄積してきた先端半導体微細加工技術やイメージング技術を、新規バイオ材料・デバイスの開発に繋げ、ヘルスケア領域のニーズへ展開。

ナノ動力学制御のスーパー複合材料開発 “物質と力の関係から新材料を”

マクロな機械的応力に対するナノサイズの分子集合体の挙動に関する、新しい知見を積み上げ、新たな発展の基盤を構築～ソフトマテリアルの応力集中現象、レオロジー、機能性分子の力学挙動などナノ領域の力学挙動を研究する

IoT/AIチップ革新
“センシング、コンピューティング、ネットワーク、新アーキテクチャデバイス”

センシング、次世代コンピューティング(ニューロ、量子)、ネットワーク等の機能を、超小型・低コスト半導体チップに集積し、安全・安心・福祉領域や健康管理・心身機能強化、新サービスの可能性を拓けるデバイスへと発展させる。近年のナノシステムデバイス研究が鍵となる

ナノ IT-功統合 Manufacturing
“Bio - Inspired 製造・プロセス、Smart Robotics ”

生物が低エネルギーで実現している構造や機能、プロセス・駆動機構に学び、人工的に再構築。3Dプリンティングなどを使ったバイオ・インスパイアード技術や、小型・軽量・高出力の自律・協調動作ロボットを実現する。生物機構のモデリング技術や新ソフト材料が登場し、世界的な注目領域になりつつある

量子系の統合設計・制御技術
“電子、光子、スピン、フォノン統合、トポロジカル量子”

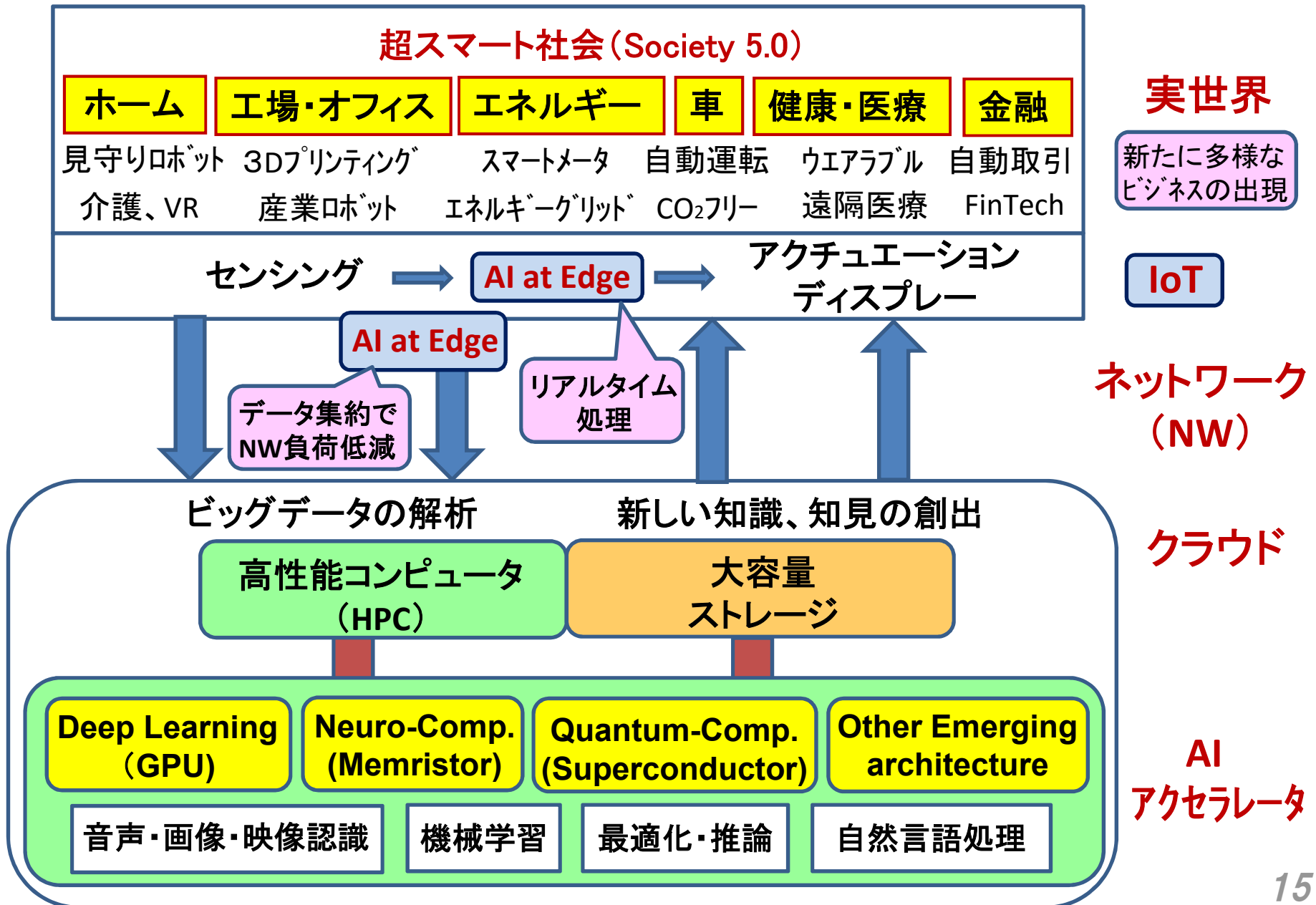
・電子、光子、スピンのに加え、熱の起源「フォノン」を量子力学的に統合した統合制御技術を構築。ICTの進歩に伴い避けられなくなってきた発熱問題を、熱の起源から制御。
・トポロジカル量子状態を人為的に制御する新技術・新材料の登場で、量子コンピュータの実現が期待

オペランド計測
“実環境・超解像・時空間分解”

物質から生物にわたる広範囲の対象に対し、先端計測技術を用いたオペランド(実動作下)観測を適用し、解析することによって、新物質の探索、電池・触媒・デバイス等の開発、生物現象の解明を図る。新材料創成や医薬品・生物生産向上におけるイノベーションへの期待。

データ駆動型新材料設計
Materials Informatics

発見から実用化までに30年かかるとされる材料開発のコストと時間を短縮する。データ科学を徹底活用した新材料探索・設計アプローチ。より複雑化・多元化する高機能材料への期待を、データ科学、人工知能(AI)、機械学習と連携した新アプローチによって克服する



超スマート社会を支えるナノテクノロジー・材料技術



- ✓ 膨大な情報の処理, 蓄積, 伝送を可能にするナノエレ, スピントロクス, フォトニクス
- ✓ 周囲の情報を収集し, 必要な情報を配信する多様なIoT(センサー, ネットワーク,)
- ✓ 機能性材料(新素材)が実現するデバイス革新



(参考) 超スマート社会の情報の流れと必要となる技術(※CSTI ナノテク・材料分科会)

	技術領域または個別技術	必要となる理由、創出される価値等
センサ等からの大量の情報の収集・発信	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽電池・燃料電池・蓄電デバイス・熱電変換 ・MEMS、センシングデバイス・システム ・有機エレクトロニクス ・超低消費電力ナノエレクトロニクスデバイス ・異種機能三次元集積チップ ・バイオセンサー、生体イメージング 	<ul style="list-style-type: none"> ・受発信可能なアクティブセンサの電源問題に対応、安定的に供給 ・大量に配置されるセンサーの個別電源として活用 ・高感度・小型・低価格センサの提供と、配置での確かな情報収集 ・大面積・薄膜のセンサによる広範囲の2次元情報の収集 ・多様なセンサの機能集積、データの前処理・圧縮 ・体内の分子レベルから細胞レベルの活動状況や生物学的プロセスの可視化による医療、創薬、診断、予防への的確な情報収集
サイバー空間における情報処理・分析	<ul style="list-style-type: none"> ・超低消費電力ナノエレクトロニクスデバイス、二次元物質等による、超高速ディープラーニングを実現する新コンピューティング ・フォトニクス ・異種機能三次元集積チップ ・スピントロニクス 	<ul style="list-style-type: none"> ・超高速で効率的な情報処理・分析の実施。ディープラーニングの進展には計算能力・機構・スピードがボトルネックとなり、新アーキテクチャ・新コンピューティングのハードウェアが解決する ・大容量のデータの高速度送信（通信網、コンピュータ配線） ・CPU/メモリ間の短縮による情報処理の高速化 ・大容量で高速なメモリ/ストレージの提供
アクチュエータ等を介して現実世界に作用	<ul style="list-style-type: none"> ・パワー半導体 ・有機エレクトロニクス ・MEMS、スマートロボティクス、バイオインスパイアード設計・制御技術 ・生体適合界面形成デバイス、ソフトマテリアルデザイン 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力網、輸送機器、工場などにおける高効率な電力制御 ・高効率・小型ディスプレイによる情報の可視化、大画面による仮想現実の提供 ・マイクロミラーなど超小型の運動機能の提供、ロボット等での効率的な運動制御方法の提供 ・人（生体）とデバイス（人工物）間のインターフェースを制御することで、物理的・情動的な双方向やりとりを実現
共通基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> ・マテリアルズインテグレーション（≒マテリアルズインフォマティクスを駆使した材料設計・制御技術） ・ナノELSI/EHS、責任ある研究開発 ・加工プロセス、計測 ・元素戦略・希少元素代替技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料開発期間の短縮により、超スマート社会の実現を加速 ・社会とのコミュニケーション・コンセンサス形成を経ながら、新物質・新材料、新技術の利活用を、未来に対し責任を持って進める ・微細加工、その場観察による信頼性の高い新たな材料・デバイス開発の促進 ・資源制約からの解放、上記の各テクノロジーの多くは希少元素がキーとなっている

エコ・安全・快適な移動を実現するナノテク・材料 (システム化ナノテクノロジー)



高強度軽量複合材料
(車体、水素ボンベ)

- ・カーボン複合材料

排ガス浄化触媒
(NO_x, CO, HC)

