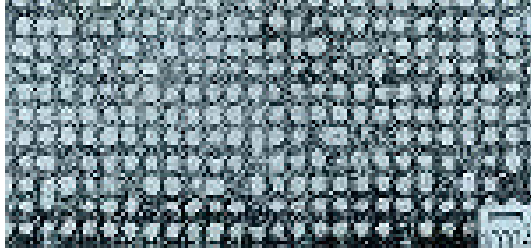


## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	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	昭和 56 年 10 月～昭和 61 年 9 月
<b>研究の概要</b> <p>10 分の 1 ミクロン以下の金属や金属化合物粒子が 1 個の元素原子ともバルク物質とも異なった性質を持っていることに着目し、その基礎的物性を解明するとともに、超微粒子による新しい工業素材の創出をねらいとし、金属、半導体、磁性材料、有機材料など様々な物質の超微粒子を単分散状態で作製し、それらの特性を評価するとともに、新材料としての可能性を探索した。</p>	
<b>研究成果</b> <p>(1) 超微粒子膜の作製、単分散超微粒子の作製 ガス中蒸発法により超微粒子膜の生成を実現し、これを利用したガスデポジション装置を開発、その後、従来の回路基板配線の限界を超える 30 程度の微細線描画装置として結実した。また、独立分散し、粒径のそろった超微粒子を作製した。</p> <p>(2) 超微粒子の「その場」 「実時間」 観察 超微粒子作製装置と高分解能電子顕微鏡を一体化した装置を開発し、超微粒子の「その場」 「実時間」 観察を実現した。これにより、粒径数十 程度の金超微粒子は電子線照射下で絶え間なく変形を繰り返すことなど、超微粒子に関する様々な知見を得た。</p> <p>(3) 高選択性超微粒子触媒 ニッケル超微粒子、銅・亜鉛合金超微粒子が有機物質の選択的水素添加反応などの触媒として優れていることを見出した。</p> <p>(4) 超微粒子の格子状配列の作製 超格子膜金の超微粒子を数 10 の間隔で格子状に配列した。</p> <p>格子状に配列した塩化カリウムの超微粒子</p> 	

## 波及効果

### ・新分野の開拓

本プロジェクトにおける研究により、ナノ結晶科学技術に新たな展開が創出された。

- (1) 超微粒子の研究は国内だけでなく海外でも盛んになり、1990 年後半には、スウェーデン、ドイツをはじめ、イギリス、フランス、アメリカ、中国などでも大型プロジェクトとして取り上げられている。
- (2) 『超微粒子の「その場」・「実時間」観察』の延長としてカーボンナノチューブの発見が生まれた。
- (3) 超微粒子の格子状配列は、その後、量子ドット研究へと展開している。

### ・社会還元・新産業創出への貢献

- (1) 本プロジェクトの成果をもとに、超微粒子製造装置、高温超伝導ガスデポジション装置、独立金属超微粒子、微細立体配線装置が事業化された。
- (2) 湿式・乾式薄膜材料、触媒、ガスセンサー、顔料、医薬品などの様々な材料に本プロジェクトの知見が活かされている。



超微粒子製造装置

### ・参加研究者のキャリアアップ

参加研究員から、大学教授、民間企業役員・研究部長、社団法人理事、国立研究所研究室長などが輩出された。特に、飯島澄雄元グループリーダーは、『超微粒子の「その場」・「実時間」観察』のキャリアを活かしてカーボンナノチューブを発見し、世界的に注目されている。

## 受賞・論文・特許等

### ・受賞

- ・ 1996 年 朝日賞（飯島澄雄元グループリーダー）
- ・ 2002 年 ベンジャミン・フランクリン・メダル（飯島澄雄元グループリーダー）

. 論文

1. S. Iijima, A New Approach to Material Science Research Using Seven Hundred Angstrom Particles, Surface Sci., 156 (1985)
2. C. Hayashi, Ultra Fine Particles, J. Vacuum Science and Technology, Part A. 5 No.4 (1987)

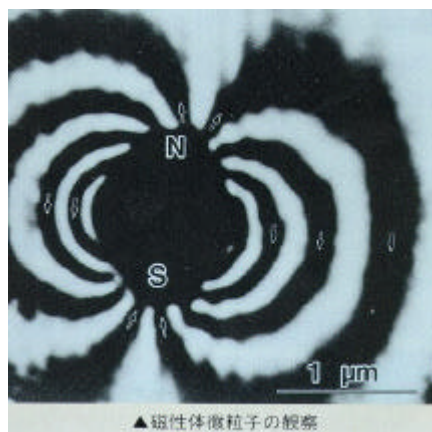
. 特許

1. 超微粒子の膜形成法  
特願昭 57-189193  
出願人 科学技術振興事業団 ほか
2. 孤立超微粒子の生成法並に生成装置  
特願昭 58-186967  
出願人 科学技術振興事業団 ほか

## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・ 事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	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 フェロー)
研究期間	平成元年 10 月～平成 6 年 9 月
<p><b>研究の概要</b></p> <p>電子の持つ二面性のうち波の性質は、位相情報として物質の構造や性質についての情報を含んでおり、これを取り出すことにより有用な知見が得られると期待される。本プロジェクトでは、電子波の位相情報を利用して物質の構造や性質を計測する技術、いわゆる電子干渉計測を、より高度な汎用性の高いものに発展させるとともに、それを様々な物質の計測に応用する研究を実施した。</p>	
<p><b>研究成果</b></p> <p>(1) リアルタイムホログラフィ処理法の開発 液晶パネルを用いて、電子顕微鏡とレーザー光学系を結合し、磁性体内の磁区や磁壁の変化等の動的な現象を一画像当り 1/30 秒(TV レート)の高速でホログラフィ観察する手法を開発した。</p> <p>(2) 位相シフト法による高精度位相計測の開発 物体を透過した電子波と基準電子波の位相差を変化させながら記録した複数枚の干渉図形から、透過電子波の位相分布を 1/200 波長以下の精度で計測する技術を確立した。</p> <p>(3) 電子線ホログラフィ CT による電磁場の三次元計測法の確立 物体を少しずつ回転させながらその都度干渉図形を記録し、それぞれの位相分布から物体の三次元形状や電磁場の三次元分布を計測する技術を確立した。</p> <p>(4) 電子線ホログラフィによる応用計測 磁区・磁壁の変化の動的な観察、生体物質の無染色正焦点観察、空間磁場の三次元計測、収差補正による分解能の向上などの応用計測を実現した。</p>	
<p><b>波及効果</b></p> <p>・ 新分野の開拓 本プロジェクトにおける研究から電子線ホログラフィーという新分野を確立し、日本独自のナノテクノロジーの基盤技術として発展している。</p>	



(1)「磁束量子の川」の観察、ピーク効果のメカニズム解析、磁束量子の塑性流動の観察等、超伝導体中の磁束量子の動的観察を行い、高温超伝導の実用化に向け、重要な指針を与えた。



Science誌(8 March,1996 Vol.271)表紙  
「磁束量子の川」

(2)本研究成果を基に、1999年に1MV超高压ホログラフィー電子顕微鏡の開発に成功し、この装置を用いてAu(金)の格子分解能の世界記録(0.498 nm = 49.8pm)を達成した。

・ 社会還元・新産業創出への貢献

総括責任者が英・王立研究所「金曜講話」(1994年)招待講演にて、本研究成果について発表を行う等、基礎研究の啓蒙活動を活発に行っている。

### 受賞・論文・特許等

・ 受賞

・ 1999年 ベンジャミンフランクリンメダル 物理学賞

「高輝度電界放出型電子線を用いたホログラフィー電子顕微鏡の開発、ならびに同顕微鏡を用いたアハラノフ-ボーム効果の検証と超伝導体中の磁束量子の動的観察」

・ 論文

"Observation of Magnetic Domain States of Barium Ferrite Particles by Electron Holography".

T.Hirayama,Q.Ru,T.Tanji and A.Tonomura,Appl.Phys.Lett. 63 418(1993).

"Analysis of electron image detection efficiency of slow-scan CCD camera."

K.Ishizuka

Ultramicroscopy Vol.52,pp.7-20(1993).

・ 特許

1. 電子線ホログラフィ実時間位相計測方法及び装置

特願 : 平 4-133870(平 4.5.26)

2. 収差補正法及び収差補正装置

特願 : 平 3-340782(平 3.12.24)

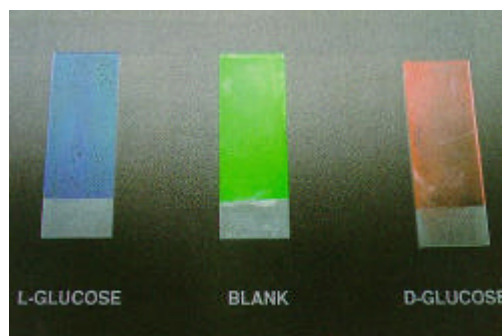
## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	新海包接認識プロジェクト
総括責任者	新海 征治（九州大学大学院工学研究院 教授）
研究期間	平成2年10月～平成7年9月
<b>研究の概要</b> <p>生体は分子の微妙な構造の違いを厳密に区別することによって、複雑な反応を極めて特異的に制御している。本プロジェクトでは、生体の認識系に比肩できるような人工的な認識システムを構築することにより物質が物質を識別するメカニズムを解明することを目指し、環状化合物「カリックスアレーン」をツールとして、特定の金属や分子に対する高選択的・高効率の包接認識メカニズムを探求した。</p>	
<b>研究成果</b> <p>(1) カリックスアレーンによる金属イオンの高精度認識 化学修飾やクラウン環の導入によって空孔の大きさを <math>\text{Na}^+</math> よりやや小さめにする、架橋メチレン基の内部回転効果を利用したコンフォメーションの融通性を導入することという宿主分子の設計思想により、<math>\text{Na}^+/\text{K}^+</math> の分離比が従来<sup>2</sup>桁以上であり、未だに世界最高記録である <math>2 \times 10^5</math> に達するカリックスアレーンを実現した。</p> <p>(2) カリックスアレーンを用いたフラレンの精製 フリーのカリックス [ 8 ] アレーンは OH 基間で分子内水素結合を作り各分子が単独で存在するが、フラレンを包接すると分子内水素結合が切れて分子間に会合が起こり沈殿する。本法を応用し、大きさの違いが 1 である <math>\text{C}_{60} + \text{C}_{70}</math> のフラレン混合物から 99% の高純度 <math>\text{C}_{60}</math> を短時間・安価で精製できる手法を見出した。</p> <div data-bbox="331 1630 790 1998" data-label="Chemical-Block"></div> <p>カリックスアレーンに包接された <math>\text{C}_{60}</math></p>	



(3) ホウ酸誘導体による糖質分子の認識  
生体の主たる構成要素である三質（蛋白質、脂質、糖質）の中で、糖質は遺伝情報、細胞情報、発ガンメカニズムなどに重要な役割を果たしているにもかかわらず、作用機構に迫る認識方法が示されていなかった。ホウ酸のOHと糖質のOHを直接共有結合でつないだホウ酸をインターフェイスとする水系で有効な糖質分子の認識システムを作成し、さらにホスト-ゲスト系と組み合わせて画期的な糖質認識システムを創出した。



