

ナノテクノロジー 分野別バーチャルラボ

Virtual
Laboratory
in Nanotechnology
Areas



チーム型研究／個人型研究

研	究	課	題	成	果	集
---	---	---	---	---	---	---



独立行政法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

科学技術振興機構の沿革

科学技術振興機構（Japan Science and Technology Agency:JST）は、わが国における科学技術基本計画の中核の実施機関として、2003年10月1日に独立行政法人として新たなスタートを切りました。前身の科学技術振興事業団は、科学技術情報の流通の業務を実施してきた日本科学技術情報センター（1957年8月設立）と、基礎的研究、新技術開発、研究交流の促進等の業務を実施してきた新技術事業団（1961年7月設立）が統合し、これまで両法人がすすめてきた事業を継承・発展させるとともに、科学技術基本法の成立（1995年11月15日公布）を受け、科学技術振興のための基盤整備と先端的・独創的な研究開発の推進並びに科学技術理解増進事業の推進を目的として1996年10月1日に設立されたものです。

「ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ」とは？

平成14年度のナノテクノロジーへの総合的・重点的な取り組みとして、科学技術振興事業団（現独立行政法人科学技術振興機構）では、文部科学省が定めた3つの戦略目標の下に10の研究領域を設定しました。研究領域の運営の責任者である研究総括のもとで研究課題を募集・選定、参加する研究者は自らの研究機関に所属したまま、戦略目標に向けて研究を推進しています。これら10の研究領域は、相互に関連を持つものであるため、全体を1つの「ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ」（バーチャルラボ＝いわば「姿なき研究所」）としてとらえ、研究領域ごとの研究推進に加え、研究領域を超えた情報交換・コラボレーション、合同シンポジウム・領域会議の開催など有機的な運用・連携を図り、よりインパクトの大きな成果の創出を目指します。

10の研究領域は、チーム型研究93課題、個人型研究24課題*の合計117課題で構成されています。

*個人研究24課題のうち18課題はH17年度で終了しました。

CONTENTS

科学技術振興機構の沿革	1
「ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ」とは？	1
事業の流れ（チーム型研究 / 個人型研究）	4
研究領域紹介	5
研究支援体制	6

JST ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ 研究成果トピック一覧

ナノデバイス分野

研究成果①	研究チーム 課題名 成果タイトル	荒井 滋久（東京工業大学量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授） 低次元量子構造を用いる機能光デバイスの創製 超低電流で動作する高性能半導体レーザの開発	8
研究成果②	研究チーム 課題名 成果タイトル	石橋 幸治（（独）理化学研究所石橋極微デバイス工学研究室 主任研究員） カーボンナノ材料を用いた量子ナノデバイスプロセスの開発 カーボンナノチューブを用いて人工原子の形成に成功	9
研究成果③	研究チーム 課題名 成果タイトル	川合 知二（大阪大学産業科学研究所 所長、教授） プログラム自己組織化による人工生体情報材料創製 超高性能赤外線センサ材料の開発	10
研究成果④	研究チーム 課題名 成果タイトル	芝 清隆（（財）癌研究会癌研究所蛋白創製研究部 部長） プログラマブル人工蛋白質からの組織体構築 超微細構造・高機能メモリー製造に応用できる人工タンパク質の創製	11
研究成果⑤	研究チーム 課題名 成果タイトル	藤巻 朗（名古屋大学大学院工学研究科 教授） 単一磁束量子テラヘルツエレクトロニクスの創製 高温超伝導体を用いた超高速・低消費電力の集積回路の開発	12
研究成果⑥	研究チーム 課題名 成果タイトル	古屋 一仁（東京工業大学大学院理工学研究科 教授） 超ヘテロナノ構造によるバリスティック電子デバイスの創製 共鳴トンネルダイオードの室温テラヘルツ発振	13

ナノ材料分野

研究成果①	研究チーム 課題名 成果タイトル	伊藤 耕三（東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授） トポロジカルゲルを利用した医療用生体機能材料の創製 架橋点が自由に動く新しいゲルの開発と実用化	16
研究成果②	研究チーム 課題名 成果タイトル	彌田 智一（東京工業大学資源化学研究所 教授） 高信頼性ナノ相分離構造テンプレートの創製 ナノサイズシリンドラー構造の大面积薄膜製作に成功	17
研究成果③	研究チーム 課題名 成果タイトル	工藤 昭彦（東京理科大学理学部 教授） 可視光水分解を目指したナノ構造体光触媒の創製 水や廃液と、光を用いて水素を製造する光触媒の開発	18
研究成果④	研究チーム 課題名 成果タイトル	黒田 一幸（早稲田大学理工学部 教授） 高度に制御されたナノ空間材料の創製 バイオマスの資源化への応用が可能なメソポーラスシリカの合成	19
研究成果⑤	研究チーム 課題名 成果タイトル	河本 邦仁（名古屋大学大学院工学研究科 教授） ナノブロックインテグレーションによる層状酸化物熱電材料の創製 熱を電力に変える熱電変換材料の開発	20
研究成果⑥	研究チーム 課題名 成果タイトル	小林 速男（自然科学研究機構 分子科学研究所 教授） 新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築 新原理サイリスタ（インバータに用いられる基本素地）材料の開発	21
研究成果⑦	研究チーム 課題名 成果タイトル	佐々木 高義（（独）物質・材料研究機構ナノスケール物質センター センター長） 光機能自己組織化ナノ構造材料の創製に関する研究 コバルト酸化物で初の超伝導体の発見	22

研究成果⑧	研究チーム 課題名 成果タイトル	篠原 久典（名古屋大学大学院理学研究科 教授） 新世代カーボンナノチューブの創製、評価と応用 23 カーボンナノチューブの新製造法の開発とディスプレイやトランジスタなどへの応用
研究成果⑨	研究チーム 課題名 成果タイトル	辰巳 敬（東京工業大学資源化学研究所 教授） 有機無機複合相の自在変換によるグリーン触媒の創製 24 ナノサイズのらせん状細孔をもつシリカの合成と分離吸着剤への応用
研究成果⑩	研究チーム 課題名 成果タイトル	藤田 誠（東京大学大学院工学系研究科 教授） 自己組織化分子システムの創出と生体機能の化学翻訳 25 デバイス・医療への応用が見込まれるナノメートルスケール球状中空錯体
研究成果⑪	研究チーム 課題名 成果タイトル	持田 勲（九州大学産学連携センター 特任教授） 表面最適化炭素ナノ繊維の新規環境触媒機能 26 カーボンナノファイバーの多量合成とエネルギー・環境材料としての応用
研究成果⑫	研究チーム 課題名 成果タイトル	松本 要（京都大学大学院工学研究科 助教授） ナノ組織制御による高臨界電流超伝導材料の開発 27 産業応用に向けた高温超伝導体の開発

ナノ計測分野

研究成果①	研究チーム 課題名 成果タイトル	新井 豊子（筑波大学大学院数理物質科学研究科 助教授） 走査型相互作用分光顕微鏡の開発とナノ構造創製への応用 30 原子レベルの分解能をもつ顕微鏡と分光法の開発
研究成果②	研究チーム 課題名 成果タイトル	河田 聡（大阪大学大学院工学研究科 教授） 非線形ナノフォトニクス 31 ナノスケールの分解能をもつ新型顕微鏡の開発
研究成果③	研究チーム 課題名 成果タイトル	栗原 和枝（東北大学多元物質科学研究所 教授） 固・液界面の液体のナノ構造形成評価と制御 32 潤滑油など高度な材料の創製に繋がる評価法の開発
研究成果④	研究チーム 課題名 成果タイトル	藤吉 好則（京都大学大学院理学研究科 教授） 高次細胞機能構造体観察・制御技術の開発 33 蛋白質を生体にあるがままに観察できる電子顕微鏡の開発と蛋白質の構造・機能の解明

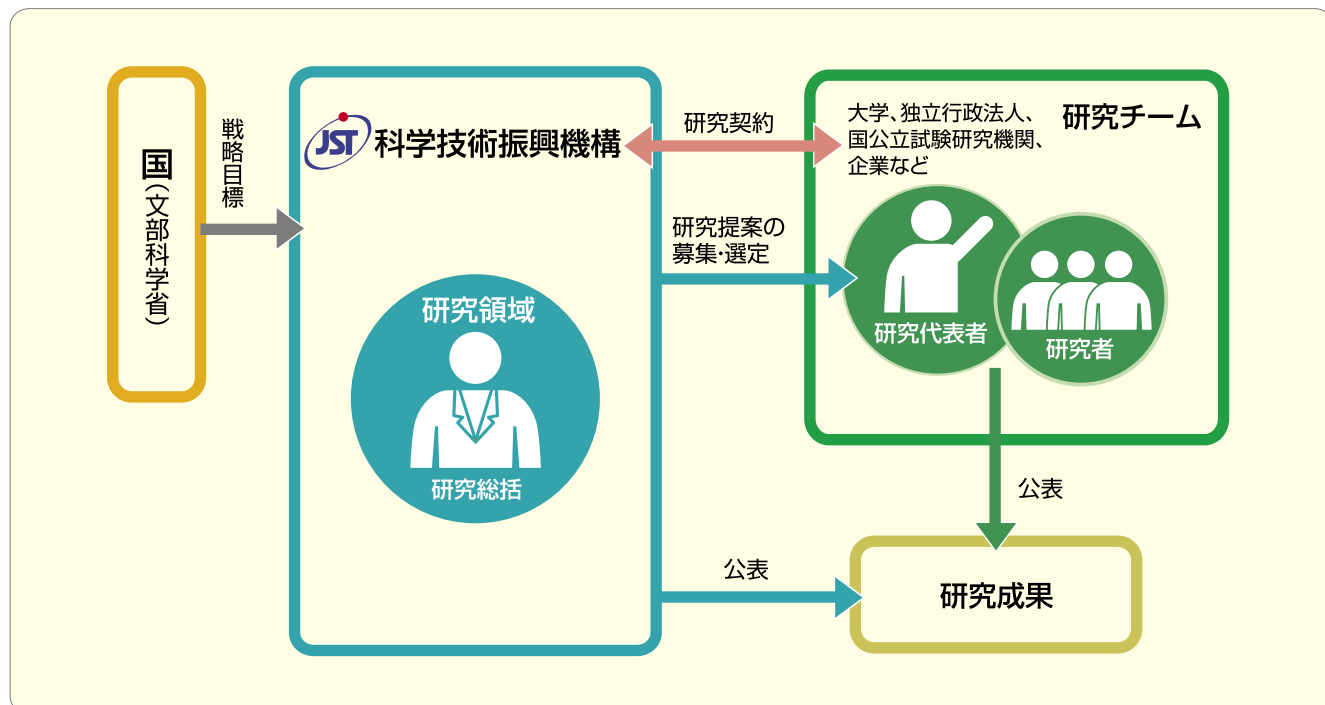
ナノバイオテクノロジー分野

研究成果①	研究チーム 課題名 成果タイトル	伊藤 博康（浜松ホトニクス（株）筑波研究所 主任部員） タンパク質分子モーターを利用したナノメカノケミカルマシンの創製 36 生体エネルギーを作り出す生体回転分子モーターのしくみ解明の前進
研究成果②	研究チーム 課題名 成果タイトル	井上 将彦（富山大学薬学部 教授） 精密分子認識に基づく人工 DNA の創成とナノ材料への応用 37 変異遺伝子を高精度かつ容易に検出する方法の開発
研究成果③	研究チーム 課題名 成果タイトル	宇田 泰三（県立広島大学生命環境学部 教授） 健康・福祉のためのナノバイオ材料およびバイオ素子としての「スーパー抗体酵素」の創製 38 ウイルス・病原菌などを撃退する抗体酵素（Antigenase）の開発
研究成果④	研究チーム 課題名 成果タイトル	岡野 光夫（東京女子医科大学先端生命医科学研究科 教授・所長） 新規組織再構成技術の開発と次世代バイオセンサーの創製 39 眼の治療に役立つ角膜の培養・移植を革新的に容易にする技術の開発に成功
研究成果⑤	研究チーム 課題名 成果タイトル	片岡 一則（東京大学大学院工学系研究科 教授） 遺伝子ベクターとして機能するナノ構造デバイスの創製 40 病巣である患部のみ治療用遺伝子を運ぶ「遺伝子キャリア」の開発
研究成果⑥	研究チーム 課題名 成果タイトル	徳永 史生（大阪大学大学院理学研究科 教授） 分子配列による蛋白モジュールの開発と展開 41 蛋白質結晶化技術の開発
研究成果⑦	研究チーム 課題名 成果タイトル	松岡 英明（東京農工大学工学部 教授） 疾患モデル細胞の高効率創製と機能解析 42 熟練者以上に短時間に高効率で遺伝子を細胞に導入できるロボットの開発

事業の流れ

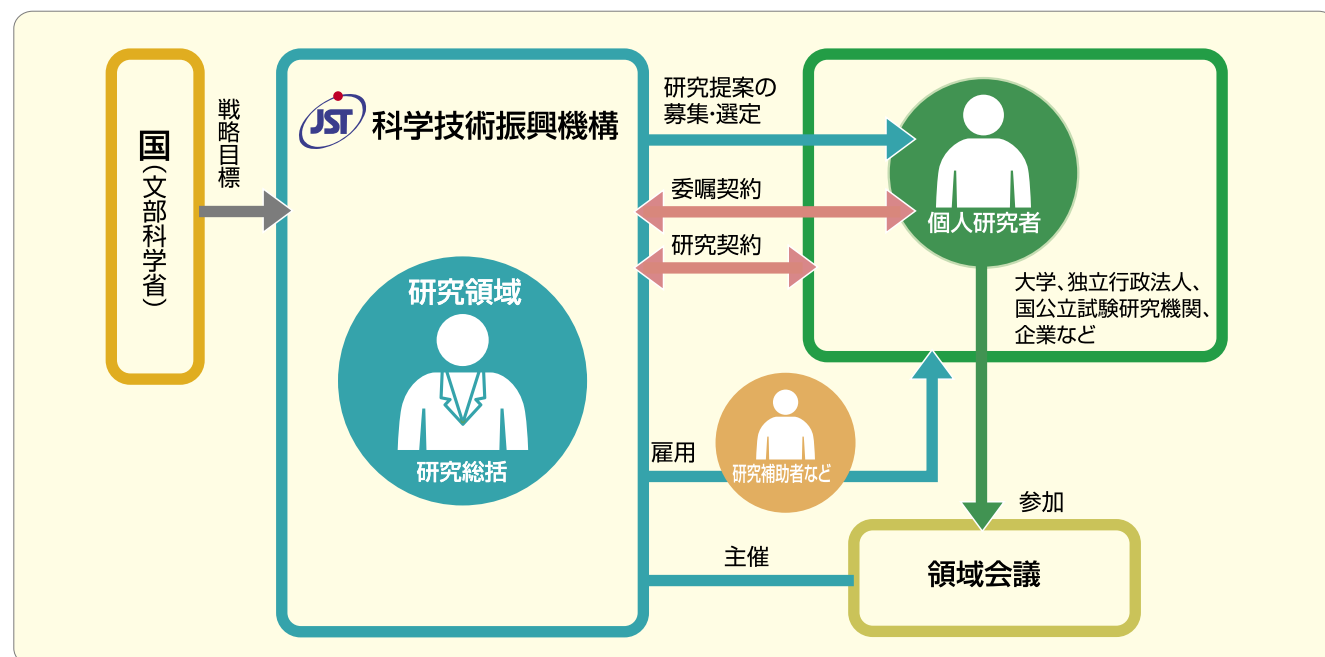
チーム型研究

JSTが研究代表者および研究課題を募集・選定し、研究者が所属する研究機関と研究契約を締結して、基礎研究を推進します。



個人型研究

JSTが研究課題および個人研究者を募集・選定し、個人研究者の研究実施場所と研究契約を締結して、基礎研究を推進します。



研究領域紹介

チーム型研究

領 域 名	研 究 総 括	課題数	戦略 目標
超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製	榊 裕之 東京大学生産技術研究所 教授	10	*1
新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製	梶村 皓二 (財)機械振興協会 副会長・ 技術研究所 所長	11	*1
高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測	蒲生 健次 大阪大学 名誉教授／(独)情報通信 研究機構未来ICT研究センター 専攻研究員	8	*1
高度情報処理・通信の実現に向けたナノ構造体材料の制御と利用	福山 秀敏 東京理科大学理学部応用物理学科 教授	9	*1
医療に向けた化学・生物系分子を利用したバイオ素子・システムの創製	相澤 益男 東京工業大学 学長	14	*2
ソフトナノマシン等の高次機能構造体の構築と利用	宝谷 紘一 名古屋大学 名誉教授	10	*2
医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製	茅 幸二 (独)理化学研究所 和光研究所 所長 中央研究所 所長	10	*2
環境保全のためのナノ構造制御触媒と新材料の創製	御園生 誠 (独)製品評価技術基盤機構 理事長	11	*3
エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製	藤嶋 昭 (財)神奈川科学技術アカデミー 理事長／東京大学 名誉教授	10	*3