- ・低コスト・ナノ触媒
- ・MOF

フレキシブル
ディスプレイ

- ・有機機能材料
- ・OLED

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



監視・測長センサー

- ・ミリ波レーダー
- ・ライダー(LiDAR: Light Detection & Ranging)
- ・高出力レーザーヘッドライト



超小型電力素子

- ・GaN デバイス
- ・SiC デバイス

蓄電池、燃料電池
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

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

- 自動運転技術
- エネ・環境技術

主要国のナノテク・材料基本政策・国家戦略



日本	◆第5期基本計画では、Society5.0の実現へ向けた11のシステムの一つとして「統合型材料開発システム」を特定。「素材・ナノテクノロジー」は新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の一つ。
米国	◆National Nanotechnology Initiative (2001-) -第6次NNI戦略プラン(2016-) 省庁横断テーマ NSI (Nanotechnology Signature Initiative) を更新 -National Strategic Computing Initiative やBRAIN Initiativeと連携し、新コンピューティング開発
	◆Materials Genome Initiative (2011-) -実験ツール、計算機、データの連携により、研究室での新材料の発見から製造までの時間を半減
欧州	EU ◆Horizon 2020 (2014-) -Key Enabling Technologies (KETs)として、ナノテクノロジー、先進材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトンクス、バイオテクノロジー、先進製造を選定。 -FET (Future and Emerging Technologies) プロジェクトの一つ、Graphene Flagshipを開始
	独 ◆Action Plan Nanotechnology 2020 を開始(2016-) -新ハイテク戦略の一環としてBMBFを中心に7省が連携して策定
	英 ◆UK Nanotechnologies Strategy (2010-) -ビジネス・イノベーション・技能省(BIS)が中心となった省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略
	◆UK COMPOSITES STRATEGY (2009-) -BISを中心に航空機、自動車向けの耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の開発
仏 ◆France Europe 2020 (2013-) -先進材料、ナノエレ、ナノマテリアル、マイクロ・ナノ流体工学が優先領域	
中国	◆国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) -先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学研究4分野の一つに「ナノ研究」 -第13次5か年計画 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」「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
韓国	◆第三次科学技術基本計画(2013-2017) -30重点国家戦略技術の一つに「先端素材技術(無機、有機、炭素等)」 ◆Korea Nanotechnology Initiative (2001-)は第4期目に(2016-2025) -製造業のリーディング技術開発、ナノテク産業のグローバルリーダー

(参考) 米国ナノテクイニシアティブNNIの予算構造の変化

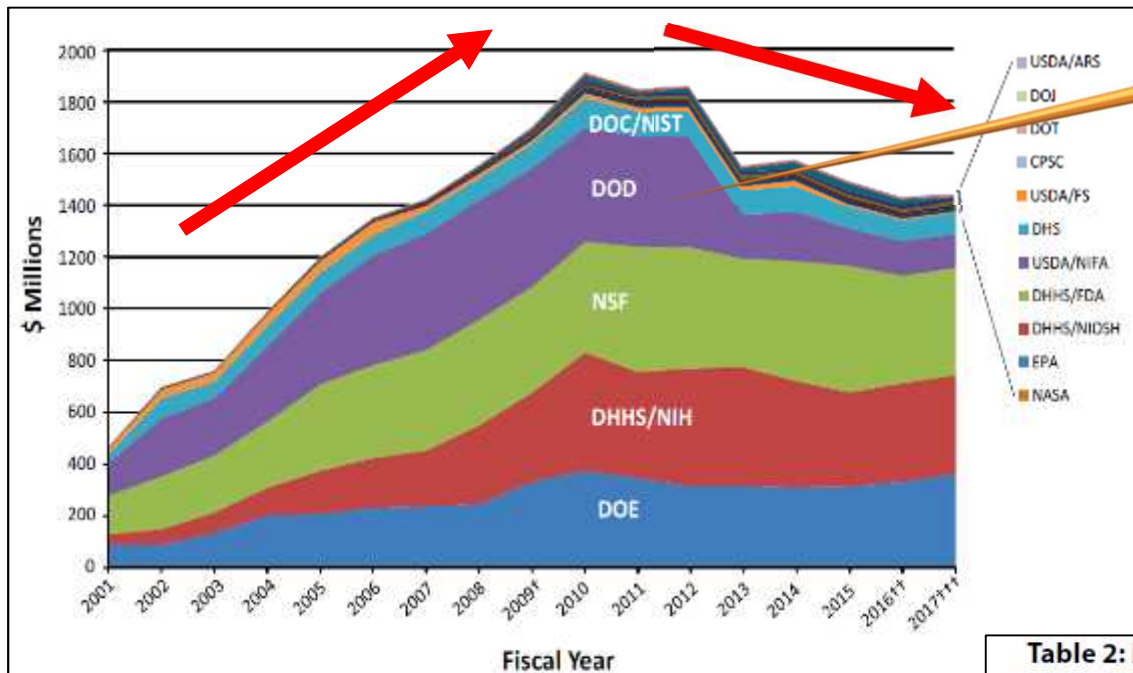


Figure 1. NNI Funding by Agency, 2001–2017.

† 2009 figures do not include American Recovery and Reinvestment Act funds for DOE (\$293 million), NSF (\$101 million), NIH (\$73 million), and NIST (\$43 million)
 †† 2016 estimated funding is based on 2016 enacted levels and may shift as operating plans are finalized.
 ††† 2017 Budget.

減少部分の多くはDOD

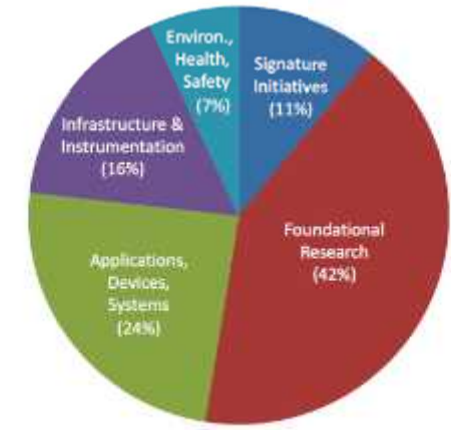


Figure 2. Breakout of NNI Funding by Program Component Area in the 2017 Budget.

Table 2: Program Component Areas Defined for Fiscal Year 2015

1. Nanotechnology Signature Initiatives (NSIs)

- Nanotechnology for Solar Energy Collection and Conversion
- Sustainable Nanomanufacturing
- Nanoelectronics for 2020 and Beyond
- Nanotechnology Knowledge Infrastructure (NKI)
- Nanotechnology for Sensors and Sensors for Nanotechnology

2. Foundational Research

3. Nanotechnology-Enabled Applications, Devices, and Systems

4. Research Infrastructure and Instrumentation

5. Environment, Health, and Safety

6つ目のNSIとして、Water Sustainability through Nanotechnology: Nanoscale Solutions for a Global-Scale Challenge を2017年開始

Program Component Areas in the NNI

1. Nanotechnology Signature Initiatives (NSIs)

- (1) Sustainable **Nanomanufacturing**
- (2) **Nanoelectronics** for 2020 and Beyond
- (3) Nanotechnology **Knowledge Infrastructure**(NKI)
- (4) Nanotechnology for **Sensors** and Sensors for Nanotechnology
- (2017 new) **Water Sustainability** through Nanotechnology

2. Foundational Research

3. Nanotechnology-Enabled Applications, Devices, and Systems

4. Research Infrastructure and Instrumentation

5. Environment, Health, and Safety

欧州 (Horizon 2020)

3つのプライオリティ

1. 卓越した科学
2. 産業界のリーダーシップ確保
3. 社会的な課題への取り組み

1. 卓越した科学

- FETs (Future and Emerging Technologies) として、新しくかつ有望な分野の連携研究を支援
- FET Flagshipsでは、10年間で1プロジェクトあたり10億ユーロの大規模投資 (グラフェンFSPにつづき、量子技術FSPを計画中)

2. Key Enabling Technologies (KETs)

- ナノテクノロジー
- 先進材料
- マイクロ・ナノエレクトロニクス
- フォトニクス
- バイオテクノロジー
- 先進製造

3. 6つの社会的課題

1. 保健、人口構造の変化および福祉
2. 食糧安全保障、持続可能な農業およびバイオエコノミー等
3. 安全かつクリーンで、効率的なエネルギー
4. スマート、環境配慮型かつ統合された交通・輸送
5. 気候への対処、資源効率および原材料
6. 包括的、イノベティブかつ安全な社会



文部科学省

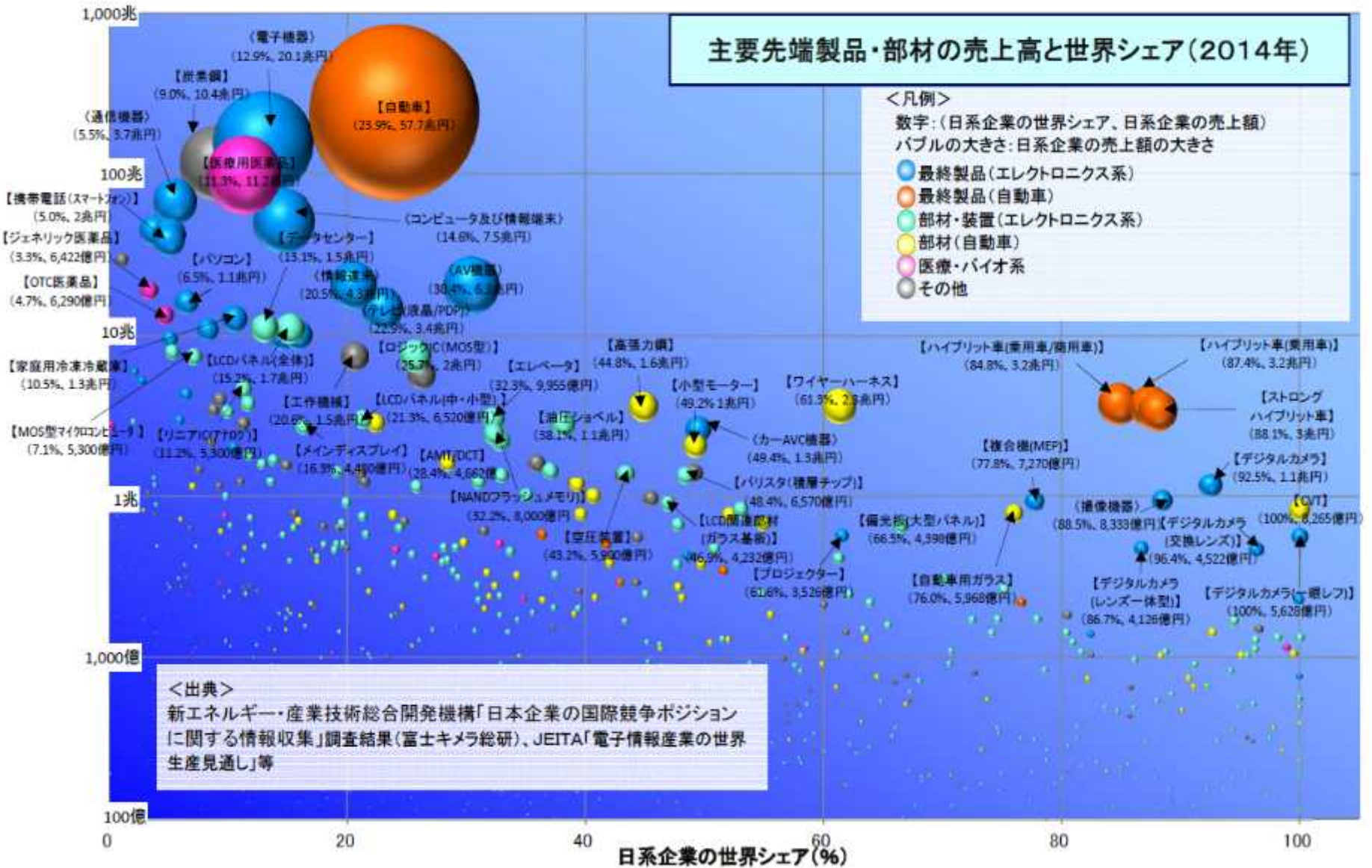
- 元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>
- 統合型材料開発プロジェクト
- ナノテクノロジープラットフォーム
- 革新的材料開発力強化プログラム (H29年度新規)
- 省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発
- 光・量子融合連携研究開発プログラム
- 最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム

経済産業省

- 超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト
- 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発
- 革新的新構造材料等技術開発プロジェクト
- 革新的水素エネルギー貯蔵・輸送等技術開発
- IoT推進のための横断技術開発プロジェクト
- 次世代人工知能・ロボット中核技術開発
- 輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業
- 省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業

産業動向（主な製品・部材の売上高とシェア）

世界市場規模(円)



【出典】国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
 「平成27年度 日本企業の国際競争ポジションに関する情報収集」平成28年3月(委託先 株式会社富士キメラ総研)

産業動向（主な製品の市場規模予測）

研究開発領域	現在(2012,2013)	将来	出展
太陽電池(※モジュール)	3兆1,300億円	5兆1,270億円(2030)	富士経済
燃料電池	-	5兆1,843億円(2025)	富士経済
蓄電デバイス	5兆円程度	20兆円(2020)	経済産業省
	6兆4564億円	7兆5616億円(2018)	富士経済
パワー半導体	143億1,300万ドル	294億5,000万ドル(2020)	矢野経済
	1兆6797億円	2兆7907億円(2020)	富士経済
触媒	-	195億ドル規模(2016)	フリードニア・グループ社
半導体	3450億米ドル	3,553億ドル(2016)	世界半導体市場統計(WSTS)
半導体材料	3兆0,707億円	3兆7,013億円(2017)	富士経済
ディスプレイ	11兆7,091億円	13兆9,129億円(2019)	富士キメラ総研
プリントド、有機、フレキシブルエレクトロニクス	298億ドル	736億9,000万ドル(2025)	グローバルインフォメーション
センサデバイス	3兆2,669億円	4兆5,293億円(2020)	富士キメラ総研
バイオマテリアル	440億米ドル	884億米ドル(2017)	グローバルインフォメーション
再生医療	1,000億円	1,0兆円(2020)	経済産業省
再生医療周辺産業	2,400億円	1,1兆円(2020)	
生体イメージング装置	2,408億円	2,751億円規模(2018)	シード・プランニング
炭素繊維	1,500億円程度	4,500億円(2020)	経済産業省
高機能分離膜	1,122億円	1,823億9,000万円(2020)	矢野経済
	4,842億円	5,988億円(2020)	富士経済

※Web上で公開されているもののみ

国際比較表まとめ（第3章：37研究開発領域）

環境・エネルギー応用

	フェーズ	太陽電池		人工光合成		燃料電池		熱電変換		蓄電デバイス		パワー半導体		グリーン触媒		分離材料・分選工学	
		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
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

	フェーズ	生体材料（バイオマテリアル）		再生医療材料		ナノ薬物送達システム（DDS）		計測・診断デバイス		脳・神経計測		バイオジェネリック			
		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
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

	フェーズ	ナノエレクトロニクス（デバイス）		超低消費電力（超低電力）		スピントロニクス		二次元機能性（二次元薄膜）		フォトニクス		有機エレクトロニクス		MEMS・センシングデバイス		エネルギーハーベスティング		三次元ヘテロ積層		量子コンピュータ		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	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	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→

社会インフラ応用

	フェーズ	構造物材料				非破壊検査・劣化予測		テグメン			
		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	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→

物質と機能の設計・制御

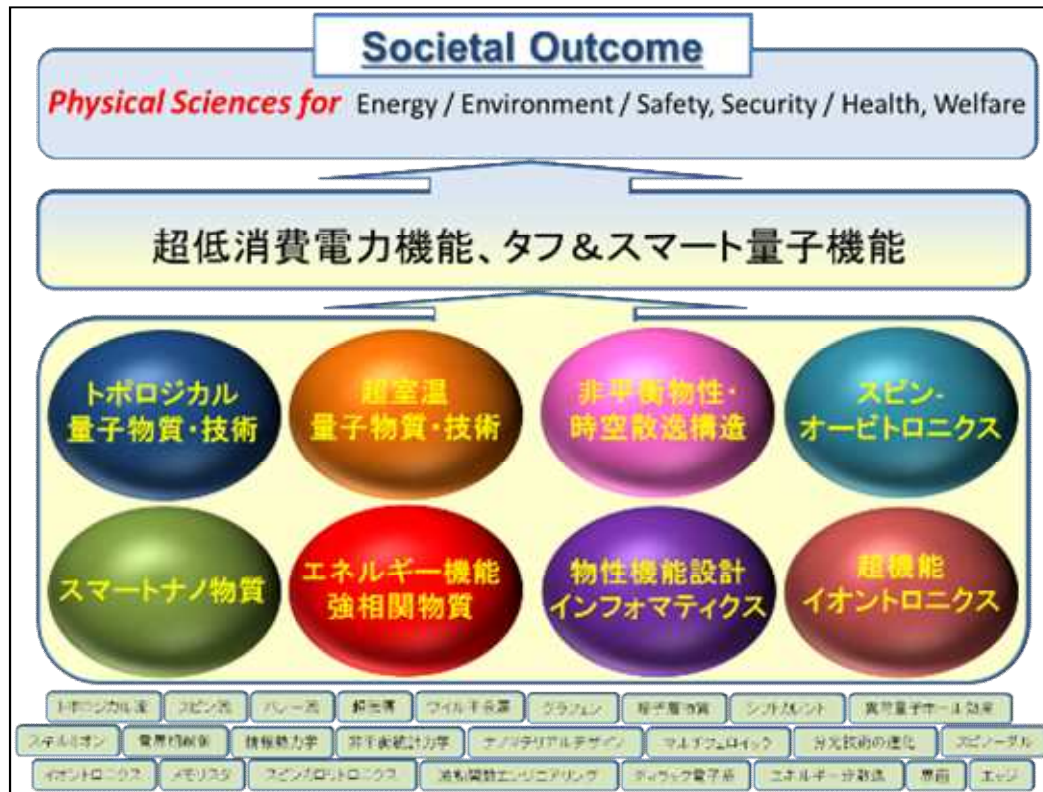
	フェーズ	制御・空間設計		バイオメテ		分子技術		元素代替技術		ナノプリンティング	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
日本	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
米国	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
米国	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
欧州	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
欧州	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
中国	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
中国	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
韓国	基礎	○	→	◎	→	△	→	△	→	△	→
韓国	応用・開発	△	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→

共通基盤科学技術

	フェーズ	加工・プロセス		先端計測		物質・材料シミュレーション	
		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	◎	→	◎	→	◎	→

共通支援策

	フェーズ	E-L S標準 / EHS	
		現状	トレンド
日本	取組	○	→
日本	実効性	×	→
米国	取組	◎	→
米国	実効性	◎	→
欧州	取組	◎	→
欧州	実効性	◎	→
中国	取組	◎	→
中国	実効性	△	→
韓国	取組	△	→
韓国	実効性	△	→



新たな工学応用の可能性

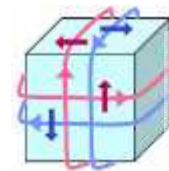
トポ量子計算(擾乱に頑健な演算)
トポスピントロニクス(超小型/超高速磁気メモリ/センサ)
トポフォトニクス(無散乱光導波路)

新たな物質相の創出

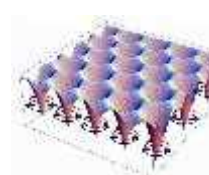
トポロジカル絶縁体、マヨラナ超伝導体
ワイル半金属、スピン量子液体、スキルミオン

