

持続発展型社会を先導するナノバイオ・デバイス研究拠点
～バイオを超えるイノベーションシーズの創出・展開システムの構築～

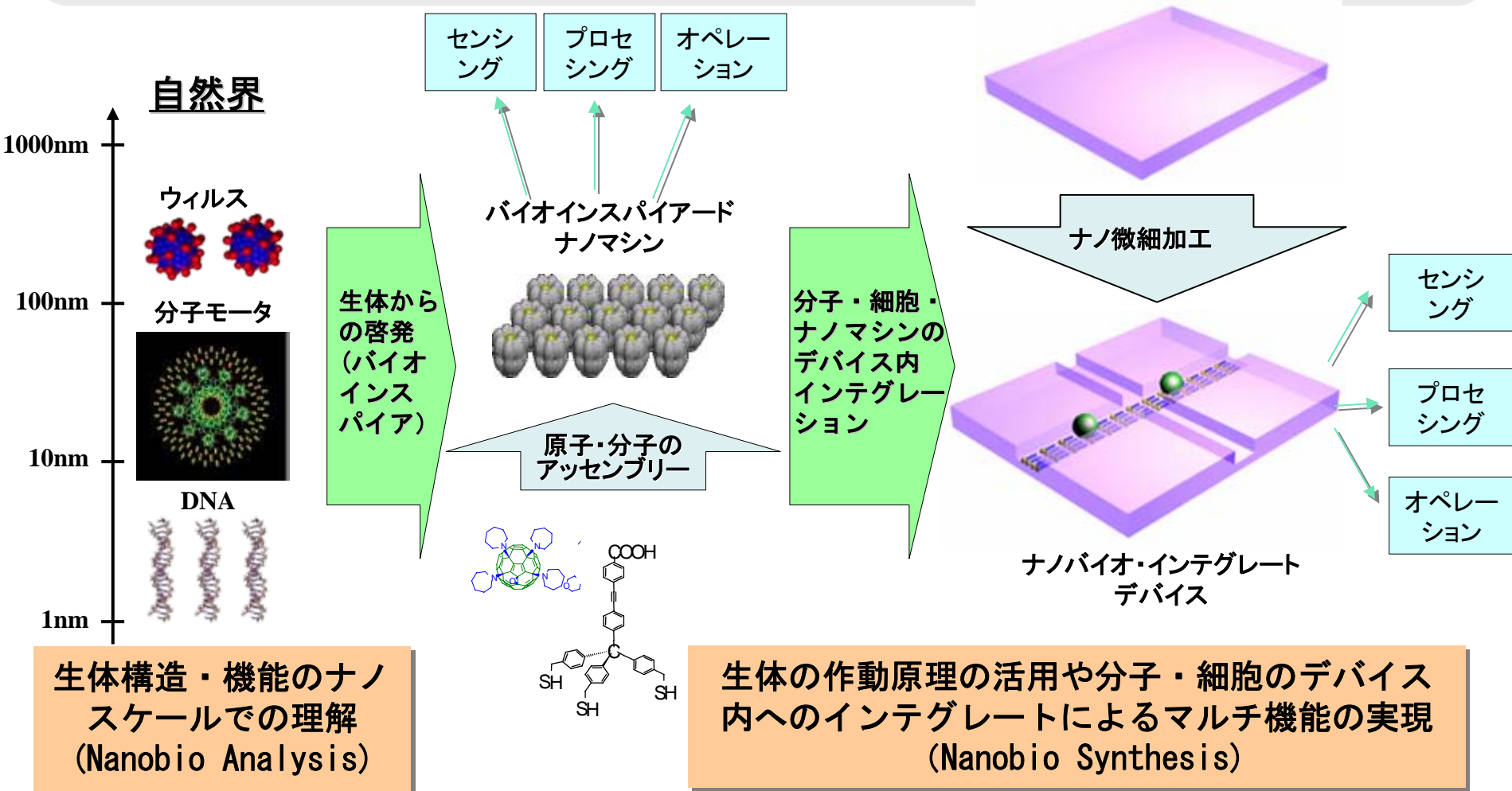
東京大学 片岡一則

平成21年1月13日

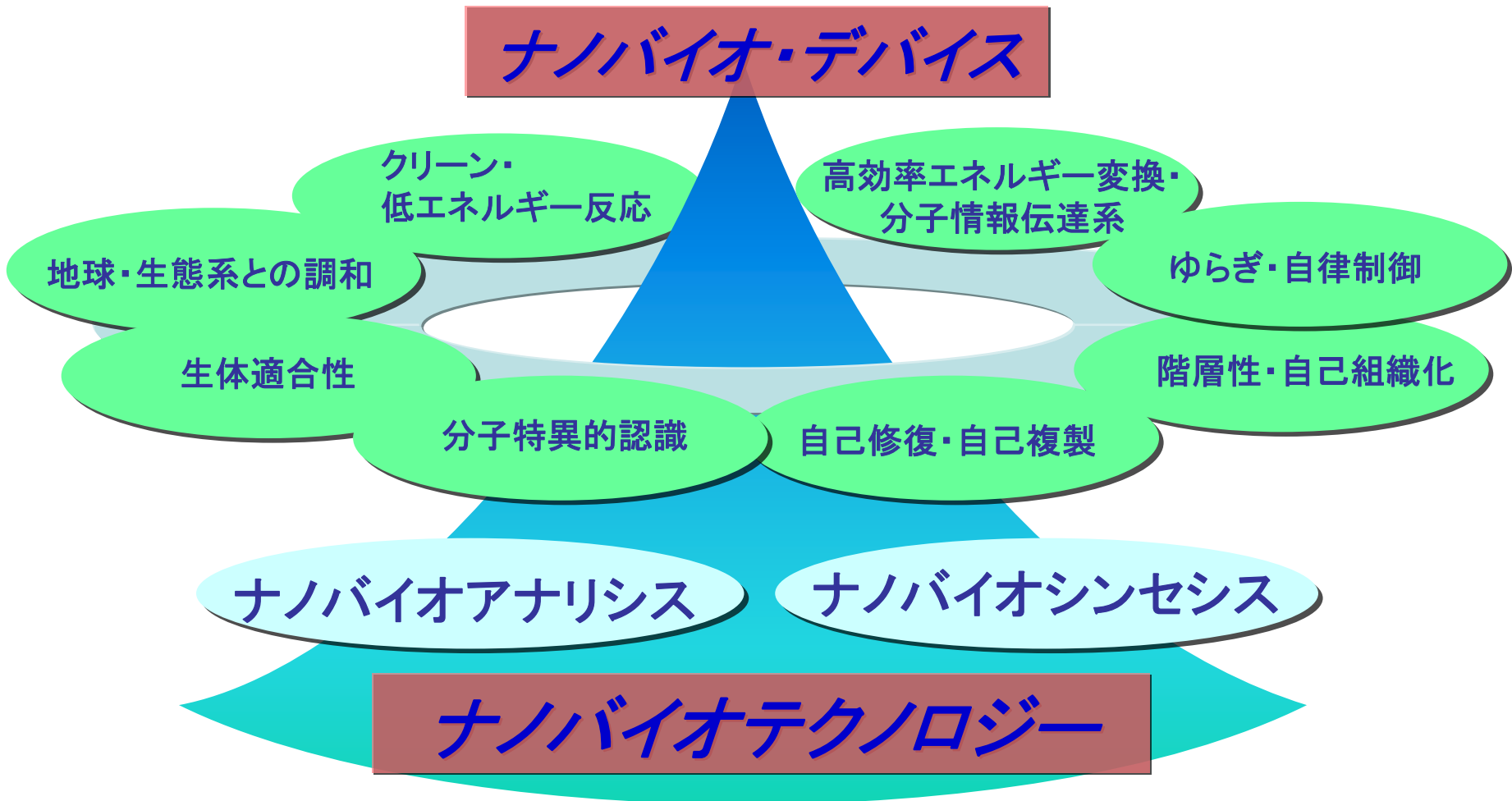
第14回 ナノテクノロジー・材料委員会
説明資料

ナノバイオ関連研究状況

- ・ 生体分子・細胞等の生体構成要素を、その機能を制御した状態でインテグレートする概念・方法論の創出（分子情報生命科学）
- ・ 生体の構造と機能をナノスケールで理解し、その作動原理を創り込んだナノシステムの構築（ナノバイオ・インテグレーション）



ナノバイオ・デバイスの学理の確立と機能実証



ナノバイオ・デバイスのコンセプト

devise : [語源] de- = dis- (離れて) + ラテン語 videre (見る)
対象を外から注意深く観察する ⇒ 「工夫する。発明する。」



device : 「明確な意志や工夫の元に発明・考案された装置・方法」

ナノバイオ・デバイス :

自然が創造 (create) したバイオの巧妙な機能・システムをつぶさに解析し、その原理を理解した上で、材料科学に立脚した人知 (nanotechnology) を尽くした創意工夫により創製 (devise) されるもの (一体化した機能システム)。それらを創り出すための行為 (設計・プロセス) も含む新しい言葉として用いる。

バイオを超えるナノデバイス機能

- 生体活性型適合機能
- 地球・生態系のレメディエーション
- 気中での分子特異的認識
- 時空間を制御した自己組織化
- 高速性・高選択性分子情報処理
- 環境共役型エネルギー生成

研究拠点の形成



具体的な研究開発課題 (基礎基盤構築型研究拠点)

- 1) 革新的な「**方法論**」の確立
(バイオを理解し、評価する方法の創出)
- 2) ナノテクノロジーによる「**新材料**」創製
(バイオに啓発されたマテリアル創製)
- 3) 1,2)を統合・駆使した「**システム**」創成
(バイオを超えるナノデバイス機能の実現)