グルコースのD体とL体が判別できる人工レセプター

#### (4) 機能性有機ゲルの構造制御

コレステロールのC-3位に結合したエステル基の絶対配置を制御することでコレステロール誘導体のゲル構造を制御できることを見出し、さらにゲル系ではアゾベンゼンのトランス-シスのフォトクロミックな構造変化に有機される光可逆的なゾル-ゲル転移を観測した。

### 波及効果

#### ・新分野の開拓

ホスト-ゲスト化学の世界的規模での活性化

カリックスアレーンやホウ酸誘導体の分子集合体を用いたホスト-ゲスト化学が、本プロジェクトの成果を一つの有力なきっかけとして世界的な規模で研究の大きな流れとして発展しつつある。なお、本プロジェクトが発表した主な論文の被引用数（2002年末現在）は以下の通りである。

J.Org. Chem., 56, 4955-4962(1991)（カリックスアレーンの構造異性1）：189件

TETRAHEDRON, V49 N40:8933-8968(1993)（カリックスアレーンの構造異性2）：274件

Nature, Vol.374, p.345-357(1995)（糖質のセンシング）：153件

Chem.Lett., p.699-702(1994)（カリックスアレーンによるフラレンC<sub>60</sub>の精製法）：140件

#### ・社会還元・新産業創出への貢献

(1) カリックス[8]アレーンによるフラレンC<sub>60</sub>の精製法は、ススから高純度C<sub>60</sub>を取り出す唯一の方法として特許を取得（海外を含む）企業に実施許諾された。これにより、従来のカラムクロマトグラフィー法に比べ大幅なコスト安となり、研究用材料としてのフラレンが安価に

提供できるようになった。また、他の企業にも実施許諾され、大規模生産が行われる見込みである。

(2) ホウ酸誘導体をインターフェイスとして蛍光発色を検出手段とする糖質分子の認識技術は、企業により人工グルコースセンサーとして実用化研究の段階に入っている。また、カリックス[ 4 ]アレーンによる  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  の高効率分離認識を利用した血液イオンセンサー等の実用化が検討されている。

(3) 分離比が従来の2桁以上である  $2 \times 10^5$  に達するカリックスアレーン湿式・乾式薄膜材料、触媒、ガスセンサー、顔料、医薬品などの様々な材料に本プロジェクトの知見が活かされている。

### 受賞・論文・特許等

#### ・ 受賞

- ・ 1998 Izatt-Christensen 国際賞
- ・ 1999 Backer Lecture 賞
- ・ 2002 Vielberth Lectureship 賞

#### ・ 論文

1. Koji Iwamoto, Koji Araki and Seiji Shinkai, Conformation and Structure of Tetra-O-Alkyl-p-tert-butylcalix[4]arenes. How Is the Conformation of Calix[4]arenes Immobilized?", J.Org. Chem., 1991, 56, 4955-4962.
2. Shikai S., CALIXARENES - THE 3RD GENERATION OF SUPRAMOLECULES, TETRAHEDRON, 1993 OCT 1, V49 N408933-8968
3. T.D.James, K.R.A.S.Sandanayake and S.Shinkai, Chiral Discrimination of Monosaccharides Using a Fluorescent Molecular Sensor, Nature, Vol.374, p.345-357(1995)
4. T.Suzuki, K.Nakashima and S.Shinkai, Very Convenient and Efficient Purification Method for Fullerene(C60) with 5,11,17,23,29,35,41,47-octa-tert-butylcalix [ 8 ] arene-49,50,51,52,53,54,55,56-octol, Chem.Lett., p.699-702(1994)

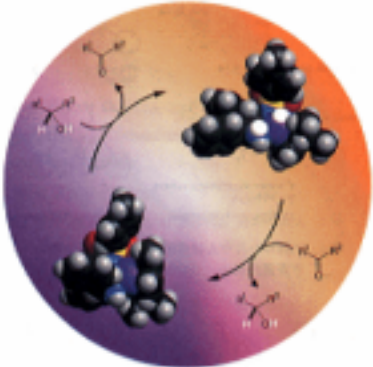
#### ・ 特許

1. フラーレンの精製法  
特願平 6-115954  
出願人：科学技術振興事業団 ほか
2. ボロン酸基を有する発蛍光性化合物  
特願平 6-293879  
出願人：科学技術振興事業団



## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	野依分子触媒プロジェクト
総括責任者	野依 良治（名古屋大学大学院理学研究科 教授）
研究期間	平成 3 年 10 月～平成 8 年 9 月
<b>研究の概要</b> <p>キラリティを含めあらゆる観点から同一の化合物を純粋に合成すること（完全化学反応）はすぐれた物質の創製の基本であり、この完全化学反応の実現にむけた分子触媒の開発を目指し研究を実施した。</p>	
<b>研究成果</b> <p>(1) 高効率水素化反応 応用範囲の広いカルボニル基選択的にアルコールへと変換できる金属錯体触媒 [BINAP-ジアミンルテニウム ( ) 触媒] を開発した。この触媒は、実質上、ほとんどのカルボニル化合物基質に利用可能な究極の不斉水素化触媒として、とりわけ医薬品や香料など鍵中間体の不斉合成に利用される。なお、本成果に関連する論文“Practical Enantioselective Hydrogenation of Aromatic Ketones” T. Ohkuma, H. Ooka, S. Hashiguchi, T. Ikariya and R. Noyori, J. Am. Chem. Soc., 117, 2675 (1995) が 2001 年ノーベル化学賞受賞理由に引用されている。</p> <p>(2) 水素移動型不斉還元反応 水素源に水素ガスでは無く安価で安全性に優れたギ酸等を用いた不斉水素化を達成し、水素授受のメカニズム解明やケトンの選択還元等に有効な知見を得た。不斉水素化触媒と相補的に利用することで、ほとんどすべてのカルボニル化合物から光学活性アルコールが合成できることになった。</p>	
 <p>不斉ルテニウム錯体触媒による ケトン-アルコール間の水素移動反応</p>	

