

俯瞰セミナー①、②「研究開発の俯瞰と潮流 ～今後の活路を展望する」

科学技術イノベーションを先導する ナノテクノロジー・材料技術の トレンドと将来展望

2019年8月29-30日

JST研究開発戦略センター

ナノテクノロジー・材料ユニット 宮下 哲



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

■技術革新の世界的潮流

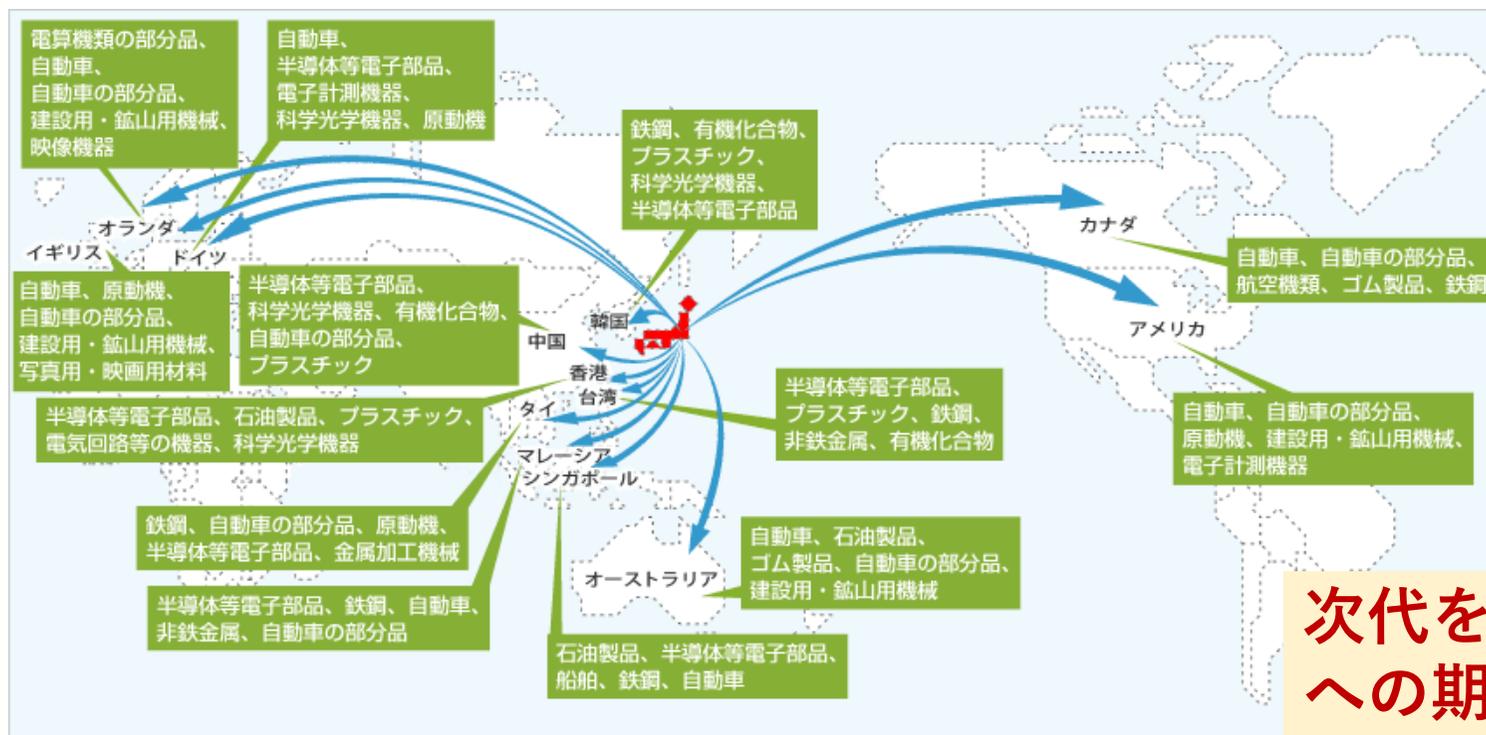
- ✓ **IoT/AI時代を牽引する多様なデバイス群を実現するナノテク・材料**
 - エッジ/クラウドAI、IoTセンサデバイス、自動運転、ロボット、ポスト5G/モバイルなど、ハード側はナノエレ・材料が競争を左右
 - ポストムーアの革新的コンピューティング実現へ、新規なアーキテクチャ(量子/脳型)、デバイス・材料、実装技術からの挑戦
- ✓ **SDGsを技術ベースで支えるナノテク・材料**
 - 水・大気浄化(分離、吸着、変換)、温室効果ガス排出削減(分離・吸着、再生エネルギー、省エネ)
 - 資源循環(リサイクル、LCA、マイクロ・ナノプラスチック、元素戦略)
 - エネルギー関連デバイス(太陽光発電、蓄電池、人工光合成技術、高性能磁石)
 - 新たな先導的基盤技術として**マテリアルズ・インフォマティクス**
- ✓ **Precision Medicineを可能にするウェアラブル等のナノデバイス・材料、ヘルスケア・バイオ材料**
 - ナノ・マイクロ加工、精密合成、3Dバイオ造形、Organ on a Chip/再生医療応用、ウェアラブルセンサ
- ✓ **ナノテクの実装が浸透するにつれ、各国・地域単位で規制・制度の顕在化(ELSI・EHS、RRI)**

