

研究開発の俯瞰報告書

ナノテクノロジー・材料分野(2015年)

JST-CRDSナノテクノロジー・材料ユニット

2015年5月19日@文部科学省

ナノテクノロジー・材料科学技術委員会



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

俯瞰報告書2015年版ナノテク・材料分野 目次



1章. 序

2章. 俯瞰対象分野の全体像

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
- 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（歴史、現状と課題）

～国際動向と日本～

- 2.2.1.1 ナノテクノロジー・材料の進化
 - ・材料、ナノテクノロジーの歴史と進化
 - ・産業動向
- 2.2.1.2 主要国のナノテクノロジー・材料の基本政策
 - ・予算
 - ・各国の注目すべき研究開発プロジェクト
- 2.2.1.3 日本の研究コミュニティと研究者の動向
 - ・学会動向
 - ・論文動向
 - ・プロジェクトの事例

2.2.1.4 研究開発の動向

- ・3章研究開発動向のサマリー
- ・日本における代表的な研究成果
- ・俯瞰WSのサマリー

2.2.1.5 研究開発・イノベーション促進方策（環境整備）の動向

- ・世界のナノエレ研究拠点
- ・世界のナノテクノロジー共用施設ネットワーク
- ・オープンイノベーション、知財戦略、標準化活動、EHS、ELSI

2.2.2 今後の方向性

- 2.2.2.1 課題解決の道筋
- 2.2.2.2 日本の今後の戦略

3章. 研究開発領域

抽出した41の主要領域について、
1領域あたり、それぞれ5～10ページ程度ずつの動向を詳述

CRDSにおけるナノテク・材料分野の俯瞰活動

1. 分野全体の(特定の区分・領域によらない)動向調査
2. 特定の区分・領域の俯瞰: WS対象区分・領域の選定
 - ⇒WSの設計(関連動向調査や有識者インタビュー等)
 - ⇒WSの開催
 - ⇒俯瞰とトレンドのまとめ

2013-2014年

- ナノテクノロジー・材料分野 俯瞰ワークショップ 報告書(全体構想会議) CRDS-FY2014-WR-12
- ナノテクノロジー・材料分野 俯瞰ワークショップ 報告書
 - 光(フォトンクス・オプティクス領域分科会) CRDS-FY2013-WR-01
 - 物質・材料領域分科会 CRDS-FY2014-WR-01
 - ナノ計測技術領域分科会 CRDS-FY2014-WR-04
 - ものづくり基盤技術分科会 CRDS-FY2014-WR-03
 - バイオナノテクノロジー領域分科会 CRDS-FY2014-WR-10

直近5年

- ナノテクノロジー・材料分野 俯瞰ワークショップ 報告書(研究領域別分科会) CRDS-FY2012-WR02
- 社会的便益に向けた統合化技術の国際研究に関する日米韓国際ワークショップ報告書
CRDS-FY2012-WR09
- ナノテクノロジーの未来を展望する日米韓台ワークショップ報告書 CRDS-FY2010-WR-06
- G-Tec報告書 主要国のナノテクノロジー政策と研究開発・共用拠点 CRDS-FY2011-GR-01

メインメッセージ



- ナノテクノロジー・材料科学技術は分野横断の共通基盤技術であると同時に、他分野の各最先端領域において競争力の源泉となる革新技術や新知見を提供する。この20年あまりでその役割と概念はグローバルで議論が構築・継続され、段階的に、着実に進化
- 米・欧・亜諸国は科学技術力・産業競争力の強化を図るため、国策上の明確な位置づけ、投資を維持・強化。特に、中韓を始めアジア諸国が世界全体の研究開発投資を牽引、科学技術力の急激な上昇
- 日本は世界有数のナノテクノロジー・材料研究開発先進国といえるが、今後も現在の位置を維持できるかは予断を許さない状況
- その際、科学技術と工学、ビジネス・社会とのエコシステム形成が鍵となる。ナノテク・材料は、ICTのような未来の産業創造・社会変革の表舞台に立つものとは異なる分野であるが、逆に日本は強みを発揮できるナノテク・材料の革新がなければ、世界に勝るコア技術をもって、国際競争をリードすることは困難
- マテリアルズ・インフォマティクスに代表される、データ科学との連携・融合による新材料設計創出や、先端計測・微細加工・物質合成の先端設備共用、さらにスパコンに代表されるシミュレーション・計算インフラを連動させて活用することが、今後の世界の潮流
- 研究開発の投資効率を最大化させるためには、多様な専門家集団が集結可能な、このような最先端設備・知識インフラを日本全体をカバーするプラットフォームとして整備し、持続的に発展させる仕組みを持つことが重要

1. 分野の範囲と構造

- **ナノテクノロジー**は、原子・分子レベルの微小領域で生ずる現象の理解をベースに、ナノスケールでの制御や新しい機能の実現を目指す技術である。
材料技術は、物質科学をベースに工学的応用を図る技術である。これらは互いに深く関係しており、統合的に俯瞰し戦略を立案することが重要
- すなわち、**ナノテクノロジー・材料分野**は、環境、エネルギー、健康・医療、情報通信、社会インフラなど、**他の分野を横断し、これら分野の先端領域で革新的な進歩をもたらすイノベーションのエンジン**である
- ナノテクノロジーは、「先鋭化」「融合化」「システム化」という三つの技術世代が複合的に共鳴して進化。ナノテクノロジーのシステム化とは、要素の集積を通じて高度なシステム機能を生み出し、他技術と統合されて産業化に向かう過程・結果のことを指す。この同様の概念が国際的にも共通認識化されつつある



ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図 (2015年版)



社会実装

豊かな持続性社会

地球規模の課題解決

国際的な産業競争力

生活の質の向上

システム化 量産化 高機能 コスト 信頼性 環境負荷 安全 省エネ リサイクル

デバイス・部材

エネルギー

太陽電池
人工光合成
バイオマス
燃料電池
熱電変換
二次電池・キャパシタ
エネルギーキャリア

パワーデバイス
エネルギーハーベスト

環境

環境浄化膜
排ガス浄化触媒
環境モニター (デバイス)

健康・医療

生体適合性材料
再生医療材料
人工組織・人工臓器
診断・治療デバイス
DDS (薬物送達システム)
分子イメージング

**社会インフラ
(水・電力・交通・通信)**

超電導線材
超軽量・高強度材料
断熱材料・耐熱材料
水処理膜
モータ・高保磁力磁石
センサネットワーク

情報通信・エレクトロニクス

極限CMOS
記録媒体
光インターコネク
スマート・インターフェース
(センサ、ロボット、ウェアラブル)
固体照明・ディスプレイ
量子コンピュータ・通信

物質・材料

新興・融合領域

スピントロニクス フラスモニクス シリコンフォトニクス トポロジカル絶縁体 有機エレクトロロニクス

フォトニック結晶 メタマテリアル 量子ドット MEMS マイクロ・ナノフルイティクス 分子ロボティクス

ナノ粒子・クラスター ナノチューブ/CNT ナノワイヤ・ファイバ グラフェン/ナノシート/二次元薄膜 多孔性配位高分子 (PCP) / 金属有機構造体 (MOF) 超分子

基盤領域

高温超伝導材料 強相関電子材料 金属ガラス 複合材料 イオン液体 機能性ゲル

金属材料 磁性材料 半導体材料 酸化物材料 分子・有機材料 生物材料

共通基盤

設計・制御

分子技術 ナノ界面・ナノ空間制御 マイクロ・ナノトライボロジー ナノ熱制御 バイオ・人工物界面 バイオミメティクス マテリアルス・インフォマティクス
元素戦略

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

理論・計算

第一原理計算 分子動力学法 分子軌道法
モンテカルロ法 フェーズ・フィールド法 有限要素法

科学

ナノサイエンス

物質科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学

共通支援策
【システム化促進策】

教育
人材育成
研究インフラ
異分野融合
国際連携
知的財産
標準化
EHS・ELSI
産学連携
府省連携

主要な研究開発領域 (報告書第3章に動向の詳細を掲載)