ナノバイオ・デバイス創成ロードマップ

1～5年

ナノバイオ・デバイスの基礎基盤確立

革新的な「方法論」の確立

- 生体の構造・機能を解明する細胞・分子イメージング技術
- 細胞・分子を操作する方法論・技術
- ナノバイオ現象の解析とシミュレーション

方法論、新材料を統合・駆使した「システム」創成

- 生体融和型診断・治療システム
- 高選択性分子情報処理システム
- 環境共役型エネルギー生成システム
- 地球環境レメディエーションシステム

ナノテクノロジーによる「新材料」創製

- 生体活性型適合機能材料
- 分子特異的認識材料
- 自己組織化による新材料創製

5～10年

ナノバイオ・デバイスの応用展開

- ナノバイオ計測プラットフォーム開発
- ナノバイオ・デバイスの安全・信頼性評価技術

- 産業化を見据えた材料の安全性・信頼性の評価
- 目的環境下で機能するための材料構造の適正化

目標

ナノバイオ・デバイスの産業化

医療・健康

- ・超早期診断用システム
- ・診断治療一体型ナノ医療システム
- ・生体機能修復・強化システム
- ・生体反応電池搭載埋込みデバイス
- ・生涯型人工臓器
- ・動物実験代替システム

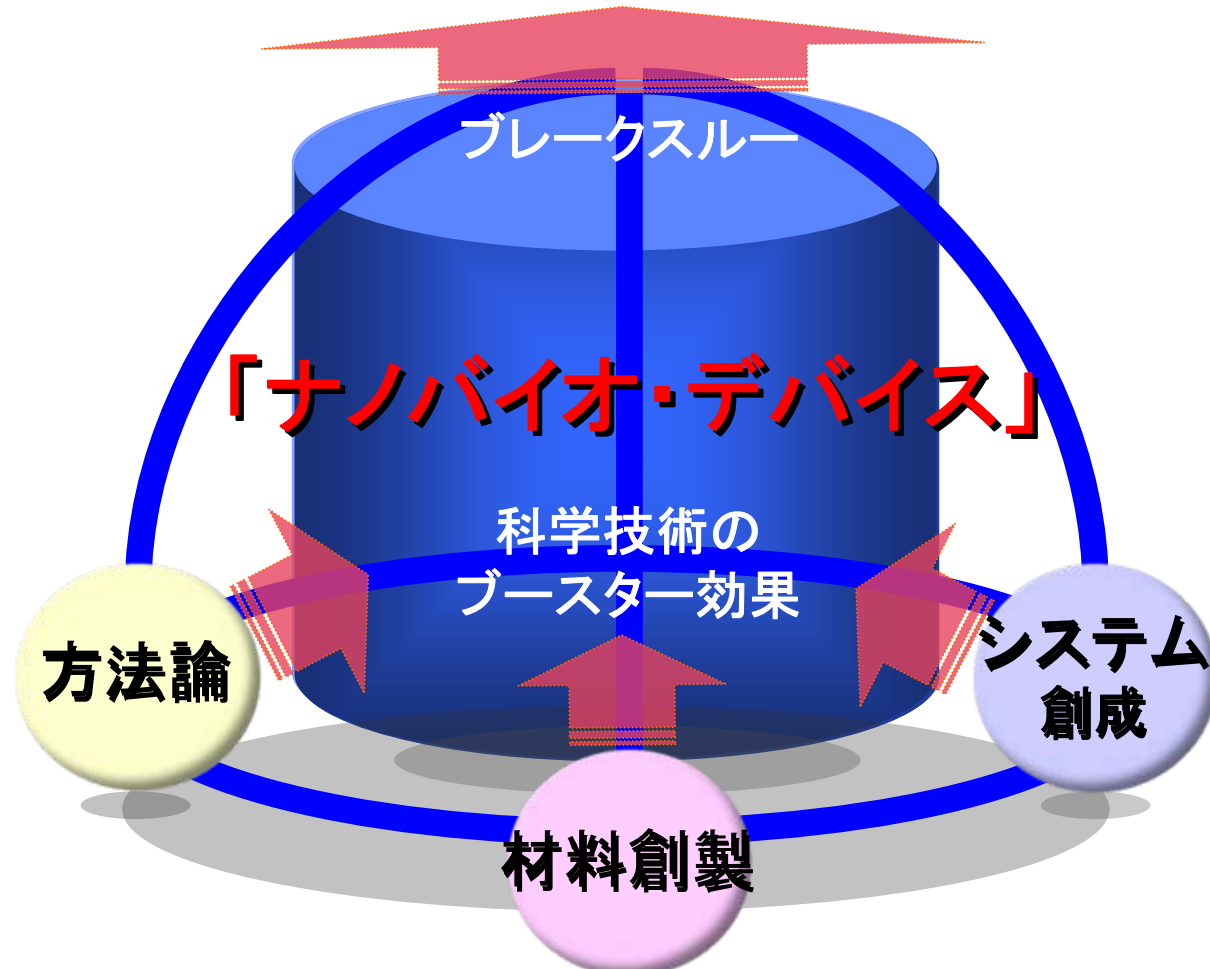
情報・環境・エネルギー

- ・脳型演算システム
- ・自己診断・修復型ナノマシン
- ・低環境負荷製造プロセス
- ・人工光合成システム
- ・バイオマイニング・資源生成
- ・バイオ燃料・バイオ電池