■日本の立ち位置

- ✓ **米中台頭**のなか、日本の生命線は今もって輸出（9割が工業製品）、**部品・素材のウェイトは増大**
- ✓ 元素戦略、分子技術、蓄電池部材、電子材料、パワー半導体、複合材料などの**物質創製・材料設計**に長年の技術蓄積にもとづく強み
 - **新材料開発への期待と、ナノテク・材料科学技術セキュリティ**
- ✓ そこで用いられる計測評価・分析・品質管理にも強み
 - 計測データ活用、機器開発への期待
- ✓ IoT時代に必要となる**センサー/アナログ機能やコンピューティング機能のヘテロ集積モジュール化にポテンシャル**
- ✓ 製造プロセスにおける省エネルギー・低環境負荷技術に優位性
- ✓ 一方で、データ科学、標準化・規制戦略、医工連携、産学連携、ナノ材料のELSIに課題

■挑戦課題

- ✓ 科学技術研究の量的競争において不利にあるなか、官民の「**研究開発投資効果最大化**」の実現へ
- ✓ 異分野融合と新領域への挑戦
- ✓ 府省連携・産学連携/時間ギャップを考慮した研究開発フェーズ間のスムーズな移行
- ✓ 6つのニーズと**10のグランドチャレンジ**（後述）



次代を担う新素材への期待

日本の輸出：上位10品目の変化

「輸入」のおよそ半分は、石油化学製品を含むエネルギー・資源関係

順位	2000年		2018年		
	品目	割合	品目	割合	
1	自動車	13.4%	自動車	15.1%	
2	半導体等電子部品	8.9%	半導体等電子部品	5.1%	
3	事務用機器	6.0%	自動車部品	4.9%	4.0兆円
4	科学光学機器	5.1%	鉄鋼	4.2%	3.4兆円
5	自動車部品	3.6%	原動機	3.6%	
6	原動機	3.2%	半導体製造装置	3.3%	2.7兆円
7	鉄鋼	3.1%	プラスチック	3.1%	2.5兆円
8	映像機器	2.7%	科学光学機器	2.8%	
9	有機化合物	2.3%	電気回路等の機器	2.6%	
10	プラスチック	2.0%	有機化合物	2.5%	

出典：財務省統計および一般社団法人日本貿易会 資料
http://www.jftc.or.jp/kids/kids_news/japan/item.html

社会・産業の変遷とナノテクノロジーの進化



冷戦構造終結

ITバブル

NNI宣言

アジア勃興
グローバル化進展

リーマンショック
バマ政権

震災、原発事故

米中競争
ポスト平成

...