量子力学(QM)の新展開

非相対論(物性物理)と相対論(素粒子物理)QMの融合
数学のトポロジーの概念による物質相の新たな理解



電子・スピンの無散乱走行



**戦略プロポーザル化へ向けて
トポロジカル量子戦略作成活動中
(当分野から2016年ノーベル物理学賞)**

材料設計・制御（新物質・新機能）領域



水の特異性と可能性

H₂Oのサイエンス、膜分離技術、逆浸透膜、微量成分の濃縮、カーボンナノチューブ・グラフェン膜間の水処理

脳物質科学

感情・意識や脳疾患の物質科学的理解、脳内複雑システム・ネットワークの解明、他の科学・技術分野との融合による脳科学イノベーション

主要元素循環

炭素および窒素・リン等の主要元素の地球化学的循環の実現

人工知能と計算科学の融合

人工知能（AI）と計算科学の融合による、新物質設計、新物性予測、新概念創出

ナノ工学

分子・材料・生命に跨るナノ工学の解明と技術創出、分子からバルク材料まで空間スケールでの物質の動的力学挙動解明・制御

Game-changing Material

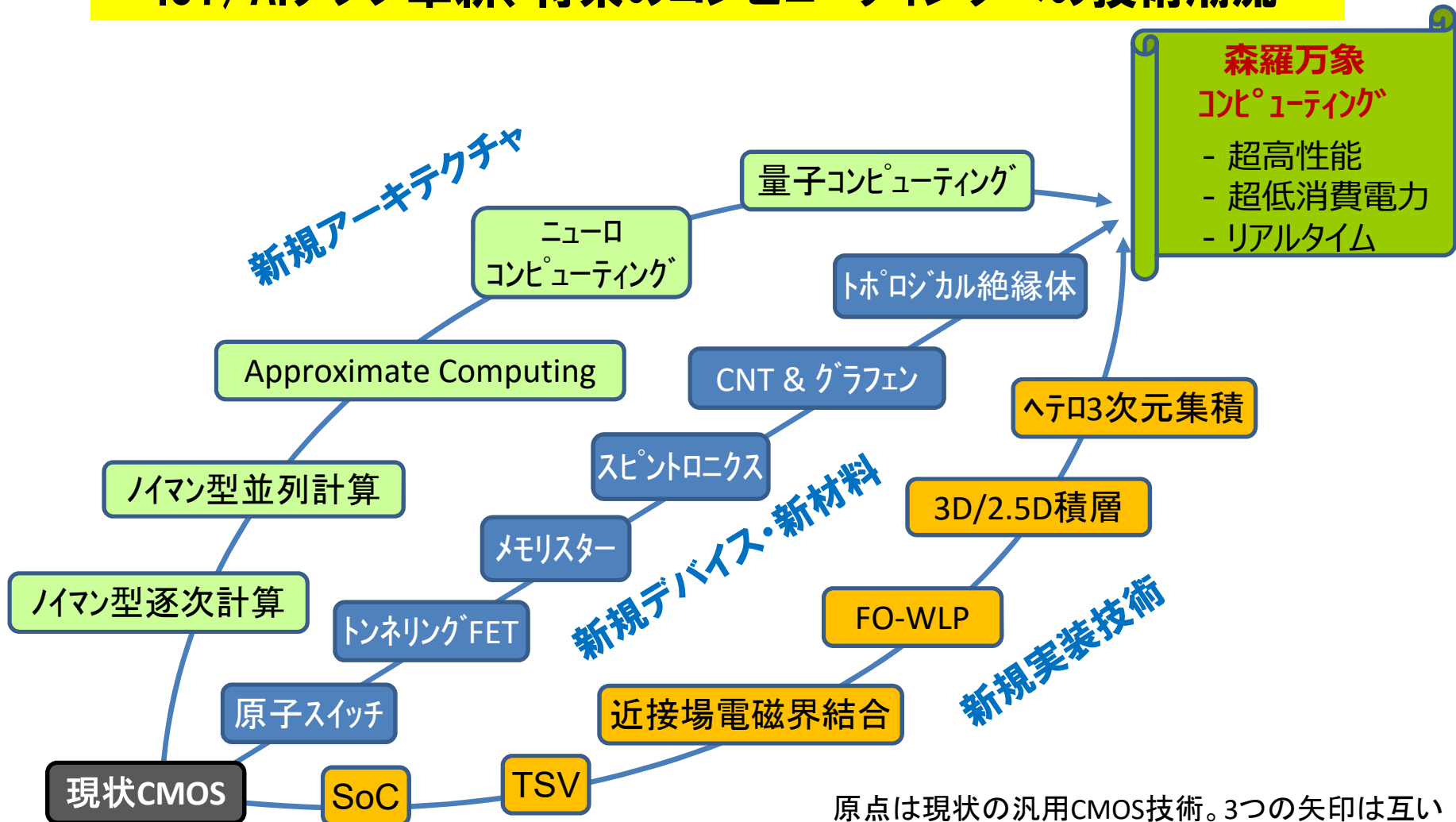
未常識物質=常識を覆し、物質科学に革命をもたらす物質
超熱電材料、超熱伝導、室温超伝導、超軽量・超難燃・超高強度材料、超変換触媒、超抗体医薬、etc

四次元プログラミング物質

原子空間配置および合成・集合化・機能発現の時間変化（ポテンシャルエネルギー変遷）の四次元的制御による複雑系・散逸系の構築



IoT/AIチップ革新、将来のコンピューティングへの技術潮流



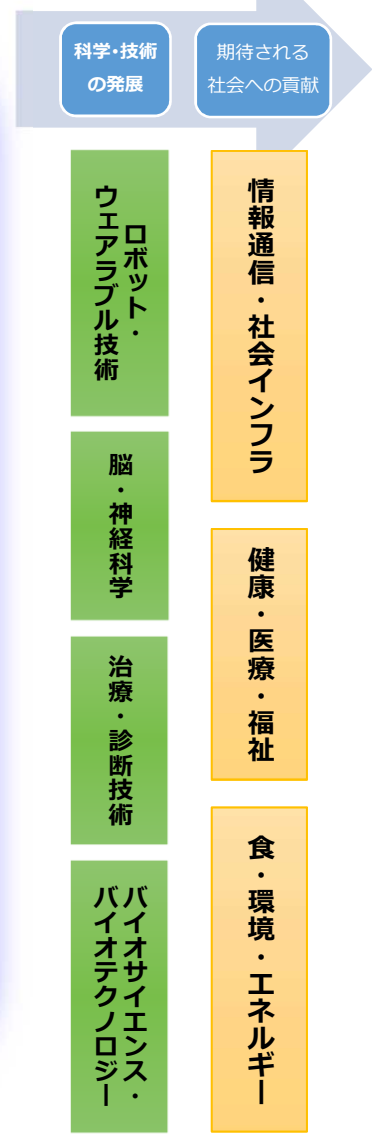
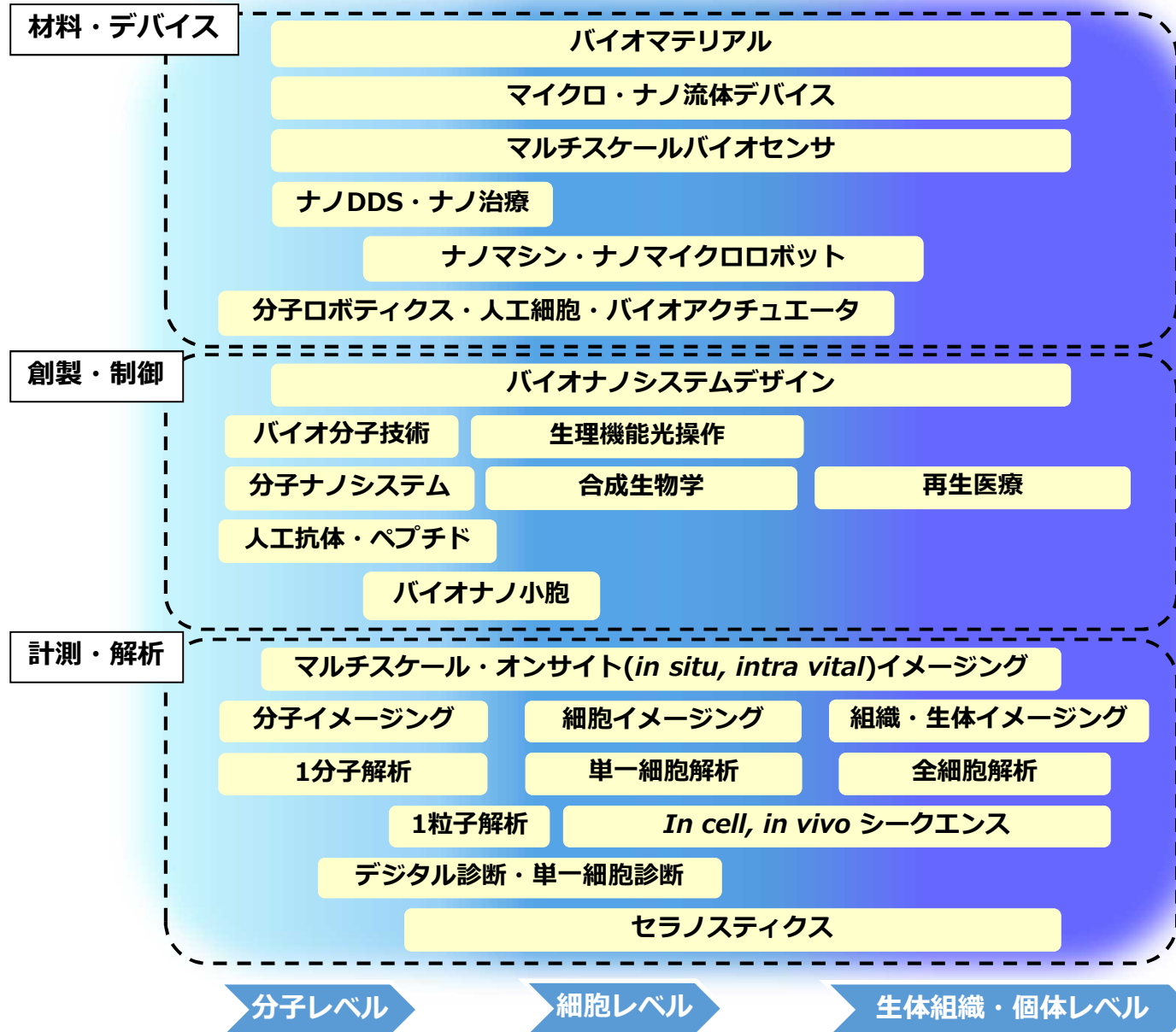
**森羅万象
コンピューティング**

- 超高性能
- 超低消費電力
- リアルタイム

原点は現状の汎用CMOS技術。3つの矢印は互いに排他的ではないが、より高い計算能力を生み出すための研究開発の方向性を示している

FET: Field Effect Transistor, SoC: System on a Chip,
TSV: Through Silicon Via, FO-WLP: Fan-Out Wafer Level Package