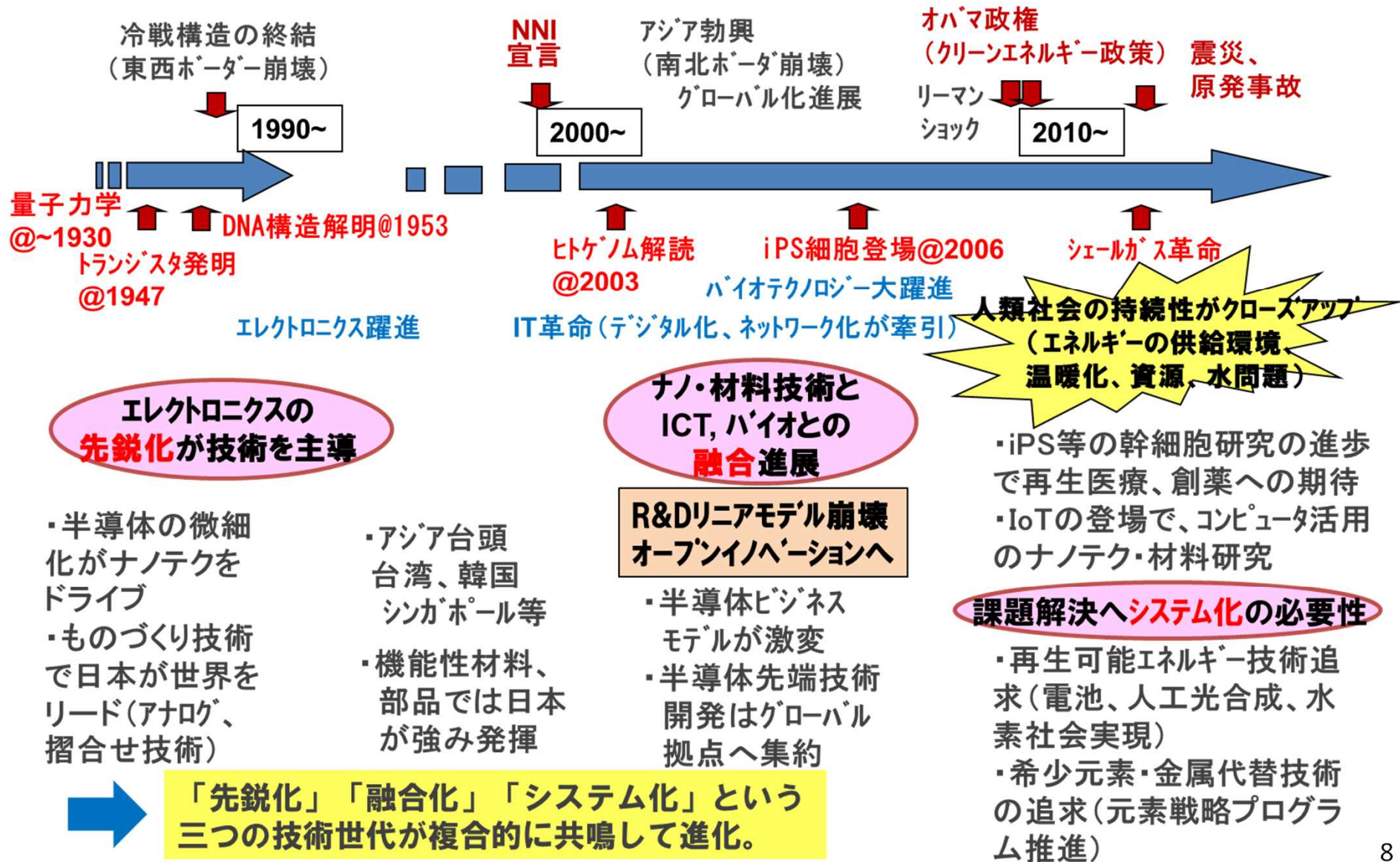


俯瞰区分	研究開発領域	俯瞰区分	研究開発領域	
環境・エネルギー	太陽電池	共通基 盤/ 科学技 術	界面制御	
	人工光合成		空間・空隙構造制御	
	燃料電池		バイオミメティクス	
	熱電変換		分子技術	
	蓄電デバイス		分子ロボティクス	
	パワー半導体デバイス		元素戦略・希少元素代替技術	
	グリーン触媒		マテリアルズ・インフォマティクス	
健康・医療	生体材料 (バイオマテリアル)		加工、プロセス	トップダウン型プロセス (半導体超微細加工)
	再生医療材料			ボトムアップ型プロセス (自己組織化等)
	薬物送達システム (DDS)		計測	走査プローブ顕微鏡
	計測・診断デバイス			電子顕微鏡
	バイオイメージング			放射光・X線
社会インフラ	構造材料 (金属)		理論、計算	超高速時間分解分光
	構造材料 (複合材料)			物質・材料シミュレーション
	水処理用分離膜	EHS、ELSI		リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションと社会受容
	放射性物質除染、減容化			
	高温超伝導 (線材)			
	センシングデバイス・システム			
俯瞰区分	研究開発領域			
ICT・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	グローバル、国内の社会的期待や研究開発動向等を踏まえ、3章の研究開発領域として41領域を選定		
	スピントロニクス			
	二次元原子薄膜			
	フォトンクス			
	有機エレクトロニクス			
	MEMS			
	異種機能三次元集積チップ			

