成果集2010

ERATO

Exploratory Research for Advanced Technology

シーズから新しい潮流へ ―そしてイノベーションへ―

CONTENTS

ERATOの誕生と立ち上げ …… 3

ERATO事業の概要 …… 4

ERATOが変えた日本の研究システム …… 6

Topics Ⅰ …… 8

シーズから新しい潮流へ ―そしてイノベーションへ― …… 9

Topics Ⅱ …… 24

Topics Ⅲ …… 28

ERATO 109 研究プロジェクト …… 31

索引 …… 86

ERATO※1の誕生と立ち上げ

千葉 玄彌

元 独立行政法人科学技術振興機構 理事

1970年代、経済大国となった日本は、国の知的資産の形成がその後の科学技術や新産業を約束するまでには進んでいないという問題を抱えていました。努力は続けられてきましたが、資源を基礎的な分野に振り向ける余裕がなかったことが背景にあります。しかし、基礎分野の充実は急務であるとの認識が広まり、強まる基礎研究タダ乗り論や対抗処置もこの状況に拍車をかけていました。1961年、学産の協力から自主技術を生むべく設立された(特)新技術開発事業団（＝(独)科学技術振興機構の前身の一つ)も、'70年代後半、急速に進む技術の高度化に伴う日本の縮図を背負っていました。

切迫した状況を踏まえ、当時の科学技術庁で始められた基礎研究支援策の検討作業では、学産官、広範な分野からの意見の抽出、制度のあるべき姿の模索が連日連夜精力的に進められました。抜本的で抜本的過ぎないという難しい問題の解を探る作業の出口は、「人」と「環境」づくりに尽きるというものでした。

創造的な基礎研究は白紙に絵を描くようなもので、才能と努力と運の世界、つまり人（研究員）であります。人が意欲を持てる環境を作ることが制度の課題で、才能を見抜き触発できるのもまた人（総括責任者、プロジェクトディレクター)。伯楽と天馬の仕組みと言った人がいます。天馬が馳せ参ずるのが伯楽でもあります。具体的には、自由度、柔構造、国際開放、時限性、若手、契約研究員、オフキャンパス借研究室等々の要素が組み込まれ、事業を可能とする法律を用意し、了解を取りつける関係者の努力は並大抵のものではなかったと想像されますが、1981年夏には大筋の作業が終了しました。

同年10月、創造科学技術推進事業（ERATO）の発足。試行錯誤の数年が始まり、学産官のご理解とご協力を得るための行脚が続きました。研究環境には社会システムに関わる問題が多く、規制や余裕の問題から研究室の確保に難航、終身雇用制社会での契約制の導入、外国研究員受け入れなど、当時としては馴染みの薄い問題が多かったわけですが、それでも一つ一つ解決され、伯楽名を冠したプロジェクトが立ち上がっていきました。

数年を経ずして、日本社会が急速に変わり始め、問題が解消していったのは幸運でした。全国のリサーチパークの出現、日本の雇用習慣の変化などERATOが受け入れられる土壌が生まれたことです。後続事業、国際共同、さきがけが順調に立ち上がった一部にはこうした事情があります。次いで、1996年、科学技術基本法、基本計画に裏打ちされ、戦略基礎研究事業は追い風の発進となりました。

ERATO誕生以来25年※2、日本は大きく変わり続けています。その中で科学技術への認識が着実に高まりつつあるのは心強いことです。機構の事業、なかでも基礎研究事業は、学産官海外の多くの皆様のお力添えによって成り立っていますが、彼方まかせにならず、黒子を勤めるのは難しいことでもあります。皆様のご指導ご協力が土台であることには違いがなく、日頃のお力添えに深く感謝し、厚く御礼を申し上げます。

※1　各事業の正式名はJSTパンフレットをご参照下さい。ERATOはExploratory Research for Advanced Technologyの略。ギリシャ神話の詩の女神。海外で知名度の上ったERATOの名が逆輸入されて定着しました。

※2　本文はERATO25周年を記念して寄稿されたものです。

戦略的創造研究推進事業 ERATO 型研究／創造科学技術推進事業

—制度の概要—

ERATO では、卓越した洞察力と指導力を持った研究者をリーダー役である**研究総括**としてお迎えし、その方が大切に暖め続けてこられたアイデアや、挑戦する機会を待ち望んでおられたテーマ、進行中の研究から派生した大きな可能性を持つテーマ等、もし成功すれば社会的にも非常に大きな波及効果をもたらし、科学技術研究の源流となりうるテーマに取り組んでいただいています。その困難な課題に挑む為に、研究総括が理想とするベストな研究組織（バーチャルインスティテュート）を新たに編成し、１つの研究機関にとどまらず全国、あるいは世界各国の機関・企業など、第一線で活躍している優れた才能を結集し、まさに科学技術版「ドリームチーム」を結成していただくべく、JST は支援をしています。

そこでは、様々な分野から結集した異なる価値観の研究者達が相互に触発し合い、議論を戦わせながら全く新しい発想と切り口の、独創的な科学技術の芽が創出されることを期待しています。

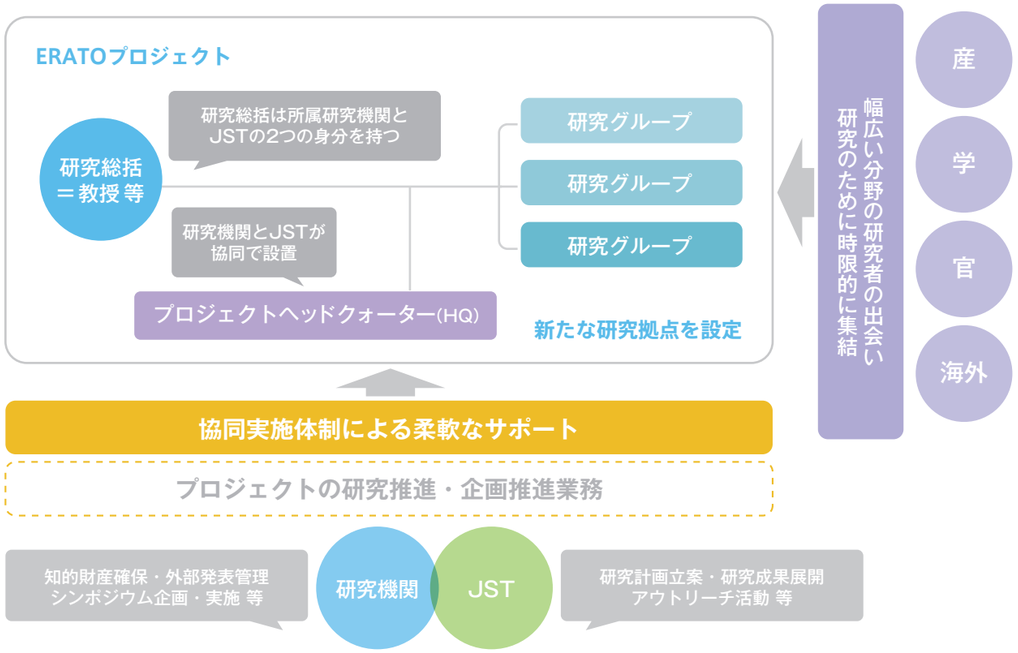
新しい ERATO の支援方法

事業発足から約 30 年間、JST の支援方法は、研究総括のもと、JST 自らが新たに実験実施場所と研究員を確保する「直執行方式」でした。この方式は、研究員の雇用や物品の調達など研究経費の執行にあたり、研究者やその所属大学等の手を煩わせることが少ないなどの面で、これまで研究者より評価されてきました。しかし、発足後約 30 年が経過し、国立大学の法人化等様々な研究環境の変化の中で、ERATO の実施方法そのものを見直すべき時期に到りました。

そこで ERATO では、従来の JST のみでプロジェクトの運営を行う体制を改め、新たに、研究総括が所属する大学等と JST が「協働」してプロジェクトを運営する体制「協働実施体制」により、研究支援を行うこととしました。「協働実施体制」では、研究員等の雇用や物品調達に必要な研究経費の執行と特許管理、シンポジウムの企画等を大学等が担当し、JST では、研究総括とともに研究計画の立案や、研究成果の展開、アウトリーチ活動などを担当します。一般的な委託研究とは異なる、「協働実施体制」のポイントは以下のようになります。

①大学等と協定や研究契約を締結し、大学等が研究経費の執行（物品等の調達、人員の雇用等）を担当する。
②研究総括が研究プロジェクトを有効に進めるための研究支援体制（プロジェクトヘッドクォーター）を大学等と JST が協働して整備する。

経理、人事等といった管理機能は原則として大学等が担う一方、研究推進に必須かつ研究総括の所属大学だけに留まらない事項（他大学への研究実施場所の設置、研究成果の展開、アウトリーチ活動等）については JST が協働して支援することとします。



目　　的

科学技術の源流を作る（革新的な科学技術の芽あるいは将来の新しい流れを創出）。

研究の種類

国の科学技術政策や社会･経済ニーズを踏まえて文部科学省が定める戦略目標の達成に向けたプロジェクト制課題解決型基礎研究。

運営体制

研究総括をプロジェクトリーダーとし、研究機関とJSTが協働でプロジェクト運営にあたる**協働実施体制**。

研　究　者

「産」「学」「官」「海外」からプロジェクトに最適なメンバーを集結。

期　　間

プロジェクト実施期間　5年※
※この他、プロジェクト開始期に環境整備期間を1年程度付与、および、プロジェクト終了期に成果審査を経て最大5年の特別重点期間を付与。

構　　成

研究総括のもとに研究員や研究推進要員が集まり、集中的にプロジェクト研究を推進。具体的には、研究業務を行う複数の研究グループと企画推進業務を行うプロジェクトヘッドクォーター（HQ）により編成される。

予　　算

研究計画をもとに、研究主監等が設定。

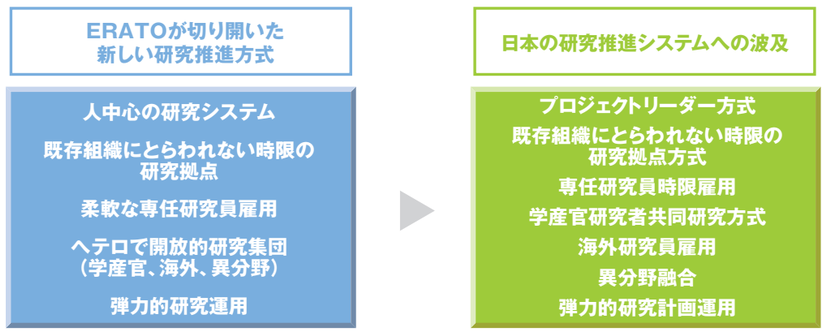
実施場所

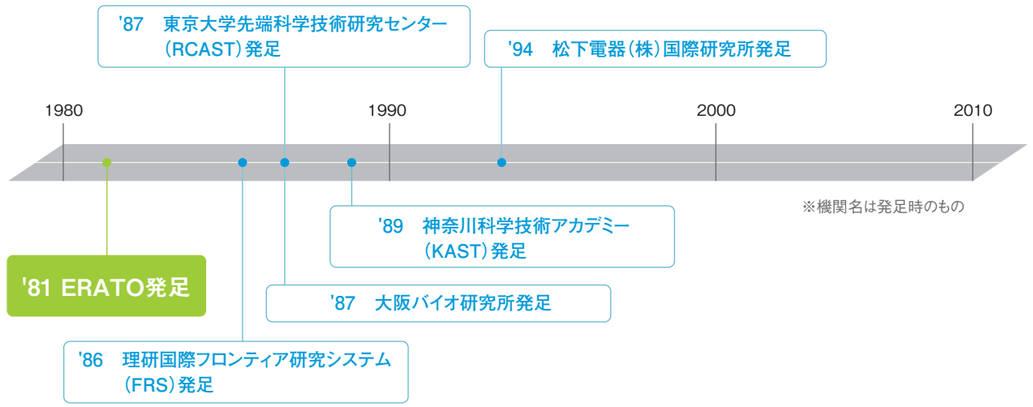
研究総括の本務（大学等）の既存研究室とは別に、独立した研究実施拠点を開設し、そこに研究人材や研究設備を集めて集中的に研究を推進する。

成　　果

公表することを原則として積極的に発表。学会発表や知的財産の獲得、アウトリーチ活動など。

ERATOが変えた日本の研究システム





ERATO制度国内の諸機関への波及

ERATOの意義と日本の研究システムへ及ぼした影響

前ページに示したように、ERATOはそれまでの日本の研究システムにはない新しい方式を切り開きました。それは、我が国の伝統的な研究推進方式に慣れていた科学技術政策担当者や科学技術研究者達から画期的なものとして受け止められ、この約30年の間、各方面に広く大きな影響を及ぼしました。

1）人中心の研究システム

ERATOは、選ばれた研究リーダー（総括責任者）の独創性とリーダーシップを尊重した人中心の研究システムとして創設されました。その後、他のファンディング機関の研究プログラムにおいても、研究の推進にリーダーシップが重視されるようになり、プロジェクト・リーダー体制が採用されるようになりました。

2）既存の組織にとらわれない研究拠点の構築

従来の研究プログラムでは、研究場所は研究リーダーの既存の研究室であり、研究の運営も研究リーダーの所属する機関の管理部門によるものでしたが、ERATOでは、キャンパスの外を含めて新たな研究拠点を置き、運営もそこに置かれた専任の事務所が行う方式を取りました。これを契機に、他の研究プログラムにおいても、既存の研究組織にとらわれず所属の異なる研究員を1つの場所に集める研究拠点方式が盛んに行われるようになりました。

3）専任研究員の柔軟な雇用

ERATOでは、研究の担い手として、研究リーダーの既存の研究室のメンバーではなく、時限で臨機応変に専任の博士研究員などを雇用することが特徴です。その後、他の研究プログラムにおいても、専任の研究員を時限で雇用することが広く行われるようになりました。

4）ヘテロで開放的な研究集団

ERATOは、国内の色々な大学や研究機関からだけではなく、産業界、海外研究機関からの種々の研究者が参加し、また、通常では考えられないような異分野の研究者が集まるヘテロで開放的な研究グループの実現を可能としました。その後、他の研究プログラムにおいても、先の共同研究拠点方式等により、学産官の研究者や海外から研究者が1つの場所において共同で研究をおこなうことが広く行われるようになりました。

5）弾力的な研究の運用

ERATOで行われるようになった、研究の進捗に応じた柔軟な運営は、他のファンディング機関の研究プログラムにも波及し、従来の研究推進システムでは大変困難であった、研究予算や研究計画の変更や柔軟な運用がある程度行われるようになってきました。

ERATOが影響を及ぼした他機関の状況

国内外で大きな評価を得たERATOの研究システムは、大学や民間企業の研究所など他の機関にも影響を及ぼました。

その中でも、代表的なものとして理研国際フロンティアシステム（FRS）、大阪バイオサイエンス研究所、松下電器国際研究所があげられます。

1）理化学研究所国際フロンティアシステム（FRS）

理化学研究所が、国際フロンティア研究を立ち上げたのは1986年です。85年当時の理研理事の言、「創造科学技術推進事業（ERATO）みたいなものを理研の中につくりたい」（理研ニュース No.208　October 1998, 40周年特集号）に、設立にあたるERATOの影響が垣間見られます。

その研究システムの特徴は、人中心、時限性と流動性、新しい研究運営への挑戦などで、国際フロンティア研究システムは、中央研究所、研究センター群とともに、理研を構成する3つのコア研究機構の一つとして位置付けられています。

（注）フロンティア研究システムは2008年4月、中央研究所と統合され、基幹研究所として開設されています。

2）大阪バイオサイエンス研究所（OBI）

この研究所は、市制100周年記念事業として、大阪市当局が1987年に創設した基礎研究所です。

初代所長の早石修博士は研究所創設に先立つ1983年から1988年にかけて、ERATOで「早石生物情報伝達プロジェクト」の総括責任者をつとめました。この時の経験をもとに、OBIの発足には、ERATOの研究方式が全面的に導入されることになりました。

その先進的な運営方式は、開所以来話題になっていますが、そこでは、若手の研究者を積極的に採用し、一定期間の任期として人事を常に活性化し、きちんとした評価体制を取る、などにより、研究所全体が柔軟に、かつ働きやすい環境を整えることに重点が置かれています。

3）松下電器（株）（現パナソニック（株））国際研究所

1986年から1991年にかけて、ERATOで「宝谷超分子柔構造プロジェクト」が推進されましたが、そのメンバーであった若手研究者が、プロジェクト終了後、松下電器（株）（当時）の国際研究所に招聘されました。この時、同研究所ではERATOのプロジェクトの研究推進方式と精神が持ち込まれ、研究活動が行われました。

Topics I

野依良治元総括責任者、2001年のノーベル化学賞を受賞

2001年ノーベル化学賞受賞

野依理化学研究所理事長（元野依分子触媒プロジェクト総括責任者）は、アメリカのW.S.Knowles氏（元モンサント社研究員）とK.B.Sharpless氏（スクリプス研究所教授）とともに、2001年のノーベル化学賞を受賞しました。

受賞対象は「キラル触媒による不斉反応の研究」。自然界には構成する原子の数や種類が同じでも、結合の仕方で左手と右手の関係のような区別（鏡像体）があります。左と右の鏡像体を作り分ける化学合成法（不斉反応）の発明は永年有機合成化学者の夢でした。様々な左型物質と右型物質を作り分ける技術への扉を開いた一連の研究開発の功績が評価されたもので、日本の有機合成化学研究のレベルの高さが示されました。

ノーベル賞賞状

分子触媒BINAPによる不斉反応

野依理事長は、BINAP－ルテニウム触媒による不斉水素化触媒を開発しましたが、この系は様々な化合物に適用でき、化学収率、不斉収率（どれだけ一方の鏡像体のみが作られているか）が共に極めて高い。ノーベル賞受賞講演のなかで、野依理事長はERATOの成果に触れて、「In 1995 when I was the director of the ERATO Molecular Catalysis Project, we found that hydrogenation catalyzed by a $RuCl_2$(phosphine)$_2$(diamine) complex and an alkaline base provided a general solution to this long-standing problem.」と述べています。

BINAPを用いた不斉反応の応用範囲はきわめて幅広く、アミノ酸，抗生物質，ビタミンなどの医薬品だけではなく、農薬、食品、香料（ハッカなど）試薬など各分野で利用されています。

ノーベル賞メダル

ノーベル賞授賞式（写真はノーベル財団提供）

ERATO

シーズから新しい潮流へ
―そしてイノベーションへ―

ERATOは制度発足以来の精神として、それまでの日本の科学技術が欧米発の流れに只乗りしただけだという批判に対して、日本発の新しい科学技術の流れを作り出すことを目指しました。約30年経った今、果たしてそれは果たされたのでしょうか？

ここに選んだいくつかの代表的な分野の例で、ERATOが確かに新しい流れを作り出したことを見ていただきたいと思います。

CONTENTS

ERATOの超微粒子から始まったナノテクノロジーの流れ …… 10
日本が生んで世界をリードするアモルファス材料 …… 12
完全結晶の上に築かれた日本発の独創的なデバイス群 …… 14
量子デバイス、量子情報で世界に先駆ける大いなる系譜 …… 16
発想の転換が生んだ材料技術のフロンティア …… 18
ERATOが生んだ次世代の有機ファインケミカル …… 20
バイオナノマシン－ERATOが解き明かした生命の超分子 …… 22

ERATOの超微粒子から始　まったナノテクノロジーの流れ

1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

ERATO林超微粒子

ERATO外村位相情報

ERATO青野原子制御表面

ERATO高柳粒子表面

本格的な超微粒子の研究分野を切り拓き、世界のナノテクノロジー研究の先導役を担った。

林超微粒子プロジェクト　1981－1986

★超微粒子の特徴的な特性と合わせて、粒子サイズ、組成を制御する技術について先進的な研究を展開した。

★産業展開も広く行われ、微細プリント配線を可能としたインクジェット用導電性インクや、触媒として白金、パラジウム、ロジウムなどの超微粒子を担持した自動車用触媒など多くのものが、現在の産業技術に大きくつながっている。

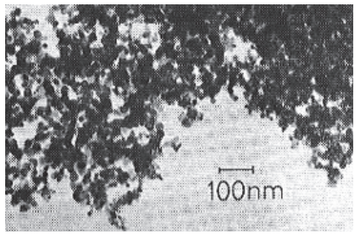


写真　180℃30秒間水素中で処理したNi超微粒子触媒

★単層カーボンナノチューブは飯島氏によって本プロジェクトの中で生まれており、その後1991年に飯島氏自身により再発見され、その後の世界のナノテクノロジーの流れの中で最大の発見となっている。

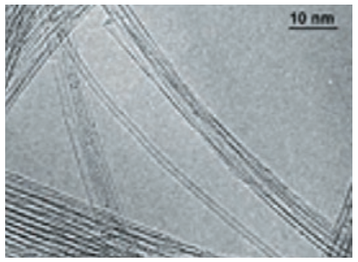


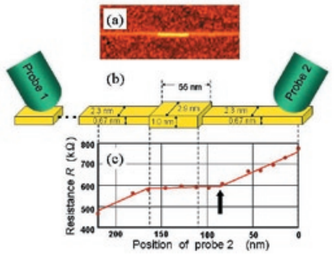
写真　カーボンナノチューブの電子顕微鏡像

ナノスケールの原子操作、ナノレベルの計測技術を開発し、新しいナノ構造の素子の提案をおこなった。

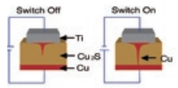
青野原子制御表面プロジェクト　1989－1994

★シリコンの表面において、1個～数個の原子（シリコン、水素、銀、白金など）の付与、除去、移動が室温において可能であることを実例をもって示し、そのメカニズムを明らかにし、かつ原子の除去や付与を像観察なしに電気信号によってリアルタイムで監視する方法を開発した。

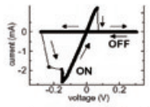
★ナノテスター（多探針の走査トンネル顕微鏡および原子間力顕微鏡）が開発され、ナノスケールでの電気伝導度の計測が自由に行えるようになった。



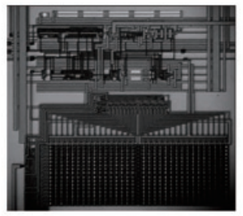
局所的に構造が変化するErSi2ナノワイヤーの多探針計測



ナノブリッジの模式図



ナノブリッジの動作結果



試作した
1キロビット不揮発性メモリ

★電子・イオン混合導電体中において金属フィラメントの形成と消滅を制御する、新しい原理で動作する“原子スイッチ”が開発（発見）され、そのすぐれた特性が示された。

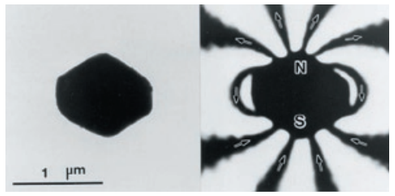
優れた電子顕微鏡技術に加え、電子干渉計測を高度に発展させ、新しい電磁場の三次元分布計測法を世界に示した。

外村位相情報プロジェクト　1989－1994

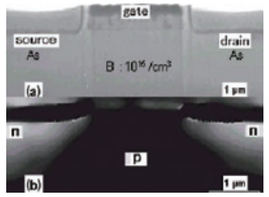
★電子波干渉型電子顕微鏡を使い、その情報をリアルタイムホログラムとして液晶パネル上に生成し、レーザ光を使い再現画像としてTV観察を実現した。

★原子１層の半分の精度に対応する200分の1波長以下の位相変化を検出できる位相シフト干渉法や、磁性体微粒子などの磁力線、磁化分布の観測ができる電子線干渉計測技術を開発した。

★これらの技術は、後に高温超伝導体の磁束量子や、半導体素子内の電界観察などの技術に繋がった。



通常のTEM像とホログラフィによる干渉像（右）



電界効果トランジスタ（MOSFET）断面通常の透過電子顕微鏡写真（ドーパントは見えない）電子線ホログラフィによる位相分布像（ドーパントが白く見える）

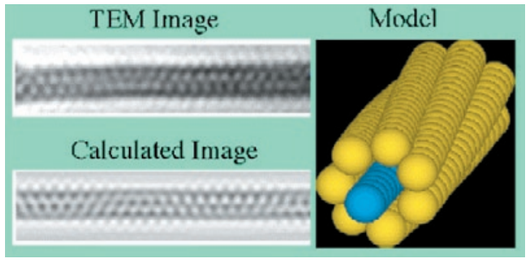
世界で初めて、高温超伝導体薄膜中の磁束量子の形態が変化する様子を観察することに成功した。

ローレンツ顕微鏡によるBi（2212）薄膜中の磁束量子の動的観察像

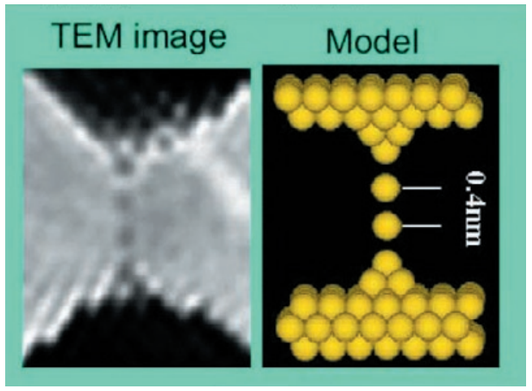
超高真空電子顕微鏡に走査型トンネル顕微鏡を組込み、金原子一つ一つが一列に伸びナノテクイメージを世界に示した。

高柳粒子表面プロジェクト　1994－1999

★本プロジェクトで開発した研究手法は、原子や分子レベルでナノ材料を加工・計測・制御するナノテク基盤技術として展開されている。例えば、電子顕微鏡と走査型トンネル顕微鏡を組合す研究手法は、目（アイ）と手(ハンド)を提供する有力なナノテク加工・計測技術として波及している。



0.6nmの太さのヘリカルナノワイヤーの構造



★金原子鎖の電子顕微鏡像とモデル図
電極と電極の間をつなぐ原子鎖を電子顕微鏡で初めて観察した

超微粒子を使った新しい応用が多くの企業で始まった

超微粒子からナノ　テクノロジーの基盤創生

世界のナノテクノロジーの潮流

2000年のクリントン大統領のナノテク政策

日本が生んで世界をリ　ードするアモルファス材料

1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

1950年代　増本特殊構造物質　科研費特別推進　研究　→ERATOへ　井上過冷金属

東北大増本教授等がアモルファス急冷薄帯を創製し、初めて機械的性質、結晶化過程を明らかにした

非晶質や新しい結晶構造を持つ非平衡物質、ナノ複合相や組織変調相など特殊な組織を持つ物質を創生し、産業につなげた。

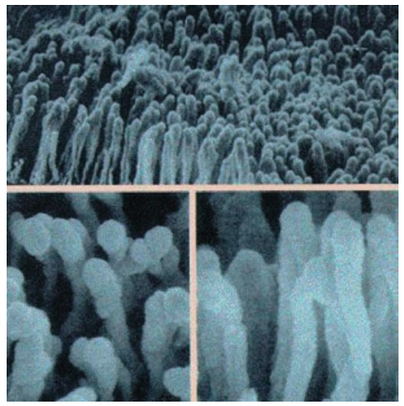
増本特殊構造物質プロジェクト　1981－1986

成果:アモルファスの薄膜化
ナノグラニュラー軟磁性

用途
- 高密度磁気記録媒体、高感度ガスセンサーなどへの応用
- 超微粒子としての触媒や高効率水素吸蔵材などへの応用
- セラミック、ポリマーなどとの複合化で新機能材への応用
  など

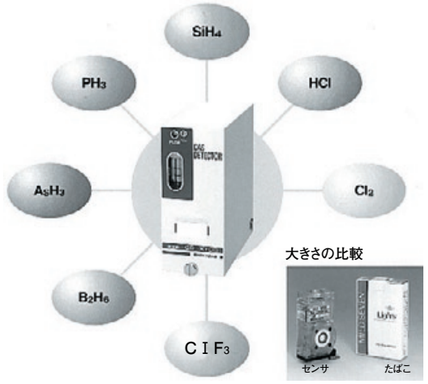
産業応用:垂直高密度磁気記録、ガスセンサ、高感度磁気センサ、(小型各種車載センサ)

応用分野:ナノ結晶分散合金、ナノ結晶軟磁性合金→GMR磁気ヘッド、MI素子、光磁気記録



▲アモルファス金属微粒子の電顕写真

イオン化したアルゴンガスで基板をエッチングする手法で直径1000Å程度のアモルファス金属微粒子を作成。高密度磁気記録媒体などへの応用が期待されている。



▲超小型ガス検出器

高触媒能を持つアモルファス超微粒子膜を内臓した毒性ガス漏洩検出器として半導体・液晶工場、石油化学工場などの環境維持に役立っており、世界の約60%の占有率をもっている。

金属ガラス発見

「バルク金属は結晶相に限られる」の常識を打ち破り、次々に高機能バルク金属ガラス材料を創生し世界規模で研究分野を築いた。

科研費特別推進研究　1994－1997

井上過冷金属プロジェクト　1997－2002

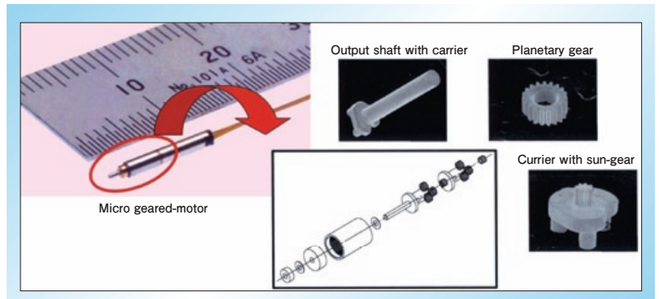
成果:過冷金属の安定構造の解明、
Fe系、Ni系、Co系等多くの合金を創出

産業応用:光学・光通信用部品、電気部品、精密研磨部品、スポーツ部材

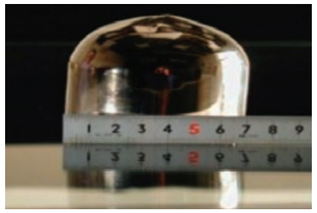
NEDO応用研究

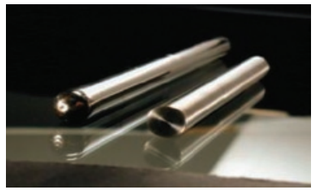
産業応用例:カテーテル用世界最小モータ、
車載高性能圧力センサ、車載スプリング、等

金属ガラスのセンサ市場規模
1600億円／世界・2005年



世界最小の高トルクギアードモータ
直径1.5mm、長さ9.4mmのモーターと金属ガラス製高強度微小精密構成部品





金属ガラスの塊状と成型品

拡大を続けるアモルファス・金属　ガラス市場　一兆円、(現在)

完全結晶の上に築かれた　日本発の独創的なデバイス群

1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

西澤完全結晶プロジェクト 1981−1986

西澤テラヘルツプロジェクト 1987−1992

ERATOは夢の実現の場となった

① 静電誘導トランジスタ(SIT)

- SITの提案（西澤1950年）
- 理想型 SITの提案（西澤1972年）

薄い電位障壁でキャリアの流れを制御する素子構造。理想型では電子は散乱なしに走行し超高速動作可能となる。

② 完全結晶技術

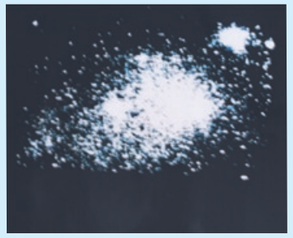
- 蒸気圧制御温度差ー液相エピタキシャル成長法の開発：高蒸気圧成分の組成の精密制御と一定の温度環境下での成長によって結晶高品質化を達成。
- 超高輝度赤色発光ダイオードの実現2000mcd（1983年）

③テラヘルツ応用

- タンネットダイオードの提案（西澤1958年）
- 半導体ラマンレーザの提案（西澤1963〜65年）

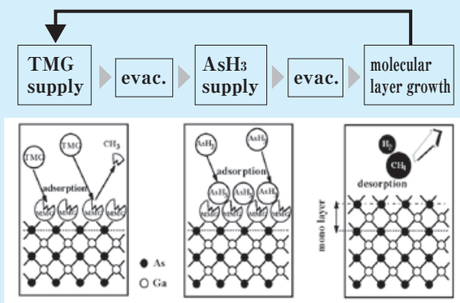
完全結晶成長技術と各種SIT素子の開発

SIサイリスタ:
99%超の高効率変換と
高速スイッチング



SITフォトセンサー:
ジャコビニ彗星群の観測

光励起分子層エピタキシャル成長法（MLE）:
超高速デバイス製作の基本技術として、紫外光を照射し1分子層ずつ堆積する完全結晶薄膜形成法に初めて成功。

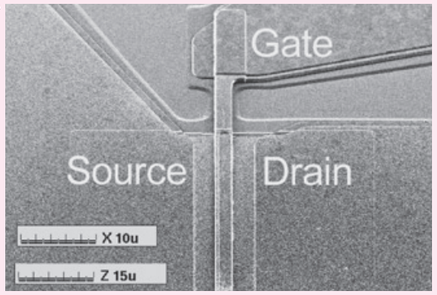


▲MLE概念図

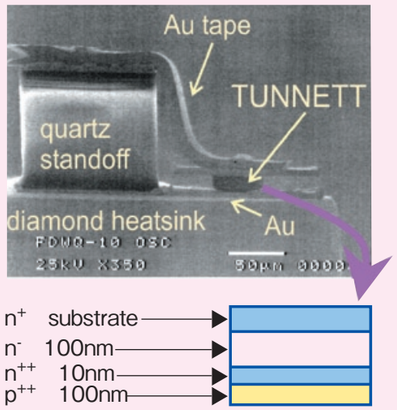
- GaPラマンレーザの発振に成功（1979年）
- ストークスラマン効果による12.7THzの発生（1983年）

未踏のテラヘルツ帯のための基幹技術の開発

理想型SIT（MLEを適用）:
テラヘルツ増幅用素子



タンネットダイオード（MLEを適用）:
0.7THzの発振を実現



$LiNbO_3$光変調素子、
およびラマンレーザ復調素子の実現

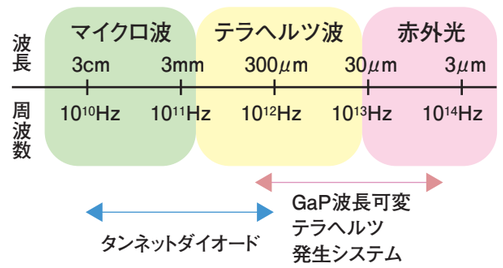
- GaP結晶応用・波長可変テラヘルツ発生システム 0.3〜7THzの発振に成功（2003年）
- ラマン波長選択増幅器

SIサイリスタは省エネの切り札

地球上の未利用の水力、太陽エネルギーは直流超長距離送配電と99%超の高効率の直交変換器により利用可能となる。また、交流の高周波化により電気機器の小型化が図れる。SIサイリスタは地球温暖化防止に大きな寄与ができる。

テラヘルツ波は近未来の重要な技術分野

1）ブロードバンドネットワークの無線通信
2）テロ対策の隠匿物の簡便・安全な透視検査法
（爆発物、感染症病原菌、規制薬物など）
3）バイオメディカル
（生体高分子分析、癌のイメージングなど）



量子デバイス、量子情報で　世界に先駆ける大いなる系譜

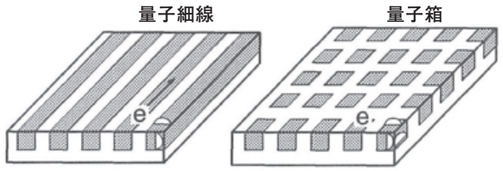
1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

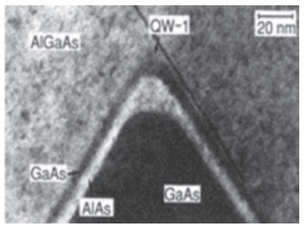
榊量子波　山本量子　ゆらぎ　樽茶多体相関場　今井量子計算機構

自ら提案した量子構造を形成する技術を開発し、デバイス化の可能性を示して、この分野の端緒を開いた。

榊量子波プロジェクト　1988−1993

★半導体超格子における閉じこめの次元を進め、量子細線、量子箱（ドット）構造とし、波動性を高める概念は1974年総括責任者自身により提案された。プロジェクトでは、エピタキシー技術やエッチング技術の高精度化、また有機分子の活用などによって、これら量子構造をナノメートル寸法で形成する技術を開発した。

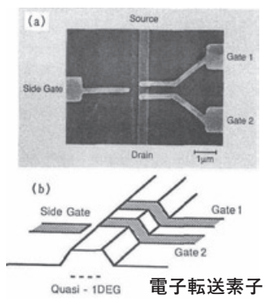




リッジ型量子細線構造の断面TEM像

★作製した量子構造の電気・光学特性を評価して、電子の閉じこめ状態を実証した。さらに量子細線トランジスタや電子転送素子、電子波共鳴効果トランジスタなどを試作して新機能デバイスの可能性を示した。

★本プロジェクトの結果、量子構造に対する内外の関心が高まり、研究が活発化した。量子構造の形成技術、物性解明、および応用展開が急進展を遂げている。



電子転送素子

量子論の基礎の実験的検証と光子・電子・原子を量子レベルで制御する新概念の創出と実証を行った。

山本量子ゆらぎプロジェクト　1993−1998

★スクイーズド光半導体レーザの開発
通常のレーザでは、波動の振幅（光子数）と位相は不確定性の関係にあり、制御不能なゆらぎを含み、微弱光を応用する上で大きな問題となる。ゆらぎを人工的に再配分して、振幅ゆらぎの極端に小さな光（スクイーズド光）を安定に発生するTJSレーザの作製に成功した。

半導体レーザの量子ゆらぎを抑圧するメカニズム

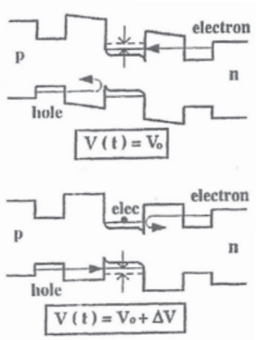
・パウリの排他律→電流ゆらぎの抑圧
・クーロンブロッケード→電子注入ゆらぎの抑圧
・アインシュタインの自然放出／誘導放出係数→位相ゆらぎの増強

▶ 振幅スクイーズド光

★単一光子ターンスタイル素子
半導体のp-n接合を含む量子ドットを、電子ビームリソグラフを用いて作成し、引加電圧周期のタイミングで、単一の電子と空孔を注入・再結合させ、単一光子1つずつを規則正しく発生する装置の開発に成功した。単一光子を規則的に発生できる装置は量子情報処理のキーデバイスとなる。

★単一光子を90％以上の高効率で読みとれる、高感度なSi固体光検出システムを開発した。量子暗号技術のキーデバイスとなる。

★液体の核磁気共鳴（NMR）量子コンピュータの概念を固体結晶に拡張し、Si結晶格子コンピュータの概念を生んだ。



ターンスタイル素子の原理

量子ドットの電子数を精密に制御できる人工原子・分子の実験系を創出し、電子スピンによる情報処理の基礎を築いた。

樽茶多体相関場プロジェクト　1999−2004

★一個の量子ドット（人工原子）を内包する素子（図1）。ゲート電圧を増減するとトンネル電流が流れ、人工原子中の電子数を一個ずつ変えられる。電子の殻状構造とフント則が成り立つことを見いだした。

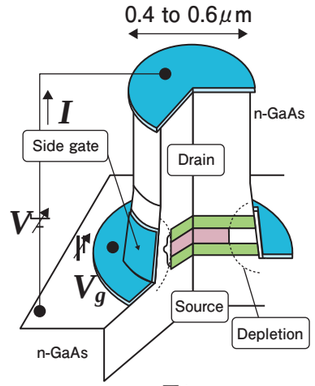
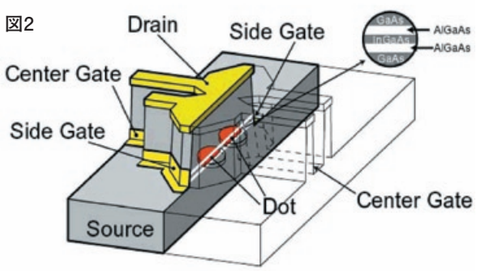


図1

★人工原子を二個並列に配置した水素分子型2重ドット素子（図2）では、それぞれのドットの電子数を独立に制御し、ドット間のトンネル結合を制御できる。量子計算における量子ビット作製に有用な素子となる。

図2



★単一電子スピンの読み出し実験に初めて成功した。スピンの方向でゼーマンエネルギーが異なることを利用し、ドット中の電子数変化に変換して、電荷計で検出した。

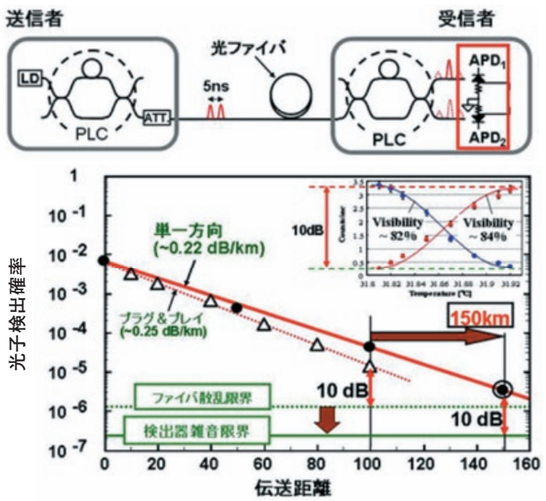
★これらの結果から、量子情報処理のための素子として量子ドットのもつ可能性が明らかになった。

量子計算・量子通信の本格的実現に向けアルゴリズムの研究と実験的研究を実施し、日本発の研究センターとして世界に存在感を示した。

今井量子計算機構プロジェクト　2000−2005

★情報科学の基礎理論
- 量子計算が古典計算を凌駕する可能性を探求するため様々な量子アルゴリズムの開発を行った。
- ネットワーク接続された量子計算機同士が、中心となる計算機（リーダー）を決定する問題「リーダー選挙問題」について、極めて一般的な条件の下、確率1で問題を解くアルゴリズムを提案した。
- 量子情報分野の未解決の問題、「加法性問題」について大きな貢献をした。

★量子暗号鍵配布
- 通信波長帯における光子検出器を開発し、従来比一桁以上性能を向上することに成功した。
- 上の光子検出器を用いて、エンタングルした光子対の基礎的評価を行い、世界最長距離150Kmの光子伝送にも成功した。また、実用性の高い量子暗号鍵配布装置も開発し、商用架空光ファイバ16.3Kmを用いてフィールドテストを行い、14日間の連続動作に成功した。



一方向量子暗号システムと伝送特性

発想の転換が生んだ　材料技術のフロンティア

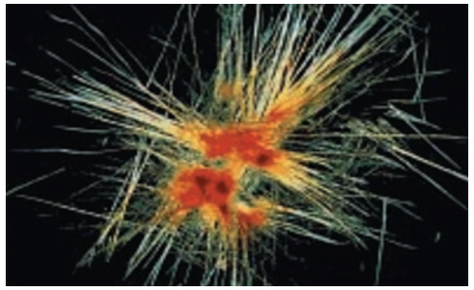
1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