個人型研究

領 域 名	研 究 総 括	課題数	戦略 目標
情報、バイオ、環境とナノテクノロジーの融合による革新的技術の創製	潮田 資勝 北陸先端科学技術大学院大学 学長	個人研究型：13 ポスドク参加型：11	*1 *2 *3

戦略目標

- *1 情報処理・通信における集積・機能限界の克服実現のためのナノデバイス・材料・システムの創製
- *2 非侵襲性医療システムの実現のためのナノバイオテクノロジーを活用した機能性材料・システムの創製
- *3 環境負荷を最大限に低減する環境保全・エネルギー高度利用の実現のためのナノ材料・システムの創製

研究支援体制

研究者の研究活動をJSTが全面的に支援。

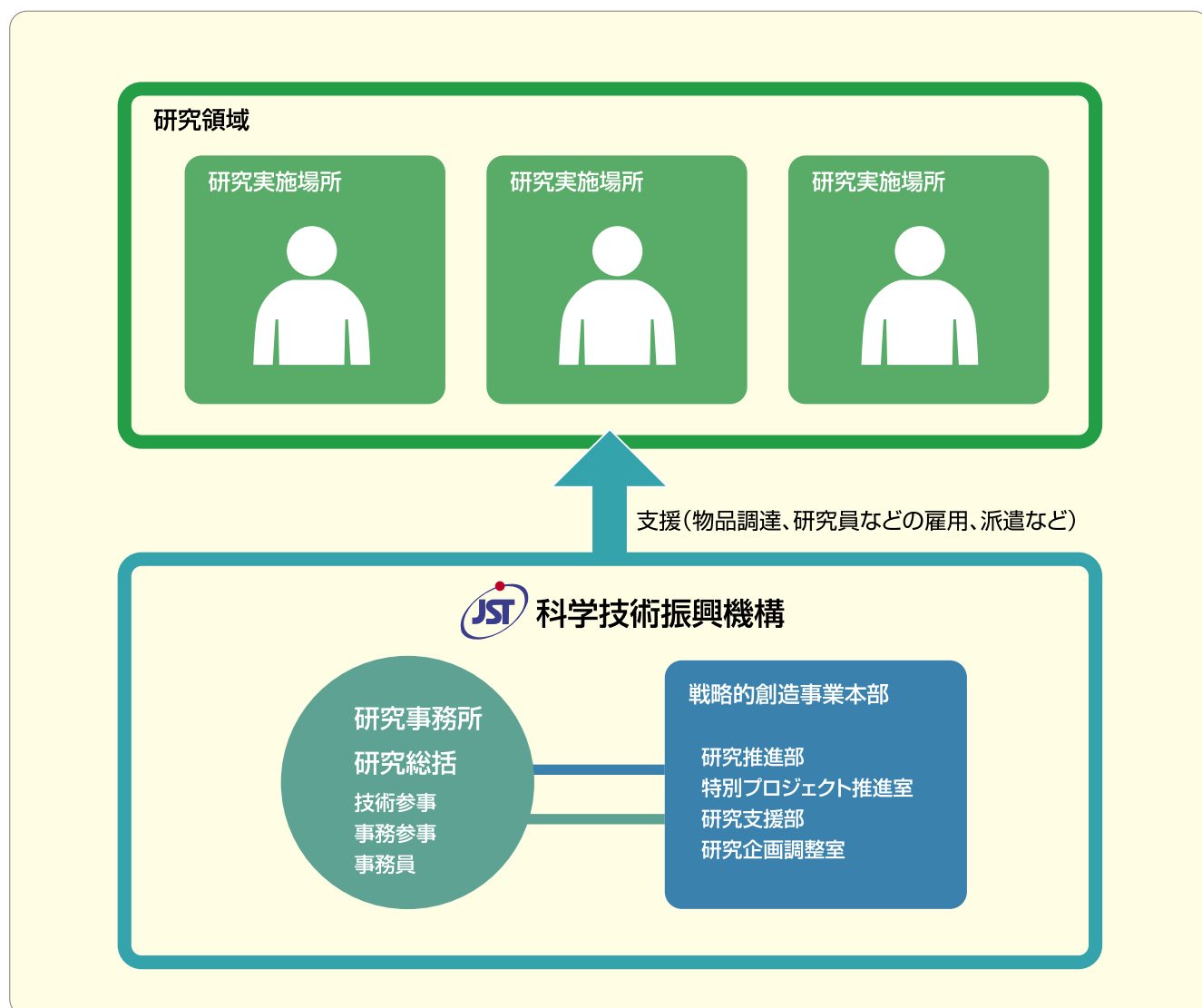
■ 戦略的創造事業本部

戦略的創造事業本部は、研究推進部、特別プロジェクト推進室、研究支援部および研究企画調整室から構成されており、研究事務所と連携を取りながら業務を行います。

■ 研究事務所

研究領域毎に研究事務所を設置し、研究の日常的な活動をサポートします。

研究事務所には、研究計画の調整、研究進捗状況の把握、外部発表の手続き等の業務を行う技術参事、設備や材料の購入、物品管理、出張手続き等の業務を行う事務参事および事務員が常勤し、研究総括のもとで研究支援を行います。



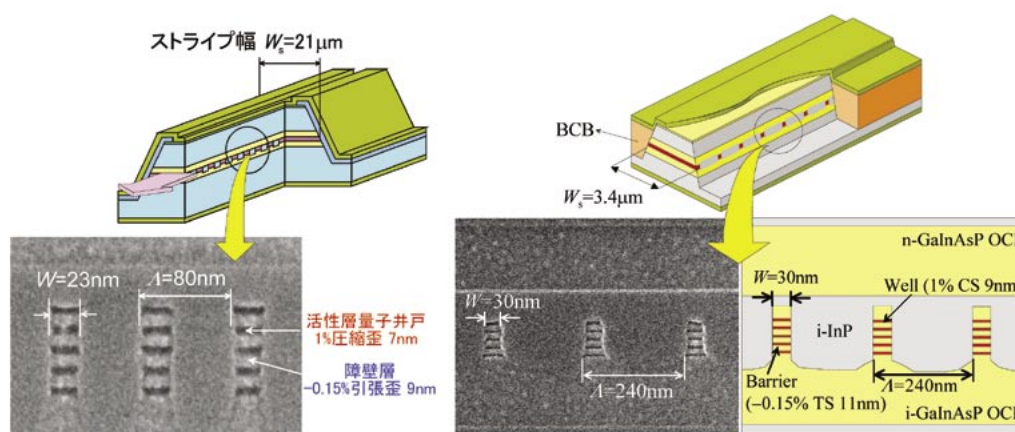
ナノデバイス分野

超低電流で動作する高性能半導体レーザの開発

概要

光ファイバを使った光通信の光源などとして使用される半導体レーザには、低い動作電流で、かつ発生する光の波長の幅が狭いことが求められます。例えば、光ファイバを進む光は $1.5\mu\text{m}$ 程度の波長で光の損失が最小であり、 $1.5\mu\text{m}$ の周りの波長の広がり大きい光では高速伝送が困難です。半導体レーザでは活性層と呼ばれる部分で光が必要な強度まで増幅されますが、活性層の構造が微細なほど、特定の波長の光のみを高い効率で取り出すことが可能になります。 10nm 程度の微細な構造で光が著しく強くなる現象を量子効果と呼び、量子効果が起こる程度に小さくした構造を量子細線（線状の構造）、量子ドット（点状の構造）と呼びます。

ガリウムインジウムヒ素リン (GaInAsP/InP) のウェーハに電子ビーム露光、低損傷ドライエッチングによる極微構造を形成した後に、周囲を半導体結晶で埋め込む方法により、下の左図に示すような 5 層量子細線レーザを実現し、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯で室温連続動作 23,600 時間以上という実用水準の高信頼動作を初めて報告しました。この量子細線活性層と、特定の波長のみが強め合う構造を集積した分布帰還 (DFB) レーザと呼ばれる単一波長レーザを製作し (右図)、超低電流動作 (2.1mA) を実現しました。



インパクト

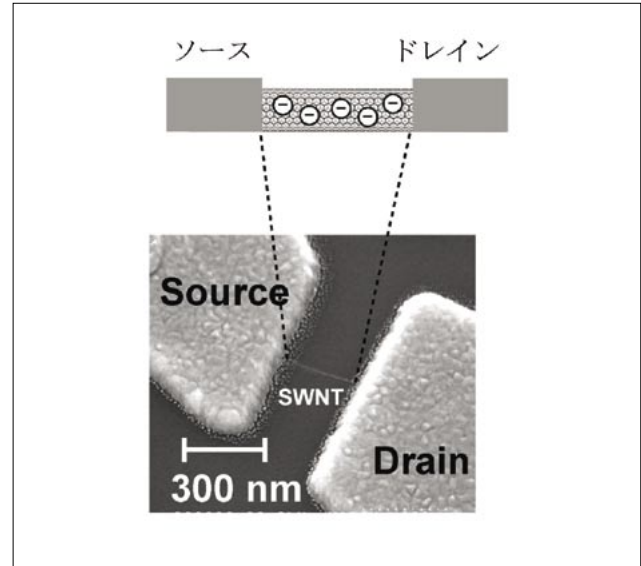
半導体レーザの高性能動作を達成するためには、①発光に寄与しない電流成分の低減、②微細構造のサイズ不均一性の低減が必須です。本研究グループの成果により、①はほぼ解決されており、今後、②のサイズ不均一性を現状の $\pm 2\text{-}3\text{nm}$ から半分程度に低減し、理論的に期待されるとおりの狭い波長幅の光や低電力動作の実現を目指します。上記の単一波長レーザで低電流動作が実現されたため、将来の携帯用光端末への応用や、コンピュータなどを光配線でつ

なぐ技術である光インタコネクションの低消費電力動作の実現が期待できます。また、量子細線や量子ドットの形成には、半導体結晶成長時に自然形成される形状を利用する方法（自己組織化成長法）が現在主流ですが、本研究の作製法には形状の自由度および位置の制御性が高いという特徴があります。この方法で製作される極微構造は、高性能半導体レーザだけでなく、光制御光スイッチなどへの展開が期待できます。

カーボンナノチューブを用いて人工原子の形成に成功

< 概要 >

カーボンナノチューブは1ナノメートル程度の超微小な直径を持つ1次元的な伝導体です。半導体微細加工技術を使って長さ方向にも電子を閉じこめると、あたかも人工の原子のように振る舞います。原子は原子核の周りを電子がまわっているというイメージですが、これを少し拡張すると、原子核が作るポテンシャルに電子が閉じこめられていると解釈することができます。カーボンナノチューブに閉じこめられた電子も、原子核が作るポテンシャルに閉じこめられた電子と同じようにみなすことができ、その意味で人工原子とすることができます。自然の原子ではオングストロームという非常に微小な領域に電子が閉じこめられていますが、カーボンナノチューブでは数百ナノメートルの長さで閉じこめられているため、これを反映して原子の特徴である離散化したエネルギー準位がカーボンナノチューブ人工原子では周波数にしてサブミリ波からテラヘルツ波になることがわかりました。また、エネルギー準位を自由に設計できることもわかりました。



< インパクト >

本成果は、カーボンナノチューブ量子ドットが人工原子として振る舞うことを初めて示した成果です。このことは、カーボンナノチューブを使うと、超低消費電力が期待されている単電子デバイスや、未開拓の周波数領域であるテラヘルツ波領域での全く新しい検出器が実現できる可能性のあることを示しています。さらに、将来的には未来型のコンピュータであるスピン型や電荷型の量子コンピュータに応用できること

が期待できます。本成果は、シリコントランジスタの歴史でいえばまだ最も原始的な点接触型で動作原理が確認された段階に当たり、カーボンナノチューブ人工原子がシリコントランジスタの微細化の限界を超える将来のナノエレクトロニクスの Building Block となりえるかどうかは、ナノチューブ独自のデバイスプロセスの開発いかににかかっています。

超高性能赤外線センサ材料の開発

概 要

エピタキシャル成長（基板上に基板の結晶と特定の方位関係にある結晶膜を堆積成長）した薄膜試料では、格子定数（結晶格子の大きさと形を示す定数）や晶系（結晶軸の数・長さ・角度で結晶を分類したもの）が基板の影響を受けて変化します。金属-絶縁体転移を起こす $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{MnO}_3$ と表記される酸化物を、単結晶基板上に成長させて歪みを加えたところ、厚みを薄く（およそ 40nm）する事により歪みの影響を高めると、次の 2 つの変化が起きる事を見いだしました。

① 金属-絶縁体転移温度が上昇し、室温で転移を起こす。

② 電気ノイズが大幅に低減する。

①により室温での電気特性が温度変化に極めて敏感に応答します。同時に、②によりノイズを大きく低減できます。この相乗効果により、室温における微少な温度変化を電気的な特性の測定により検出する能力が、既存のセンサに使われている物質に比べ格段に向上しました。通常の赤外線センサに利用されているバナジウム酸化物 (VOx) と比べると約 6 倍程度性能 (S/N 比) が向上します。

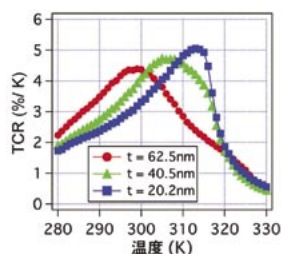


図 1 厚みの異なる薄膜の、電気抵抗の温度変化率-温度曲線。40nm 厚で 300K 付近の値が 4%以上と高い。

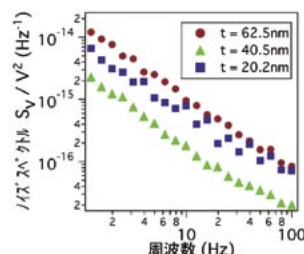


図 2 同じ薄膜のノイズスペクトル。40nm 厚でノイズが低減。

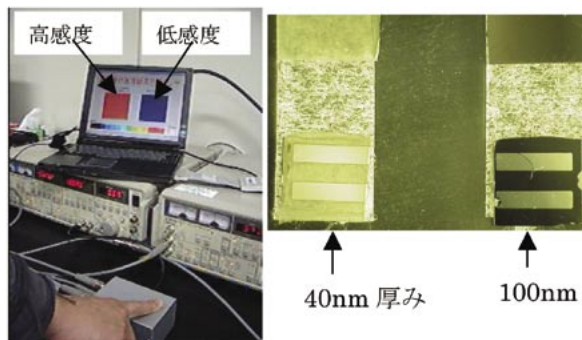
＜ インパクト ＞

赤外線を吸収することによる温度上昇を電気抵抗の変化として検出する赤外センサは、その検出機構が他方式に比べ簡単です。中でも、室温で動作するものは冷却が不要で安価であるため特に需要が多く、多方面で使用されています。しかし現状の材料では、検出率が頭打ち状態で、微小信号の検出には能力的に不十分、あるいは高価なゲルマニウムレンズが必

要であるなど問題があります。本研究により実現したセンサ材料は、検出能が従来よりもかなり高いので、高性能が必要な車載暗視カメラを初めとする超高感度赤外カメラが冷却の必要なしに安価に実現できます。汎用センサに応用した場合、高価なレンズが不要で、バイオメトリクス認証（生体認証）装置等にも応用可能です。（特願 2005-092164）

写真左 体温検出のデモ。構造制御の有無による感度差をディスプレイ上に表示。厚みの薄い高感度膜（左側）が大きな応答を示している。

写真右 デモに使用した薄膜。左側が厚みの薄い高感度膜。



超微細構造・高機能メモリー製造に応用できる人工タンパク質の創製

＜ 概 要 ＞

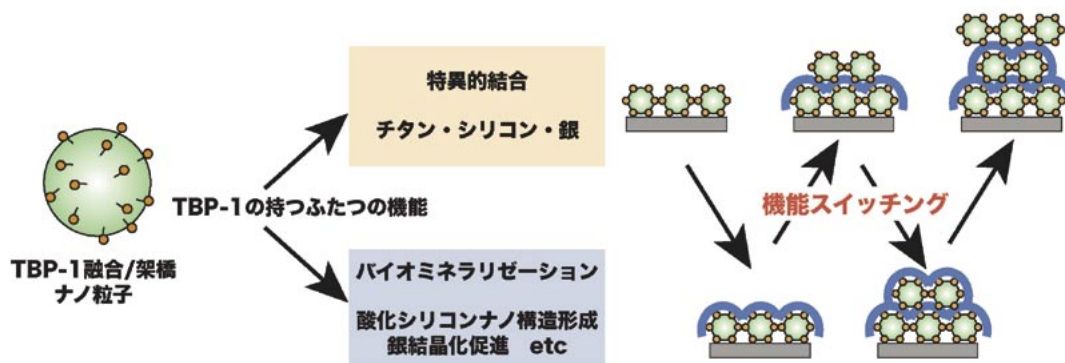
特定のターゲットを「特異的」に認識できるのが天然タンパク質の特徴です。さまざまな機能の発現を目指し、無機材料と生体高分子のハイブリッド材料を開発するためには特定の無機材料を特異的に認識するタンパク質が必要です。しかし、このような無機物認識タンパク質は人工的に創製する必要があります。本研究チームでは、チタン表面の機能化をめざした人工タンパク質の創製を目指しており、この過程で、チタン・銀・シリコン表面を特異的に認識する「チタン結合ペプチド、TBP-1」の創製に成功しました。通常のタンパク質が変性を