バイオ・ライフとナノテク・材料の融合領域の俯瞰



社会インフラ関連ナノテク・材料の俯瞰図



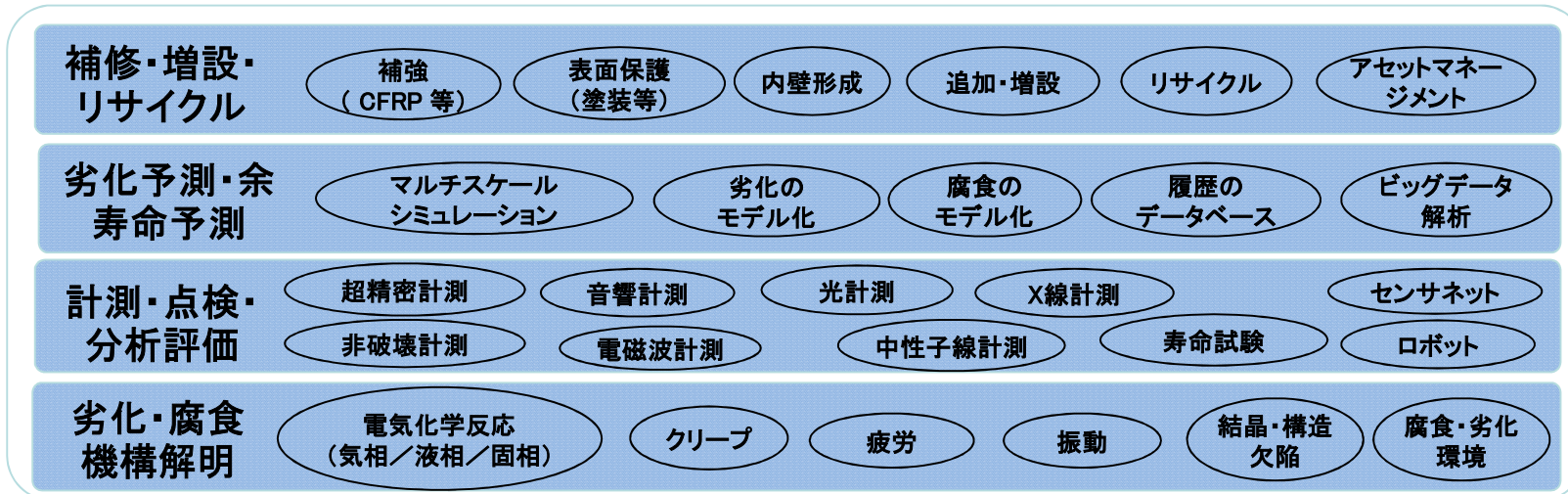
社会

社会インフラ維持管理

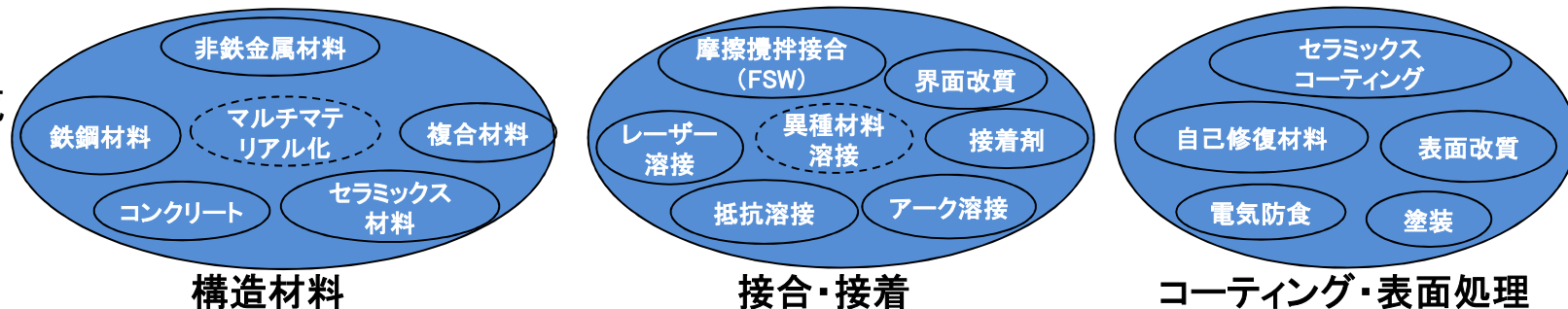
応用・システム

交通 ・道路 ・トンネル ・橋梁	上下・水道 ・浄水場 ・下水処理場 ・上水管 ・下水管渠	電力 ・送電 ・発電所 ・変電所	ガス ・高圧ガス タンク ・ガス管	通信 ・基地局 ・通信ケーブル	* * *	* * *
----------------------------------	---	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	-------	-------

点検・保守技術



構造形成技術



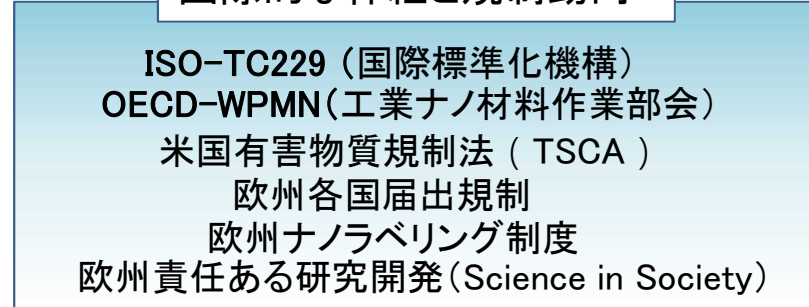
ナノテクノロジー-ELSI/EHS の戦略的取組課題



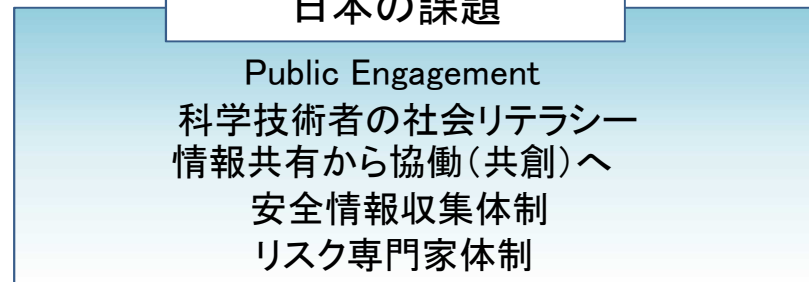
関連分野・項目



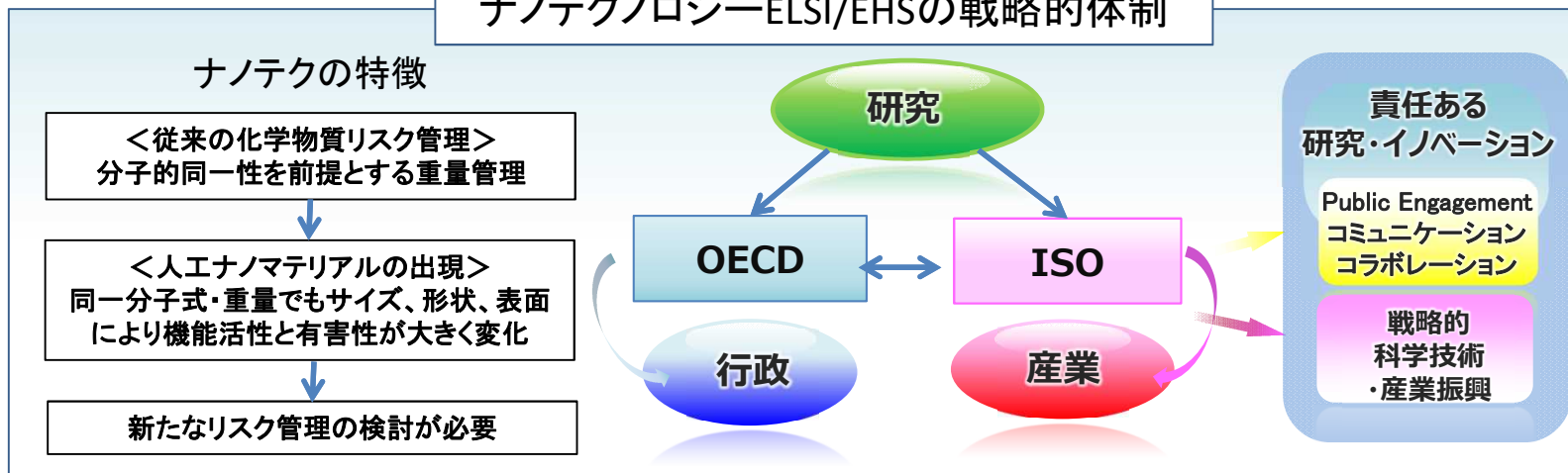
国際的な枠組と規制動向



日本の課題



ナノテクノロジー-ELSI/EHSの戦略的体制



● 施策および施策間連携における問題

- ・ 共通研究開発インフラ・装置の長期的な視点での維持・更新管理が困難
- ・ 施策を策定する行政官の任期が短く、長期的な責任体制が担保されない
- ・ 新しい施策や物珍しいものが予算獲得に有利になり、真に重要な施策が発展しない
- ・ 研究プロジェクトの失敗や戦略変更を考慮した仕組みが欠如
- ・ インセンティブの無い状況では現場の連携促進は困難、むしろ疲弊
- ・ 組織間連携を進めるための研究以外のマネジメントの欠如、先導する人材が希少
- ・ ナノテクノロジー・材料全体を俯瞰し関係府省・機関間で議論する継続的な場の欠如

方向性

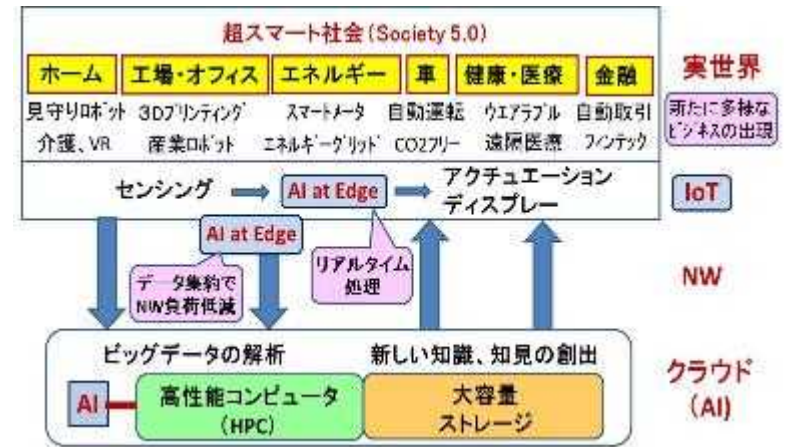
☆ 先端研究開発インフラの将来戦略、成長する研究開発施設・拠点の在り方

- ・ 関連分野を俯瞰した戦略づくりと、関係府省が共同して大きな施策を構築していくシステムティックな仕組み作り
- ・ 行政官が入れ替わっても、責任を継承し施策・拠点を発展させる仕組み
- ・ 将来を考慮した、施設・設備の更新戦略やプロジェクト立案、柔軟な戦略変更
- ・ 大型研究施設・研究拠点の運営における、上位視点での方針策定と、関係者間の共有

☆ 施策間連携、機関間連携、府省間連携、現場の連携

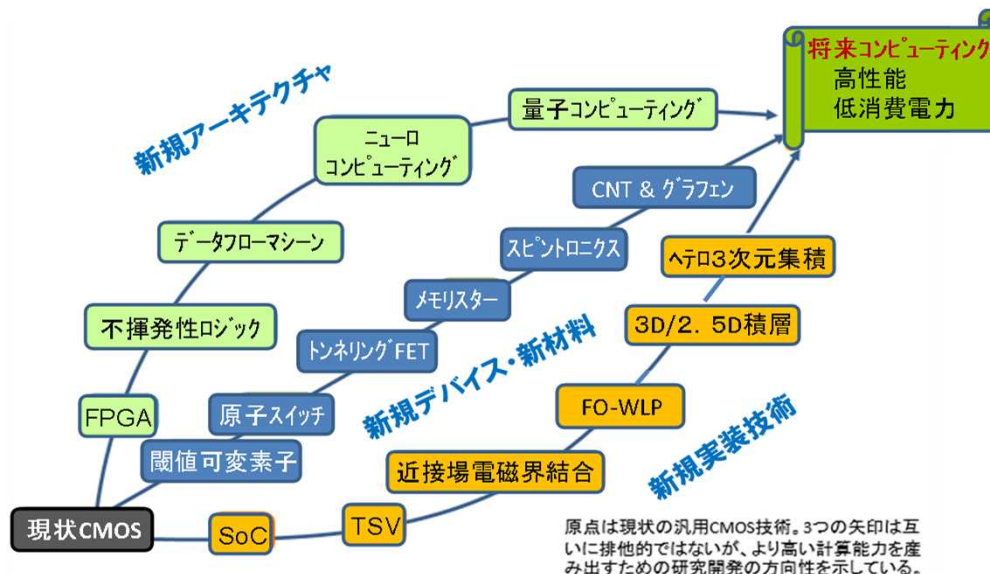
- ・ CSTIが司令塔となり、長期的な視点で、関係省庁が意見交換・議論して戦略を構築・実現していく場の継続
- ・ 府省間の連携を実質的なものにするため、現場では大学、国研、企業の研究者がアンダーワンループの形で参画し、一体的にマネジメントする仕組み
- ・ 研究現場での実質的な連携を促進するための共通ゴールの設定、連携のモチベーション・インセンティブの設計・付与

