

## ERATO - 25周年記念誌刊行にあたって

独立行政法人科学技術振興機構  
理事 北澤 宏一

科学技術振興機構のERATOはこれまでそのユニークさが注目され、新たな研究制度として海外でもその導入をはかる国もありました。ERATOがスタートしたのは25年前、日米間の貿易摩擦が取り沙汰され、日本の基礎研究国際貢献不足が指摘されていた時代でありました。ERATO第1期生（1981年研究開始）はその後の日本の輝かしい化合物半導体時代を開いた西澤潤一氏や現在のアモルファス金属の世界をリードした増本健氏、世界のナノ・サイエンスのさきがけとなった緒方直哉氏のファイナポリマー、林主税氏の超微粒子プロジェクト（各5年間）でした。

これまで85人が選ばれ、私たちの最近の調査ではそのうちの約半分が「新たな研究の潮流を開いた」と評価され、4人のうち3人は世界のその分野のリーダーであるとして認められました。その意味で、本制度は「基礎研究国際貢献」という1980年代の我が国の悲願を実現する旗艦としての役割を果たしてきたと判定したいと考えております。我が国の基礎研究国際貢献における重みはこの20年間非常に大きな進歩を見せ、世界における研究論文シェアも経済規模シェアに徐々に近づいてきています。

21世紀になって世界は研究開発メガコンペティションと言われる時代となりました。たとえばナノテク研究開発予算は日米欧3極が競う形で計画が立てられ、そこにBRICs諸国が加わる情勢となっています。このため2006年からの世界はさらにその後の計画において「イノベーション」をキーワードとして採用するようになりました。我が国でも第3期科学技術基本計画でイノベーションが主要な課題とされています。

JSTでは3年前からイノベーションに適した研究支援システムに関する総合的な検討を開始し、JSTの存在意義の1つを「シームレス・イノベーションシステム」と捉えています。その観点からERATOをみると大きな産業展開につながりそうな最近のERATOプロジェクトがいくつかあることが分かりました。

このたび、ERATO-25周年を迎えるにあたり、記念誌を刊行することといたしました。その中では、25年間の研究事業の成果として、科学技術に対してだけでなく、社会や産業に対しても、ERATO制度がどのようなインパクトを与えたかを中心にまとめております。また、それらがどのような重要なイノベーションに結びついたかをご紹介したいと存じます。

これまでERATOは、日本の基礎研究国際貢献において、顕著な業績を挙げて来たことは明らかですが、時代の変化に応じて更に展開をはかっていきたいと考えております。

## ERATO—25周年記念誌

# ERATO

Exploratory Research for Advanced Technology

### C O N T E N T S

ERATO - 25周年記念誌刊行にあたって .....	1
独立行政法人科学技術振興機構 理事 北澤宏一	
ERATOの誕生と立ち上げ .....	3
元 独立行政法人科学技術振興機構 理事 千葉玄彌	
ERATO事業の概要 .....	4
ERATOが変えた日本の研究システム .....	6
Topics .....	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 & .....	24
ERATO 85 研究プロジェクト.....	26

## ERATO<sup>1</sup>の誕生と立ち上げ

元（独）科学技術振興機構 理事 千葉 玄彌

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、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。

# 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

私たちの日本が豊かな未来を切り開くためにも、また国際社会での然るべき貢献を十分果たすためにも、科学技術の創造的な研究、特に基礎的な研究をより一層充実させ、しっかりとした工業立国を建設していくことが不可欠な課題の一つです。

創造科学技術推進事業は、そのような認識のもとに、1981（昭和56）年に発足しました。そしてその後の新しい時代の要請を踏まえ、2002（平成14）年より戦略的創造研究推進事業ERATO型研究として新たにスタートしました。

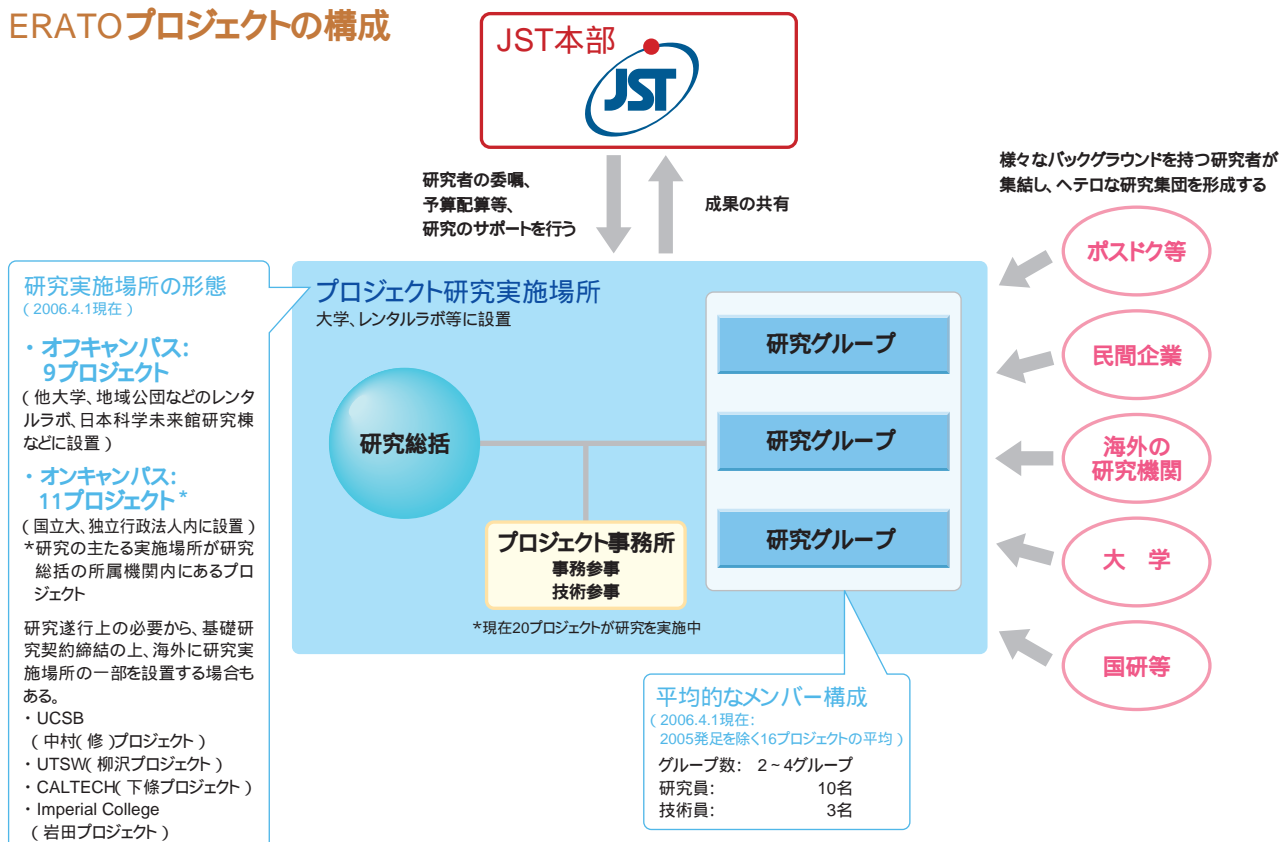
この事業は、国の戦略目標の達成に向けた基礎研究の担

い手として、科学技術の芽を積極的に生み出すことを目的としています。

そのために、本事業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、進行中の研究の中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きます。

