

# 研究開発の俯瞰報告書概要

# ナノテクノロジー・材料分野 (2017年)

## ナノテクノロジー・材料分野の研究開発俯瞰図 (2017年版)

**社会課題** 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

<b>環境・エネルギー</b> 太陽電池 人工光合成、光触媒 燃料電池 熱電変換 蓄電池(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	<b>ライフ・ヘルスケア</b> 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 バイオイメージング	<b>社会インフラ</b> 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 エネルギーハーベス 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	<b>ICT・エレクトロニクス</b> 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 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	<b>共通支援策</b> 産学官連携・オープンイノベーション 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**

**機能設計・制御** 超分子 分子マシン ナノ熱制御 ナノライボロジー マイクロ・ナノフルイティクス  
量子ドット バイオ・人工物界面 ナノ界面・ナノ空間制御 バイオメタリクス 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

**共通基盤科学技術**

<b>製造・加工・合成</b> 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)	<b>計測・解析・評価</b> 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	<b>理論・計算</b> 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
--	--	--

**基盤技術**

**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、数理論理学

## 技術革新の世界的潮流

- ◆ 来たるIoT/AI時代に活躍するデバイスおよびその構成材料は先端ナノテクの塊になる。AIチップ、IoTセンサ、クラウドサーバ、自動車・輸送機器、ロボット、モバイル、エネルギー変換デバイス、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が本格化。ポストムーア時代への技術潮流。
- ◆ 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。近年のコンピュータの能力向上が、材料、部品、さらには複合システム品の設計開発を行うシミュレーション技術の可能性を大きく広げている。ICTの進展がナノテク・材料技術を含むものづくり全般に革新をもたらしている。
- ◆ 各国でナノテク政策が開始されてから15年が経過。この間、ナノテクは技術の先鋭化、融合化、システム化へと向かう流れのなかにあり、2010年代以降は特に異分野技術の融合化と、製品化・社会実装を指向した技術のシステム化・市場浸透が強調されるようになってきた。ナノテクで新たに実現された製品(nano enabled products)市場は1.6兆ドルに成長(2012-14年で2倍,米LuxResearch社)

## 世界的な研究開発トレンド・技術開発の潮流

<b>次世代パワー半導体</b> 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	<b>次世代蓄電デバイス</b> 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。	<b>バイオファブリケーション</b> 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。	<b>脳計測</b> 脳を電的・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。	<b>IoT×人工知能デバイス</b> AIやディープラーニング技術に基づくスマート社会の到来に向け、IoT/AIチップのデバイス技術革新が期待される。	<b>量子コンピューティング</b> 量子力学で演算を高速化。「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。
<b>多孔性構造体(PCP/MOF/COF)</b> 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。	<b>データ駆動型材料設計</b> 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	<b>トポロジカル絶縁体</b> 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。	<b>フォノンエンジニアリング</b> 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。	<b>オペランド計測</b> 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	

## ポストムーアに向けた次世代のナノエレクトロニクス

### 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

現状CMOS → SoC → TSV → FO-WLP → 3D/2.5D積層 → 量子コンピューティング → 脳型コンピューティング

近接場電磁界結合 → 新規デバイス・新材料 → 新規製法技術

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

## 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**  
-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**  
-GaIn 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  
-高いイオン伝導材料  
-高性能磁石

**モニタリング**  
-イメージセンサー(可視光、赤外線)  
-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  
Ene・環境技術

## 主要国におけるナノテク・材料科学技術の基本政策・国家戦略動向

◆ 米国では国家ナノテクイニシアティブ戦略計画を更新(2016)、欧州ではHorizon2020において、ナノテクや先端材料技術をKET's (key enabling technologies)の一つとして位置づける。アジアでは、中国・台湾・韓国・シンガポールを始め、ナノテクの先端研究開発拠点を築き、世界のR&Dを吸引し、ナノテク・材料科学技術の研究開発を強化している。
<b>日本</b> ◆第5期基本計画では、Society 5.0の実現に向けた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のとなる強みを有する基盤技術の一つ
<b>米国</b> ◆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させることを狙う
<b>EU</b> ◆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、フォトニクス、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 プロジェクトを開始
<b>独</b> ◆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
<b>英</b> ◆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
<b>仏</b> ◆France Europe 2020(2013-) -先進材料、ナノエレクトロニクス、ナノマテリアル、マイクロ・ナノ流体工学が優先領域
<b>中国</b> ◆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
<b>韓国</b> ◆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となることを目標

## 日本の位置づけ

- ◆ 元素戦略・希少元素代替技術、分子(制御)技術、再生エネ・蓄電池材料、電子材料、パワー半導体、先端構造材料、結晶成長・薄膜・真空技術など、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がある。
- ◆ そこでも用いられる計測評価・分析・品質管理(電顕、NMR、X線等)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がある。
- ◆ 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・産学連携にある。これらは研究開発の枠組みを構築して実行するまでの問題の共有や意志決定スピードに課題がある。
- ◆ また、ナノテク特有のELSI・EHS、教育・コミュニケーション、に課題あり。ナノテクの標準化・規制に関する国際的な枠組みへの戦略的な対応や、ナノ物質の安全性評価・管理研究の産学官連携体制、データ蓄積、国際連携、などが継続的になされていない点が課題。

## 挑戦課題・今後のグランドチャレンジ

- ◆ 異分野融合/深みのある研究開発と水平/垂直連携の両立策
- ◆ 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→先端研究開発が行える環境と、事業化・実証トライアルとを結ぶエコシステム形成が必要
- ◆ 10の挑戦課題(グランドチャレンジ)
  - ① データ駆動型新材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)
  - ② IoT/AIチップ革新(新コンピューティングアーキテクチャ・ハード・センサデバイス→ニューロモルフィック、量子コンピューティング等の新機軸)
  - ③ 量子系統合制御技術(トポロジカル量子、スピントロニクス、フォノン、フォトエレクトロニクス)の統合制御・変換、フォトエンジニアリング)
  - ④ スマート・ソフトロボット基盤技術
  - ⑤ 分離技術・物質精製技術
  - ⑥ ナノスケール界面の動力学制御に基づくスーパー複合材料研究開発
  - ⑦ 生体/人工物間相互作用を自在制御するバイオ材料・デバイス開発
  - ⑧ オペランド・ナノ計測
  - ⑨ ナノELSI/EHS産学官国際戦略対応
  - ⑩ 世界の知を吸引するR&D拠点・プラットフォーム・エコシステム形成、技術専門人材の長期確保