



研究課題名 ニュートリノ観測装置カムランドを用いたニュートリノレス二重β崩壊の研究

東北大学・大学院理学研究科・教授 井上 邦雄 (いのうえ くにお)

研究分野：数物系科学、物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）

【研究の背景・目的】

ニュートリノ振動研究がニュートリノの質量 2 乗差を測定したことによって、質量絶対値測定のための具体的な目標設定が可能になった。最も高感度で質量絶対値を探索できるニュートリノレス二重β崩壊を用いた手法は、同時にニュートリノのマヨラナ性（ニュートリノと反ニュートリノが同一）を検証することができる。二重β崩壊は、原子核間の準位により単発のβ崩壊は禁止されるが2つ同時なら許容されるときに発現し、マヨラナニュートリノの場合は一方が放出した反ニュートリノを他方がニュートリノとして吸収することで、本来なら2つ放出される反ニュートリノが放出されないニュートリノレス二重β崩壊を引き起こす。ニュートリノがエネルギーを持ち出さないため特徴的な高エネルギー事象として観測されるこの事象の発生確率はニュートリノ質量の2乗に比例し、その頻度からニュートリノ質量の絶対値を知ることができる。当面の目標である質量の縮退構造（3種類のニュートリノの質量が近接して比較的重い）を検証するには、100kg 超の二重β崩壊核を使用し、非常に長い半減期の希な現象を探索しなければならない。世界では 2011 から 2013 年開始予定の大型計画が進行しており、国内でもそれらと競合し凌駕できる計画が期待されており、いかに大量の二重β崩壊核を低バックグラウンドで観測できるかが課題となっていた。

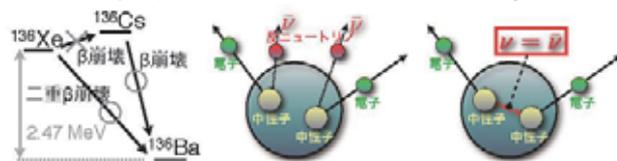


図 1 二重β崩壊核例（左）および通常二重β崩壊（中）とニュートリノレス崩壊（右）

【研究の方法】

ニュートリノ観測装置は一般に大型であり、中でも特にカムランド実験は通常よりも放射性不純物が 1 兆分の 1 も少ない極低放射能環境を実現している。二重β崩壊核のひとつであるキセノン 136 は希ガスであるため、純化が容易であり液体シンチレータに 3%まで溶かすことができる。他にもニュートリノを伴う通常の二重β崩壊の寿命が長いなどのメリットがある。本研究は、200kg のキセノン 136 を溶かした液体シンチレータを半径 1.35m のバルーンに内包しカムランド中心に設置する。既存のカムランドを使用するため迅速かつ低コストに世界最先端の感度を実現できる。

このバルーンが占める体積は 1000 トンの液体シンチレータを有するカムランドでは 1%にも満たず、ニュートリノ観測も継続できるとともに、キセノン量を 1000kg に増量するなどによって、逆階層構造の検証も可能となる拡張性を有している。

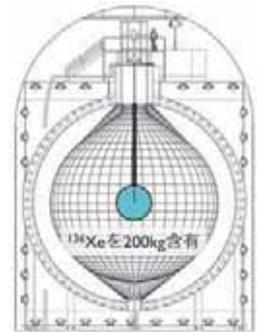


図 2 カムランド実験装置

【期待される成果と意義】

ニュートリノレス二重β崩壊を検出できれば、ニュートリノの質量構造を決定することができ、マヨラナニュートリノの確証を得ることができる。これは、素粒子標準理論のほころびとして知られる宇宙の物質優勢や軽いニュートリノ質量を説明するシーソー機構やレプトジェネシス理論の根拠となり、物質の起源や力の統一そして宇宙の統一的理解を目標とする素粒子・宇宙研究を飛躍的に進展させる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Precision Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with KamLAND”, The KamLAND Collaboration (S. Abe et al.), Phys.Rev.Lett.100:221803, 2008.
- “Experimental Investigation of Geologically Produced Anti-neutrinos with KamLAND”, The KamLAND Collaboration (T. Araki et al.), Nature 436:499-503, 2005.
- “Measurement of Neutrino Oscillation with KamLAND: Evidence of Spectral Distortion”, The KamLAND Collaboration (T.Araki et al.), Phys.Rev.Lett.94:081801, 2005.
- “First Results from KamLAND: Evidence for Reactor Anti-neutrino Disappearance”, The KamLAND Collaboration (K. Eguchi et al.), Phys.Rev.Lett.90:021802, 2003.