赤: 2015年版報告書で新規・拡充

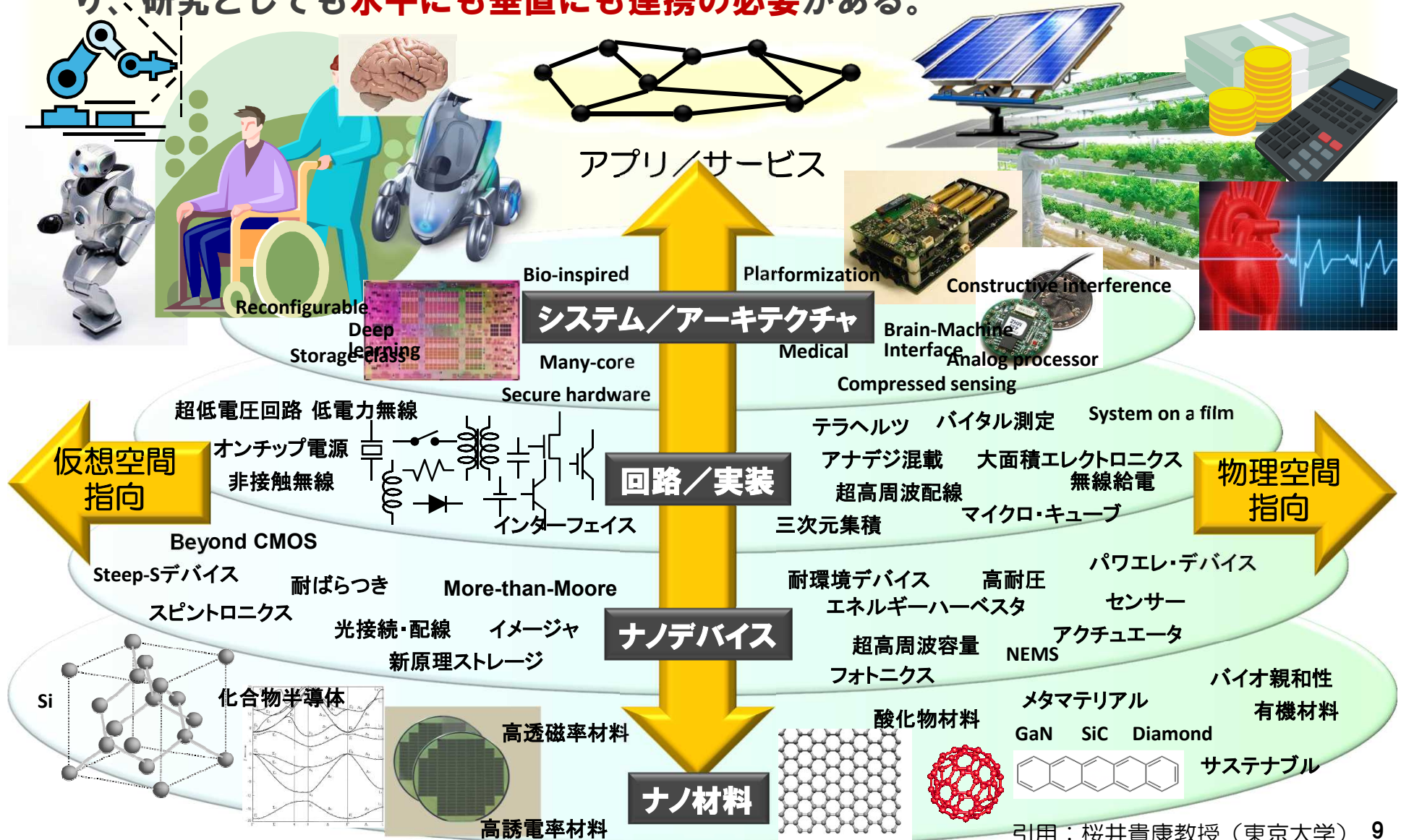
2. 分野の変遷

ナノテクノロジー・材料科学技術の進化の背景



ナノのシステム化（ナノエレクトロニクスの例）

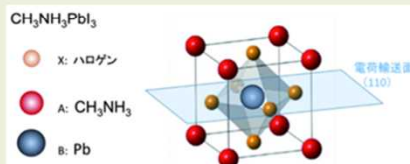
物質・材料をベースとするナノテクノロジーが、製品やサービスという形で社会実装されるには、材料、デバイス、実装、システムの階層を通過していく必要があり、研究としても**水平にも垂直にも連携の必要**がある。



2. 1. 世界的なナノテク・材料が関わる研究トレンド

有機無機ペロブスカイト太陽電池

有機-無機複合物質による太陽電池の新しい可能性に期待。



臓器チップ

複数の臓器チップを組み合わせ創薬、病態解析に向けた「**Body-on-a-Chip**」の実現も期待される。

トリリオンセンサ

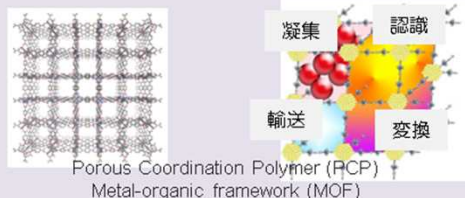
IoT社会(社会インフラからヘルスケアまで)の多様な革新的センサデバイスの開発が期待される。

量子コンピュータ

量子アニーリングに基づく量子コンピュータが実用化。今後最適化問題等で劇的な高速化の期待も。

多孔性材料(金属有機構造体)

構造に高い空隙率を有し、ポラス性と電子伝導・イオン伝導特性を両立した革新的な機能材料が期待される。



二次元原子薄膜材料(グラフェン等)

電子の高移動度等からポストシリコンとして、精力的な研究対象となったグラフェンから、h-BN、MoS2などの機能性原子薄膜とグラフェンとのヘテロ接合による、いわゆるポストグラフェン研究へ。

トポロジカル絶縁体

三次元物質の表面に中身(絶縁体)と異なる二次元電子状態が自発的に現れる。グラフェンと同様な電子が示す高移動度だけでなく、スピン方向の揃った流れを発生でき、**beyond**グラフェンとして期待される。

2. 2. 世界が注目する代表的な日本の科学技術成果例

有機無機ペロブスカイト太陽電池: 宮坂(桐蔭横浜大)

$CH_3NH_3PbI_3$

X: ハロゲン
A: CH_3NH_3
B: Pb

電荷輸送層 (110)

$CH_3NH_3PbX_3$ (X = ハロゲン)

細胞シート作製技術の確立: 岡野(東京女子医大)

温度で構造変化するナノ微細制御表面

自己骨格筋筋芽細胞シート移植

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)

センシング → プロセッシング → オペレーション

高分子ミセル製剤

フォトニック結晶による超小型光共振器の開発: 野田(京大)

発光面
電極基板
クラッド層
活性層
フォトニック結晶
クラッド層
コンタクト層

フォトニック結晶レーザー

磁性絶縁体がスピン流を介して電気を通す: 齊藤(東北大)

熱電圧
起電力
電圧
スピンゼーベック効果
スピン流
強磁性体
スピン圧
温度勾配
温度勾配

スピンゼーベック効果

次世代有機ELを実現する発光新材料の開発: 安達(九大)