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チーム編成・研究サイトの用意が可能となるよう

## ERATOプロジェクトの構成



にJSTは支援いたします。

具体的には、JSTが研究者個人を直接雇用することによって、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・企業などの第一線で活躍している優れた才能を結集し、正に科学技術版「ドリームチーム」を結成することを可能としています。

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、侃々諤々の議論を闘わせなが

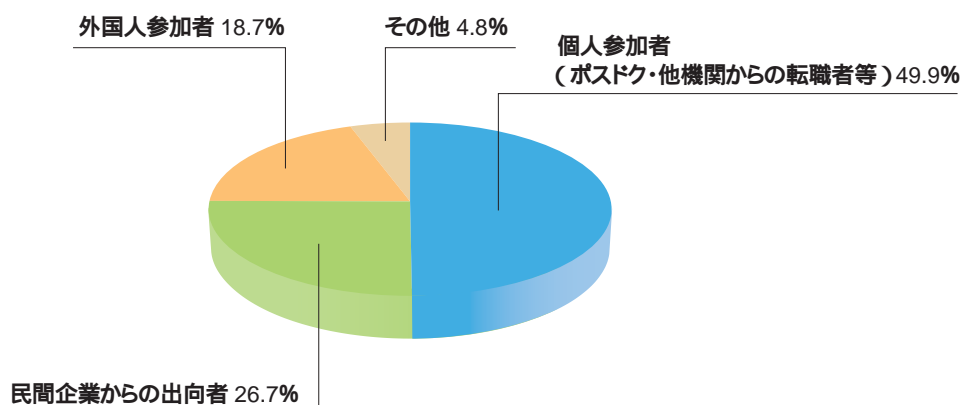
ら、全く新しい発想と切り口のもとで、独創的な科学技術の芽が創出されることを期待しています。

研究サイトについても、研究総括には、所属する組織の論理や束縛から解放され、構想・テーマに最適な研究環境を自由に整備して頂きたいと考えております。

また研究の進捗によっては研究拠点を追加・変更することまで含め、柔軟な支援をJSTは行って参ります。

## ERATO研究員の構成

\*2005年3月1日までに参加した研究者累計1,725名を対象に集計

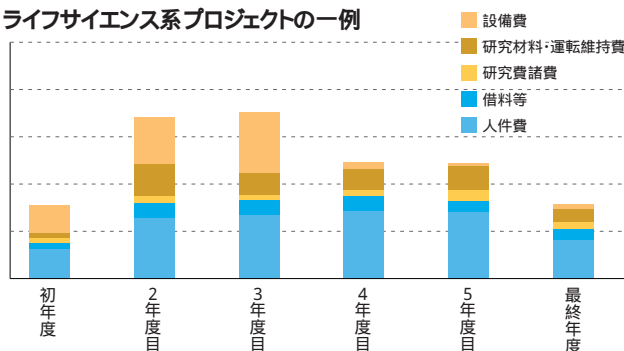


## プロジェクト(分野別)の年度毎予算

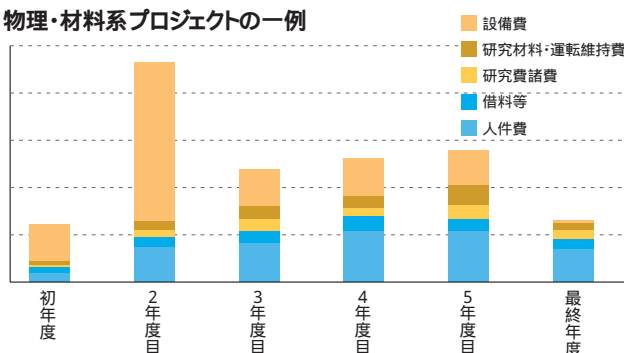
### 柔軟な予算配分

研究総括の構想・研究のスタイルに合わせて、プロジェクト毎に最適な5カ年の研究実施が可能となるように、予算配分を行っています。また、研究の推移に合わせ、年度途中でも予算の変更を伴う計画変更ができるなど、研究の実態に即した支援を図っています。

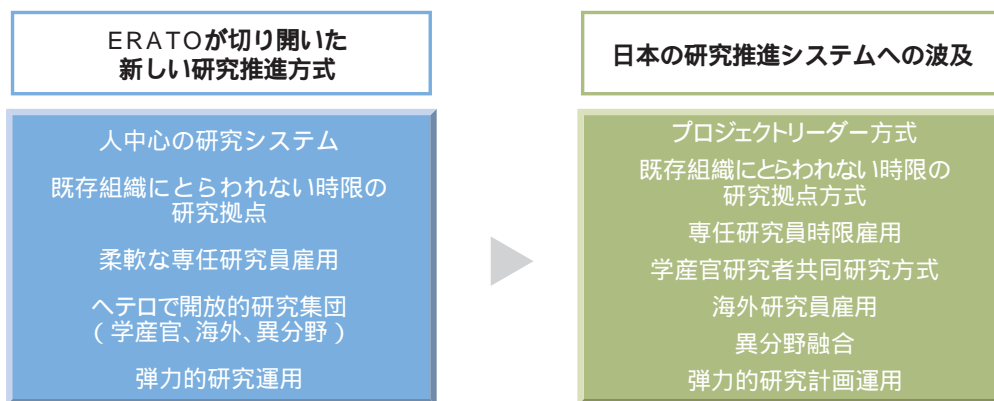
ライフサイエンス系プロジェクトの一例



物理・材料系プロジェクトの一例



# ERATOが変えた日本の研究システム



## 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き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25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。