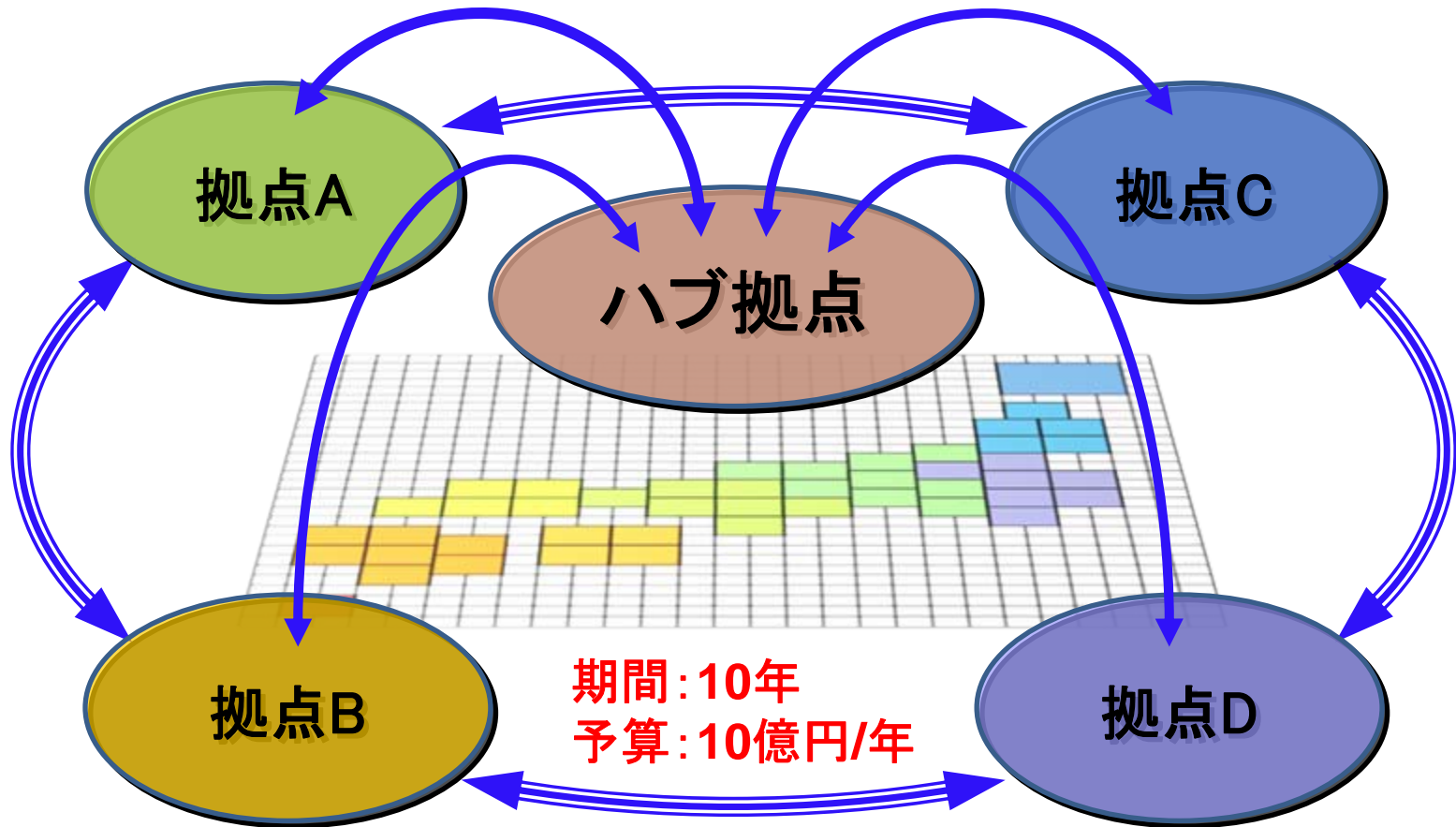
ナノバイオ・デバイスを核とした研究展開

時代の要請に応えるイノベーションシーズ展開システム (PULL)