に伴う結合でチタン表面に結合するのに対し、TBP-1 は静電的な結合でチタン表面を認識し結合します。TBP-1 を用いることにより、生物活性を保持したまま（変性を伴わず）種々のタンパク質を特異的にチタン表面にソフトランディングさせることができます。また、この TBP-1 は、酸化チタン、シリカ、銀の鉱物化（ミネラリゼーション）を促進する作用を持っており、無機物ナノ結晶の作製にも利用できるため、規則的なナノ構造をもった無機物結晶・タンパク質ハイブリッド材料の構築を可能とします。

＜ インパクト ＞

TBP-1 を利用することにより、特定分子をチタン基板上に特異的に配置することが可能です。配置する分子に、例えば半導体ナノドットを内包したフェリチンタンパク質等を用いることで、半導体ナノドットをパターンニングした基板上に配置することができるようになります（研究領域内の山下 G との共同研究で実証済み）。これは、生物材料を利用した電子デバイス作製への応用です。

また、TBP-1 がもつ「特異的認識」能力と「鉱物化（ミネラリゼーション）」活性を交互に用いることにより、ナノレベルの微細多層構造を形成することが可能となりました（BioLBL 法）。半導体や金属ナノドットの異なる物質の層からなるナノ多層体も簡単に形成することができるため、センサー、電池、メモリーの開発などへの応用利用が期待されます。



高温超伝導体を用いた超高速・低消費電力の集積回路の開発

概要

超伝導体をドーナツ状にすると、そのリング内を通る磁束量子（超伝導体内の磁力線の最小単位）を、1本または0本のどちらかの状態にできます。これは、このリングに薄い絶縁膜を入れると（ジョセフソン接合）、磁束量子をリングに入れたり出したりできることを利用しています。磁束量子がリング内であれば、デジタル信号の「1」、リング外であれば「0」とすることで論理回路を構成したものを単一磁束量子（SFQ）回路と呼びます。このリングを集積化すると、磁束がリングを動くことで情報が伝搬します。SFQ回路は超伝導体を用いているため消費電力が極めて少なく、また磁束が光速で動くため超高速の情報伝達が可能です。すでに超伝導体としてニオブ（Nb）を用いたSFQ回路が開発されています。しかしながら、Nbを用いたSFQ回路は160GHz程度の高速動作が限界で、より高い周波数で動作させるためには、高温超伝導体を使用する必要があります。これを可能とするため、集積化に適した高温超伝導体ジョセフソン接合の形成、および接合特性のばらつきの低減に成功しました。160GHz以上で超高速動作するSFQ回路が期待されます。

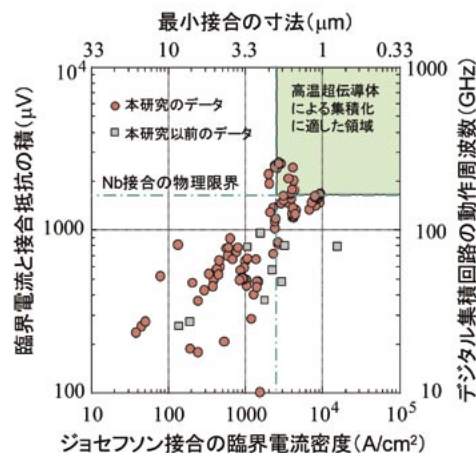


図 1. 高温超伝導積層ジョセフソン接合における臨界電流密度と特性電圧の関係。特性電圧は臨界電流と接合抵抗の積で定義され、SFQ 集積回路の動作周波数に対応する。また、臨界電流密度は接合の寸法に関連している。

インパクト

Nbを用いたSFQ集積回路は、すでに集積度が1万個以上に達し、更なる高集積化とともに実用化へ向けて急速な進展を遂げています。Nbのジョセフソン接合はばらつきが低いいため集積化が可能なものです。しかし、NbによるSFQ集積回路は高速性に限界があるため、超高速で動作する小規模な高温超伝導SFQ集積回路と組み合わせることで、お互いの欠点を補償し合うことが、SFQを用いた超高速・超低電力回路の現実的な形態です。Nbと高温超伝導によるSFQ集積回路の組

み合わせによって、SFQ回路の実用化が近づくものと期待されます。

SFQ集積回路が実用化されれば、計測機器や移動体通信基地局に用いられるアナログ/デジタル変換器に革新的な変化をもたらします。特に通信基地局では、無線信号を直接デジタル化することが可能となり、現在では考えられないほど高性能な受信機が実現されることとなります。

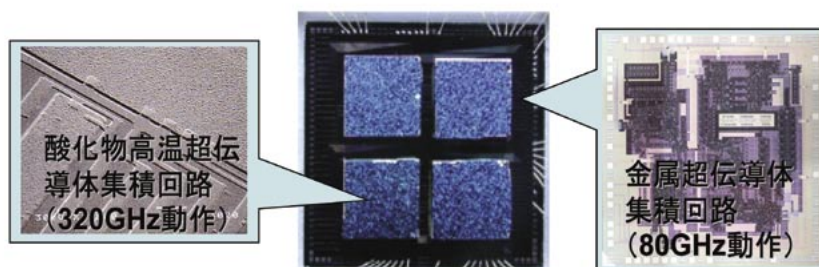


図 2. Nb 集積回路と高温超伝導集積回路のハイブリッドモジュールのイメージ

共鳴トンネルダイオードの室温テラヘルツ発振

＜ 概 要 ＞

光と電波の中間の、周波数が数テラヘルツ（テラは 10^{12} ）の領域は、超高速大容量通信や化学・バイオの分野におけるイメージング・分析など、幅広い応用の可能性が最近明らかになってきました。しかしながら、テラヘルツ帯の電磁波を増幅・発生するデバイスはこれまでほとんどなく、その開発が望まれていました。本研究では、厚さ数ナノメートルの半導体の極薄膜を層状に積み重ねた構造からなる共鳴トンネルダイオードという電子デバイスを、新たに考案した微細なアンテナと集積し、1.02 テラヘルツの超高周波を室温で発生す

ることに成功しました。これは、電子デバイスによる室温の単体発振器としては、これまでの最高周波数です。出力はまだ0.6 マイクロワットと小さいですが、デバイス構造の最適化により、数十マイクロワット以上の出力や、多数配列による1 ミリワット以上の出力、さらには、2 テラヘルツ以上の高周波数が期待できることもわかりました。この成果により、大容量通信が可能な、小型で室温動作するテラヘルツ光源の見通しが得られました。

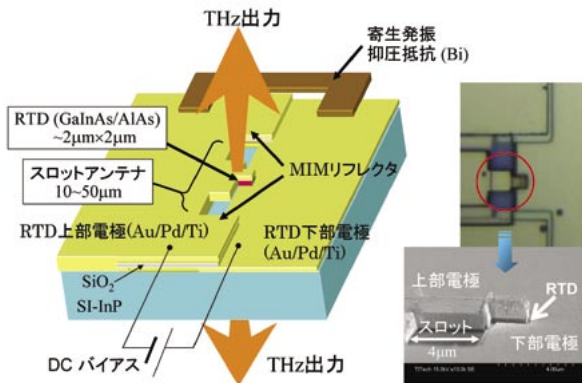


図1: 作製したテラヘルツ発振用共鳴トンネルダイオード

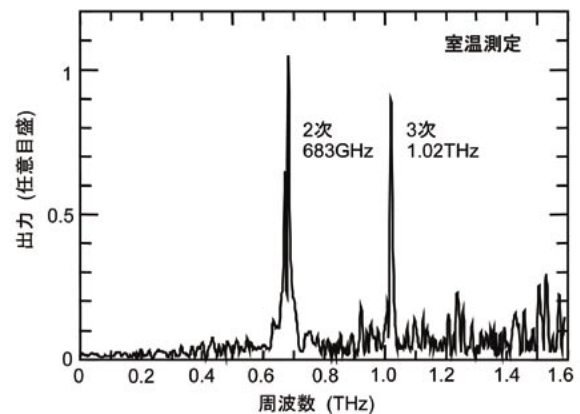


図2: 共鳴トンネルダイオードのテラヘルツ発振スペクトル

＜ インパクト ＞

本研究の成果は基礎段階であり、まだ実用化には至っていませんが、テラヘルツ帯の高性能な小型光源として、キーデバイスのひとつとなることが期待されます。テラヘルツ帯の電磁波は、その透過性および有機物で特徴的に吸収される性質などから、化学・バイオの分野におけるイメージングや分析、安全な医療診断、薬物検査やバイオメトリクス（生体認証）などのセキュリティ分野、大容量超高速通信など、きわめて幅広い応用の可能性が近年明らかになりつつあります。このような広い応用において光源は重要なキーデバイスであり、固体のコンパクトな光源の開発が望まれていました。最近、光デバイスのひとつである半導体量子レーザーのテラヘルツ発振が実現され、盛んに研究が続けられていますが、動作温度は低温に留まり、室温動作はまだ実現されていません。本研究は、1 テラヘルツを越える高周波数の発振を電子デバイスで初めて、しかも室温で実現したものです。

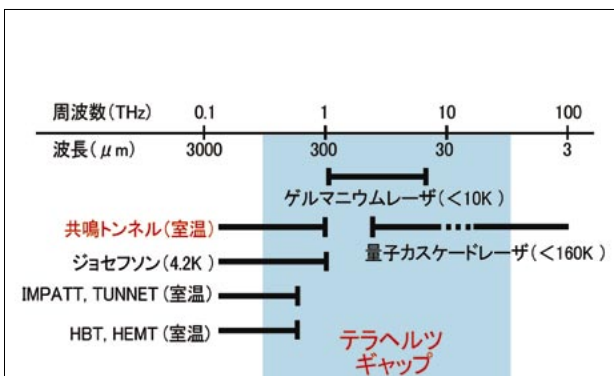


図3: 固体の単体テラヘルツ発振・増幅デバイスの現状

ナノ材料分野

架橋点が自由に動く新しいゲルの開発と実用化

紐状の高分子を結合（架橋）して 3 次元ネットワークを形成する高分子ゲルは、架橋様式により 2 種類に分類できます。ゼラチンや寒天は物理的な相互作用で結合する物理ゲル、高吸水性ゲルやソフトコンタクトレンズは高分子を化学反応で直接結合する化学ゲルに属します。

開発したゲル（トポロジカルゲル）は、この分類に当てはまらない新しいゲルです。図に示すように高分子は 8 の字の形をした架橋点を貫いた状態でネットワークを形成しています。高分子は 8 の字架橋点の穴の中を自由に動くことができるため、張力を均等に分配する機能「滑車効果」を示します。そのため 20 倍以上の長さに伸ばすことができ、また水を吸収すると乾燥重量の 2 万倍以上に膨張することができるなど、従来の化学ゲルを大幅に超える優れた特性があります。本研究では、特殊な構造解析法により架橋点の滑り運動「スライディングモード」を確認するとともに、滑車効果によりナノスケールの構造が均一化することを見出しました。さらに 8

の字架橋点を作っている環状分子に化学的な修飾を行い、温度変化によりスライディングや膨潤度を制御できるトポロジカルゲルの実現に成功しました。

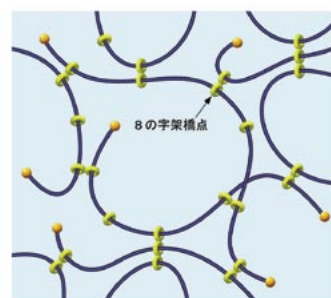


図1 トポロジカルゲルの 3 次元ネットワーク

＜インパクト＞

2005 年 3 月、トポロジカルゲルの事業化を目的としたベンチャー企業を設立しました。トポロジカルゲルは、上記の優れた特性に加え、生体への適合性及び安全性が高いシクロデキストリン（8 の字架橋点）と高分子であるポリエチレングリコールから構成されています。そのため医薬品、化粧品、生活用品などの分野で事業を推進しています。特に医療用高分子材料分野特にソフトコンタクトレンズや化粧品などにおいて様々な企業との製品開発が進んでいます。また、滑車効果は液体を含むゲル材料だけでなく、液体を含まない高分子材料全般にも適用が可能であり、その結果、繊維、塗料、接着などへの応用も期待されています。実際に、これらの産業分野でも様々な企業との間で製品開発に向けた共同研究が現在進んでいます。

知財に関しては、トポロジカルゲルの基本特許は主要国で審査が進んでおり、日本・アメリカ・中国では既に特許が成立しています。また、周辺特許も多数出願しています。

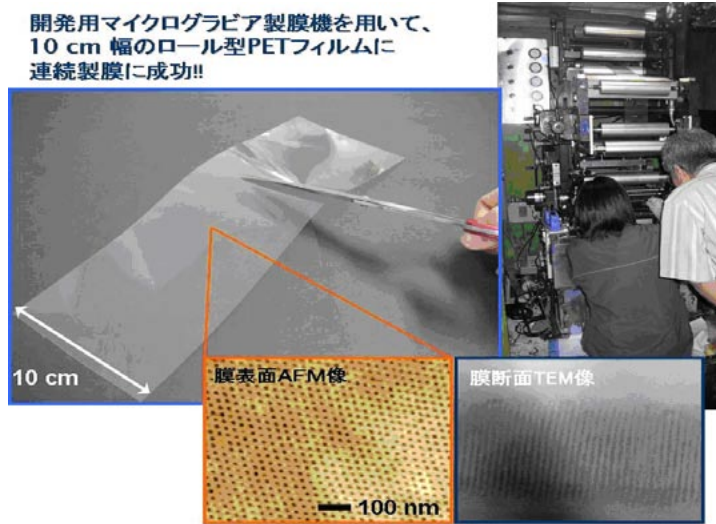
図1 トポロジカルゲルの伸長の写真。
含水率 90% のゲルが 14 倍に伸びている。図2 トポロジカルゲルの体積変化。
合成時（左上）、乾燥時（右上）、膨潤時（下）。図3 トポロジカルゲルを利用して作成した
ソフトコンタクトレンズのサンプル

ナノサイズシリンダー構造の大面積薄膜製作に成功

概要

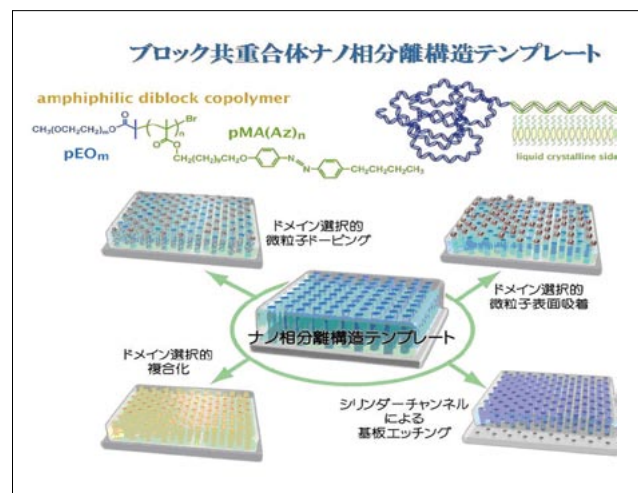
複数の異なる高分子を連結した高分子（ブロックコポリマー）は、水と油が混じらないように、それぞれの高分子がナノスケールで分離した相分離構造を作ります。この相分離構造は、それぞれの高分子の分子量分布を狭く揃えると規則的になり、組成に応じて球や円柱（シリンダー）や層状など規則構造をナノスケールで形成することが知られています。私たちは、この規則構造の形成を最適化した結果、数ナノメートルの直径をもつシリンダー構造が薄膜を貫通するように垂直に並んだ相分離構造を、幅 10cm、長さ数 m という大きな面積のベッ

トフィルムの上に連続的に製膜することに成功しました。従来の相分離構造は、顕微鏡の視野内という小さな範囲で評価され、構造の均一性や広がりが必要視されていませんでしたが、この垂直配向したシリンダー構造は、大面積にわたって形成される構造の信頼性と大量生産性が特長です。この成果によって、現在のリソグラフィー技術の限界とされる 50nm 以下の微細加工を可能とする大量生産できる“テンプレート（鋳型）”として、さまざまな材料にナノサイズの規則構造を作製するための要素技術になると考えています。