1990

2000

2010

2020

量子力学@~1930
トランジスタ発明@1947
DNA構造解明@1953

CNT発見@1991
高輝度青色LED@1993

ヒゲムシ解読
@2003

iPS細胞作製
@2006

シリカ革命
ゲム編集

SDGs

半導体エレクトロニクス躍進

IT革命
デジタル・NW化

R&Dリアモデル崩壊
オープンバージョン・PF拠点

再生可能エネ拡大
Industry4.0

IoT/AI
バイオテクノロジー
躍進

Progress Nano

先鋭化・極限追求

超微細計測（電顕、SPM）、超微細加工（リソグラフィ、薄膜）

Fusion Nano

融合化による新機能・複合材料、デバイス

マイクロマシン、DDS、カーボンファイバー強化樹脂

Systems Nano

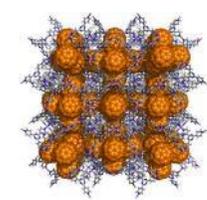
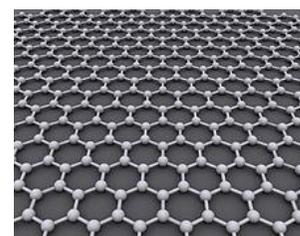
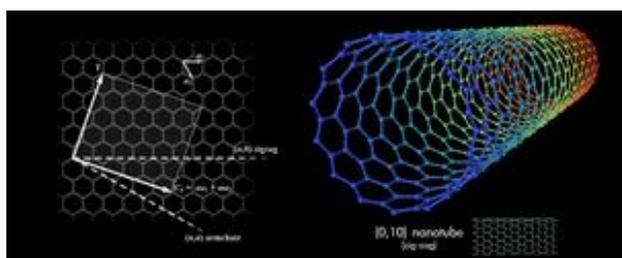
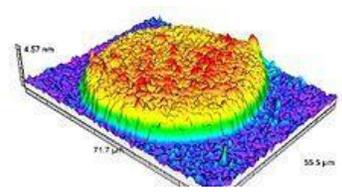
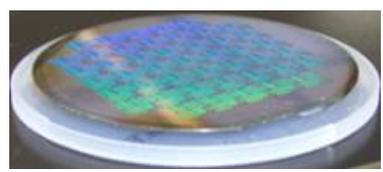
ナノテクノロジーをベースに他技術領域との

融合を通じた複雑なシステム機能発現

3D積層デバイス、IoTセンサ、AIチップ

人類社会・地球の持続性がグースアップ°

（温暖化、資源・エネルギー、水、食糧）

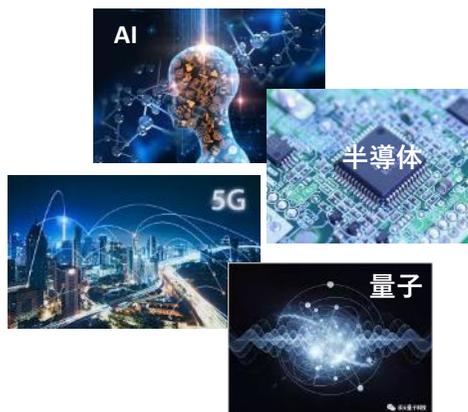


技術覇権争いの先鋭化

- 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）は急騰、不確実性が高まる

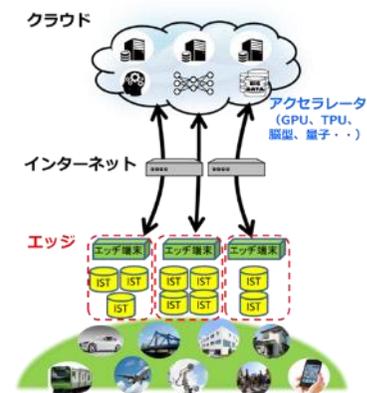
デジタル化に伴う変革

- GAF A、BATなどの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
→半導体産業が活況、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
→ポストムーアへの挑戦、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 “ナノ機能”の実装・活用
 - 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
 - ③ データ・インフォマティクスを含むテクノロジープラットフォームによる研究成果の生産性向上



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はもはや前提。技術ベースで支えるナノテク・材料技術への期待大



自動運転技術

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

超小型電力素子

- ・AI/IoTデバイス
- ・GaN/SiCデバイス



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 (NOx, 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