新技術・新産業展開のナビゲーション効果

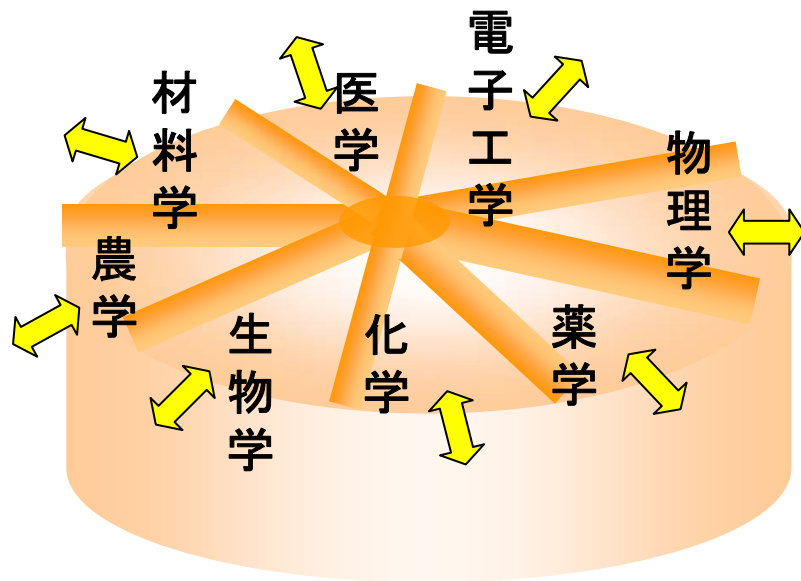


社会還元を見据えたイノベーションシーズ創出 (PUSH)

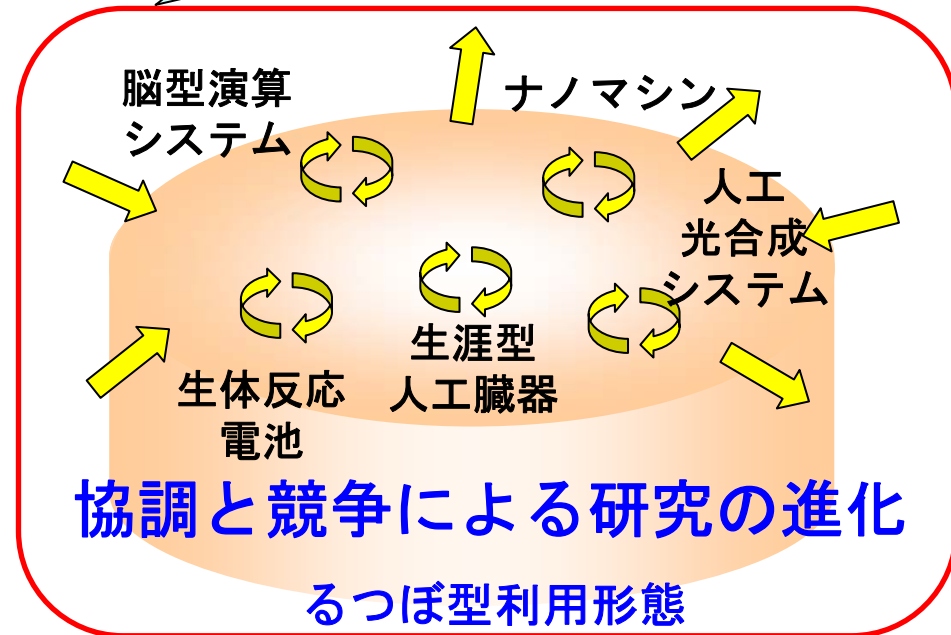


ハブ拠点は、るつぼ型共同研究拠点として全国的に広がるネットワークの中軸となり、ナノバイオ・デバイス研究と人材育成を効率的に推進。課題解決型研究拠点の既存のポテンシャルとの連携に基づくAll-Japan体制の構築により、大きな費用対効果と異分野や産業へのスムーズな展開が可能。

ネットワーク拠点(大学・研究機関・企業)