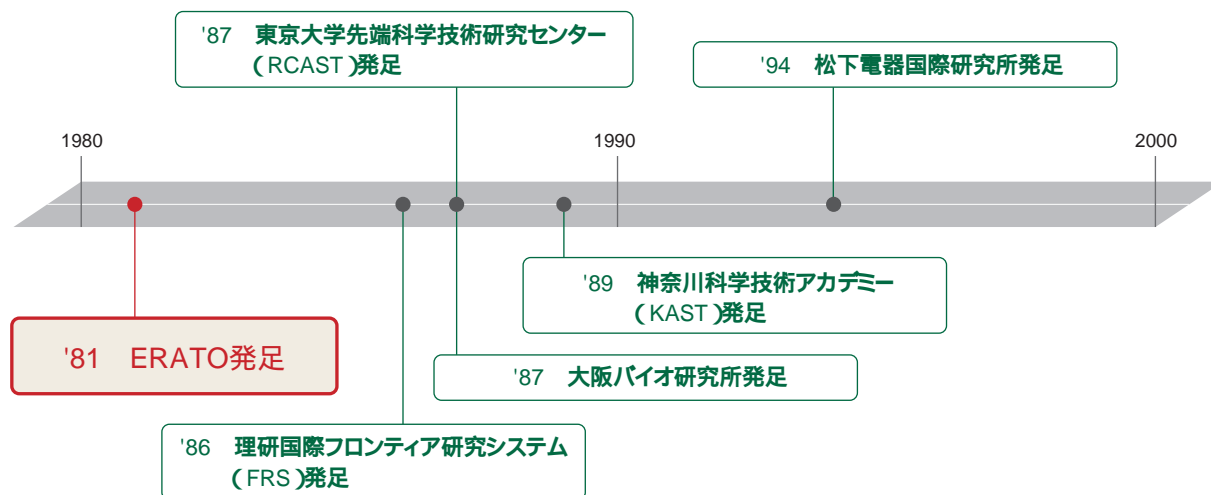
### 4) ヘテロで開放的な研究集団

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制度国内の諸機関への波及

## 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しました。

その中でも、代表的なものとして理研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) 理研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年当時の理研の理事によると、「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）ということで、その結果国際フロンティア研究システムをつくったそうです。

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。

### 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、それは、若手の研究者を積極的に採用し、一定期間の任期とし、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を置いて運営されています。

### 3) 松下電器国際研究所

1986年から1991年にかけて、「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、松下電器の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。

# 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、結合の仕方によって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。

## 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  $\text{RuCl}_2(\text{phosphine})_2(\text{diamine})$  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



ノーベル賞賞状



ノーベル賞授賞式 (写真はノーベル財団提供)



# 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。25年経った今振り返って、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。



「難波プロトニックナノマシンプロジェクト」より

ERATOの超微粒子から始まったナノテクノロジーの流れ	P10～11
日本が生んで世界をリードするアモルファス材料	P12～13
完全結晶の上に築かれた日本発の独創的なデバイス群	P14～15
量子デバイス、量子情報で世界に先駆ける大いなる系譜	P16～17
発想の転換が生んだ材料技術のフロンティア	P18～19
ERATOが生んだ次世代の有機ファインケミカル	P20～21
バイオナノマシン—ERATOが解き明かした生命の超分子	P22～23

# ERATOの超微粒子から始

1980

1985

1990

ERATO林超微粒子

ERATO外村位相情報

ERATO青野原子制御表面

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。

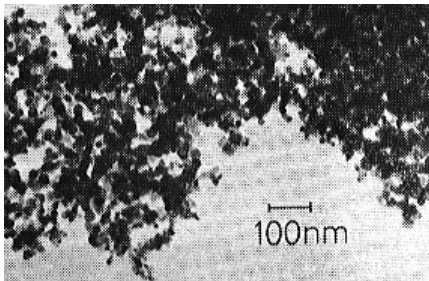


写真 180 30秒間水素中で処理したNi超微粒子触媒

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。

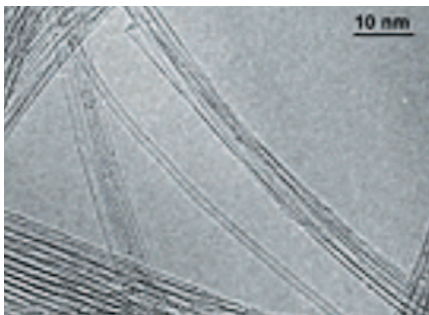


写真 カーボンナノチューブの電子顕微鏡像

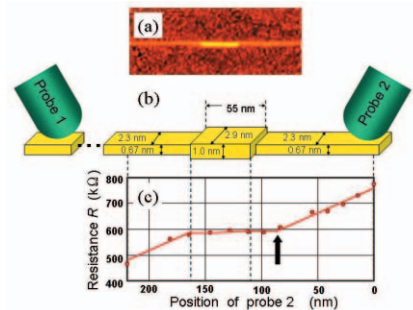
超微粒子を使った新しい応用  
が多くの企業で始まった

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。

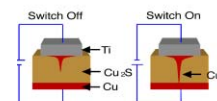
## 青野原子制御表面プロジェクト

1989 - 1994

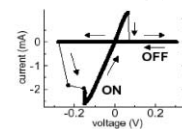
シリコンの表面において、1個～数個の原子(シリコン、水素、銀、白金など)の付与、除去、移動が室温において可能であることを実例をもって示し、そのメカニズムを明らかにし、かつ原子の除去や付与を像観察なしに電気信号によってリアルタイムで監視する方法を開発した。  
ナノテスター(多探針の走査トンネル顕微鏡および原子間力顕微鏡)が開発され、ナノスケールでの電気伝導度の計測が自由に行えるようになった。



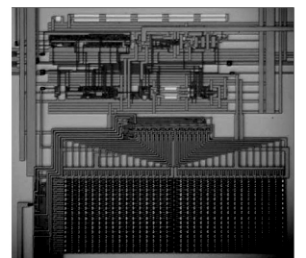
局所的に構造が変化するErSi<sub>2</sub>ナノワイヤーの多探針計測



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。

超微粒子からナノ



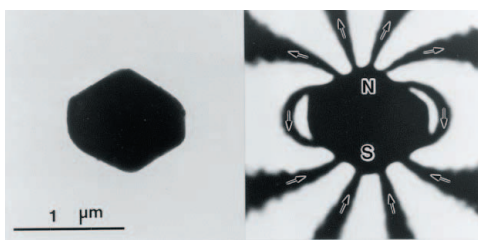
# またナノテクノロジーの流れ



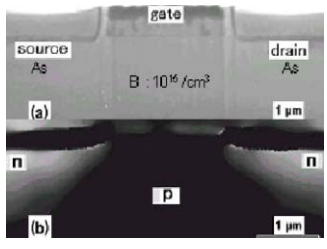
優れた電子顕微鏡技術に加え、電子干渉計測を高度に発展させ、新しい電磁場の三次元分布計測法を世界に示した。