インパクト

本成果の意義は、顕微鏡の視野内だけで考えられてきたナノサイズの構造を、大面積の薄膜で実現することによって、微細構造を“なすがまま”から“思い通り”に操り、工業的に生産できるナノテンプレート薄膜を開発したことにあります。これを用いれば、金属や半導体などの超微粒子を思い通りの間隔で載せ分けたり、何種類かの微粒子を別々の場所に載せたりすることができます。さらに、垂直に配向したナノシリンダーを分子やイオンの通り道として利用することもできるので、めっきによるナノサイズの金属柱の形成や、導電性の高分子ワイヤの合成に成功しました。シリコンウエハや石英などの基板に塗布してエッチングすれば、ナノサイズの規則構造を表面に加工することも可能です。このようなナノテンプレートの展開は、超小型メモリや、DNA・タンパク質を分離・精製するナノフィルターなどの実用技術に発展することが期待されます。



水や廃液と、光を用いて水素を製造する光触媒の開発

概要

燃料電池の動力源となる水素は、環境に影響を与えない究極のクリーンエネルギーです。この水素を光によって、通常の温度、圧力のもとでしかも二酸化炭素を排出しないで、水から製造する光触媒が開発されています。本研究では、タンタル酸ナトリウムという世界最高の効率で水素を発生できる光触媒を開発しました。現時点では、紫外光をあてることによってしか水素を発生できませんが、図のように多量の水素の発

生が可能です。さらに、別の光触媒では紫外光などの特殊な光源でなく太陽光を用いて、水を分解して水素を生成できることを確かめています。一方、石油精製などの過程で発生する硫黄を含む廃液から、高効率で水素を発生できる光触媒を開発しました。これは、亜鉛と銀、銅、インジウム、硫黄でできた触媒で、不要物として余っている廃液を利用し、しかも太陽光で水素を発生できます。

インパクト

タンタル酸ナトリウムは、純水から多くの水素を発生できるため、非常に大きなインパクトを持った光触媒です。太陽光が利用できないため実用化からは遠いものの、愛知万博や国際光触媒展で展示され関連業界からも大きな注目を集めています。さらに、この光触媒を用いた水分解のデモンストレーションは、現在いろいろなところでエネルギー問題の解決に向けた啓蒙的な役割を担っています。一方、亜鉛と銀、銅、インジウム、硫黄でできた光触媒は、廃液を用いることにより高い効率で水素を製造できるため、最終的な目標である純水からの水素製造の前段階として、光触媒を用いた水素製造を実用化できる可能性を秘めているものと考えています。これらの光触媒の開発は現段階ではまだ基礎的な段階ですが、エネルギー資源に乏しい日本における一つの選択肢として、この研究をさらに推進し実用化に繋げることが重要と考えています。



バイオマスの資源化への応用が可能なメソポーラスシリカの合成

＜ 概 要 ＞

ナノサイズの六角形の周期構造をもつメソポーラスシリカの合成に成功しました。これは、層状の構造をもつケイ酸塩と呼ばれる物質のケイ酸からなる骨格ユニットに化学反応を駆使して合成したものです。得られたメソポーラスシリカの表面に硫酸基 ($-\text{SO}_3\text{H}$) を置換により結合させて固体の酸触媒としました。これを用いてデンプンなどの多糖類を加水分解し、工業原料として有用な単糖類（グルコース（ブドウ糖）、フルクトース（果糖））を高い効率で得られることがわかりました。

動植物から得られた再生可能な資源であるバイオマスを化

学反応によって製品やエネルギーに変えるバイオリファイナリーとしては、バイオ法、発酵法など一部実用化されているものがあります。しかし、触媒活性が低い、pH 調整が必要で手間がかかる、触媒と生成物の分離・回収が必要などの問題があります。固体触媒を用いて高い効率で目的のものを生成できれば、これらの問題を克服でき、環境への負荷の少ないプロセスになります。本研究においては、メソポーラス触媒によるバイオリファイナリーの研究として、まずメソポーラス固体酸による糖・デンプンの加水分解反応について検討したものです。

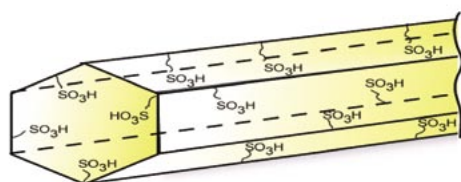


図1 スルホン化メソポーラスシリカ

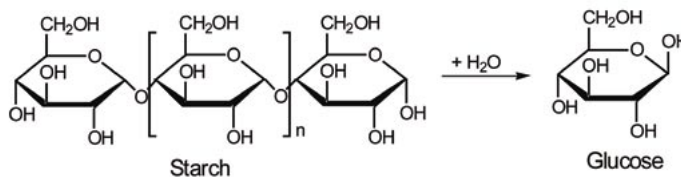


図2 デンプンの加水分解によるグルコースの生成

＜ インパクト ＞

バイオマスは二酸化炭素を発生しない再生可能な資源で、その有効利用は将来にわたり重要な課題です。本研究によって、メソポーラスシリカがデンプンの加水分解において、高活性を示す再使用可能な触媒であることを明らかにしました。この着想は、本グループによって初めて試みられたもので、メソポーラス物質が優れた固体酸触媒材料となることを示したものです。このデンプン加水分解の成果は論文、特許（2004

年出願）で公表しています。バイオマス資源として圧倒的に大量に存在するセルロース（木材など植物の細胞の成分）の変換については、酵素法・酸分解法などにより長年にわたり検討されていますが、実用化までには進展していません。今後は、資源化が困難なセルロースの変換反応を中心に研究し、固体酸の応用展開を広めたいと考えています。

熱を電力に変える熱電変換材料の開発

概 要

熱を電力に変える熱電変換材料は、工場などで発生し捨てられている廃熱を電力として有効に回収できることから実用化に向けた研究が進められています。

本研究では、チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3) という物質の単結晶上に、酸素を低い圧力に保った環境で二酸化チタン (TiO_2 ; アナターゼ型) の結晶を成長させた材料で、大きな起電力が発生することを発見しました。この起電力は、温度差 1 度あたり約 -1.1 mV という大きなものです。この大きな起電力は、 SrTiO_3 と TiO_2 の境目の近傍の 0.3nm 程度の狭

い領域に電子が高い濃度で溜まっているとすると説明ができます。実際にこの電子の濃度は 10^{21} cm^{-3} 程度と極めて高いものです。この様子を図 1 に、発生した起電力を図 2 に示します。熱電変換材料の評価には無次元性能指数 ZT という値が用いられます。発電応用には ZT が 1 以上であることが必要と言われており、これまでの最高記録は 2.4 でした。今回の発見について ZT を見積もると約 5 となり、画期的なブレイクスルーと考えています。

＜ インパクト ＞

無次元性能指数 ZT が 1 以上であることが熱電変換材料の判断基準として経験的に良く用いられ、これをクリアする材料の探索がここ 15 年の間に精力的に行われるとともに、新しいメカニズムや材料設計指針が次々に提案されてきました。その結果、多くの新物質が発見され、ZT は 1 を超えてきています。さらに人工超格子や量子ドットなどの材料で ZT が 2 を超える例も報告されています。

今回発見された約 5 の ZT は、これまでの常識を打ち破る巨大な特性であり、学会発表を通じて大きなインパクトを与えつつあります。今後、この特異な熱電現象の科学的根拠を理論的に解明して、他の n 型材料系の開発や p 型伝導材料への展開を図っていきます。またこの材料を用いた薄膜デバイスの開発を行って、マイクロ熱電発電素子、高性能マイクロクーラー、マイクロセンサなどへの応用や、大型化へ展開していくことが期待されています。

また本研究チームでは、上記の発見とは別に、800° C の高温で動作させても性能劣化がない熱電発電モジュールを開発し、ガスコンロの炎と水を入れた鍋の間にモジュールを置き、携帯電話を充電する実験に成功しました。

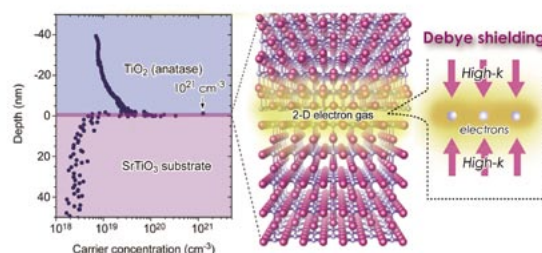
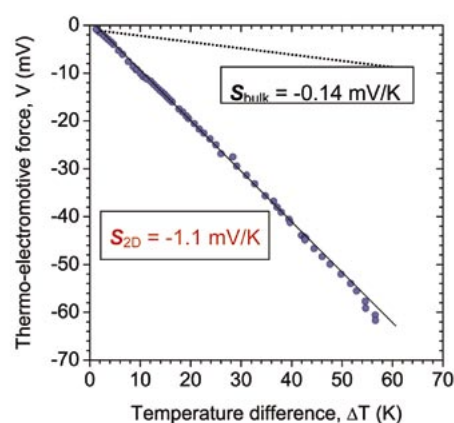
図1 $\text{TiO}_2/\text{SrTiO}_3$ 界面に生成する2次元電子ガス

図2 熱起電力 (at 300 K)



図3 小型ガスコンロを用いた熱電発電による携帯電話の充電

新原理サイリスタ（インバータに用いられる基本素地）材料の開発

概要

直流を交流に変換するインバータ（直流・交流変換機）の機能をもつサイリスタと呼ばれる半導体素子と同じ特性を示す有機材料を開発しました。新しい有機材料は、有機導電体 (θ -(BEDT-TTF) $2\text{CsCo}(\text{SCN})_4$) の単結晶で、液体ヘリウム温度（零下 269 度 C）で、サイリスタと同じ特性を示しました。物質単体でサイリスタの特性を示す現象の確認は世界で初めてです。この物質はある程度以上の電圧をかけると電気抵抗が 3 桁近くも小さくなる特殊な状態となり、この物質と直列に抵抗をつないで直流電圧をかけると、交流の電流

が流れました。このような特異な電気伝導特性は、伝導体の中にできた分子レベルの電荷の濃淡のパターンが不均一に混ざりあっていることから生ずると考えられており、実際、電場印加中の X 線回折で確認されました。

通常の半導体を用いたサイリスタは制御電圧を加えるため 3 端子の素子ですが、この有機サイリスタでは、2 つの端子を付けただけでサイリスタとして動作するのが特徴であり、有機導電体を使った新しいタイプのデバイスと言えます。



図 1. 開発した有機単結晶

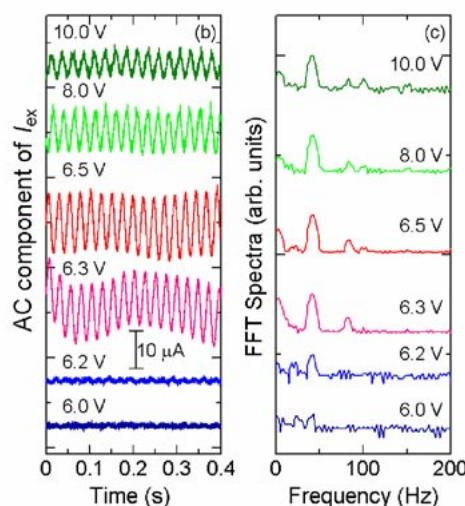


図 2. 発生した交流電流 (40Hz)

インパクト

サイリスタは、電源の安定化と省エネ効果などを目的としたインバータ回路に必要な電子素子で、エアコンディショナや冷蔵庫などに広く使われています。従来のサイリスタは、半導体を利用した素子であり、半導体製作技術を用いて単結晶を微細加工して作製しています。それに対して、今回発見された有機サイリスタ物質は、単結晶それ自体がサイリスタと

同じ特性を持つため、こうした製作工程を省略して安価部品の実用化につながる可能性があります。この有機サイリスタを実用化するためには、室温で動作する物質を探索することが必要ですが、今回の有機サイリスタ素材の発見は有機化合物がもつエレクトロニクス材料への大きな可能性を示していると考えられます。

コバルト酸化物で初の超伝導体の発見

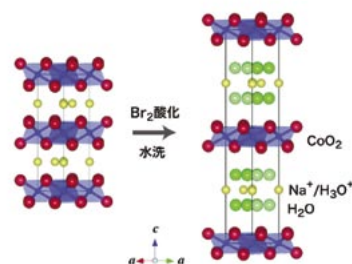
概要

超伝導を示すコバルト酸化物を初めて合成しました。コバルト酸化物を臭素で処理し含まれていたナトリウム (Na) の一部を取り除いた後、水洗するだけで合成することが可能で、極低温（零下 268° C）で超伝導体となります。これまで銅酸化物で超伝導体が発見されてきましたが、銅に類似した性質を持つコバルト酸化物では初めての超伝導体です。コバルト酸化物は図に示すとおり層状の構造を持ち、コバルト酸化

物の組成を持つ層の間に 2 層の水 (H_2O) 分子が取り込まれて、層の間隔が大きくなったことが超伝導発現の主要因と考えられます。本研究においては、コバルト酸化物のように層状の構造をもつ化合物の層を剥離して得られるナノスケールのシートを主題としていますが、本超伝導体は新規ナノシートを合成しようとした過程でセレンディピティー的に得られた成果です。

インパクト

本化合物はコバルト酸化物として、また水を含む化合物として初の超伝導体です。この結果を報告した論文 (Nature, 2003) は 300 回を超える被引用回数を得ており、2003・04 年に物理分野で発表された全論文で第 2 位にランクされるなど (Thomson ISI 社統計)、大きな反響を得ています。その背景には、80 年代後半に大フィーバーとなった銅酸化物超伝導体 (87 年ノーベル賞) と性質の似通った遷移金属 (コバルト、ニッケルなど) の酸化物において初めての超伝導体であり、両者の類似点、相違点を詳しく調べることで超伝導現象に関する理解が深まる期待があります。また、合成法が加熱や加圧によるものではなく、溶液反応を使ったこれまでにないプロセス (室温付近でのソフト化学合成プロセス) によっていることなども大きな反響の理由です。本超伝導体に関する研究は世界的に大きな広がりを見せており、金属での超伝導現象を理解するために適用されている BCS 理論では説明できない非従来型であることがわかるなど、次々と新しい特徴、特異性が明らかになってきています。

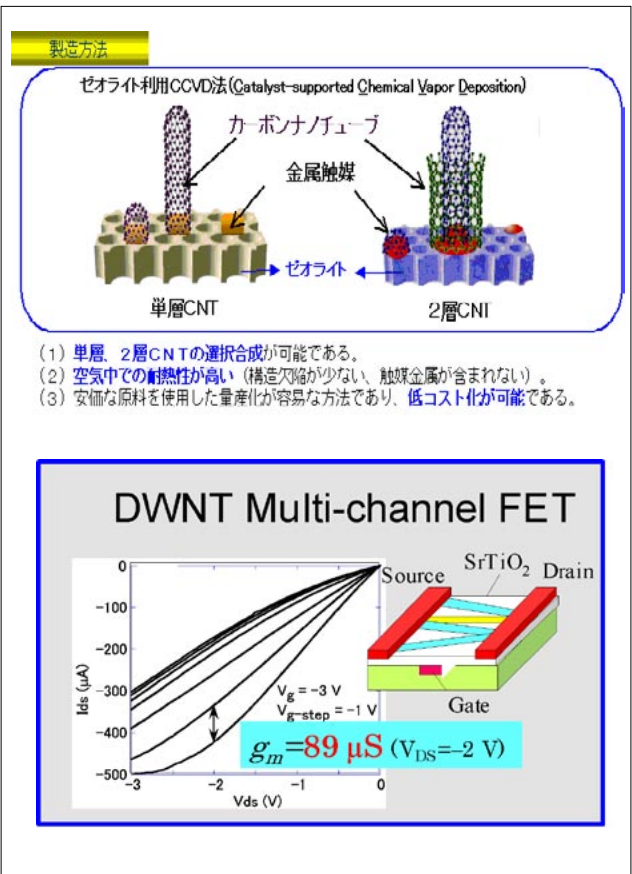


コバルト酸化物超伝導体 (右)
と出発物質 (左)

カーボンナノチューブの新製造法の開発とディスプレイやトランジスタなどへの応用

概要

カーボンナノチューブ (CNT) は、電気伝導性・熱伝導性、機械的な強度が優れた材料です。単層の CNT は高機能であり、チューブが二重になった 2 層 CNT は高機能に加え高い耐久性を併せ持っています。CCVD 法と呼ばれる本研究グループが開発した製造方法によって、直径の小さい単層 CNT と 2 層 CNT を思い通り作り分ける技術の開発に成功しました。この研究成果に基づいて、共同研究を行っている東レ (株) では単層 CNT と 2 層 CNT の試作製造設備を建設し、用途を開拓するための国内外へのサンプル提供を開始しました。薄型ディスプレイの中核部品である電子放出材料、燃料電池用の触媒、樹脂複合材料などへの用途が期待されています。CNT のエレクトロニクスへの応用の点からは、共同研究を行っている富士通 (株) が多数本の 2 層 CNT をトランジスタのチャネルに利用する技術を開発し、高い電流が流れるトランジスタの試作に成功しました。これまで発表されたトランジスタでは流れる電流が少なく、トランジスタの重要な性能を表す高周波特性の評価が困難でした。CNT を用いたトランジスタの高周波特性の評価を可能となる重要な成果です。