個別的利用形態
共同利用施設



ハブ拠点

知識交流の場⇒横断的分野の人材育成

グローバルな視点での新学問領域・新産業の創出

持続発展可能な未来社会を目指して

医療・健康

低環境負荷
生産技術

クリーンエネルギー

技術イノベーション

ナノバイオ・デバイス創成

— ナノテクノロジーでバイオを超える —



ハブ・ネットワーク研究拠点形成によるナノバイオ学術基盤の底上げ

ナノバイオを機軸とする **Devising Spirit**

人材・資源・知識の統合からの創発

補足説明資料

バイオを理解し、評価する方法の創出

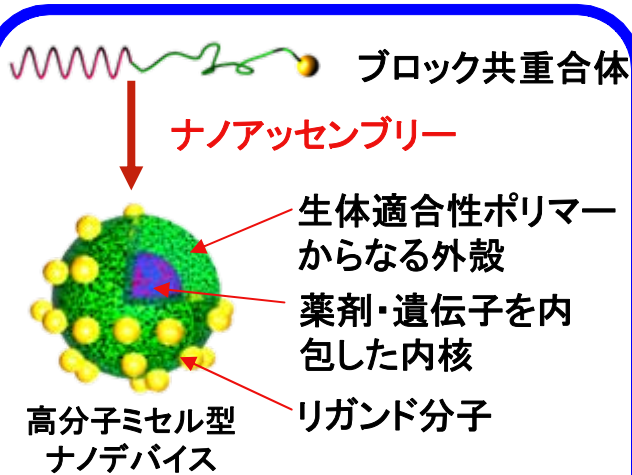
- 生体の構造・機能を解明する**細胞・分子イメージング技術**
→非侵襲・非標識に生体分子・細胞機能検出する技術の開発
- **細胞・分子を操作する方法論・技術**
→生体内分子の挙動を一分子単位からコントロールする方法論の確立
→非侵襲・非修飾に細胞内・外に存在する分子を操作・検出する技術の開発
- **生命原理の解析とシミュレーション**
→フィジカルサイエンスを駆使した、バイオ系の理解
→生体内分子の反応拡散系解析

バイオに啓発されたマテリアル創製

- **がんや各種難治性疾患を治療**するマテリアル
→ ウィルスに匹敵する遺伝子・薬剤送達マテリアル
- **再生医療**を可能にするマテリアル
→ 生体組織に近い強度特性を持つ生体適合性構造材料の開発
→ 細胞の分化を高度に制御する再生医療用材料・培養装置の開発
- 生命原理に学ぶ**新規有用マテリアル**の創製
→ クリーンエネルギー、バイオ環境浄化に関わる酵素の進化技術
→ バイオミネラリゼーションによるナノ構造体の作製
→ 自己清浄、自己修復の機能を有するマテリアル
- 生命原理に啓発されて造られる化合物・マテリアルの評価・解析
→ 生体や社会に及ぼす**安全性の評価・解析**

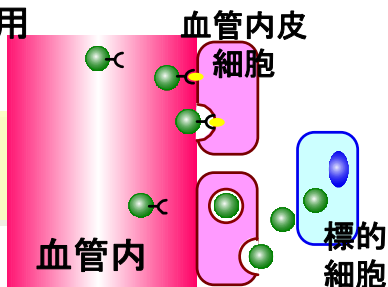
バイオを超えるナノデバイス機能の実現

- 従来の微細加工技術の限界を超える**製造技術**
→制御された自己組織化を利用したデバイスプロセス
- 生物に学んだ**情報処理デバイス**
→確率共鳴型演算デバイス、脳型情報処理デバイス
- 生物に学んだ**エネルギー変換デバイス**
→光に応答して物質を生産、あるいは破壊(浄化)するナノシステムへの展開(人工光合成とその拡張)
- 生体の**損なわれた機能を補うデバイス**
→ブレイン・マシン・インターフェイス等の生体埋め込み計測、治療デバイス、人工網膜etc.



EPR効果の利用

組織移行・浸透機能



トランスサイトシスの利用

近赤外域に吸収をもつ金ナノロッド

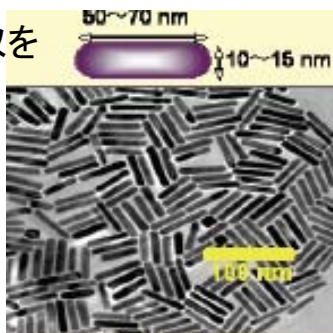
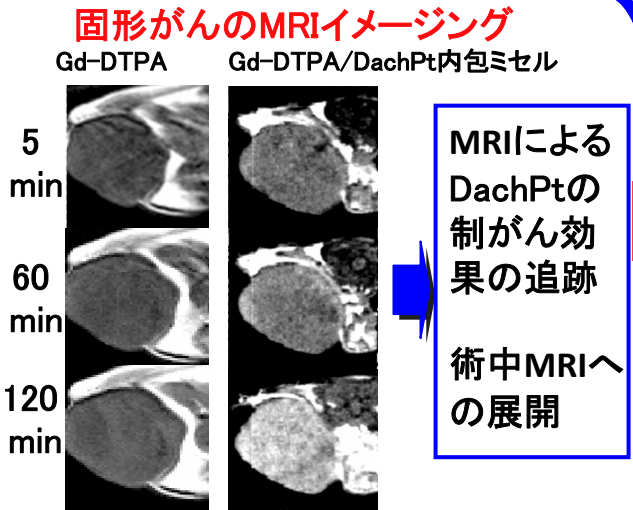
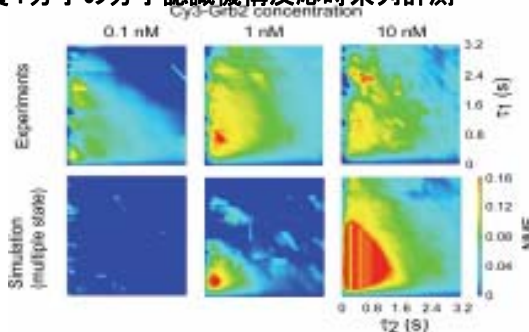