## 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、レーザー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。

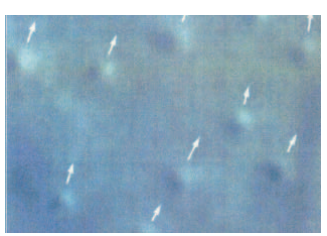


通常のTEM像とホログラフィによる干渉像(右)



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。

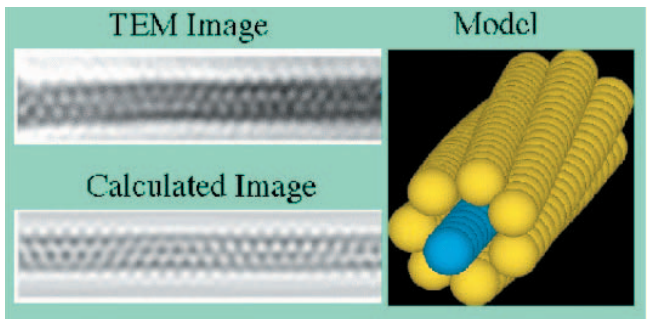


ローレンツ顕微鏡によるBi(2212)薄膜中の磁束量子の動的観察像

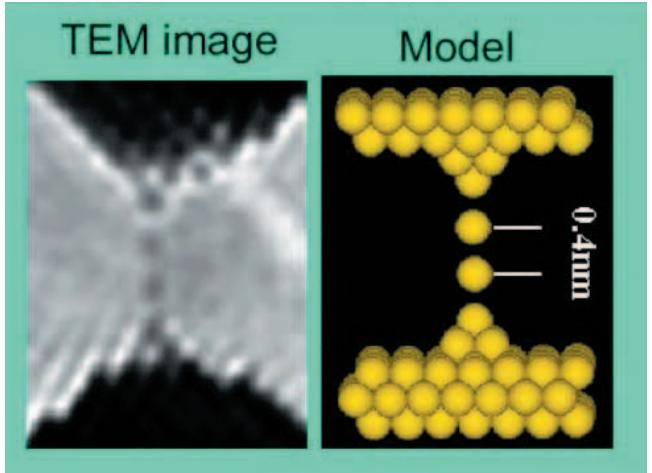
超高真空電子顕微鏡に走査型トンネル顕微鏡を組み込み、金原子一つ一つが一行に伸びナノテクイメージを世界に示した。

## 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

## 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

1980

1985

1990

1950年代

増本特殊構造物質

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  
ナノグラニューラ軟磁性

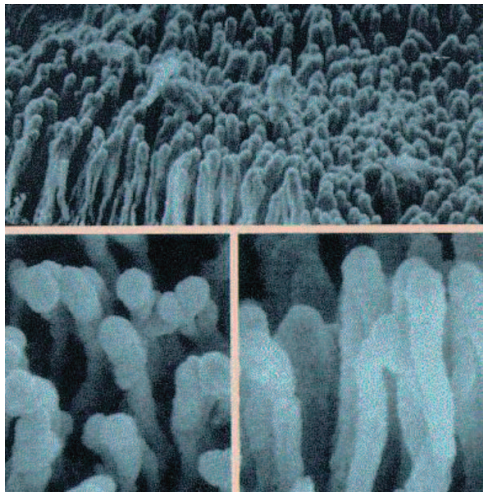
用途

- ・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)

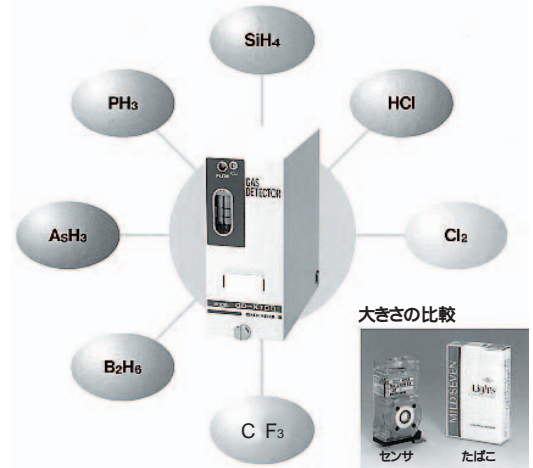
応用分野：ナノ結晶分散合金、ナノ結晶軟磁性合金 GMR磁気ヘッド、MI素子、光磁気記録

金属ガラス発見



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1000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蔵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。

拡大を続けるアモルファス・金属

# トするアモルファス材料

1995

2000

2005

科研費特別推進研究

ERATOへ

井上過冷金属

「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出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

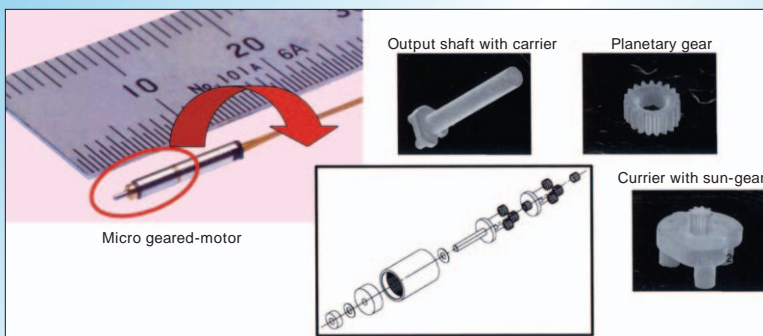
成果:過冷金属の安定構造の解明、  
Fe系、Ni系、Co系等多くの合金を創出

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

ガラス市場 一兆円、(現在)



# シーズから新しい潮流へ、そしてイノベーションへ

## 完全結晶の上に築かれた

1980

1985

1990

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

完全結晶成長技術と各種SIT素子の開発

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。

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

完全結晶技術

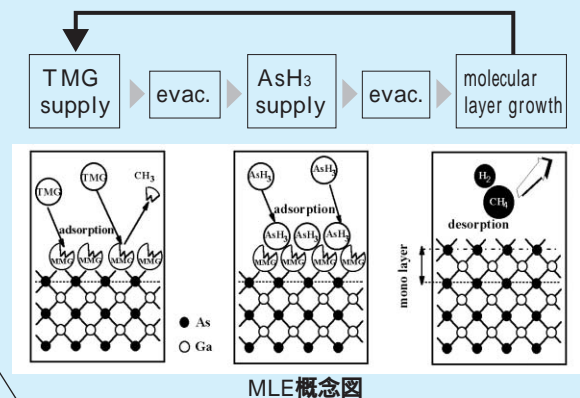
蒸気圧制御温度差 - 液相エピタキシャル成長法の開発:

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)

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。



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)

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)

# 日本発の独創的なデバイス群

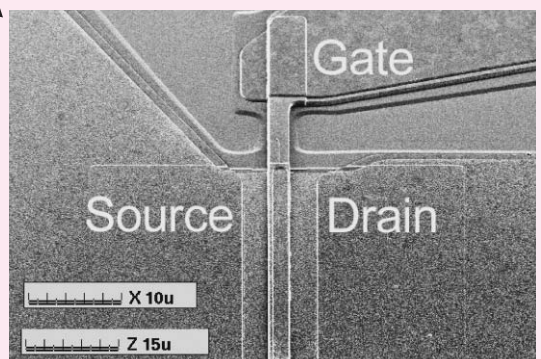
1995

2000

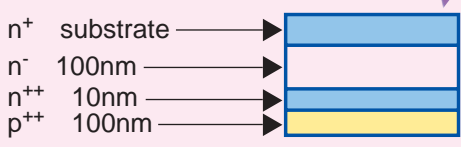
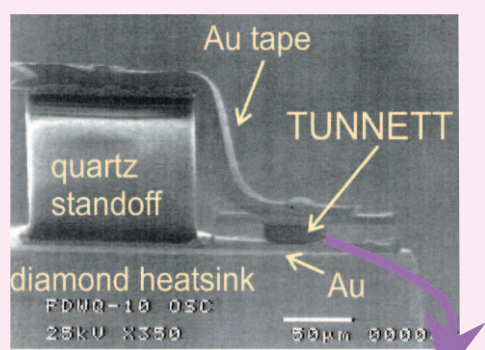
2005

## 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<sub>3</sub>光変調素子、  
およびラマンレーザ復調素子の実現

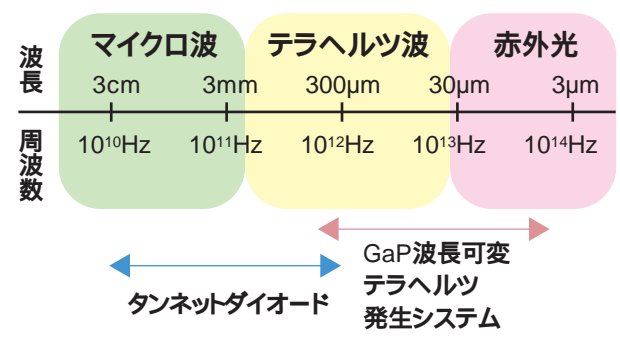
GaP結晶応用・波長可変テラヘルツ発生システム  
0.3~7THzの発振に成功(2003年)  
ラマン波長選択増幅器

## 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

1980

1985

1990

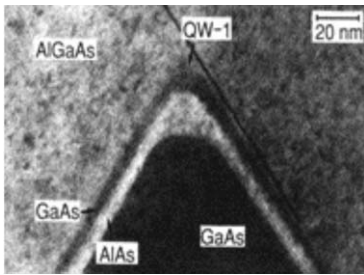
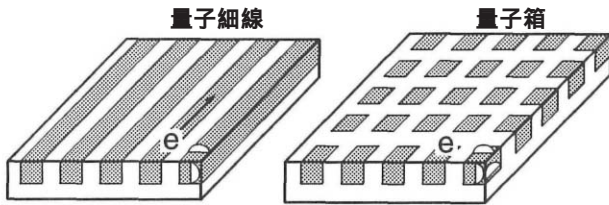
楯量子波

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。

## 楯量子波プロジェクト

1988 - 1993

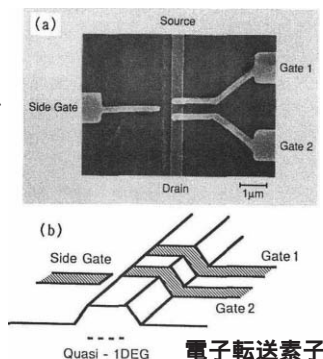
半導体超格子における閉じこめの次元を進め、量子細線、量子箱(ドット)構造とし、波動性を高める概念は1974年総括責任者自身により提案された。プロジェクトでは、エピタキシー技術やエッチング技術の高精度化、また有機分子の活用などによって、これら量子構造をナノメートル寸法で形成する技術を開発した。



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。



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揺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
- ・クーロンブロック 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

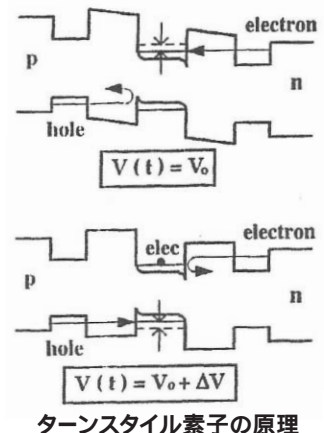
振幅スクイズド光

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



# 世界に先駆ける大いなる系譜

1995

2000

2005

山本量子ゆらぎ

樽茶多体相関場

今井量子計算機構

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。

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。

## 樽茶多体相関場プロジェクト 1999 - 2004

## 今井量子計算機構プロジェクト 2000 - 2005

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。

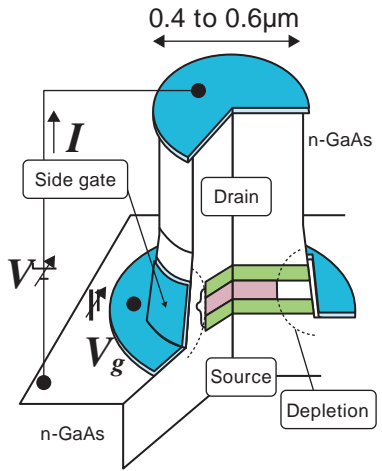
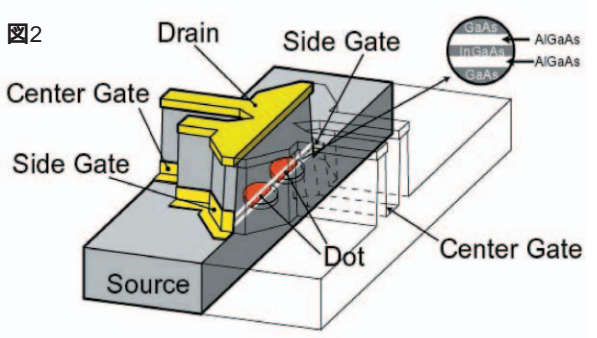