インパクト

2 層 CNT を次世代の薄型ディスプレイであるフィールドエミッションディスプレイ (FED) の電子放出材料として利用すると、高画質で低消費電力、長寿命の FED になるとの基礎知見が得られています。この技術を利用したテレビが今後 1~2 年以内に市場に投入される可能性があります。現在の高周波トランジスタは、インジウム系化合物という半導体を用いたもので、500 ギガヘルツ (ギガは 10 億) 程

度が報告されています。CNT を利用するトランジスタは、CNT 内を動く電子の速度が高いため、例えばテラヘルツ (テラは 1000 億) 程度の高周波動作の可能性があり、高速光通信や無線通信など、より高い周波数帯での用途が期待されます。もちろん、そこまでは、多くの研究開発項目が残されており、実用まではおよそ 10 年前後が見込まれますが、実用化されればそのインパクトは極めて大きいと思われます。

ナノサイズのらせん状細孔をもつシリカの合成と分離吸着剤への応用

概要

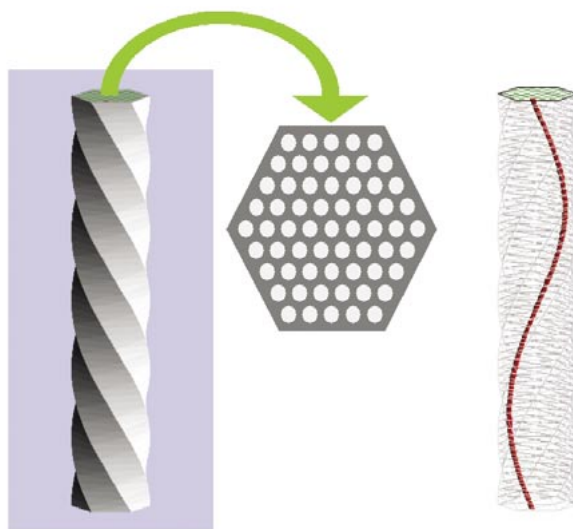
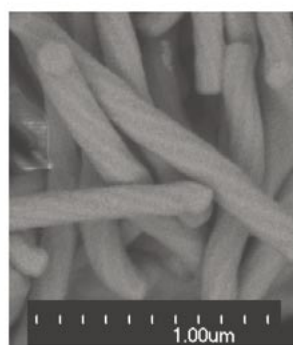
右手の左手のように対称的な構造をした多孔質の二酸化ケイ素（シリカ）の結晶をつくることに成功しました。このような実物と鏡に映った像の関係をキラルといい、それぞれを光学異性体といいます。本研究において、多孔質材料にキラルな性質を持たせることを目的に、キラルなアミノ酸を含むイオン性界面活性剤とシリカ化合物を反応させて、ナノサイズの細長いらせん状の孔をもつシリカを初めて合成しました。得られたシリカは、六角柱がねじれた形態で、ねじれの方向の左巻き / 右巻きのどちらかが優先的に生成します。六角柱の内部には、縦方向に約 2 nm 程の均一な細長い孔が蜂の巣

状に規則的に配列し、外側と同じらせんを描いています。光学異性体はその物理化学的性質がほとんど同じで分離することが難しく、例えばサリドマイドのように一方は鎮静剤であるのに対しもう一方は毒性をもつ場合があるため、合成してから選別する必要があります。得られたシリカは、光学異性体が等量混じったものから一方の異性体を優先的に吸着することがわかっています。この現象を利用することで、ほしい異性体だけを分離できる吸着剤となることがわかっています。

インパクト

このキラルな物質は、組成的には純粋なシリカで完全な無機物質ですが、光学異性体の混合物から高い純度で一方の異性体を分離できます。このような物質の報告例はいままでありませんでした。多孔質であり、かつ表面がキラルな構造を持つ吸着材料は、全く新規な材料である。その生成機構の解明

が必要です。応用的には医薬品原料をはじめとする多様なキラルな物質の吸着分離剤としての展開が期待されます。完全な無機物質であるため耐熱性も高く実用的です。また、触媒としても用いれば、ほしい異性体の選択的な反応が実現できる可能性を示しています。



ねじれた棒状物質の構造

内部は非常に多くの（数百～千個程度）のらせん状の細孔（直径 2.2 ナノメートル）が規則正しく配列している。

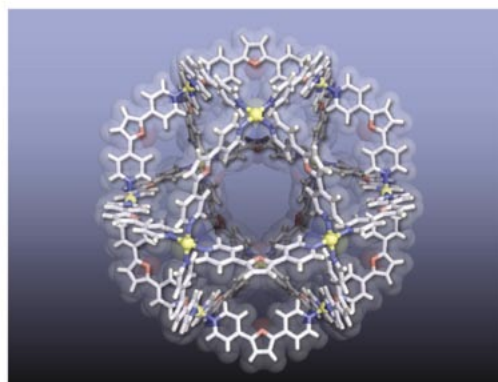
- ・断面：六角形（130~400 ナノメートル）
- ・長さ：最大 6 ミクロン
- ・らせんねじれピッチ：約 1.5 ミクロン

デバイス・医療への応用が見込まれるナノメートルスケール球状中空錯体

< 概要 >

金属イオン 12 成分と折れ曲がった構造をもつ原子の集合体（配位子）24 成分の組み合わせにより、計 36 成分から直径約 4 ナノメートルの球状で内部に空間をもつ金属イオンと配位子の集合体（錯体）を定量的に自己組織化によって構築することに成功しました。錯体の骨格は直径 5-7 nm まで拡大できます。この手法により大きさや形状にばらつきのない、単一分子性のナノ粒子の自在構築が可能となりました。

構成する配位子の化学修飾により、この球の内面あるいは表面に官能基（反応性のある原子等）を精密に 24 個配列させ、さまざまな機能を発現させることができました。オリゴエチレンオキシド鎖という高分子で内面修飾すると、球内部に金属イオン吸蔵する性質が見られました。また、フルオロアルキル鎖という高分子で修飾すると地球温暖化物質の一つであるといわれているペルフルオロアルカンを球の内部に溶かし込むことができました。物理・化学的性質は同じで光が通過した時の偏光のみが異なるようになる（光異性化）する分子で内面修飾した「光応答性ナノ球」、メタクリル酸モノマー 24 単位を内包した球状錯体を用いた「ナノカプセル」等、自己組織化球状骨格を基盤に新概念の物質群や物質創製手法を創出しました。



（36 成分から自己組織化する球状中空錯体の X 線結晶構造）

< インパクト >

ナノカプセル材料：本錯体の内面には 24 個の官能基を規則的に配列させることができる。この基礎技術を応用し、光記録媒体を内包したカプセルメモリ材料の開発を民間企業と共同で開始しました。大容量の記録再生システムの構築を目指しています。（出願済関連特許：特願 2002-320062, 特願 2004-196438）

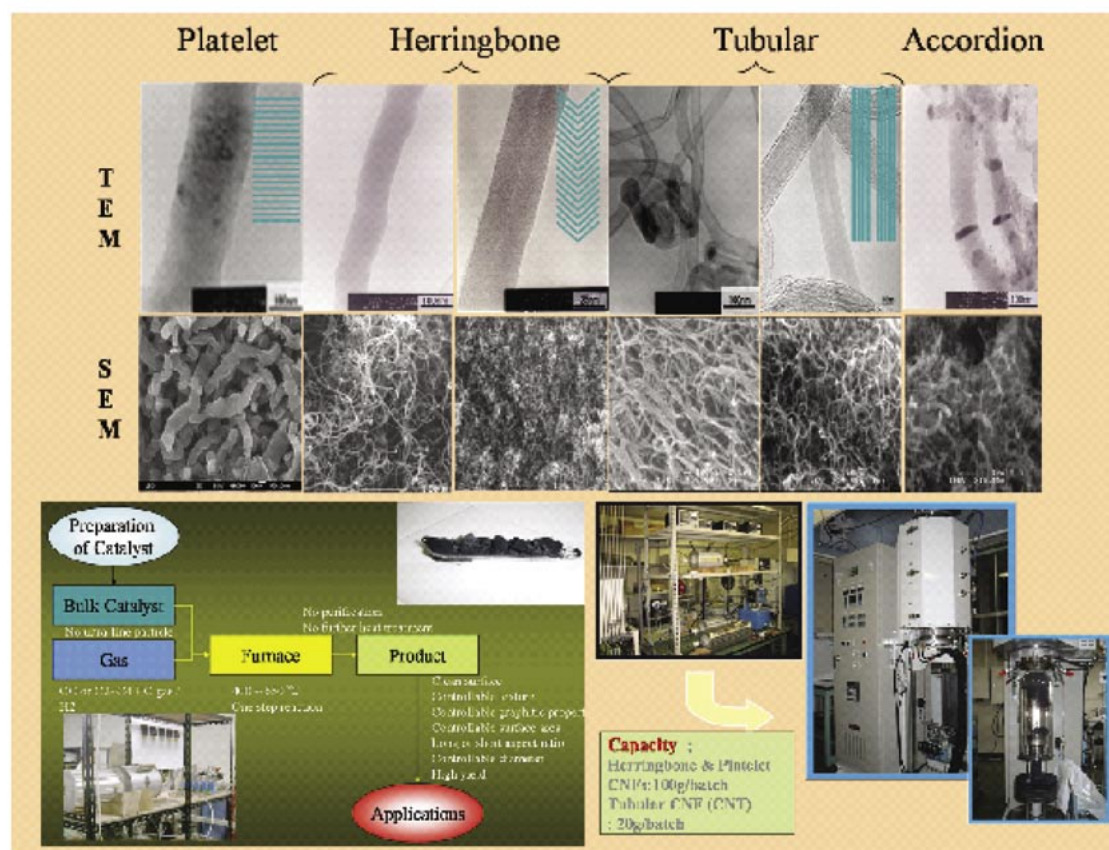
生体分子包接：本錯体の数ナノメートル径の内部空間を利用して、タンパク、DNA などの生体分子の内包を検討中です。タンパクを内包すれば、新しいタンパク機能の発現、タンパク結晶化技術の開発などにつながります。

カーボンナノファイバーの多量合成とエネルギー・環境材料としての応用

概要

種々の形状・構造を持つナノサイズの繊維状炭素（CNF、カーボンナノファイバー）の合成に成功しました。合成法の最適化により大量合成を可能にし、広くサンプル提供を可能にするとともに、微細構造を解明しました。CNFは活性炭に匹敵する広い表面積をもっているため、大気汚染物質である硫黄

酸化物（SOx）、窒化酸化物（NOx）を除去する吸着剤・触媒、燃料電池用電極担体、水素化・脱水素触媒の担体、高容量のリチウムイオン電池用の電極、さらにはフラットパネルディスプレイなどに使用される電子放出電極としての用途を開拓しています。



インパクト

- ① 高容量リチウムイオン電池の負極として、実用化を目指しています。
- ② 電界放出ディスプレイの電子放出材料、バックライト電極として、CNFはカーボンナノチューブに比べ優れた寿命特性が期待されます。
- ③ SOx, NOx を除去する吸着剤・触媒材料としての可能性を究明します。
- ④ CNF を触媒担体に用いて、水素化・脱水素触媒の実現が期待できます。また、燃料電池材料として期待されます。

産業応用に向けた高温超伝導体の開発

概要

零下 196° C の液体窒素温度において、液体ヘリウム温度(零下 269° C) で実用化されている超伝導線材の臨界電流を超える高温超伝導体を世界で初めて開発しました。超伝導体で抵抗がゼロの状態の最大の電流値である臨界電流は、磁場によって超伝導体内部に発生するひも状の磁束線(量子化磁束)の運動によって低下するという弱点があります。量子化磁束は、数 nm の直径を持ち、高磁場中では数 10nm の間隔で分布していて、電流が流れると電流からの力(ローレンツ力)によって動いてしまい超伝導状態を壊してしまうためです。そのた

め量子化磁束の動きを止める「ピン止め点(結晶中の不均質部分)」を超伝導体を導入する技術が鍵を握っています。しかし高温超伝導体中の量子化磁束は不安定で動き易く、その動きを止めるピン止め点の導入は困難で、これまで磁場中の臨界電流は低いままでした。本研究ではナノテクノロジーを高温超伝導薄膜に適用し、薄膜中のナノ構造を自在に制御する手法を開発し、これらによって量子化磁束を強力にピン止める構造を超伝導薄膜に導入することに成功しました。

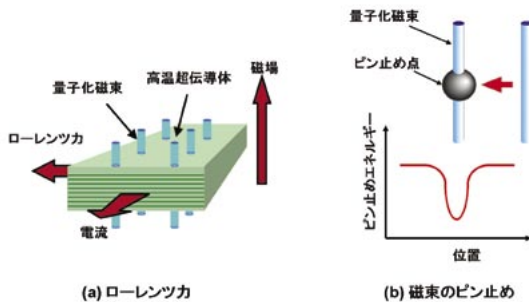


図1. 電流による量子化磁束の運動と磁束のピン止めの原理

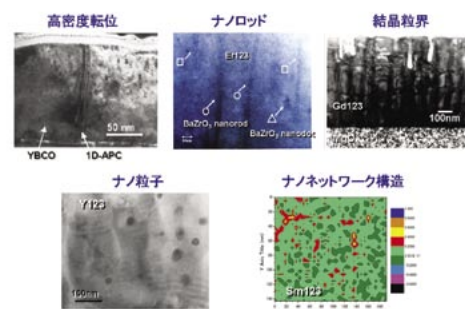


図2. 本研究で開発中の高温超伝導薄膜中に導入された各種ナノ構造の例(電子顕微鏡断面写真から)

インパクト

磁場の中で高い臨界電流を有する高温超伝導薄膜を線材に適用することで、液体窒素温度下で動作し高磁場を発生するコイルが実現できます。現在、日米欧を中心にこのような高温超伝導線材開発が加速していますが、本研究で得られた特性が世界のトップを維持しています。従来型の液体ヘリウムに比べ、液体窒素利用はコイルの低コスト化やコンパクト化に繋がり、高磁場コイルの電力・産業分野への広範な応用が期待されます。医療用 MRI などの高性能化・低コスト化はもとより、電力貯蔵用コイル等への応用が考えられます。さらには高磁場コイルを利用した磁気分離による排水処理、CO₂ 回収・除去、あるいは超伝導モーターへの適用など新たな応用が次々と生み出されると期待できます。

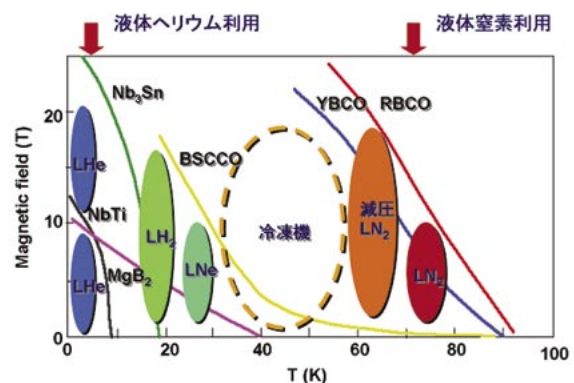


図3. 本研究で開発中の高温超伝導薄膜(図中の YBCO および RBCO, Rは Sm, Gd などの元素)は、これまでの超伝導体の中で最高の特性を有し、はるかに高い温度や磁場で動作できます

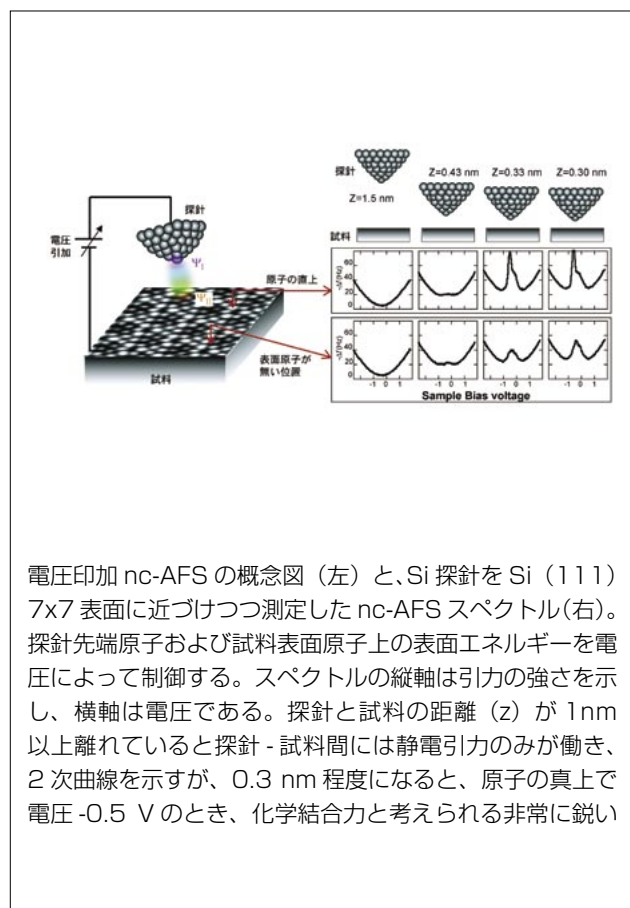
The background of the page is a deep blue gradient. In the upper half, there are faint, glowing circuit board patterns and a bright, multi-colored light source (yellow, orange, and red) that creates a starburst effect with radiating lines. The overall aesthetic is high-tech and futuristic.