緒方ファインポリマー　平尾　誘起構造　細野透明電子活性　小池フォトニックスポリマー

高分子有機化学の手法を駆使して、高度な付加価値を持った高分子材料を次々に世に出した。

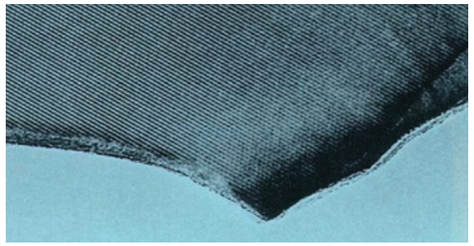
緒方ファインポリマープロジェクト　1981ー1986

ポリマーに力学的機能、分離機能及び電気的機能など特異な機能を付与することにより、高度な付加価値を持った高分子材料を生み出した 。



▲フェノール型ポリマーの偏光顕微鏡写真

π電子の縦共役を主鎖の一部に取り込む発想で、高伝導度と結晶性を有するユニークな世界初のシクロファンポリマーの合成に成功した。



▲グラファイトフィルムの電子顕微鏡写真

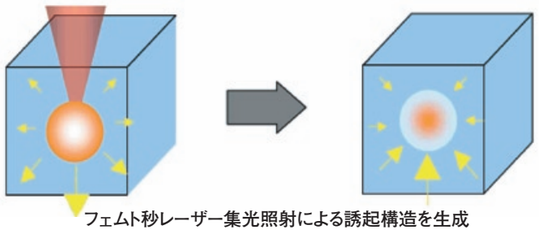
世界で初めて完全グラファイトフイルムを作成することに成功した。鉄やアルミを上回る伝導度を有し、放熱素子、スーパーグラファイト振動板、X線光学素子などが事業化されている。

★その後、この研究は吉村パイ電子物質プロジェクトに引き継がれてさらに展開した。研究ノウハウは電解重合ポリマーの開発に活かされ、現在、「機能性高分子コンデンサー」として、携帯電話用などに使われ、売上規模百億円／年の事業に成長している。

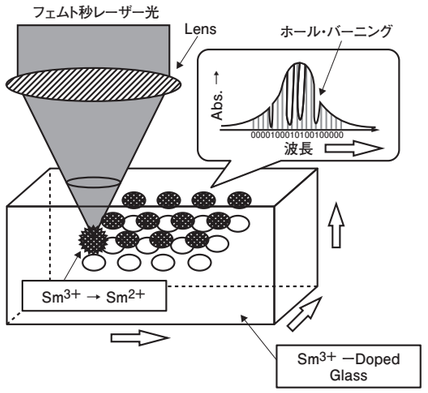
ガラスの持つ構造を積極的に利用し、電磁場、光刺激を外から与え今までにない様々な誘起構造物質を創生した。

平尾誘起構造プロジェクト　1994ー1999

フェムト秒パルスレーザー光をガラスに照射することによって、ガラスの任意の位置に超短寿命ならびに永続的な電子、原子、微粒子やファイバー状の誘起構造を生成させることに成功した。ガラスが超多量の光情報を超高速処理するための優れた機能材料となることを示して、光情報処理材料の科学技術を画期的に発展させる確固とした基礎を築いた。



フェムト秒レーザー集光照射による誘起構造を生成



▲フェムト秒パルスレーザ光をガラス内部に集光照射することにより、光導波路、光メモリ、波長変換など様々な光機能を持つ三次元素子が得られる。

★大容量光記録デバイス

★超高速光誘起光スイッチ

★フェムト秒レーザー有機による光導波路形成

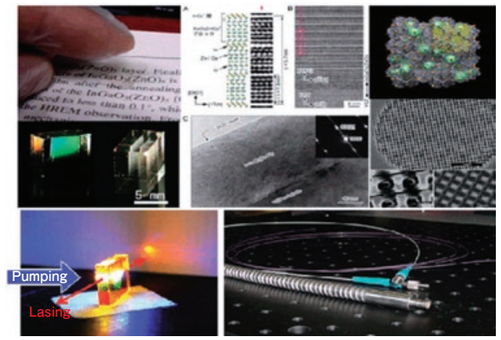
酸化物の結晶構造に由来する電子状態の制御をおこなって、透明酸化物エレクトロニクスの新しいフロンティアを世界に先駆けて開拓した。

細野透明電子活性プロジェクト　1999ー2004

酸化物のもつ光学的透明性という本来的な特徴を生かしつつ、そのアクティブな電子機能を探求することを目標に研究を行い、層状化合物、ナノポーラス化合物など自然ナノ構造を内蔵する化合物に着目して材料の探索を行い多くの新規機能性化合物を見出すことに成功した。

★天然資源としてありふれた物質からなるアルミナセメントの構成成分である$12CaO \cdot 7Al_2O_3$（C12A7）が、ナノポーラス結晶であることを明らかにし、水素雰囲気下で熱処理することで通常の絶縁体特性から電子伝導性に変えて、透明半導体とすることに成功した。（Nature、2002）

★この結晶の中の自由酸素イオンを全て電子で置き換えて「エレクトライド」とすることに成功したが、これは空気中、室温で安定な画期的な物質である。これを冷電子放出源として用い電解放射型発光デバイスを試作した。（Science、2003）



▲細野透明電子活性プロジェクトの成果

左図:（上）透明酸化物TFT
（中）透明酸化物内部に記録された回折格子
（下）LiF中に形成されたDFBレーザー
中図:反応性固相エピ法で育成した$InGaO_3(ZnO)_5$単結晶薄膜
右図:（上）C12A7エレクトライド
（中）フェムト秒レーザーによる周期ナノ構造
（下）深紫外光ファイバ

「フォトニクスポリマー」という新たな領域を世界に先駆けて拓き、光・情報産業に大きなインパクトを与えた。

小池フォトニクスポリマープロジェクト　2000ー2005

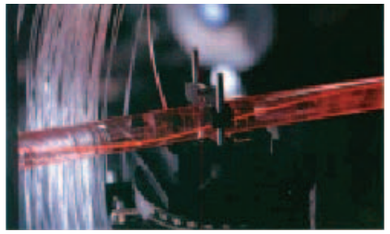
新しい機能を有するフォトニクスポリマーを創造することを目指し、ポリマーの分子構造はもとより光との相互作用に関して、高次構造制御まで深く研究を進め、新機能ポリマー製品を世に送り出している。

★ポリマーの不均一構造を制御することで、光を効率よく特定方向に散乱させる検討を行い、高輝度光散乱導光ポリマーを開発した。液晶表示用のバックライトの導光板として製品化されている。

液晶表示用のバックライトの導光板

★分極異方性を有する低分子を添加することにより、光の複屈折を打ち消し合うゼロ複屈折性光学ポリマーを開発した。これにより、LCD用パネルの製品化や、従来の高精度なガラス製光学レンズやプリズムに置き換わりうる光学特性を持つポリマー材料を創出できた。

★ポリマーの不均一構造が数十ミクロン以上になると光散乱現象は生じないで、光の波面はファイバー内の屈折率分布（GI）に従って蛇行して進む。高速屈折率分布型ポリマー光ファイバーとして広帯域、高速通信用に製品化されている。



高速GI型プラスチック光ファイバー

ERATOが生んだ次世代　の有機ファインケミカル

1980　1985　1990　1995　2000　2005　2010

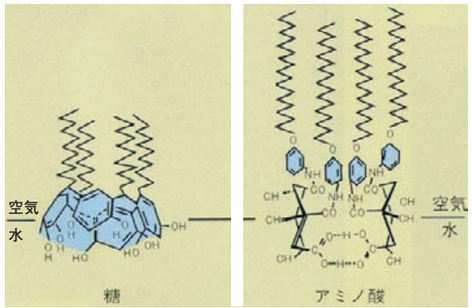
国武化学組織　新海包接認識　野依分子触媒　相田ナノ空間

国武化学組織プロジェクト　1987−1992

界面における分子の分子認識・自己組織化に成功、次世代の分離技術や機能分子膜合成の道を拓いた。

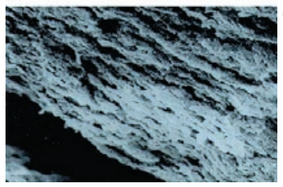
- 水面単分子膜への水素結合性官能基導入 → 生理活性物質の選択的結合・分子認識
- 界面における分子鋳型法 → 超薄膜（ナノコーティング）の合成

産業などへの応用
- 表面コーティング・エレクトロニクス材料
- ドラッグデリバリーシステム
- 酵素・たんぱくの固定化



▲糖やアミノ酸などの生理活性物質を水溶液から取り出すことができる単分子膜の化学構造

(a)フィルム外観（フィルム厚み:20μm）

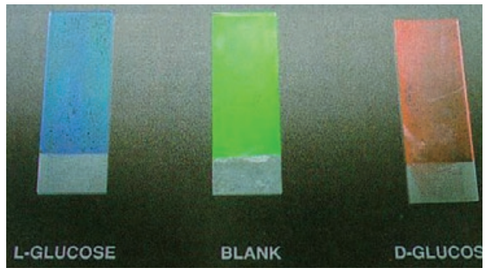


(b)SEM断面写真

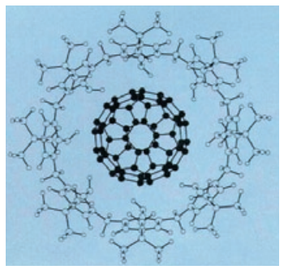
ナノメータレベルの超薄膜からなる多層膜状のシリカアルミナフィルム

新海包接認識プロジェクト　1990−1995

ゲスト分子のホスト分子による包接（分子の取り込み）によって分子認識に成功、次世代のセンシング技術、精製技術への道を拓いた。



▲液晶の色変化を利用する糖の識別



カリックスアレーンに包接されたサッカーボール分子C_{60}

大環状化合物カリックスアレーンをホストに利用、異なるサイズの環のホストを合成、官能基を導入。

金属イオンや光学活性分子などを選択的に包接、識別

《成果》
- フラーレンの精製法を解明
- ナノテクノロジーを支える新素材

《用途》
電磁気光学、医療、化学、スポーツ、エネルギー分野など幅広い

《成果》
- ナトリウムイオンの高選択性捕捉システム、検知システムの開発に成功

野依分子触媒プロジェクト　1991−1996

キラル（人の右手と左手の関係のような2つの結合の仕方）分子の一方のつくりわけに成功、新しい合成化学の流れを作った。

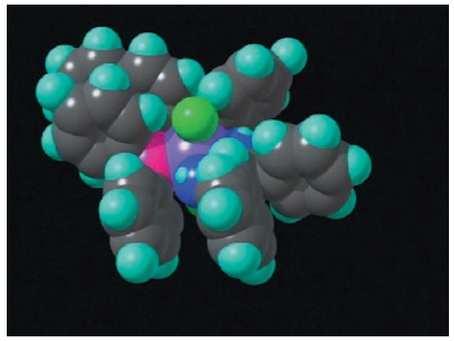
（キラルな金属錯体の分子触媒機能）

- BINAPジアミンルテニウム触媒の開発 → カルボニル化合物の不斉水素化に成功
- アレーン・ルテニウム触媒の開発 → ケトン類・イミン類の不斉水素移動型還元に成功

医薬品、香料、農薬、ファインケミカルなどの製造に大きく寄与し、合成化学の世界に衝撃的なインパクトを与えた。

2001年ノーベル化学賞受賞に輝く。
受賞理由「キラル触媒による不斉反応の研究」

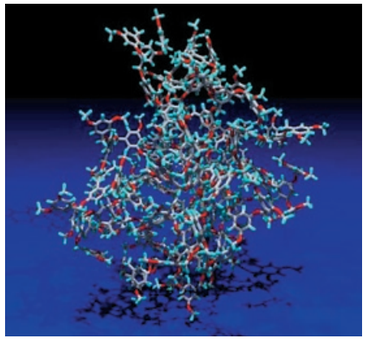
日本の化学研究のレベルの高さが示された。

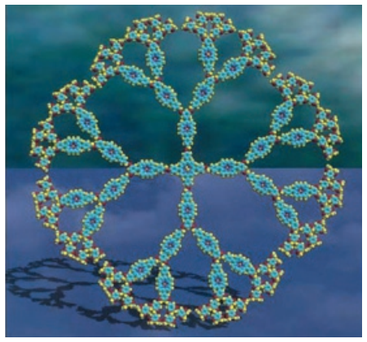


▲BINAPジアミンルテニウム触媒分子

相田ナノ空間プロジェクト　2000−2005

デンドリマー（樹状分岐高分子）のナノサイズ空間に分子を取り込む新しい手法により、特異な新機能の発揮に成功した。





デンドリマー（樹状分岐高分子）のナノサイズの空間に分子を取り込み、特異な孤立状態を実現。

分子単独状態とは異なる特異な化学反応性、発色性などの発揮に成功。

ナノ空間を利用したドラッグデリバリーシステム、人工抗体、光エネルギー変換、分子デバイス、などの可能性を拓いた。

生物とは、きわめて柔軟で適応性に富んだ省エネ型の分子機械システムである。筋肉など種々の分子モーター、酵素・シグナル伝達系などの超分子ナノマシンが、それを支える。1分子イメージング、ナノ計測技術をはじめERATOで開発、発展した多彩なイメージング技術が超分子ナノマシンの秘密を解き明かしつつある。生命現象の解明、医療・創薬への活用、バイオとナノテクの融合による新たな材料科学、エレクトロニクスへの展開にも大きな期待がかけられている。

バイオナノマシン　ーERATOが解き明かした生命の超分子

1990　1995　2000　2005　2010

宝谷超分子柔構造

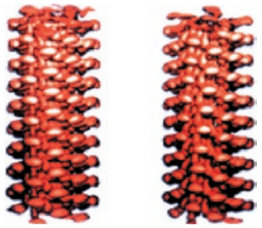
柳田生体運動子

難波プロトニックナノマシン

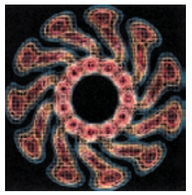
吉田ATPシステム

宝谷超分子柔構造プロジェクト　1986ー1991

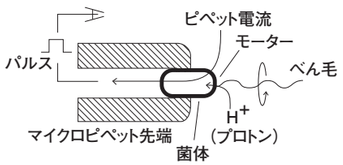
X線回折法や電子顕微鏡の技術開発により、細菌べん毛研究に新たな発展の道を拓いた。べん毛繊維の立体構造の解明、電位差制御によるべん毛回転の加速・減速操作などに成功した。



▲左巻き、右巻きべん毛の2nm分解能での立体像



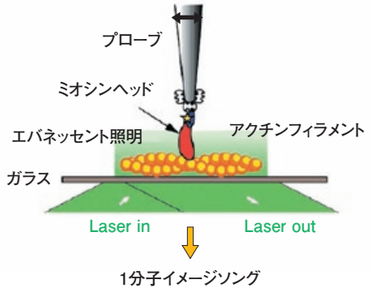
▲断面図



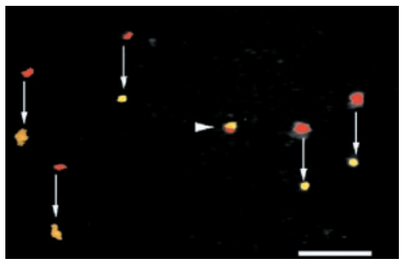
マイクロピペット先端にサルモネラ菌を捕捉し、ピペットに加える電圧を変えることにより、べん毛モーターの回転制御を実現した。

柳田生体運動子プロジェクト　1992ー1997

1分子イメージング、ナノ計測技術を開発し、タンパク質1分子間に働く力をナノメートル、ピコニュートンレベルで初めて計測。超分子ナノマシンが「ゆらぎ」を利用した柔軟な機械であることを示した。



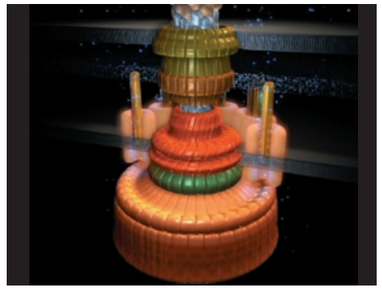
プローブで捕足したミオシンと固定したアクチンを相互作用させ、発生する力を測定する。



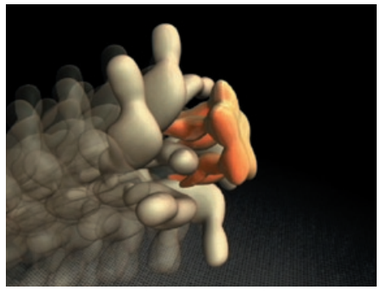
捕捉したミオシンは顕微鏡のステージを移動しても動かない。

難波プロトニックナノマシンプロジェクト　1997ー2002

極低温電子顕微鏡とX線回折法を組み合わせた解析法の開発などにより、べん毛の構造、機能を原子レベルで解明。べん毛らせん構造のスイッチ機構、べん毛先端のキャップ構造の仕組みを明らかにした。



▲膜に埋め込まれたべん毛モーター基部

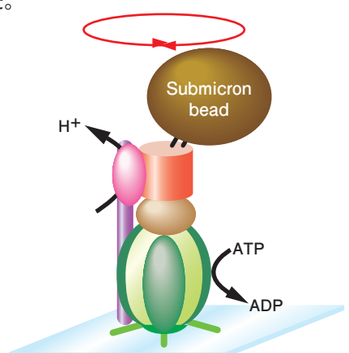


▲べん毛先端のキャップ構造

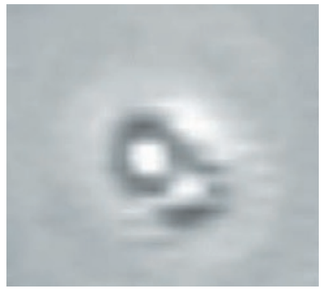
キャップ構造が、べん毛内部を先端まで運ばれてきたフラジェリン分子を次々に並べ、べん毛を伸ばしていく。

吉田ATPシステムプロジェクト　2001ー2006

ATP合成酵素が回転分子モーターであることを実証した成果を発展させ、回転と触媒反応の対応を明らかにし、植物細胞のATP合成では、還元力を利用した制御の実体を解明した。



▲ガラス上に固定したATP合成酵素1分子の回転を結合微小ビーズで観測



▲毎秒3〜6回転する様子を位相差顕微鏡（CCDカメラ）でとらえた。

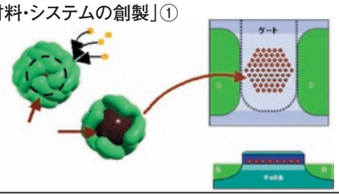
ERATO以外での主なナノバイオ研究の動き

CREST

1995〜2002「生命活動のプログラム」

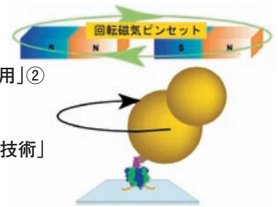
2002〜2007「医療に向けた 自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」①

生体分子の持つ構造の均一性、生物無機材料析出の能力などを利用し、ナノメートルサイズの電子デバイスを試作（山下一郎・松下電器先端技術研究所主幹研究員等の研究から①）



2002〜2007
「ソフトナノマシン等の高次機能構造体の構築と利用」②

2004〜2011
「生命現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」



磁性ビーズを付けたATP合成酵素のモーターを人為的に回転させATPを合成（伊藤博康・浜松ホトニクス筑波研究所専任部員等の研究から②）

ICORP

1998〜2002　「一分子過程」（日ー伊）

2002〜2007　「超分子ナノマシン」（日ー米）

文部科学省（JST以外）

キーテクノロジー研究開発の推進

（バイオナノテクノロジー研究拠点の形成）

2005〜2010　「ナノバイオ・インテグレーション研究拠点」（東京大学）

2005〜2007　「生命分子の集合原理に基づく分子情報の科学研究ネットワーク拠点」

リーディングプロジェクト

2003〜2008　「ナノテクノロジーを活用した新しい原理のデバイス開発」

特別推進研究

2004〜2009　「一分子生理学による生体分子機械の動作機構の解明」

特定領域研究

2003〜2007　「マイクロ・ナノバイオメカニクスの開拓」

2004〜2009　「生体ナノシステムの制御」

ERATO 研究総括に寄せられる世界的評価

ERATO 研究者・審良静男氏　2003 − 2005 年論文　被引用世界一に

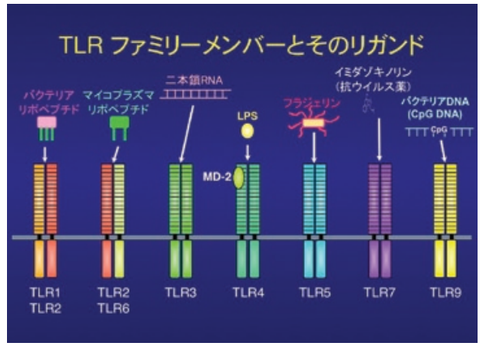
2006 年 2 月、学術情報会社トムソン・ロイターは、2003-05 年に書かれた世界の学術論文の中で、被引用回数がもっとも多い論文を書いた研究者は、審良（あきら）静男大阪大学教授だったと発表しました。同社のプレスリリースによると、調査は 2003 年 11 月から 2005 年 10 月に有力学術誌に掲載された論文が 2005 年 9 月から 10 月の 2 ヶ月間にどれだけ多く引用されているかを集計したもので、分野別に上位 0.1％に入った論文を研究者ごとに積算したところ、審良教授の場合は、11 本の論文が最高 61 回引用され、“ホットな研究者 (hottest researchers)” として世界一となりました。審良氏は 2010 年まで 4 年連続で “ホットな研究者” としてベスト 10 にノミネートされており、世界にインパクトの強い研究成果を与え続けています。被引用回数の多い論文は、質的にレベルの高いものとして客観的な評価を得たことを意味し、同じ分野の研究者に対する影響力はきわめて大きいものと言うことができます。

審良 静男
（大阪大学免疫学フロンティア研究センター 拠点長／大阪大学微生物病研究所 教授）

免疫学への新たな潮流 ～外敵の認識に関わる Toll-like receptor のシグナル伝達経路の解明

人を含む様々な生き物は、体を守るために免疫という仕組み持っている。免疫には大きく分けて、自然免疫と獲得免疫の2つの仕組みが知られている。獲得免疫は、哺乳類などの高等な生き物だけが持っている仕組みである。獲得免疫では、体にとって外敵とみなされるような異物やウイルス、細菌を有効に阻止するための「抗体」が作られる。抗体は特定の異物を見分け、非常に強く結合し、効率よく排除する。一方、自然免疫は哺乳類のみならず広く様々な生物に備わった基本的な免疫の仕組みである。現象としては100年以上も前から知られていたが、免疫学において長らく重視されてこなかった。自然免疫も体を守るためには重要な仕組みだが、非特異的免疫とも呼ばれ、特定の異物を見分けることなく、大まかに体を守る程度の「単純な反応」であって、哺乳類などの高等動物においては獲得免疫成立までの一時しのぎとして考えられてきた。

審良教授は、細胞膜にあるタンパク質 Toll-like receptor（TLR､トル様受容体）が､自然免疫において､センサータンパク質として病原体の構成成分を特異的に識別・認識していることを明らかにした。加えて、各種 TLR が異なる病原体構成成分を識別し、これを免疫細胞に伝達する仕組みの全体像を明らかにした（図参照）。さらに TLR により病原体が認識されることが、獲得免疫が動き始める引き金として重要であることも見出した。この成果は、自然免疫と獲得免疫の橋渡しのメカニズムがあることを示すものとして高く評価されている。審良教授の発見により、免疫学の考え方は大きく変更されたと言える。



ERATO 研究者・細野秀雄氏ら　2008 年論文　被引用世界一に

2009 年 3 月、学術情報会社トムソン・ロイターは、2008 年に書かれた世界の学術論文の中で、被引用回数がもっとも多い論文を書いた研究者は、東京工業大学応用セラミックス研究所・特別研究員 /JST 研究員の神原（かみはら）陽一氏（当時：現在は慶應義塾大学理工学部・専任講師）らの鉄系高温超伝導体の発見に関する論文だったと発表しました。上記発表当時の当該論文の被引用回数は 249 回と、第 2 位を 2 倍以上も引き離す結果となり（2010 年 11 月時点での被引用回数は、1,600 回を超える）、本発見の注目度の高さを示しています。

JST でも当該論文の発表（2008 年 2 月）の直後から、本発見の重要性にいち早く注目し、国内および国際シンポジウムの開催（2008 年 6 月）や、研究課題の公募などを行いました。公募を経て採択された 24 の研究課題は、研究領域「新規材料による高温超伝導基盤技術」（Transformative Research-project on Iron Pnictides: TRIP）において総合的な研究推進がなされるとともに（研究総括：福山秀敏　東京理科大学・副学長、研究期間：2008 年 10 月 から 2012 年 3 月まで）、細野教授を中心研究者とする最先端研究開発支援プログラム「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」等との連携を深め、我が国発の技術シーズのさらなる発展・加速に努めています。

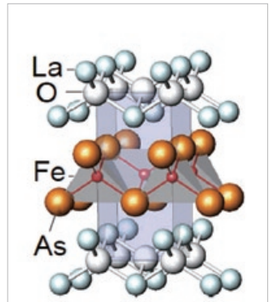
細野 秀雄
（東京工業大学フロンティア研究機構 教授）

高温超伝導材料の新鉱脈の発掘 ～新系統の高温超伝導物質（鉄を主成分とするオキシニクタイド化合物）の発見

超伝導は、ある温度（転移温度）以下で、電気抵抗がゼロになる現象である。その発見は 1911 年、オランダの物理学者カメリン・オンネスが、水銀を極低温まで冷やしてゆくと電気抵抗がゼロになる現象を見つけたことに遡る。強力な電磁石や低損失送電、低損失電子デバイスへの応用が期待される中、より高い転移温度を示す材料の探索が進められてきた。その結果として、細野教授らの発見までは、超伝導物質は大別して、金属系物質と銅酸化物系物質に大別される（図1）というのが、関連研究者の間での常識になりつつあった。

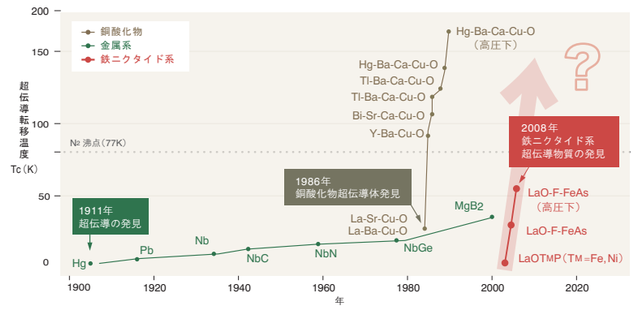
細野教授らが発見した新高温超伝導物質 LaFeAs(O,F)（鉄を主成分とするオキシニクタイド化合物）は、新たに見いだされた第3の超伝導物質系で、電気絶縁性である La(O, F) 層と金属的伝導を示す FeAs 層が交互に積層された結晶構造を持つ層状化合物である（図2）。LaOFeAs そのものは、低温にしても超伝導を示さないが、酸素イオンの一部をフッ素イオンで置換することで超伝導を示すようになる（フッ素イオン濃度が 11 原子％の時、最大転移温度は 26 ケルビン）。

本発見後、中国の研究グループらによって、LaFeAs(O, F) と同じ結晶構造を持つ多くの類型化合物群における超伝導の報告（現在の転移温度レコードは 56 ケルビン）や他の結晶構造群における超伝導の報告が報告され、今後さらなる新超伝導物質発見などに繋がる可能性も期待されている。



（図2）LaFeAs0 の結晶構造

（図1）超伝導移転温度の推移



Topics Ⅱ

ERATO 研究者・北川進氏　2010 年　トムソン・ロイター引用栄誉賞受賞

2010 年 9 月、学術情報会社トムソン･ロイターは、「トムソン・ロイター引用栄誉賞」の化学分野で北川進京都大学 iCeMS 副拠点長・教授を選出しました。

「トムソン・ロイター引用栄誉賞」は、過去 20 年以上にわたる学術論文の被引用数に基づいて、物理学、化学、医学・生理学、経済学の各分野の上位 0.1 パーセントにランクする研究者の中から特に注目すべき研究領域のリーダーと目される研究者が選ばれています。2002 年に賞の発表を恒例化してから昨年まで、本賞にノミネートされた研究者のうち 15 名が実際にノーベル賞を受賞していて、2010 年もノミネートされた研究者 2 名がノーベル物理学賞を実際に受賞しています。

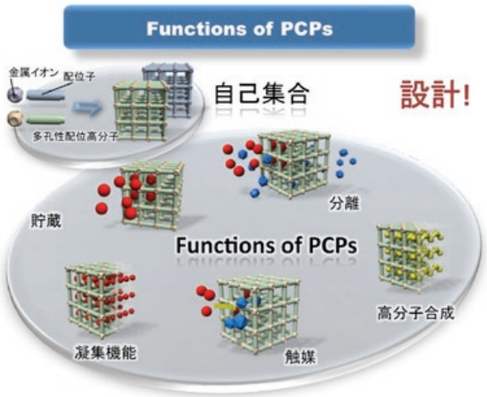
北川 進
（京都大学物質 - 細胞統合システム拠点 副拠点長）

金属錯体の新たな展開 ～多孔性金属 - 有機骨格の合成法および機能化学の開拓

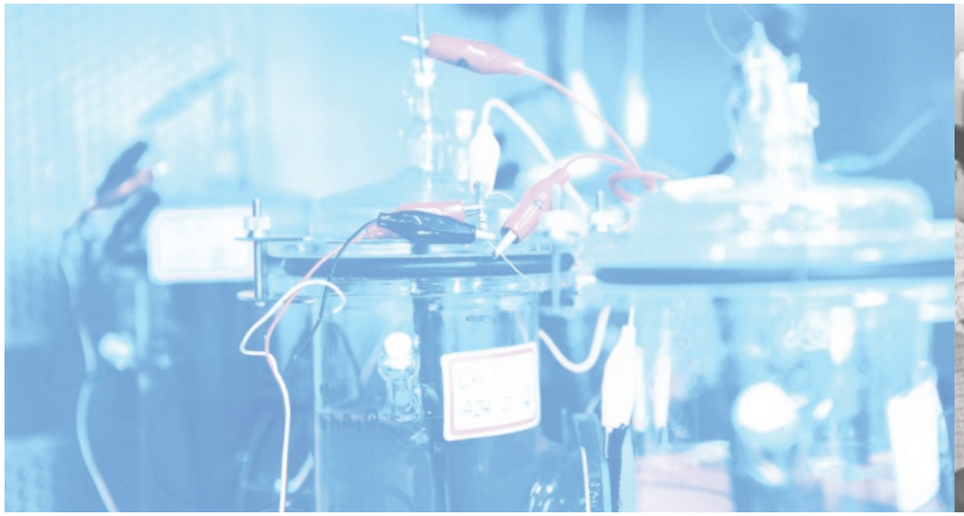
「多孔性配位高分子」（PCP）は、構造の中に規則的なナノスケールの空間を持った物質である。北川教授は、金属イオンの多面体的構造と有機化合物を用いて高分子骨格を形作り、従来実現できなかった分子レベルで均一なナノ空間や細孔構造を有する「多孔性配位高分子」の合成を可能にした。また、有機分子の「柔らかい」構造と金属イオンに由来する特性を組み合わせることによって動的性質をもたせた多孔性配位高分子の合成に成功した。これにより、導入される分子の種類に応答して、ナノ細孔の形や大きさを変化させる動的空間を創成することができるようになった。

「多孔性配位高分子」は、軽量で高い比表面積を持つ有機配位子と金属イオンの組み合わせをうまく選び、ナノ空間の大きさや形、性質をデザインすると、様々な機能を持たせることができると期待される。例えば、水素やメタンなどの重要なガスを選択的に分離・貯蔵・輸送できる材料としての応用である。

現在、世界中の多くの研究者によってユニークな性質・機能を持った多孔性配位高分子が生み出されている。これらの多孔性配位高分子は、化学工業・合成プロセスの低エネルギー化・高効率化をもたらす革新的機能性材料群として位置づけられるようになり、その動向に研究者のみならず、産業界も熱い視線を注いでいる。北川教授の研究を契機に、世界中の多くの研究者を巻き込み新しい流れを築いた。



出典：トムソン・ロイタープレスリリース 他



ERATO という宝物

「世界第２位でなぜ悪いのか？」という問いかけは、残念ながら、現在の日本社会においてはなお、正しい問題提起と思われているのが現実であろう。一般国民は、たとえ21世紀に入ってから毎年１人のペースでノーベル賞受賞者が出ようとも、またここ15年のイノベーションのほとんどすべてが日本発であろうとも、日本の科学や技術は遅れていて、なお“西欧を追いかける国”だと妄信しているからだ。

だから、科学研究費の出し方もまた、世界が真似しようとしている優れた手本を編み出した、と言っても誰も信じない。しかし、創造科学技術推進事業（現在の戦略的創造研究推進事業）こそ、まさに画期的・歴史的な新制度だった。それは約30年の成果･実績がすべてを語っているのだが､制度として見ると２つのポイントがある。１つは研究テーマでなく研究者個人に焦点を絞ったこと、もう１つは民主的制度の隘路・欠点をカバーしたことである。

ERATO方式は、発足当時からすでに世界から注目されていた。スタートから数年も経たずして、米国科学財団（NSF）が日本に大調査団を送り込み、１週間にわたって徹底的に調査・研究したことがあった。支援メンバーのほぼ全員から詳細なヒアリングをし、実施場所である地方都市へも足を運んだ。これをすぐに真似たのがハワード・ヒューズ医学研究所だ。ここはアメリカの民間組織である。

なぜテーマでなく人なのか。研究テーマに助成するということは、それ以外にお金を使ってはいけない、という意味になる。しかし、個人に助成することにすれば、研究の中で生まれた新しい課題に挑戦してよい、ということになるのだ。新たな発見が次なる課題挑戦に結びつくのは、科学技術分野ではほとんど常識であろう。それをストップしなければ、より挑戦的な研究成果が期待されるのは自然だ。

しかし、民間団体ならともかく、公的機関がこうした制度を採用するのは簡単ではない。そもそも税金の交付先を一人の人物にゆだねてよいのか、という反対論が出るからだ。だから四半世紀がたっても、米国立衛生研究所（NIH）などでは希望を持ちつつも実行に踏み出せないでいる。ところがERATOは勇敢にも、このハードルを越えてしまったのだった。

最大のモチベーションは、科学者の方ではなく、科学技術政策の専門家の方にあった。「独創的な科学技術こそが、長い目で見れば大きな国益になる」という動かしがたい事実を、いかに政策として実現したらよいのか。具体的に言えば「ピアレビューの限界」をいかに超えるか、だ。

論文の審査にせよ研究費の申請にせよ、科学や工学の世界における審査の基本原理はピアレビュー（専門家による評価）。高度な専門的知識が必要になる「選別」においては、素人の口出しは「百害あって一利なし」。本質を外してトンチンカンな話になりかねないからだ。そこで、対象になっている研究に最も近い専門研究者を複数選び出し、彼らに評価・判断をゆだねるのだ。

ピアレビューは最も合理的な審査方法であるとされ、世界中で採用されてきた。専門家の誠実性と民主的な公正さを前提にした選択方式でもある。しかし、民主的であるがゆえに、非冒険的、月並みな決定になる傾向が強い。

一方で、いくら手続きが民主的でも、その成果が問われるのは助成機関の宿命だ。特に公的資金の政策担当者は、税金の有効活用という責務もあって、成果を強く意識せざるをえない。プロである彼らは、ある意味で、科学者本人よりシビアに反応する面がある。革新的・画期的成果をめざすような場合、科学者にまかせておくと、十中八九、その種の可能性をもった候補が選ばれないのだ。ここが民主的方式の隘路である。あえて言えば、専門科学者でさえその重要性に気がつかないようなテーマでないと、新しい仕事は生まれにくい。

少なくとも、科学者の多数決的発想ではうまくいくはずはない。そこで採用されたのがERATO方式と言ってよい。それは、目利きと言われる人が影の主役・専門家となって、候補者を時間をかけて探し出し、詳しく調査し、その研究者の能力を見極め、候補に推薦する、あるいは申請書を出してもらう、という方式だ。

見かけ上、この方式は民主的というより、独断的と言える。しかし、審査・選択のプロセスに多くの時間をかけて、丁寧に選び出しているため、別の意味での合理性を備えている。政策担当者の中に専門家つまり目利きが養成され､しかも､ピアレビューの最大の問題､つまり「極端に尖った興味深い野心的テーマが選ばれにくい」という欠点を、はっきりと乗り越えているのだ。

いま､世界の潮流は「人選択方式」へと向かっている。日本のERATOは世界の30年先を進んできた、と言って間違いないと思う。科学技術の展開を見抜く専門家の育成も含めて、である。彼らを目利き、プロと呼ぶ。日本は諸外国の制度を学び、それを手本として取り込んできたが、逆に、成功例と見られ手本にされていることにも気がついていい。サクセスストーリーを世界が追いかけ始めている。

松尾義之（株式会社 白日社編集長）

ERATO

ERATO 109 研究プロジェクト

CONTENTS

研究プロジェクト		ページ
1981 − 1986	林超微粒子	32
	増本特殊構造物質	32
	緒方ファインポリマー	33
	西澤完全結晶	33
1982 − 1987	水野バイオホロニクス	34
1983 − 1988	早石生物情報伝達	34
1984 − 1989	掘越特殊環境微生物	35
1985 − 1990	吉田ナノ機構	35
	黒田固体表面	36
1986 − 1991	後藤磁束量子情報	36
	宝谷超分子柔構造	37
	稲場生物フォトン	37
1987 − 1992	西澤テラヘルツ	38
	古沢発生遺伝子	38
	国武化学組織	39
1988 − 1993	榊量子波	39
	増原極微変換	40
	水谷植物情報物質	40
1989 − 1994	外村位相情報	41
	青野原子制御表面	41
	池田ゲノム動態	42
1990 − 1995	木村融液動態	42
	永山たん白集積	43
	鳥居食情報調節	43
	新海包接認識	44
1991 − 1996	吉村パイ電子物質	44
	野依分子触媒	45
	伏谷着生機構	45
	岡山細胞変換	46
1992 − 1997	河内微小流動	46
	板谷固液界面	47
	柳田生体運動子	47
	吉里再生機構	48
1993 − 1998	山本量子ゆらぎ	48
	田中固体融合	49
	橋本相分離構造	49
	広橋細胞形象	50

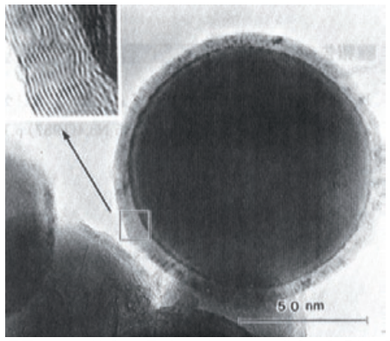
研究プロジェクト		ページ
1994 − 1999	高柳粒子表面	50
	平尾誘起構造	51
	山元行動進化	51
	高井生体時系	52
1995 − 2000	舛本単一量子点	52
	加藤たん白生態	53
	土居バイオアシンメトリ	53
	御子柴細胞制御	54
1996 − 2001	川人学習動態脳	54
	井上光不斉反応	55
	横山情報分子	55
	月田細胞軸	56
1997 − 2002	五神協同励起	56
	井上過冷金属	57
	難波プロトニックナノマシン	57
	堀越ジーンセレクター	58
1998 − 2003	大津局在フォトン	58
	北野共生システム	59
	楠見膜組織能	59
	近藤誘導分化	60
1999 − 2004	樽茶多体相関場	60
	横山液晶微界面	61
	細野透明電子活性	61
	黒田カイロモルフォロジー	62
2000 − 2005	今井量子計算機構	62
	相田ナノ空間	63
	小池フォトニクスポリマー	63
	関口細胞外環境	64
2001 − 2006	十倉スピン超構造	64
	中村不均一結晶	65
	吉田ATPシステム	65
	柳沢オーファン受容体	66
2002 − 2007	大野半導体スピントロニクス	66
	八島超構造らせん高分子	67
	審良自然免疫	67
	山本環境応答	68

研究プロジェクト		ページ
2003 − 2008	合原複雑数理モデル	68
	腰原非平衡ダイナミクス	69
	小林高機能性反応場	69
	前田アクチンフィラメント動態	70
2004 − 2009	金子複雑系生命	70
	中村活性炭素クラスター	71
	下條潜在脳機能	71
	加藤核内複合体	72
2005 − 2010	浅田共創知能システム	72
	上田マクロ量子制御	73
	岩田ヒト膜受容体構造	73
	長谷部分化全能性進化	74
2006 − 2011	下田ナノ液体プロセス	75
	十倉マルチフェロイックス	75
	宮脇生命時空間情報	75
	橋本光エネルギー変換システム	76
2007 − 2012	平山核スピンエレクトロニクス	76
	五十嵐デザインインタフェース	76
	前中センシング融合	77
	中内幹細胞制御	77
2008 − 2013	袖岡生細胞分子化学	77
	河岡感染宿主応答ネットワーク	78
	高原ソフト界面	78
	岡ノ谷情動情報	78
2009 − 2014	伊藤グライコトリロジー	79
	高柳オステオネットワーク	79
	四方動的微少反応場	79
	湊離散構造処理系	80
	中嶋ナノクラスター集積制御	80
2010 − 2015	彌田超集積材料	80
	香取創造時空間	81
	竹内バイオ融合	81
	東山ライブホロニクス	82
	村田脂質活性構造	82
2007 − 2012	北川統合細孔	83
2009 − 2014	末松ガスバイオロジー	83

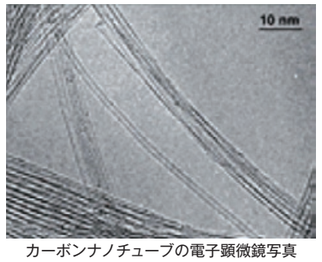
Hayashi Ultra-fine Particle Project

林超微粒子プロジェクト

■総括責任者 **林 主税**（日本真空技術(株)会長）
■研 究 期 間 1981年～1986年



グラファイト被膜でコーティングされたγ-アルミナの超微粒子



カーボンナノチューブの電子顕微鏡写真

■ 研究成果

核形成や成長のメカニズムを解明するために超微粒子作成に取り組み、超微粒子の基礎、物理的応用、生物化学的応用、生成法と合わせて、結晶学的、電磁的、光学的、熱的、そして触媒的特性等について研究を進め、超微粒子の特徴的な特性と合わせて、粒子サイズ、組成を制御する技術について先進的に研究を行った。

その結果、蒸発法による金の超微粒子やNi、Fe、Cu、Sn、Pb金属で平均粒径が40～200Åの孤立超微粒子の生成に成功した。この方法により生体適合性を持ち、医薬、生物応用に使える高分子でコーティングした新しい超微粒子の製造が実用化になった。

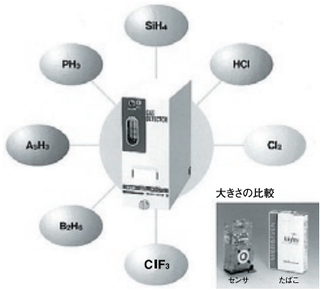
■ プロジェクト後の展開、波及効果

当時プロジェクトで採り上げられたアイデアと研究と基盤技術開発により、カーボン系ナノ粒子、ナノ粒子触媒、インクジェット用インク、CO_2微粒子ジェットによる表面清浄化、レーザアブレーションによる誘起高分子ナノ粒子生成、リガンドを付着させた有機被膜とそのコアの磁性体ナノ粒子、生体細胞と無機ナノ粒子の反応など多くのものが、現在の産業技術につながっている。さらに、プロジェクトに参加した飯島研究員（グループリーダ）の開発した高分解能・超高真空電子顕微鏡により、超微粒子の結晶成長、表面物理化学の研究に決定的に重要な実験観察手段が得られ、その後の世界の超微粒子の研究、開発に大きな引き金となった。さらに、「単層カーボンナノチューブ」は飯島によって本プロジェクトの中で生まれており、その後1991年に飯島自身により再発見され、その後のナノテクノロジーの流れに大きく影響を与えている。