図1

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。



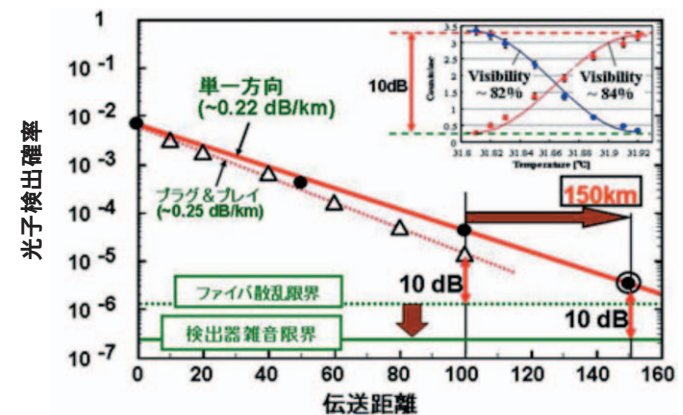
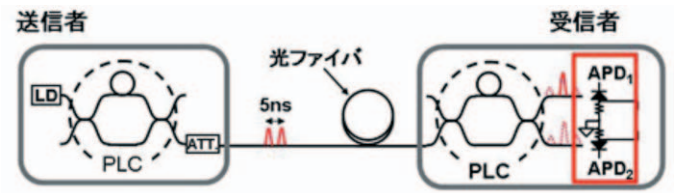
単一電子スピンの読み出し実験に初めて成功した。スピンの方向でゼーマンエネルギーが異なることを利用し、ドット中の電子数変化に変換して、電荷計で検出した。これらの結果から、量子情報処理のための素子として量子ドットのもつ可能性が明らかになった。

### 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

1980

1985

1990

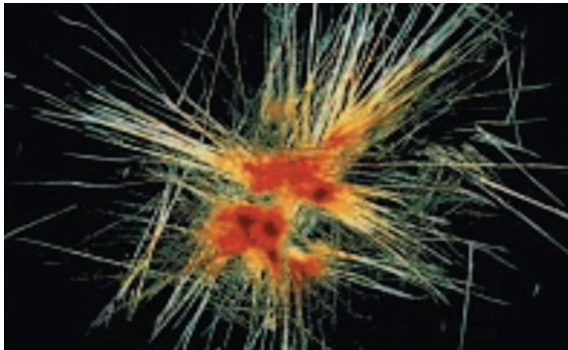
## 緒方ファインポリマー

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

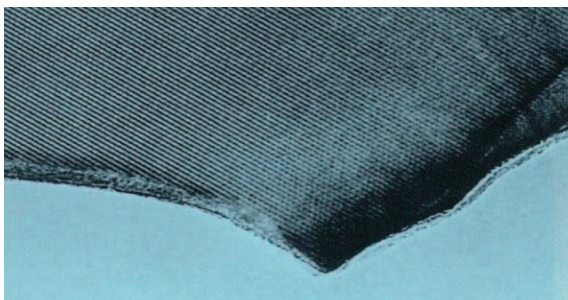
1981 - 1986

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

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ィ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。

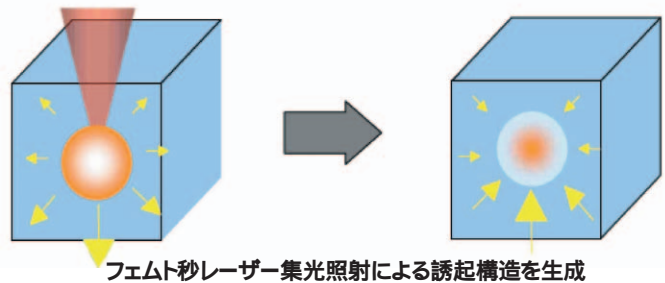
その後、この研究は吉村パイ電子物質プロジェクトに引き継がれてさらに展開した。研究ノウハウは電解重合ポリマーの開発に活かされ、現在、「機能性高分子コンデンサー」として、携帯電話用などに使われ、売上規模百億円/年の事業に成長している。

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。

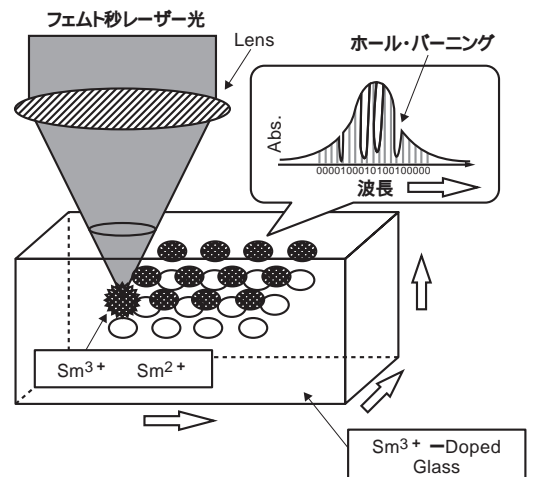
### 平尾誘起構造プロジェクト

1994 - 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ー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



# 材料技術のフロンティア

1995

2000

2005

平尾誘起構造

細野透明電子活性

小池フォトニクスポリマー

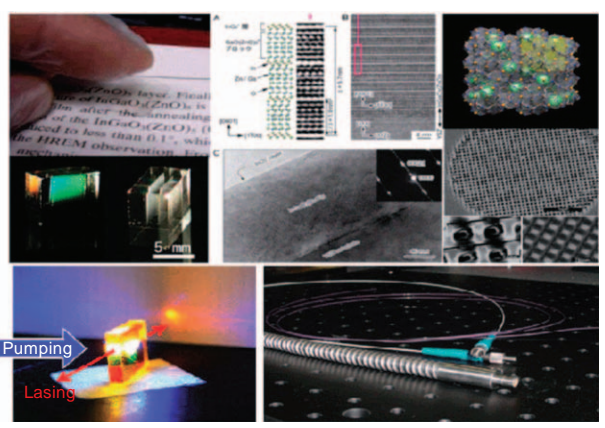
酸化物の結晶構造に由来する電子状態の制御をおこなって、透明酸化物エレクトロニクスの新しいフロンティアを世界に先駆けて開拓した。

細野透明電子活性プロジェクト 1999 - 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 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  (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、これは空气中、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 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_6$ 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 - 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