25%
75%
S₁
T₁
S₀
T₂
T₃
T₄
T₅
T₆
T₇
T₈
T₉
T₁₀
T₁₁
T₁₂
T₁₃
T₁₄
T₁₅
T₁₆
T₁₇
T₁₈
T₁₉
T₂₀
T₂₁
T₂₂
T₂₃
T₂₄
T₂₅
T₂₆
T₂₇
T₂₈
T₂₉
T₃₀
T₃₁
T₃₂
T₃₃
T₃₄
T₃₅
T₃₆
T₃₇
T₃₈
T₃₉
T₄₀
T₄₁
T₄₂
T₄₃
T₄₄
T₄₅
T₄₆
T₄₇
T₄₈
T₄₉
T₅₀
T₅₁
T₅₂
T₅₃
T₅₄
T₅₅
T₅₆
T₅₇
T₅₈
T₅₉
T₆₀
T₆₁
T₆₂
T₆₃
T₆₄
T₆₅
T₆₆
T₆₇
T₆₈
T₆₉
T₇₀
T₇₁
T₇₂
T₇₃
T₇₄
T₇₅
T₇₆
T₇₇
T₇₈
T₇₉
T₈₀
T₈₁
T₈₂
T₈₃
T₈₄
T₈₅
T₈₆
T₈₇
T₈₈
T₈₉
T₉₀
T₉₁
T₉₂
T₉₃
T₉₄
T₉₅
T₉₆
T₉₇
T₉₈
T₉₉
T₁₀₀

電気励起
発光
TADF
リン光

熱活性化型遅延蛍光(TADF)

柔らかい有機電子回路の開発: 染谷(東大)

センサーシート

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)

新規Pd-Ru固溶体ナノ合金触媒 (京大HPより)

鉄系超伝導体の発見: 細野(東工大)

LaFeAsO

LaO層
FeAs層

多孔性材料(金属有機構造体)の開発: 北川進(京大)

凝集
認識
輸送
変換

Porous Coordination Polymer (PCF), Metal-organic framework (MOF)

単層CNTの大量合成法の開発: 畠(産総研)、日本ゼオン

高い比表面積
直径大
配向
高純度
長尺
構造体
スーパーグロースCNT
スーパージョイント

スーパージョイント法で合成されたCNTの特徴

3. 国内外の動向と国際比較 (国内政策動向)

- 第3期科学技術基本計画（平成18～22年度）において、「ナノテクノロジー・材料分野」は4つの重点分野の一つとして推進
- 5領域「ナノエレクトロニクス領域」「ナノバイオテクノロジー・生体材料領域」「材料領域」「ナノテクノロジー・材料分野推進基盤領域」「ナノサイエンス・物質科学領域」に重要な研究開発課題を設定し推進
- 主な成果・取組
 - 国家基幹技術「X線自由電子レーザー」、**「ナノテクノロジー・ネットワーク」**等のインフラの整備
 - 日本初のオープンイノベーション拠点**「つくばイノベーションアリーナ」**（TIA - nano）による産学官連携の強化
 - 府省連携プロジェクト：『**元素戦略プロジェクト**』（文科省）と『**希少金属代替材料プロジェクト**』（経産省）の着実な進捗等

総合科学技術会議「分野別推進戦略総括的フォローアップ（平成18～22年度）」平成23年3月より



- 第4期科学技術基本計画（平成23～27年度）では、横断的な基盤技術の一つとして位置づけ。科学技術イノベーション総合戦略2014において、分野横断技術として位置づけられ、以下の観点からアクションプラン施策および関連施策を構成。
 - 出口を見据えた上で重要な課題を特定、新たなデバイス・システムで政策課題を解決
 - エネルギーの効率的な利用、資源リスクの軽減、環境負荷低減など、様々な政策課題解決
 - 要素技術の深化や研究者の自由な発想から生まれる新たな材料・機能を創出

3. 国内外の動向と国際比較 (主要国の国家戦略)

国	ナノテクおよび材料の基本政策
日本	◆第4期基本計画では共通基盤として位置づけ/特化したイニシアチブは無かったが、イノベーション総合戦略(2014)において新たに横断領域として位置づけ。2015年以降の扱いが鍵
米国	◆National Nanotechnology Initiative (2001-) -第4期新戦略プラン(2014-)省庁横断テーマとして5つの重点領域「シグニチャーイニシアチブ」設定
	◆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	◆Horizon 2020 (2014-) -産業課題の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、フォトニクス、先進製造を選定
	◆Nano Initiative - Action Plan2015 (2005-) 2010年更新 -ハイテク戦略の一環としてBMBFを中心に7省連携
	◆UK Nanotechnologies Strategy (2010-) -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-) -製造業の復権においてナノエレ、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」、重大科学計画4分野の一つに「ナノ研究」 -第12次5か年計画の戦略的新興産業の一つに「新素材」
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)」 ◆ナノテクノロジー総合発展計画(2001-) 2011年から3期目(ナノ融合2020) -研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱



各国は産業競争力の強化を図るため国家戦略として位置づけ、投資を強化。特にアジア諸国が投資を牽引

NNI Supplement to the President's 2016 Budget, \$1,495M

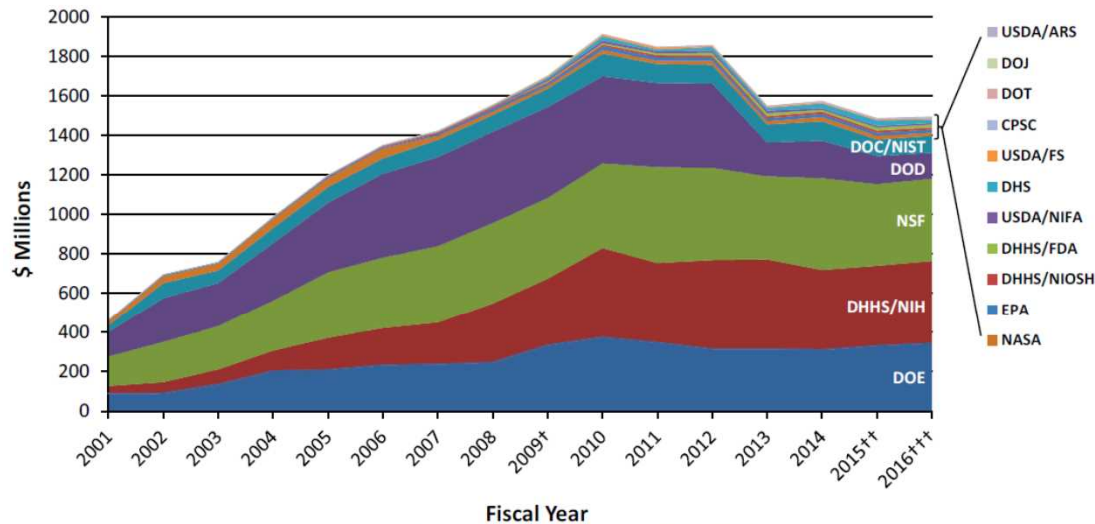


Figure 1. NNI Funding by Agency, 2001–2016.

† 2009 figures do not include American Recovery and Reinvestment Act funds for DOE (\$293 million), NSF (\$101 million), NIST (\$43 million), and NIH (\$73 million).
 †† 2015 estimated based on 2015 enacted levels and may shift as operating plans are finalized.
 ††† 2016 Budget.

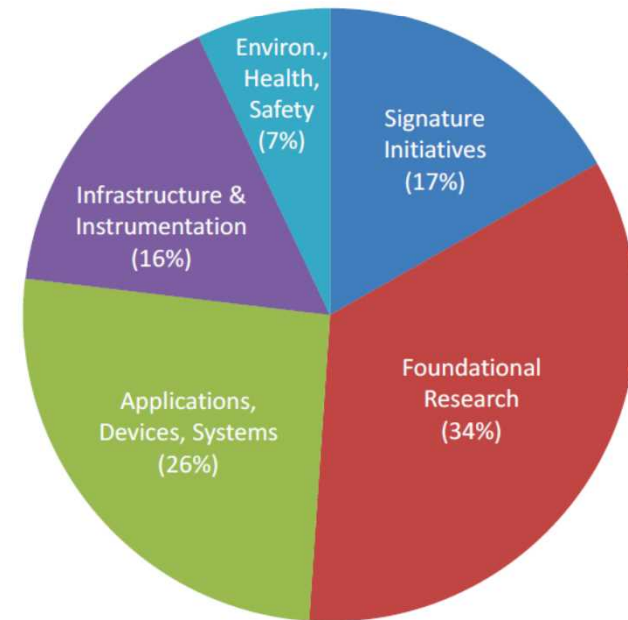


Figure 2. Breakout of NNI Funding by Program Component Area in the 2016 Budget.