### (3) 超臨界流体中における分子触媒反応

超臨界二酸化炭素中でルテニウム触媒による二酸化炭素の水素化によってギ酸、ギ酸エステル、DMF が非常に高速で合成することに成功し、超臨界二酸化炭素が環境低負荷の溶媒として使用できることを実証するとともに超臨界流体特性を利用して分子触媒能力を著しく向上できることを世界に先駆けを証明した。

## 波及効果

### ・ ノーベル化学賞受賞

2001年ノーベル化学賞を野依良治元総括責任者が受賞された。野依元総括責任者のノーベル賞受賞は、オレフィンの不斉水素化や不斉異性化を可能にするBINAPと呼ばれる配位子をもつ金属錯体触媒〔ロジウム(I)触媒〕の開発に成功(1980初頭)したこと、さらにカルボニル化合物を選択的にアルコールに変換できる不斉BINAP—ルテニウム( )触媒を開発、さらに応用範囲の広い進化型のBINAP—ルテニウムジアミン触媒を開発(1995頃)したことによるが、野依元総括責任者がノーベルレクチャーにおいて”In addition, a team of the Noyori Molecular Catalysis Project (ERATO, 1991-1996) discovered the catalysts of type RuCl<sub>2</sub> leading to another major breakthrough in hydrogenation.”と述べられているように、後者の業績は本プロジェクトにおいて達成されたものである。



ノーベル賞授賞式にて [ 左：野依良治元総括責任者、右：  
碓屋隆雄元技術参事兼グループリーダー (現東京工業大学教授) ]

・社会還元・新産業創出への貢献

本プロジェクトの成果である、BINAP—ルテニウムジアミン触媒やルテニウムアレーン錯体触媒及びこれを用いた光学活性有機化合物の合成方法特許が実施許諾され、医薬、農薬、香料等の開発・製造に応用され始めている。実際、米国 Dow ケミカル社へライセンス供与され、医薬中間体製造の大規模生産が実施検討されている（新聞記事あり）。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ている。さらに医薬中間体の大規模合成も計画されている、など社会・産業へ与えるインパクトは大きく顕在化されつつある。



関東化学（株）社より販売されている触媒のパンフレット

・参加研究者のキャリアアップ

大学教授、助教授が輩出された他、多くの参加研究員が民間企業において活躍している。

**受賞・論文・特許等**

・受賞

- ・ 1999年 キング・ファイサル国際賞
- ・ 2000年 文化勲章
- ・ 2001年 ノーベル化学賞

. 論文

1. Takeshi Ohkuma, Hirohito Ooka, Shohei Hashiguchi, Takao Ikariya, and Ryoji Noyori, Practical Enantioselective Hydrogenation of Aromatic Ketones, *Journal of the American Chemical Society*, Vol.117, No.9, pp.2675-2676 (1995)
2. Philip G.Jessop, Takao Ikariya & Ryoji Noyori  
Homogeneous catalytic hydrogenation of supercritical carbon dioxide  
*Nature*, Vol.368, No.6468, pp.231-233, 17 March 1994
3. Philip G.Jessop, Takao Ikariya & Ryoji Noyori  
Homogeneous Catalysis in Supercritical Fluids. *Science*, Vol. 269, 1065– (1995).

. 特許

1. 「光学活性アルコール類の製造方法」  
特願平 7-318303  
出願人：科学技術振興事業団 ほか
2. 「ギ酸の製造方法」  
特願平 6-271535  
出願人：科学技術振興事業団 ほか

## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・ 事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	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	平成 4 年 10 月～平成 9 年 9 月
<p><b>研究の概要</b></p> <p>熱エネルギーの数百倍のエネルギーにより正確かつ高速に作動させるコンピュータなどの人工機械素子とは対照的に、筋肉など生体運動を担う生体分子は熱ノイズレベルの小さなエネルギーで機能している。</p> <p>本研究では生体分子 1 個の動作を直接高分解能で測定する技術を開発し、その生体分子の特性の解明を目指した。具体的には、生体分子モーターをメインターゲットにして、生体 1 分子の滑り運動や化学反応、機能の様子を直接可視化する技術、生体 1 分子を生きたまま捕まえ操作する技術の開発に取り組み、さらにそれらの技術を駆使した生体分子モーター動作原理の解明を目指した。</p>	
<p><b>研究成果</b></p> <p>本プロジェクトにおける研究により、生体 1 分子技術の開発と、これを用いた生体分子モーター蛋白質の運動メカニズム特性の解明が行われた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1 分子技術の開発             <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 1 蛍光分子直視技術の開発                     <p>背景光を抑え、全反射エバネセント光を使用する全反射蛍光顕微鏡を開発し、水溶液中の蛍光色素 1 分子を直接観察することに成功した。これにより、1 分子の化学反応や生物分子モーターであるキネシン 1 分子の滑り運動等を実時間で直接イメージングすることが出来た。</p> </li> <li>(2) 1 分子の補足 操作技術の開発                     <p>生体分子の働く大きさ (10nm, 10ms, 10pN オーダー) に対応する分解能を有する測定装置・方法として、ガラスニードルを使用した 1 分子補足及び、サブピコニュートンの分解能を持つ分子間力顕微鏡を開発した (図 1 参照)。光ピンセット(レーザートラップ)法による 1 分子補足とピコニュートン単位の力測定が可能な操作技術を開発した。</p> </li> </ul> </li> </ul>	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>(図 1) 分子間力顕微鏡</p> <p>超高感度カンチレバーのブラウン運動によるゆらぎをレーザー光の輻射圧を利用して制御し、同時に非接触で力測定を可能とした。</p> <p>(通常の AFM の約 100 倍の感度を持つ。)</p> </div> </div>	