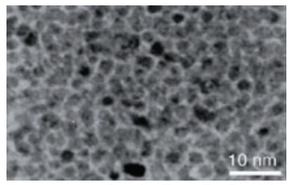
Masumoto Amorphous and Intercalation Compounds Project

増本特殊構造物質プロジェクト

■総括責任者 **増本 健**（東北大学 金属材料研究所 教授）
■研 究 期 間 1981年～1986年



超小型ガス検出器
高触媒能を持つアモルファス超微粒子膜を内臓した毒性ガス漏洩検出器として半導体・液晶工場、石油化学工場などの環境維持に役立っており、世界の約60%の占有率をもっている。



スパッタ法によるナノグラニュラー磁性薄膜
約5nm粒径の金属粒子がセラミックス相により囲まれた新規なナノ複合組織であり、均一なナノ粒子が自己形成される特徴を持つ材料である。写真はCo粒子の周囲をAl-O酸化物が囲んだ組織であり、両者の相を組み換えることにより特殊な多機能性を出現させることができる。

■ 研究成果：特殊構造物質の創製と特性

本プロジェクトは5グループで構成され、その研究成果は多岐に亘る。その中でとくに顕著な研究成果は、1）アモルファス合金超微粒子膜の作製と有害ガス分解触媒能の研究、2）スパッタによるナノ粒子複合膜の生成と高抵抗軟磁性材料の開発、3）クラスター蒸着法による透明複合酸化物膜の合成、4）傾斜機能セラミック材料の発案、などである。主に、アモルファス物質を用いたナノ複合材料の研究において大きな成果を挙げており、終了後の材料開発分野に大きな影響を及ぼしている。その一つの例は、GHz帯域用高磁化・高透磁率材料の発明であり、現在唯一の高周波対応軟磁性材料として電子機器に利用される。

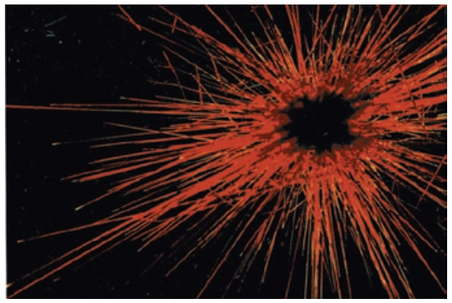
■ プロジェクト後の展開、波及効果

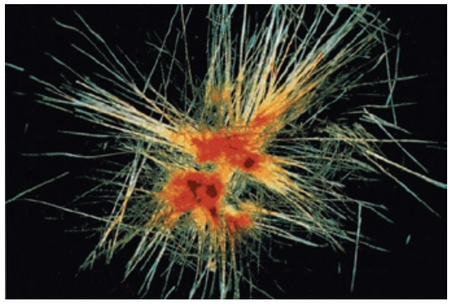
プロジェクト終了後大きな波及効果を及ぼしている研究には、1）アモルファス合金の「超微粒子膜」がある。その後、民間企業への依託研究によって高性能ガスセンサが開発された。この微量ガス検出機器は世界の約6割のシェアーを占めており、 全国発明表彰（1999）を受けしている。2）新しい高抵抗軟磁性材料の発見は、国際的に注目されている「ナノグラニュラー軟磁性材料」の発展のきっかけとなった最初の研究であり、唯一の高周波対応磁性材料として次世代電子機器用磁性部品として期待されている。3）この材料が大きな磁気抵抗効果を有する材料であることを発見し、現在この材料を応用した超小型・高感度磁気センサとして多方面への展開が図られている。4）金属とセラミックスが連続組成変化した「傾斜機能材料」の発展のきっかけをつくった。

Ogata Fine Polymer Project

緒方ファインポリマープロジェクト

■総括責任者 **緒方 直哉**（上智大学 理工学部 教授）
■研 究 期 間 1981年～1986年




結晶性高分子（ポリメタシクロファン高分子）の単結晶の合成
剛直な分子鎖を持ち、高い結晶性を持つ

■ 研究成果

縮合系ポリマーに特異な機能を付与することにより、高付加価値を有するポリマー材料を創り出した。

分子設計の研究からは、単分子を累積するLangmuir-Blodgett（LB）法により、芳香族ポリアミドやポリエステルの温和条件下における高分子量化等、機能性高分子の超薄膜および高分子ナノ粒子の作成に成功した。

選択機能性材料の研究では、混合物を鋭敏に見分けて、必要な成分のみを選択的に分離できるポリマーの合成法を見出し、分子認識を行う新しい光学分割材料の合成と光学分割（光学異性体の分離）への応用に成功した。

有機電子材料の研究では、耐熱性高分子フイルムの焼成による完全グラファイトフィルムを作成し、その構造物性を解明した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

分子設計の研究からは、世界で初めて、ポリ（スチレン）単分子粒子を作成して今日のナノテクノロジー研究の先駆けとなった。

選択機能性材料の研究では、ポリ(スチレン)粒子に光学異性体の分子認識をするキラル基を導入することで光学分割が可能なカラム分割用材料を合成して、三菱化成工業(株)(当時)が工業化に成功した。

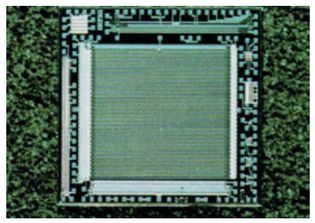
有機電子材料の研究では、 世界で初めて完全グラファイトフイルムを作成することに成功した。その後、この研究は吉村パイ電子物質プロジェクトに引き継がれてさらに展開した。これらの研究成果は松下電子工業(株)が事業化して発展させた。

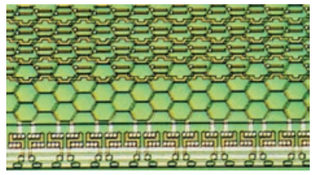
Nishizawa Perfect Crystal Project

西澤完全結晶プロジェクト

■総括責任者 **西澤 潤一**（東北大学 電気通信研究所 教授）
■研 究 期 間 1981年～1986年

蒸気圧制御引き上げGaAs結晶（右はLEC結晶）




静電誘導型イメージセンサーの試作

■ 研究成果

成分元素の最適蒸気圧下での結晶成長により，今日の超高輝度LEDを実現した実績から出発して、引き上げ法による結晶欠陥の極めて少ないGaAs単結晶の作成に初めて成功した。また、半導体基板上（GaAs、$Al_XGa_{1-X}As$、Si）に紫外光を照射し、1分子層ずつ精密に単結晶を成長させる光励起分子層エピタキシャル成長法を実現し、超高速スーパーコンピュータに不可欠な素子の一つであるGaAs理想型静電誘導トランジスタ（ISIT）の試作を行った。また、縦型SIT-CMOSの試作では1ゲート当りのスイッチ速度65psという世界最高速を得た。静電誘導サイリスタは、大電力で高速動作が可能な高電圧直交電力変換用素子であり、両面ゲート構造を採用することで高速スイッチングを世界で初めて実現した。また、超高感度静電誘導フォトセンサーの試作を行った。

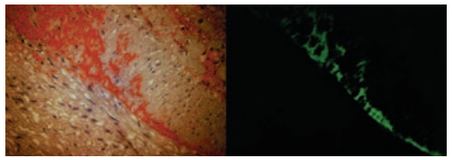
■ プロジェクト後の展開、波及効果

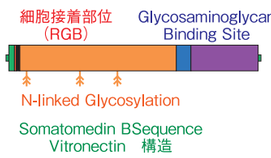
- 完全な結晶を得て、その結晶上に原子レベルの寸法精度で素子を作るという超ナノテクノロジーの基幹技術を創出した。
- チャネル長がキャリアの平均自由行程以下となるISIT素子を開発し、超高周波素子技術の基礎を築いた。
- パワーエレクトロニクスにおける飛躍的な高効率化（99%以上）を静電誘導サイリスタにより実現した。この技術は高効率直流変圧器の実用化を可能とし、これによって、今後、直流超長距離送配電が実現され、地球温暖化防止に大きく貢献することが期待される。
- 微弱光検出可能な静電誘導フォトセンサーを搭載した天体望遠鏡を実現し、彗星の撮像に世界で初めて成功した。

Mizuno Bioholonics Project

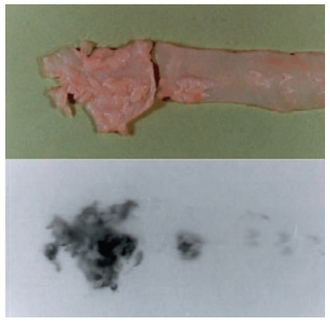
水野バイオホロニクスプロジェクト

■総括責任者 **水野 傳一**（帝京大学 薬学部 教授）
■研 究 期 間 1982年～1987年





212D 抗体は Oil Red O で染色される細胞間脂質蓄積部位を認識する。212D 抗原は Vitronectin である。



256C 抗体は動脈硬化病巣の表層に結合している（左下図はオートラジオグラム）

■ 研究成果

生命のシステムにおける制御は、構成する各要素間で調和的・自律的に行われている（バイオホロニクス）。プロジェクトではこの概念を技術にするべく、①脳に学ぶ計算原理とコンピュータのシミュレータ、②生体恒常性の観点からの制癌療法と抗動脈硬化症等の研究を行った。成果の例：①脳の機能の本質を解釈過程とみなし、脳が予め作る外界のイメージに内部の文脈に応じた応答をする機構の原理を解明し、それをパターン認識装置に応用して、非線形振動子の引き込みを使った装置を開発した。②動脈硬化病巣のホモゲネートを抗原として、動脈硬化病巣を認識するモノクローナル抗体を組織化学的染色法により選別した。その結果、細胞間脂質蓄積部位認識抗体（212D）、脂質蓄積細胞（泡沫細胞）認識抗体（201F）株を調製した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

①脳のカオス的情報処理のニューラルネットモデルや動的連想記憶モデルを構築し、位相振動子による海馬θリズムの機構解明に成功した。また、新規手法による海馬CA1の機能解釈や新しいニューロンモデルの構築などを展開した。②動脈硬化に関わる種々の新規抗体、 256C（動脈硬化巣表層認識抗体）、DLH3（ヒト酸化LDL）、904G（ 泡沫細胞）、104G（変性アポタンパク質）などの分離、調製に成功した。256C 抗体は動脈硬化病巣に対する診断薬への応用が期待される。また、血中酸化 LDL と心疾患との高い相関性を明らかにしたが、DLH3 抗体は酸化 LDL 測定試薬（MX）として製品化され、心疾患の臨床検査への応用が期待される。

Hayashi Bioinformation Transfer Project

早石生物情報伝達プロジェクト

■総括責任者 **早石 修**（(財)大阪バイオサイエンス研究所所長）
■研 究 期 間 1983年～1988年

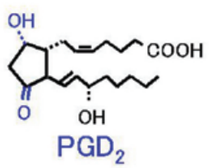
■ 研究成果

脳内での機能がまったく未知のままだったプロスタグランジン（PG）及びその類縁体の生物情報伝達物質としての役割とその作用機構に関する研究を行った。脳内の主要な PG である PGD_2 が最も強力な内在性の睡眠物質であり、その異性体 PGE_2 が覚醒物質であることをラットやサルで証明し、PGD_2 合成酵素遺伝子のクローニング、脳内 PGD_2 受容体の分布も明らかにした。

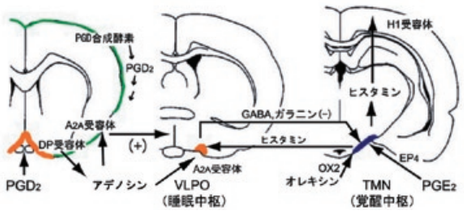
■ プロジェクト後の展開、波及効果

睡眠と PGD_2 に関する研究は、大阪バイオサイエンス研究所・分子行動生物学部門（裏出良博研究部長）を中心に継続、外部との共同研究も含め、1）PGD_2 は脳を包むクモ膜で合成され、脳脊髄液内を循環する 2）前脳基底部のクモ膜に局在する PGD_2 受容体を刺激し、局所のアデノシン濃度を上昇させる 3）アデノシンがアデノシン A_2A 受容体を介して視床下部の睡眠中枢を活性化し、同時にヒスタミン系覚醒中枢を抑制して脳を眠らせる（図）－など、PGD_2 による睡眠誘発の大まかな仕組みを明らかにした。PGD_2 は分子レベルでの作用機構の解明が最も進んだ睡眠物質である。カフェインの覚醒作用は A_2A 受容体の拮抗作用にあり、抗ヒスタミン薬の催眠効果がヒスタミン系覚醒中枢の抑制によることも遺伝子操作マウスで証明した。

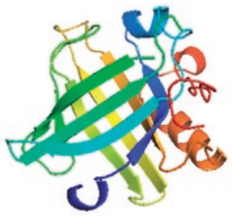
脳のものとは異なる造血器型の PGD_2 合成酵素の研究でも、ぜんそくなどアレルギー疾患や多発性硬化症など脱随性疾患の原因解明で成果を挙げた。一連の成果は社会的重要性が高まる睡眠医療にも活用されつつあり、本研究で開発された睡眠測定系を用いた、睡眠・覚醒調節作用のある自然素材の探索も進められている。



PGD_2 の構造式



クモ膜で合成された PGD_2 が脳を眠らせる仕組み



リポカリン型PGD合成酵素のX線結晶構造

Horikoshi Superbugs Project

掘越特殊環境微生物プロジェクト

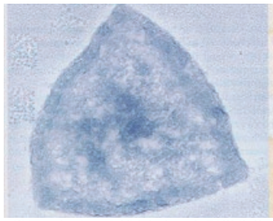
■総括責任者 **掘越 弘毅**（東京工業大学 工学部 教授、理化学研究所主任研究員）
■研 究 期 間 1984年～1989年

■ 研究成果

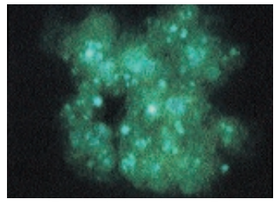
プロジェクト発足当時、生物が生育するのは不可能と思われた極限環境（強アルカリ性、高塩濃度、高温、トルエン等の毒性有機溶媒）で生育する微生物の研究を、特殊環境を再現できる移動実験車などを活用して組織的に展開した。特記すべき成果としては 1）石川県の塩田から世界初の三角形をした好塩性の古細菌を発見し、Haloarcula japonica と名付けた。なぜ三角形なのか、現在でも研究が進められている。2）好気性グラム陰性細菌の一種、Pseudomonas putida（IH-2000）が毒性の強い高濃度のトルエン中で良好に増殖する事を発見、微生物学の新分野を拓いた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

一連の研究は、過酷な物理化学的環境で生育可能な多様な微生物が広く存在することを明らかにし、極限環境微生物という新しい概念を生み出すことにつながった。1970年代の初めに好アルカリ性微生物群の存在を報告して以来、これらの微生物とその酵素について行った独創的な研究は、微生物学、酵素学はもとより、産業分野にまで大きな影響を及ぼし、極限微生物の酵素遺伝子のクローニング、全ゲノムの研究、その実用化を促進した。好アルカリ性微生物だけでも、過去約 30 年間の論文数は世界で約 1300 編を超えている。本研究が契機となって、初の国際学術誌 Extremophiles （極限微生物）が発刊（1997 年）、日本極限環境微生物学会（2000年）、The International Society for Extremophiles（2001年）が設立され、EU、米NSFが特殊環境微生物の国際研究開発プロジェクトに着手した。



世界で初めて分離された三角形微生物



好アルカリ性メタン生成細菌
（蛍光顕微鏡写真）

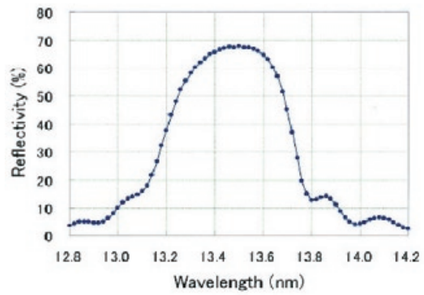
採取したサンプルから特殊環境微生物を
分離培養する移動実験車

Yoshida Nano-Mechanism Project

吉田ナノ機構プロジェクト

■総括責任者 **吉田 庄一郎**（(株)ニコン専務取締役）
■研 究 期 間 1985年～1990年

プロジェクトにおけるW/C多層膜TEM写真



最近のEUV反射率データ（Mo/Si 50pair 多層膜）

■ 研究成果

原子・分子の振る舞いを観察する手段として走査型トンネル顕微鏡（STM）技術を取り上げ、大領域観察と原子分解能を同時に有する STM を開発し、グラファイト劈開面、加工面、生物試料等種々の試料の観察により新しい知見を得た。

X 線領域での加工・計測技術の普及の鍵を握る要素部品として多層膜の加工法を研究し、物質の異常分散を利用して X 線領域で高い反射率を得られる多層膜を実現するとともに、膜の界面をナノメーターオーダーで平滑化して反射率を理論値に近づける成膜条件を明らかにした。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

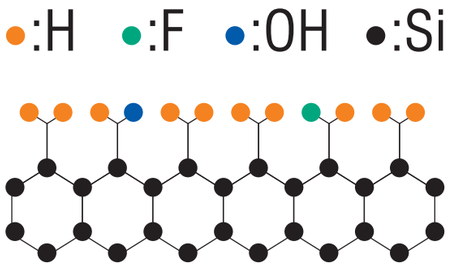
STM は本プロジェクト終了後も活発に利用技術の開発を続けられたが、その中で本プロジェクトのメンバーが国内外の研究会での発表および運営で積極的に活動し、新しい技術の開発ならびに技術の普及に大きな役割を果たした。

多層膜は X 線領域から極端紫外線（EUV）域での種々の光学系への開発へと展開された。X 線宇宙望遠鏡が本プロジェクト顧問により推進された国のプロジェクトで製作され、大気圏外での観測に用いられた。X 線顕微鏡では波長 4.5nm 以下での直入射光学系を実現した。EUV 域では波長 13nm 近傍で高い反射率を示す Mo/Si 多層膜をつけた反射光学系が開発された。これは EUV 域でのリソグラフィ技術の実用化に向けた活動を大きく推進し、次世代の半導体製造装置の有力候補として、EUV 域の露光機開発が国のプロジェクトで取り上げられる契機となった。

Kuroda Solid Surface Project

黒田固体表面プロジェクト

■総括責任者 **黒田 晴雄**（東京大学 理学部 教授）
■研 究 期 間 1985年～1990年



希フッ酸処理後のシリコンウエハ Si（100）表面の
水素終端化学構造の模式図

■ 研究成果

固体の表面で起こる現象を原子、分子レベルで追求、制御することにより、新規な固体表面修飾手法と、それを利用した優れた機能を有する物質の創出を目指した。その結果、①シンクロトロン放射光を用いた固体表面構造の解析手法や、極紫外・軟X線光による表面吸着化学種の光分解過程、②吸着化学種のレーザ光照射による波長選択的化学反応、③粘土鉱物の層格子を担体とする新規触媒、④シリコン結晶表面の清浄化と修飾、等に関する成果が生まれた。なかでも、半導体産業で重要なプロセスである、希フッ酸処理後のシリコンウエハ表面が水素により終端されていることを発見するとともに、その表面が化学的に不活性であることを明らかにした。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

シリコン表面構造が解明された結果、シリコンLSI分野の研究者たちが、フッ酸エッチングシリコン表面に関するより明瞭で具体的な概念を持つことができるようになった。現在では水素終端や水素不活性化は半導体デバイスプロセス研究にとって不可欠な基礎概念となり、酸化膜の形成、シリコンウエハの平滑化処理や清浄化法とその保持法など、多方面での技術開発の原動力となっている。また表面科学上の極めて興味深い研究対象ともなっている。この研究を担当した高萩はプロジェクト終了後も水素終端シリコン表面の研究の根幹をなす多くの系統的な研究を展開し、その成果を世界に先駆けて提示して、シリコンテクノロジー研究の進展に貢献した。

Goto Quantum Magneto Flux Logic Project

後藤磁束量子情報プロジェクト

■総括責任者 **後藤 英一**（神奈川大学 理学部 教授）
■研 究 期 間 1986年～1991年

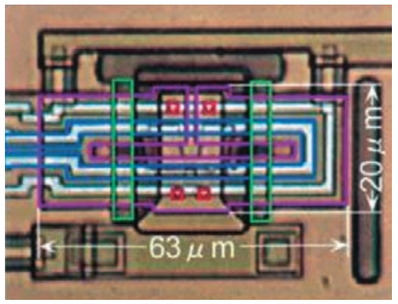


図１　QFPデバイスの顕微鏡写真

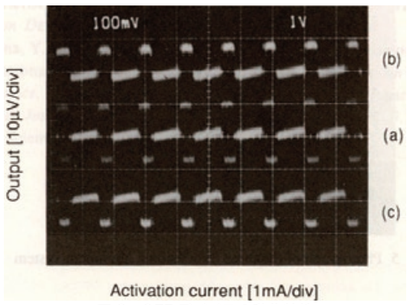


図２　QFPデバイスの動作特性

■ 研究成果

世界で初めて１個の磁束量子を情報の単位として用いたQFP（磁束量子パラメトロン）回路（図１）を動作させ、64GHzという当時としては世界最高の動作速度を実証した。さらに磁束量子デバイスの特徴を生かした３次元実装方式を考案し非接触チップ間信号伝達の可能性を実験的に示した（図２）。また量子磁束パラメトロン素子の特性を活用するアーキテクチャとして、各構成要素を時分割して複数の命令流で共有する循環パイプライン方式を開発し実証すると共に、情報理論の展開として、無発熱計算の可能性を理論的に示した。さらに極低温発現に不可欠な冷凍機として、低温域に可動部品がなく、室温域のピストンで気体の流れを制御する新規高効率冷凍機システムを開発した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

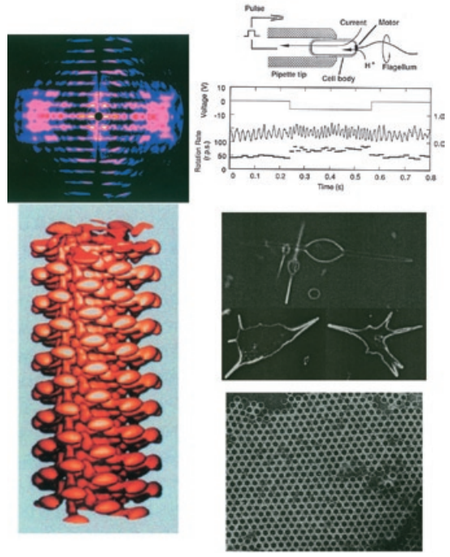
従来の超電導回路は半導体回路と同様にすべて電子が情報の担体であったが、本プロジェクトにより世界で初めて磁束量子を情報の担体とする高速動作回路の動作が実証された。これは、磁束量子を用いた超高速デバイスの展開に結びつき、現在超電導デバイスのなかで実用に最も近いとされるSFQ（Single Flux Quantum）回路の開発につながった。

また、複数の命令流で計算機の構成要素を共有する方式は、現在のインテル等のCPUにも取り入れられている方式となっている。一方、磁束量子の理論検討に基づいた均一磁場発生装置が（株）トーキンより発売された。また、本プロジェクトで研究した原理を用いたパルス管冷凍機が開発され、（株）アルバックから商品化されている。

Hotani Molecular Dynamic Assembly Project

宝谷超分子柔構造プロジェクト

■総括責任者 **宝谷 紘一**（帝京大学 理工学部 教授）
■研 究 期 間 1986年～1991年



（左上）細菌べん毛のX線解析像（左下）細菌べん毛の立体構造
（右上）電圧をかけ、細菌べん毛の回転を制御（右中）リポソーム中の微小管重合で形成されたモデル細胞（右下）細菌べん毛モーターの軸受け（LPリング）の二次元結晶（電子顕微鏡像）

■ 研究成果

生命機能を支える生体超分子の動態計測や構造解析の糸口を創り、細胞骨格のモデル系を構築した。主な成果は 1）レーザ暗視野光学顕微計測法による個々の細菌べん毛の高速回転速度計測法を開発 2）細菌の細胞膜内外の電位差の制御によるべん毛回転速度の加速・減速操作 3）X線繊維回折法と電子顕微鏡によるべん毛繊維立体構造の解明 4）べん毛構成蛋白質フラジェリンの重合過程で両末端部の折りたたみが起こることを発見しその意義を解明 5）細胞骨格モデルとしてのリポソーム中での微小管重合による膜小胞形態変化と膜管形成の観察と制御 6）微小管の動的不安定性を微小管結合タンパク質により制御。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

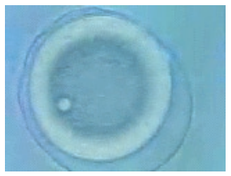
スタート時点では「超分子」という言葉そのものが世の中に認められていなかった。そうした中で、細菌べん毛や微小管など、細胞運動や細胞骨格形成などの重要な生体機能を司る繊維状超分子のしなやかでかつ精密な動きを、できるだけ高い空間時間分解能で直視することを目指した研究を展開。細胞内の蛋白質間相互作用を観察し計測する研究と、そのための計測技術開発の重要性が認められるに至ったのはその成果といえる。現在では生命機能解明を目指す多くの研究に「超分子」という言葉が使われ、様々な計測技術や装置開発にも大きな予算が投資されるようになった。そして超分子の柔構造が、生命という熱ゆらぎを土台とした柔軟性と適応性に富む省エネ型システムを支える基盤であることが示され、生命システムが物理学や工学の研究対象にもなった。

Inaba Biophoton Project

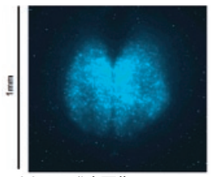
稲場生物フォトンプロジェクト

■総括責任者 **稲場 文男**（東北大学 電気通信研究所 教授）
■研 究 期 間 1986年～1991年

①

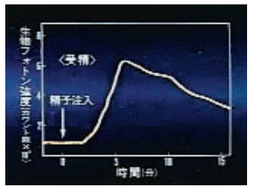


②

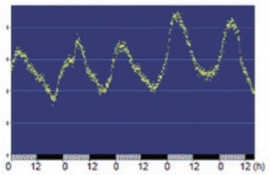


SCNの発光画像
（個々の輝点がSCNの細胞）

③



④



受精膜の形成に伴い、生物フォトンが急激に増える（①③）

細胞レベルでの時計遺伝子（発光レポーターを導入）の可視化に成功（SCN＝視交叉上核）（Yamaguchi, S. et al. Science 302, 1408 2003）（②）

光ファイバーでマウス脳内の光を検出し、時計遺伝子の発現リズムを世界で初めてリアルタイムで観察（Yamaguchi, S. et al. Nature 409, 684 2001）（④）

■ 研究成果

ホタルや夜光虫などの生物発光とは異なり、ヒトを含む生物からは、代謝、疾病などに伴う極微弱な光（生物フォトン）が放出されている。極微弱光測定の試みはプロジェクト開始以前からあったが、信頼性の高いデータを集めることは困難だった。本研究では、この生物フォトンの計測・分析技術の系統的な研究開発を行い、発光機構の追究など生体情報分析に応用するための新しい手法の探索を行った。種々の生物フォトン分析装置を試作し、人体や植物など多様な対象からの生物フォトン画像計測に初めて成功するなど、生物フォトンデータの収集・分析により、様々な生理機能発現の局面で放出される生物フォトン発光の存在や活性酸素が関与するその機構を明らかにした。

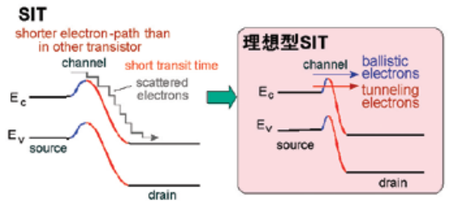
■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクト終了後，研究成果は通産省・基盤技術研究促進センターと民間20社の出資で設置された「（株）生体光情報研究所（山形市）」（1993～99年）に引き継がれた。同研究所では，生物フォトン現象を利用した医用機器や極微弱発光画像計測技術の研究開発のほか，生物フォトン研究と並行して本研究で世界初の装置を試作した、レーザー光断層画像計測技術（コヒーレント検出イメージング法）を利用する生体機能計測技術・診断装置の実用化をめざす研究が行われた。その後，プロジェクトに参加した小林正樹・東北工業大学教授（電子工学）らによって、分子生物学の発展で盛んになってきた光レポーター遺伝子による遺伝子発現の解析技術にも応用され、脳内における遺伝子発現の可視化，細胞レベルでの遺伝子発現の解析など，生命科学，脳科学研究におけるキーテクノロジーへと発展している。

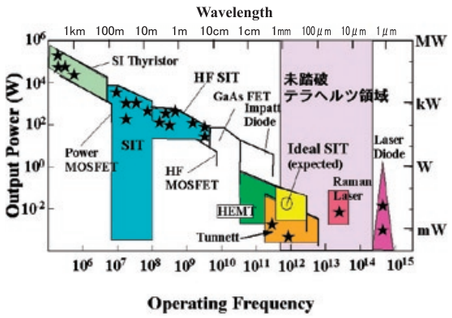
Nishizawa Terahertz Project

西澤テラヘルツプロジェクト

■総括責任者 **西澤 潤一**（東北大学 学長）
■研 究 期 間 1987年～1992年



SITから理想型SITへの発展



半導体デバイスの出力と周波数（いろいろな形の点は本プロジェクト乃至はその継続の中で試作されたもの）

■ 研究成果

光励起分子層エピタキシャル成長法を発展させ180℃以下の低温でGaAs結晶上に数Åの厚さの均一なAl膜形成に成功した。GaAs理想型SITでは世界最小となる100nmチャネル長のバリスティックトランジスタの試作と動作確認を行った。さらに、サブピコ秒の動作実現のための検討を行った。トンネル領域幅50～100Å、走行領域幅380～1500Åのタンネットダイオードを試作し、約0.7THzの発振特性を確認した。$LiNbO_3$結晶を用いた速度整合進行波型高速光変調器を試作し、20GHz程度までの基礎特性を確認し、高周波を用いた帯域制限の克服についても手がかりを得た。

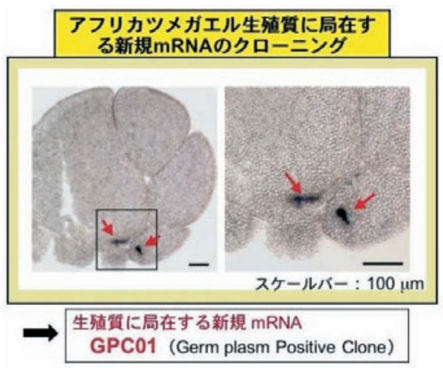
■ プロジェクト後の展開、波及効果

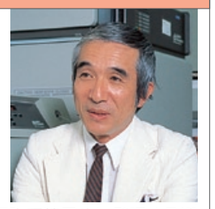
チャネル長がキャリアの平均自由行程よりもはるかに短い、トンネル電子主体の理想型SITにより、テラヘルツ電子デバイスの新たな分野を開拓した。テラヘルツ帯で動作する、発振技術（タンネットダイオード）、変調用素子（$LiNbO_3$結晶を用いた光変調）、復調用素子（ラマンレーザ）、および検出素子（ショットキーダイオード）を開発し、テラビット通信における基幹技術を開発した。GaPラマンレーザの研究成果は、今日の波長可変テラヘルツ発生の開発につながり、医学をはじめとするさまざまな分野に展開しつつある。GaPの完全結晶技術はLEDにも適用されて従来型の100倍の発光を赤・黄・緑で実現し、今日の発光ダイオード時代を築いた。また、タンネットダイオードもテラヘルツ領域で室温連続発振させ世界最高レベル周波数の簡易型発振器を実現し、応用展開が図られている。

Furusawa Morpho Genes Project

古沢発生遺伝子プロジェクト

■総括責任者 **古沢 満**（第一製薬(株)取締役分子生物研究室長）
■研 究 期 間 1987年～1992年





■ 研究成果

初期発生過程における形態形成と、生殖細胞の分化を支配する遺伝子の探索と制御機構の解析について研究した。超微量DNAを増幅・取得する方法、異なる組織・細胞間のDNA構造の差を認識して単離する方法、均一化cDNAライブラリーの作製法（①）、正常な機能・性状を持つ不死化細胞株の樹立法（②）等の技術を開発した。これらの技術を用いて、生殖細胞で特異的に発現する遺伝子（③）や転写制御因子遺伝子を発見した。またマウスの脳に特異的にDNA一次構造変異が起こっていること等を見出した。進化について不均衡仮説（DNA複製機構に基づくDNA二本鎖のエラー頻度の差に着目した仮説）（④）を提唱した。

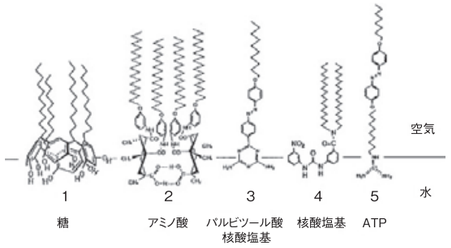
■ プロジェクト後の展開、波及効果

①は、ERATO広橋細胞形象プロジェクトで多検体in situ hybridization法（組織や細胞において、特定のDNAやmRNAの分布や量を検出する方法）として発展した。さらに、発明者の洪博士は現在NIHで、マウス初期発生における遺伝子発現の網羅的研究の分野の第一人者として活躍中。②を利用しマウス不死化細胞株を樹立し、（株）ネオファクトで株化細胞の受注・販売を開始した。③の上流遺伝子のクローニングを行い、生殖細胞決定因子として働いているmRNAの一つを単離した。この遺伝子は生殖細胞のもととなる細胞が設計図に従って適切な場所に移動する際に働いていると考えられる。④に則った突然変異誘発遺伝子により通常より多くの突然変異が蓄積され、この原理を利用して微生物や動植物の改良、産生物の生産効率向上、有用物質の開発、品種改良等を行なうことができる。これらの研究や業務を目的とした（株）ネオ・モルガン研究所を設立し、大手企業数社と契約し業務を進めている。

Kunitake Molecular Architecture Project

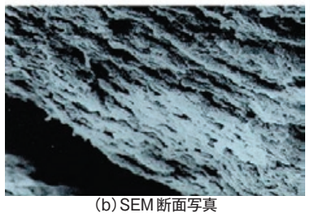
国武化学組織プロジェクト

■総括責任者 **国武 豊喜**（九州大学 工学部 教授）
■研 究 期 間 1987年～1992年



水面単分子膜による分子認識

（a）フィルム外観（フィルム厚み：20μm）



（b）SEM断面写真

多層シリカアルミナ ナノ薄膜

二分子膜／マグネタイト複合ナノ薄膜のSEM断面

■ 研究成果

このプロジェクトでは、界面や超薄膜の中での分子の組織化を研究の主目標とした。第一の成果は気水界面での分子認識であり、水素結合性の官能基を親水基とする各種水面単分子膜の分子設計を行い、水の存在下、糖、アミノ酸、核酸塩基、ATP等の生理活性物質の高効率、高選択的な結合を実現して、DNAやたんぱく分子と違い人工の分子では不可能とされていた分子認識を広い範囲で実現した。また、100ナノメータ以下の厚みをもつ安定な有機・無機の超薄膜を作製するさまざまな新手法を開発した。図には、シリカアルミナ多層膜、及び二分子膜層間にマグネタイトを形成させた複合膜の例を示す。

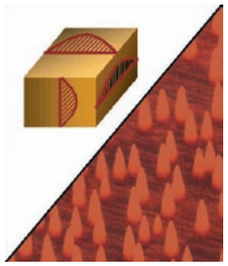
■ プロジェクト後の展開、波及効果

界面や分子膜における有機分子の化学は本プロジェクトが始まるまでほとんど未開拓であったが、その後の発展は著しい。特に、界面における分子認識の研究は、本プロジェクトを契機として新しい科学技術の流れとなり、その後、新規化学センサー、ドラッグデリバリーなどの研究開発を高度に発展させる上で、重要な役割を果たした。また、やはり本プロジェクトを契機としてその後大きな発展を見せたナノ薄膜は、その応用が燃料電池から電子材料にまで至る研究開発として、ナノテク材料の中で特に重要な位置を占めている。ナノ薄膜の研究開発の中でも、本プロジェクトがその可能性を実際に示した極限の薄さをもち欠陥のない膜の作製は、その中心課題である。最近欧米においても自立性をもつナノ薄膜への関心が高まってきたのは、そのことを裏付けている。

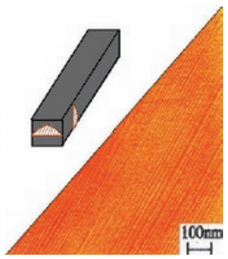
Sakaki Quantum Wave Project

榊量子波プロジェクト

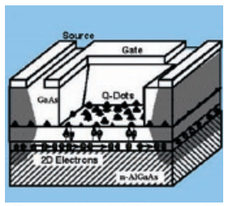
■総括責任者 **榊 裕之**（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）
■研 究 期 間 1988年～1993年



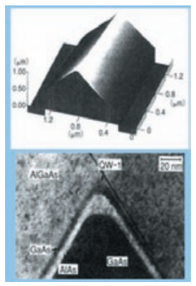
量子ドットの概念図と自己形成法による実現



量子細線の概念図とステップ型細線の構造例



量子ドットを埋め込んだFET：電荷蓄積機能や光検出機能を示す



リッジ型量子細線構造とその断面：台形パターンに稜線構造を成長

■ 研究成果

10nm級の量子箱（ドット）や量子細線などの「高次元量子ナノ構造（立体量子構造）」と10nm級オリゴマなどを含む「新材料系量子ナノ構造」を研究対象に選び、ユニークな構造の提案・解析と形成手法の開発を進め、電子の量子的波動性を高度に制御する道を拓くことで、多彩な電子物性や光物性の出現と、新しい素子機能実現への活用可能性とを明らかにした。特に、結晶成長制御によるエッチ型やリッチ型量子細線の形成、ナノ粒子型量子ドットの自己形成の道を開き、1（零）次元的な自由度を持つ電子の特色と魅力を示した。

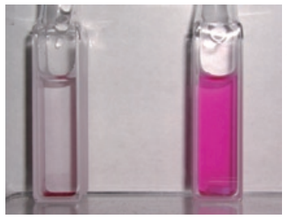
■ プロジェクト後の展開、波及効果

量子ドットや細線による電子の高度制御と先端素子応用は、榊らが世に先駆けて提唱したが、当初は高次元ナノ構造の形成が困難であったため、その発展性は不明であった。本プロジェクトの推進で内外の関心が高まり、研究が活発化し、近年はこうした構造の形成・物性解明・応用展開が急進展を遂げている。例えば、量子ドットは、電気的・光学的に制御可能な人工原子として、固体物理学の対象に留まらず、単電子素子・メモリー・半導体レーザ・光検出器・単一光子源・量子計算素子などの構成要素として、電子工学や量子光学分野で広範な展開を見せている。またコロイド化学による合成法も進展し、バイオ・医療計測への応用も注目されている。他方、量子細線は、GaAs系やSi系に加え、炭素ナノチューブ系の材料などで実現され、電解効果型トランジスタの伝導路・レーザの発光層・各種センサーにも活用され、ナノ科学・ナノ技術の最重要研究対象の一つとなっている。

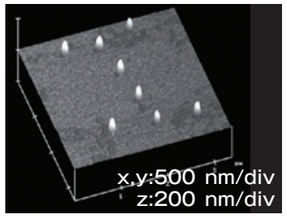
Masuhara Mirophotoconversion Project

増原極微変換プロジェクト

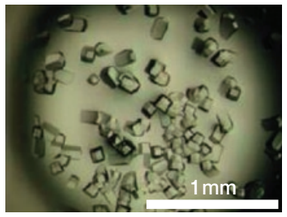
■総括責任者 **増原 宏**（大阪大学 工学部 教授）
■研 究 期 間 1988年～1993年



世界最小の有機ナノ粒子の作製
左側：パルスレーザー照射前
右側：照射後の色素コロイド溶液



室温液中三次元ナノ物質のレーザー操作による配列固定化
精度は世界最高レベルの数十ナノメートル



世界初のフェムト秒レーザー照射による蛋白質結晶化

研究成果

レーザーと顕微鏡を駆使して、マイクロ反応場を創製し、常温溶液中で微小物質を自在に操作し、さらに微小領域で起こる反応をマイクロメートル・ピコ秒の分解能で分光測定する各手法を開発した。これらを駆使して、微小領域に特有なマイクロ化学現象を明らかにするとともに、微小反応場を時間的かつ空間的に構成し、高選択、高効率の物質変換システムを構築する戦略を示し、極微化学に関する科学技術の基盤を確立した。

プロジェクト後の展開、波及効果

分解能をマイクロメートル・ピコ秒からさらにナノメートル・フェムト秒へ向上させて、ナノ表面層・界面層の超高速分光法や単一ナノ粒子分光法の開発、有機分子特有の構造閉じ込めによる光学的性質のナノサイズ効果の発見、レーザーナノアブレーションのメカニズムの解明、集光レーザービームの勾配力を駆使した光圧化学の創生など、新しい分子科学研究の基礎を作った。また世界最小の有機ナノ粒子の作製、溶液中三次元ナノ物質の捕捉と基板への配列固定化、フェムト秒レーザーによる蛋白質結晶化、結晶の成長制御、単一細胞レベルの操作と配列など、まったく新しい技術を開発している。極微化学のこのアプローチは、光を使った新しい分子系ナノサイエンス・ナノテクノロジーとして、化学、物理、光学、材料、生命科学などの分野に新しい潮流を生み出しつつあり、さらにそれを担う多くの人材を国内外に輩出している。加えてマイクロ分析、マイクロ化学生産などの産業化プロジェクトのシーズともなり、複数件の大学発ベンチャーを生み出している。

Mizutani Plant Ecochemicals Project

水谷植物情報物質プロジェクト

■総括責任者 **水谷 純也**（北海道大学 農学部 教授）
■研 究 期 間 1988年～1993年

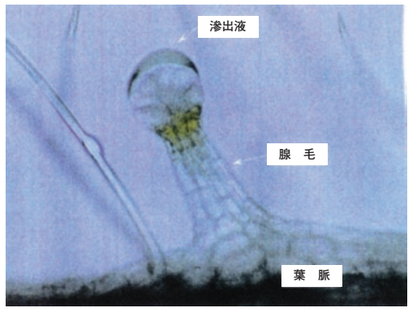


図１ ハマナス（バラ科）は病害虫に強いが、葉裏面腺毛の滲出液に抗菌活性および摂食阻害活性を有するルゴサールＡが含まれる（x150）。

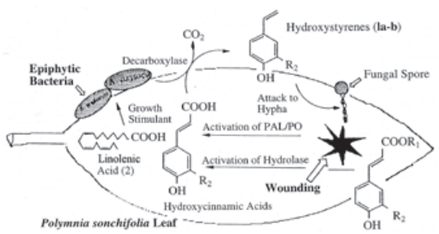


図２ ヤーコン（キク科）に着生するある種の細菌はヒドロキシケイ皮酸を抗菌性ヒドロキシスチレンに変換する。

研究成果

植物はテルペノイドやフェノール化合物のような二次代謝産物を利用して周囲の生物との間の情報のやりとりを行い、巧みな仕組みで生命を守っている。本プロジェクトではこれらの植物情報物質（プラント・エコケミカルズ）がどのように生成し、植物を中心とした生物間相互作用においてどのような役割を果たし、その後どのような運命をたどるか追求し、成果をあげた。例えば、ハマナスはルゴサールＡと名づけたセスキテルペンを作り出しているし、ヤーコン葉に着生する細菌はヒドロキシケイ皮酸を抗菌性ヒドロキシスチレンに変換する（図１、図２）。