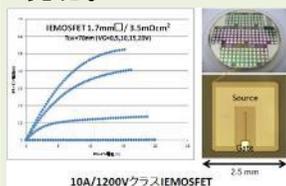
スマート・フレキシブルディスプレイ

- ・有機EL、OLED
- ・曲面/3D投影

環境・エネルギー技術

次世代パワー半導体

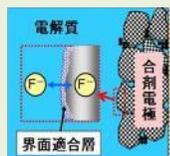
SiCやGaN、Ga₂O₃等のワイドギャップ半導体デバイスの実用化開発とシステム化に向けたモジュール開発が活発化。



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

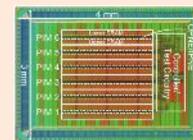
自動運転、IoT、POCTなどへの応用に向け、小型・高感度・低電力のMEMSを用いた物理センサや、生体物質検出用の化学センサの開発に期待。



高性能MEMSジャイロ스코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。



ハイナリDNNチップ (北海道大学)

量子コンデバイス

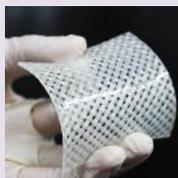
米国のGoogle、IBMなどがゲート型量子コンピュータの開発を加速。量子超越性の実現やキラアプリアによる量子化学計算、機械学習の高度化に期待。



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

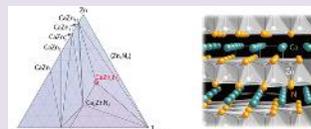
材料の力学特性発現メカニズムをナノスケールレベルで解明することで、既存の複合材料を凌駕する相反物性や複数物性を実現する革新材料に期待。



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

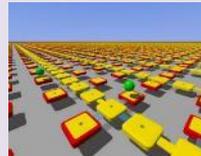
材料DBと機械学習など情報科学的手法を併用することで物質探索・設計手法を革新。開発期間を極端に短縮するマテリアルズ・インフォマティクス。



<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

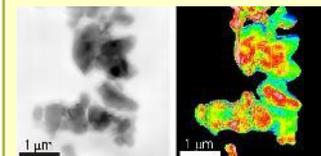
積層造形技術による強度や耐久性に優れた金属部品の製造に向け、装置の開発とともに、各種の合金原料、シミュレーションの技術開発が活発化。



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)

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**

デバイス・部素材

環境・エネルギー

太陽電池 複合材料
燃料電池 極限環境材料・
蓄電デバイス 計測技術
パワー半導体 IBC-LED-ハーベスト
ファイン触媒 超伝導送電
分離技術 バイオマス

ライフ・ヘルスケア

バイオ材料 人工臓器
ナノDDS 再生医療材料
ナノセラミクス 分子認識材料
バイオ計測 生体ガス計測
診断デバイス
バイオイメージング

ICT・エレクトロニクス

超低消費電力 ロボット基盤技術
発光・表示デバイス IoT/AIデバイス
フォトニクス 有機エレクトロニクス
スピントロニクス 量子コヒーレンシング
MEMS・センシングデバイス
三次元ヘテロ集積

物質・機能

物質と機能の設計・制御

元素戦略・希少元素代替技術
空間・空隙設計制御
分子技術
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
生物機能ハイブリッド
材料・システム
超分子

分子マシン
ナノライボロジー
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
金属有機構造体 (MOF)

メタマテリアル
トポロジカル物質
ナノカーボン
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

加工・プロセス：フォトリソグラフィ、ナノインプリント、積層造形、レーザー加工、接着技術、接合技術、インクジェット、自己組織化、結晶成長、薄膜コーティング

計測・分析：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、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、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、数理論理学

共通支援策

ELSI/EHS/RRI

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

先端研究プラットフォーム

産学官連携・
オープンイノベーション方策

国際連携・グローバル戦略

府省連携

異分野融合の促進策

掲載研究開発領域 (32領域)



俯瞰区分	研究開発領域	俯瞰区分	研究開発領域
環境・エネルギー応用	太陽電池	物質と機能の設計・制御	空間空隙設計制御
	蓄電デバイス		分子技術
	パワー半導体		元素戦略・希少元素代替技術
	ファイン触媒		マテリアルズ・インフォマティクス
	分離技術		フォノンエンジニアリング
	複合材料		量子技術
	極限環境材料・計測技術		二次元機能性原子薄膜
ライフ・ヘルスケア応用	バイオ材料		共通基盤科学技術
	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	計測・分析	ナノ・オペランド計測技術
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)	理論・計算	物質・材料シミュレーション
	発光・表示デバイス	共通支援策	ELSI・EHS ナノテクノロジーのELSI/EHS、国際標準
	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		