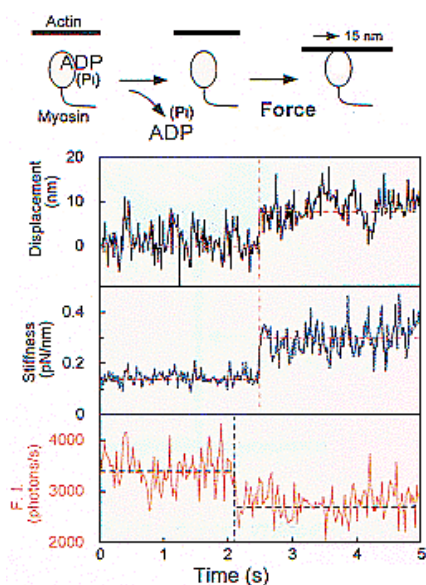
## ・ 生体分子モーターの運動メカニズムの解明

### (1) 1分子力学過程の計測と1分子の化学・力学カップリングの直接証明

生物分子モーターであるキネシンやミオシン1分子の変位や発生する力、力ゆらぎをナノメートル、ピコニュートンの精度で直接測定した。さらに光化学、遺伝子工学の技術を組み合わせ生物分子モーターの運動の様子が明らかにした。

上記に加え、1分子レベルで ATP 加水分解反応と力学反応を同時に計測し、その間のカップリングを直接観察した結果、エネルギーを使う力学反応は必ずしも ATP 化学反応に 1:1 に対応しているわけではないことが示された。

これらの結果は、筋肉生体モーターであるアクチン-ミオシン系で定説となっていた「レバーアーム説」に疑義を投げかけるものであり、「生体分子の高度に融通性のある(曖昧な)構造」「蛋白質の柔らかさ」という概念を内包した、人工機械とは異なる生体モーターの動作メカニズム「loose coupling 説」を提唱した。



(図2) 化学反応と力学反応は必ずしも 1:1 に対応していない。  
この結果は、筋肉モーター動作原理に対して従来のレバーアーム説では説明できない結果である。

## 波及効果

### ・新分野の開拓

生体1分子技術をベースとした研究は、バイオ分野に1分子研究という新概念を導入し、ナノバイオサイエンスといった新領域の開拓を果たした他、生物研究全般に対して新しい方法論・考え方を提供したと言える。

- (1) 1分子技術は細胞生物学・分子生物学といった他の生物研究領域で生体システムを読む技術として展開されつつあり、実時間免疫系単一細胞計測技術の開発や非侵襲的な脳活動計測技術への応用、遺伝子発現蛋白質の可視化チップの開発などが進められている。
- (2) 1分子操作・観察技術を通して、量的側面や精製ステップの大幅簡略化によるタンパク質機能解析研究の革新的なダウンサイジング・効率化をもたらすことが期待される。
- (3) 細胞内の1分子観察の成功から、医学系研究への応用展開が期待される重要分野と認識されている。



## .社会還元 新産業創出への貢献

- (1) 本プロジェクト成果をもとに、世界初の1分子蛍光分析技術を応用した解析装置として、蛍光反射顕微鏡が事業化された。
- (2) 本研究の進展により生体モーターの駆動原理が解明されることで、ナノモーター領域で機能する人工機械実現上での有用な設計指針を与える可能性があり、注目されている。
- (3) 1分子研究の進展は、蛋白質の相互作用解析・機能解析のダウンサイジング・ハイスループット化や生体機能システム解析を通じ、創薬研究に多大の寄与をするものと考えられている。

## .参加研究者のキャリアアップ

参加研究員から、大学教授・助教授・助手、国立研究所教授・研究員、公立研究所室長などが輩出された。高度な1分子技術を持った各参加研究者は、それぞれ1分子研究の担い手として第一線で活躍中である。

## 受賞・論文・特許等

### .受賞

- ・ 1995年 内藤記念科学振興賞（内藤記念科学振興財団）
- ・ 1998年 学士院賞・恩賜賞
- ・ 1999年 朝日賞
- ・

### .論文

- 1 . T. Funatsu, Y. Harada, M. Tokunaga, K. Saito and T. Yanagida: Imaging of single fluorescent molecules and individual ATP turnovers by single myosin molecules in aqueous solution. Nature. 374, 555-559 (1995)
- 2 . R. D. Vale, T. Funatsu, D. W. Pierce, L. Romberg, Y. Harada and T. Yanagida: Direct observation of single kinesin molecules moving along microtubules. Nature. 380, 451-453 (1996)
- 3 . A. Ishijima, Y. Harada, H. Kojima, T. Funatsu, H. Higuchi and T. Yanagida  
Single-Molecule Analysis of the Actomyosin Motor Using Nano-Manipulation  
Biochemical and Biophysical Research Communications Vol. 199 p. 1057-1063 (1994)

### .特許

1. 「多次元極微小変位計測方法とその装置」 発明者：柳田敏雄、徳永万喜洋  
登録番号：3033663 登録日 2000/2/18
2. 「光照射切り替え方法」 発明者：柳田敏雄、徳永万喜洋、齋藤究  
登録番号：3093145 登録日 2000/7/28

## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

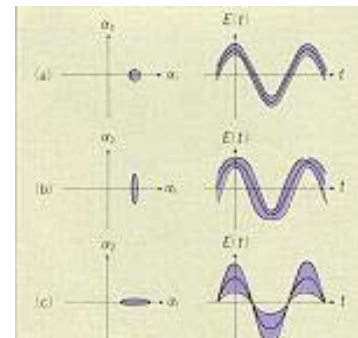
プロジェクト名	山本量子ゆらぎプロジェクト
総括責任者	山本 喜久(スタンフォード大学教授, NTT R&D フェロー)
研究期間	平成 5 年 10 月 ~ 平成 10 年 9 月

#### 研究の概要

量子論の基本原則を用い、量子状態を人工的に制御することにより、古典的な情報通信技術の限界が克服されることが期待される。本プロジェクトでは量子論のより深い理解と量子状態の人工的な制御を目指した研究を行ない、量子光学、メゾスコピック物理、操作マイクロコピーの実験技術を発展させることで、光子・電子・原子の波動関数を量子レベルで制御する新概念の創出と実験による実証を行った。

#### 研究成果

(1) 光の量子状態制御としてスクィーズド光を発生する TJS 形半導体レーザの開発および、光子を 1 つずつ発生する単一光子ターンスタイ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た。



半導体レーザ内部での量子ゆらぎを抑圧するメカニズム。半導体レーザから光子数のゆらぎが抑圧された振幅スクィーズド状態の光を発生する。

(2) 半導体中の 2 次元電子ガスを用いて 2 電子の衝突を実現し、衝突による出力電流雑音の抑圧を観測した。これにより、電子がフェルミ粒子であることに起因する 2 電子の量子干渉効果を実験により実証した。

2 (出力)                      3 (出力)



電子の量子干渉効果の検証実験系 1 (入力)

(3) 量子井戸微小共振器内のエキシトン・ポラリトンの振動現象を解明すると共に、エキシトン・ポラリトンの誘導放出現象を実証し、エキシトンポラリトンのボーズ凝縮への道を開いた。

#### 波及効果

・新分野の開拓

量子光学の手法を用いた量子力学の実験的検証に関する先駆的研究

(1) フェルミ粒子の量子干渉の実証、電子のアンチバンチング効果(単一モ

ードの電流を構成する電子の個数分布にばらつきがないという量子力学の基本原理)の実証など、量子論の基本仮説の直接検証に成功した。

- (2) 国際共同研究事業「量子もつれプロジェクト」(代表研究者 山本 喜久)に発展し、量子ドットによる単一光子発生の制御("Triggered Single Photons from a Quantum Dot" *Phys. Rev. Lett.* Vol.86 No.8 p.1502 (2001), "Indistinguishable photons from a single-photon device" *Nature* Vol.419, p.594(2002))、エキシトン・ポラリトンのボーズ凝縮の観測 ("Condensation of semiconductor microcavity exciton polaritons" *Science* Vol.298,p.199(2002))等について画期的な成果を輩出している。

・ 社会還元・新産業創出への貢献

本プロジェクトが先鞭となり、量子力学の基本原理を情報処理や通信に応用し、古典的なコンピュータと通信の限界を克服しようとする研究が世界的に盛んになりつつある。将来の量子情報技術(量子コンピュータ、量子暗号、量子誤り訂正符号など)の中核技術となることが期待できる。

**受賞・論文・特許等**

・ 受賞

- ・ 1995年 OSA Fellow Award
- ・ 1995年 科学技術長官賞
- ・ 2000年 IEEE/LEOS 量子エレクトロニクス賞
- ・ 2000年 松尾学術賞

・ 論文

Quantum interference in electron collision  
*Nature* 391, 263-265(1998).

J.Kim, O.Benson, H.Kan, and Y.Yamamoto  
A Single Photon Turnstile Device,  
*Nature* 397, 500-503(1999).

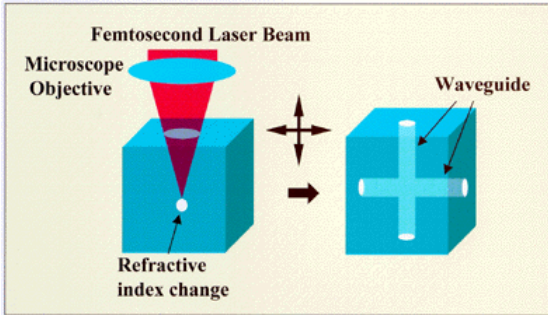
W.D.Oliver, J.Kim, R. C. Liu, and Y.Yamamoto  
Hanbury Brown and Twiss-Type Experiment with Electrons,  
*Science* 284, 299-301(1999).

・ 特許

1. 光振幅位相特性測定装置及びその測定方法 特 願 : 平 8-185235  
特 願 : 08/893,647,US 特 願 : 97112135.5,EP
2. Sub-Poissonian Interference Measurements(サブポアソン干渉計測装置及びその方法) 08/436,579,US

## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

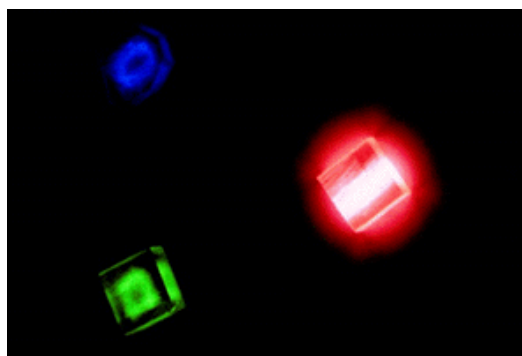
### ・ 事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	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	平成 6 年 10 月～平成 11 年 9 月
<p><b>研究の概要</b></p> <p>ガラスなどの非晶質材料は内部構造の自由度が大きいいため、電場・磁場・光などの外部場によって新たな構造が誘起され、これまでにない様々な機能の発現が可能になるものと期待される。本プロジェクトでは、このような誘起構造の形成技術の探索と発現機能の追求、および誘起構造の理論設計を目指し、主に分子の揺らぎ周期よりも短いフェムト秒レーザーをツールとして研究を実施した。</p>	
<p><b>研究成果</b></p> <p>(1) 超高速光誘起光スイッチの実現</p> <p>電子分極率の大きい <math>\text{Bi}_2\text{O}_3</math> を高濃度に含む酸化物ガラスが非共鳴（無吸収）条件でこれまでにない高い 3 次非線形光学効果を示すことを見出すとともに、これを用いてパルス幅 150fs、繰返し周波数 1.6THz の超短パルス・高繰返し光スイッチ動作を確認し、この材料が超高速の非線形光学応答を示すことを明らかにした。</p> <p>(2) フェムト秒レーザー誘起による光導波路形成</p> <p>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、集光部分の屈折率が永久的に増加することを初めて明らかにし、任意の位置に低損失の光導波路を描画形成出来ることを実証した。</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>光導波路書き込みの概念図</p> </div> </div> <p>(3) 希土類イオン価数変化と高密度光メモリー</p> <p><math>\text{Sm}^{3+}</math>イオン含有ガラスを近赤外フェムト秒レーザー光で集光照射することにより、集光点近傍の <math>\text{Sm}^{3+}</math>イオンが <math>\text{Sm}^{2+}</math>に変化することを見出した。さら</p>	

に、各集光点で  $\text{Sm}^{2+}$  イオンのホールバーニング現象を利用することにより、「4次元」超高密度光メモリーも実現可能であり、その際の記録密度は  $10\text{TB}/\text{cm}^3$  に及び、 $1\text{cm}^3$  当たり DVD 光ディスク 2000 枚に相当する。

#### (4) 長残光ガラス

$\text{Eu}^{2+}$ 、 $\text{Tb}^{3+}$ などの希土類イオンを添加したガラスが、紫外線照射後、24時間にも及ぶ長時間にわたって蛍光を出し続ける長残光現象を観測した。また、ESR スペクトルやX線吸収スペクトルの検討により、欠陥に基づく長残光現象のメカニズムを明らかにした。さらに、赤外フェムト秒レーザー光の集光照射によって、多光子励起を通じて同様の長残光を発生する領域を、ガラスの内部に形成出来ることを見出した。



$\text{Pr}^{3+}$  (赤)、 $\text{Tb}^{3+}$  (緑)、 $\text{Eu}^{2+}$  (青)  
を添加した ZBLAN ガラスのフェムト秒レーザー誘起長残光

#### (5) 色素分散ガラスの光ポーリングと画像記録応用

ガラス薄膜中に分散した色素分子を光誘起電場により周期的に配向させ、高安定な二次非線形光学効果を発現させた。これを用いて、新しい原理による画像記録・再生が可能であることを実証した。

### 波及効果

#### ・新分野の開拓

分子の揺らぎ周期よりも短いフェムト秒レーザーを物質に照射したときに発現される種々の現象「誘起構造」は新たな科学技術分野として注目され、本プロジェクトの成果は企業や各国の研究者により追試、学会報告されている。

#### ・社会還元・新産業創出への貢献

本プロジェクトの成果は、将来の超高速光通信システムへの展開、三次元光回路素子、4次元の超高密度光メモリー等への応用展開が期待されている。その中でも、本プロジェクトの成果を応用した「超残光性蛍光ガラス」、「光集積多心セラミックキャピラリ」、「UV光透過型多心ファイバーガイド」は、企業において実用化の具体的検討がなされている。

## 受賞・論文・特許等

### . 受賞

- 2000年 Morey 賞
- 2002年 米国セラミックス協会フェロー

### . 論文

1. K. Miura, J. Qiu, T. Mitsuyu, K. Hirao: Preparation and optical characterization of fluoride glass waveguides induced by laser pulses, *Journal of Non-Crystalline Solids* 256&257, (1999) 212-219.
2. J. Qiu, K. Miura, T. Suzuki, T. Mitsuyu, K. Hirao: Permanent photoreduction of  $\text{Sm}^{3+}$  to  $\text{Sm}^{2+}$  inside a sodium aluminoborate glass by an infrared femtosecond pulsed laser, *Applied Physics Letters* 74 (1), (1999) 10-12
3. J. Qiu, Y. Kawasaki, K. Tanaka, Y. Shimizukawa, K. Hirao: Phenomenon and mechanism of long lasting phosphorescence in  $\text{Eu}^{2+}$ -doped aluminosilicate glasses, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 59 (2), (1998) 1521-1525.

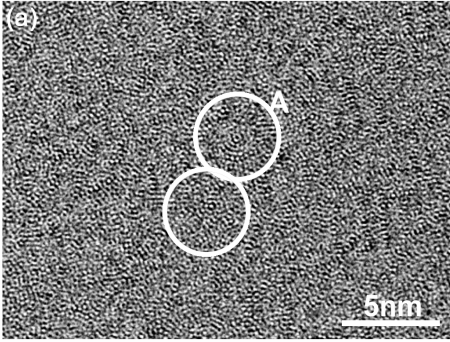
### . 特許

1. 光導波回路及び非線形光学装置  
特願平 9-333784  
出願人：科学技術振興事業団 他
2. 無機材料内部の選択的改質方法及び内部が選択的に改質された無機材料  
特願平 10-004416  
出願人：科学技術振興事業団 他
3. ガラス内部に選択的に長残光を発生させる方法  
特願平 10-110435  
出願人：科学技術振興事業団 他