図1 典型的な金ナノロッドの電子顕微鏡写真



蛋白質1分子の分子認識機構反応時系列計測



生体適合性 (患部結合性) 金ナノロッド→血液に注入し、皮膚を通して金ナノロッドの計測



医用デバイス：DDS

癌の早期検出や治療効果の確認のためのイメージングデバイス

癌をはじめとする難治性疾患の治療ナノマシン

細胞機能の改変、分化誘導するデバイス

エネルギー分野

化学反応物質放出の時空間制御による高機能ナノバッテリー

IT分野

自己組織化制御配列による超高密度メモリ

環境分野

超撥水性付与によるセルフクリーニング塗装

DNA塩基の相補性によるレジストフリーナノパターンおよび3次元構造形成

DNA Nano-pattern

塩基の相補性によるレジストフリーナノパターンおよび3次元構造形成

自己組織パターン化マルチアレイ脂質膜 / イオンチャンネル配列素子

5000nm

PMMA/PDMS Buffer Buffer

ボトムアップ&トップダウン融合3次元ナノ構造制御部材・デバイス

生体親和性心拍・心圧ゆらぎにリアルタイム対応制御可能デバイス (ペースメーカ代替/付与)

イオンチャンネルゲートによるスイッチ / 電流増幅(>10⁷)

世界最小のpn接合 / トランジスタ

進化分子工学による材料選択結合マテリアル (アプタマー)

Lys Pro Arg Leu Ala Asp

-Ti-O-Ti-O-Ti-O-Ti-

医用デバイス

生体親和性に優れた永久埋め込み型バイオ情報処理デバイス

細胞機能の改変、分化誘導の時間制御を可能にするデバイス

IT分野

自己組織化制御配列による超高密度メモリ >100T ~ 1PB/inch²

無電解めっきによるナノパターンニング 線幅 ~5nm配線

環境低負荷型クローニング自己修復・複製プロセス (バイオ工場)

環境・エネルギー分野

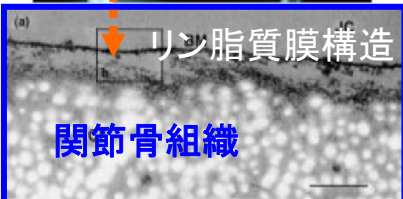
コアシェル3次元構造による時空間制御された高機能ナノバッテリー

高性能水素貯蔵 (燃料電池) ナノマテリアル



生体関節

- ・高潤滑
- ・耐摩耗特性
- ・力学的緩衝作用

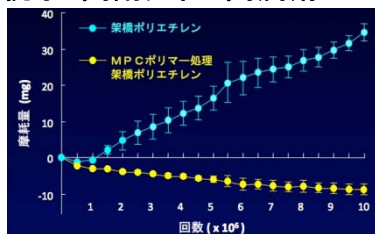


リン脂質膜構造
高年齢社会に対応した医療

関節骨組織



人工関節摺動面へのリン脂質ポリマーのナノグラフトによる生体膜類似構造の構築
超親水・高耐久性・高潤滑



- ・長寿命化に成功
- ・臨床治験の実施

超潤滑バイオ界面原理の提案

ポリマー高密度ブラシによる界面での水の環境制御

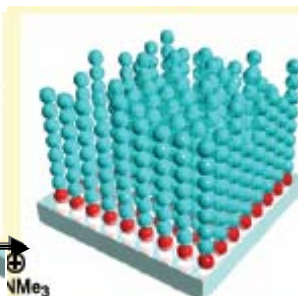
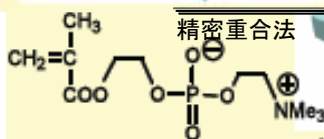
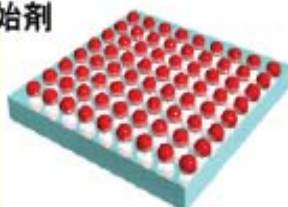
超潤滑機構の組込

生体構造に啓発された高機能バイオ界面

荷電を持つポリマーブラシの構築

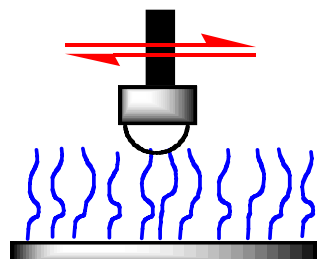
幅広い材質に固定化可能:
金属 (Au, Ag, Pt, Cu)
酸化物 (TiO₂, SiO₂, Al₂O₃)
高分子材料 (PS, PE, PET, PTFE) など