ナノ計測分野

原子レベルの分解能をもつ顕微鏡と分光法の開発

概 要

原子間力顕微鏡（AFM）は、導電体・絶縁体にかかわらず試料の表面の形状をナノスケールで描きだせる強力な顕微鏡の一つです。汎用のものでは原子レベルの分解能を得ることは困難ですが、本研究者は、原子レベルの分解能をもつ超高真空非接触原子間力顕微鏡（nc-AFM）を独自に開発してきました。nc-AFM では、探針と呼ばれる針を、先端に原子 1 個が配置されるように尖らせ、観測したい表面に近づけてなぞるようにすること（走査）で表面の形状を描き出します。本研究者は、開発した nc-AFM を用いて探針と試料の間に特定の電圧をかけながら表面を走査すると、探針が試料表面の特定の原子の上に来たとき、探針と試料の間に強い引力が働くことを発見しました。これは、探針先端の原子と試料原子のエネルギーが一致したとき、両者に強い相互作用（化学結合力）が生じるためであると予想されました。そこで、開発した nc-AFM を基礎に、探針と試料の間にかけた電圧によって両者の間に働く相互作用の強さがどう変化するかを調べる新たな方法を開発しました（電圧印加非接触原子間力分光法（nc-AFS））。この方法を用いて、電圧を少しずつ変化させながら測定を行ったところ、特定の電圧において相互作用力が強いピークを示すことがわかりました（下図参照）。これは、電圧を操作し、探針原子と試料原子のエネルギーをチューニングして一致させることによって、量子力学的に化学結合が起きることを捉えたものです。ノーベル化学賞受賞者の Pauling が、孤立した 2 原子間で起こる化学結合に対して提唱した「2 原子が同じエネルギーを持てば、両者が接近すると量子力学的な現象で化学結合する」という理論を、2 つの固体表面上の原子間で起こる化学結合理論に拡張し、実証したことになります。



電圧印加 nc-AFS の概念図（左）と、Si 探針を Si (111) 7x7 表面に近づけつつ測定した nc-AFS スペクトル（右）。探針先端原子および試料表面原子上の表面エネルギーを電圧によって制御する。スペクトルの縦軸は引力の強さを示し、横軸は電圧である。探針と試料の距離（ z ）が 1 nm 以上離れていると探針 - 試料間には静電引力のみが働き、2 次曲線を示すが、0.3 nm 程度になると、原子の真上で電圧 -0.5 V のとき、化学結合力と考えられる非常に鋭い

＜ インパクト ＞

本研究で開発した nc-AFS は、表面の原子の位置で化学結合をおこすエネルギーを分析できる新しい分光法であり、以下のとおり原子・分子スケールの分解能をもつ分光法として表面の物性の理解に貢献すると共に、ナノ構造デバイス創製の基礎技法確立の礎となるものです。

【相互作用力による分光法の開発】

従来、原子スケールの分解能を持った表面の分光手法には走査型トンネル顕微鏡（STM）を基礎とした走査型トンネル分光法（STS）があります。STS では印加電圧 0V のとき、すなわち電流が流れない条件では測定できませんが、nc-AFS は電流が流れない条件でも表面状態の解析が可能です。また、nc-AFS は 1 分子レベルでの結合状態を計測できるので、例えばトランジスタの集積限界を克服するデバイスにつながるものなどとして発展が期待されている単一分子デバイスの評価・解析・分子設計へ応用できるものと考えられます。

【基礎科学への貢献】

上記で記載しましたように「2 物体間の電圧を変化させ、量子力学的な現象に基づく化学結合を形成できること」を初めて実験的に実証しました。このことは、量子力学を取り入れた「化学結合論」を発展させた「凝縮系の表面化学結合論」に拡張する上で重要な第一歩です。

【原子操作・組み立てへの発展】

nc-AFM/AFS では、電圧を制御して探針の先端原子と試料の原子・分子を化学結合させたり、化学結合させないようにできます。すなわち、個々の原子・分子レベルで化学反応を制御でき、原子操作・組み立てへの応用が期待できます。本装置を用いて、原子・分子を自由に操作し、従来にない新規な機能を発現するナノ構造デバイスを構築できるようになります。また、触媒活性が高い原子・分子配列を原子レベルで創製することで、高効率なナノ触媒の作製にも貢献できると思われます。

ナノスケールの分解能をもつ新型顕微鏡の開発

< 概要 >

ナノスケールの分解能を持つ新型の光学顕微鏡（近接場CARS顕微鏡）を提案し、単層カーボンナノチューブやDNAを15nmの空間分解能でイメージングすることに成功しました。従来の顕微鏡（STMやSEM）は白黒画像であるのに対し、本顕微鏡は分子の種類や構造の違いに応じてカラーイメージが観察されます。これは、光の波長限界を越えた分解能が可能となる近接場効果と、分子や原子に光を照射したとき分子の振動に起因する振動数のずれをもつ光の散乱（ラマン散乱）を巧みに組み合わせることによって可能となったものです。バイオサイエンスにおいては細胞内の蛋白質を染色してカラー画像化していますが、近接場CARS顕微鏡では、透明な細胞がその分子の振動によって色づいて観察されます。顕微鏡の探針先端でのラマン散乱を100万倍まで増強できるため、ナノスケールの分解能であることに加えて、分子振動のイメージングとしては過去に例のない高感度な検出能力を持ちます。大気中や水中でその場観察できることも特徴です。

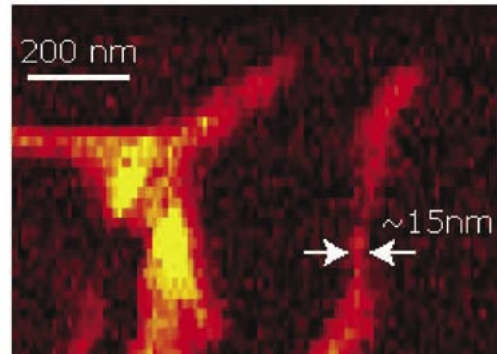


図1 DNA ナノネットワーク構造の近接場 CARS 像

< インパクト >

本研究の基礎となる我々の研究成果（特定領域「近接場ナノ光学」での成果）である近接場ラマン顕微鏡は商品化され、好調に販売されています。さらに、ラマン顕微鏡を高速化した製品の商品化に成功し、販売が開始されました（2005年9月）。今回の成果についても、JST委託開発事業において商品化を目指しています。研究者が使用する最先端の計測機器が欧米の製品に支配されている現状において、単に論文を発表するに留まらず実用化を目指しおり、ナノ材料やバイオサイエンスの研究者に最先端の顕微鏡を供給することによって、科学者社会への貢献を指向しています。近接場CARS顕微鏡は、ナノカーボン材料や半導体の欠陥評価などへの応用のみならず、細胞内の小器官、生体タンパク質、脂質などの観察と分析に活用が期待できます。投薬などによる生体タンパク質の機能の発現や不活性化現象を分子レベルでの変化として観察できる唯一の方法であり、これらのメカニズムの解明に貢献することが期待されます。米国物理学会のウェブジャーナルPhysical Review Focus にも掲載されました。

(4 June 2004, <http://focus.aps.org/story/v13/st24>)

なお、近接場ラマン顕微鏡については、平成17年9月3日(土)朝日新聞(夕刊)に「染色いらず新型顕微鏡」との見出しで記事が掲載されました。

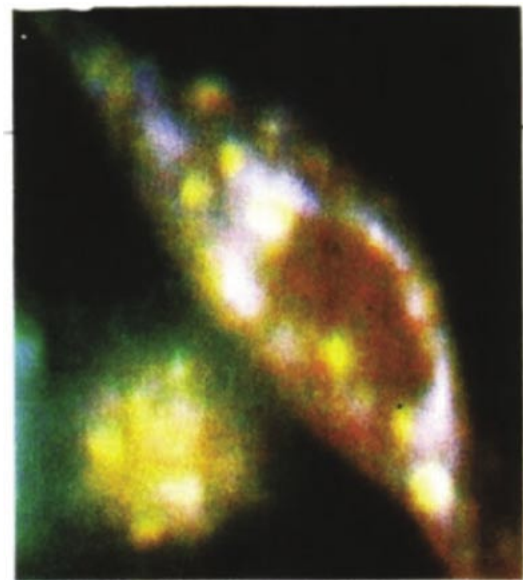


図2. ネズミの心筋細胞の近接場 CARS 顕微鏡写真

近接場CARS顕微鏡は、細胞を蛍光材料で染めず、細胞を構成する分子の振動を色再現して画像化する。この顕微鏡によって、医薬品と細胞の反応を、蛍光材料といった第3の物質を使用せず、自然のまま直接に観察することが可能となった。究極の治療として待望されているDrug Delivery Systemの研究開発などに貢献するナノテクツールとしても期待されている。

潤滑油など高度な材料の創製に繋がる評価法の開発

< 概要 >

微細空間に閉じこめられた液体の特性解明は、潤滑や摩擦、あるいは医療材料などで用いられる微小管中の流れの制御など様々な分野において重要な役割を果たしています。当研究チームは、これらの特性を評価する「共振すり測定法」と呼ばれる新しい手法を開発しました。この手法は液体を挟んだ2つの表面間の距離をナノメートルより小さい精度で制御しながら水平に周期的にずらし、その応答を高精度に測定し、固体表面における液晶分子の配向構造化、液体のナノレオロジー（分子レベルでの粘性）やナノトライボロジー特性（原子や分子の摩擦現象）などを評価するものです。

本手法を幅広い表面基板や液体試料に適用するため、装置や計測手法の開発を行っています。主な成果：①従来は表面の距離を制御するために基板、試料を透過した光を使用しており、透明な基板と試料である必要がありましたが、2ビームレーザー干渉法（ツインパス法）と呼ばれる表面間距離測定により不透明な試料も測定できる装置の製作に成功しました（図1）。②迅速計測法として振動数毎の測定が不要な方法（フーリエ変換法）を考案しました。これにより従来法では45分の計測時間が約2秒にまで短縮されました。

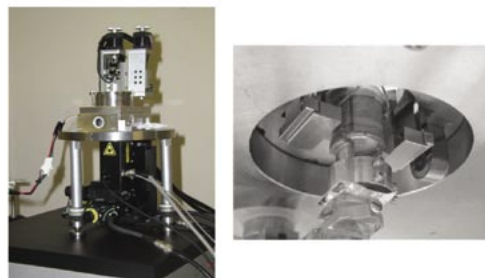


図1 ツインパス型ナノ共振すり測定装置（左：装置の中心部分、右：チャンバー内すり計測ユニット）

< インパクト >

不透明試料用のナノ共振すり測定装置の開発の成功により、不透明基板間に挟まれた試料のナノ共振すり測定が可能になりました。これにより実用的に重要な金属表面における潤滑油や、自動車の変速機で金属製のディスクとローラの間でその粘性により大きな力を伝えるトラクションオイル等の特性と化学構造の対応を解明でき、より高度な材料創製への展開

が期待されます。

液晶ディスプレイなど、表面による液体配向材料を用いるデバイスの開発にも有効です。

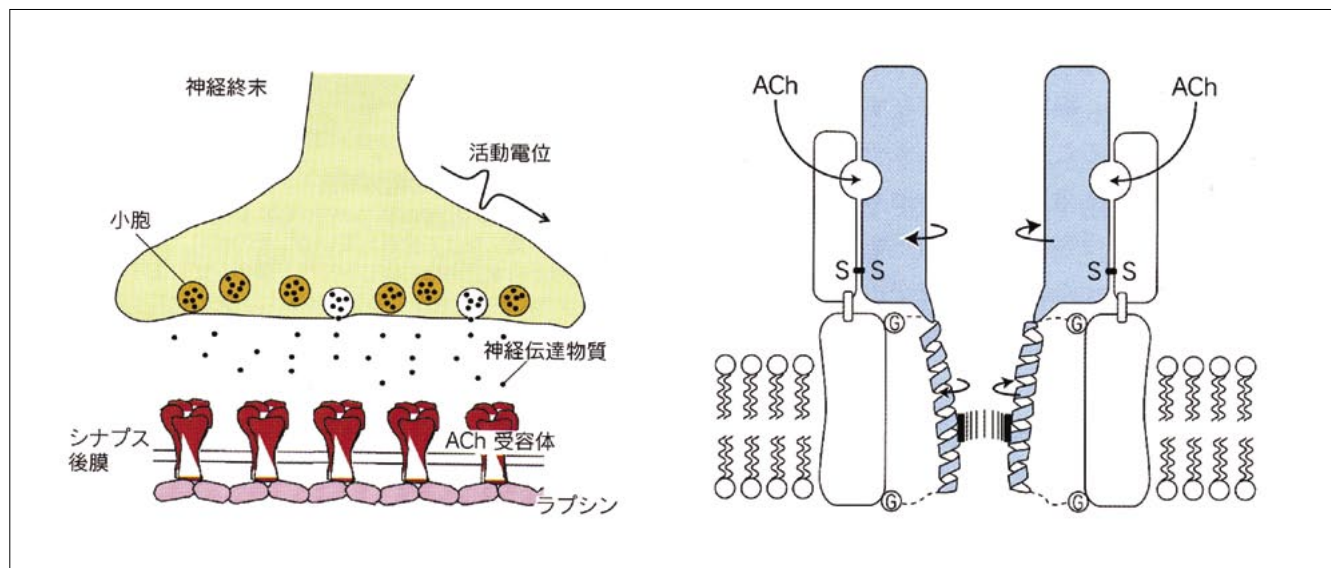
迅速計測法であるフーリエ変換法により、厚みが簡単に変わる試料、揮発性の高い試料など、すり測定中に状態が変わるような試料での測定も可能になりました。

蛋白質を生体にあるがままに観察できる電子顕微鏡の開発と蛋白質の構造・機能の解明

< 概 要 >

生体内で重要な働きをする膜蛋白質とよばれる細胞の膜に埋め込まれた蛋白質は、細胞膜の内と外での情報のやりとりのカギを握っています。例えば、筋肉は、脳からの指令を持ったアセチルコリンという神経から放出される物質を、筋肉の細胞膜にあるアセチルコリン受容体という膜蛋白質が受け取ることによって動いています。従来、蛋白質の構造解析はX線回折法で行われてきましたが、膜蛋白質の場合にはそのための結晶化試料作成が困難でした。本研究では、これらの蛋

白質の構造を、壊したり変性させたりせず観察できる新しい電子顕微鏡（極低温電子顕微鏡）を開発し、この顕微鏡を用いて多くの膜蛋白質の構造を決定しました。そのひとつとして、脳からの指令を受けるアセチルコリン受容体の構造を決定し、得られた構造からアセチルコリンが受容体に結合した後、収縮の引き金になる膜電位変化に至る機構を解明しました。



< インパクト >

いくつかの蛋白質構造決定の世界的な成果が極低温電子顕微鏡によって得られており、現在も多くの膜蛋白質の構造が解かれつつあります。本研究においては、神経細胞の結合部分にある多くの膜蛋白質の構造決定を目指しており、脳の機能の解明及び医学研究に大きく貢献するものと考えています。さらに極低温電子顕微鏡の開発とともに、電子線トモグラ

フィーという細胞や組織などの複雑な立体構造の解析が可能な方法も開発中で、神経に限らず生命機能の解明が飛躍的に進むと期待されます。開発した極低温電子顕微鏡自体は、大きな市場規模の可能性をもつ測定装置と考えており、この開発では世界を大きくリードしています。

The background of the page is a deep blue gradient. In the upper half, there are faint, glowing circuit board patterns and a bright, multi-colored light source (yellow, orange, and red) that creates a starburst effect with radiating lines. The overall aesthetic is high-tech and futuristic.