主要国のナノテク・材料科学技術政策・国家戦略



日本	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 第5期科学技術基本計画、Society5.0の実現へ向けた11のシステムの一つに「統合型材料開発システム」を特定。新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術として「素材・ナノテクノロジー」「光・量子」など ◆ Q-LEAP (2018-) を開始、「量子技術イノベーション戦略」を検討中 	
米国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ National Nanotechnology Initiative (2001-) <ul style="list-style-type: none"> - 第6次NNI戦略プラン (2016-) 省庁横断テーマNational Signature Initiativeを更新 - National Strategic Computing InitiativeやBRAIN Initiativeと連携し、Future Computing GCを特定 ◆ Materials Genome Initiative (2011-2016) 、Electronics Resurgence Initiative (2018-) 、 National Quantum Initiative (2019-) 、 Critical Minerals Executive Order発令(2017末) 	
欧州	EU	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Horizon 2020 (2014-2020) <ul style="list-style-type: none"> - Key Enabling Technologies (KETs) として、ナノテクノロジー、先端材料、先進製造技術、バイオテクノロジーを選定 - Future and Emerging Technologies (FET) として、2018年よりQuantum Flagshipを開始
	独	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ハイテク戦略2025 (2018-) <ul style="list-style-type: none"> - マイクロエレクトロニクス、材料、バイオテクノロジー、人工知能を「未来技術」と位置付け ◆ Action Plan Nanotechnology 2020 (2016-2020) ◆ Quantum Technologies –from basic to markets (2018-2022、最長2028)
	英	<ul style="list-style-type: none"> ◆ UK Nanotechnologies Strategy (2010-) <ul style="list-style-type: none"> - BIS (現BEIS) が中心となって策定した省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略 ◆ UK COMPOSITES STRATEGY (2009-) <ul style="list-style-type: none"> - BISを中心に航空機、自動者向けの耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の開発 ◆ UK Quantum Technologies Programme (2014-)
	仏	<ul style="list-style-type: none"> ◆ SNR France Europe 2020 (2015-) <ul style="list-style-type: none"> - 10の社会的課題に対する重点的研究方針として、希少資源への依存度減少、化石燃料からの脱却、新材料設計、センサーを特定
中国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 国家中長期科学技術発展計画綱要 (2016-2020) <ul style="list-style-type: none"> - 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」「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 ◆ 国家重点研究開発計画の一つとして「材料ゲノム工学のキーテクノロジーと支援キーテクノロジー」を開始 (2016-) ◆ 中国製造2025 半導体自国化へ向け投資拡大。R&D投資を対GDP比で1.5%程度から3%程度へ引き上げる ◆ 世界初の量子科学実験衛星「墨子号」を用いた量子暗号通信 (2017) 、北京-上海間の量子通信NW「京滬幹線」構築 (2017) 、合肥に量子科学技術国家実験室を建設中 (2020年完成予定) 	
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 第4期ナノ技術総合発展計画 (2016-2025) 米国の技術レベルを100%としたときに、92%まで到達させる ◆ 第3次National Nanotechnology Map (2018-2027) <ul style="list-style-type: none"> - 70のコアテクノロジーを同定。ポータル人工知能、ポータル無線通信、無人飛行機、超急速充電電池などの開発を推進 ◆ 半導体の材料・部品・設備開発に1兆ウォン (約900億円) の投資を検討 	

6つのニーズと10のグランドチャレンジ

Society5.0、持続可能な社会の実現 (SDGs)