開始剤

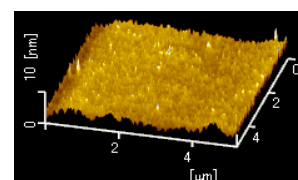


ポリマーブラシ

分子潤滑機構の活用技術



高密度グラフトポリマー鎖
水の接触角 < 10°
動摩擦係数 < 0.005



空气中

水滴

医用デバイス

低侵襲埋め込み型運動器系医用デバイス

血液ポンプなど高回転数と安定性が求められる医用デバイス

血管内マイクロカテーテルのように生体組織との低摩擦が必要な医用デバイス

エネルギー分野

回転・スライド運動などにおいてエネルギーロスを防ぐ動カシステム

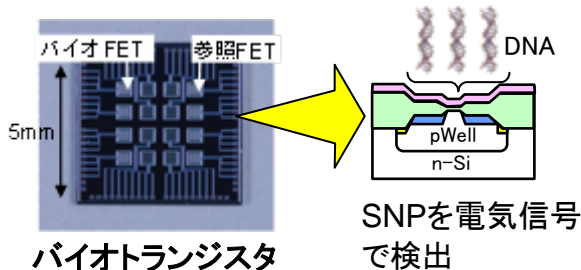
IT分野

高安定・高速オイルレスメカノスイッチングシステム

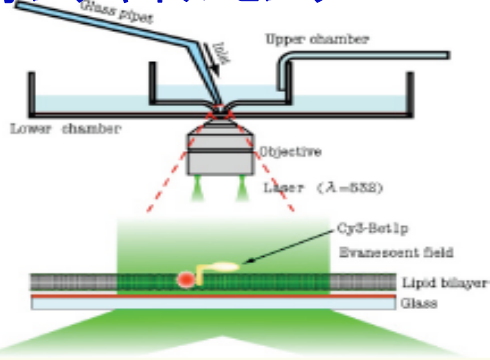
環境分野

自浄環境センサーや環境対応型防汚表面処理塗料

DNA・有機高分子とエレクトロニクスの融合

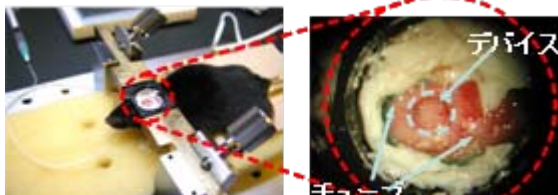


イオンチャネルセンサー



生体とデバイスの融合

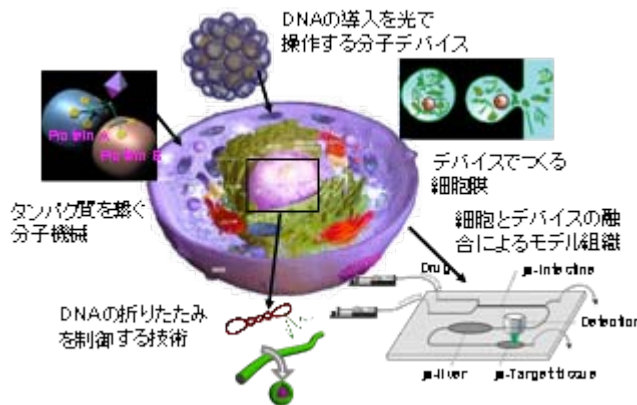
マウスの頭部に埋め込み、長期にわたり脳神経細胞の活動を2光子顕微鏡で観察可能にし、精神疾患の原因を探求



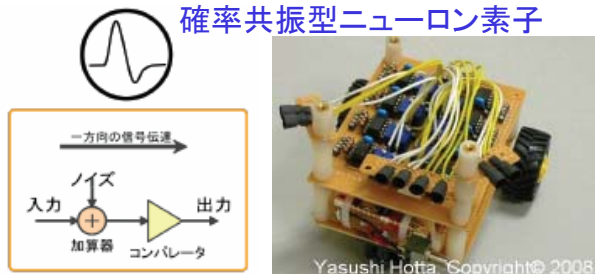
脳インターフェイスデバイス

人工細胞デバイスの創製

生体分子の機能を保持しつつ、人工ナノマシンと統合させる化学合成、デバイス技術



確率共振型ニューロン素子



細胞内タンパク輸送装置の分子実体の解明を目指す。

膜タンパク複合体の「自己組織化原理」を解明する。

タンパク輸送の原理を解明することを通じて、生体膜上でのタンパク複合体の自己組織化原理、機能発現機構を解明する。

医療・創薬応用

人工細胞、モデル化組織デバイスによる高効率薬物スクリーニング

病理診断デバイス

生体の損なわれた機能を補うデバイス

エネルギー分野

酵素や光合成を利用する高効率エネルギー製造システム

IT分野

細胞ネットワークのシグナル伝達を利用する演算素子

生体-IT機器を繋ぐ直感的情報インターフェイス

環境分野

環境浄化を可能にする酵素分子改変システム