ナノバイオテクノロジー分野

生体エネルギーを作り出す生体回転分子モーターのしくみ解明の前進

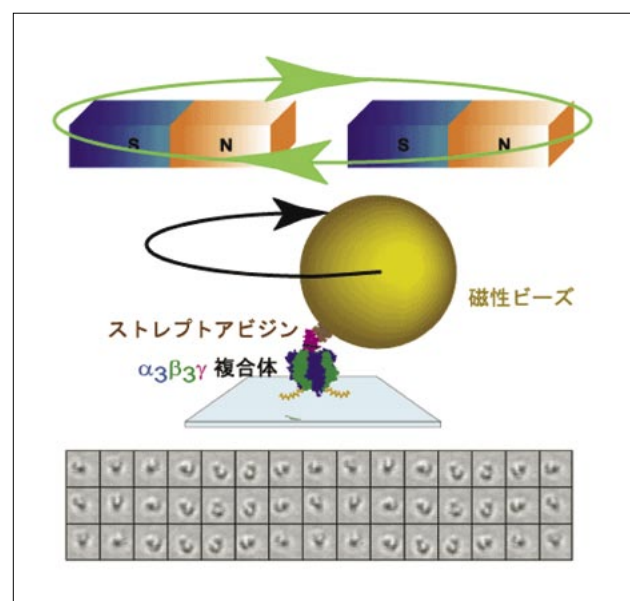
< 概要 >

生物の体内で、筋肉を縮ませるなどの殆どすべての機能のエネルギー源には、アデノシン三リン酸 (ATP) と呼ばれる化学物質の分解により得られるエネルギーが利用されています。ATP がアデノシン二リン酸 (ADP) とリン酸 (Pi) に分解されることで、F1-ATPase と呼ばれるナノメートルサイズの回転分子モーター (F1 モーター) が反時計方向に回転することがわかっていました。「F1 モーターを ATP の分解とは逆の方向 (時計方向) に回せば、ADP と Pi から ATP が合成される」という仮説がありましたが、その直接的な証拠は見出されていませんでした。

本研究では、F1-ATPase に磁性を持たせたプラスチックビーズを取り付け、磁石で人為的に F1 モーターを回転させて ADP と Pi から ATP を合成することに成功しました。合成された ATP は非常に微量 (分子数個) であるため、ATP が存在すると光を出す蛍と同じ原理を用いて、高感度の光検出器で検出しました。文字通り「力ずく」の操作で F1-ATPase による ATP の合成を成し遂げたのは、世界で初めてです。本結果は、アメリカのボイヤーによって予測された ATP が合成されるしくみ (1997 年にノーベル化学賞を受賞) を直接証明したことになります。

< インパクト >

この成果は、ATP 合成の仕組みの理解を一步前進させたことに加えて、文字通り「力ずく」の操作で F1 モーターによる ATP の化学合成を成し遂げたことに、大きな意義があると考えています。生物が何十億年もの間、エネルギー源である ATP を化学合成してきた方法を、人間の手で再現することに成功したことになります。近い将来、ナノメートルサイズの「分子機械」を設計する場合に、「分子機械」を駆動するエネルギーの供給源として、本研究成果の貢献が期待されます。

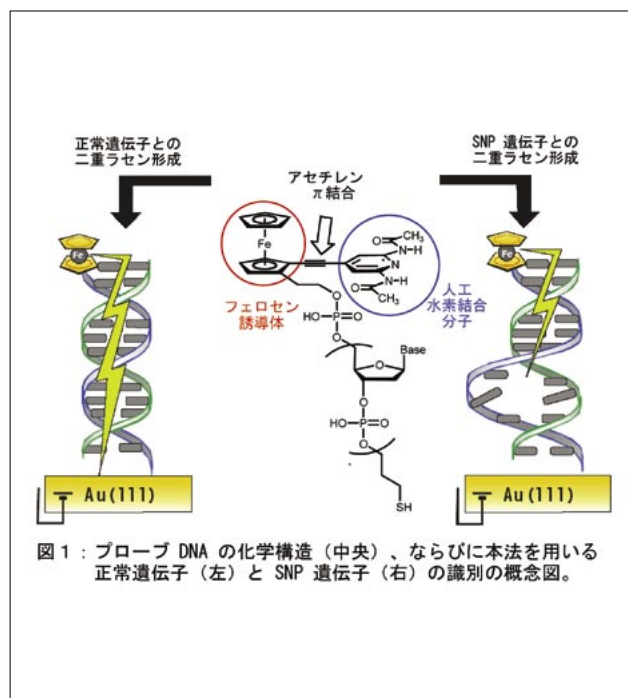


変異遺伝子を高精度かつ容易に検出する方法の開発

< 概要 >

生物の遺伝子 (DNA) は、4 種類の塩基が鎖状に結合したて 2 重らせん構造をしています。生物は、この 4 種類の並び方による情報に基づいて形作られています。しかしながらヒトなら全て並び方が同じというわけではなく、個々の人間のあいだに約 0.1% の違いがあります。同一の場所で 1 つの塩基だけが異なり、しかもそれが人口中 1% 以上の頻度で存在する変異遺伝子があります。それを一塩基多型 (SNP) とよび、持ち主は特定の病気になりやすかったり、特定の薬に対して副作用が強く現れたりします。SNP を簡単に高精度に検出する方法の開発は、テーラー・メイド医療の実現など現在の医療に革新をもたらす可能性があります。本研究では、SNP を電気化学的に検出する技術を開発しました。有機金属分子 (フェロセン) を DNA の一端に連結させた人工 DNA (プローブ DNA) を開発し、このプローブ DNA のもう一端を金電極に固定しました。このプローブ DNA に正常な遺伝子が結合した場合には電流が流れるのに対し、SNP 遺伝子が結合した場合にはほとんど電流が流れないことを突き止めました。SNP 遺伝子を電流の有無によって高い精度で検出することが可能になります。

1) Inouye, M. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2005, 102, 11606-11610.



< インパクト >

現在までに数多くの SNP 検出法が提案されています。しかし「テーラー・メイド医療」を実現するためには、膨大な個々の人間の SNP タイピング (その人の遺伝子のどこに SNP があるのかの解析) が必須であり、感度・精度・簡便さ・迅速性・安価さなどの点で満足のいくシステムは確立されていません。

本手法を用いることにより、従来法に比べて格段に高い精度で SNP 遺伝子を検出することが可能となります。また検出する遺伝子に特別な処理をほどこす必要がなく、簡便さの点でも優れており、DNA チップへの応用も容易です。個々人の病気のかかり易さを推定したり体質に合った薬を個別に調べる上での画期的な手法として、臨床での使用が期待されます。

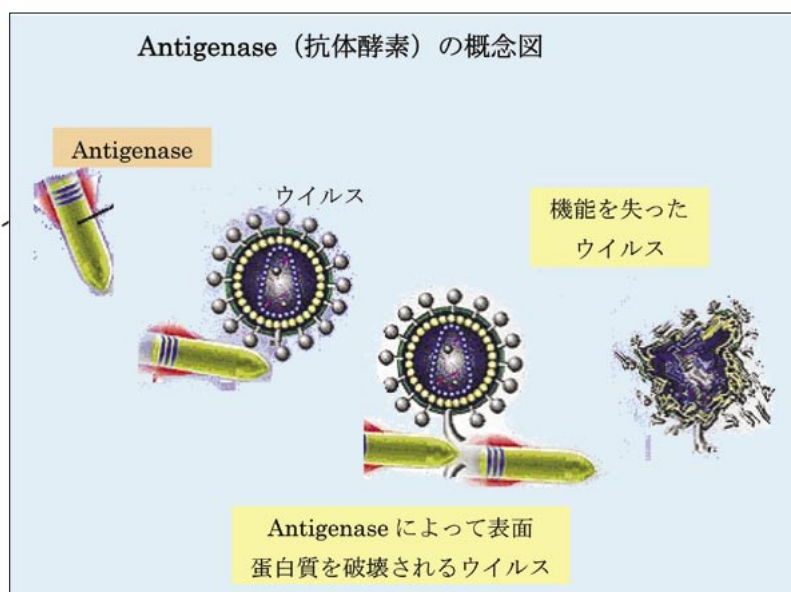
ウイルス・病原菌などを撃退する抗体酵素 (Antigenase) の開発

概要

ウイルスなどの抗原の侵入に対抗して作られる抗体と、生体内の化学反応の触媒となり特定の物質に作用する酵素は従来別々のものであり、酵素として働く抗体は例外的には存在するものの、その働きは非常に弱いと考えられていました。ところが、本研究では、多くの抗体が酵素として働く部位を持っていることを世界に先駆けて発見し、これらを抗体酵素 (Antigenase) と命名しました。さらにバイオナノテクノロジーによって、抗原を分解する働きの高いものを作り出す方法を見出しています。

インフルエンザのウイルスは、表面の蛋白質を変化させて抗体からの攻撃をかわしています。このことが、インフルエンザの型が変わったらワクチンが効かない理由です。ところがこのウイルスの表面の蛋白質の構造にも変わる部分と変わらない部分があることが判っています。この構造の変わらない部分を攻撃すれば、型の異なるインフルエンザウイルスを全て無害化出来るという考え方のもとに、その部分を攻撃する抗体酵素を作り出すと、予想通りの効果が得られることが分かりました。初期の抗体酵素は、天然に存在する酵素に較べるとその酵素として

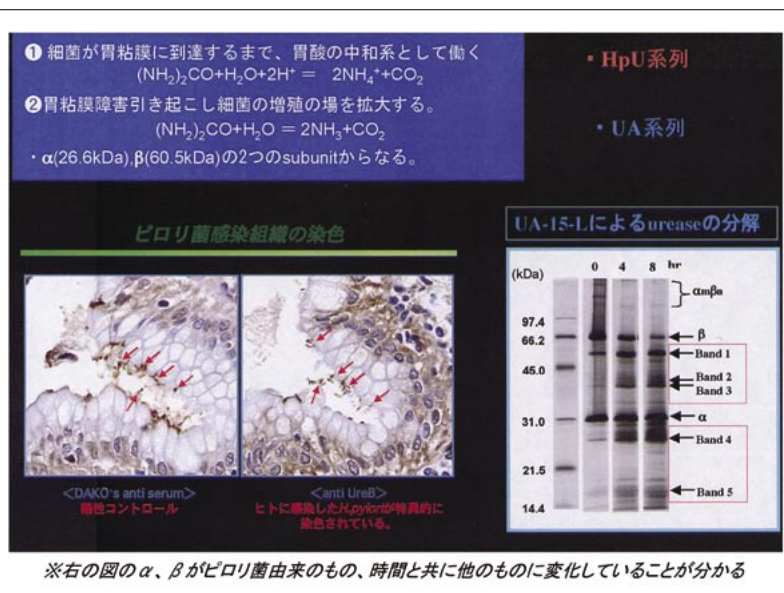
の機能が非常に低いものでしたが、本研究によりその機能を大幅に高くする方法を見出し、天然の酵素に近い酵素機能を持つ抗体酵素の作製に成功しています。



インパクト

抗体酵素は画期的なものです。従来とは全く異なった発想に基づくものであるため、実用化・企業化までにはまだ時間が必要です。エイズやインフルエンザなどのワクチンの作りにくいもの、MRSAなどの耐性菌のように細菌を攻撃する抗生物質を細菌にとって無害なものにしてしまうもの、ピロリ菌のように胃の中のような非常に酸性の強い特殊な環境で害をなすものなどへの幅広い応用が考えられます。例えば、ピロリ菌は酵素でアンモニアを作り出して酸を中和していますが、その酵素を攻撃する抗体酵素を作成しました。現在では、攻撃の対象となる蛋白質の構造が決まれば、殆どのものに対して抗体酵素を作成出来るようになってきて

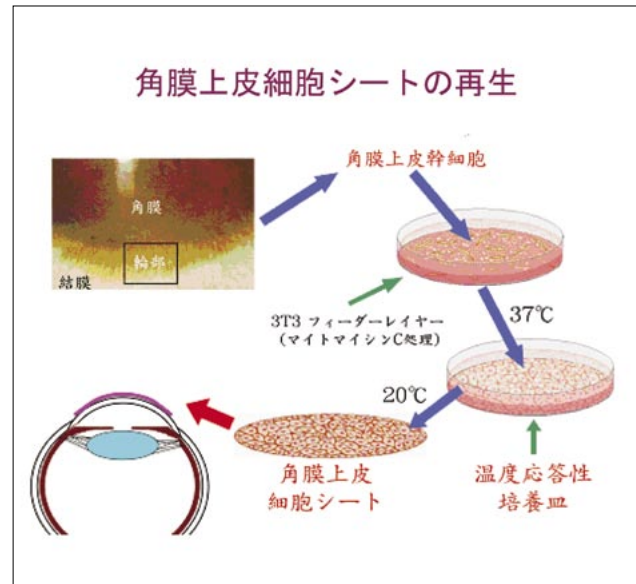
います。また皮膚の老化現象にも酵素が影響しているといわれていて、他のものと組み合わせることで皮膚の老化を防止することができるようになる可能性も秘めています。



眼の治療に役立つ角膜の培養・移植を革新的に容易にする技術の開発に成功

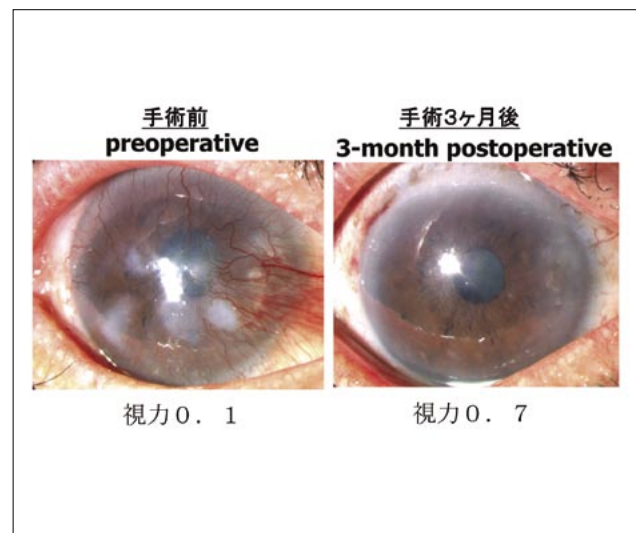
< 概要 >

培養した細胞を生体へ移植することは既に一般的に行われていますが、培養した細胞を移植すべき生体の組織に接着させるためには、接着層となる細胞の底面を残したままの状態では、培養細胞を培養皿から回収する必要があります。従来の方法では、培養皿から剥がす際に接着層にあるタンパク質を化学的に分解していたため、肝心の接着層が壊れてしまい、培養した細胞を安定に接着することが困難でした。このため、接着のためには、縫い合わせるなどの技術が必要で、熟練を要する手術でした。本研究では、ナノスケールで構造を制御した高分子の上で細胞を培養することにより、培養細胞に接着層を着けたまま回収することに成功しました。この技術によって、角膜と呼ばれる眼球の外側の膜を培養し、角膜上皮細胞シートとして容易に回収することが可能になりました。培養した角膜上皮細胞シートを培養皿から剥がし、損傷した角膜組織を取り除いた眼球にかぶせるだけで角膜移植手術が完了するという画期的なものです。培養皿から剥がすには、温度を変えるだけです。この技術は、再生医療など幅広い応用範囲を持つものと考えています。



< インパクト >

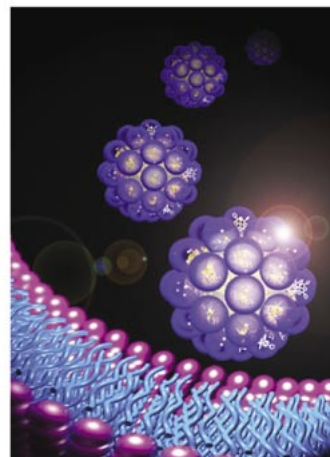
現在、我が国の角膜移植希望者は4～5万人と言われていますが、角膜の提供者が少なく、移植例は年間2千件に届きません。この角膜再生技術では、本人の角膜に健康な部分があればその一部を、無い場合には親族の角膜の一部を取って培養することが可能で、角膜の治療が大きく前進するものです。角膜移植希望者にとって福音と思われます。この技術を用いて大阪大学医学部において、臨床研究が進んでおり、既に20数例の成功例が出ています。角膜の培養については現在企業化を計画中ですが、今までに例のない方法であるため、安全性の確認に時間が必要で、培養した角膜を供給出来るまでには暫く時間がかかります。この培養細胞シートを作成する技術は、眼以外の器官にも応用可能で、心臓の筋肉などが再生され、再生された筋肉があたかも心臓のように拍動している様子が観察されています。これらの実用化には、まだ研究を深めていく必要がありますが、大きな可能性を持った技術であると考えています。