身の回りに配置された大量のIoTが膨大なデータを収集、AIを駆使したそれらのデータの解析により高付加価値の情報が実世界に提供され、市場や社会の大変革が訪れる。このようなIoT/AI時代を牽引するテクノロジーの中核は、センシング、ネットワーク、コンピューティング機能であり、それを担うのは機能集積化された半導体である。大変革時代をリードする半導体を中心とする次世代デバイス・システムの研究開発強化をおこなう。材料・デバイス、アーキテクチャ・ソフトウェアの新発案をチップとして具現化し、市場に結びつける研究開発エコシステムを機能させる。



IoT/AIが切り拓く超スマート社会

IoT/AI時代に要求されるセンシング、ネットワーク、コンピューティングの超高性能化には、半導体チップやMEMS導入によるセンサの小型化、低価格化が求められる。微細化限界迎える半導体に対し、新材料や新デバイス・新アーキテクチャと3次元実装の導入が要となる。研究成果を次々に蓄積し、事業者がオープンイノベーション環境のもと有効利用でき、市場へとつながる研究開発の循環システムが、今後の国際競争を左右する。



原点は現状の汎用CMOS技術。3つの矢印は互いに排他的ではないが、より高い計算能力を産み出すための研究開発の方向性を示している。

FPGA: Field Programmable Gate Array, FET: Field Effect Transistor, SoC: Silicon on Chip, TSV: Through Silicon Via, FO-WLP: Fan-Out Wafer Level Package

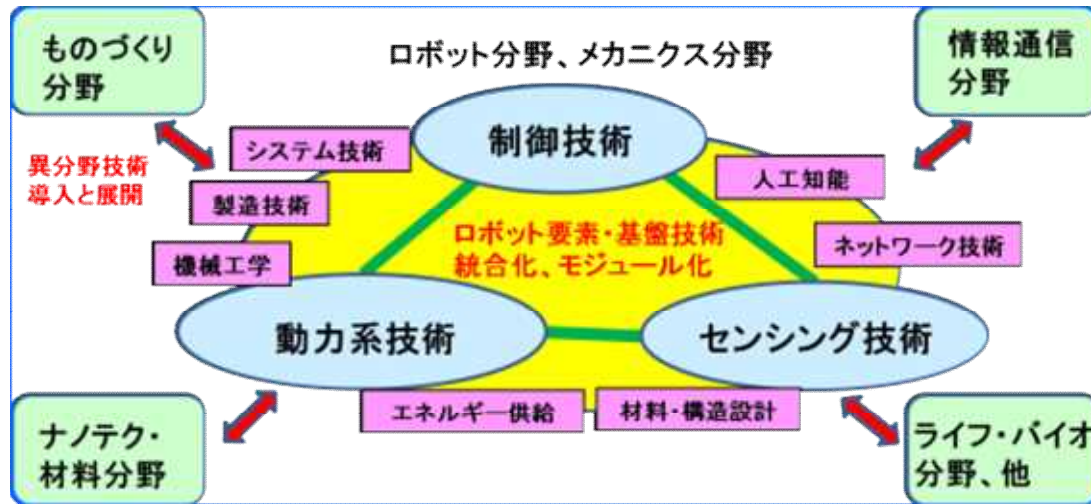
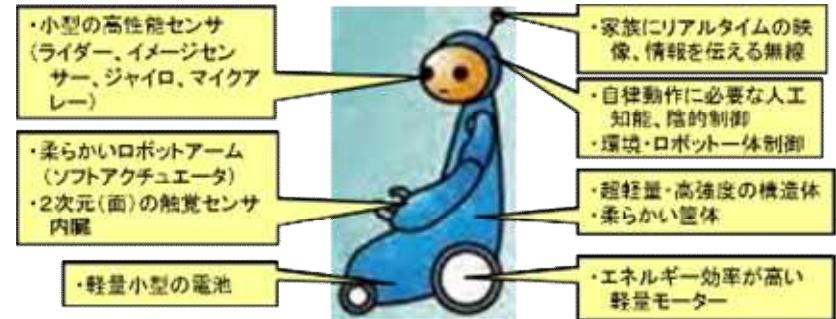
将来のコンピューティングに向けた半導体技術の潮流

- 関連政策**
- ・NEDO「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」
 - ・JST CREST、ACCEL
 - ・文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォーム
- 海外動向**
- ・欧州: スマート社会実現へ半導体を中心とする電子部品・システムの研究開発体制 (ECSEL) を構築
 - ・米国: National Strategic Computing Initiative

スマートロボット基盤技術研究開発



人に寄り添いスマートな(賢い)ロボットを実現するため、ナノテクノロジー・材料技術、情報通信技術(IT)、機械技術(メカニクス)などの異分野技術の統合・融合によって、アクチュエータ、センサ、制御に関わる革新的な要素技術・基盤技術開発をおこなう。さらに用途に合わせて統合し、ジュール化・システム化する。このような技術開発・システム化を推進し、人と共生可能な安全性を持ち環境変化にも対応可能なロボットを開発する。



少子高齢化が進む社会において、負担の少ない高齢者介護、持続可能な社会インフラ保守管理、災害やテロに対するセキュリティ強化などの課題の解決には、人間が苦手な作業の代行や人間の能力を強化するロボットの活用が望まれる。このようなロボットは人間との共生が前提となるため、人に危害を加えない安全性と、周囲の環境変化にも柔軟に対応できる機能が求められる。従来のロボット研究とは異なり、ナノ・材料・機械・ICTシステム制御の統合型研究開発が必要である。このような研究開発の基盤はプラットフォームとして、実証までシームレスに機能させることが重要となる。

関連する政策

- ・ロボット新戦略
- ・イノベーション総合戦略2016(第1章(3)「Society 5.0」における基盤技術の強化:2)フィジカル空間(現実空間)関連技術)

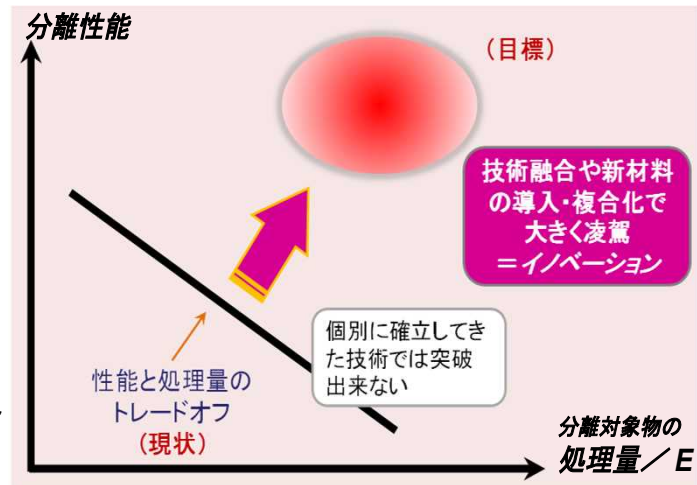
国内外の動向

- ・NEDO「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」他、国内ではロボット革命イニシアチブ協議会が2015年5月に発足
- ・米国はNational Robotics Initiative (NRI)により、人間と協働するロボットの開発と利用の加速を推進
- ・欧州はHorizon2020の中で民間ロボット開発計画SPARCやeuRoboticsによりロボットの開発を推進

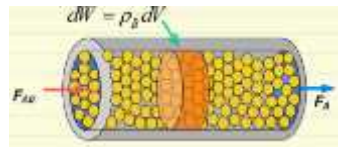
物質分離工学イノベーション



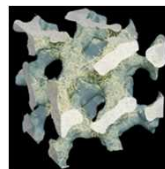
混合物から目的とする物質だけを取り出す／不要物を除く分離操作を、従来に比して格段に低エネルギー且つ高精度におこなう分離工学イノベーションを実現する。吸着・吸収分離や、膜分離、抽出分離、反応分離、晶析等の、新材料・新プロセス技術開発、プロセス最適システム化／要素技術の組合せ・複合化・融合化が鍵。工業的にニーズの高い分離系を対象とし、化学物質、希少元素、生体物質・医薬成分まで多岐にわたる。H₂/CO₂分離、CO₂/CH₄分離、CO₂/O₂分離、CO₂/N₂分離、O₂/N₂分離、He/CH₄分離、レアメタル分離、特定細胞・タンパク、細胞外小胞(エクソソーム)の精密分離等。混合状態も、気/気、気/液、液/液、固/液、固/固と多様だが、分離の基礎理論や基盤技術は相互に共通する部分があり、分野融合型の研究開発と実証型研究開発との連携が重要となる。