快適・安全・安心な社会へ

信頼性 省エネ・省資源 量子状態の高度制御 資源保全 低コスト

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等

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等

トランススケール力学制御

センサフュージョン

最適な医療・ヘルスケア

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等

ナノ・メカ・IT・バイオ統合マニファクチャリング

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) 等

バイオアダプティブ材料設計

IoTデバイス集積

持続可能な社会へ

サステイナブル元素戦略

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) 等

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 等

分離技術

多機能・複雑系の材料設計

オペランド計測・プロセス統合ものづくり

10のグランドチャレンジ



量子状態の高度制御	電子、光子、スピン、フォノンなどの個々の量子状態およびそれらの相互作用がもたらす物理現象を理解し、さらにトポロジーといった新しい概念を導入することで、新しい量子状態を実現し、これらの高度制御を図る。これによってシリコンテクノロジーだけでは実現できない新たな機能を創出・付加し、量子コンピュータやスピントロニクスなどへの応用展開を加速させる。
トランススケール力学制御	航空機・自動車等におけるCO ₂ 排出量の大幅削減、摩擦などによるエネルギー損失を大幅低減した機械機器、社会インフラ材料の超長寿命化や修復など、持続可能社会に貢献する材料・デバイスを創製するためには、ナノスケールにおける諸現象の理解をベースに、マクロな力学特性発現メカニズムを解明し、「接着・接合・剥離」「摩擦・摩耗」「自己修復」といった力学特性を自在に設計・制御する技術開発が必要である。
センサフュージョン	人間の五感を代行する物理センサ端末および化学センサ端末を統合し、老朽化や災害時における橋梁やトンネルなどの社会インフラの異常検知、日常生活における病気やけがにつながる異常兆候の検出などを可能にする。様々な場所で常時観測を行いつつ、あるセンサ端末が異常検知した際には他のセンサ端末と連携して原因特定のための詳細情報を自律的に取得する。高い選択性と分子認識能を持つ材料・デバイス、エネルギーハーベスト技術、異常・正常の判断を可能にするデータの整備などが必要である。
ナノ・メカ・IT・バイオ統合マニファクチャリング	生物が実現する巧妙な構造や機能、低エネルギーで実現する動作や物質生産に学び、人工的な材料・デバイスの生産システムとして再構築する。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。人に対する親和性をもたらすソフト材料による筐体、AIチップによる認識・判断などが必要となる。
バイオアダプティブ材料	生体環境に適合した材料の探索という従来の概念から脱却し、生体との相互作用を積極的に活用して能動的に制御する機能をもつ材料を設計・創製する。生体との相互作用を積極的に活用することで初めて実現可能な機能を持つ材料、具体的には、生体現象を制御する機能を持つ材料や、現状の網羅的探索の延長では達成不可能な極めて高い生体適合性を有する材料の創出基盤を構築する。
IoTデバイス集積	IoT/AI時代に求められるセンシング、エッジ・コンピューティング、ネットワーク等の多機能をヘテロ集積モジュール化した安価な電子システム、さらには新アーキテクチャ（ニューロ、量子）による高性能コンピューティングの開発を通じて、安全・安心な環境の実現、健康管理・介護医療・自動運転などの新サービスへの展開へと発展させる。ムーアの法則に従う素子の微細化が困難になる中、新しい動作原理のデバイスやコンピューティング・アーキテクチャ、さらには実装技術の革新が鍵となる。
サステナブル元素戦略	厳しい資源制約のあるわが国において、グローバルの課題解決に資する魅力的な機能を持った材料・デバイスを継続的に創出するには、新機能の追求と同時に元素・物質の循環に代表されるサステナビリティを重視した材料創製を可能にする強固な材料開発基盤の構築が必要である。これまで材料研究開発の世界的な流れを先導してきた「元素戦略」をさらに進化させ、新機能の追求と同時に希少資源の極限的な回収や、プラスチック素材の再資源化など、限りなく「ゼロ・マテリアル・エミッション」に近づけることを目指す。材料の原料調達から、創製、リサイクル、廃棄までのライフサイクル全体を考慮した材料設計指針の確立を行う。
分離技術	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いて分離・吸着機能材料・システムの研究開発が鍵となる。近年の新材料・ナノ構造作製技術や、計測・シミュレーション技術の進展を最大限活用しながら分離技術の研究開発を行う必要がある。
多機能・複雑系の材料設計	蓄電池や燃料電池の構成材料（正極、負極、電解質、セパレータ、バインダ）、超伝導材料、磁性材料、触媒材料などでは相反する機能や複数の機能を同時実現することが求められ、その高性能化には結晶構造の多元素化、複合化が避けられない。このような複雑な材料システムでは多様な結晶構造が可能になり、要求に対し最適の特性を有する結晶構造（結晶の安定相）をどのように設計するか、どのようなプロセスで実現するかが材料開発の鍵を握っている。グローバルな開発競争が激化している現状においては、従来のような縦横爆撃的な材料設計から脱却し、進展が著しいシミュレーションやデータ科学、さらにはオペランド計測を駆使した精緻な材料設計、プロセス設計手法を確立し、ハイスループットの材料創製に結びつける必要がある。
オペランド計測・プロセス統合ものづくり	反応プロセス中の物質・材料もしくは実動作下の材料・デバイスを対象にオペランド計測を実行し、得られた計測結果に対してデータ科学的手法も駆使して高速・高効率なデータ解析を行うことが、今後の新物質・材料開発には欠かせない。解析結果をただちに合成プロセス条件や動作条件にフィードバックすることで、より高品質な物質・材料創製もしくはよりリアルな実動作下の材料・デバイスの特性評価が可能となる。データ科学を活用しつつ、計測とプロセスを一体化したものづくり技術の開発が必要である。