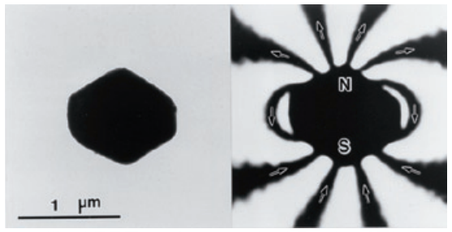
プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクト終了後（1993年10月）、プロジェクトの研究成果を受け継いで、総括責任者らが（社）植物情報物質研究センターを設立し、プラント・エコケミカルズの探索・応用研究や植物の持つさまざまな機能性を農業分野・環境分野・食品分野に応用するための研究開発に取り組んできた（現在の理事長はプロジェクト当時の角田技術参事）。成果については、国際会議（'96年、'98年）で招待講演を行い、また植物科学の分野ではインパクトファクターの高いレヴュー誌（'99年）や単行本（4冊、'99年発行）に発表した。植物情報物質（プラント・エコケミカルズ）の概念やわれわれの研究成果は国際的に認められた。

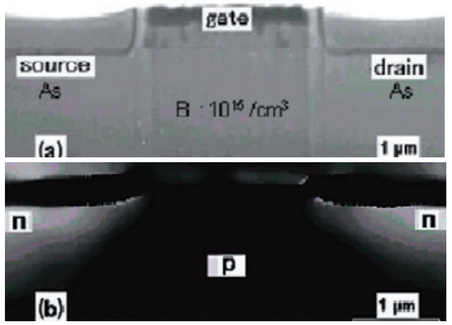
Tonomura Electron Wavefront Project

外村位相情報プロジェクト

■総括責任者 **外村 彰**（（株）日立製作所基礎研究所主管研究長）
■研 究 期 間 1989年～1994年



通常の電子顕微鏡像　　ホログラフィによる干渉像



電界効果トランジスタ（MOSFET）断面
（a）通常の透過電子顕微鏡写真（ドーパントは見えない）
（b）電子線ホログラフィによる位相分布像（ドーパントが白く見える）

研究成果

①位相シフト法による高精度位相計測法を開発し、従来の10倍以上の計測感度を実現した。
②リアルタイムホログラフィー法を開発し、観察と同時に再生像も見られる手法として確立した。
③電子線ホログラフィーCTを開発し、電場・磁場の３次元観察および計測の手法を確立した。
④電子線ホログラフィーを広い分野の計測に応用した。

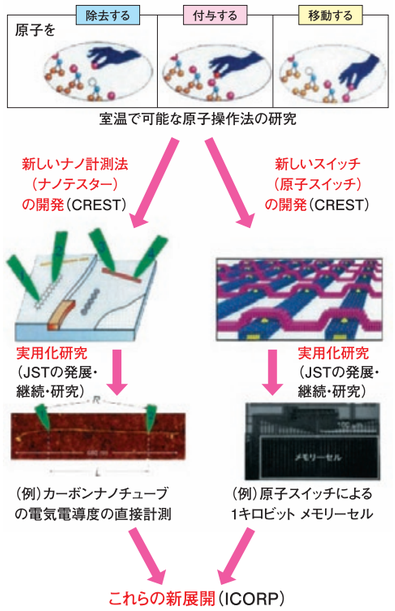
プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトの終了後も、電子線ホログラフィーの開発と応用はさらに進められた。プロジェクト以前は、電子線ホログラフィーの研究は、日立、チュービンゲン大学（独）、ボローニア大学（伊）の３カ所に限られていたが、本プロジェクトにおける研究から発展波及し、最近ではオークリッジ国立研、ブルックヘブン国立研、アリゾナ州立大（以上米国）、ケンブリッジ大学（英）、ファインセラミックスセンター、名古屋大学、東北大学などで研究されている。研究対象も学術のみならず、強力磁石や半導体内ドーパント分布解析など産業界にきわめて直結したものが扱われるようになり、一般企業の多くが解析手法として電子線ホログラフィー技術を取り入れつつある。特に半導体メーカーはドーパント分布解析に強い関心を持っており、新規デバイスの開発や不良解析に利用しようと努力している。

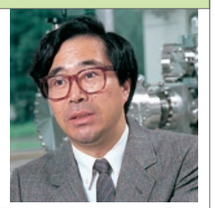
Aono Atomcraft Project

青野原子制御表面プロジェクト

■総括責任者 **青野 正和**（理化学研究所主任研究員）
■研 究 期 間 1989年～1994年



研究成果



走査トンネル顕微鏡（STM）の探針によって原子を１個ずつ室温で自在に操って任意のナノ構造を構築する方法の開発とその利用の研究を行い、今日のナノテクノロジーの発展を触発した多くの成果をあげた。1）シリコンの表面において、１個～数個の原子（シリコン、水素、銀、白金など）の付与、除去、移動が室温において可能であることを実例をもって示し、2）そのメカニズムを明らかにし、かつ3）原子の除去や付与を像観察なしに電気信号によってリアルタイムで監視する方法を開発した。その他にも多数の関連する成果を上げた。

プロジェクト後の展開、波及効果

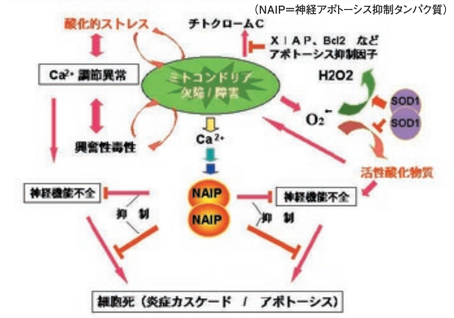
ERATOプロジェクトの研究成果から、２つの重大な展開がなされた。1）ナノテスター（多探針の走査トンネル顕微鏡および原子間力顕微鏡）が開発され、ナノスケールでの電気伝導度の計測が自由に行えるようになった。装置の市販化を視野に入れた企業との連携も進めている。2）新しい原理で動作する“原子スイッチ”が開発（発見）され、その極めて優れた特性が次々と明らかになった。企業との連携により、その実用化の研究を進めており、その企業は生産ラインでの技術的問題の洗い出しの研究に入っている。これらの研究は、いずれもJSTの事業であるCREST、（JSTの発展・継続・研究）、国際共同研究（ICORP）のプロジェクトとして展開されている。これら２つの波及的な成果は、今後のナノテクノロジーの発展に重大な寄与をするものである。
（CREST：Core Research for Evolutional Science＆Technology,
ICORP：International Cooperative Research Project）

Ikeda GenoSPHERE Project

池田ゲノム動態プロジェクト

■総括責任者 **池田 穣衛**（東海大学 総合医学研究所 教授）
■研 究 期 間 1989年～1994年

酸化ストレスによる細胞死（アポトーシス）に対する
NAIPの選択的抑制作用



酸化ストレスは多くの神経、循環器疾患の発症に関わっている。
NAIP機能（酸化ストレスによる細胞死を特異的に抑制）の亢進は、
これら疾患の発症と進行の抑制に効果が期待される

■ 研究成果

レーザー染色体切断・遺伝子マイクロクローニング法を駆使して、特にヒトの神経活動に関わるゲノム情報の単離・同定、重篤な運動神経疾患である脊髄性筋萎縮症（SMA）の重篤度決定遺伝子（NAIP）の単離・同定に成功した。さらに、NAIP は活性酸素など酸化ストレスによる細胞死を選択的に抑制するアポトーシス（細胞死）抑制因子と突き止め、NAIP 遺伝子を用いて、XIAP をはじめ一連の新規アポトーシス抑制因子（IAP family）も明らかにした。一連の成果はERATOと継続研究の成果で、SMA 遺伝子解析・NAIP同定はカナダ・オタワ大学に設置した研究グループ（ERATO 初の国外研究グループ）と共同で行った。

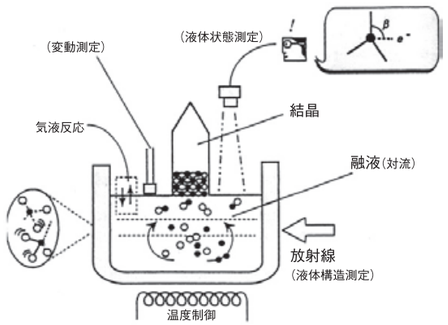
■ プロジェクト後の展開、波及効果

NAIPの酸化ストレス特異的細胞死抑制機能およびNAIP誘導低分子化合物による、脳虚血を始め一群の運動神経変性疾患モデルに見られる神経変性の抑制・遅延効果を証明、同化合物による神経・循環器疾患治療薬の開発を目指すゲノム創薬ベンチャーNeugen Pharmaでのリード化合物の選抜に活用されている。オタワ大学は州政府機関からの資金援助でNAIP/XIAPのアポトーシス抑制機能を用いた癌・神経疾患治療の開発を目指すApoptosis Research Centerを開設。NAIP遺伝子の同定が契機となって、神経遺伝子国際共同研究（ICORP）が発足し、Canadian Genetic Diseases Network 並びにマサチューセッツ総合病院（米国）と共同して筋萎縮性側索硬化症２型（ALS2）の原因遺伝子同定にも成功した。

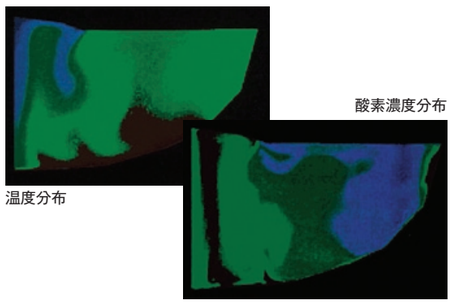
Kimura Metamelt Project

木村融液動態プロジェクト

■総括責任者 **木村 茂行**（科学技術庁無機材質研究所総括無機材質研究官）
■研 究 期 間 1990年～1995年



るつぼ中のシリコン融液



■ 研究成果

シリコン融液の様々な異常を明らかにするために、シリコン融液の物理特性（密度、表面張力、粘性係数、分光放射率、酸素溶解度など）の測定手法開発と実測を行い、精度の高いデータを得た。さらに、融点近傍でのシリコン融液の熱膨張異常を見出した。また、シリコン結晶成長の計算機シミュレーションを容易にし、乱流を考慮した計算を可能にした。融液挙動の異常は、主に不純物による影響であることがアンチモンやボロンの例で明らかになった。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

融液の異常は、シリコン単結晶合成の現場で広く見られたものであるが、基本的にそのミステリーは払拭できた。が、融点近傍での密度異常はその後、多くの研究者の関心を呼び、国際的に徹底した測定が行われ、測定装置に及ぼすシリコン表面張力の酸素依存性による測定上の異常であることがわかった。さらにこれらの活動を通して計算機シミュレーションを進める上で物性値の重要性が再確認された。

現在のシリコン単結晶の径は、本プロジェクト時から拡大しているが、将来の45センチ径の合成技術を狙った通産省（当時）のスーパーシリコン・プロジェクトの立案・実施には、人材も含め、本プロジェクトから少なからぬ寄与を果たせた。

Nagayama Protein Array Project

永山たん白集積プロジェクト

■総括責任者 **永山 国昭**（東京大学 教養学部 教授）
■研 究 期 間 1990年～1995年

■ 研究成果

蛋白質分子やコロイド粒子の２次元アレイはナノテクノロジー分野で注目され始めたが、その先鞭をつけたのが本研究プロジェクトである。アレイ作製に関し、集積力を液体の流れと表面張力に求める一般的手法開発し、前者は「移流集積」、後者は横毛管力（lateral capillary forces）と名づけられた。表面張力を利用した横毛管力は種々のバリエーションが発見され、定量的理論体系が確立した。微粒子集積に関するプロジェクトの包括的報告は後に 650 頁の本として Elsevier より出版されている。

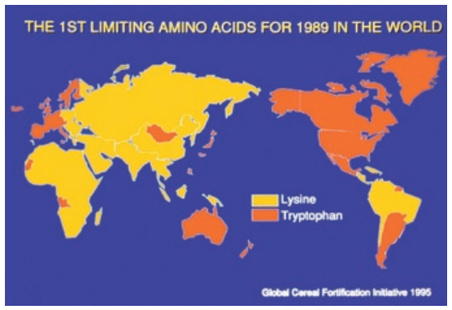
■ プロジェクト後の展開、波及効果

図の上段に示すのはモルフォ蝶で、その輝くブルー発色が無色透明のポリスチレン球（～1μm 径）の２次元アレイで再現されることを示している（蝶の右翅）。下段は蛋白質のひとつ、フェリチンの２次元結晶の例であり、蛋白質工学を用いて蛋白質間相互作用を制御し、結果的に結晶形を制御している。しかし当初の目標、蛋白質２次元結晶設計法の確立は年限内で終わらなかった。現在にいたるも一般的設計手法は存在しないが、フェリチンの２次元結晶自体はバイオエレクトロニクスへの応用が展開されており、国のリーディングプロジェクトのひとつ（松下電器、山下グループ）に継承されている。一方、コロイド粒子の集積法一般は、プロジェクト後長足の進歩があり、世界中で数多くの研究が進んでいる（北海道大学下村グループなど）。またモルフォ蝶の模倣で先鞭をつけたフォトニック結晶は広範な分野で研究されている。

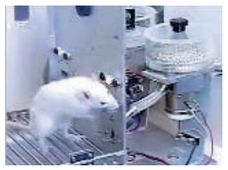
Torii Nutrient-Stasis Project

鳥居食情報調節プロジェクト

■総括責任者 **鳥居 邦夫**（味の素（株）中央研究所主席研究員）
■研 究 期 間 1990年～1995年



世界における必須アミノ酸欠乏は、第１制限アミノ酸であるトリプトファンとリジンに大別される。パキスタン、シリア、中国などで行われたリジン強化介入試験では著明な蛋白栄養状態の改善が認められた



リジン欠乏ラットの嗜好性の変化を調べるオペラント行動観察装置

超伝導磁石を使ったMRIでラット脳内での食情報処理を調べる

■ 研究成果

我々は消費した栄養素を食事により補充し、生命活動を維持しているが、必須栄養素の欠乏の認知や恒常性の維持に関わる脳機能は不明だった。本研究では、必須アミノ酸のリジン欠乏ラットが 20 種のアミノ酸の中からリジンを定量的に選択摂取することを見出し、さらに 1）機能的 MRI など最先端の機器・手法を使い、リジンの欠乏や選択摂取が視床下部で調節されている、2）ニューロンの一部が神経栄養因子・アクチビンＡにより可塑性を生じ、欠乏しているリジンに応答するように変化、これが欠乏アミノ酸への嗜好性発現の神経基盤になっている、などを明らかにした。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

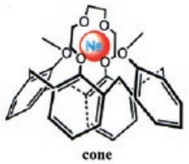
その後の研究により、欠乏リジンの摂取は、依存性を伴う脳内報酬系とは関係なく、視床下部で一義的に調節される現象であり、味覚・内臓感覚の脳への入力系に可塑的変化を生じ、リジンを含む食物の手掛かりを記憶・学習する高次な脳の仕組みであることを明らかにした。

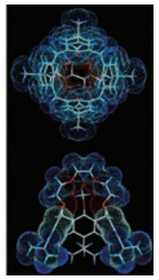
リジンは小麦やトウモロコシなどの穀物中の含有量が極めて低い。発展途上国を中心に 16 億人が欠乏状態にあり、成長抑制、低知能、免疫能低下、高い小児死亡率の原因となっている。味の素（株）では、国連大学、米国 MIT と共同で、小麦主食のリジン欠乏地帯で小麦へリジン添加する試験を行い、栄養状態の改善、免疫機能やストレス耐性向上、貧血の改善を認めた。MITのデータを基に、WHO/FAO はヒト成人のリジン要求量を 30mg/kg 体重と決定したが、本研究はこうした調査の基礎データとしても役立っている。

Shinkai Chemirecognics Project

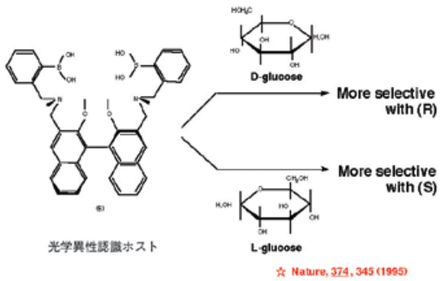
新海包接認識プロジェクト

■総括責任者 **新海 征治**（九州大学 工学部 教授）
■研 究 期 間 1990年～1995年





環状化合物（カリックスアレーン）より設計した
超高選択性 Na イオン捕捉剤



糖の光学異性体を識別する蛍光性人工レセプター

■ 研究成果

複数個のフェノール単位を結合した大環状化合物であるカリックスアレーン、および、芳香族ボロン酸誘導体に関する研究として、空孔サイズの異なる化合物を合成し、種々の官能基を導入して、各種の金属イオンや光学活性分子などを選択的に包接し、識別し得る機能をもつ化合物を設計し合成することに成功した。これより、生体の認識系に比肩できるような人工分子（原子）認識システムを構築した。その代表例として、1）生体系が Na^+ を排除して K^+ を捕捉するメカニズムをヒントにして、K^+ を排除して Na^+ を 10^5 倍にも及ぶ選択性で結合するカリックスアレーン化合物を創製した（上図）。2）水中では困難と言われて来た糖分子をボロン酸を利用して捕捉し、その光学異性体としてのD/L立体配置まで識別する蛍光性レセプターを創製した（下図）。

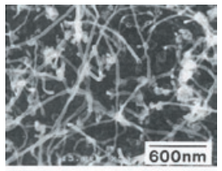
■ プロジェクト後の展開、波及効果

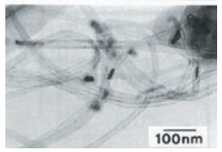
本プロジェクトを契機として、包接化合物による分子認識機能という新しい科学技術の潮流が生まれた。産業への応用としては、カリックスアレーン化合物は、臨床検査や工業分析等におけるナトリウムイオンセンサー、排水中の特定金属イオンや分子の処理、フラーレン混合物から C_{60} など特定の同族体の分離、などに応用されつつある。ボロン酸系レセプターは、糖の捕捉、センサー、バイオイメージングなどに応用され、世界中でその実用化研究が展開中である。また、ERATOの研究で見出されたカリックスアレーンの低分子有機溶媒のゲル化剤としての機能や、フラーレンの化学は、国際共同研究（ICORP）に引き継がれ、大きな新しい科学技術研究分野に成長した。

Yoshimura π -Electron Materials Project

吉村パイ電子物質プロジェクト

■総括責任者 **吉村 進**（松下技研(株)専務取締役新素材研究所所長）
■研 究 期 間 1991年～1996年





CVD法によりニッケル微粒子を用いて生成したカーボンナノチューブのSEM(上)及びTEM(下)写真

カーボンナノチューブの選択成長
（コバルト・フタロシアニンを原料としたCVD法で、局所的にカーボンナノチューブをコバルト蒸着膜上に生成させたもの。）

■ 研究成果

本プロジェクトは、電子デバイスを指向した新しい炭素系π電子物質の創生を目指し、その低温合成と生成物の諸物性測定、反応メカニズムの解明、さらには応用面の開発を目標に研究を推進してきた。その結果、グラファイト薄膜・カーボンナノチューブ（CNT）の低温合成、新しいグラファイト層間化合物の合成と量子効果、非ベンゼノイド構造炭素の合成、炭素薄膜による太陽電池、グラファイト表面を利用した溶液重合エピタキシー、炭化中間体を含むシリカガラスの発光現象など、多くの成果が生み出された。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

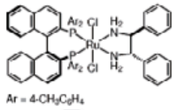
金属触媒を用いたCVD法により、グラファイト薄膜およびCNTの合成を600～1000℃の低温で実現することで、この分野での技術基盤を広げるとともに、電子デバイスなど実用化への方向を開拓した。
CVD法によるCNTの低温合成の作成条件と制御法、CNT成長メカニズムの研究は、その後、国際共同研究（ICORP）「ナノチューブ状物質プロジェクト」に継承され、新物質カーボンナノホーンを生む下地となった。この物質は現在、燃料電池用白金触媒の担持材料としての開発が行われている。

金属フタロシアニン錯体を原料に用い、パターン化した触媒金属の部位にCNTを選択成長させる製造方法は、このデバイスを電界放出型電子源として利用する、大型ディスプレイの開発を活発化させるきっかけとなり、大きなインパクトを与えた。

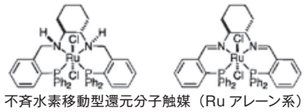
Noyori Molecular Catalysis Project

野依分子触媒プロジェクト

■総括責任者 **野依 良治**（名古屋大学 理学部 教授）
■研 究 期 間 1991年～1996年



不斉水素化反応分子触媒
（Ru-BINAP ジアミン系）



不斉水素移動型還元分子触媒（Ru アレーン系）

分子触媒商品化
（関東化学(株)）

分子触媒を用いた不斉水素化の量産化装置
（英国 Dowpharma 社；2006/04 NCCJ , I. C. Lennon）

■ 研究成果

本プロジェクトでは、キラリティ（不斉；右手左手の関係のような分子の非対称性）を含めあらゆる観点から同一の化合物を純粋にしかも効率よく合成する完全化学反応の実現にむけて、不斉金属錯体を分子触媒として用いる研究を実施した。その結果、1）それまで実現されていなかったカルボニル化合物の不斉水素化（分子非対称性を選択した水素化反応）によるキラルアルコール合成に究極の活性を有する Ru-BINAP ジアミン触媒を発見した。2）プロパノールやギ酸を水素源とするケトン類やイミン類の不斉水素移動型還元に有効な革新的 Ru アレーン触媒を発見した。3）超臨界状態の CO_2 を溶媒として用いた触媒反応化学を開拓した。

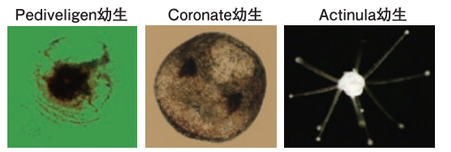
■ プロジェクト後の展開、波及効果

分子触媒の概念は新たな触媒化学とて確立され、野依元総括責任者は本プロジェクトの成果も含めて2001年ノーベル化学賞を受賞した。一方、革新的Ru-BINAPジアミン触媒やRuアレーン触媒はキラルアルコールやアミン類の合成のための実用触媒として特許化され、医薬、農薬、香料等の開発・製造に応用され始めている。米国ダウケミカル社、英国ジョンソンマッセイ社など化学会社や製薬会社へライセンス供与され、医薬中間体製造の大規模生産の実施が検討されている。さらに国内でもこれら触媒は試験用試薬として関東化学（株）社より販売され、研究開発に活用されるとともに、多くの会社が医薬中間体の大規模合成を計画している、など社会・産業へのインパクトは大きく顕在化してきている。

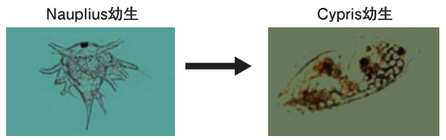
Fusetani Biofouling Project

伏谷着生機構プロジェクト

■総括責任者 **伏谷 伸宏**（東京大学 農学部 教授）
■研 究 期 間 1991年～1996年



ムラサキガイ *Mytilusedulis*　フサコケムシ *Bugulaneritina*　クダウミヒドラ *Tubularianesembryanther*



タテジマフジツボ *Balanuamphitrite* の生活史

着生

＊幼生の実験室内飼育
＊付着場所の選択機構
＊付着に至る神経伝達機構
＊変態・脱皮の内分泌機構
＊着生誘起物質の発見
＊着生阻害物質・防汚剤の開発

■ 研究成果

海の生物の多くは、卵から孵化した幼生が浮遊生活後、岩などに付着・変態して幼体となる着生という過程をもつ。この海に特有な着生現象の解明を学際的なアプローチにより試みた。

ムラサキイガイなど4種類の幼生の飼育に成功し、着生行動と生体内で起こっている現象を、様々な学際的新手法を開発・応用して研究し、貴重な知見を多数得た。特にフジツボ類について広汎な研究を行い、着生誘起タンパク質（SIPC）の発見、SIPC感知から神経系と二次メッセンジャーを介する情報伝達による付着行動、セメント物質の分泌および変態に至る一連の情報の流れと機能発現の過程をほぼ明らかにした。一方、付着生物から多様な着生誘起物質ならびに有望な防汚剤候補を含む多くの着生阻害物質を発見した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

われわれの研究成果に触発され、国内外の着生現象に関する生物学的・化学的・分子生物学的研究が飛躍的に活発化し、欧州では様々なプロジェクトが発足し、活発な研究が続けられている。

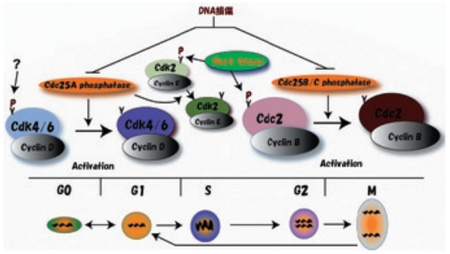
フジツボ幼生の着生現象に関連した研究は、日英共同研究が10年に亘り継続されており、着生誘起タンパク質遺伝子の解明など多くの成果を挙げつつある。フジツボ幼生の接着物質の研究は、プロジェクトメンバーにより継続され、全く未知であった海水中での付着の分子機構に光があたりつつある。

プロジェクトで発見した天然物由来の付着忌避物質から有望な防汚剤が創製され、実用化に向けた開発研究が進んでいる。JSTの大学発ベンチャー創出推進事業により、これら防汚物質と既存の塗料にはない低摩擦抵抗機能をもつ高分子ゲルを融合させたハイブリッド防汚剤・塗料の実用化も進行中である。

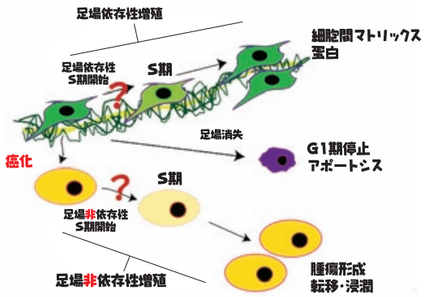
Okayama Cell Switching Project

岡山細胞変換プロジェクト

■総括責任者 **岡山 博人**（東京大学 医学部 教授）
■研 究 期 間 1991年～1996年



哺乳動物のDNA損傷による
G1期/G2期チェックポイント機構の対称構造



■ 研究成果

真核生物の細胞周期制御の中心機構の解明に突破口を開いた。

- 哺乳動物のG1期 G2期におけるDNA損傷チェックポイント機構の対称構造
- 分裂酵母のG1-S遷移制御機構
- 分裂酵母のDNA複製チェックポイント因子の発見
- 2種類の新規サイクリンの発見
- 増殖と分化の切換え機構
- 10数種の新規細胞周期制御因子の同定

■ プロジェクト後の展開、波及効果

発癌と細胞周期

- 発癌の根底機構である、足場非依存性増殖機構（正常な線維芽細胞や上皮細胞は、細胞外基質［足場］に接着した状態でなければ生存・増殖できないが、癌細胞は足場がなくとも増殖できること）の全貌の解明に迫りつつある
- 謎であった癌抑制因子p53の癌抑制作用の分子機構を解明する重要な手がかりを得る
- 癌細胞と造血細胞との間で足場非依存性増殖機構の同一性を見出す

リソゾームによる細胞周期制御

- 不要タンパクの分解が主な役割とされているリソゾームの酵素による複製開始点の活性化に必須なCdc6タンパクの分解制御の存在が浮かび上がる

Itaya Electrochemiscopy Project

板谷固液界面プロジェクト

■総括責任者 **板谷 謹悟**（東北大学 工学部 教授）
■研 究 期 間 1992年～1997年

■ 研究成果

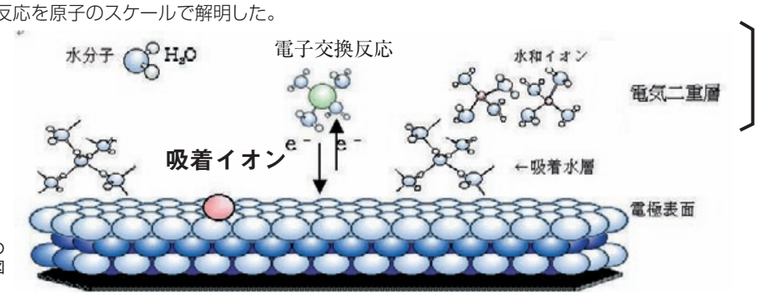
固体と液体が接する「固液界面」で起こる種々の物理及び化学過程を、研究代表者自ら開発した液中・電気化学走査トンネル顕微鏡（STM）を駆使する事により原子・分子のレベルで理解し、その諸過程を原子レベルで制御する可能性を探求した。

このため、各種金属電極、半導体電極表面を、液体中で、原子レベルで規定された、しかも、超高真空中と同程度の清浄表面を露出する方法に取り組み、その結果、単純な電解質を含む水溶液中で電位を制御する事により、金属・半導体表面が長期間にわたり清浄表面である事を明らかにした。従来の超高真空技術の使用を前提とした、表面科学に強いインパクトを与えた。この新たな手法を基に、多くの吸着構造、エッチングに代表される多くの電気化学反応を原子のスケールで解明した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクトの成果から、電気化学、界面化学、触媒化学、表面物理さらには結晶成長、吸着配向などに関連する以下の多く分野で現在も強い影響を与えている。

1) 固液界面における「表面科学」の新分野。
2) 電気化学STMの普及。
3) 電気化学反応の原子・分子レベルでの解明。
4) 分子素子への展開。
5) 生体物質の直接観察の可能性。
6) 新たなプローブ顕微鏡への発展。
7) 多層膜、結晶成長の分子レベルでのアプローチ。

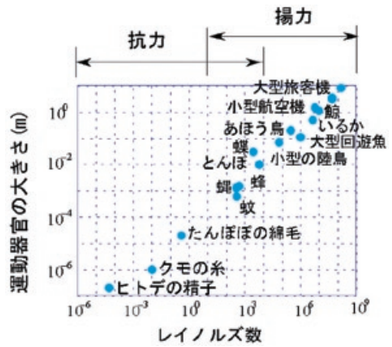


原子スケールでの
固液界面の模式図

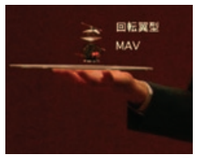
Kawachi Millibioflight Project

河内微小流動プロジェクト

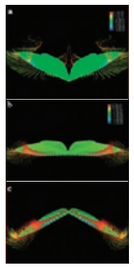
■総括責任者 **河内 啓二**（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）
■研 究 期 間 1992年～1997年



航空機も生き物も運動器官の大きさで卓越する流体力が決まり、その卓越した流体力を利用して飛行を行っている



昆虫サイズの微小無人飛行体（セイコーエプソン社）。本プロジェクトでの基礎的研究、MEMS技術によるセンサーや運動器官の小型軽量化で初めて可能になった



すずめ蛾の羽に発生する安定した渦と大きな非定常空気力を計算流体力学的手法（CFD）により解析

■ 研究成果

昆虫の飛翔を力学的視点から研究し、その特性を明らかにし、以下の成果を上げた。1）生物の運動器官では、利用する物理力、運動メカニズム、運動器官の形状などが、その大きさに一義的に支配されている 2）昆虫サイズの大きさの運動において優れている翼型と翼運動、非定常空気力発生のメカニズムを定量的に解明 3）昆虫の運動に対して有限要素法による構造解析、計算流体力学的手法（CFD）による流体力解析の有効性を示し、この解析方法が世界的に広く用いられるようになった 4）昆虫の神経情報の光学的計測、翼運動のレーザ計測、酸素分圧の局所的計測等に成功した。

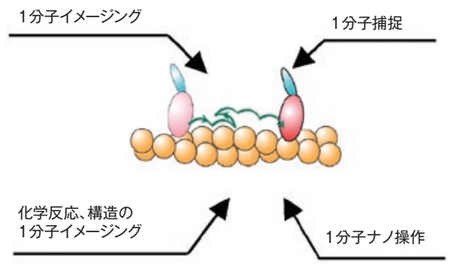
■ プロジェクト後の展開、波及効果

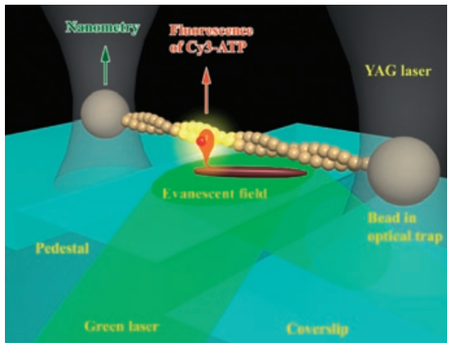
本研究の終了後、Micro Air Vehicle（MAV）と呼ばれる昆虫サイズの微小無人飛行体の開発が盛んになっている。MAVは墜落しても地上の安全性が高く、災害などのモニターとしての活用が注目されているが、本研究の成果がその設計指針の確立に役立っている。本研究参加者が開発した微小回転翼機は実用化も進められている。また、本研究の成果は、近年のMEMS（Micro Electro Mechanical System）技術による微小ロボットの設計指針としても活用されている。CFDによる流体解析は人間体内の血液や呼吸の流体研究に発展し、神経情報の光学的計測は昆虫の記憶や学習のメカニズムの解明にも貢献している。本研究の成果をまとめたビデオ「大は小を兼ねると言えども…」は、フランスのビアリッツ国際映像祭「金賞」をはじめ多くの賞を受賞、現在も科学教育の現場で広く使われている。

Yanagida Biomotron Project

柳田生体運動子プロジェクト

■総括責任者 **柳田 敏雄**（大阪大学 基礎工学部、医学部 教授）
■研 究 期 間 1992年～1997年





1分子イメージングとナノ操作法を組み合わせた化学・力学同時計測系

■ 研究成果

生体分子モーターの動作原理を解明するために、個々の分子を観て、操作し計測することに成功した。1分子蛍光イメージング、ナノ操作技術の開発を基礎に、1分子化学反応、1分子モーターの滑り運動、1分子蛋白質の構造の可視化、さらにナノメートル計測、1分子蛋白質の捕捉、化学・力学同時計測によるカップリング（エネルギーと運動の結びつき）の直接観察を行った。この計測の結果、ゆらぎを基礎にした、生体分子特有の動作機構が明らかになってきた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

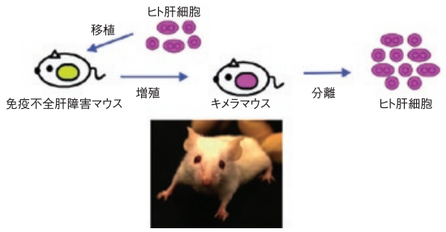
ERATOプロジェクトで開発された技術を基盤にさらに技術展開を行い、計測を行った。その結果、熱ゆらぎを利用して機能する分子モーターのメカニズムが明らかになった。また分子モーターを構成する蛋白質は熱ゆらぎを利用して機能する素子であることが示された。

1分子計測技術によって、分子モーターの理解は飛躍的に展開をした。分子生物学技術の発展もあり、分子モーターの基本ステップ運動が分子レベルで記述される礎となった。また、1分子計測技術は分子モーターの分野のみではなく、酵素機能、DNAや細胞生物など生命科学の広い分野に応用されている。いまや世界中の多数の研究者、技術者が、さらなる技術の発展と新しい分野への応用を目指している。またナノテクとしても、注目を集めており、新しい情報、医療技術として今後の展開が期待されている。

Yoshizato Morpho Matrix Project

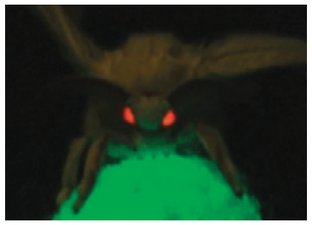
吉里再生機構プロジェクト

■総括責任者 **吉里 勝利** (広島大学 理学部 教授)
■研 究 期 間 1992年～1997年



ヒト肝臓をもつマウス

ヒト肝細胞を上図のように肝臓に移植すると、50日で約100倍に増殖し、マウスの肝細胞の最高で96%がヒト肝細胞で置換されたキメラマウスが誕生する。このキメラマウスを用いてヒト肝細胞に関する様々な研究（増殖分化、肝臓再生医療、医薬品開発）が展開されている。



コラーゲンを分泌するトランスジェニック蚕の成虫

ヒトコラーゲンの断片と緑色蛍光タンパク質の融合タンパク質を、繭に吐き出すトランスジェニック蚕を作製した。この蚕には、眼で発現する赤色蛍光タンパク質遺伝子も組み込まれている。

■ 研究成果

両生類組織の再生と再編に関わる遺伝子と蛋白の発現を網羅的に解析する手法を開発し、これらの過程に主役を演じる組織幹細胞の同定に利用する道をつくった。

また、哺乳類の肝臓の再生に関わる肝臓幹細胞の存在を証明し、その増殖と分化に関する性質を明らかにした。

更に、哺乳類皮膚構築に関わるマトリックス分子と細胞の新規性結合様式の存在を明らかにし、細胞とマトリックスの相互作用を利用した人工皮膚の開発を行った。

他に、毛胞誘導・再生の新しい方法を開発した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

両生類組織の再生と再編に関する細胞・遺伝子レベルの研究が更に進展し、再生因子の存在証明、再編と脊椎動物の進化の関係の理解に繋がろうとしている。トランスジェニックカエルを利用した環境アセスメント事業の展開に貢献した。蛋白質の網羅的解析手法はプロテオーム手法の事業化につながった。

肝再生の研究は、新規遺伝子（サイトグロビン）の発見とヒト肝細胞を有するキメラマウスの開発に発展し、創薬事業の起業化につながった。

皮膚構築に関わる細胞とマトリックスの新規結合様式を同定した。再生医療に必須のヒトコラーゲンを分泌するトランスジェニック蚕の作製技術開発に成功し、その事業化につながった。

新規毛髪再生技術の開発に成功し、その事業化が期待されている。

Yamamoto Quantum Fluctuation Project

山本量子ゆらぎプロジェクト

■総括責任者 **山本 喜久** (米国スタンフォード大学 教授、NTT基礎研究所主席研究員)
■研 究 期 間 1993年～1998年

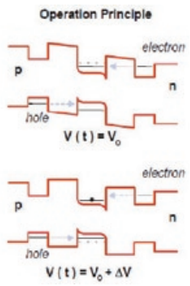


図 1. マイクロ pn 接合素子における単一電子―正孔対の注入（ターンスティル動作）の原理

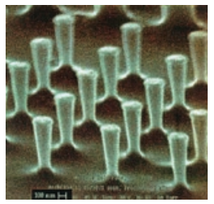


図 2. 単一フォトンターンスティル素子の SEM 像

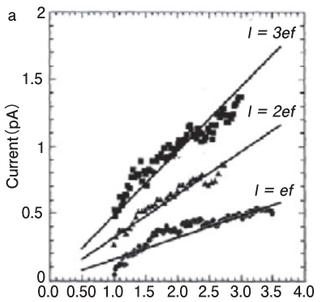
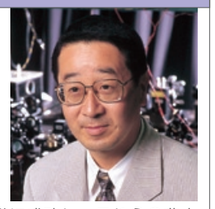


図 3. 量子化された pn 接合電流（I=ef、2ef、3ef は、1光子、2光子、3光子発生に対応）

■ 研究成果



プロジェクトでは量子論のより深い理解と単一量子系の状態を人工的に制御することに主題において研究を進めた。その結果、スクイーズ光という量子雑音を抑圧した「新しい光」を発生する半導体レーザを開発した。光子１つずつを規則正しく発生する単一光子ターンスティル素子と、単一光子を90%以上の量子効率で検出できる固体ホトマル素子の開発に成功し、これらの非古典光技術を用いた光精密計測システムを実現した。

半導体 cavity QED（共振器量子電磁力学）の手法を用いて、励起子の自然放出レートの制御に成功した。また、二次元電子ガスを用いた電子の量子干渉や強度相関の測定という量子論を確立する上で重要な難しい実験に成功した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本 ERATO プロジェクトの研究成果は、その後、国際共同研究（ICORP）プロジェクトに展開した。半導体ナノ構造による単一の量子ドットを内部に組み込んだ微小共振器を新たに開発し、制御された単一光子の取り出しが大幅に改善できることを示した。

この素子を用いて発生させた２つの単一光子の波束が量子力学的にオーバーラップする確率が 0.8 以上で、単一光子同士を重ね合わせたとき互いに強い相関を持つため分離して識別できないことを実験で示し（Nature 2002）、この手法の世界的潮流形成に貢献した。量子暗号伝送の新方式を提案し、量子通信と量子コンピュータの基礎理論、要素技術として発展し今日に至っている。

プロジェクトメンバーは、その後、主要大学の教授・助教授として量子情報分野の研究をリードする人材に育っている。

Tanaka Solid Junction Project

田中固体融合プロジェクト

■総括責任者 **田中 俊一郎** ((株)東芝研究開発センター研究主幹)
■研 究 期 間 1993年～1998年

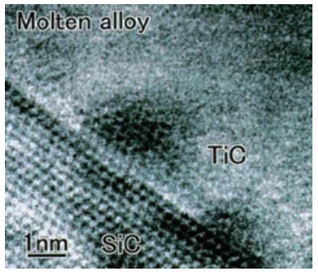
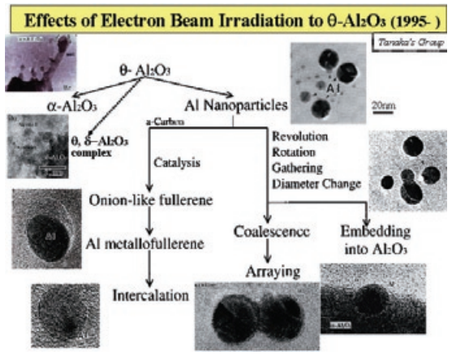


図. SiC接合を律速するTiC核生成の瞬間をとらえた格子像



■ 研究成果

プロジェクトは、それまで工業的色彩が強く物理化学的なアプローチが遅れていた材料接合の問題にサイエンスのメスを入れた。固体界面が形成される動的過程を原子および原子集団の大きさで直接解明することに成功し、接合過程を支配する素反応や融体の濡れに先行する原子層の存在を初めて明らかにするなど、従来の常識を覆した。また界面近傍における微小部応力・歪や界面電子物性とともに形成支配因子を把握した。さらには融合界面を設計・制御する可能性を探り、電子線照射が有効であることを示して、易酸化性金属ナノ粒子の移動・回転・融合および埋込操作などに発展させた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

「異種材料界面」「界面ナノ構造の実測と制御」「原子集団を動かしてナノ構造を創る」という固体融合の概念は、プロジェクト発足後 10 年以上経った今日でも正鵠を射ていると思われ、文献引用回数も多い。電子線やArイオンビーム照射によるナノ粒子の生成・融合操作に関する研究を継続発展させ、点から線、線から面へのナノ構造体創成には極めて有効であることを示して、様々な広義のデバイス要素を提案している。電子顕微鏡ステージ上での固体反応制御技術は、マイクロリアクターとしての可能性がある。界面形成素過程制御の概念は、機械材料の接合強度上昇だけでなく不要時に剥離しやすく環境に優しい技術ともなり、また半導体では各種ナノデバイス界面物性の発現、バイオ系では筋肉・骨など生体界面接合、酵素・細胞・ウィルスなどの着床制御などへ大きく展開する可能性を秘めている。