病巣である患部にのみ治療用遺伝子を運ぶ「遺伝子キャリア」の開発

概要

癌などの治療法として期待されている遺伝子治療を実現するためには、治療すべき細胞に治療薬となる遺伝子を導入する運び手（キャリア）の開発が重要です。とりわけ、目的の細胞にだけ遺伝子を導入する技術の開発が強く望まれています。従来のキャリアを用いる方法では、遺伝子を目的の細胞だけに導入することは難しい状況にあります。本研究では、光に反応するキャリアを開発し、生体内の光を照射した部分のみに遺伝子を導入することに世界で初めて成功しました。新しい遺伝子キャリアは、デンドリマーと呼ばれる球状の高分子でできた粒子で遺伝子を包み込んだもので、ナノサイズの大きさを持ちます。そのキャリアを生体に投与し、キャリアが目的の細胞内に取り込まれた後、外部から光を当てることによって、キャリアの中に包み込まれた遺伝子が放出されます。この粒子には、光を受けることにより、細胞内で遺伝子を放出するためのいろいろな工夫が凝らされており、光を当てたところだけに 100 倍以上の選択性をもって遺伝子を導入することが出来ることを実験により確認しました。

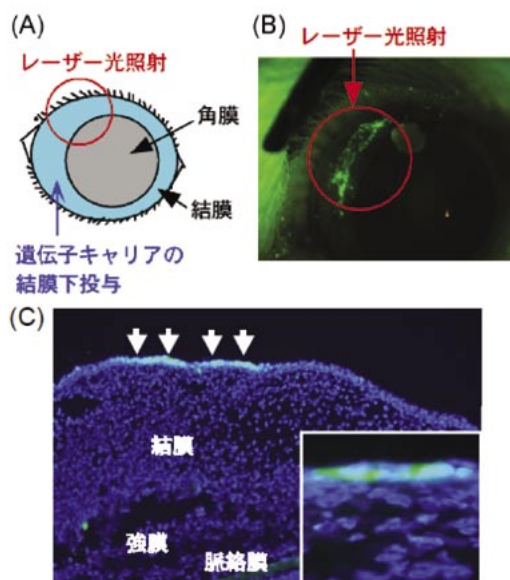


新しく開発した遺伝子キャリアは、光に応答して細胞膜の透過性を高める機能を付与した外殻を持っています。

インパクト

この方法を用いて、実験用のラットの結膜（目の一部）に光を発するタンパク質（蛍光タンパク質）の遺伝子を導入することに成功しました（右図）。これは、生体内の光を照射した部分にのみ遺伝子を導入することに成功した世界で初めての例です。

従来のキャリアは無害化したウイルスの殻を用いていましたが、これは細胞への取り込みの効率はよいのですが、副作用のおそれがあります。一方、化学合成により製作した遺伝子キャリアは、遺伝子の導入効率が良くないという弱点が克服できていません。また、これらの方法では、目的の部分でのみ遺伝子を発現させることも困難です。新しく開発されたこのキャリアは、これらの欠点を克服出来るもので、加えて目的の場所を目で実際に確認しながら、遺伝子を導入していくことが出来るため、癌の治療などこれからの医療において非常に有用な治療手段となるものと期待されます。



ラットの結膜下（白目の部分）に遺伝子キャリアを投与し、投与 2 時間後に白目の一部にレーザー光を照射しました (A)。その結果、レーザー光を照射した部分のみに遺伝子導入を行った蛍光タンパク質の発現が認められました (B)。組織切片の観察により結膜上皮に遺伝子が導入されることが確認されました (C)。

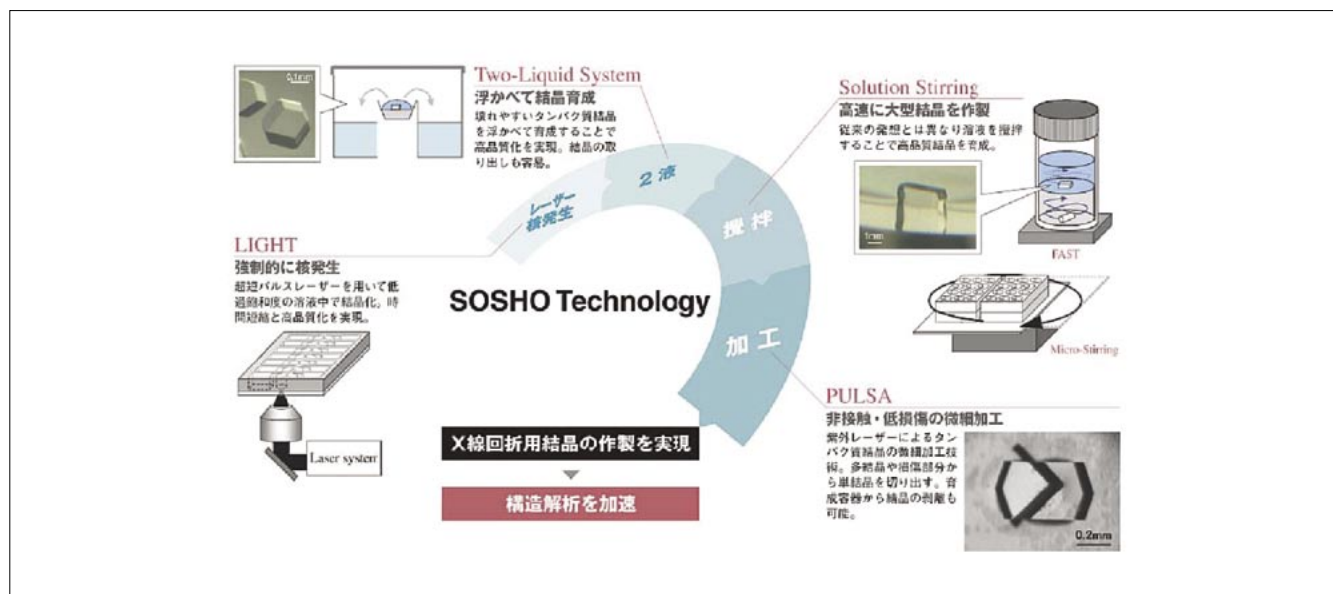
蛋白質結晶化技術の開発

< 概要 >

近年のタンパク 3000 プロジェクトに見られるように蛋白質の立体構造を知るといことは、蛋白質の機能の解明、創薬への展開など、生命現象の根幹の理解という非常に重要なテーマです。立体構造を解析するためには X 線構造解析が有効な手段で、そのためには蛋白質を結晶化する必要があります。しかし、一般に蛋白質の結晶化は、非常に困難であることが知られており結晶化技術の開発は重点的に研究が行われています。

従来、蛋白質の結晶化は、静置した状態で行うものとされていましたが、溶液を緩やかに攪拌することにより結晶化に成

功しました。これは、結晶成長における蛋白質の密度の揺らぎを最小限に食い止めることができるため、高品質の巨大結晶ができることが分かりました。巨大結晶は、X 線回折では観察ができなかった水素をはじめとする軽元素の位置までを決定できる中性子回折実験への道も開き、新たな構造情報取得の可能性を拓げるものです。さらにフェムト秒レーザーアブレーションによる蛋白質結晶の生成に成功し、従来数ヶ月を要したアフリカ睡眠病に関連する蛋白質の結晶化をこの技術を用いることにより 2 日で完了することができました。このように新規蛋白質結晶化技術の開発に成功しました。



< インパクト >

蛋白質を医薬品開発などに応用するためには、その構造の決定が不可欠です。本研究の成果である結晶化技術を用いることで、製薬企業などに結晶化した蛋白質を提供することが可能になります。また従来は結晶化することが難しかった蛋白質をも結晶化することが可能です。

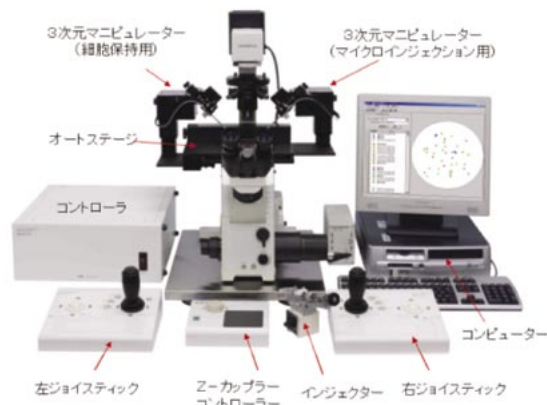
本技術を産業利用していただくために、平成 17 年 7 月にベンチャーを起業しました製薬メーカーなどから結晶化を受託するビジネスを展開しています。

熟練者以上に短時間に高効率で遺伝子を細胞に導入できるロボットの開発

概要

体外に取り出した細胞を用いた遺伝子操作実験では、微小な針を用いて機械的に遺伝子を細胞に導入することは重要な実験手法です。しかしながら、遺伝子の導入は高度の熟練を要する作業であり、成功する確率が極めて小さいものでした。特に、神経、骨などさまざまな組織に分化する能力を持っていることから注目されている ES 細胞は、直径が 20 μ m と小さいため、遺伝子の導入が殆ど不可能と考えられていました。実際、2004 年に報告された熟練者による成功 (0.2% 程度の成功率) が唯一の例でした。本研究において、遺伝子導入の成功率を飛躍的に向上 (成功率 10-20%) できるロボットを開発し、さらに遺伝子導入にかかる時間の大幅な短縮 (1/10 以下) を達成しました。

小さな ES 細胞での成功率の向上は、細胞を扱う研究にとって非常に重要な意味を持つものと考えられます。従来は、遺伝子導入の成功率が低いため研究の対象となり難かったものが、比較的容易に研究出来るようになります。また、作業に高度の熟練を必要としないため、一部の研究室でしか出来なかった ES 細胞を使った高度な実験が、比較的簡単に行えるようになり、多くの研究者に大きく広がり、この分野に大きく貢献することが期待されます。

単一細胞操作支援ロボット
Single-cell Manipulation Supporting Robot, SMSR

超精密な位置制御、注入量のナノ制御を達成したロボット

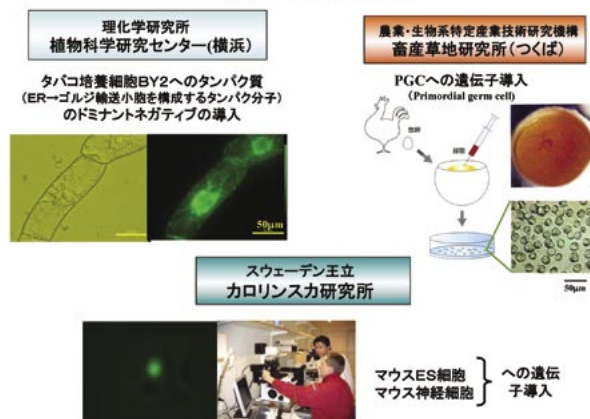
インパクト

開発したロボット (SMSR: Single-cell Manipulation Supporting Robot) によって、これまで容易ではなかった ES 細胞の操作が容易かつ効率的に行えるようになりました。このことは、ES 細胞に関する研究の進歩に大きく貢献するものと思われます。本研究チームでは、SMSR を用いて糖尿病の治療の有効性を評価するためのモデル細胞の作製を目指しています。

この SMSR は、動物の細胞のみでなく堅い細胞壁を持つ植物の細胞への応用も可能で、非常に幅広い応用範囲を持つものです。現在、このロボットの利用を通じて、種々の共同研究が生まれてきています。国内のみでなく、海外の研究機関との共同研究も始まっており、今後さらに広がり、大きな成果につながるものと期待されます。

このロボット (SMSR) は、本チームで共同研究を行っている企業によって既に製品化されているが、これに触発されたさらに高度な要求に応えられる上位機種の開発も進められており、今後普及していくものと思われます。

SMSRを用いる共同研究



索引

名 前	フリガナ	研究課題名	頁
荒井 滋久	アライ シゲヒサ	低次元量子構造を用いる機能光デバイスの創製	8
新井 豊子	アライ トヨコ	走査型相互作用分光顕微鏡の開発とナノ構造創製への応用	30
石橋 幸治	イシバシ コウジ	カーボンナノ材料を用いた量子ナノデバイスプロセスの開発	9
伊藤 耕三	イトウ コウゾウ	トポロジカルゲルを利用した医療用生体機能材料の創製	16
伊藤 博康	イトウ ヒロヤス	タンパク質分子モーターを利用したナノメカノケミカルマシンの創製	36
井上 将彦	イノウエ マサヒコ	精密分子認識に基づく人工 DNA の創成とナノ材料への応用	37
彌田 智一	イヨダ トモカズ	高信頼性ナノ相分離構造テンプレートの創製	17
宇田 泰三	ウダ タイゾウ	健康・福祉のためのナノバイオ材料およびバイオ素子としての「スーパー抗体酵素」の創製	38
岡野 光夫	オカノ テルオ	新規組織再構成技術の開発と次世代バイオセンサーの創製	39
片岡 一則	カタオカ カズノリ	遺伝子ベクターとして機能するナノ構造デバイスの創製	40
川合 知二	カワイ トモジ	プログラム自己組織化による人工生体情報材料創製	10
河田 聡	カワタ サトシ	非線形ナノフォトリクス	31
工藤 昭彦	クドウ アキヒコ	可視光水分解を目指したナノ構造体光触媒の創製	18
栗原 和枝	クリハラ カズエ	固・液界面の液体のナノ構造形成評価と制御	32
黒田 一幸	クロダ カズユキ	高度に制御されたナノ空間材料の創製	19
河本 邦仁	コウモト クニヒト	ナノブロックインテグレーションによる層状酸化物熱電材料の創製	20
小林 速男	コバヤシ ハヤオ	新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築	21
佐々木高義	ササキ タカヨシ	光機能自己組織化ナノ構造材料の創製に関する研究	22
篠原 久典	シノハラ ヒサノリ	新世代カーボンナノチューブの創製、評価と応用	23
芝 清隆	シバ キヨタカ	プログラマブル人工蛋白質からの組織体構築	11
辰巳 敬	タツミ タカシ	有機無機複合相の自在変換によるグリーン触媒の創製	24
徳永 史生	トクナガ フミオ	分子配列による蛋白モジュールの開発と展開	41
藤田 誠	フジタ マコト	自己組織化分子システムの創出と生体機能の化学翻訳	25
藤巻 朗	フジマキ アキラ	単一磁束量子テラヘルツエレクトロニクスの創製	12
藤吉 好則	フジヨシ ヨシノリ	高次細胞機能構造体観察・制御技術の開発	33
古屋 一仁	フルヤ カズヒト	超ヘテロナノ構造によるバリスティック電子デバイスの創製	13
松岡 英明	マツオカ ヒデアキ	疾患モデル細胞の高効率創製と機能解析	42
松本 要	マツモト カナメ	ナノ組織制御による高臨界電流超伝導材料の開発	27
持田 勲	モチダ イサオ	表面最適化炭素ナノ繊維の新規環境触媒機能	26

連絡先一覧

「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製」

〒150-1011 東京都渋谷区東 1-32-12 渋谷プロパティ―東急ビル 10 階
Tel. 03-5778-0611,0612 Fax. 03-5778-5600

「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」

〒305-0032 茨城県つくば市竹園 1-6-1 つくば三井ビル 14 階
Tel. 029-860-5600 Fax. 029-860-5095

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」

〒560-0082 大阪府豊中市新千里東町 1-4-2 千里ライフサイエンスセンタービル 16 階
Tel. 06-6155-0003,0008 Fax. 06-6834-0300

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノ構造体材料の制御と利用」

〒103-0028 東京都中央区八重洲 1-9-9 東京建物本社ビル 7 階
Tel. 03-3516-7511,7516 Fax. 03-3273-1626

「医療に向けた化学・生物系分子を利用したバイオ素子・システムの創製」

〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 3-1-6 TMS ビル 5 階
Tel. 03-5778-2700 Fax. 03-5778-2705

「ソフトナノマシン等の高次機能構造体の構築と利用」

〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南 2-14-19 住友生命名古屋ビル 21 階
Tel. 052-569-2181,2182 Fax. 052-581-8271

「医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」

〒103-0028 東京都中央区八重洲 1-9-9 東京建物本社ビル 7 階
Tel. 03-3516-7311,7312 Fax. 03-3273-1625

「環境保全のためのナノ構造制御触媒と新材料の創製」

〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-4-15 八重洲通りビル 3 階
Tel. 03-3510-2511,2512 Fax. 03-3273-1411

「エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製」

〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-4-15 八重洲通りビル 3 階
Tel. 03-3510-2612 Fax. 03-3273-1211

「情報、バイオ、環境とナノテクノロジーの融合による革新的技術の創製」

〒150-0011 東京都渋谷区東 1-32-12 渋谷プロパティ―東急ビル 10 階
Tel. 03-5468-0911 Fax. 03-5468-0912

お問い合わせ先

独立行政法人

科学技術振興機構
特別プロジェクト推進室

〒332-0012 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
TEL.048-226-5623 FAX.048-226-5703

URL <http://www.jst.go.jp/kisoken/nano.html>

平成18年8月 発行部数1500部
許可なく複写・複製することを禁じます。

R100

印刷部数100%再生紙を使用しています