戦略プロポーザル (2018年11月発行)

バイオ材料工学

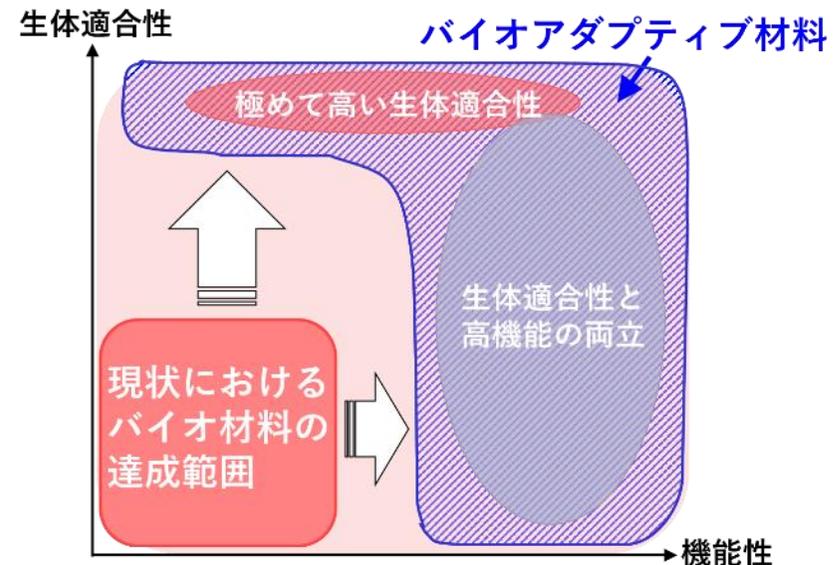
～生体との相互作用を能動的に制御するバイオアダプティブ材料の創出～

- ◆ 多様な生体環境に適応して、生体/材料間相互作用を積極的に活用し、能動的に制御する機能を持つ**バイオアダプティブ材料への展開**
 - ✓ 生体/材料相互作用によって生じる**現象解明**
 - ✓ 多様な生体環境における**定量評価・計測**を実現する**新技術・装置開発**
 - ✓ バイオアダプティブ材料の**設計・創製**
 - ✓ 実用化を促進する**評価基盤創出**



CRDSウェブサイトより
ダウンロード可

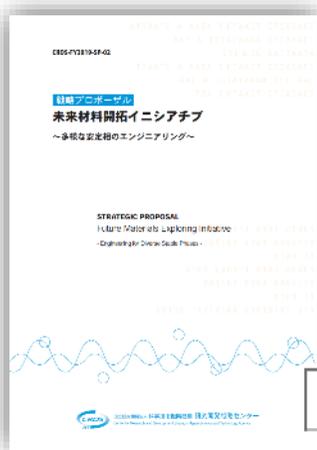
バイオ材料工学



戦略プロポーザル (2019年7月発行)

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、etc) の限られた材料探索・創製範囲から脱却し、**多様な安定相の活用による未開拓の材料への展開**
 - ✓ **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** : プロセス制御手段による安定化



CRDSウェブサイトより
ダウンロード可

未来材料開拓イニシアチブ 検索