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

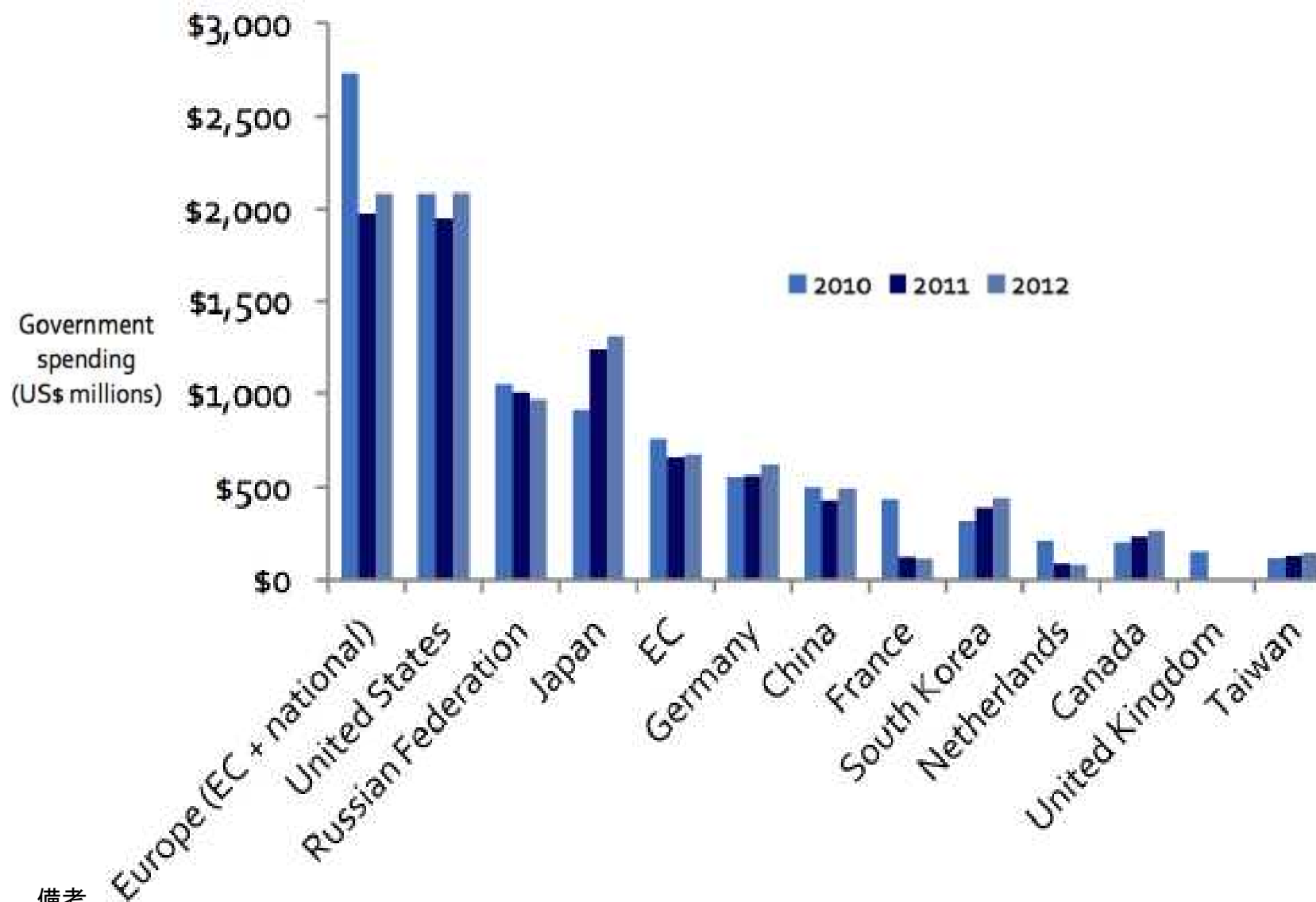
2. Foundational Research

3. Nanotechnology-Enabled Applications, Devices, and Systems

4. Research Infrastructure and Instrumentation

5. Environment, Health, and Safety



主要国の政府投資（予算）比較






備考

- 日本はナノテク+材料の予算
- 他の多くの国(米国、ドイツ、中国、韓国など)はナノテク予算
- ECは、EU27各国がECのために拠出した予算
- EUROPEは、各国独自の予算+ECに拠出した予算

3. 国内外の動向と国際比較 (国際比較1 / 2)

国	概要
	<p>グリーン: ◎基礎から産業化まで世界を牽引。特に電池(太陽、燃料、蓄電)は強い。ただし、太陽電池およびグリーンプロセス触媒の産業化において韓中との競争により状況が停滞傾向、今後の開発強化が課題。</p> <p>バイオ: ○基礎研究で高いレベルを維持。しかしバイオイメージングでは世界と伍しているが、他領域では基礎研究の強みを産業化フェーズの競争力に確実につなげられていない。生体物質と人工物との界面制御・形成技術が今後の重要ターゲット。</p> <p>社会インフラ: ○構造材料(金属系)で基礎から産業まで強み。複合材料(CFRP)、水処理膜に強み。センサデバイスの応用・産業化では欧米が先行。</p> <p>エレクトロニクス: ○伝統的にスピンや有機エレに強い。二次元機能性原子薄膜、特にグラフェンでは欧米の着手が先行したが、2014年開始のCREST・さきがけ等により巻き返し・新基軸が期待される。</p> <p>基盤科学技術: ○基礎研究は高いレベルを維持。元素戦略やナノ計測(電子顕微鏡、放射光・X線)に強み。空間空隙制御フォノンエンジニアリング、データ駆動型材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)といった世界的な注目領域が今後の競争に大きく影響すると予想。</p>
	<p>グリーン: ◎パワー半導体が強く、熱電変換や蓄電デバイスでは基礎から産業化まで上昇傾向。グリーンプロセス触媒はシェールガス革命を背景に産業化の力が強いが、3つの電池に関して産業化が弱い。</p> <p>バイオ: ◎基礎研究から産業化に至るまで強い。応用研究・開発フェーズにベンチャー等多様なプレイヤーがおり層も厚い。国の支援体制も整備されており、基礎から産業化へのスピードが速い。</p> <p>社会インフラ: ◎基礎研究から産業化に至るまで強い。膜素材に関する研究から工業化に至る幅の広い研究を推進。またセンシングデバイスの代表的なベンチャー企業が成功を収めている。</p> <p>エレクトロニクス: ◎量子情報、二次元原子薄膜、フォトニクス、MEMS/NEMS、三次元集積チップと全般に亘って強みを発揮。ファブレスやベンチャー企業のビジネスモデルが機能して産業化フェーズでも高いレベルを維持。</p> <p>基盤科学技術: ◎基礎から産業化まで世界をリード。新しいアイデアや概念はたいてい米国から出てくる。空間材料やバイオメティクスに強い他、EHS、ELSIについてもきちんと取り組まれている。</p>

3. 国内外の動向と国際比較 (国際比較2/2)