3大分離ニーズ



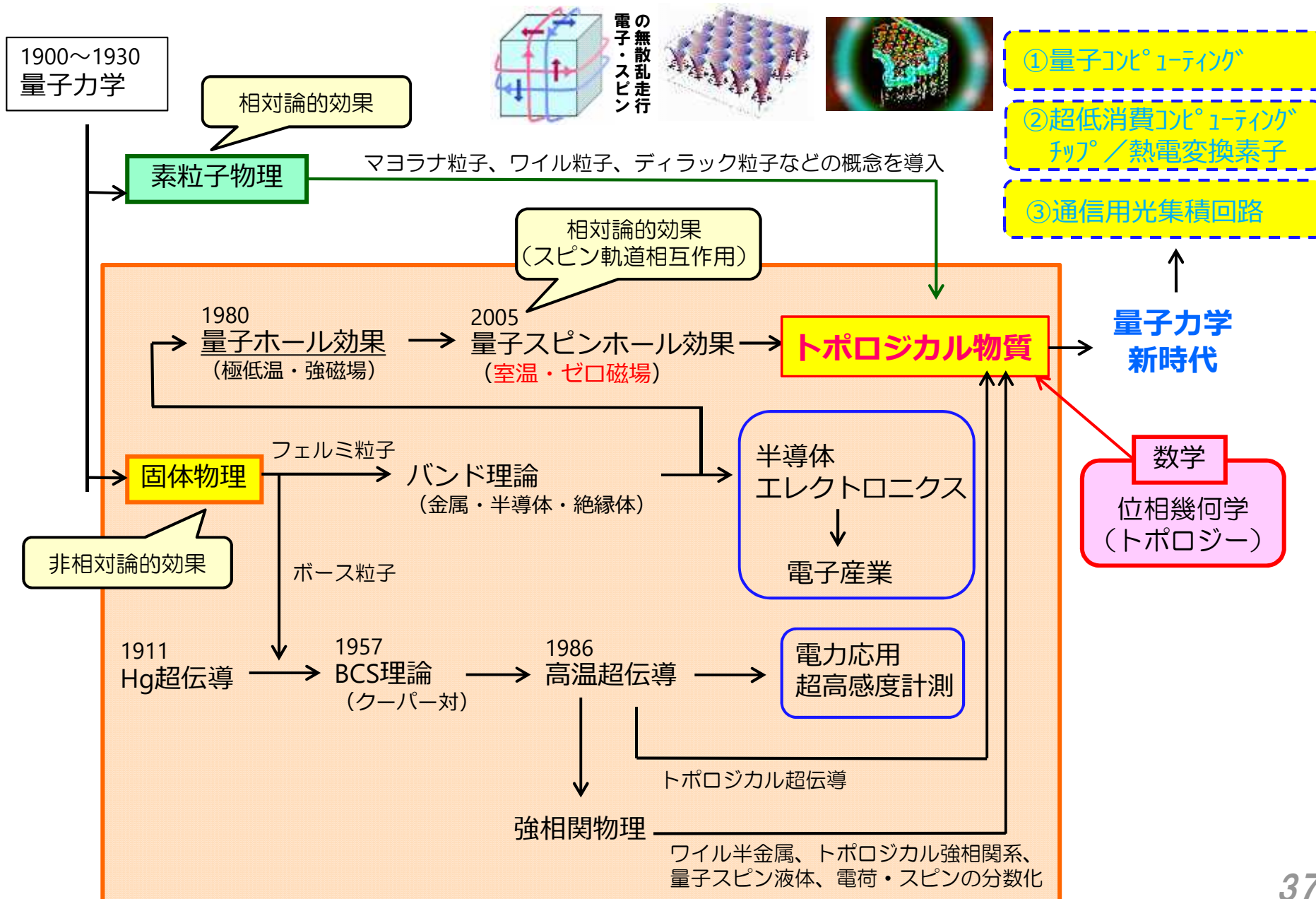
Membrane reactor



PolycaptureTM (NIMS)

石油化学産業におけるエネルギー消費は、全産業分野の約15%に相当し、その内約40%が蒸留操作に伴う分離・精製による。なかでも、H₂やCO₂、O₂、C_xH_y 類の主要ガス、希少元素は、燃料や基幹原材料製造、電子産業用途、また温室効果ガス対策の観点からも、分離・精製技術の革新が求められている。とりわけ分離・精製に要するエネルギーとコストが課題であり、抜本的なエネルギー効率改善を実現する分離技術の開発は重要ターゲット。生体物質・医薬成分に関しては、特定再生細胞の分離や、低分子・バイオ医薬成分の分離・分取技術の革新に産業界の高いニーズが存在。

トポロジカル量子物質が拓くデバイスイノベーション



謝 辞

本報告書作成の過程で、総勢240名の産学官の識者より、俯瞰WS参加・インタビュー・情報提供等多大なご協力をいただきました。改めて深く感謝申し上げます。

日本の大型研究開発プロジェクト（総合科学技術・イノベーション会議）

※ナノテク・材料関連を抜粋

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）（平成26年度～）		
環境・エネルギー	革新的燃焼技術	杉山（トヨタ自動車）
	次世代パワーエレクトロニクス	大森（三菱電機）
社会インフラ	インフラ維持管理・更新・マネジメント技術	藤野（横国大）
	革新的構造材料	岸（ISMA）
共通基盤	革新的設計生産技術	佐々木（日立製作所）

革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）（平成26年度～）		
ライフ・ヘルスケア	進化を超える極微量物質の超迅速多項目センシングシステム	宮田（名大）
	豊かで安全な社会と新しいバイオものづくりを実現する人工細胞リアクタ	野地（東大）
社会インフラ	核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化	藤田（東芝）
情報通信・エレクトロニクス	無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現	佐橋（東芝）
	量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現	山本（NII）
共通基盤	超高機能構造タンパク質による素材産業革命	鈴木（小島プレス）
	超薄膜化・強硬化「しなやかなタフポリマー」の実現	伊藤（東大）
	ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現	佐野（東芝）
	イノベーティブな可視化技術による新成長産業の創出	八木（キヤノン）

日本の主な研究拠点型プロジェクト（文部科学省） ※ナノテク・材料関連を抜粋

革新的イノベーション創出プログラム(COI) (平成25年度～)		
ライフ・ヘルスケア	さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点	東芝、東北大学
	スマートライフケア社会への変革を先導するものづくりオープンイノベーション拠点	川崎市産業振興財団
	自分で守る健康社会拠点	東京大学
	人間力活性化によるスーパー日本人の育成拠点	パナソニック、大阪大学
社会インフラ	革新材料による次世代インフラシステムの構築	大和ハウス工業、金沢工業大学
	世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点	日立製作所インフラシステム社、信州大学
情報通信・エレクトロニクス	活力ある生涯のためのLast 5Xイノベーション拠点	パナソニックプロダクションエンジニアリング、京都大学
	「以心電心」ハピネス共創社会構築拠点	東京工業大学
共通基盤	共進化社会システム創成拠点	九州大学
	コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点	東京大学

世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)(平成19年度～)		
環境・エネルギー	カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所(I2CNER)	ソフロニス(九大)
ライフ・ヘルスケア	物質-細胞統合システム拠点(iCeMS)	北川(京大)
	トランスフォーマティブ生命分子研究所(ITbM)	伊丹(名大)
共通基盤	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)	青野(NIMS)
	東北大学原子分子材料科学高等研究機構(AIMR)	小谷(東北大)

先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム(平成18年度～)		
情報通信・エレクトロニクス	フォトニクス先端融合研究拠点	河田(阪大)
	マイクロシステム融合研究開発拠点	小野(東北大)
	光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点	並木(産総研)

文部科学省

- 元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>
- 統合型材料開発プロジェクト
- ナノテクノロジープラットフォーム
- 革新的材料開発力強化プログラム (H29年度新新規)
- 省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発
- 光・量子融合連携研究開発プログラム
- 最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム

経済産業省・NEDO

- 超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト
- 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発
- 革新的新構造材料等技術開発
- 革新的水素エネルギー貯蔵・輸送等技術開発
- IoT推進のための横断技術開発プロジェクト
- 次世代人工知能・ロボット中核技術開発
- 輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業
- 省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業

NEDOの主要プロジェクト ※ナノテク・材料関連を抜粋

太陽光発電	太陽光発電多用途化実証プロジェクト	25-28	エレクトロニクス	次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発	22-30
	太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト	26-30		超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発	25-29
	太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト	26-30		次世代スマートデバイス開発プロジェクト	25-29
	高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発	27-31		クリーンデバイス社会実装推進事業	26-28
燃料電池・水素	水素利用技術研究開発事業	25-29	IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業	IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業	28-29
	固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発	25-29		IoT推進のための横断技術開発プロジェクト	28-32
	水素利用等先導研究開発事業	26-29		社会インフラ	インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
	水素社会構築技術開発事業	26-32	航空機用先進システム実用化プロジェクト		27-31
	固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業	27-31	ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト	27-31	
蓄電池	リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業	24-28	次世代人工知能・ロボット中核技術開発	27-31	
	先進・革新蓄電池材料評価技術開発	25-29	低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト	22-28	
	革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(RISINGII)	28-32	次世代材料評価基盤技術開発	22-29	
パワーエレ	低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト	21-31	基盤	非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発	25-31
触媒	二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発	26-33		革新的新構造材料等研究開発	26-34
	有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発	26-33		次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	26-33
				次世代構造部材創製・加工技術開発	27-31
				高輝度・高効率次世代レーザー技術開発	28-32
				植物等の生物を用いた高機能品生産技術開発	28-32
				超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト	28-33
				次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業	26-30
				高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業	29-34

近年のJST戦略的創造研究推進事業（CREST）プロジェクト ※ナノテク・材料関連を抜粋

H21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
■ 太陽光を利用した独創的グリーンエネルギー生成技術の創出 研究総括：山口 真史（豊田工業大学）														
■ 元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出 研究総括：玉尾 皓平（理化学研究所）														
■ エネルギー高効率利用のための相界面科学 研究総括：花村 克悟（東京工業大学）														
■ 新機能創出を目指した分子技術の構築 研究総括：山本 尚（中部大学）														
■ 超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製 研究総括：瀬戸山 亨（三菱化学）														
■ 素材・デバイス・デバイス融合による革新的ナノエレクトロニクス創成 研究総括：桜井 貴康（東京大学）														
■ 再生可能エネルギーからのエネルギーキャリアの製造とその利用のための革新的基盤技術の創出 研究総括：江口 浩一（京都大学）														
■ 二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出 研究総括：黒部 篤（東芝）														
■ 統合1細胞解析のための革新的技術基盤 研究総括：菅野 純夫（東京大学）														
■ 多様な天然炭素資源の活用に資する革新的触媒と創出技術 研究総括：上田 渉（神奈川大学）														
■ 新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術 研究総括：北山 研一（光産業創成大学院大学）														
■ 微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出 研究総括：谷口 研二（大阪大学）														
■ 量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出 研究総括：荒川 泰彦（東京大学）														
■ 計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用 研究総括：雨宮 慶幸（東京大学）														

近年のJST戦略的創造研究推進事業（さきがけ）プロジェクト ※ナノテク・材料関連を抜粋

H21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
■ 太陽光と光電変換機能 研究総括：早瀬 修二（九州工業大学）												
■ 光エネルギーと物質変換 研究総括：井上 晴夫（首都大学東京）												
■ 新物質科学と元素戦略 研究総括：細野 秀雄（東京工業大学）												
■ エネルギー高効率利用と相界面 研究総括：花村 克梧（東京工業大学）												
■ 分子技術と新機能創出 研究総括：加藤 隆史（東京大学）												
■ 超空間制御と革新的機能創成 研究総括：黒田 一幸（早稲田大学）												
■ 素材・デバイス・デバイス融合による革新的ナノエレクトロニクス創成 研究総括：桜井 貴康（東京大学）												
■ 再生可能エネルギーからのエネルギーキャリアの製造とその利用のための革新的基盤技術の創出 研究総括：江口 浩一（京都大学）												
■ 統合1細胞解析のための革新的基盤 研究総括：浜地 格（京都大学）												
■ 理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術 研究総括：常行 真司（東京大学）												
■ 革新的触媒の科学と創製 研究総括：北川 宏（京都大学）												
■ 光の極限制御・積極利用と新分野開拓 研究総括：植田 憲一（電機通信大学）												
■ 微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出 研究総括：谷口 研二（大阪大学）												
■ 量子の状態制御と機能化 研究総括：伊藤 公平（慶応義塾大学）												
■ 計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用 研究総括：雨宮 慶幸（東京大学）												