Hashimoto Polymer Phasing Project

橋本相分離構造プロジェクト

■総括責任者 **橋本 竹治** (京都大学 大学院 工学研究科 教授)
■研 究 期 間 1993年～1998年

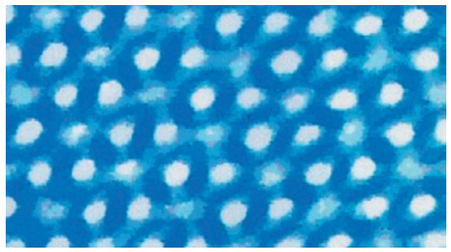


図 1. 高分子ブロック共重合体が形成する共連続ナノ・パターンの透過電子顕微鏡写真（超薄切片）。

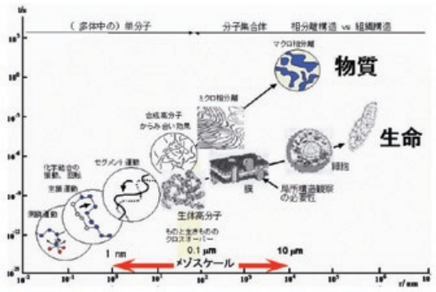


図 2. 本研究で解明した物質のメゾスコピックスケールの階層構造

■ 研究成果

分子が自然の仕組みに従い秩序構造を形成する過程（自己秩序化過程・相形成過程）を人為的に制御することにより、新しい機能を持つ非平衡構造の構築を行った。

有機物質として、また生命体を構成する物質として重要な高分子、コロイド、ゲル等のソフトマター（軟らかい物質群）について、分子集合体の形成と消滅、形や大きさの変化、運動など時々刻々の変化を、新たに開発した光・中性子・X線散乱を利用した実時間・その場観察法により観察した。図１は高分子ブロック共重合体の相分離によって形成された共連続ナノパターンの例である。本研究は分子集合構造の形成と運動を解明する普遍的法則を発見する成果を上げた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本研究は、図２に示すように、分子の化学結合から高分子の構造、更にその集合構造に至るメゾスケールの階層構造が、時間的・空間的に組織化される過程を明らかにした。それにより「相形成科学」研究の大きい流れを世界的規模で誘発した。また、ナノレベルでの分子集合構造の制御の研究は、「ナノサイエンス・テクノロジー時代」につながる先駆的役割を果たし、高分子ブロック共重合体の相分離によるナノ構造制御はデバイス作成にも応用されている。更に、このような階層構造を持つ非平衡過程の分子集合体が、外部からの刺激に対して応答と運動を行うことを分子科学に基づき解明する研究は、"分子集合体の力学"の基礎原理を新たに提唱したのみならず、今後、生体の生命活動の基礎である情報伝達機構の仕組みを探求する新分野として発展が期待される。

Hirohashi Cell Configuration Project

広橋細胞形象プロジェクト

■総括責任者 **広橋 説雄**（国立がんセンター研究所副所長）
■研 究 期 間 1993年～1998年

■ 研究成果

プロジェクトでは＜細胞の形態には多細胞社会の構築や機能に関する豊富な情報が表現される＞というコンセプトで多面的研究を行った。5年間の研究成果としては、生体機能分子の局在をハイスループットで可視的に捉えることで分子機能の解析と形態学との融合を目指した研究（RNA を多検体 in situ hybridization 法で、蛋白質を多検体 GFP 融合蛋白の蛍光観察法で観察）、組織形態形成に大きく関わる接着分子群の新規同定・機能解析といった生物科学的成果に加え、形態観察に有用な走査型光 CT 顕微鏡の開発などを行った。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

形態を基盤とした解析は現在では分子機能の基本的解析手法の一つとして汎用化されている。特にがんを始めとした疾病の本態解明に分子機能と形態の両側面からアプローチする分子病理学的解析は益々拡がりを見せており、病気の診断や予後の予測、創薬研究などへの展開が活発に行われている。

研究の直接的展開としても、各種自動化装置などを利用してモノクローナル抗体の多検体スクリーニングをより大規模に行い、形態学的観察を基盤に重要な機能分子を検索・単離する研究へ、さらには多数のがん検体での分子局在を一度に解析可能な Tissue Microarray の開発へと発展している。またこれらの研究からは細胞接着を積極的に阻害することでがんの浸潤・転移に大きく関与している膜蛋白質 Dysadherin など幾つかの新規分子が同定されている。

Takayanagi Particle Surface Project

高柳粒子表面プロジェクト

■総括責任者 **高柳 邦夫**（東京工業大学 大学院 総合理工学研究科 教授）
■研 究 期 間 1994年～1999年

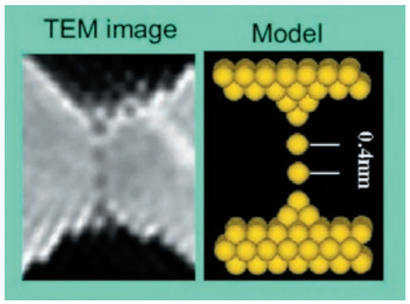


図１　金原子鎖の電子顕微鏡像とモデル図
電極と電極の間をつなぐ原子鎖を電子顕微鏡で初めて観た。

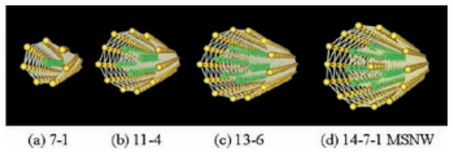


図２　魔法数７のヘリカル多層シェル構造の金ナノワイヤ
原子鎖が螺旋状に巻いてチューブを構成し、チューブが同心に重なっている。

■ 研究成果

ナノスケールになると、表面効果によって固体物質とは異なった構造や性質が創出されることを金属ナノワイヤ、シリコンナノ粒子、シリコン表面に作られる量子井戸（周辺よりポテンシャルの近い場所で電子が閉じこめられている）などで示した。高分解能超高真空透過型電子顕微鏡に走査型トンネル顕微鏡を組み込んだ手法を開発し、金原子鎖のコンダクタンスが $2e^2/h$（量子化の単位）に量子化されること、また、金ナノワイヤは固体構造を失って、７の倍数の原子数をマジックナンバーとするヘリカル多層シェル構造（図2）になることを見出した。ナノ物理を支配するキー（表面再構成，魔法数，次元性，量子閉じ込め）を示した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクトで得られた研究成果を基にして、量子ナノ物理学ともいうべき領域が成長した。たとえば，ナノワイヤの量子化コンダクタンスの研究は急速に進展した。金や銀などの貴金属だけでなく白金やアルミニウム，超伝導体ビスマス，有機分子ワイヤなど多様な物質についての“量子ナノワイヤの物理”が展開されている。一方、本プロジェクトで開発した研究手法は，原子や分子レベルでナノ材料を加工・計測・制御するナノテク基盤技術として展開されている。たとえば、電子顕微鏡と走査型トンネル顕微鏡を組合す研究手法は、目（アイ）と手（ハンド）を提供する有力なナノテク加工・計測技術として波及している。現在は，MEMS 技術と組み合わさって，さらに大きな発展をとげると期待が集まっている。

Hirao Active Glass Project

平尾誘起構造プロジェクト

■総括責任者 **平尾 一之**（京都大学 大学院 工学研究科 教授）
■研 究 期 間 1994年～1999年

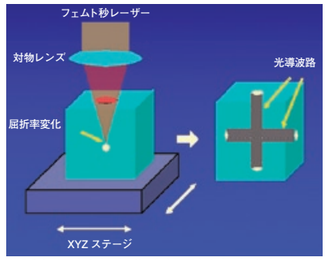


図１ 光誘起屈折率変化（高屈折率変化）メカニズム
（特許番号 3649835/2005年2月25日登録）

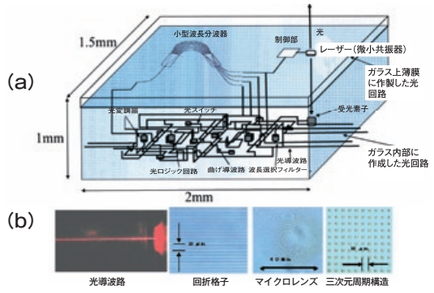


図２（a）三次元光回路模式図、(b)レーザー加工技術により微小光学部品をガラス内部に形成した例

■ 研究成果

本プロジェクトでは不規則構造・非平衡状態にある非晶質材料内に電場などの外部場を与えると、超微細な電子構造が誘起され新たな機能が発現するという観点に立ち、さまざまな誘起構造の形成と制御、さらにはそのメカニズムを調べてきた。中でも超短パルスフェムト秒レーザーを透明材料内部に集光照射させると、光と物質との非線形相互作用が非熱過程のもとで生じるので反応を高効率におこすことができ、新たな誘起構造の形成やその機能化が非常に容易となった。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

上記の結果、ガラスなどの非晶質構造内部に屈折率変化にもとづく光導波路、回折格子、バイナリーレンズから成る三次元光集積回路を描くこともできる。また、希土類、遷移金属、金属イオンの空間選択的な価数マニピューレーションもでき、さらに量子ドットとなるナノ微粒子や非線形光学、ナノ結晶をガラス内部に析出することもできた。

最近ではフェムト秒レーザーの多光束干渉場を利用し、光の波長をはるかに超えた、いわゆる光の回折限界を突破した数ナノメートル領域のナノ加工も可能となった。現在、これらの成果はＮＥＤＯナノテクノロジープログラム「ナノガラス技術プロジェクト」から「三次元光回路プロジェクト」として展開し、多くの実用化がすでに各企業で始まっている。

Yamamoto Behavior Genes Project

山元行動進化プロジェクト

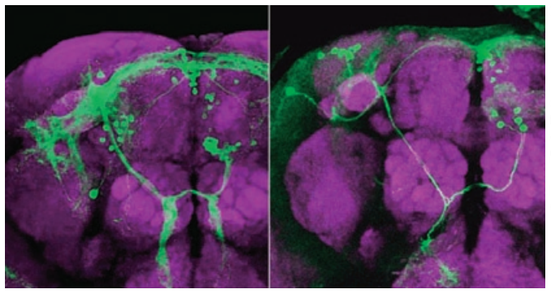
■総括責任者 **山元 大輔**（早稲田大学 人間科学部 教授）
■研 究 期 間 1994年～1999年

■ 研究成果

動物の行動を生み出す脳と遺伝子のメカニズム、ならびにその進化を理解するため、性行動の特定の部分が特異的に変化したショウジョウバエの突然変異体を作り出して、その変異原因遺伝子をクローニングによって突き止めた。そのうち雄が同性愛化する satori 変異体の研究からは、その原因遺伝子 fruitless が脳の雄化因子であり、一部の神経細胞の性転換によって性指向性が変化することがわかった。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

fruitless 遺伝子の mRNA は雌雄の脳で等しく作られているにもかかわらず、Fruitless タンパク質は雄の脳にしかないことがわかった。正常型遺伝子を satori 変異体に導入し強制的に発現させることで、脳の性をもとに戻すことができた。fruitless 遺伝子を発現している脳のニューロンの一部は、雌雄でその数と樹状突起の伸び方がはっきりと異なっていた。Fruitless タンパク質があると雄型のニューロンの発生が進み、雄の回路を作る。Fruitless タンパク質を持たないと雄型ニューロンは細胞死によって除去されるので、雌の脳には雌型のニューロンだけが残り、雌型の回路をつくる。実際、雌であっても Fruitless タンパク質が翻訳されるよう遺伝子改変を施された個体は、雌が雄のように他の雌に求愛した。こうして、行動がマスタースイッチ遺伝子を頂点とする「遺伝子のピラミッド」によって制御されているという新しい概念が生まれた。



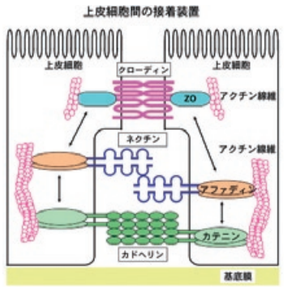
①行動の性差を生み出すと推定される fruitless 発現ニューロン
左、雄。右、雌。雄のニューロンは両側に樹状突起が伸びており、雌のものは一側（細胞体の反対側）に伸びており、細胞の数、樹状突起叢の形態も雌雄で異なる。
出典：Kimura, K-I., Ote, M., Tazawa, T. and Yamamoto, D. Nature 438, 229-233 (2005)

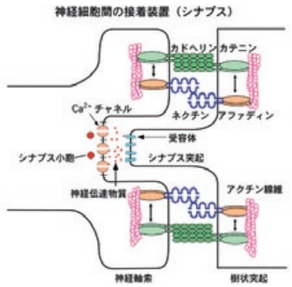
②左記論文掲載の Nature 表紙

Takai Biotimer Project

高井生体時系プロジェクト

■総括責任者 **高井 義美**（大阪大学 大学院 医学系研究科 教授）
■研 究 期 間 1994年～1999年





ネクチン系は、様々な細胞間接着を制御するとともに、がんや脳の高次機能障害などの病態にも重要な役割を果たしている。

■ 研究成果

蛋白分子間の相互作用を指標として、上皮細胞間の結合（接着）、神経細胞間の結合（シナプス）の構造を読み解くというアプローチを一貫して遂行し、多くの細胞間結合構成分子を同定した。とくに注目すべきはそれまで全く知られていなかったネクチン系という接着機構の発見である。接着分子ネクチンは裏打ち分子アファディンを介してアクチンに連結し、カドヘリン系との密接な関係のもとに上皮細胞間の接着装置や神経細胞間の接着装置（シナプス）の形成を制御していることを明らかにした。

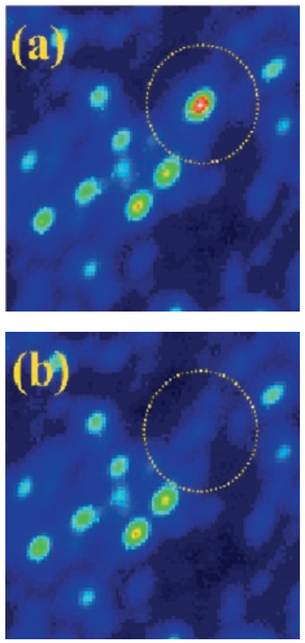
■ プロジェクト後の展開、波及効果

ネクチンと類似の構造をもつ新たなネクチン様接着分子群が見出され、両者がクロストークすることも明らかになった。今やネクチンとネクチン様分子は上皮細胞や神経細胞のみならず様々な臓器に発現するひとつの大きな接着分子ファミリーとして認められている。総括責任者のグループは引き続き世界をリードしているが、他にも多くの研究者がこの研究分野に参入している。ネクチンとネクチン様分子と相互作用する分子も次々と同定され、この一群の接着分子の多彩な機能の分子基盤が解明されている。それに伴いネクチンとネクチン様分子が細胞増殖や細胞極性、細胞運動などの制御に重要な役割を果たしていることが明らかになった。現在では、ネクチンとネクチン様分子とがん、脳の高次機能障害、感染症などの疾病の病態との関わりが注目されるようになり、その研究は診断や治療への応用的展開を期待させる段階に到達している。

Masumoto Single Quantum Dot Project

舛本単一量子点プロジェクト

■総括責任者 **舛本 泰章**（筑波大学 物理学系 教授）
■研 究 期 間 1995年～2000年



量子点の間欠発光現象、測定温度 6K。(a)点線で囲まれた量子点の発光が、(b)では観測されない。(a)と(b)の間を数百ミリ秒から数秒の間隔で行き来する。

■ 研究成果

1）MOVPEによる制御性の良い量子点作製技術（インジウムフラッシング法）を開発した。
2）高速消光型エリプソメトリによるMOVPE量子点形成の‘その場’観察法を開発した。
3）多励起子状態（励起子分子、2励起子状態、3励起子状態）を解明した。
4）量子点中のフォノンやフォノン緩和を解明し、量子点レーザの可能性を明らかにした（フォノンボトルネックの解消）。
5）量子点と母体（ホスト）の相互作用と明滅機構を解明した。
6）重水素終端ポーラスSi、不純物イオンをドープしたⅡ-Ⅵ族半導体ナノ結晶の光学的特性を解明した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

1）量子点作成技術の普及：MOVPE法における、エリプソメトリによるその場観察法やインジウムフラッシング法は、制御性の良い量子点の標準的な作成技術となって普及した。
2）トリオン量子ビートとチャージチューナブル量子ドットの発見と量子ドットスピンメモリーへの展開：プロジェクト終了時にInP量子点から無磁場下で観測された量子ビートは、トリオン（励起子と一個の電子の結合系）量子ビートであることが判明し、量子点中にドープされた電子のスピンと励起子との相互作用で、トリオンの励起状態が分裂することが解明された。これから、電気バイアスにより電子ドープからアンドープまで変化できるチャージチューナブル量子ドットの概念が誕生した。量子点中の電子スピンは、量子ドットスピンメモリーとして量子情報処理において重要な役割を果たすことが期待されている。

Kato Cytoprotein Network Project

加藤たん白生態プロジェクト

■総括責任者 **加藤 誠志**（(財)相模中央化学研究所主席研究員）
■研 究 期 間 1995年～2000年

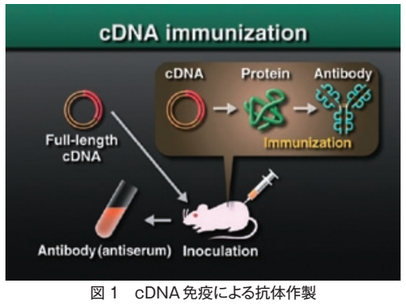


図１　cDNA免疫による抗体作製
ヒト完全長cDNA発現ベクターを注射や遺伝子銃でネズミに投与するだけで、cDNAがコードしているヒト蛋白質に対する抗体が作れる

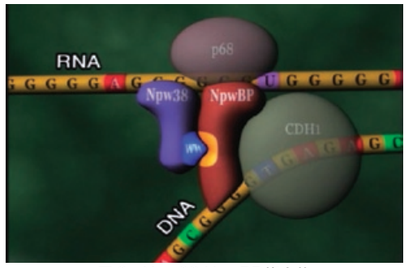


図２　Npw38-NpwBP複合体

■ 研究成果

すべてのヒト蛋白質を完全長cDNAの形でそろえてから、それらの蛋白質の細胞内局在部位や相互作用する蛋白質の探索を通じて新しい蛋白質ネットワークを見つけるというアプローチを提唱し、必要となる方法論の開発（例えば、cDNA免疫による抗体作製法、図1）並びに個別cDNAクローンがコードしている新規蛋白質の機能探索を実践した。その結果、細胞周期を制御している新しい蛋白質修飾経路（NEDD8化）、転写機構に関わる新しい核蛋白質複合体（Npw38-NpwBP、図2）などの発見によって本アプローチの有効性を実証した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトで提唱した「完全長cDNAバンクから蛋白質ネットワークへ」というアプローチは、ポストゲノムシーケンス時代における蛋白質ネットワーク研究において主流を形成するものとなった。新しく見いだした蛋白質修飾経路や蛋白質複合体は、これらの発見を契機にして、細胞周期の新しい制御機構における鍵として、あるいは脳の変性疾患に関わる原因蛋白質として、それぞれ新たな展開が図られている。また、本構想の中核技術となる完全長cDNAをすべてそろえるための技術の開発を続け、「V-キャッピング法」と名付けた新技術の開発に成功した。この技術は「完全長cDNAライブラリー受託作製」として事業化され、植物や昆虫を初めとする多くの真核生物の完全長cDNAバンク構築に貢献している。今後、これらのバンクを用いることにより、ヒト以外の生物についても、蛋白質ネットワーク研究の効率的な進展が期待される。

Doi Bioasymmetry Project

土居バイオアシンメトリプロジェクト

■総括責任者 **土居 洋文**（セレスター・レキシコ・サイエンシズ(株)代表取締役社長）
■研 究 期 間 1995年～2000年

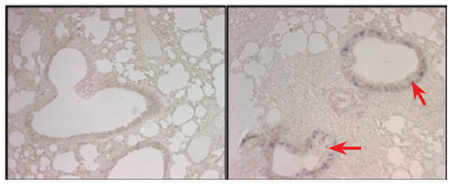


図1：大規模in situ hybridization技術による疾患特異的に発現する遺伝子の例（左：マウス正常肺、右：マウス喘息モデル肺）。この遺伝子は喘息肺の気管支に特異的に発現している（赤矢印）。

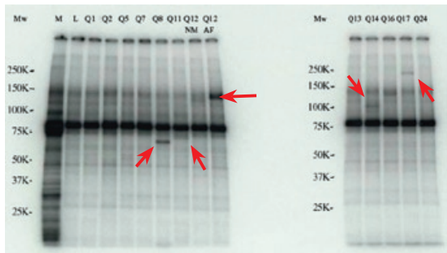


図２：蛋白質相互作用予測と実証実験の例。protein kinaseCの基質を予測し、リン酸化される基質を実証実験で確認（Q8,Q11,Q12,Q14,Q17）した。

■ 研究成果

マウス初期胚で発現する約25,500個のcDNAの塩基配列を解析し、多くの新規遺伝子を見出し理論解析に供した。酵母菌、線虫の非対称細胞分裂や生殖を遺伝的に解析し、新規遺伝子、機能性RNAなどを見出した。蛋白質のアミノ酸配列には偏りがあることを計算機解析し、特異な機能の予測、或いは蛋白質間の相互作用の理論に結び付けた。in situ hybridization（組織や細胞において特定のDNAやmRNAの分布や量を検出する方法）の手法を進化させ、大量の遺伝子発現像プロファイルをデータ処理するソフトウエアを開発し、大規模in situ hybridization技術のベースを作った。

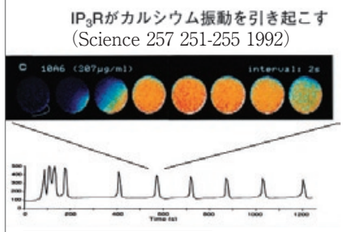
■ プロジェクト後の展開、波及効果

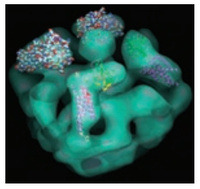
マウス初期胚でのcDNA解析は、洪らによりDNAマイクロアレイ化され、初期発生における網羅的遺伝子発現解析に展開した。また、ヒトや動物における生殖分野での応用が期待されている。蛋白質アミノ酸配列解析技術は、蛋白質の改良に使われ、JST委託開発事業として「高忠実・高伸長DNA増幅キット」の開発に繋がった。また、40%以上の予測精度をもつ蛋白質相互作用予測技術として発展した。大規模in situ hybridization技術は、小宮らによりアフリカツメガエル初期発生における機能性RNAの発見に繋がった。さらに、大規模in situ hybridization技術は正常組織と疾患組織における遺伝子発現像プロファイルを網羅的に比較することにより創薬標的遺伝子の発見に繋がったり、ファーマコゲノミクス診断法としての発展が期待されている。

Mikoshiba Calciosignal Net Project

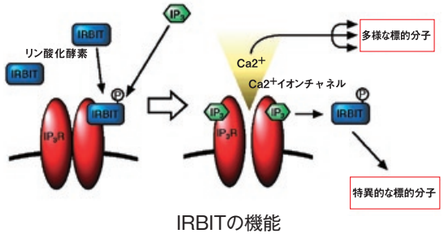
御子柴細胞制御プロジェクト

■総括責任者 **御子柴 克彦**
（東京大学 医科学研究所 教授、理化学研究所脳科学総合研究センターグループディレクター）
■研 究 期 間 1995年～2000年





IP3Rの3次元構造
（Nature 420 696-700 2002）



IRBITの機能

■ 研究成果

細胞内のカルシウム・イオン貯蔵庫（小胞体）からイオンを汲み出すイオンチャネル「イノシトール３リン酸受容体」（IP_3R）の多彩な機能を明らかにした。IP_3R の働きを阻害する特異抗体や IP_3R 欠失マウスの開発、レーザーによる標的分子不活化技術などを駆使し、IP_3R が、細胞分裂や受精の制御、神経細胞の突起伸長、個体発生での背側と腹側の決定、さらには学習、テンカン、小脳失調にも深く関係することを証明した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

IP_3Rは、タンパク質リン酸化酵素Cと並ぶ細胞内情報伝達系のかなめの分子であり、その広汎な機能の解明は、様々な神経疾患やがん、難病などの原因の解明や創薬にも結びつく。たとえば、本研究で開発した IP_3R 阻害剤（2APB）やその誘導体は避妊薬になる可能性がある。

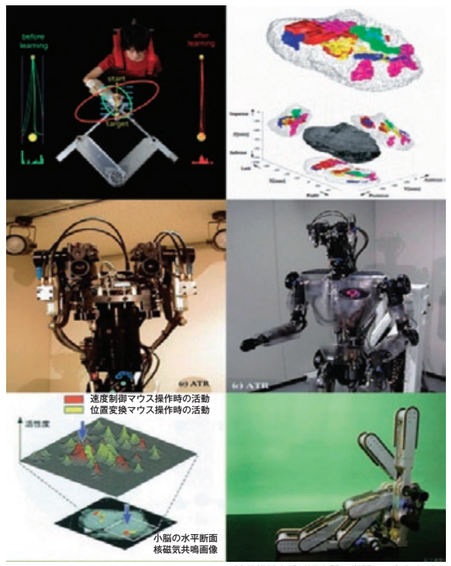
本研究後、IP_3R の 2、3 型が、唾液、消化液など外分泌に必須であることを証明、その障害が外分泌不全を伴うシェーグレン症候群（自己免疫疾患）の原因である可能性が示された。作製した IP_3R の 2, 3 型のダブル欠損マウスは同症候群の治療法開発に有用である。IP_3R の異常は関節リウマチなどとの関連も疑われている。

さらに IP_3 が、新たに発見、命名した IRBIT 分子を IP_3R から放出させること、IRBIT は生体内 pH を調節する NBC1 分子を活性化することを突き止めた（特許出願中）。NBC1 は緑内障や精神遅滞を伴う疾患（近位尿細型アシドーシス）の原因遺伝子であり、その活性化の仕組みの解明は診断、治療にも直結する。

Kawato Dynamic Brain Project

川人学習動態脳プロジェクト

■総括責任者 **川人 光男**
（ATR計算論的神経科学プロジェクト／サイバーヒューマンプロジェクトリーダー）
■研 究 期 間 1996年～2001年



▲操作特性の異なる２種類のコンピュータマウスを使っているときの人間の小脳活動の違い

試行錯誤を繰り返す間に学習して立ち上がる２関節、3リンクのロボット

■ 研究成果

小脳内部モデルの学習アルゴリズムについて、効率の良い学習と制御が実現可能なことを証明し、これを支持する非侵襲脳活動計測実験データを得た。小脳、大脳基底核、大脳皮質が３つの異なる学習の枠組みに応じて特化した組織であるというモデルを示した。また、内部モデルを獲得できない不安定な状況で、人間がいかに機械的インピーダンスを学習しているか等、脳の様々な情報処理機構を解明した。ヒトに近い重さ、大きさ、動き、関節自由度を持つヒューマノイドロボットDB を開発し、見まね学習や強化学習、小脳内部モデルの学習原理に基づいて、二十数個に及ぶタスクを実現した。眼球運動の学習制御モデルをロボットに実装し、それに対応する大脳皮質 MST 野の新しい計算モデルを導いた。

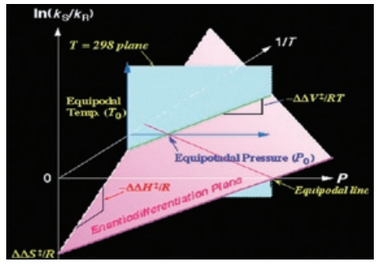
■ プロジェクト後の展開、波及効果

本 ERATO プロジェクトを一つの契機として、世界的にヒト型ロボットを用いた脳研究の分野が確立されたといえる。ヒトの熟練した行動を自ら学び取り、バランスの取れた滑らかな行動を再現する最新型ヒューマノイドロボットを開発するため、国際共同研究（ICORP）・計算脳プロジェクトを開始した。神経科学、認知科学、心理学の観点からヒトの行動に関する理解を深めると共に、ヒトの熟練した行動を学習する計算理論の構築、アルゴリズム開発を通じ、ロボットにバランスの取れた行動を再現させる研究を進めている。ヒトの複雑な運動におけるバランスや歩行に関する理解を深めて、障害者や高齢者の起立支援 (転倒防止) 技術開発を目指している。

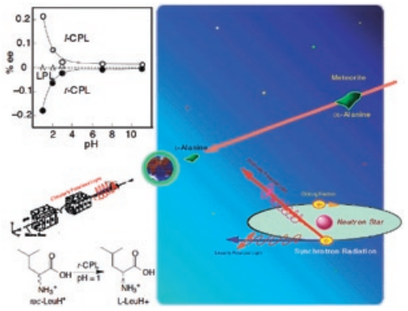
Inoue Photochirogenesis Project

井上光不斉反応プロジェクト

■総括責任者 **井上 佳久**（大阪大学 大学院 工学研究科 教授）
■研 究 期 間 1996年～2001年



キラル反応選択性のエントロピー関連因子による制御



宇宙空間における円偏光放射による
ホモキラリティー創成仮説の立証

■ 研究成果

本プロジェクトでは、光化学と不斉化学の接点から生まれる新しい不斉光化学の分野を開拓した。具体的には、光と分子キラリティーに関わる現象すべてを研究対象とし、「光と分子」、「分子と分子」、「場と分子」の間の励起状態相互作用を利用した「光によるキラリティーの創出」、「光によるキラリティーの増殖」、「光によるキラリティーの伝播」を実現するとともに、それに基づく光学収率の飛躍的増大と光不斉反応を支配する原理を解明した。さらに、従来軽視されがちであったエントロピー因子が重要なはたらきをする系の発見を基盤に、「化学反応の多次元動的制御」の新概念を確立した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

「光によるキラリティー創出」では、「宇宙空間における円偏光シンクロトロン放射によるホモキラリティー創成仮説」の宇宙類似環境下における実験的検証を行い、大きなインパクトを与えた。

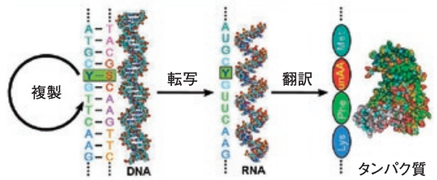
「光によるキラリティー増殖」では、光不斉増殖系において見出したキラル反応選択性のエントロピー関連因子による制御法を他の様々な化学反応・分離科学・超分子化学などにも展開し、化学における「エントロピー制御へのパラダイム変換」を先導しつつある。

「光によるキラリティー伝播」の成果は、予め規則正しい高秩序場が与えられている生体高分子などのキラル超分子系を用いる新たな超分子光不斉合成法に展開中であり、さらにポルフィリン２量体を用いる汎用性の高い高感度絶対配置決定法の開発にも成功した。

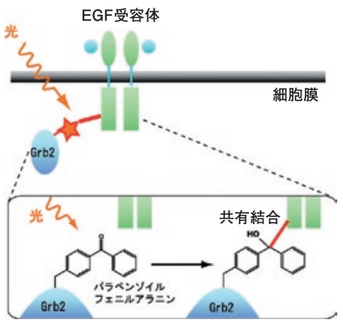
Yokoyama CytoLogic Project

横山情報分子プロジェクト

■総括責任者 **横山 茂之**（東京大学 大学院 理学系研究科 教授、理化学研究所主任研究員 / ゲノム科学総合研究センタープロジェクトリーダー）
■研 究 期 間 1996年～2001年



遺伝子に人工の塩基対（S-Y）を組み込み、RNAやタンパク質中に新たな構成成分（RNA中のY、タンパク質中のunAA）を導入することが可能になった



特定のタンパク質（青色）に光に反応するアミノ酸（星印）を導入し、EGF（上皮成長因子）レセプターと結合させた。シグナル伝達に関わる創薬への道が開けた

■ 研究成果

生物の情報処理を担う遺伝情報分子および細胞情報分子を改変することにより、新しい人工情報処理システムを構築することを目的として研究を行った。そして、遺伝子に人工の塩基対を組み込むことにより、転写と翻訳を組み合わせた系で、非天然型アミノ酸のタンパク質中への導入に成功した。また、天然型の終止コドン（転写を止める遺伝暗号）を用いて非天然型アミノ酸をタンパク質中に導入する簡便な系も開発し、これにより非天然型アミノ酸（ヨードチロシン）をシグナル伝達に関わる EGF（上皮成長因子）レセプターの特定部位に導入することができた。

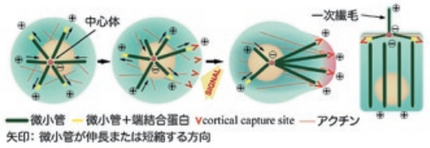
■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクトの成果をさらに発展させ、核酸やタンパク質中に非天然型の構成成分を導入する技術を確立し、新たな機能を有するRNAやタンパク質を人工的に作り出せるようになった。例えば、人工塩基対を介して、RNA 中に種々の機能性の構成成分を導入し、診断・治療薬の開発に繋がる人工 RNA を創出した。また、天然型の終止コドンを用いる方法では、動物細胞中で非天然型アミノ酸をタンパク質中に導入することにより、光によって近くの分子と共有結合するタンパク質を作製することができた。さらに、EGF とそのレセプターの複合体の構造解析にも成功し、この情報に基づいた設計により、非天然型アミノ酸を導入した人工レセプターの創製も可能になった。これらの成果から、新たな診断・治療薬の開発を可能とする革新的なテクノロジーを生み出すことができた。現在、ベンチャーの設立も予定している。

Tsukita Cell Axis Project

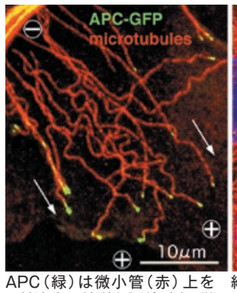
月田細胞軸プロジェクト

■総括責任者 **月田 承一郎**（京都大学 大学院 医学研究科 教授）
■研 究 期 間 1996年～2001年



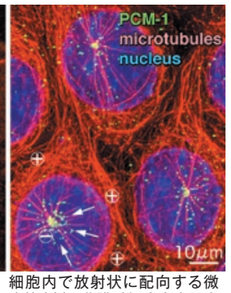
Cortical capture site（微小管を捕捉する細胞膜部位）と微小管＋端結合蛋白との結合による微小管安定化と細胞軸の決定（左図）。上皮における細胞軸の決定（右図）。

微小管－端から＋端への輸送



APC（緑）は微小管（赤）上を＋端方向へ輸送され（矢印）、微小管＋端に集積し、cortical capture site との結合に関与すると考えられる。

＋端から－端への輸送



細胞内で放射状に配向する微小管（赤）。非膜系細胞内小器官 centriolar satellites（緑）は微小管上を－端方向へ輸送され、中心体周辺に集積する。

■ 研究成果

細胞内の部品をある方向に向かって配置する場合、すべての細胞に普遍的な座標軸を、『細胞軸』と呼ぶ。「細胞軸形成のために必要な外的刺激がどのようなものか？」「細胞軸が決定された後、どのような細胞内反応が起こり、実際の方向性を持った細胞構造が形成されていくか？」という課題について、1)微小管（中心体という小器官から伸びる細い管）の役割を探る方向、2) 発生時の細胞軸を探る方向、3)タンパク質分泌の軸を探る方向からアプローチを行った。①微小管上を運動し、中心体付近に集積する新規非膜系細胞小器官 Centriolar satellites(CS)の発見、②アピカル膜（内腔側膜）での Primary cilia（一次繊毛）形成に必須なタンパクOdf2 の同定、③癌抑制遺伝子産物APC 及びEB1の細胞内動態解析、④細胞間接着分子カドヘリンの進化論的機能解析、⑤蛋白質高次構造を破壊する因子アンフォルディンの同定、などの成果が得られた。

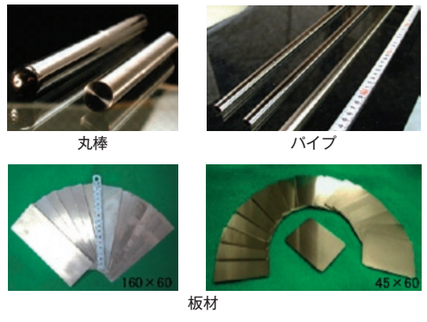
■ プロジェクト後の展開、波及効果

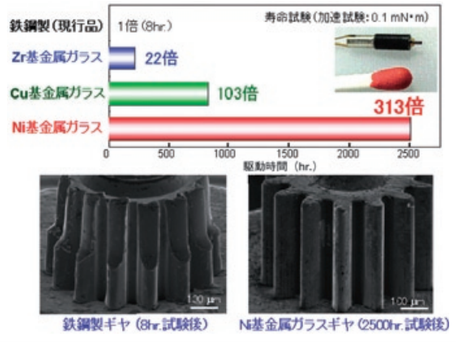
分子生物学的・生化学的手法をイメージングと組み合わせていくことにより得られた成果から、広く進展がみられている。①CS は、中心体の複製・成熟に重要であることが明らかとなり、構成成分の解析が進んでいる。②Odf2を手掛かりに、Primary cilia の機能およびその機能不全による病態の検討に向けてマウスでの研究が進行中である。③APC、EB1の動態はこの分野のブレークスルーと評価され、さらなる解析が進んでいる。④多細胞生物進化を考える上で重要なカドヘリンの進化論的解析は、進行中である。⑤アンフォルディンは神経変性疾患における不溶性蛋白質凝集体の解析を可能にし、ピック病、アルツハイマー病等の診断・病態解明に寄与している。

Inoue Superliquid Glass Project

井上過冷金属プロジェクト

■総括責任者 **井上 明久**（東北大学 金属材料研究所 所長・教授）
■研 究 期 間 1997年～2002年





■ 研究成果

主要成果として、Fe, Co, Ni, Cu, Pd-Cu基などの多くの新バルク金属ガラス合金群を見出し、これらの金属ガラスの形成能の極限を見極め、高ガラス形成能の原因を構造解析結果に基づいて究明した。また、金属ガラスの特性として、Fe 基では高強度、高耐食性、高磁束密度軟磁性を、Co 基では零磁歪軟磁性、高周波透磁率特性を、NiとCu基では高強度、高延性 、高耐食性、高流動加工性を、Pd-Cu 基では金属中最大の形成能を示すことを見出した。このように、工業上重要な遷移金属基バルク金属ガラス群を世界に先駆けて創製し、構造、基礎物性、加工性を解明し、工業材料としての有望性を示した。

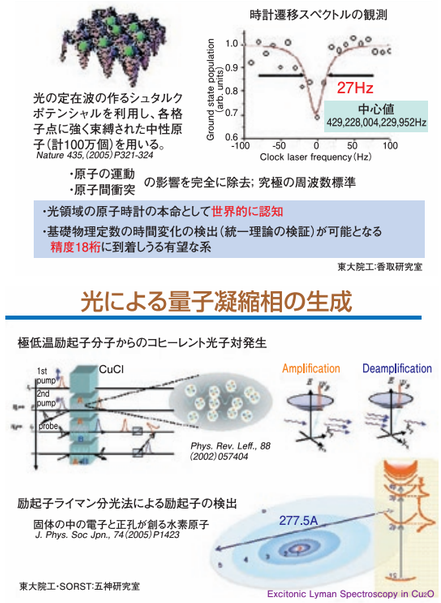
■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクト終了後の約３年間、我々が見出した遷移金属基バルク金属ガラス群を従来の結晶金属と対比できる新金属材料として社会認知を得るために、工業化のための基盤研究と生産加工技術の開発に取り組んできた。その結果、これらの遷移金属基のすべての系において、センチメートル級の直径をもつバルク金属ガラスの作製に成功すると共に、Fe基では低鉄損軟磁性部材として実用化を達成し、さらなる販路の拡大を図っている。Co基では高感度アンテナ部材、NiとCu基では光学用精密部材、世界最小の高トルクギアードモータの微小精密機械部材、高感度・高耐圧車載用圧力センサー、燃料電池用セパレータ、コリオリ式流量計センサーパイプ材、各種のスポーツ用具材、コンポジット用高強度母材等への実用化研究を推進し、新金属として社会貢献を果たし始めている。

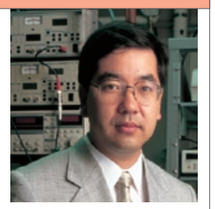
Gonokami Cooperative Excitation Project

五神協同励起プロジェクト

■総括責任者 **五神 真**（東京大学 大学院 工学系研究科 教授）
■研 究 期 間 1997年～2002年



■ 研究成果



レーザー光の性質を巧みに利用すると、物質の熱運動を除去した極低温状態や、励起状態を介して新たな物質相に到達することが可能となる。このような状態を創りだす方法の開拓とその物性と機能探求を進めた。原子気体から半導体、有機化合物、遷移金属酸化物に至る広い物質系を対象とし理論実験両面から進めた。

Sr 原子のスピン禁制遷移レーザー冷却法を開拓し、100 ミリ秒で常温からナノケルビンに至る高速冷却法を確立した。半導体におけるキャリアの多体量子相関による光制御機能、キャリアの凝縮相の実現、一次元銅酸化物系の巨大非線形光学効果を発見した。

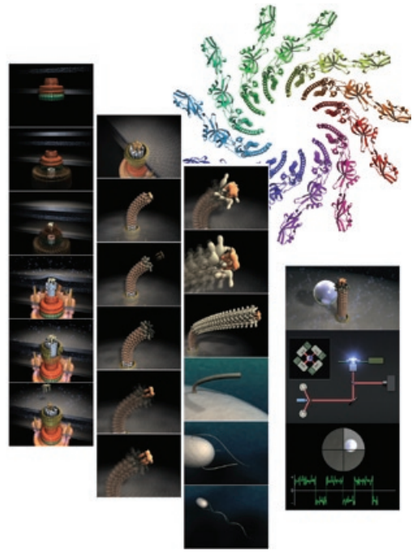
■ プロジェクト後の展開、波及効果

光格子時計（Sr原子のスピン禁制レーザー冷却法の応用として、極低温原子を光の定在波の作る格子点にトラップし、それを参照する原子時計）は本プロジェクトにより実証された。次世代原子時計の本命として認知され、米国NISTを含む世界各地で開発が進んでいる。光によって高密度に生成された励起子系が示す巨視的な量子現象を扱う励起子ボース凝縮や電子正孔凝縮の研究は、本プロジェクトで開拓した励起子ライマン分光法により、スピン禁制パラ励起子の検出が可能となるなど大きな展開が見られる。パルス２光子励起による極低温励起子・励起子分子生成技術は、スクイーズド光（量子力学の不確定性に起因する量子雑音を抑圧した光）や量子暗号に使うエンタングル光子対発生といった光の量子論的な制御に活用された。微小球や人工キラル格子といったナノ構造との組み合わせによる光機能発現の研究、磁気光学、テラヘルツ分光への展開が見られるなど、研究成果は量子光学、物性物理学等広い分野に波及しつつある。

Namba Protonic Nanomachine Project

難波プロトニックナノマシンプロジェクト

■総括責任者 **難波 啓一**（大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授）
■研 究 期 間 1997年～2002年



（左端の列）べん毛の基部（モーターの回転子と固定子）
（2列目）べん毛フックとキャップ構造（先端）
（3列目）べん毛繊維とキャップ構造（先端）
（右端の列）べん毛モータの回転計測
（右上）べん毛繊維のタンパク質・フラジェリンの立体構造（先端から見た図）

■ 研究成果

Ｘ線回折、電子顕微鏡、光学顕微ナノ計測法を開発し組み合わせて、超分子ナノマシンのしなやかな自己構築機構や超精密スイッチ機構を解明した。 1）べん毛先端での自己構築を支えるキャップのドメイン構造変化と回転機構を解明 2）べん毛繊維のらせん型プロペラ構造スイッチ機構を原子レベルの立体構造変化として解明 3）極低温電子顕微鏡像の解析技術開発によりわずか４万分子像の平均で原子レベルの分解能を達成 4）繊維状超分子構成蛋白質のＸ線結晶構造解析法の確立 5）べん毛モータ固定子膜蛋白質の大量発現、単離、精製法の確立 6）べん毛モータ回転計測系の開発により大きな振幅の速い回転ゆらぎを発見。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