国	概要
	<p>グリーン:◎太陽電池、パワー半導体、グリーンプロセス触媒が強く、熱電変換、蓄電デバイスは基礎研究から産業化まで上昇傾向。特に、パワー半導体においては極めて高い競争力を有しており、勢いもある。</p> <p>バイオ:◎基礎研究で高いレベルを維持するとともに、応用研究・開発フェーズで異分野連携、産学連携を積極的に進めており、産業化フェーズでは米国に次ぐ競争力を維持。</p> <p>社会インフラ:◎基礎研究から産業化に至るまで競争力を維持。特に構造材料(CFRP)の応用について各国で研究が盛んである他、IMECやフ라운ホーファーなどでセンサデバイスに関する基礎から産業化までの研究が活発。</p> <p>エレクトロニクス:◎グラフェンなどの二次元原子薄膜に強いが、一般的に産業化フェーズでの活動が日米韓に比して劣勢。ただし、MEMS/NEMSに関しては、フ라운ホーファーやSTマイクロ、Boschなどが精力的。</p> <p>基盤科学技術○:日米と並び基礎から産業化まで取り組まれているが、米国同様、空間材料やバイオメティクスに強い他、EHS、ELSIについての意識が高い。</p>
	<p>グリーン:△熱電変換およびグリーンプロセス触媒の基礎研究と応用研究が強い。太陽電池は産業が強いが下降傾向。</p> <p>バイオ:△ナノDDSでは主要雑誌で米国と争うレベルに到達。自国内の大きな市場や臨床研究の容易さを背景に産業化も加速。</p> <p>社会インフラ:△構造材料に国として精力的に取り組んでおり、応用・産業においては日欧米に比肩。膜材料についても国家的に重点的に取り組み、急速にレベルを上げている他、センサデバイスについても今後上昇の兆し。</p> <p>エレクトロニクス:△トレンドは「上昇傾向」が多く、特にグラフェンなどの二次元原子薄膜や有機エレに注力。</p> <p>基盤科学技術:△バイオメティクスに優れた成果が出ている他、電子顕微鏡の一部で世界と伍している。</p>
	<p>グリーン:△全体的に日米欧に比べて基礎研究で劣勢とされるが、蓄電デバイスは基礎研究から産業化まで「上昇傾向」にあると同時に、グリーンプロセス触媒とあわせ応用研究と産業化は強い。</p> <p>バイオ:△再生医療用材料、バイオデバイス、ナノDDSに注力しており競争力を増している。生体イメージングでは欧米からの帰国者を中心に基礎研究が活発に進められている。</p> <p>社会インフラ:△POSCOがPOSTECHを創立して鉄鋼材料研究を一手に引き受けていることや、RO膜や水処理に関する大型プロジェクトなどにより膜研究が非常に活発である</p> <p>エレクトロニクス:△基礎研究フェーズでは日米欧に比して劣勢であるが、Samsungを中心に、スピン(STT-MRAM)、有機エレ(ディスプレイ)など、応用展開では日米欧を凌ぐレベルにある。</p> <p>基盤科学技術:△基礎から産業化まで満遍なく平均的な取り組みがされているが、日米欧に比して特別に強みを発揮している領域は認識されていない。</p>

4. 日本の状況と課題

- 【現状】
 - ナノテクノロジー・材料科学技術をベースに素材／電子部品産業に強み
 - アカデミアも世界に注目される成果をコンスタントに創出
 - ⇒ 世界有数のナノテク・材料研究開発先進国の座を維持
- 【課題】
 - 中韓台などの台頭・急迫によるエレクトロニクスやエネルギー材料・デバイスにおける日本製品のシェア低下
 - 諸外国と比較した相対的な研究人材数や論文・特許数の伸びの停滞
 - イノベーションを意識した研究開発政策・戦略
 - 一方、米欧は雇用創出の観点から製造業への回帰の動きを見せており、圧倒的強みをもつIT、プラットフォームビジネスを製造業へ展開する動きを見せていることに注意を払う必要がある
 - ⇒ 今後も現在の位置を維持できるかは予断を許さない



産・学・官のより一層の緊密な連携（コミュニケーション）と自律的行動は必須

5. 今後の方向性①

研究開発のグランドチャレンジの例

混合物分離
“水・環境浄化”
“水素社会実現”

環境汚染物質除去、化学プロセス分離工程の省エネ化、来たる水素社会に向けて水素の分離・吸蔵、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

Interactive-Bio界面
“半導体素子、 μ 流路”
“生体物質、iPS・神経細胞”

診断・治療デバイス、人工物と生体との界面をより精緻に設計・構成し、細胞・生体物質の分子レベルでの相互作用を可能にするインタラクティブ・バイオ界面の実現

Internet of Things
“センサー、NW、エネルギーハーベスト、Wearable”

センシング、ネットワークング、エネルギーハーベストといったナノエレクトロニクス機能を超小型、低コストの半導体チップに集積した健康管理、心身機能増強のためのウェアラブル・インプラントブル電子機器

Nano Manufacturing
“Bio Inspired NM、Robotics”

生物の構造、機能に学び、それをコンピュータ援用設計技術と3D造形に代表される先端の製造技術につなげたバイオ・インスパイアド製造技術の構築

電子、光子、スピン
+フォノン
(ナノスケール熱制御)

エレクトロニクスにおけるナノスケールの熱(フォノン)制御技術構築、電子、スピン、光子、フォノンを量子力学的に統合した制御技術への展開

データ駆動型材料設計
Materials Informatics

複雑化、多元化する高機能、高信頼、低コスト材料開発を迅速化するデータ駆動型の材料探索・設計アプローチ

ナノ・材料分野は本来的に異分野連携・融合によって機能を発揮する分野であり、特に出口を意識した研究開発戦略を検討する際には他分野との協働が必須となる。