近年のJST戦略的創造研究推進事業（ERATO）プロジェクト ※ナノテク・材料関連を抜粋

H23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
■ 秋吉バイオナトランスポーター 研究総括：秋吉 一成(京都大学)											
■ 金井触媒分子生命 研究総括：金井 求(東京大学)											
■ 染谷生体調和エレクトロニクス 研究総括：染谷 隆夫(東京大学)											
■ 浅野酵素活性分子 研究総括：浅野 泰久(富山県立大学)											
		■ 安達分子エキシトン工学 研究総括：安達 千波矢(九州大学)									
		■ 磯部縮退 π 集積 研究総括：磯部 寛之(東京大学／東北大学)									
		■ 伊丹分子ナノカーボン 研究総括：伊丹 健一郎(名古屋大学)									
		■ 美濃島知的光シンセサイザ 研究総括：美濃島 薫(電気通信大学)									
		■ 齊藤スピン量子整流 研究総括：齊藤 英治(東北大学)									
		■ 百生量子ビーム位相イメージング 研究総括：百生 敦(東北大学)									
		■ 山元アトムハイブリッド 研究総括：山元 公寿(東京工業大学)									
		■ 中村巨視的量子機械 研究総括：中村 泰信(東京大学)									

近年のJST諸事業

※ナノテク・材料関連を抜粋

S-イノベ(戦略的イノベーション創出推進プログラム) テーマ

- 有機材料を基礎とした新規エレクトロニクス技術の開発
- フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発
- 超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出
- スピン流を用いた新機能デバイス実現に向けた技術開発

産学共創基礎基盤研究プログラム テーマ

- 革新的次世代高性能磁石創製の指針構築
- 革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築
- テラヘルツ波新時代を切り拓く革新的基盤技術の創出

ALCA テーマ

- 太陽電池および太陽エネルギー利用システム
- 超伝導システム
- 蓄電デバイス
- 耐熱材料・鉄鋼リサイクル高性能材料
- バイオテクノロジー
- 革新的省・創エネルギー化学プロセス
- 革新的省・創エネルギーシステム・デバイス

ACT-C(低エネルギー、低環境負荷で持続可能なものづくりのための先導的な物質変換技術の創出)

ACCEL テーマ

- | | |
|---------------------------------|---------|
| スローライト構造体を利用した非機械式ハイレゾ光レーダーの開発 | 馬場(横国大) |
| 元素間融合を基軸とする物質開発と応用展開 | 北川宏(京大) |
| 近接場結合集積技術による革新的情報処理システムの実現と応用展開 | 黒田(慶応大) |
| 濃厚ポリマーブラシのレジリエンシー強化とトライボロジー応用 | 辻井(京大) |
| 超活性固定化触媒開発に立脚した基幹化学プロセスの徹底効率化 | 魚住(分子研) |
| ダイヤモンド電極の物質科学と応用展開 | 栄長(慶應大) |
| PSD法によるフレキシブル窒化物半導体デバイスの開発 | 藤岡(東大) |
| 縦型BC-MOSFETによる三次元集積工学と応用展開 | 遠藤(東北大) |
| PCPナノ空間による分子制御科学と応用展開 | 北川進(京大) |
| フォトニック結晶レーザの高輝度・高出力化 | 野田(京大) |
| 自己組織化技術に立脚した革新的分子構造解析 | 藤田(東大) |
| エレクトライドの物質科学と応用展開 | 細野(東工大) |

近年の科学研究費補助金 大型費目 ※ナノテク・材料関連を抜粋

特別推進研究

国際的に高い評価を得ている研究であって、格段に優れた研究成果をもたらす可能性のある研究
(期間3～5年、1課題5億円程度を目安とするが、制限は設けない)

平成25年度

分野	領域名	代表研究者
エネ	イオントロニクス学理の構築	岩佐 義宏(東京大学)
ライフ	脳内に核酸医薬を送達する高分子ミセルの創製と脳神経系難病の標的治療への展開	片岡 一則(東京大学)
	統合ナノバイオメカニクスの創成	山口 隆美(東北大学)
	クライオ電子顕微鏡による生体分子モーターの立体構造と機能の解明	難波 啓一(大阪大学)
社会インフラ	single digit ナノスケール場の破壊力学	北村 隆行(京都大学)
エレ	分極を有する半導体の物理構築と深紫外発光素子への展開	天野 浩(名古屋大学)
基盤	時空階層性の物理学:単純液体からソフトマターまで	田中 肇(東京大学)
	物理的摂動を用いる巨視スケールにおよぶ構造異方性の制御と特異物性発現	相田 卓三(東京大学)
	階層的配位空間の化学	北川 進(京都大学)
	MEMS多軸力センサを用いた生物の運動計測	下山 勲(東京大学)

平成26年度

分野	領域名	代表研究者
エネ	ヒドロゲナーゼと光合成の融合によるエネルギー変換サイクルの創成	小江 誠司(九州大学)
ライフ	金属ナノ粒子による細胞内分子イメージング	河田 聡(大阪大学)
エレ	多機能なコヒーレントナノキストパルスの提案とそれを用いた超高速・高効率光伝送技術	中沢 正隆(東北大学)
	半導体モノリシック光波合成・任意ユニタリ変換光集積回路の創出	中野 義昭(東京大学)
基盤	超高压力下の新物質科学:メガバルケミストリーの開拓	清水 克哉(大阪大学)

近年の科学研究費補助金 大型費目 ※ナノテク・材料関連を抜粋

平成27年度

分野	領域名	代表研究者
基盤	サブフェムト秒分子イメージング	山内 薫(東京大学)
基盤	光・電磁波に相関する相転移物質の創成と新機能	大越 慎一(東京大学)
エネ	水を溶媒として活用する有機化学の革新	小林 修(東京大学)
ICT	スピン軌道エンジニアリング	新田 淳作(東北大学)
ICT	量子ドット-ナノ共振器多重量子結合系における固体量子電磁気学探求と新ナノ光源創成	荒川 泰彦(東京大学)
エネ	新材料・新界面統合設計戦略に基づく革新的エネルギー貯蔵システムの構築	山田 淳夫(東京大学)
ICT	スピンオービトロニクス of 学理構築とデバイス展開	小野 輝男(京都大学)
ライフ	ミトコンドリア生合成を司る細胞内統合的ネットワークの解明	遠藤 斗志也(京都産業大学)

平成28年度

分野	領域名	代表研究者
ICT	超高精度光格子時計による新たな工学・基礎物理学的応用の開拓	香取 秀俊(東京大学)
ICT	アト秒精度の超高速コヒーレント制御を用いた量子多体ダイナミクスの探求	大森 賢治(分子科学研究所)
ライフ	小胞体糖修飾の統合的ケミカルバイオロジー	伊藤 幸成(理化学研究所)
ICT	電子の走行と遷移が融合したテラヘルツ放射の解明によるデバイス限界の打破	浅田 雅洋(東京工業大学)
エネ	化学機械応力に立脚する革新的な高性能触媒の創生	石原 達己(九州大学)
ライフ	物理刺激で制御される膜蛋白質の分子機構の解明	濡木 理(東京大学)

近年の科学研究費補助金 大型費目 ※ナノテク・材料関連を抜粋

新学術領域研究(研究領域提案型)

研究者又は研究者グループより提案された、我が国の学術水準の向上・強化につながる新たな研究領域について共同研究や研究人材の育成等の取り組みを通じて発展させることを目的とする

(期間5年、単年度当たりの目安1領域1,000万円～3億円程度)

平成24年度

エネ	人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換:実用化に向けての異分野融合	井上 晴夫(首都大学東京)
ライフ	プラズマ医療科学の創成	堀 勝(名古屋大学)
インフラ	福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究	恩田 裕一(筑波大学)
基盤	元素ブロック高分子材料の創出	中條 善樹(京都大学)
	感覚と知能を備えた分子ロボットの創成	萩谷 昌己(東京大学)
	感応性化学種が拓く新物質科学	山本 陽介(広島大学)
	多面的アプローチの統合による計算限界の解明	渡辺 治(東京工業大学)
	生物多様性を規範とする革新的材料技術	下村 政嗣(東北大学)

平成25年度

基盤	ナノ構造情報のフロンティア開拓ー材料科学の新展開	田中 功(京都大学)
	原子層科学	齋藤 理一郎(東北大学)
	理論と実験の協奏による柔らかな分子系の機能の科学	田原 太平(理化学研究所)
	分子アーキテクニクス:単一分子の組織化と新機能創成	多田 博一(大阪大学)
	3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開	新井 康夫(高エネルギー加速器研究機構)

近年の科学研究費補助金 大型費目 ※ナノテク・材料関連を抜粋

平成26年度

エレ	ナノスピン変換科学	大谷 義近 (東京大学)
基盤	3D活性サイト科学	大門 寛 (奈良先端大)
	π 造形科学: 電子と構造のダイナミズム制御による新機能創出	福島 孝典 (東京工業大学)
	高次複合光応答分子システムの開拓と学理の構築	宮坂 博 (大阪大学)

平成27年度

基盤	トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア	川上 則雄 (京都大学)
エネ	高難度物質変換反応の開発を指向した精密制御反応場の創出	真島 和志 (大阪大学)
基盤	ハイブリッド量子科学	平山 祥郎 (東北大学)
基盤	J-Physics: 多極子伝導系の物理	播磨 尚朝 (神戸大学)
ライフ	反応集積化が導く中分子戦略: 高次生物機能分子の創製	深瀬 浩一 (大阪大学)
	共鳴誘導で革新するバイオイメージング	宮脇 敦史 (理化学研究所)

平成28年度

エレ	特異構造の結晶科学: 完全性と不完全性の協奏で拓く新機能エレクトロニクス	藤岡 洋 (東京大学)
基盤	配位アシンメトリー: 非対称配位圏設計と異方集積化が拓く新物質科学	塩谷 光彦 (東京大学)
ライフ	生物合成系の再設計による複雑骨格機能分子の革新的創成科学	阿部 郁朗 (東京大学)
基盤	光圧によるナノ物質操作と秩序の創生	石原 一 (大阪府立大学)
基盤	複合アニオン化合物の創製と新機能	陰山 洋 (京都大学)