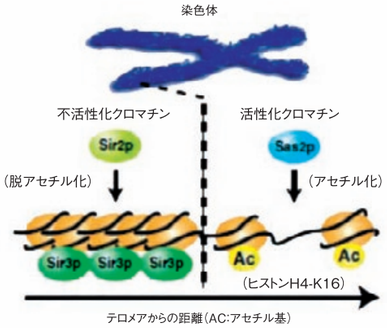
スタート時点では「ナノマシン」という言葉自体が疑問視される状況にあった。しかし、20数種類もの蛋白質が自己集合して構築される巨大な超分子「細菌べん毛」各部の立体構造の解明と動態のナノ計測を通して、しなやかな自己構築や超精密スイッチのしくみが原子分子レベルで明らかになり、ナノマシンは生体分子の代名詞となった。高い柔軟性、適応性、自己構築能力を持つナノマシンの設計構築を目指すバイオナノテクノロジーの基盤的概念となり、工学や物理学の重要な研究対象になった。また、低分子量の蛋白質やドメインを対象としていた構造生物学が、超分子自体の高分解能立体構造解析を目指すようになり、世界的なトレンドとなった。電子顕微鏡像解析によるナノマシン立体構造解析技術の進展もめざましい。

Horikoshi Gene Selector Project

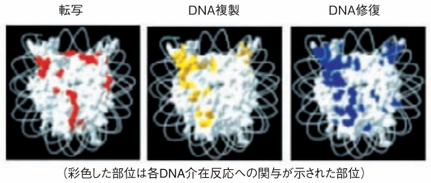
堀越ジーンセレクタープロジェクト

■総括責任者 **堀越 正美**（東京大学 分子細胞生物学研究所 助教授）
■研 究 期 間 1997年～2002年

染色体機能領域及び境界領域決定機構モデルの提出



染色体機能決定中心因子ヒストンをモデル例とした
究極の蛋白質機能解析法（GLASP法）の確立



（彩色した部位は各DNA介在反応への関与が示された部位）

■ 研究成果

染色体から遺伝情報がどのように読み出されるか？という難題を解くため、遺伝子の特定領域を選択して遺伝情報の読み出しを制御する「ジーンセレクター」に着目し、独自の手法で「ジーンセレクター」を数多く単離、機能を明らかにした。また染色体の基本的構成蛋白質ヒストンの全分子表面に点変異を導入する斬新な戦略で染色体の構造と機能を包括的に解明する突破口を開き、ヒストンの化学修飾の勾配を介して染色体の領域が機能区分されるという新しい制御機構（Negotiable border model）の提唱など新しい概念を生み出した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

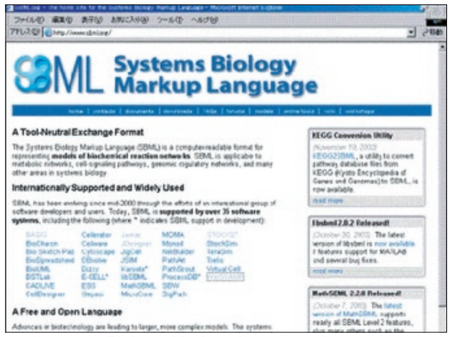
今日的中心課題「クロマチン（染色質）」研究で新しい分野を切り開いただけでなく、生命科学研究全般に貢献する新しい研究方法論を開拓した。更に生物の「細胞機能」を総合的に解析する「機構進化」分野など新たな領域の創生に至る展開を得た。a) 構築したヒストン点変異体ライブラリーからヒストンの機能表面の全容が解明され、研究リソース（取得特許２件）として国際的に認知された、 b) Negotiable border model は、クロマチン機能制御研究分野に新たな洞察を加え、国際的な研究競争を巻き起こした、c) ヒストンシャペロンCIAの発見を生かして、新規ヒストンシャペロン（FKBP，JDP2 等）を次々と同定した。新規クロマチン構造変換因子の発見数は世界的に群を抜いている、d) 多くの「ジーンセレクター」の三次構造解析に成功し、分子機構レベルで世界的成果を示した等が波及効果に挙げられる。

Kitano Symbiotic Systems Project

北野共生システムプロジェクト

■総括責任者 **北野 宏明**（ソニーコンピュータサイエンス研究所取締役副所長）
■研 究 期 間 1998年～2003年

ヒューマノイドロボット。左から PINO，SIG，morph



Systems Biology Markup Languageのウェブサイト

■ 研究成果

多くの多様性をもつ構成物の巧妙な相互作用から成り立つ生命現象を、単なる複雑系ではなく各々の要素の「共生系」と捉え、そのシステムレベルでの理解を目指すシステムバイオロジーと、知能・行動レベルでの工学応用･産業展開を目指す共生系知能の二方向で研究した。

その結果、システムバイオロジーという新たな学問分野の勃興に大きく貢献すると共に、モデル表現言語 SBML やロバストネスに関する幾つかの重要な技術的・理論的枠組みを確立した。共生系知能分野では、人間型ロボットにおける音環境理解や複数感覚融合などの先端的技術、ロボットデザインという分野の開拓を行い、商業化への道筋をつけた。プロジェクトのスピンアウトとしてロボット・ベンチャーが２社誕生し、順調に成長している。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

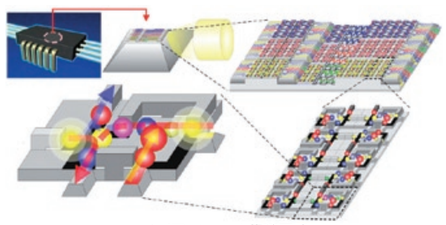
システムバイオロジーは、現在、非常に注目を集める分野に発展しており、今後、生命のロジックの基本的理解に大きく貢献する 21 世紀の生物学の主流となると考えられる。新たな疾病治療法や創薬への貢献など、大きな社会的インパクトをもたらすとも期待される。ERATO 研究終了後、成果発展事業に採択され、ソフトウエア基盤開発、ロバストネス理論、疾病（特にガン）への応用を中心に研究を進めている。

共生系知能の成果は、各研究者が移籍した京都大学、ホンダなどで生かされると共に、本プロジェクトの開発チームが中心となり新たに設立された未来ロボット技術研究センターで、引き続き研究が行われている。また、既にスピンアウトしたベンチャー２社は、このプロジェクトの成果を商業的に発展させその意義を社会へと還元しており、今後より大きなインパクトを与えると考えられる。

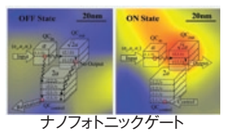
Ohtsu Localized Photon Project

大津局在フォトンプロジェクト

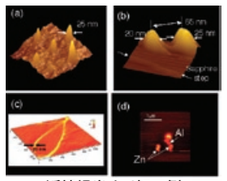
■総括責任者 **大津 元一**（東京工業大学 大学院 総合理工学研究科 教授）
■研 究 期 間 1998年～2003年



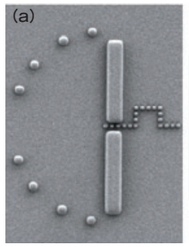
ナノフォトニック集積回路



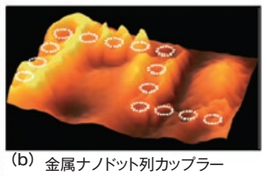
ナノフォトニックゲート



近接場光ナノ加工例



(a)



(b) 金属ナノドット列カップラー

■ 研究成果

光の回折限界を超えてナノ寸法の光科学技術を実現するために近接場光を研究し、その応用としてのナノフォトニクスとアトムフォトニクスという新しい領域を開拓した。まず量子力学的な物理量を矛盾なく記述できる近接場光理論を構築した。次にナノフォトニクスではナノフォトニックスイッチなどのデバイス、ナノ光化学気相堆積などの加工法などを開発した。さらにアトムフォトニクスでは原子の偏向、誘導、捕獲、移動、解放などの方法を開発した。以上により革新的な光科学技術の基礎から応用技術まで幅広く、質、量ともに優れた研究成果を得ることができた。

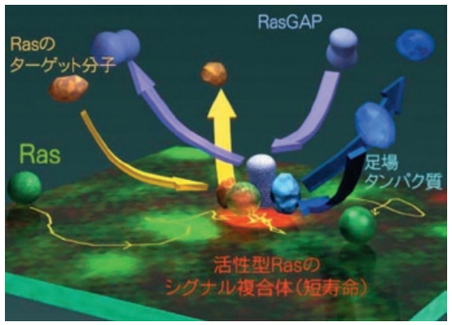
■ プロジェクト後の展開、波及効果

本 ERATO プロジェクトの成果を集約して、従来の光技術の大部分はナノフォトニクスによって置き換え可能ということができる。そのような広い応用展開の基盤確立のために、本プロジェクト終了後直ちに JST の発展・継続研究ナノフォトニクスチームが発足し現在に至っている。これらの成果は産業界に波及し、各省庁による実用化・産業化の大型プロジェクトが発足した。例えば民間企業８社による大容量光ストレージの産業化事業、近接場光リソグラフィ装置開発（すでに実用化のための雛形装置が完成、全国公開利用開始）、ナノフォトニクス推進開発のための人材育成事業、等である。また、国際的にもナノフォトニクス研究開発が急進展しており、まさに本プロジェクトの成果が大きく育ち、社会貢献している。

Kusumi Membrane Organizer Project

楠見膜組織能プロジェクト

■総括責任者 **楠見 明弘**（名古屋大学 大学院 理学研究科 教授）
■研 究 期 間 1998年～2003年



細胞膜のシグナル伝達分子 Rasが、活性化された瞬間を1分子観察した画像（活性化したときに、分子が発する蛍光が緑から赤く変わる）。Rasは細胞膜の細胞質側表面に結合しており、この図では上が細胞質。細胞膜の画像は Rasを1分子追跡した実際の実験画像。軌跡は、この分子の運動を示す。多くの分子が Ras 活性化に伴って結合し、シグナル複合体を形成するところを図で示した。複合体の寿命は短く、1秒以下である。このような、ダイナミックな分子間結合が、細胞膜でのシグナル伝達を可能にしている。

■ 研究成果

多細胞生物では、細胞は他の細胞とコミュニケーションしながら働くことが必要で、細胞膜でのシグナル変換は非常に重要であるが、シグナル変換の基本方式はわかっていない。本プロジェクトでは、１分子ナノバイオロジーのさまざまな技術を開発し、シグナル変換にかかわる分子の細胞膜中での挙動を１分子レベルで調べた。細胞膜は膜骨格によって仕切られており、それが膜分子の拡散運動を制御し、シグナルを局在化させていることを見出した。さらに、細胞外からやってきたシグナルは、膜でのドメイン形成と膜の２次元性に助けられて、短寿命のシグナル分子複合体の形成を誘起すること、それが発するパルス状信号の重ね合わせとして多くの細胞内シグナルが作られることが分かった。人工素子にはない可塑性という細胞膜の構築原理が、機能発現に重要である。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

「膜骨格とそれに結合した膜タンパク質（フェンスとピケット＊）が細胞膜を仕切っている」という発見は、細胞膜の構造と機能の理解にパラダイム変換を起こしつつある。また、「膜骨格にサポートされた神経細胞膜の極性維持、シグナルの局在化」などの概念は、細胞のシグナルと形作りの研究に大きな影響を持つようになった。さらに、「生細胞内で分子の活性化を１分子ずつ検出する方法」は、新規薬剤のスクリーニング手法として注目されている。我々の研究と開発の結果は、細胞膜のはたらく仕組みの理解を大きく進展させ、細胞膜に働く新規薬剤の開発を促すものとなっている。

＊膜骨格の網目構造は膜タンパク質に対してフェンスのように働く。さらに膜骨格に沿って立ち並んだ膜貫通型タンパク質が、膜分子の拡散に対する障壁として働くというモデル。

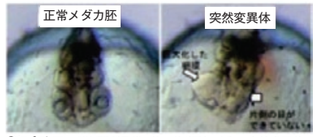
Kondoh Differentiation Signaling Project

近藤誘導分化プロジェクト

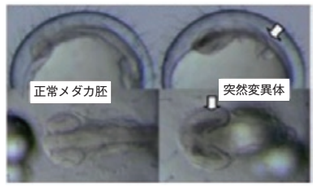
■総括責任者 **近藤 寿人**（大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授）
■研 究 期 間 1998年～2003年

突然変異体スクリーニングで使用した大規模水槽システム

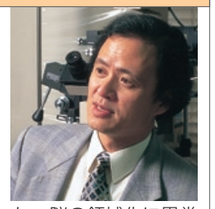
Fukuwarai　脳や頭の配置が秩序を失った突然変異体



Otafuku　脳と頭が異常、体の後半ができない突然変異体



メダカの頭部形成の突然変異体



■ 研究成果

組織間の相互作用に依存する細胞分化を基盤とした、個体発生の素過程を明らかにする研究を推進した。特に日本に潜在する国際的な研究の先導力を発掘する努力をした。

日本発の実験動物であるメダカの胚20万個以上のスクリーニングにより、初期発生に係わる200余の突然変異体を単離し、系統として確立した。脳の領域化に異常を示すものなど、他の実験動物では見られない新規の突然変異体を沢山得た。変異体の原因遺伝子を知れば、発生過程のさまざまの調節機構を一挙に明らかにすることができる。

また、ゼブラフィッシュの体節形成に係わる多くの新規遺伝子や突然変異体を単離した。イモリを用いた再生研究を現代的なものとするために、基礎的な開発研究を行った。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

ERATO研究終了後、発展研究（2003年10月～）において脳の領域化に異常を示すメダカ突然変異体を中心として「小型魚突然変異体群を用いた脳領域発生の研究」を行い、多数の突然変異体について原因遺伝子を同定し、これまで全く知られていなかった発生過程の新しい制御機構を次々と発見するに至っている。

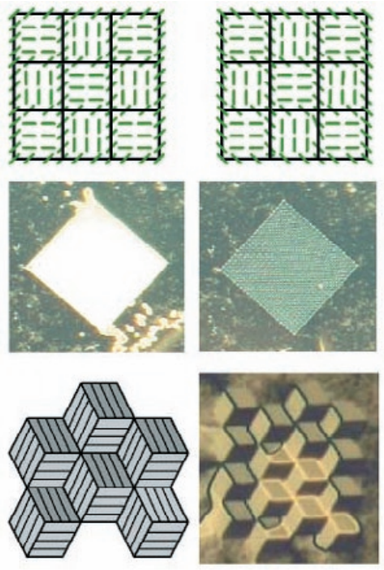
ゼブラフィッシュを用いた体節形成の研究は、自然科学研究機構・岡崎統合バイオサイエンスセンター教授に転任した高田慎治らによって発展させられ、体節形成の研究に革命的な進歩をもたらした。

水野伸彦らによって、世界ではじめてトランスジェニックイモリが作製されるなど、両生類を用いた再生研究に大きなインパクトを与えた。

Yokoyama Nano-structured Liquid Crystal Project

横山液晶微界面プロジェクト

■総括責任者 **横山 浩**（産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門部門長）
■研 究 期 間 1999年～2004年



表面マイクロパターンによる多重安定性液晶デバイス
上：市松模様の配向パターン（4回対称）とこれによる
中：双安定性の実現、電界によるスイッチング（白・黒）
下：6回対称のパターンと三安定性の実現

■ 研究成果

「液晶のナノテクノロジー」を目指して、ナノスケールの界面環境と液晶の自己組織性との協奏が生み出す、分子集団の多様な高次構造の世界を開拓し、その形成機構の解明と人為的制御による新規な機能の発現に取り組んだ。実験と理論を横軸に、そして微細加工・分析（トップダウン）と合成・統合（ボトムアップ）からのアプローチを縦軸にした分野横断的な研究開発を行い、これまでに例のない三安定液晶デバイスの実現、液晶と粒子からなる規則的安定配列の構築と理論・シミュレーションの展開、液晶コロイドの自己組織化と光制御、フォトニック液晶、液晶の集団秩序を生かした分子モーターの実現など、科学と技術にわたるナノ構造液晶の将来性を明示する、多くの先導的な成果を挙げることができた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

メモリー性液晶デバイス：基板表面にマイクロ配向パターンを形成し、表面の対称性を高めることにより、多重安定メモリー性のあるネマチック液晶デバイスを現実のものとした。光配向技術やナノインプリント技術を用いることで、実用的なサイズのメモリー性を特長とする低消費電力液晶デバイスを創製しうる。

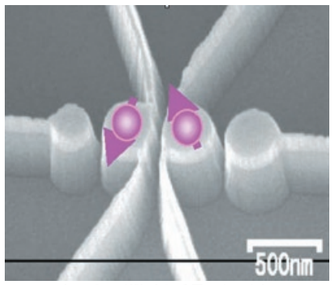
液晶コロイド：液晶中に固体粒子だけではなく、液体・気体を導入することで各種の規則的配列構造を持った液晶コロイドが作成され、光や電場で制御できる新しい電気光学デバイスへの発展が見込まれる。

液晶分子モーター：水の移動により単分子膜液晶が集団回転する現象を発見した。外に仕事をする様な分子モーター（ナノマシン）を機能させたことで、今後の生命現象の分子的理解に新たなアプローチ法を示した。

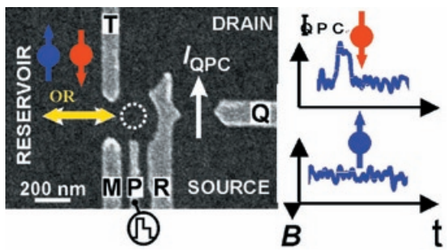
Tarucha Mesoscopic Correlation Field Project

樽茶多体相関場プロジェクト

■総括責任者 **樽茶 清悟**（東京大学 大学院 工学系研究科 教授）
■研 究 期 間 1999年～2004年



人工分子（縦型２重量子ドット）



人工原子（横型量子ドット）の単一電子スピン読出

■ 研究成果

- 一個の量子ドット（人工原子）中の２電子スピン状態を自在に制御してフント則の一般性を実証した。
- 量子ドットを２個結合した水素分子型２重ドットを用いてパウリ則を実証し、単一電子スピン整流素子を提案した。
- 人工原子の電子スピン状態、外部電極とのトンネル結合を制御し、スピン散乱の著しい増大（新しい近藤効果）を発見した。
- 量子ドット中の単一電子スピンの強磁場引加によるゼーマン制御、極めて長いスピン縦緩和時間、単一電子スピンの読み出し等、量子計算への応用条件を満たす実験に成功した。

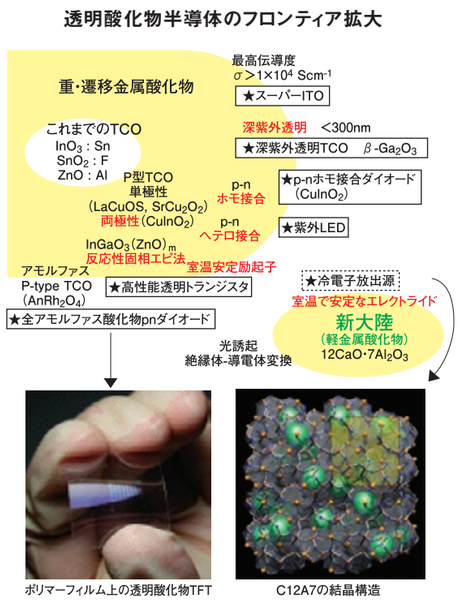
■ プロジェクト後の展開、波及効果

- **量子物性物理の新領域の開拓**
  ド・ブロイ波長程度（～0.1ミクロン）以下の構造で、電子やスピンなどの基本粒子（量子）を自在に制御できる素子を開発した。その素子を用いて物性の基本則（フント則、パウリ則等）を実証、あるいは新しい近藤効果の発見により、量子物性物理の研究に拍車をかけた。
- **電子スピンを量子ビットとした量子計算機の開発**
  量子ドットの電子スピンを制御して、電子スピンが量子計算の量子ビットとなることを実証した。また、人工原子（一個の量子ドット）を複数個結合した人工分子の分子的軌道状態（２電子スピンもつれ状態）の物理の解明と厳密な制御に成功した。これらの成果によりスピン量子演算実現への道を開いた。

Hosono Transparent ElectroActive Materials Project

細野透明電子活性プロジェクト

■総括責任者 **細野 秀雄**（東京工業大学 応用セラミックス研究所 教授）
■研 究 期 間 1999年～2004年



ポリマーフィルム上の透明酸化物TFT

C12A7の結晶構造

■ 研究成果

①石灰とアルミナからなる化合物12CaO・7Al_2O_3（C12A7）に、活性アニオン及び電子を包接させ、絶縁体・電子導電体転換、活性酸素ラジカルビーム生成、室温で安定な無機エレクトライドなどを実現した。②pn接合の形成など透明酸化物半導体分野のフロンティアを開拓した。特に、アモルファス酸化物のフレキシブルエレクトロニクス用半導体としてのポテンシャルを示した。③シリカガラスの化学欠陥及び物理構造欠陥を制御し、真空紫外域での透明性・耐レーザ性を向上させた。④フェムト秒レーザパルスの干渉により、透明材料中に周期ナノ構造を書き込む手法を開発した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

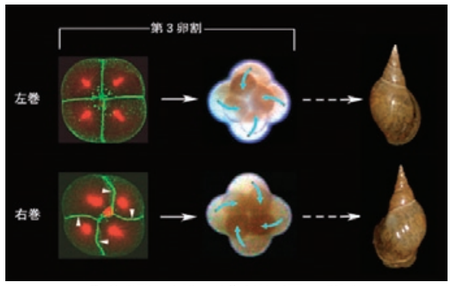
ERATOの成果を発展させて、①C12A7を用いた冷電子源（FED用）、還元触媒剤、O－ビーム発生装置と半導体酸化膜形成②酸化物半導体およびアモルファス酸化物半導体を用いたオプトエレクトロニクス素子、アモルファス薄膜トランジスタ③フッ素添加石英ガラスを用いた深紫外透明ファイバなど、透明酸化物の新機能の実用化を目指した応用研究を実施している。平行して層状酸化物化合物における超伝導、強磁性半導体など新たな機能開拓を目指した探索研究を展開している。こうした研究開発の成果は、環境調和性に優れ、資源的に豊富な軽元素化合物の活用をベースとした「ユビキタス元素戦略」に整合した透明酸化物半導体、フレキシブルエレクトロニクス、アニオン操作、紫外オプトエレクトロニクスなどの持続可能な新規産業分野の創出をもたらすものと期待される。

Kuroda Chiromorphology Project

黒田カイロモルフォロジープロジェクト

■総括責任者 **黒田 玲子**（東京大学 大学院 総合文化研究科 教授）
■研 究 期 間 1999年～2004年

試料を水平に置く固体状態の偏光現象測定装置、UCS-2



貝殻の巻型も内臓も鏡像対称に配置する巻貝
Lymnaea stagnalis の第３卵割過程は鏡像対称ではない

■ 研究成果

「カイロモルフォロジー（chiromorphology）」は、chiral（左右非対称性）と morphology（形態）を融合させた造語で、ミクロからマクロへの形態形成のプロセスをキラリティーという切り口で探るという新しい概念を表現している。分子カイロモルフォロジー研究では、従来、不可能だった固体状態でのすべての偏光現象を測定できる分光計 Universal Chiroptical Spectrophotometer（UCS）２機種を開発した。生物カイロモルフォロジー研究では、胚発生のごく初期に母親の遺伝子で決まる巻貝 L.stagnalis のキラリティー決定機構の解明を目指し、初期卵割過程において従来の定説を覆す発見をした。

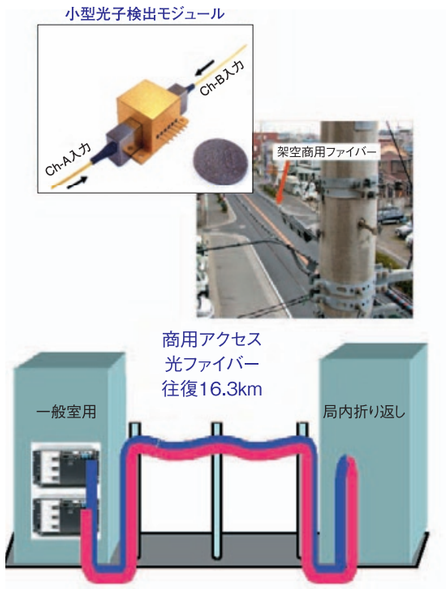
■ プロジェクト後の展開、波及効果

UCS の開発は固体状態におけるキラルな環境の創生、反応、結晶化制御、キラリティーの識別と転写等、新しい固体キラル化学への道を開き、その応用範囲は、有機化合物、無機化合物へ、溶液、ゲル、膜、結晶状態へと広がった。さらに、従来の分光光度計では不可能であったアルツハイマー病などの病因タンパク質の超分子凝集プロセス研究にも活用して、貴重な成果を得ている。ゼロからの出発であったチャレンジングな巻貝研究は、長らく探索されてきた巻貝の巻型決定遺伝子の同定へと着実に近づきつつある。一方、われわれの発見—初期胚のキラリティー決定プロセスにおける細胞骨格タンパクの重要性—は、巻貝のみならず他の無脊椎動物の発生過程における左右性決定メカニズムに関する考え方に影響を及ぼしはじめている。

Imai Quantum Computation & Information Project

今井量子計算機構プロジェクト

■総括責任者 **今井 浩**（東京大学 大学院 情報理工学系研究科 教授）
■研 究 期 間 2000年～2005年



■ 研究成果

量子通信を用いて遠隔にある２者間で秘密鍵を共有するプロトコルである量子鍵配送についてデバイス面・理論面の双方の視点から研究した。

デバイス面では、誤検出確率を抑えた世界最高性能の光子検出器を開発し、これを用いて、NEC と共同で世界最長距離である150km の伝送に成功し、さらには、左図のように 16.3km の商用の光通信ファイバーを用い、２週間安定的に実環境下で運転することに成功した。理論面では、よりノイズの大きい環境下でその安全性を確保するため符号化法や、実装が容易な弱コヒーレント光を用いた場合について研究を行った。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

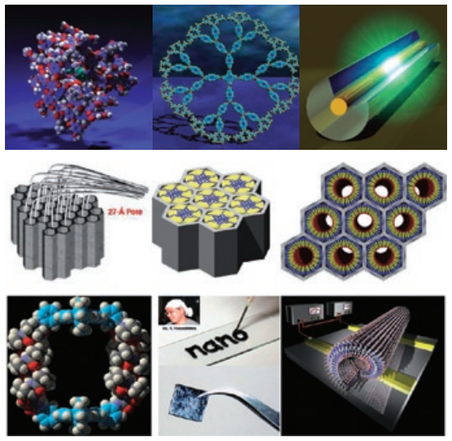
量子鍵配送については、JST の発展・継続研究で、弱コヒーレント光を用いた場合でのより効率的なプロトコルが提案され、現在その性能解析が進められている。その実装のために必要な変調方式と符号化ソフトウェアを NEC と共同で開発して量子鍵配送システムに組み込んだ。従来の多くの量子鍵配送の実装研究では、デバイス面のみが実装されていたのに対して、本研究により真に安全な量子鍵配送システムに向けた研究が大きく進展した。

その他、ERATO プロジェクトで研究された通信路容量の加法性問題については、本プロジェクトがきっかけとなり、このテーマが量子情報の１つの研究分野に発展した。現在では海外の優秀な研究者がこぞってこのテーマを研究するに至っている。

Aida Nanospace Project

相田ナノ空間プロジェクト

■総括責任者 **相田 卓三**（東京大学 大学院 工学系研究科 教授）
■研 究 期 間 2000年～2005年



本プロジェクトで研究したいろいろなナノ空間・ナノ素材

■ 研究成果

「分子間相互作用を高度に制御することにより、分子のもつ特性を引き出し、新たな機能を導く」という基本戦略のもとに、化学と他分野の境界領域を開拓することを目指した。有機・無機を問わず、一義的に定まった空間に分子を閉じこめる容器としての特異なナノ空間の構築とナノスケールの空間の新しい使い方を探索し、デンドリマー（樹枝状高分子）やメソポーラスシリカを対象とした研究を精力的に展開した。また、超分子グラファイトナノチューブなど独自なモチーフの構築や、カーボンナノチューブのソフトマテリアル化に成功した。超分子グラファイトナノチューブによる分子ソレノイドの可能性を提案するなどナノマテリアルデザインへの新しい道標を築くことができた。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

上述の成果は、科学技術の基礎と応用の両面において高いポテンシャルと大きな波及効果をもつことが示されつつある。「バッキーゲル・バッキープラスチック」の研究に関しては、本プロジェクトの発表をもとにした論文が、米国の国立研究所や空軍研究所をはじめとする諸外国の研究者からも報告され始めている。また、自己組織化グラファイトナノチューブの研究過程で見いだしたコイル構造は、「分子ソレノイド」という物理学の夢物語を化学の立場から現実のものとする可能性を秘めている。構成要素の分子グラフェンに化学的なプログラムを組み込むことにより、右あるいは左巻きのコイル構造を作り分けることも可能である。本研究の成果である「電子－磁気－光」機能性ソフトマテリアルは、我が国がこれまで得意としてきた産業分野の今後の発展に大きく貢献すると期待される。

Koike Photonics Polymer Project

小池フォトニクスポリマープロジェクト

■総括責任者 **小池 康博**（慶應義塾大学 理工学部 教授）
■研 究 期 間 2000年～2005年

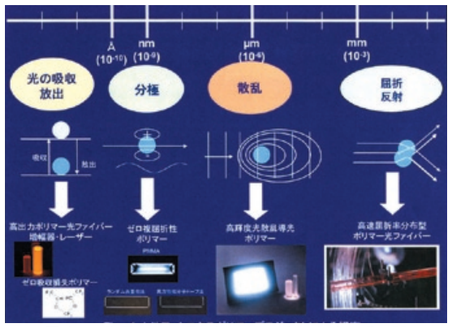


図１　小池フォトニクスポリマープロジェクトによる提案

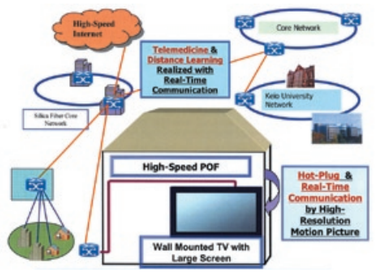


図２　Fiber to the Display の提案

■ 研究成果

本プロジェクトでは、高分子科学とフォトニクスの壁を取り払い、　光の偏波（またはフォトン）とポリマーとの相互作用について、電子・原子のディメンションからマクロな不均一構造にわたり、その起源までさかのぼって詳細に究明し、「フォトニクスポリマー」という新たな領域を創生した。その過程で、新しい機能を有するフォトニクスポリマーおよびデバイスが誕生した（図１参照）。例えば、マクロな領域に屈折率分布を形成し、「反射･屈折」機能を活用した超高速屈折率分布型ポリマー光ファイバー（GI 型 POF）を実現した。「散乱」機能を高度に制御した光散乱導光ポリマーを提案し、液晶ディスプレイの明るさを２倍にすることに成功し、省電力化に大きく貢献した。「分極」を制御することにより、複屈折を生じないポリマーを実現した。さらに「吸収・放出」機能から POF レーザーとゼロ吸収ポリマーが生まれた。

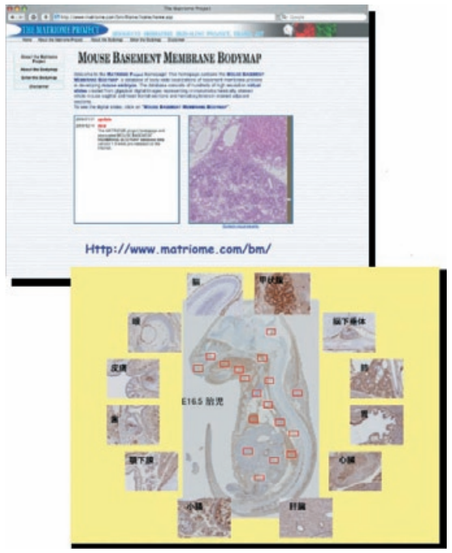
■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトの成果を基に、ギガビットを超える光ファイバーが直接高精細ディスプレイにつながった「Fiber-to-the-Display」という新しいコンセプト（図２参照）を展開する。これにより、現状のキーボードの延長ではない、大画面で臨場感あふれるリアルタイムコミュニケーションが可能となる。家庭にいながらの対話型の遠隔医療や e-Learning などが現実のものとなり、真のブロードバンド社会の幕開けとなろう。ブロードバンド技術は、Face to Face にもどる、人にもどるテクノロジーであるべきである。「Fiber-to-the-Display」はそのようなコンセプトの下に提案されている。

Sekiguchi Biomatrix Signaling Project

関口細胞外環境プロジェクト

■総括責任者 **関口 清俊**（大阪大学 蛋白質研究所 教授）
■研 究 期 間 2000年～2005年



基底膜蛋白質の網羅的局在解析と
「基底膜ボディマップ」データベース

■ 研究成果

本プロジェクトでは、基底膜などからなる細胞外マトリックスの分子的実体を解明し、細胞ごとに最適化されたものとして生体外で再構築するための基盤づくりを目指した。その結果、トランスクリプトーム（mRNA の集まり）情報を活用して細胞外マトリックス蛋白質を網羅的に探索する方法を初めて確立し、40 を超える新規細胞外マトリックス蛋白質を同定した。また、毛根を包む毛包の形成時に発現が誘導される新規基底膜蛋白質を同定し、この蛋白質が基底膜を介する組織構築の安定化に必要であることを示した。さらに、これまでに同定された基底膜蛋白質のほぼすべての生体内局在部位を免疫組織化学的に解析し、細胞や組織ごとに最適化された基底膜の分子組成の全貌を明らかにした。得られた結果は、高解像度のデジタル画像のままデータベース化し、ウェブ上で公開している。また、基底膜の主要構成分子であるラミニンの大量調製法を開発し、分子組成を最適化した人工基底膜を再構築するための技術基盤を確立した。

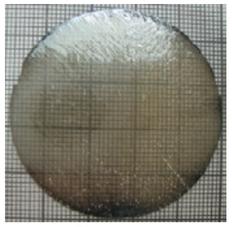
■ プロジェクト後の展開、波及効果

これらの研究成果を踏まえて、細胞外マトリックスを構成する蛋白質の総体を表す“マトリオーム”という概念を提唱し、細胞外マトリックスを通して組織構築や細胞の機能を制御する新しい研究領域を開拓しつつある。また、基底膜蛋白質の生体内局在部位をウェブ上で一覧できるデータベース（これを“基底膜ボディマップ”と呼んでいる）は、細胞外マトリックス研究の基盤となるデータベースとして、国内外の研究者の注目を集めている。

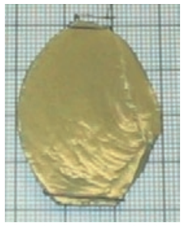
Nakamura Inhomogeneous Crystal Project

中村不均一結晶プロジェクト

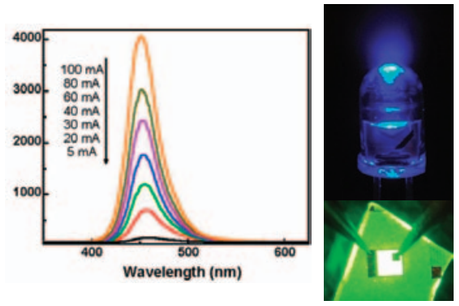
■総括責任者 **中村 修二**
（カリフォルニア大学 サンタバーバラ校 材料物性工学部 教授）
■研 究 期 間 2001年～2006年



HVPE 法で成長したｍ面非極性
GaN自立基板



アンモノサーマル法で成長した
GaN 結晶



ｍ面非極性GaN 基板上に作製した青色 LED（右上）、半極性 GaN 上緑色 LED（右下）とｍ面非極性青色 LEDの発光スペクトラム（左）

■ 研究成果

本プロジェクトでは、青色発光ダイオード（LED）の材料として知られる GaN 系半導体を研究している。GaN 系半導体には Si や GaAs などの従来の半導体に見られない結晶の不均一性がある。バルクグループにおける結晶成長技術、薄膜グループにおけるデバイス作製、評価グループにおける詳細な発光メカニズムの解明を通じて、GaN 系半導体に特有の不均一性を有効に活かし、高効率が期待できる全く新しい概念の発光デバイスを実現している。バルクグループではハイドライド気相成長法（HVPE 法）やアンモノサーマル法により GaN 基板を作製し（左図上段）、薄膜グループでは左図下段のような LED を実現した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトで確立した GaN 基板成長技術は今後の GaN 系発光デバイス、電子デバイスの飛躍的な発展をもたらす。また薄膜グループで実現された非極性・半極性面上の発光デバイスは、従来の青色・緑色・白色LEDの特性を上回り、本格的な固体照明の到来をもたらす技術である。さらに、評価グループで解明されたGaN系半導体での発光メカニズムは今後もデバイス設計の基礎となるデータを提供し、その知識は幅広いデバイス設計に応用されていくものである。また、本プロジェクトで研究したGaN系半導体は発光デバイスに限らず、高速ハイパワートランジスター等の電子デバイス、光照射による水素発生デバイス等さまざまな機能デバイスに用いられる材料であり、今後のエネルギー，IT，環境技術を支える重要な材料として幅広く使用されていくと期待される。

Tokura Spin Superstructure Project

十倉スピン超構造プロジェクト

■総括責任者 **十倉 好紀**
（東京大学 大学院 工学系研究科 教授／産業技術総合研究所強相関電子技術研究センター長）
■研 究 期 間 2001年～2006年

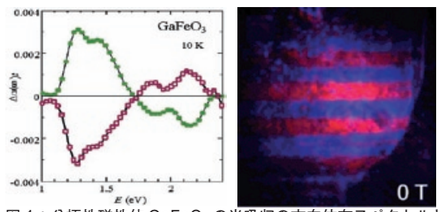
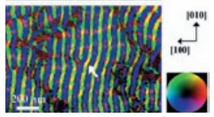


図１：分極性磁性体 $GaFeO_3$ の光吸収の方向依存スペクトルと磁気第二高調波を利用した磁気イメージング写真。

図２：Fe0.5Co0.5Si スピン超構造のローレンツ顕微鏡像



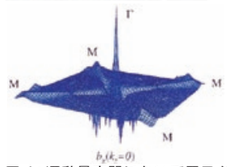


図４：運動量空間において電子が感じるゲージ場の分布（第一原理電子状態計算）

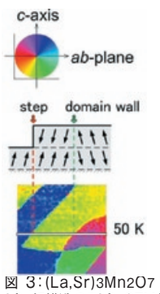


図３：(La,Sr)3Mn2O7 スピン超構造のスピンSEM像

■ 研究成果

- 分極性磁性体における光吸収の方向依存性の実証と、磁気第二高調波の巨大ファラデー効果を発見し磁気ドメインのイメージングを可能にした（図１）。
- CoCr2O4 磁性体における強誘電性発現と磁場による電気分極反転を発見した。
- 磁性－非磁性超格子の界面領域の磁化を検出した。
- スピン超構造の実空間観察に成功した。（図２はスピンの透過像、図３はスピンの原子表面像）
- 強磁性体の異常ホール効果が、電子の運動量空間におけるモノポールによって支配されることを実験的、理論的に解明した。（図４）

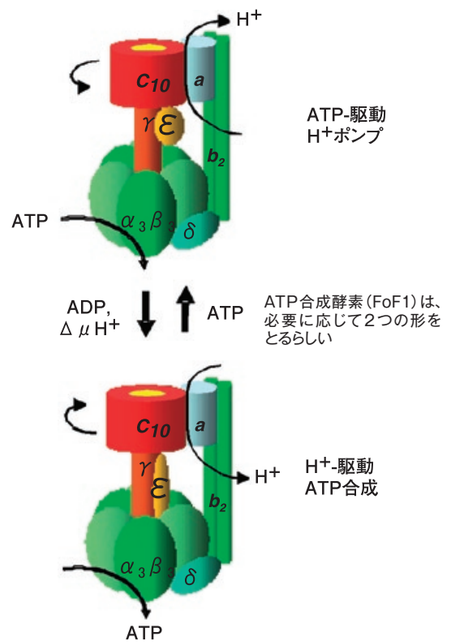
■ プロジェクト後の展開、波及効果

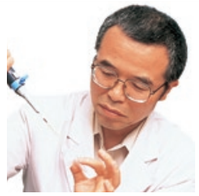
今後の展開としては、スピン超構造や軌道自由度を活用することにより、磁気、電気、熱、歪みがお互いに強く結合した巨大な相互作用の創出が期待される。これまでの研究から、スピン自由度や軌道自由度が特徴的な配列を示す系では、電子のサイト間ホッピングの位相と絶対値の双方を大きく変化させて、結果的に金属絶縁体転移や強誘電相転移を発現させることが可能であることが示された。強誘電相転移に対する磁場効果、スピン秩序に対する電場効果、磁化に比例しない異常ホール効果などはその一例である。このような固体の内部では、巨大な相互作用が可能であることを意味している。今後はさらに、スピン・軌道超構造を持つ物質探索・設計を行い、将来的に磁場誘起分極配向制御素子や電場誘起磁石素子（メモリ素子）などへの応用を期待している。

Yoshida ATP System Project

吉田ATPシステムプロジェクト

■総括責任者 **吉田 賢右**（東京工業大学 資源化学研究所 所長）
■研 究 期 間 2001年～2006年





■ 研究成果

細胞のエネルギー通貨である ATP を合成する ATP 合成酵素（FoF1）は、回転モーターである。その回転と触媒反応の対応を明らかにした。ATP 合成酵素には、細胞内の ATP 濃度を感知して合成速度を制御する仕組みがあるらしいことを見いだした。また、細胞内の酸性小胞のプロトンポンプが、やはり回転モーター酵素であることを見いだした。植物細胞の ATP 合成の制御についても、還元力を利用した制御の実体を解明した。

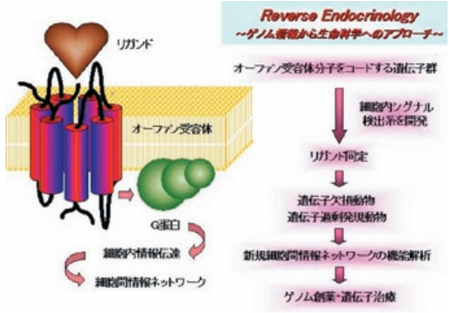
■ プロジェクト後の展開、波及効果

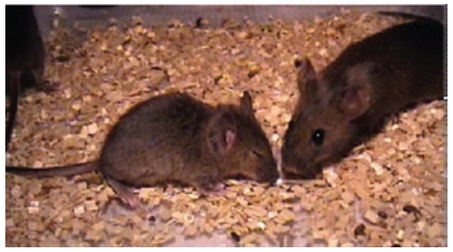
ATP 合成酵素全体の結晶解析とプロトンによる回転の可視化と解明はノーベル賞に値する挑戦である。その困難の理由と克服の道が見えつつある。ATP合成酵素の制御について、基本的な制御ツールが解明されたので、これをもとにヒトなどさらに広範な生物における個別の制御方式の理解が進むだろう。また、植物のエネルギー制御におけるATPと還元力の相補的な関係が示唆された結果、今後その広がりと具体像の解明が期待される。

Yanagisawa Orphan Receptor Project

柳沢オーファン受容体プロジェクト

■総括責任者 **柳沢 正史**
（テキサス大学 サウスウェスタン医学センター 教授／ハワードヒューズ医学研究所研究員）
■研 究 期 間 2001年～2006年