1980

1985

1990

国武化学組織

新海包接認識

野依分

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

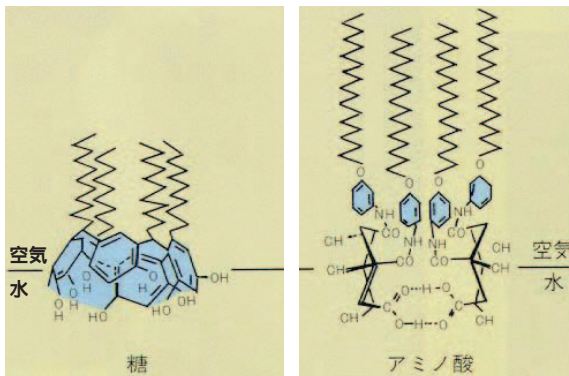
界面における分子鑄型法

生理活性物質の選択的結合・分子認識

超薄膜(ナノコーティング)の合成

産業などへの応用

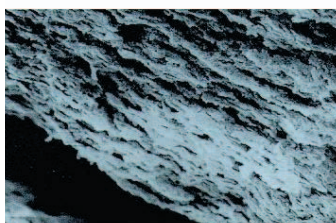
- ・表面コーティング・エレクトロニクス材料
- ・ドラッグデリバリーシステム
- ・酵素・たんぱくの固定化



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

ナノメートル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

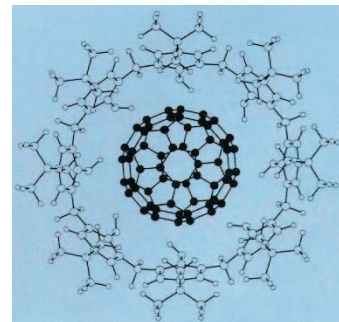
新海包接認識プロジェクト

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



カリクスアレーンに包接されたサッカーボール分子C<sub>60</sub>

大環状化合物カリ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



# の有機ファインケミカル

1995

2000

2005

子触媒

相田ナノ空間

## 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分けに成功、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ジアミルテニウム  
触媒の開発

アレール・ルテニウム  
触媒の開発

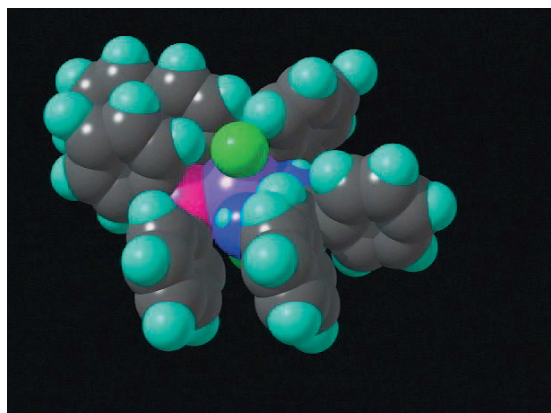
カルボニル化合物  
の不斉水素化に成功

ケトン類・イミン類の  
不斉水素移動型還元成功

医薬品、香料、農業、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。

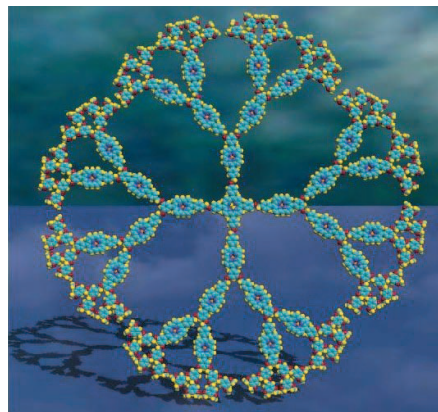
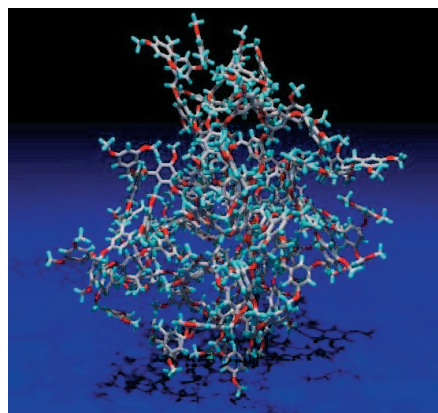


BINAPジアミルテニウム触媒分子

## 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。

# シーズから新しい潮流へ、そしてイノベーションへ

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

1985

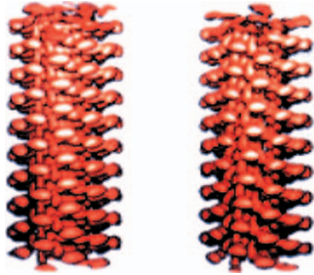
1990

宝谷超分子柔構造

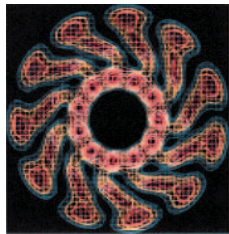
## 宝谷超分子柔構造プロジェクト

1986 - 1991

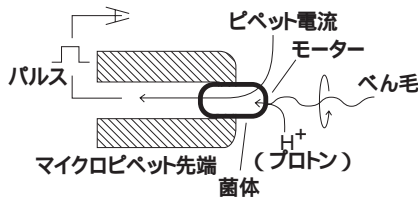
X線回折法や電子顕微鏡の技術開発により、細菌べん毛研究に新たな発展の道を拓いた。べん毛繊維の立体構造の解明、電位差制御によるべん毛回転の加速・減速操作などに成功した。



左巻き、右巻きべん毛の2nm分解能での立体像



断面図

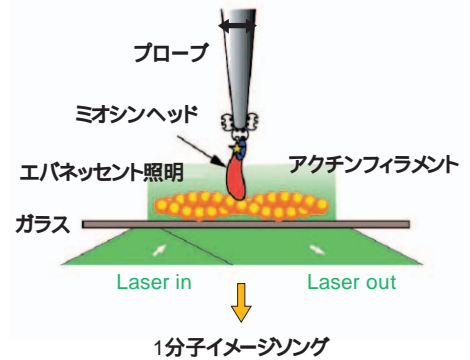


マイクロピベット先端にサルモネラ菌を捕捉し、ピベットに加える電圧を変えることにより、べん毛モーターの回転制御を実現した。

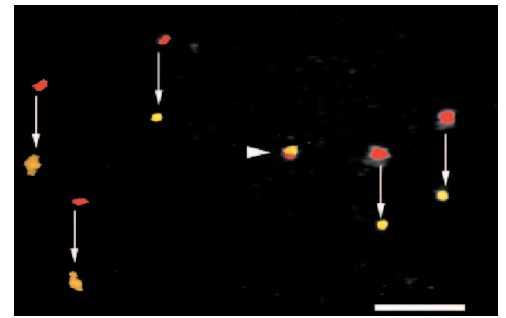
## 柳田生体運動子プロジェクト

1992 - 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。

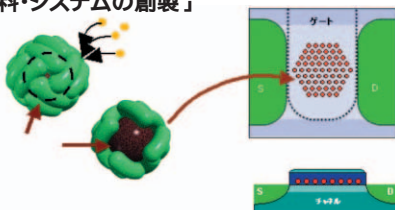
### ERATO以外での主なナノバイオ研究の動き

#### 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」

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)