## JST 基礎的研究事業の研究テーマとその成果の例

### ・事業名：創造科学技術推進事業（ERATO）

プロジェクト名	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	平成 9 年 10 月～平成 14 年 9 月
<p><b>研究の概要</b></p> <p>通常の金属は融点以下で直ちに結晶化してしまうが特定成分の合金では過冷却金属液体が安定化し、これによってバルク形状の金属ガラスが作製できることに着目した。この日本発心の過冷却金属液体の安定化機構の解明、高安定化の極限を探求するとともに、その結果得られるバルク金属ガラスの構造と物性を評価することによって、従来の金属学の常識を打ち破る新たな物質化学の創出と新高機能材料の創製を目指した。</p>	
<p><b>研究成果</b></p> <p>(1) 過冷金属の異常安定化機構の究明</p> <p>過冷金属液体の構造と熱安定性の観点から研究を行い、高分解能 TEM 観察法、ナノビーム電子回折法を用いて、新規原子配列構造（高稠密無秩序充填、新局所原子配列、長範囲均質相互作用）を発見した。</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;"> <p>(b) and (c) are selected area electron diffraction (SAED) patterns corresponding to the regions marked in (a). Pattern (b) shows a diffuse ring, while pattern (c) shows a more structured pattern with a label 'A'.</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Zr 基金属ガラス中に二十面体局所構造が存在することを世界で初めて観察した。</p> <p>(2) 過冷金属の究極の安定化へのアプローチ</p> <p>結晶核の発生・成長、臨界冷却速度といった速度論的研究の中で、結晶核発生のその場観察に成功すると共に、成分と不純物影響の重要性についての精緻な熱力学物性データに基づき、過冷金属液体の安定性の定量化を行った。</p> <p>(3) 過冷却金属安定化を起こすための成分ルールの実証</p> <p>金属ガラス組成域の計算予測に成功し、構造、相変態、制御の観点から見出された過冷金属安定化の成分ルールの有効性が実証された。</p> <p>(4) 新過冷金属の創製</p> <p>過冷金属の安定化則に基づいた新規過冷金属の探索研究を行い、優れた軟磁性を示す Fe 基や Co 基、高強度・高延性な Cu 基、高強度・高延性・高耐食性の Ni 基、高水素吸蔵性が期待できる Ca 基や Mg 基バルク金属ガラスなどを創製し、従来の結晶合金では得られない優れた諸特性を見出した。</p>	

## 波及効果

### ・新分野の開拓

本プロジェクトにおける根本的に新しい金属材料の革新的研究成果により、新たな物質化学の展開と新高機能材料創製の可能性が示されている。

- (1) 過冷金属液体の安定性が5～8桁も向上したことにより、構造変化、相変化の様子を初めてその場観察できるようになった。
- (2) 広範な合金系でバルク形状金属ガラスが得られ、結晶金属との性能が直接比較できるような諸物性測定がはじめてできるようになった。
- (3) 過冷金属の研究はイギリス、中国などでも大型プロジェクトとして取り上げられはじめており、本プロジェクトの研究成果が一大拠点となっている。

### ・社会還元・新産業創出への貢献

- (1) 本プロジェクトによって、過冷却金属液体安定化の成分ルールが実証されたことにより、このルールに基づいて次々に新しいバルク金属ガラスが開発され、新金属材料としての工業化が期待される。
- (2) 本プロジェクトによって、これまでのいかなるアモルファス合金や金属ガラスでも得られなかった高バルクガラス形成能、高飽和磁束密度、高透磁率、粘性流動加工性を同時に有する新たな金属ガラスが発見されており、新規工業材料として有望視される。
- (3) 金属ガラスは、金属材料でニュートン粘性を示す唯一の材料であり、表面平滑加工成形用の究極の材料とみなせる。バルク金属ガラスのナノ精密成形加工技術の開発や、さらに、ナノスケールの表面印形賦与技術の開発により数百ギガビット～テラビット級の光ディスク高記録密度材料開発の可能性もある。
- (4) 金属ガラスが高強度・高延性・高耐食性を併せもつことにより、燃料電池セパレータへの応用が期待される。
- (5) 金属ガラスが極端な高強度・強靱性を併せもつことにより、様々な構成材料の画期的な軽量化へ貢献するものと期待される。

## 受賞・論文・特許等

### ・受賞

- ・平成12年 I S I 引用最高荣誉賞(Citation Laureate Award)
- ・平成14年 日本学士院賞

### ・論文

1. Saida, J.; Matsushita, M.; Inoue, A. Direct observation of icosahedral cluster in  $Zr_{70}Pd_{30}$  binary glassy alloy. Appl. Phys. Lett. 79, 412-414 (2001).

2. Nishiyama, N.; Inoue, A. Generation and annihilation of nanocrystalline nucleus in undercooled Pd-Cu-Ni-P particle. Mater. Sci. Forum. 386-388, 105-110 (2002).
3. Imafuku, M.; Sato, S.; Koshiba, H.; Matsubara, E.; Inoue, A. Structural variation of Fe-Nb-B metallic glasses during crystallization process. Scripta Mater. 44, 2369-2372 (2001).

. 特許

1. 『高強度・高耐食性 Ni 基非晶質合金』 発明者：井上明久、金星圭  
公開番号：特開 2000-345309 公開日：2000/12/12
2. 『高水素吸蔵合金とその製法』 発明者：井上明久、木村久道、荒田吉明  
公開番号：特開 2002-105609 公開日：2002/4/10
3. 『Cu-Be 基金属ガラス』 発明者：井上明久、張 涛  
出願番号：特願 2001-264370 出願日：2001/8/31