睡眠発作を起こしたオレキシン欠乏マウス（左）

■ 研究成果

本プロジェクトでは、食欲や睡眠の制御に関連する新しい神経伝達物質オレキシンが、突然深い眠りに陥る睡眠障害ナルコレプシーを改善することを、オレキシン神経細胞欠損マウス（下図左）を用いた研究で明らかにしてきた。オーファン受容体（遺伝子が同定されているが生理機能が不明な受容体）GPR7に対する新規リガンド（情報伝達物質）として、ニューロペプチド（NP）BならびにNPWを同定し、遺伝子欠損マウスの解析から、エネルギー代謝やストレス、喜怒哀楽の感情制御などに重要な役割を果たしている事を明らかにしつつある。さらに、GPR103に対する内在性リガンドを同定し、食欲・血圧調節などに重要な役割を果たしていることを明らかにした。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトでは、オーファン受容体（対応するリガンドが未知）の遺伝子に着目し、世界に先駆けて未知の情報伝達物質を探索している。睡眠制御のメカニズムの根幹にかかわるオレキシンの研究成果は、ナルコレプシーのみならず、日中の眠気を伴う他の睡眠障害、時差ぼけや、不眠症の治療にもつながる可能性がある。オレキシンやその周辺物質が、一般の不眠症治療をも視野にいれた新規治療薬の開発に有用な手がかりを提供することを目指している。

さらにNPBやNPWなどを介した新しい生体内情報ネットワークの機能解明に迫ることで、現時点では治療することが難しい病気の原因を究明し、近い将来、新しい治療薬の開発や新しい治療法の確立につなげることを目指している。

Ohno Semiconductor Spintronics Project

大野半導体スピントロニクスプロジェクト

■研究総括 **大野 英男**（東北大学 電気通信研究所 教授）
■研究期間 2002年～2007年

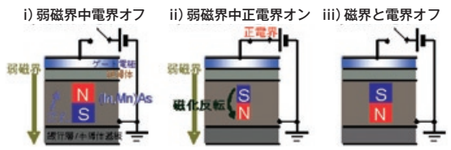


図１　強磁性半導体電界効果型トランジスタの
電界制御による磁化反転過程シーケンス

■ 研究成果

半導体において電荷とスピンの両方を制御するため、新たなスピン現象の探索とそれらを利用した半導体スピントロニクス素子の開発を進めている。第一に、強磁性半導体（Ga,Mn）Asにおいてパルス電流による磁壁移動を低電流密度で実証し（Nature 2004）、その機構がスピン流と局在スピンの相互作用によることを明らかにした（Phys. Rev. Lett. 2006）。第二に、（In,Mn）Asチャネルの電界効果型トランジスタで、保磁力の電界制御と電界アシスト磁化反転を実証した（図1, Science 2003）。これらは将来の電気的磁化反転技術として発展が期待される。第三に、GaAs/AlGaAs量子井戸（電子の移動方向が２次元に束縛された状態）内で電子スピンを光で操作・検出し、超微細相互作用の電界変調を利用した核スピン分極の制御（Phys. Rev. Lett. 2005）、rfパルス磁場照射で生じるラビ振動の光検出、スピンエコー法による核スピンの局所的位相緩和時間の決定（Phys. Rev. Lett. 2006）を行った。これにより核スピンコヒーレンスの利用に道が開ける。

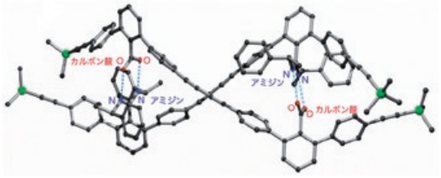
■ プロジェクト後の展開、波及効果

これまでの研究により半導体におけるスピン偏極の形成･保持･輸送･制御･検出が可能となりつつある。今後、強磁性相転移やスピンコヒーレンスなどの制御技術の開発を進め、加えて、スピン注入を基礎過程とするスピン制御三端子半導体素子や量子的スピン制御素子など、さらにプロトタイプの実証を進める。これにより、半導体素子の優れた特性とスピン特有の機能が融合された新しい多機能素子実現への道を開く。すなわち、本プロジェクトによって半導体スピントロニクス基盤技術が確立されると期待される。

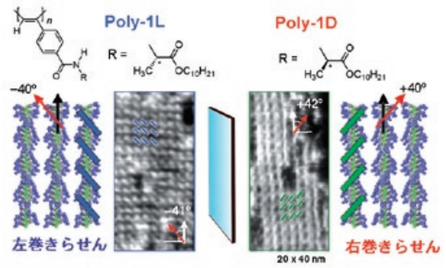
Yashima Super-structured Helix Project

八島超構造らせん高分子プロジェクト

■研究総括 **八島 栄次**（名古屋大学 大学院 工学研究科 教授）
■研究期間 2002年～2007年



DNA類似の相補的な鎖からなる
人工二重らせんの創製
【相補的人工二重らせんの結晶構造】アミジンとカルボン酸間の塩橋を介して、相補的な分子鎖が絡みあい、DNA類似の情報機能を有する右巻き二重らせん構造が自発的に形成する。



２次元結晶化を利用したらせん高分子の直接観察
【原子間力顕微鏡によって観察されたらせん構造】鏡像関係にあるポリアセチレンの左右のらせん構造の直接観察に成功。

■ 研究成果

1）DNA類似の相補的な人工二重らせん分子や水中で二重らせん構造を形成する超分子、ヘリケート、光応答性二重らせん分子など、二重らせんを基本骨格とする様々の分子・超分子の合成に成功した。
2）人工らせん高分子を基板上に２次元結晶化させることにより、らせん構造を直接原子間力顕微鏡で明確に観察する手法の開発に成功した。
3）一方向巻きのらせん構造からなる剛直主鎖型液晶性を示す人工らせん高分子の合成とその液晶性、剛直性の制御に成功した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

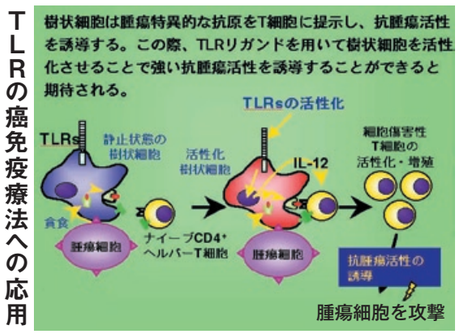
1）二重らせん構造を基本骨格とする一連の分子・超分子による生命の機能の発現、すなわち、触媒機能（不斉合成）や認識機能（キラル識別）、情報機能（情報伝達、保存、複製）の実現に向けたシステムの構築が期待される。
2）高分子のらせん構造の直接観察を可能にする手法の開発により、これまで明らかでなかった生体高分子を含むらせん高分子が関与する多彩な現象の分子レベルでの機構の解明と高機能化が可能となった。
3）人工および生体らせん高分子を基本骨格に用いた階層構造の構築、新規液晶相の発現、光学異性体の分離を含むキラル材料への応用や高分子不斉触媒への展開、金属を含む有機・無機化合物との複合化によるデバイスへの応用が期待される。

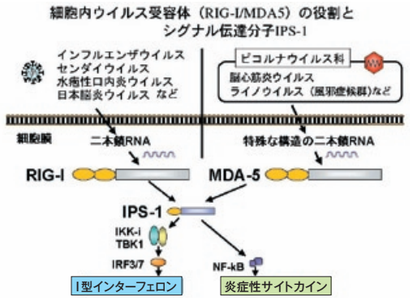
Akira Innate Immunity Project

審良自然免疫プロジェクト

■研究総括 **審良 静男**（大阪大学 微生物病研究所 教授）
■研究期間 2002年～2007年

TLRの癌免疫療法への応用





■ 研究成果

自然免疫は侵入した病原体を最初に認識し、生体防御反応を引き起こす。これまでにToll-like receptor（TLR）が病原体に特異的な構成成分の認識に重要な役割を果たしていることが明らかとなっていた。本プロジェクトでは、1）TLRの役割、及びTLRの細胞内シグナル伝達機構を遺伝子欠損マウスを用いて明らかにした 2）TLR非依存性ウイルス感染認識機構としてRIG-I/MDA5という分子の役割を明らかにし、そのシグナル伝達に必要な分子IPS-1を同定した。また、ウイルスDNAもTLR非依存的に認識されていることを明らかにした。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

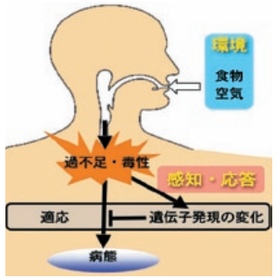
本プロジェクトを通して、TLRによるものに加え、TLR以外の受容体による病原体認識機構の一端が明らかとなってきた。TLRによる病原体認識は、自然免疫のみならず獲得免疫機構の活性化にも重要な役割を果たしていると考えられている。今後、TLRリガンドを利用した新規ワクチン、アレルギー疾患の治療、また癌免疫への応用などが期待される。今年4月には、自然免疫の研究を拒絶反応の制御や種々の病気への臨床応用に結びつける国際自然免疫学会も発足、審良はFounderの一人に選ばれた。

TLR非依存性の病原体認識機構の研究は始まったばかりで、その全体像は十分に明らかではない。しかしながら、特にウイルス感染においては、このTLRを介さない認識機構が感染防御に重要な役割を果たしている事が分かっている。今後、この機構の全貌を明らかにすることは宿主・病原体相互作用を理解し、感染症に対する新規治療の開発を行う上で大変重要であろう。

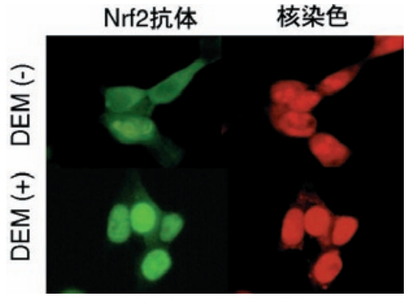
Yamamoto Environmental Response Project

山本環境応答プロジェクト

■研究総括 **山本 雅之**
（筑波大学 先端学際領域研究センター／大学院 人間総合科学研究科 教授）
■研究期間 2002年～2007年



生体は環境要素（食物および空気）の過不足や毒性などの変化（ストレス）に応答し，遺伝子発現を変化させることにより適応している。適応機構の破綻は様々な病態を引き起こすことが知られている。



Keap1は通常Nrf2を結合して細胞質に局在させるが，活性酸素や親電子性物質を感知するとNrf2を解離し，その核移行を促進する。実際に，親電子性物質であるジエチルマレイン酸（DEM）を投与するとNrf2の核蓄積が観察される。

■ 研究成果

遺伝子改変マウスを利用して、低酸素環境に応答して赤血球を増産するメカニズムについて、遺伝子レベルで解明を進めている。また、有害な化学物質（「親電子性物質」）に対する防御系酵素遺伝子の誘導発現を促進する転写因子Nrf2を発見し、Nrf2が発がん予防に関与することを明らかにした。Keap1はNrf2の抑制性制御因子であるが、同時に環境ストレスのセンサー分子である。Keap1タンパク質の結晶構造を解明し、また、一部のヒト肺がん細胞からKeap1機能に重大な変化を及ぼす変異を検出したので、Nrf2とKeap1の構造機能連関の解明に取り組んでいる。さらに、薬剤によりゼブラフィッシュに多数の突然変異を惹起し、Nrf2-Keap1経路に異常のある変異フィッシュの同定を進めている。それらの原因遺伝子を究明することにより、新規環境応答系遺伝子の発見を目指している。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

動物は、エネルギーを得るために食物と酸素を取り込むが、それに伴い外界環境から様々なストレスを受ける。本プロジェクトの研究により、環境に応答する多様な生体応答機構には共通した制御メカニズムが存在することが理解されてきた。この応答を表す「環境応答」という概念が医学研究において、一般化しつつある。また、本研究の成果は老化やがんの原因解明に直接関連するものであり、薬剤や食品添加物、農薬等の評価などにも貢献すると考えられる。本研究は、健康な食生活と安心して暮らせる生活環境の実現に寄与し、「技術革新による活力に満ちた高齢化社会の実現」に資するものと期待される。

Aihara Complexity Modelling Project

合原複雑数理モデルプロジェクト

■研究総括 **合原 一幸**（東京大学 生産技術研究所 教授）
■研究期間 2003年～2008年

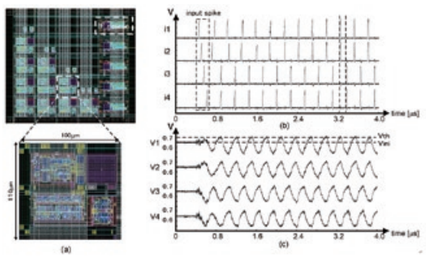


図1：STDP回路を組み込んだスパイキングホップフィールドネットワーク回路

図2：分岐解析統合環境ソフトウエアBunKi

■ 研究成果

本プロジェクトでは、数理工学やカオス工学を基礎に、非線形科学、生命科学、医学、情報科学、工学などの諸分野と関連する「複雑数理モデル」に関する基礎理論を構築し、その多様な応用研究を展開するとともに、その結果をさらに基礎理論研究にフィードバックすることにより、「複雑数理モデル」論の数理的体系化を目指して研究を進めた。特に、1）複雑系および脳型コンピューティングの基盤技術の研究開発、2）複雑システムの非線形解析理論とその解析ツールの研究開発、3）細胞内システムおよび細胞集団システムの複雑数理モデリング手法に関する基礎的研究を重点的に行った。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトの成果は、様々な面で複雑システムの基礎および応用研究の発展に寄与することが期待される。特に、本プロジェクトで研究開発した多様なアナログ集積回路技術は世界をリードするものである。また、新しい計算原理や情報処理原理の探索のために行った、ニューラルネットワークの数理モデル研究の成果は、ブレイン・マシン・インターフェースのためのニューラルコーディングの解明や新しい高機能計算システムの構築の基盤となり得るものである。さらに、本プロジェクトで基礎的な理論を提案した疾患の数理モデル研究は、2010年より開始されたFIRSTプログラム「複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用」により、「数理モデルに基づく前立腺癌のテーラーメード間欠的内分泌療法」として現在本格的な応用研究へと大きく発展しつつある。

Koshihara Non-equilibrium Dynamics Project

腰原非平衡ダイナミクスプロジェクト

■研究総括 **腰原 伸也**（東京工業大学 大学院 理工学研究科 教授）
■研究期間 2003年～2008年

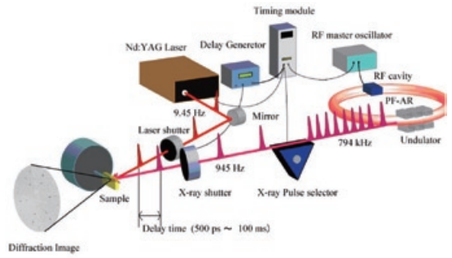


図1　時間分解分子動画観測装置

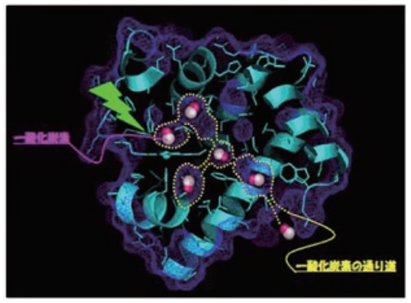


図2：ミオグロビン分子内の一酸化炭素分子が移動するイメージ

■ 研究成果

光照射などによって物質のさまざまな性質にダイナミックな変化が生まれる「光誘起相転移」に着目し、外界からの刺激に高速で変化・応答する電子や原子の動きを観測するために、放射光施設の量子ビーム技術とピコ秒領域の超高速光技術を組み合わせ、「時間分解分子動画観測装置」を建設するとともに、その利用技術を開発した（図1）。そして同装置を用いた時間分解X線構造解析の結果から、一酸化炭素分子が、たんぱく質（ミオグロビン）分子の穴の間を、数十から数百分のオーダーで飛び移りながら移動する様子を明らかにした（図2）。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

「時間分解分子動画観測装置」の利用技術の一つである時間分解X線構造解析技術は、多くの機能性たんぱく質分子にも原理的に適用可能であり、機能解析のためのツールとしての可能性に期待が持てるだけでなく、今後この技術がさらに発展すれば、新薬を設計する上での重要な指針や情報を与えることができると期待される。また研究対象はたんぱく質に留まることなく、光によって電子状態と物質構造とが互いに強く相関しながらダイナミックな変化（非平衡状態）をもたらすような物質にも着目することで、従来とは全く異なる新たな機能を持った材料（非平衡強相関材料）の開発への展開が期待できる。

Kobayashi Highly Functionalized Reaction Environments Project

小林高機能性反応場プロジェクト

■研究総括 **小林 修**（東京大学 大学院 理学系研究科 教授）
■研究期間 2003年～2008年

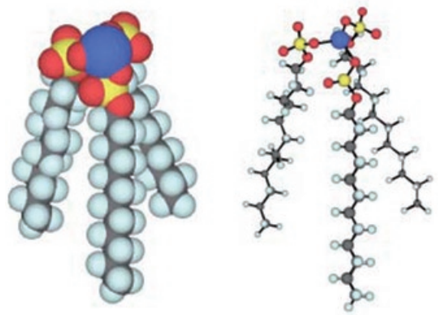


図1：ルイス酸－界面活性剤一体型触媒

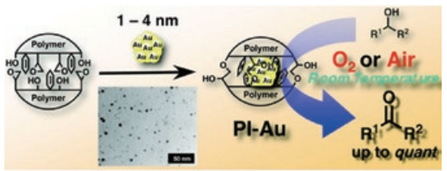


図2：金ナノクラスター担持高分子触媒の模式図

■ 研究成果

グリーンケミストリーの推進は人類の存続と発展に不可欠であり、今世紀の化学の最重要課題となっている。本プロジェクトでは、化学反応が起こる“場”を精密にデザインすることで反応場に高度な機能を付与し（高機能性反応場の構築）、これを活用した高効率かつ環境調和型化学プロセスの構築を目指した。「水溶液中での有機合成反応」と「高活性かつ回収再使用可能な固定化触媒」の基礎研究から開始し、完全水中における高選択的な不斉合成反応、種々の高機能性高分子固定化触媒およびそれらを用いる環境調和型酸化反応や省エネルギー・省資源型還元反応等を実現した。

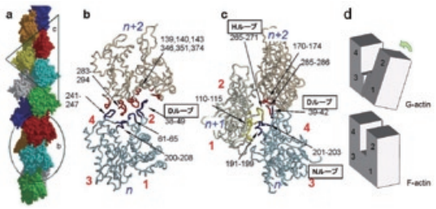
■ プロジェクト後の展開、波及効果

プロジェクトで開発された触媒を活用してマイクロリアクターやフローシステムなど実用化を意識した展開を行った。その結果、すでにいくつかの反応系は企業との共同研究や実用化検討にフェーズが移っている。今後、これらの成果は化学プロセスを検討する上で大きな影響を与えることが期待される。また、本プロジェクトの研究成果は、省資源・省エネルギー・環境保全型化学プロセスの構築に大きく貢献することが認められ、本プロジェクト最終年度からは、これらの成果を基盤とした実用化研究「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発プロジェクト（経済産業省）」がスタートしている。

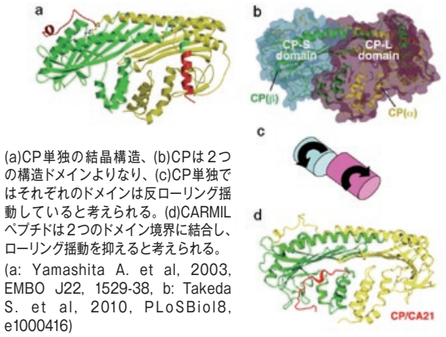
Maeda Actin-filament Dynamics Project

前田アクチンフィラメント動態プロジェクト

■研究総括 **前田 雄一郎**
（名古屋大学 大学院 理学研究科 教授／理化学研究所播磨研究所客員研究員）
■研究期間 2003年～2008年



(a) アクチン重合体(F-actin)の構造、(b)上下に隣接するサブユニット間、および(c)斜め方向に隣接するサブユニット間の接触、(d)単量体(G-actin)の重合に伴う分子の形態変化の模式図。(Oda-T., et al,2009,Nature457, 441-445).



(a)CP単独の結晶構造、(b)CPは2つの構造ドメインよりなり、(c)CP単独ではそれぞれのドメインは反ローリング揺動していると考えられる。(d)CARMILペプチドは2つのドメイン境界に結合し、ローリング揺動を抑えると考えられる。
(a: Yamashita A. et al, 2003, EMBO J22, 1529-38, b: Takeda S. et al, 2010, PLoSBiol8, e1000416)

■ 研究成果

高等生物の細胞ではアクチンの重合・脱重合による循環的分子運動が細胞運動を駆動し、多くの細胞機能を担う。蛋白質アクチンが見せるこれら多彩な挙動をアクチンフィラメントの構造とその揺動から解明し、蛋白質理解を深めることを目指した。

私たちは新しい構造解析法を編み出しアクチン重合体の高分解能構造を初めて解明した。重合に伴ってアクチン分子は平板化し、分子間の接触は分子表面のループ相互間の柔軟な接触である。分子は平板化に伴って歪みのエネルギーを蓄積するが、サブユニット間の接触によって重合体は安定化する。このようなアクチン重合体の構築原理の理解は、今後、核形成促成因子（Arp2/3, formin など）、崩壊促進因子（cofilin など）の作動機序を理解するための基礎となる。

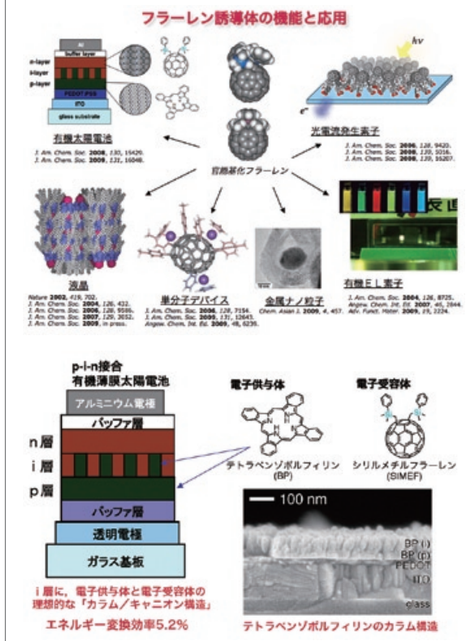
■ プロジェクト後の展開、波及効果

2010年には、アクチンフィラメントの一端に結合し、細胞運動を調節するタンパク質であるキャップタンパク質(CP)の活性制御の機序を解明した。CPは互いに平行な軸を持つ2つの円柱形の構造ドメインに分かれる。生化学実験と計算機実験によると、CP単独では2つのドメインが互いに反対向きに回転するような反ローリング揺動すると考えられる。CARMILペプチド(CPをフィラメント端からはずす)は2つのドメインの境界に結合し、反ローリング揺動を抑えるようだ。CPのアクチンフィラメント端への結合は、ペプチドによってアロステリックに制御されるが、それは蛋白質の構造変化ではなく、構造動態の変化による。これは蛋白質の相互作用についての新しい考え方である。

Nakamura Functional Carbon Cluster Project

中村活性炭素クラスタープロジェクト

■研究総括 **中村 栄一**（東京大学 大学院 理学系研究科 教授）
■研究期間 2004年～2009年



■ 研究成果

本プロジェクトでは、「化学の力によって炭素に内在する性質を引き出し、新しい性質を付与する」という考え方を基本におき、化学機能，物性機能，生物機能などを付加した「活性炭素クラスター」化合物群を創出するとともに、産業に役立つ技術基盤を築くことを目指した。その結果、高分解能電子顕微鏡(TEM)を用いた研究では、「有機分子の動き」観察に成功し、分子同士の反応における様子を観察できることを実証した。また、光電変換機能、発光機能などを有する有機太陽電池や有機EL素子として有用な新規化合物群の創出に成功した。さらに、電子供与体／電子受容体のナノ階層構造をデザインするという合目的的な設計指針を提案し、新規フラーレン誘導体を用いて有機薄膜太陽電池の高効率化を実現した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトで生み出された多種多様な構造を持つフラーレン誘導体の量的供給は、新しい科学技術の潮流を生み出し、イノベーションに繋がる材料開発のプラットホームとなることが期待できる。また、これらの新規化合物群に有用なデバイスの開発は、有機薄膜太陽電池などの実用化に向けた材料開発の基盤技術を提供するものであり、さらに高性能な新規デバイスの開発により産業界に広く貢献することが期待できる。現在、これらの成果を基盤とした実用化研究「塗布型長寿命有機太陽電池の創出と実用化に向けた基盤技術開発」(JST)を開始し、柔軟・頑丈、簡便、便利な次世代型新構造有機薄膜太陽電池の創出を目指している。

Kaneko Complex Systems Biology Project

金子複雑系生命プロジェクト

■研究総括 **金子 邦彦**（東京大学 大学院 総合文化研究科 教授）
■研究期間 2004年～2009年

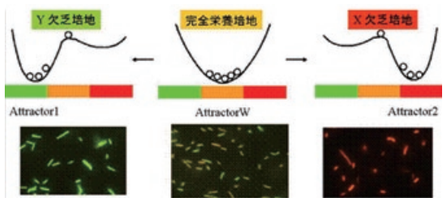


図1：揺らぎを用いたアトラクター選択

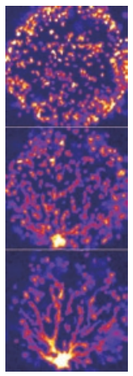


図2：c AMPの振動による粘菌の集合化過程の解明

■ 研究成果

本プロジェクトは、ゆらぎの多い素過程が多く絡みあっている生命現象の普遍的性質を定量的レベルで理解するため、「複雑系生命科学」の樹立に努めた。具体的には、

(1) 人工複製細胞系の構築と複製維持をする細胞状態の条件
(2) 人工遺伝子回路の実験をもとに、シグナル伝達系不要の一般的適応原理を発見(図1)
(3) 粘菌を用いた、指揮者不要の多細胞組織化のダイナミックな仕組みの発見(図2)
(4) 大腸菌進化実験をふまえて、表現型揺らぎと進化しやすさの関係の定式化
(5) 異種生物間の共生における可塑性の制御の解析
(6) 統計力学による遺伝子発現測定精度の画期的向上

など、生命システムが満たす普遍的論理を発見し、理論的な定式化を行うことが出来た。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトは、既存の分子生物学、システム生物学とも相補的な生命科学の新たな学問分野「複雑系生命科学」を切り拓いた。世界的な学術誌への論文掲載は言うに及ばず、生物物理学、システム生物学の他、分子生物学、生化学、病理学など伝統的な分野の国際会議において数々の招待講演の場が与えられ、また、国内では複雑系生命科学に軸足を置いた「細胞を創る研究会」、「定量生物学の会」が誕生し理論と実験の協働が目に見える形で動き出している。また工学分野では、生体ゆらぎにヒントを得た情報ネットワークやロボットの新たな制御法の研究が始まっている。本プロジェクトによって、新しい学問の潮流が生み出され、その結果、その流れを牽引する人材育成へとつながることが期待される。

Shimojo Implicit Brain Functions Project

下條潜在脳機能プロジェクト

■研究総括 **下條 信輔**（カリフォルニア工科大学 生物学部 教授）
■研究期間 2004年～2009年

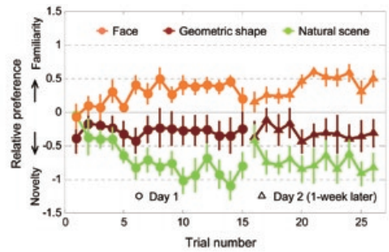


図1 顔に関しては「単純接触効果」が明確に観察され「見れば見るほど好きになる(親近性原理)」傾向が見られたのに対し、自然風景に関しては「一度見た風景より新しい風景を選ぶ(新奇性原理)」傾向が見られた

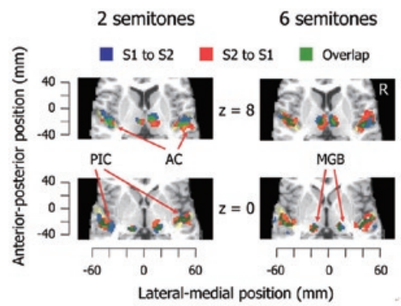


図2 音脈知覚交替の際には、聴覚野と視床(内側膝状体)に活動変化が見られる

■ 研究成果

神経科学の最後の謎である「意識」「情動」「意思」の決定機構は、その計測方法や仮説と研究方法を繋ぐ哲学の欠如などのために未解決のまま残されていた。しかし近年、PETやfMRIをはじめとする脳機能イメージング法の急速な発達により、心理認知機能の主観的／機能的な側面、神経生理メカニズム、計算アルゴリズムの三者を直接対応付ける学際的アプローチが可能となりつつあった。本プロジェクトでは、潜在的あるいは無意識下における脳機能（潜在脳機能）を認知心理学的観点から理解することを目指し、心理物理、行動、脳生理、薬理、情報工学の幅広い分野から多くの優秀な若手研究者を結集することで、それまで概念であった潜在脳機能について、その実態解明につながる成果を得た。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

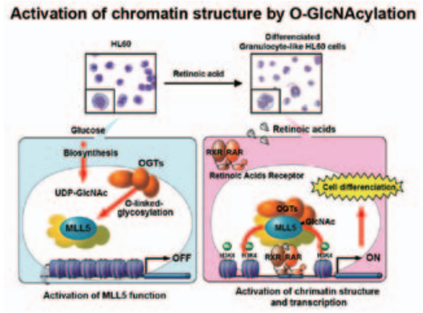
○潜在脳機能の基本的な2軸（新奇性／親近性、プレディクティブ（予測的）／ポストディクティブ（理由の後付け））の発見
○音に対する選好形成メカニズムの解明
○視覚／体性感覚から運動指令生成に至る情報処理過程の解析
○嗜好の脳内機構の解析

といった各種研究テーマから得られた知見により、潜在能力の開発法、医療、アート／エンターテインメント支援システムの開発などにつなげていく萌芽を形成することができた。

Kato Nuclear Complex Project

加藤核内複合体プロジェクト

■研究総括 **加藤 茂明**（東京大学 分子細胞生物学研究所 教授）
■研究期間 2004年～2009年



■ 研究成果

本プロジェクトでは、動物細胞核内に存在する巨大複合体の同定、およびその機能解析を目指した。さらに、未だ報告のない超巨大複合体群の同定も試みた。その結果、これら核内複合体は、選択的な遺伝情報管理において中心的な役割を果たすエピゲノム制御因子（DNA 塩基配列を変化させずに遺伝子の働きを制御する因子）として機能していることなどを次々に明らかにすることに成功した。特筆すべき成果のひとつとして、細胞核内のタンパク質機能やエピゲノム調節の一つに、糖付加反応機構が関与することを初めて証明した（左図下段）。また、この核内タンパク質の糖付加反応は、細胞外グルコース濃度に依存するため、糖尿病等の代謝性疾患との関連する可能性が考えられ、更に、白血病ガン細胞の分化誘導治療薬の一つとして、新たに糖鎖付加剤が応用できる可能性を示した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトでは、核内複合体の多様性や核内での幅広い機能について、その一端を明らかにし、エピゲノム制御における重要性を証明することができた。本プロジェクトの研究成果からは核内複合体が創薬の標的分子として極めて有望な候補因子となりうることが証明され、基本的な生命現象の解明にとどまらず、iPS 細胞などの再生医療、新規薬剤・治療法の開発研究など産業的な応用も期待されている。

一方これら複合体を分画する新たな機器開発も試みられ、ベイバイオ株式会社との共同研究によりセルソーターの原理を応用した複合体分画法の基盤技術が確立された。現在、実用化に向けて更なる試作が進められ、新たな細胞工学技術の一つとしても注目されている。

Ueda Macroscopic Quantum Control Project

上田マクロ量子制御プロジェクト

■研究総括 **上田 正仁**（東京大学 大学院 理学系研究科 教授）
■研究期間 2005年～2010年

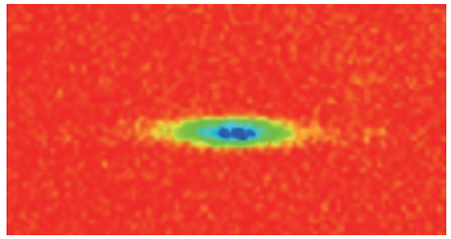


図1：^{6}Li 原子からなるｐ波分子気体の影
(Y. Inada et al.,” Collisional Properties of p-Wave Feshbach Molecules” Phys. Rev. Lett. 101, 100401 (2008))

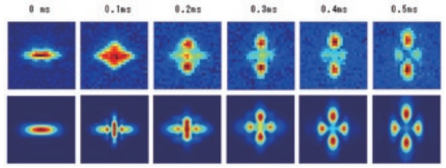


図２：^{52}Cr 原子のボース・アインシュタイン凝縮体の崩壊とそれに続いて起こる爆発現象に伴う気体の空間形状の時間経過にともなう変化。上段はシュツットガルト大学の T. Pfau 教授のグループによる実験、下段は理論シュミレーションの結果。両者はフィッティングパラメターなしで一致している。
(T. Lahaye et al.,” d-wave collapse and explosion of a dipolar Bose-Einstein condensate”, Phys. Rev. Lett. 101, 080401 (2008))

■ 研究成果

本プロジェクトでは、超低温に冷却された原子・分子の持つ物質パラメータを自在に制御できる可能性を最大限に引き出すため、物質と光の量子状態の制御技術を極限的レベルにまで高めることで物質固有のパラメータという制約を除去し、大自由度量子系の未踏の研究領域に挑んだ。その成果として、冷却原子気体の普遍的な熱力学関数の決定、非等方な極低温気体分子の生成、磁気相互作用する極低温原子気体の崩壊現象の観測とその理論的解明に成功した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

絶対零度近くに冷却された希薄な原子集団は、温度や原子数だけでなく、原子間相互作用の強さとその符号（引力か斥力か）を高い精度で変化させるようになり、その結果として、物質はいわば個性を失い、物質固有の性質から解き放たれた物性の研究が進められることとなる。このような研究によって、物質パラメータの系統的制御という観点からは材料科学や計算物理に直接的な影響を及ぼし、他方、量子状態および不確定性関係の極限操作という観点からは量子コンピュータへの発展や超精密測定への応用が期待される。さらには、極低温原子気体の研究に新領域を開拓し、電子などが互いに強く作用する高温超伝導などの理解を格段に深め、新しいタイプの超流動の実現や、高温超伝導メカニズムの理解などに資するものと期待される。

Asada Synergistic Intelligence Project

浅田共創知能システムプロジェクト

■研究総括 **浅田 稔**（大阪大学 大学院 工学研究科 教授）
■研究期間 2005年～2010年

図：開発したロボットプラットフォーム
上段左：9ヶ月児ロボット「Noby」
上段右：人工筋骨格赤ちゃんロボット「Pneu-born7」
中段左：幼児アンドロイド「CB2」
中段右：運動機能重視の赤ちゃんロボット「M3-Neony」
下段左：対人機能重視の子供型ロボット「M3-Kindy」
下段右：集団コミュニケーションロボット「M3-Synchy」

■ 研究成果

本プロジェクトは、人間の認知発達を理解するために、人間型ロボットであるヒューマノイドの新たな設計・製作・作動と認知科学や脳科学の手法を用いた構成モデルの検証による、科学と技術の融合した新領域「共創知能システム」を創出した。(1) 赤ちゃんの初期ロコモーション獲得過程を解析する人工筋骨格赤ちゃんロボット Pneu-born7、(2)胎児・新生児期の筋骨格・神経系発達シミュレーションモデルを実装した9ヶ月児ロボット Noby、(3) 柔らかい皮膚と関節をもち人と密接に安全に関わることができる幼児アンドロイド CB2、などのロボットプラットフォームを開発するとともに、(4) 脳機能イメージングの知見を取り込んだ予測的運動制御モデルなどを提案した。

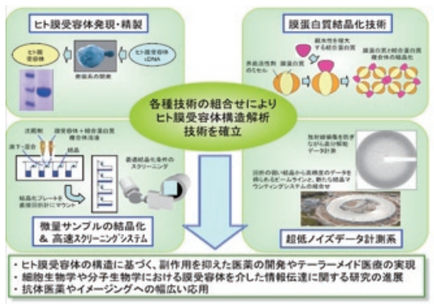
■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトでは、環境や他者との相互作用を通じた人間の学習・発達過程を理解するための、各種ロボットプラットフォームやシミュレーション系を開発した。また、ロボット専門家以外も容易に扱える運動機能重視の M3-Neony、対人機能重視の M3-Kindy、コミュニケーション実験用の M3-Synchy も開発しており、人間やロボットの認知発達研究が活性化することが期待される。今後、認知発達ロボティクスの発展により、複雑な人間社会において人と共存できるロボットの実現、発達障害のモデル化や治療戦略の創出、人間との親和性の高いリハビリマシンや BMI への技術展開なども期待される。

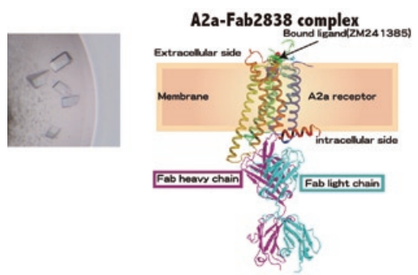
Iwata Human Receptor Crystallography Project

岩田ヒト膜受容体構造プロジェクト

■研究総括 **岩田 想**（京都大学 大学院 医学研究科 教授）
■研究期間 2005年～2010年



アデノシンA2a受容体－抗体Fabフラグメント
複合体の結晶と全体構造



■ 研究成果

本プロジェクトでは、ヒト膜蛋白質、特に膜受容体の様に高度に疎水的な膜蛋白質の構造解析の普遍的技術の確立を目指している。当初の構想にそって、（1）膜受容体の生産を行い、（2）結晶化を促進する抗体を作成し、（3）自動化されたシステムを用いて効率よく結晶化を行い、（4）それと緊密に連携したシステムを用いて非常にデータ取得の難しい膜受容体結晶について X 線回折測定し、膜受容体の構造解析を行うための一連の基盤技術を開発した。
さらに、当初の構想にはなかった、（1）出芽酵母で GFP 融合膜受容体を発現させて安定・高発現株を迅速にスクリーニングする系を確立したこと、（2）新たに導入した脂質キュービック相中で膜受容体の結晶化に成功したこと、（3）得られた抗体が結晶化だけではなく膜受容体の活性状態を制御する機能性抗体として活用できることを見出した。　また、実際に膜受容体（例. ヒト・アデノシン A2a 受容体）の構造解析に成功しただけでなく、技術開発に用いた膜輸送体をはじめとするモデル膜蛋白質（例. 細菌・ヒダントイン輸送体（Science 2008, 2010））の構造解析に成功した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

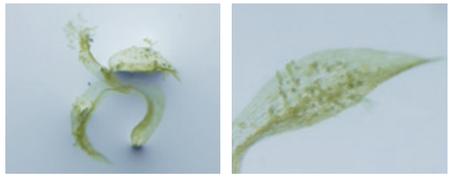
本プロジェクトで得られた蛋白質の構造解析技術は、これまで解析が困難であった膜受容体の構造解析を系統的に行うための基盤として期待される。今後、ヒト膜受容体の構造解析が一層進むことが期待される。また、これまでに解析した細胞膜に存在する輸送体や受容体の構造および生理機能の解明により、それらの蛋白質の異常による生じる病態の解明や、その診断・創薬・治療に寄与することが期待される。

Hasebe Reprogramming Evolution Project

長谷部分化全能性進化プロジェクト

■研究総括 長谷部 光泰（自然科学研究機構基礎生物学研究所 教授）
■研究期間 2005年～2010年

植物多能性幹細胞化
マスターレギュレーターの同定に成功



１つの転写因子を誘導するとヒメツリガネゴケの葉細胞が多能性幹細胞へとリプログラミングされる。右図は拡大図で葉から多能性幹細胞が伸び出してきているのがわかる。

１つの転写制御因子遺伝子誘導で、生体内の分化細胞を多能性幹細胞化することに成功した。１つの遺伝子によって高効率で多能性幹細胞化を誘導したのは全生物を通じて初めての発見である。

■ 研究成果

多細胞生物を構成する大部分の細胞は、受精卵のようにどのような細胞にもなれる能力を持つ細胞から種々の細胞に分化して機能する。分化によって各細胞は役割に応じた性質を獲得するが、このことは多くの遺伝子からその細胞が必要な情報のみを読み出すようにプログラムすることで達成されている。ひとたび分化した細胞は、このプログラムをやりなおす（リプログラミング）ことで、再びすべての細胞になれる能力を取り戻すことができると考えられており、これを分化全能性と呼ぶ。本研究では、動物に比べ高い分化全能性を持つ植物の分化全能性の分子機構を明らかにするため、ヒメツリガネゴケをモデル植物として確立し、そのリプログラミング過程における、低分子やRNA、蛋白質の変動、DNAの高次構造変化を網羅的に解析し、リプログラミングに関わる因子を推定した。

■ プロジェクト後の展開、波及効果

本プロジェクトを含む６ヵ国からなる国際共同研究チームが、ヒメツリガネゴケのゲノム解読に成功した。本研究では、ゲノム情報を最大限に利用し、植物分化全能性の分子機構の全貌解明のため重要な因子を明らかにすることができた。これにより、リプログラミング研究分野が新たな展開に進むことが期待される。すなわち、本研究領域から得られる知見と技術により、植物の再生能力を最大限生かすことで、将来農産物生産などの技術に革新をもたらすことが期待される。

Shimoda Nano-Liquid Process Project

下田ナノ液体プロセスプロジェクト

■研究総括 下田 達也（北陸先端科学技術大学院大学 教授）
■研究期間 2006年～2011年

現在のIT社会は半導体を初めとするハイテク電子デバイスの進歩に負っている。ハイテク世界では技術パラメータは高度に煮詰められているように思われるが、エネルギー効率、資源利用効率は極めて低水準にある。環境エネルギー面、国際競争力の面からその効率を抜本的に改善することが強く求められている。

このような課題を解決するため下田ナノ液体プロセスプロジェクトでは、ナノサイズの電子デバイスを溶液法で直接形成する技術基盤を確立することを目標にする。そのためには溶液あるいは溶質のナノ構造と物性を解析し、分子間力をベースとしたナノ物質輸送科学の新領域開拓と新ナノ構造液体の創出を行う。換言すると固体形成のゆりかごとしての溶液の隠されたポテンシャルを引き出すことである。得られた科学的知見を駆使してナノ電子デバイスを作成する技術の研究を推進する。

Tokura Multiferroics Project

十倉マルチフェロイックスプロジェクト

■研究総括 十倉 好紀（東京大学 大学院 工学系研究科 教授）
■研究期間 2006年～2011年

固体中では、外部から加えられた磁場（H）は磁化（M）を、電場（E）は電気分極（P）を誘起するが、磁化と電気分極が強く絡み合う現象の研究は現代においてもなお、未開拓と言ってよい分野である。

19世紀末、Pierre Curieによって電気磁気効果（磁場で電気分極を、また電場で磁化を起こす効果）を示す物質の存在が予言された。それから60年以上経た1960年頃、ようやくロシアの研究者によって電気磁気効果の基となる物質相（マルチフェロイックス＝強誘電性と強磁性が共存する物質相）が発見されたが、その電気磁気効果は非常に弱く、応用上の意味を持つまでには至らなかった。ところが、最近、強い電気磁気効果を持つマルチフェロイックスが、十倉等によって発見された（2006年）ことで、Pierre Curieの予言が改めて注目を集めるようになってきた。このマルチフェロイックスは、世界で初めて磁場による電気分極の反転を示しただけでなく、その逆の電場による磁化反転の存在を示唆しており、この材料系の大きな広がりを予感させられるものであった。強い電気磁気効果は、磁化と電気分極の強い相関から生まれるが、この未開拓の分野の研究を進めることは、科学的に大きな意義を持つだけでなく、これまで存在し得なかった動作原理に基づく革新的な電子デバイスの創製につながると期待される。