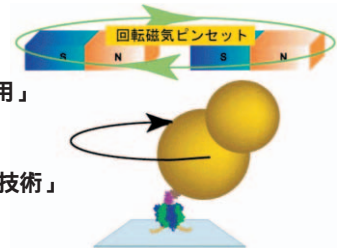


2002～2007

「ソフトナノマシン等の高次機能構造体の構築と利用」

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)

# - ERATOが解き明かした生命の超分子

1995

2000

2005

柳田生体運動子

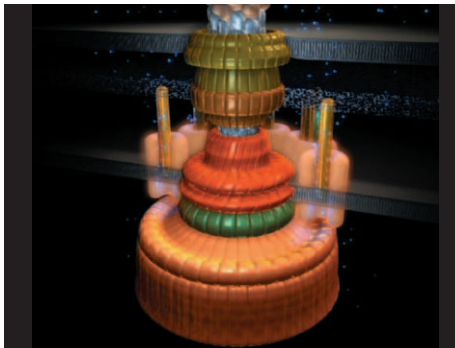
難波プロトニックナノマシン

吉田ATPシステム

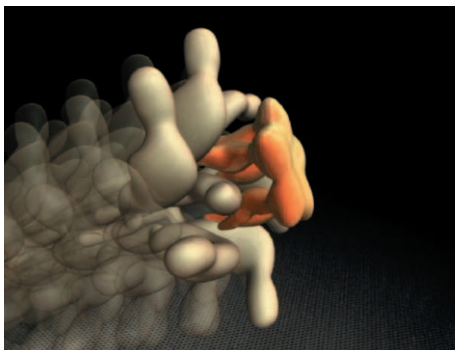
## 難波プロトニックナノマシンプロジェクト

1997  
- 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



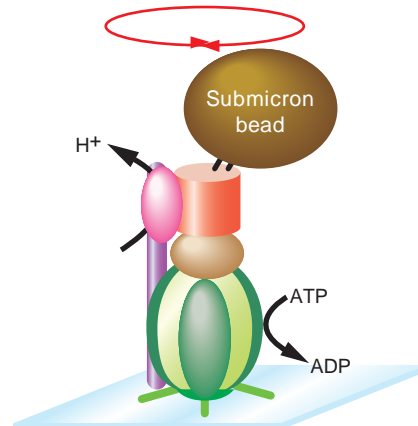
べん毛先端のキャップ構造

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  
- 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。

### ICORP

- 1998~2002 「一分子過程」(日-伊)
- 2002~2007 「超分子ナノマシン」(日-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」



## 審良静男教授、 2003 - 05年論文 被引用世界一に

審良 静男

(大阪大学微生物病研究所教授)

### ERATO 研究者・審良静男氏被引用回数の多い論文

学術情報会社トムソンサイエンティフィック社は、03-05年に書かれた世界の学術論文の中で、引用された回数がかつ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、2006年2月に発表しました。

### トムソンサイエンティフィック社のプレスリリース

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数え、審良氏の場合は、11本の論文が最高61回引用され、“ホットな研究者”として世界一となりました。

被引用回数の多い論文は、質的にもレベルの高いものと客観的な評価を得、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えます。

(トムソンコーポレーション:「企業や大学・専門家集団に総合的情報ソリューションを提供」同社HPより)



### 【参考WEBサイト】

審良教授・論文リスト

<http://www.biken.osaka-u.ac.jp/biken/gan-yokusei/akirapub.html>

審良教授・出版物リスト

<http://www.biken.osaka-u.ac.jp/biken/gan-yokusei/Publication%20frame.html>

ERATO/審良自然免疫プロジェクト

[http://www.jst.go.jp/erato/project/asm\\_P/asm\\_P-j.html](http://www.jst.go.jp/erato/project/asm_P/asm_P-j.html)

### 論文総被引用数ベスト20

学術文献情報会社トムソンコーポレーション(株)のEssential Science Indicators(1995年1月1日~2005年8月31日版)を利用して、22の研究分野毎に被引用数の多い論文トップ1%のなかから、日本人の著者毎の全論文の被引用数を合計し、各分野の総被引用数の多い研究者20名を選び出しました。

その結果、各分野で総被引用数の多いERATO総括責任者(研究総括)は下記のとおりでした。

免疫学 第1位 審良 静男

(トップ1%の論文42報の総引用数12,267)

臨床医学 第7位 審良 静男(20報 2,353)

化学 第1位 野依 良治(35報 5,497)

第7位 新海 征治(17報 1,847)

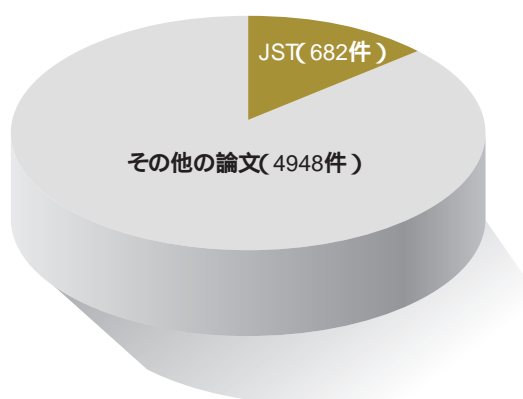
材料学 第1位 井上 明久(45報 4,541)

物理学 第2位 十倉 好紀(50報 10,623)

### 被引用数上位1%論文におけるERATOの位置付け

トムソンコーポレーション(株)のEssential Science Indicators(1995年1月1日~2005年12月31日版)を利用して、被引用数の多い論文トップ1%のなかから、この間の日本人著者の論文5,630件のうち、JSTに関する論文を調査した。その結果、JSTに関連する論文は682件(12%)で、その内ERATO関係は131報でした。

### 上位1%中の日本人の論文(5,630件)



### JST(682件)中のERATO論文