本研究領域では、磁化と電気分極の強い相関を持つマルチフェロイックスの創製と、その物性を説明する学理の構築を総合的に行うことで、材料の新たな設計指針を見出しつつ、ものづくり手法の高度化と合わせて、新規材料群の開拓を行う。また、将来の電子デバイス創製に向けて、電気磁気相関の制御技術の基礎を築く。それに加え、強い電気磁気相関によって発生する特異的な光学応答現象を研究するための電気磁気光学を創成する。

Miyawaki Life Function Dynamics Project

宮脇生命時空間情報プロジェクト

■研究総括 宮脇 敦史（理化学研究所脳科学総合研究センター グループディレクター）
■研究期間 2006年～2011年

細胞や生物個体の中で起こる生命現象は、現在の我々の理解を超えて巧妙な時空間的な制御を受けている。制御の動的様相に関する情報をもたらしてくれるものとして、細胞、組織、個体を“生きたまま”可視化するライブイメージング技術が注目されている。可視光を利用するライブイメージング技術は、蛍光ラベル技術の革新を端緒に、過去10年ほどの間に色素・機能プローブと顕微鏡技術の両面から著しく発展してきた。観察対象は、細胞から組織、個体へと広がりを見せようとしている。しかし、個体といっても線虫、ハエ、魚、トリ、マウスなど、扱う生物種は多岐に亘る。また、同一の生物種でも、発生の時期や部位により状況が大きく異なる。このため、生物個体に向かうライブイメージングは様々な問題に遭遇する。それぞれのライブイメージングに適した色素や光学系の特別な工夫が要求される。

本研究領域では、多細胞生物における生命現象の時空間的制御の動的な理解を目指して、生物個体を扱うライブイメージングの技術革新と実践応用を学際的に実施する。

Hashimoto Light Energy Conversion Project

橋本光エネルギー変換システムプロジェクト

■研究総括 **橋本 和仁**（東京大学 大学院 工学系研究科 教授）
■研究期間 2006年～2011年

近年のナノテクノロジーの発展は、物質を原子･分子単位で扱うことを可能にし始め、それにより、様々な新規材料がもたらされている。ナノテクノロジーの大きな手法の1つに、ナノスケールで材料を設計することにより新規機能材料の作成を目指す方法がある。この手法により、多くのナノ構造を持った材料が研究されてきたが、この手法ではナノ構造を作ってからその利用を考えるという方法論が採られることが多く、必ずしも、すべての材料が有効利用されているとはいえない。また、ナノテクノロジーは、エネルギー問題や環境問題の解決策としての期待も大きく、そのためにも、さらなる新規機能材料の研究が望まれている。

本研究領域では、光エネルギーを主としたエネルギー変換材料の分野において、材料の利用目的を想定して、その目的にあわせて物質のナノ構造を最適化するという視点から新規材料を設計・作成する手法を研究し、その基盤となるべき材料・システムの創製を目指すものである。さらには、バイオサイエンスの知見を利用した新規材料の創出も目指す。

Hirayama Nuclear Spin Electronics Project

平山核スピンエレクトロニクスプロジェクト

■研究総括 **平山 祥郎**（東北大学 大学院 理学研究科 教授）
■研究期間 2007年～2012年

近年の高度な情報処理技術は半導体やハードディスクに見られるように電子の電荷やスピンの性質を活用している。一方、原子核の持つ核スピンは電子スピンよりもスピンの向きが変わりにくいため量子状態を保持しやすいという特徴があり、近年、量子コンピュータへの応用が強く期待されている。しかし、核スピンは精密な制御が困難であるためその応用が制限されていた。この課題を解決するため本プロジェクトでは、ゲートにより精密制御可能な半導体量子構造やナノマテリアルを用いて核スピンを精密に制御する技術を確立し量子情報処理のための半導体デバイスや超高感度ＮＭＲへの展開を目指す。さらに、核スピンを利用した精密測定を通して、未知の物理現象を数多く見いだし、核スピンが重要な役割を果たす新たなエレクトロニクス分野の創出に繋げることを目指す。

本研究領域は、量子情報処理技術の実現に向けた核スピンを用いた多量子ビット量子デバイスの構築に繋がり、戦略目標「情報通信技術に革新をもたらす量子情報処理実現に向けた技術基盤の構築」に資するものと期待される。

Igarashi Design Interface Project

五十嵐デザインインタフェースプロジェクト

■研究総括 **五十嵐 健夫**（東京大学 大学院 情報理工学系研究科 准教授）
■研究期間 2007年～2012年

現在使われている身の回りの道具の多くは、プロのデザイナーがデザインし、大量生産された商品であり、それらを消費することで我々の生活は成り立っている。しかし、人間にとって真に豊かな生活の実現のためには、このような限られた選択肢のなかから選んで消費するだけではなく、自らの感性と創造力によって何かを創り出し、それらを自己表現として発信していくことが必要だと思われる。

本研究は、このような問題意識のもと、一般ユーザが種々のものを自ら手軽にデザインできる新たなユーザインタフェースの実現を目指し、その基盤となる計算手法や表現手法等の情報技術の研究を統合的に行うものである。個人の創造性を体現するために、３次元画像やアニメーション等の「映像表現」、鞄や衣服等の「生活用品」、将来、家庭において人間等との共生が期待される「ロボットの行動」を具体的なデザインの対象として、研究を実施する。

本研究領域は、一般ユーザによる創造的活動を支援するという目標のもとで、ユーザインタフェース研究の立場からＣＧ･ＣＡＤ･ロボティクスにおける新たな技術基盤の構築を目指すもので、戦略目標「メディア芸術の創造の高度化を支える先進的科学技術の創出」に資するものと期待される。

Maenaka Human-sensing Fusion Project

前中センシング融合プロジェクト

■研究総括 **前中 一介**（兵庫県立大学 大学院 工学研究科 教授）
■研究期間 2007年～2012年

少子化や高齢化、生活習慣病など近年の社会環境の変化に伴う問題が多発し、安全や福祉、健康の維持に大きな関心が寄せられている。孤独死や過労死あるいは不注意によって引き起こされる大事故、不健全な生活による疾患等を未然に防ぐためには、個人の体調や行動、その環境などを多角的かつ常時継続的に把握し、必要な措置を速やかに行うことが望まれる。人手を介さずにこれらのことを行うためには、人体に装着したセンサにより状態や環境を計測し、得られた情報を処理すると共にデータを遠隔地の病院や肉親に無線ネットワークを利用して安全・確実に転送できるシステムの構築が有効となる。このようなシステムの構築は、センサの統合化技術や低消費電力回路技術、発電技術や電源管理技術、無線通信技術や生体の状態を把握し処理するための情報処理技術など、広範囲なセンシング融合技術の開発により初めて実現できるものである。

本研究領域では、血圧や脈拍あるいはその波形に代表される個人の体調とその活動状況や周辺環境の状態を計測する複数のセンサを集積化するとともに小型発電機、無線通信素子を統合化し、人の安全と健康を支援するシステムの構築を目指す。

Nakauchi Stem Cell and Organ Regeneration

中内幹細胞制御プロジェクト

■研究総括 **中内 啓光**（東京大学 医科学研究所 教授）
■研究期間 2007年～2012年

現在、臓器不全症に対する治療には人工臓器あるいは他人からの臓器移植による臓器置換法が主流である。しかし人工臓器にはその生理機能、生体適合性といった問題が、また臓器移植には感染や倫理の問題に加えて絶対的なドナー臓器の不足が大きな問題となっている。このような状況下、新しい治療法として胚性幹細胞（ES 細胞）や人工多能性幹細胞（iPS 細胞）などの幹細胞を用いた再生医療が注目を浴びている。しかし現在の再生医療が目指しているのは細胞療法が主体であり、複雑な細胞間相互作用をその発生過程に必要とする臓器を試験管内で再生することは不可能と考えられている。

本プロジェクトでは Blastocyst Complementation（胚盤胞補完）法を用い臓器を異種動物個体内で再生することを最終ゴールとし、①小動物を用いてのコンセプトの検証②大動物による臓器再生･移植を行う２つの研究グループを設置し、互いにインターラクトしながらプロジェクト進展をはかる。本研究成果を基盤にして、将来的にヒト臓器が家畜を利用して再生できるようになれば、多くの患者を救済できるだけでなく、ヒトの臓器や組織を利用した創薬や医療関連産業にも画期的進歩をもたらすことが予想される。

Sodeoka Live Cell Chemistry Project

袖岡生細胞分子化学プロジェクト

■研究総括 **袖岡 幹子**（理化学研究所基幹研究所主任研究員）
■研究期間 2008年～2013年

生物が個体としての "生" を維持するために、個々の細胞の生死は厳密に制御されている。例えばさまざまな傷害により必要な細胞が死んでしまう場合にはネクローシス（壊死）とよばれるタイプの細胞死が観察される一方で、不要な細胞は自ら死ぬしくみ、アポトーシスとよばれる細胞死により除去される。これらの細胞死のしくみに異常が生じると、がんや虚血性疾患、神経変性疾患などのさまざまな疾患を引き起こすことが知られており、細胞死の制御により新たな治療法、予防法を確立できることが期待される。その為には、細胞死のしくみ、特にネクローシスのしくみを分子レベルで理解し、その全貌を明らかにすることが重要である。

本研究領域では、細胞死を制御しうる低分子化合物を開発し、細胞死に関連するたんぱく質を同定し、それらの相互作用を生細胞で検出可能にする新しい化学的な手法の開発を行い、さらに同定したたんぱく質の働きを調べることにより細胞死のしくみを分子レベルで解明することを目指す。また、研究過程で開発される新しい " 細胞死制御分子 " や生細胞解析手法は、細胞死の異常により引き起こされる疾患の治療薬の創製や、ほかの生命現象の解明にも役立つことが期待される。

Kawaoka Infection-induced Host Response Project

河岡感染宿主応答ネットワークプロジェクト

■研究総括 **河岡 義裕**（東京大学 医科学研究所感染・免疫部門 教授）
■研究期間 2008年～2013年

ウイルス感染症は、重篤な疾病を引き起こし多くの人命を奪うだけでなく、世界経済に大きな影響を与え、我々の生活に甚大な被害を及ぼしている。現在、世界中で毎年多くの人がウイルス感染症に罹患しているが、インフルエンザウイルスは他の呼吸器ウイルス感染症と比べ臨床症状が重く、肺炎合併による死亡者も多いことから特に注目されている。

これまでの精力的な研究にも関わらず、インフルエンザウイルスの病原性と宿主応答との関係については、ほとんどわかっていない。そこでウイルス学的な情報と宿主応答の相関を、体系的かつ包括的に理解するため、 1）ウイルス・細胞生物学ユニット、 2）宿主細胞応答ユニット、 3）計算システム生物学ユニットを設置し、ウイルス感染に重要な細胞性因子および病原性発現と相関する細胞性因子の同定を行い、ウイルス感染に対する宿主応答のモデル化ならびにデーター解析を行う。これらの解析により、ウイルス感染における宿主細胞応答のネットワークを明らかにすることができる。従って、本研究で得られる知見は、ウイルス感染症の新たな概念の確立と新規治療法の開発につながることが期待される。

Takahara Soft Interface Project

高原ソフト界面プロジェクト

■研究総括 **高原 淳**（九州大学 先導物質化学研究所 教授）
■研究期間 2008年～2013年

液晶、ゲル、界面活性剤、合成高分子、生体高分子、エラストマーなどの軟らかい材料「ソフトマテリアル」は、機能性材料として日常生活の中で極めて重要な位置を占めている。また、ソフトマテリアルで形成される表面と界面「ソフトインターフェース」は身の回りの至る所に存在し、主として有機高分子で形成され、有限の厚みと、特徴的な動的特性を有している。従って、ソフトインターフェースの構造と動的特性の精密制御は、この分野の科学と工学の発展を促進する。

本プロジェクトは優れた特性を有する自然界のソフトインターフェースの材料設計に学び、ソフトマテリアルの材料科学を駆使して新規なソフトインターフェースを創製することを目指すと共に、高性能なソフトインターフェース構築のための普遍的な科学的原理の解明をも目指す。具体的には、このプロジェクトを推進するために、 1）精密有機・無機合成技術に基づくソフトインターフェースの分子設計、 2）自然界に学ぶソフトインターフェースの階層構造制御、 3）ソフトインターフェースのその場構造解析技術と動的特性評価技術の開発、さらに創製したソフトインターフェースの基礎的な機能特性を評価する。

Okanoya Emotional Information Project

岡ノ谷情動情報プロジェクト

■研究総括 **岡ノ谷 一夫**
（理化学研究所脳科学総合研究センター生物言語研究チームチームリーダー）
■研究期間 2008年～2013年

情動情報とは、喜び、悲しみ、驚き、怒りといった心の状態を他者に伝達する表情や音声、体の動きの情報のことである。我々は、情動情報が言語と同様にある種の規則性（情動文法）をもって伝達されるものであると捉え、その進化過程・発達過程の生物学的な解析を基礎として、情動情報の計算科学的な符号化モデルを構築することを目指す。そのために、言語を獲得する前後の乳幼児、成人、および鳴き声でコミュニケーションする鳥やネズミなどの動物を研究対象とする。

本研究領域は、情動情報の生物学的基盤を解明し、符号化技術の創出を試みるものであり、従来の情報処理技術に欠けていた付加情報を扱うための新たな可能性を示し、それによってコミュニケーション効率を飛躍的に増大させることが期待される。たとえば、情動情報を付加できる新しいタイプのインターネットブラウザーの実現や、人の気持ちを理解し親密なコミュニケーションを行えるロボットの開発といった新たなハードウェアあるいはソフトウェアの実現に繋がっていくことが見込まれる。

Ito Glycotrilogy Project

伊藤グライコトリロジープロジェクト

■研究総括 **伊藤 幸成**（理化学研究所基幹研究所主任研究員）
■研究期間 2009年～2014年

ヒトを始めとする高等動物、植物、酵母など真核生物の細胞内にはアミノ酸で構成されたタンパク質に糖が結合した糖タンパク質が他種多様な形で存在し、様々な生体現象に深く関与している。特に高等生物においては糖タンパク質の糖鎖の構造多様性が多彩な機能（細胞間認識、細胞分化、癌化、シグナル伝達、免疫応答、微生物感染など）に反映されている。最近になり、糖鎖がタンパク質立体構造形成過程に重要な関与を行っていることが知られるようになり、糖鎖生物学における重要課題として注目されている。このような過程をしらべる上で、糖タンパク質を天然物から単離して利用する従来の生化学的なアプローチには限界がある。

本研究は、有機化学合成により糖鎖および糖タンパク質を精密に人工合成し、これらを用いた糖タンパク質の細胞内外における作用を系統的に解析することによって、糖タンパク質の生体内における機能を深く理解しようとするものである。本研究は生命科学における有機化学的手法の優位性を示すモデルケースになるとともに、タンパク質の立体構造や糖鎖構造異常に起因する種々の疾病（アルツハイマー病、プリオン病、糖鎖不全症など）の解決、合成糖タンパク質医薬開発、新規な抗感染症薬開発における新たな研究の流れの創成が期待される。

Takayanagi Osteonetwork Project

高柳オステオネットワークプロジェクト

■研究総括 **高柳 広**（東京医科歯科大学 大学院 医歯学総合研究科 教授）
■研究期間 2009年～2014年

骨は、脊椎動物が持つ特有な組織であるにもかかわらず、これまでその役割は、単に生体を支持し運動を可能にする硬い組織としての認識に留まっていた。しかし近年の研究から、骨は単なる運動器の一部ではなく、外界の環境変動やストレスを感受し、免疫系など他の生体系を能動的に制御している事が明らかになってきた。そこで本プロジェクトでは、骨と全身生体系との相互作用を分子レベルで解明し、脊椎動物の生体系を「骨による外界からの刺激感受と骨による全身の生体系制御システム＝オステオネットワーク」として捉え直し、このオステオネットワークの解明を進める。骨を中心とした感知・全身制御ネットワークというユニークな発想は、今後、骨と免疫系の相互作用を明らかにする骨免疫学的アプローチをさらに発展させた概念として、これまでの生体における骨の役割を一転させる契機になると期待される。そして本プロジェクトの成果から、生命システムの理解を深めるのみならず、メタボリック症候群、炎症性疾患、異所性石灰化、肝性骨異栄養症といった、骨と他臓器に共存する種々の疾患の解明や、それらに対する新薬開発の基盤となることが期待される。

Yomo Dynamical Micro-scale Reaction Environment Project

四方動的微少反応場プロジェクト

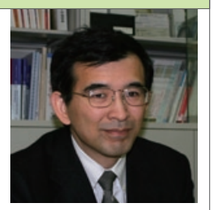
■研究総括 **四方 哲也**（大阪大学 大学院 情報科学研究科 教授）
■研究期間 2009年～2014年

生命の定義としてよく引用されているのは「進化可能な自律的化学反応システム」である。しかし、すべての人がこの定義を受け入れているわけでもなく、また、細胞の持つダイナミックな反応容器（動的微小反応場）としての性質がこの定義の中に十分反映されているわけでもない。このプロジェクトでは、細胞の持つ性質、すなわち 1）微小区画での反応の高効率性、確率性、頑強性、 2）成長分裂する微小区画による再帰性、 3）変異と選択による進化能の３点に着目して、これらの性質をもつ動的微小反応場を既知物質から創りあげる。そして、 4）その性質を単細胞生物である大腸菌などと比較する。この創出と比較のサイクルを繰り返すことによって、生命の最小単位である細胞を新しい視点から捉えなおし、人工細胞創出の設計指針を得ることを目指す。この目的を達成するためには、細胞生物学だけでなく、生化学、物理化学、理論生物学、また微小反応場を設計するマイクロ・ナノ工学などの多くの分野融合が必要となり、新しい領域を切り開く人材を育成することができると期待される。

Minato Discrete Structure Manipulation System Project

湊離散構造処理系プロジェクト

■研究総括 **湊 真一**（北海道大学 大学院 情報科学研究科 教授）
■研究期間 2009年～2014年



計算機は、産業プロセスの最適化や解析、マーケティング、バイオインフォマティクスなど、様々な情報処理に活用されている。近年の爆発的に増大している大規模データを処理するためには、計算機ハードウェアの高速化だけでなく、膨大な離散構造データ（計算機が行う論理的な処理を表現したデータ）を数学的に簡約化し効率よく計算する「アルゴリズム技術」の重要性が高まっている。

本研究領域では、基本的な離散構造の１つである論理関数を処理するBDD（Binary Decision Diagram: 二分決定グラフ）と、さらにその進化形であるZDD（Zero-Suppressed BDD; ゼロサプレス型BDD）の２つの技法を基盤とした離散構造処理系の研究に取り組む。ZDDは、研究総括が独自に考案したBDDの進化形で、疎な組合せの集合を効率よく処理する技法として世界的にも注目されている。これらの技法をさらに発展させ、多様な離散構造を統合的に演算処理する技法を体系化し、システム検証や最適化、データマイニング、知識発見などを含む分野横断的かつ大規模な実問題を高速に処理するための技術基盤を構築する。開発した処理系の実装技術は、国内外の研究者や産業界が利用しやすい形で提供していく。

Nakajima Designer Nanocluster Assembly Project

中嶋ナノクラスター集積制御プロジェクト

■研究総括 **中嶋 敦**（慶應義塾大学 理工学部 教授）
■研究期間 2009年～2014年

ナノクラスターとは、数個から数百個の原子・分子が集合した、数ナノメーターの大きさの超微粒子のことである。原子・分子より大きく、バルク固体よりも小さいナノクラスターは、そのどちらとも異なる特異な性質や機能を有することから、触媒、電子デバイス、磁気デバイスなどへの応用が強く期待されている。

本研究領域は、シリコン複合クラスターおよび有機金属サンドイッチクラスターをモデル材料として、ナノクラスターの合成・機能解析を行うとともにナノクラスターを配列集積させて太陽電池などのデバイスを作製し、これら実証データを足がかりとしてナノクラスター物質科学の基礎を確立するものである。ナノクラスターの応用可能性の探索にあたっては、クラスター化学の知見を活用したナノクラスターの精密大量合成と同一環境下での配列集積、原子レベルでの物性計測・機能解析および集積物質を利用したデバイス（太陽電池および光磁気デバイス）の創成を行い、新たなナノ物質科学の構築に取り組む。また、これらの機能を活用した研究を通じて、ナノクラスターを基盤材料とした新たなナノデバイス創成の道筋を提示することを目指す。

Iyoda Supra-integrated Material Project

彌田超集積材料プロジェクト

■研究総括 **彌田 智一**（東京工業大学 資源化学研究所 教授）
■研究期間 2010年～2015年

新材料の発見･創製は、科学技術や産業上、極めて重要であり、今日までに金属、セラミックス、プラスチック、半導体など各種分野でさまざまな性質の新材料が開発され、人類社会の発展に大きく貢献してきた。これまでの新材料の創製は、主に新しい性質が偶発的に発見された物質の周辺を探索・最適化することで行われており、合理的な新機能の設計や新材料の探索は容易ではなかった。一方、一昔前から注目されているハイブリッド材料は成分の組み合わせだけでも無限の可能性があり、新材料の宝庫として期待できるものの、異物の混合物として個々の構成成分の性質を併せ持つ程度の複合機能であり、材料科学に大きなブレークスルーをもたらすには至っていない。その最大の理由は、各成分の相互作用を自在に制御できるスケールで精密に配置・配列すること、さらに系統的な混合プロセスと物性探索の方法論が確立していなかったことにあった。

本研究領域は、ナノテンプレート（ナノスケールの鋳型）を利用することで、各構成成分の精密な配置・配列を実現し、各成分同士の相互作用を精密に制御することにより、単なる成分の足し合わせ以上の性質をもつ材料（超集積材料）の創出を目指す。わずか百種類程度の元素から数千万種類を超える分子や高分子、金属、半導体、セラミックスなどの物質ができるように、本研究領域では構成成分をあたかも原子や分子のように扱うことで多様な超集積材料を創出する。また、見方を変えれば、分子を集積する超分子化学的アプローチを材料全般に拡張し、組み合わせと相互作用を自在に操る材料と物性の探索法を開拓するとも言える。このようにして創製された超集積材料は、次の超集積材料の構成成分として利用されることにより、さらなる新しい新材料創製が期待される。ここで用いられるナノテンプレートは人工的に作成したものだけでなく、微生物がもつような複雑な構造も利用することで、より高度な相互作用を制御することも可能と考えられる。さらに、分子配線技術をナノテンプレートを利用して開発し、分子で集積回路を作ることで、その回路自体が１つの新しい性質を持つ材料であるという概念も提唱する。

Katori Innovative Space-Time Project

香取創造時空間プロジェクト

■研究総括 **香取 秀俊**（東京大学 大学院 工学研究科 教授）
■研究期間 2010年～2015年

太陽や月などの天体観測から始まった“時間”を正確に測定する技術の探求の結果、人類は、数千万年に１秒の誤差しか生じないセシウム原子時計を完成させた。これらは、有史以来続いてきた、天文学者や物理学者たちの“普遍な1秒”への挑戦の歴史であった。この一見日常生活と無縁なほどに高精度な時計は、今や地球規模での高速・大容量通信技術や、地球上どこにいても正確な測地ができるGPS技術への応用などグローバル化した現代社会を支える基幹技術となり、その重要性はますます高まっている。現在、国際的に定義されている“1秒”は、電場や磁場のない自由空間に“静止している”セシウム原子の２つの状態間のエネルギー差に対応するマイクロ波の放射をもとに定義されている。セシウム原子時計ではこのマイクロ波の振動周期を測定し、“原子の1秒”を決定する。しかし、最も高精度なセシウム原子時計でも15桁目の数値が揺らぐ。この揺らぎは“約3000万年に1秒の誤差”に相当する。実際のセシウム原子は熱運動をしており、他のセシウム原子と相互作用してしまうことが大きな原因である。研究総括は、原子をかぎりなく“静止”させるための手法を発案した。１つは、レーザーを用いて原子の運動エネルギーを絶対０度に近い温度まで冷却する技術「狭線幅レーザー冷却法」である。さらに、レーザー光の干渉縞によってできる“光格子”と呼ばれる微小空間に原子１個１個を閉じ込めることで原子の運動を凍結した。これにより原子間の相互作用を排除できる。ところが、このようにレーザーなどの電磁場を使って原子を空間的に閉じ込める時、その代償として、原子のエネルギー状態が空間的に変化することが避けられない。これが起きると、原子の２状態間のエネルギー差を正確に測る原子時計には致命的である。研究総括は、特定の波長のレーザー光を使って原子を閉じ込める時、原子から放射される光の振動数は、閉じ込めによる影響を受けないことを発見し、この波長を「魔法波長」と名付けた。研究総括は、これらのアイディアをもとに、セシウム原子時計に代わる、新しい原理の原子時計「光格子時計」を発案した。

本研究領域は、極低温原子操作、量子制御技術、最先端のレーザー制御技術の高度化を行うことで、セシウム原子時計を遙かに陵駕する精度をもつ、「光格子時計」を実現させることを目的とする。「光格子時計」は、「魔法波長」で作った光格子に束縛された100万個の極低温原子が放射する光の振動数を計測し、究極の“原子の1秒”を決定する。その理論限界では、時間を18桁の精度で読み出すことが可能になる。この精度は、実に、我々の住む宇宙の年齢（137億年）経っても誤差が1秒以下であり、まさに人類が手にする究極の「時計」と言える。「光格子時計」を実現するための最大の課題は観測に用いるレーザーの揺らぎである。本研究では、これを克服するために高い安定度を持つ最先端レーザーシステムの開発を行う。並行して、極低温原子操作、量子制御技術を取り入れた、新たな原子時計の実現手法を確立し、「光格子時計」の究極の精度に挑戦する。

Takeuchi Biohybrid Innovation Project

竹内バイオ融合プロジェクト

■研究総括 **竹内 昌治**（東京大学 生産技術研究所 准教授）
■研究期間 2010年～2015年

ヒトを含む多細胞生物の体は、さまざまに分化した細胞の秩序だった集合によって組み立てられている。異種細胞から構成される組織や臓器といった各階層には、機能発現に必要な三次元構造があり、人工組織や臓器の作製ではこの構造を再現することが鍵と考えられる。これまでの組織工学では、立体的な足場に細胞を蒔くことでこのような三次元の組織形成を行なってきたが、この方法では軟骨などの比較的低密度の組織は形成できても、消化器官などに見られる高密度の厚い組織や異種細胞の層構造などを再現することは困難であった。そこで､細胞ブロックを制御性良く集積することで立体組織構造を造形するボトムアップ型のアプローチに注目が集まっている。しかし、細胞そのものは柔らかく変形しやすいため、組み立ての高速化・精密化にはこれまで限界があった。

本研究領域は、微細な加工・配置を得意とするMEMS技術やマイクロ流体デバイス技術と組み合わせて、細胞をあたかもネジやバネ、歯車といった規格化された部品のように加工し、厚みを持った三次元組織を機械組み立てのように緻密かつ高速に構築することを目指す。このようなバイオテクノロジーと工学テクノロジーの融合によって実現する人工組織は、再生医療における安全な移植材料としての利用や、動物実験に依存しない薬物動態検査システムの構築などに役立つことが見込まれる。また、感覚受容細胞を組み込んだ環境センサやロボットに利用するためのセンサやアクチュエータの開発のように、細胞を利用したものづくりという新たな産業分野の創出につながることも期待される。本研究領域では、細胞が付着または内包されたマイクロビーズやファイバー、あるいは接着細胞を培養した微小プレートなど、組み立てパーツとなるハイブリッド材料について、利用用途に応じて素材や加工法、デザインなどを考案、検討する。こうして準備された加工部品から生体組織に近い立体構造を形成するシステムを開発すると同時に、生体組織の自己組織的な再編成を促す微小環境を最適化することで、最終的には血管や神経網を埋め込んだ生体に近い人工組織を造るための設計論の確立を目指す。このようにしてでき上がった人工組織の性能は移植実験によって生体内での機能を確認するなど、実用化へ向けた実証試験にも取り組む。

Higashiyama Live-Holonics Project

東山ライブホロニクスプロジェクト

■研究総括 **東山 哲也**（名古屋大学 大学院理学研究科 教授）
■研究期間 2010年～2015年

多数の細胞から形成される生物では、個々の細胞は隣接する他の細胞とのコミュニケーションを通して自らの位置や機能に関する情報を把握し、生物個体としてのバランスを取っている。このように細胞が自身の役割を知り、集団に対して自立的な秩序をもたらすような個と全体の相互作用はホロニックコミュニケーションと呼ばれており、特に植物では動物の中枢神経系のような中枢制御機能を持たないため、葉の発生や花成など多くの過程でこのホロニックコミュニケーションが重要な役割を担っていると考えられている。しかし細胞が精確に自身の役割や位置を知るメカニズムは、生きた組織中で個々の細胞や分子の機能を解析することが困難なため、動物、植物のいずれにおいても未だ十分な解明には至っていない。そのようななか、東山氏らの研究によって、受粉した花粉から伸びる花粉管細胞を卵のある位置へと誘導するシグナリング分子が見つかり、140年来の謎であった仕組みの一端が解き明かされた。この発見には、独自に開発された数々の顕微解析技術が大きく貢献しており、顕微鏡下で細胞や分子を自由自在に操作・解析する技術への展開が期待されている。

本研究領域は細胞間の情報伝達の担い手であるシグナリング分子そのものの実際の動きを直接解析するライブセル解析を実現し、シグナリング分子のダイナミクスと作用機構を明らかにすることによりホロニックコミュニケーションを真に理解しようとするものである。このために、光技術、工学技術、シングルセルオミックスを一体的に推進することで、ライブセル生物学という新たな分野の確立を目指す。具体的には、植物の卵装置および胚の形成過程をモデルとし、第一に低分子性植物ホルモンやペプチドなどの全身性および局所性の細胞間シグナリング分子を直接可視化することを実現し、次に光技術および工学技術によりシグナリング分子を操作解析することに挑む。そして個々の細胞のオミクス解析から、個々の細胞の応答の仕組みや未知のシグナリング分子を明らかにすることで、個と全体の調和が卵装置および胚のパターンを生み出す機構の本質に迫る。

Murata Active structures of lipids in and around proteins Project

村田脂質活性構造プロジェクト

■研究総括 **村田 道雄**（大阪大学 大学院 理学研究科 教授）
■研究期間 2010年～2015年

ヒトを構成する細胞の一つひとつは、外部と内部を隔てる膜に包まれている。この膜は脂質二重層と呼ばれる構造を取っており、構成成分の多くは脂質であることが知られている。細胞が生きていくためには、この膜を通して物質のやり取りを行う必要があり、その重要な役割はこの膜に存在する膜貫通タンパク質や、小さな穴を作る分子が担うことが研究されてきた。これらはいわば壁に取り付けられた窓の様なものである。しかし研究が進むにつれ、ただの壁だとひとくくりに考えられてきた脂質の中にはタンパク質と相互作用するなどで膜の性質を左右する重要な脂質分子があると分かってきた。そのため脂質は新薬創成のターゲット分子として注目され始めている。一方、この脂質の機能を詳細に解析するためには生体内で活性を保った状態の脂質の構造を調べる必要があるが、タンパク質と相互作用している脂質の結晶化が困難であること、また極低温下での測定では常温下の姿を捉えられないことが従来のX線結晶構造解析法では解決できない問題となっている。

本研究領域は、脂質のNMR解析における感度の低さを克服し、脂質が生体膜中で活性を持つ状態の構造を解析する。さらにこの構造情報をもとに脂質の機能を解明することを目指す。NMR法では、1H、13C、19Fといった磁気核の位置を測定することができるが、脂質はHやCを多く含むため測定した原子が分子全体のどこの位置にあるかの識別が困難であること、さらに天然に存在する脂質中の13Cの同位体含有率が、シグナルを与えない12Cの1%程度と非常に低いためどうしても感度が悪くなることが課題になっていた。そこで有機合成化学の手法を最大限に利用して13C、19Fといった標識元素を観察対象分子の特定の場所にあらかじめ導入するなど、信号を明確に観測するための新しい実験方法の開発を行うことで脂質の構造解析を可能にする。さらに得られた脂質の構造から、計算化学を駆使して膜タンパク質との相互作用を推定することで膜タンパク質の構造解析も目指す。これはあたかも窓枠の形から窓の形を予想するようなものであり、これまで構造決定が困難であった膜タンパク質の構造を知る新しい手法の創出となる。

ERATO international

ERATOプロジェクトの中でも、外国の研究チームと共同で研究を推進し両方の特長や分野を相互補完することによって、科学技術の新しい源流や技術シーズの創出がより期待できるプロジェクトについては、国際共同研究タイプの"ERATO international" プロジェクトとして、研究を実施しています。

Kitagawa Integrated Pores Project

北川統合細孔プロジェクト

■研究総括 **北川 進**（京都大学 物質-細胞統合システム拠点 副拠点長）
■相手国側研究総括 **オマール ヤギー**（カリフォルニア大学 ロサンゼルス校 化学・生化学科 教授）
■研究期間 2007年～2012年

多孔性材料は、たとえば石油工業における分離材料や、環境の浄化用材料として広く使われている。 近年“多孔性”配位高分子（PCP）という新しい材料が現れ、高い機能性が期待されることから急激な発展を遂げてきた。配位高分子（CP）とは、有機配位子を金属イオンに連結して作られる無限骨格構造を有する化合物のことである。我々は初めて、室温において内部のゲスト分子を取り除いても安定なPCPを合成し、その化合物がメタンを吸蔵、脱着できることを実証した。PCPは多様な有機配位子と金属イオンを用いる事によって、その細孔壁の分子素子を自在に交換し、細孔の空間の大きさや細孔壁の性質を随意に制御して、上記の分子間相互作用を多様に変えることが可能である。本プロジェクトの目的は、PCPの優れた機能性をさらに高めながら、PCPを特徴づける普遍的な構造、機能を体系的に確立して様々な場において優れた機能を発揮できる物質の開発を行うこと、その新物質によってこれまで想像もされなかった機能発現の場を開拓することである。分離あるいは吸着といった単独の機能を追及した物質を合成する段階から、周囲の環境に応答したり、調和するといったより高度で複数の機能を有する新物質の創造が可能になると期待される。

Suematsu Gas Biology Project

末松ガスバイオロジープロジェクト

■研究総括 **末松 誠**（慶應義塾大学 医学部 教授）
■相手国側研究総括 **グレッグ セメンザ**（ジョンズ・ホプキンス大学 細胞工学研究所 教授）
■研究期間 2009年～2014年

ガス分子（O_2、NO、CO、H_2S、CO_2など）は、地球の太古における単細胞生物が外界の環境変化を感知する信号として利用してきたことが知られているが、現代の哺乳類においても蛋白質、脂質や糖質などと同様に生体の構成成分として生物作用の発揮に重要な役割を果たしている。本研究領域では、バイオシミュレーションを活用した代謝システム予測や、細胞内におけるガス分子濃度解析などのマクロ的視点の研究と、細胞内におけるガス分子と代謝を促す分子（酵素）との結合における分子構造の変化の解析など、代謝システム内における化学反応の解明といったミクロ的視点の研究を相補的に行い、ガス分子が介在する代謝機構の解明を目指す。さらに、代謝機構の解析により得られた知見を活用しつつ、酵素や代謝変動の局在の細胞レベルでの精密な解析、体内特定部位での代謝作用におけるガス分子の役割のより詳細な解明を進め、特定の臓器のガス分子環境の人為的な制御・調節の実現といったガス分子の特性を利用した病態制御技術の基礎を確立し、がん研究や薬物代謝・毒性メカニズムといった応用研究への端緒を得ることを目指す。

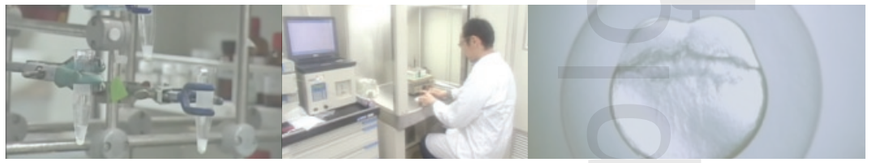
ERATO研究プロジェクト 索引

ERATO research projects index

	研究総括/総括責任者	プロジェクト名	年号	頁
あ	相田 卓三	ナノ空間	00 ▶ 05	63
	合原 一幸	複雑数理モデル	03 ▶ 08	68
	青野 正和	原子制御表面	89 ▶ 94	41
	審良 静男	自然免疫	02 ▶ 07	67
	浅田 稔	共創知能システム	05 ▶ 10	72
	五十嵐 健夫	デザインインタフェース	07 ▶ 12	76
	池田 穣衛	ゲノム動態	89 ▶ 94	42
	板谷 謹悟	固液界面	92 ▶ 97	47
	伊藤 幸成	グライコトリロジー	09 ▶ 14	79
	稲場 文男	生物フォトン	86 ▶ 91	37
	井上 明久	過冷金属	97 ▶ 02	57
	井上 佳久	光不斉反応	96 ▶ 01	55
	今井 浩	量子計算機構	00 ▶ 05	62
	彌田 智一	超集積材料	10 ▶ 15	80
	岩田 想	ヒト膜受容体構造	05 ▶ 10	73
	上田 正仁	マクロ量子制御	05 ▶ 10	73
	大津 元一	局在フォトン	98 ▶ 03	58
	大野 英男	半導体スピントロニクス	02 ▶ 07	66
	緒方 直哉	ファインポリマー	81 ▶ 86	33
	岡ノ谷 一夫	情動情報	08 ▶ 13	78
	岡山 博人	細胞変換	91 ▶ 96	46
か	加藤 茂明	核内複合体	04 ▶ 09	72
	加藤 誠志	たん白生態	95 ▶ 00	53
	香取 秀俊	創造時空間	10 ▶ 15	81
	金子 邦彦	複雑系生命	04 ▶ 09	70
	河内 啓二	微小流動	92 ▶ 97	46
	河岡 義裕	感染宿主応答ネットワーク	08 ▶ 13	78
	川人 光男	学習動態脳	96 ▶ 01	54
	北川 進	統合細孔	07 ▶ 12	83
	北野 宏明	共生システム	98 ▶ 03	59
	木村 茂行	融液動態	90 ▶ 95	42
	楠見 明弘	膜組織能	98 ▶ 03	59
	国武 豊喜	化学組織	87 ▶ 92	39
	黒田 晴雄	固体表面	85 ▶ 90	36
	黒田 玲子	カイロモルフォロジー	99 ▶ 04	62
	小池 康博	フォトニクスポリマー	00 ▶ 05	63
	腰原 伸也	非平衡ダイナミクス	03 ▶ 08	69
	後藤 英一	磁束量子情報	86 ▶ 91	36
	五神 真	協同励起	97 ▶ 02	56
	小林 修	高機能性反応場	03 ▶ 08	69
	近藤 寿人	誘導分化	98 ▶ 03	60

	研究総括/総括責任者	プロジェクト名	年号	頁
さ	榊 裕之	量子波	88 ▶ 93	39
	下條 信輔	潜在脳機能	04 ▶ 09	71
	下田 達也	ナノ液体プロセス	06 ▶ 11	75
	新海 征治	包接認識	90 ▶ 95	44
	末松 誠	ガスバイオロジー	09 ▶ 14	83
	関口 清俊	細胞外環境	00 ▶ 05	64
	袖岡 幹子	生細胞分子化学	08 ▶ 13	77
た	高井 義美	生体時系	94 ▶ 99	52
	高原 淳	ソフト界面	08 ▶ 13	78
	高柳 邦夫	粒子表面	94 ▶ 99	50
	高柳 広	オステオネットワーク	09 ▶ 14	79
	竹内 昌治	バイオ融合	10 ▶ 15	81
	田中 俊一郎	固体融合	93 ▶ 98	49
	樽茶 清悟	多体相関場	99 ▶ 04	60
	月田 承一郎	細胞軸	96 ▶ 01	56
	土居 洋文	バイオアシンメトリ	95 ▶ 00	53
	十倉 好紀	スピン超構造	01 ▶ 06	64
	十倉 好紀	マルチフェロイックス	06 ▶ 11	75
	外村 彰	位相情報	89 ▶ 94	41
	鳥居 邦夫	食情報調節	90 ▶ 95	43
な	中内 啓光	幹細胞制御	07 ▶ 12	77
	中嶋 敦	ナノクラスター集積制御	09 ▶ 14	80
	中村 栄一	活性炭素クラスター	04 ▶ 09	71
	中村 修二	不均一結晶	01 ▶ 06	65
	永山 国昭	たん白集積	90 ▶ 95	43
	難波 啓一	プロトニックナノマシン	97 ▶ 02	57
	西澤 潤一	完全結晶	81 ▶ 86	33
	西澤 潤一	テラヘルツ	87 ▶ 92	38
	野依 良治	分子触媒	91 ▶ 96	45
は	橋本 和仁	光エネルギー変換システム	06 ▶ 11	76
	橋本 竹治	相分離構造	93 ▶ 98	49
	長谷部 光泰	分化全能性進化	05 ▶ 10	74
	早石 修	生物情報伝達	83 ▶ 88	34
	林 主税	超微粒子	81 ▶ 86	32
	東山 哲也	ライブホロニクス	10 ▶ 15	82
	平尾 一之	誘起構造	94 ▶ 99	51
	平山 祥郎	核スピンエレクトロニクス	07 ▶ 12	76
	広橋 説雄	細胞形象	93 ▶ 98	50
	伏谷 伸宏	着生機構	91 ▶ 96	45

	研究総括/総括責任者	プロジェクト名	年号	頁
は	古沢 満	発生遺伝子	87 ▶ 92	38
	細野 秀雄	透明電子活性	99 ▶ 04	61
	宝谷 紘一	超分子柔構造	86 ▶ 91	37
	掘越 弘毅	特殊環境微生物	84 ▶ 89	35
	堀越 正美	ジーンセレクター	97 ▶ 02	58
ま	前田 雄一郎	アクチンフィラメント動態	03 ▶ 08	70
	前中 一介	センシング融合	07 ▶ 12	77
	増原 宏	極微変換	88 ▶ 93	40
	増本 健	特殊構造物質	81 ▶ 86	32
	舛本 泰章	単一量子点	95 ▶ 00	52
	御子柴 克彦	細胞制御	95 ▶ 00	54
	水谷 純也	植物情報物質	88 ▶ 93	40
	水野 傳一	バイオホロニクス	82 ▶ 87	34
	湊 真一	離散構造処理系	09 ▶ 14	80
	宮脇 敦史	生命時空間情報	06 ▶ 11	75
	村田 道雄	脂質活性構造	10 ▶ 15	82
や	八島 栄次	超構造らせん高分子	02 ▶ 07	67
	柳沢 正史	オーファン受容体	01 ▶ 06	66
	柳田 敏雄	生体運動子	92 ▶ 97	47
	山元 大輔	行動進化	94 ▶ 99	51
	山本 雅之	環境応答	02 ▶ 07	68
	山本 喜久	量子ゆらぎ	93 ▶ 98	48
	横山 茂之	情報分子	96 ▶ 01	55
	横山 浩	液晶微界面	99 ▶ 04	61
	吉里 勝利	再生機構	92 ▶ 97	48
	吉田 庄一郎	ナノ機構	85 ▶ 90	35
	吉田 賢右	ATPシステム	01 ▶ 06	65
	吉村 進	パイ電子物質	91 ▶ 96	44
	四方 哲也	動的微小反応場	09 ▶ 14	79



Exploratory Research for Advanced Technology