【研究期間と研究経費】

平成 21 年度 - 25 年度

605,900 千円

ホームページ等

<http://www.awa.tohoku.ac.jp/>

## 【特別推進研究】

### 理工系（数物系科学）



研究課題名 最高エネルギー宇宙線で探る宇宙極高現象

東京大学・宇宙線研究所・教授

ふくしま まさき  
福島 正己

研究分野： 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード： 宇宙線（実験）

#### 【研究の背景・目的】

山梨県にある宇宙線研・明野観測所に設置した AGASA 空気シャワーアレイで、2003 年までの 13 年間に 10 の 20 乗電子ボルトを超える宇宙線 11 例を観測した。このような極高エネルギーの宇宙線は、宇宙空間を満たしている背景放射（ビッグバンの名残り）と衝突してエネルギーを失うため、ほぼ 1.5 億光年以内の近傍に発生源があると考えられている。発生源の数が限られる為、予想される観測数は 3-4 例であった。また、これらの宇宙線には、ある方向からまとまって到来する傾向が見られたが、その方向には発生源らしい特別な天体は見当たらなかった。

高エネルギーの宇宙線が地球に到来すると、大気の上層で、窒素や酸素の原子核と衝突し、核を破碎して数千の新しい粒子を発生する。これらの粒子は、さらに衝突と反応を繰り返して鼠算式に増殖し、最高エネルギー領域では、1 兆個を超える粒子の束となって地表に降り注ぐ（直径~10km）。これを宇宙線の空気シャワーと呼ぶが、エネルギーの高いものは極めて稀で、山手線の内側の領域（~100km<sup>2</sup>）に 1 年に 1 例が落下するくらいの頻度である。

#### 【研究の方法】

空気シャワーの観測方法には、大きく分けて 2 通りある。第 1 は空気シャワーアレイと呼ばれ、地表に点々と粒子検出器を置いて、検出した粒子の総数から宇宙線のエネルギーを決める。宇宙線の方向は粒子の到来時間差から決める。広い領域を安定して観測できる点が強みであるが、粒子の総数から宇宙線のエネルギーを決める時に、詳細が良く判っていない大量の計算を必要とするのが問題である。

第 2 は大気蛍光望遠鏡と呼ばれ、空気シャワーの大気中での紫外発光を撮像する。この発光は極めて微小なので、大口径の反射鏡で光を集め、カメラには感度の高い光電子増倍管を使う。観測は、晴れて大気が透明な闇夜に限られる。観測される光の量がエネルギーに比例するので、計算によらずにエネルギーを決められるのが強みであるが、望遠鏡感度の絶対較正や大気透明度の補正が難しい課題である。

AGASA（地表アレイ）の観測結果は、HiRes（大気蛍光望遠鏡）で確認されなかった。そこで、AGASA の測定領域を一桁大きくし、望遠鏡も同じ場所に建設して、同時観測で結果を確認するのが、テレスコープアレイ（TA）実験である。アレイは 1.2km 間隔で 507 台の検出器（写真）を設置して、680km<sup>2</sup> の領

域をカバーした。また 38 台の望遠鏡を 3ヶ所にまとめて配置（写真）し、アレイ上空を監視している。

#### 【期待される成果と意義】

TA は日本（特定領域科研費）と米国（国立科学財団）の予算で建設し、平成 20 年 3 月から米国ユタ州で観測を始めた。現在は韓国とロシアが加わり、



4 カ国の国際共同で研究を進めている。本特別推進研究の期間内に、最高エネルギー領域で、宇宙線の到来頻度と発生源を確定し、発生源と想定される高エネルギー天体の研究を進める。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. M.Nagano, M.Teshima, M.Takeda (AGASA collaboration), "Extension of the Cosmic-Ray Energy Spectrum beyond the Predicted Greisen-Zatsepin-Kuz'min Cutoff", Phys. Rev. Lett. **81**(1998) 1164- 1166.
2. M.Fukushima, F.Kakimoto, S.Ogio, H.Sagawa (Telescope Array collaboration), "Measurement of Ultra-high Energy Cosmic Rays by Telescope Array (TA)", JPSJ **78** (2009) Suppl.A 108-113

#### 【研究期間と研究経費】

平成 21 年度 - 25 年度  
499,300 千円

ホームページ等

<http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/>



## 研究課題名 配向制御技術で拓く分子の新しい量子相の物理学

東京大学・大学院理学系研究科・准教授 さかい ひろふみ  
酒井 広文

研究分野：数物系科学

キーワード：原子・分子

## 【研究の背景・目的】

向きの揃った分子試料を用いることができれば、分子軸とレーザー光の偏光方向に依存する効果や分子軌道の対称性や非対称性に由来する効果を直接的に調べることが可能となる。すなわち、向きの揃った分子試料は、異方性をもつ理想的な量子系と考えることができ、気体結晶とも呼べる分子の新しい量子相と位置づけられる。本研究では、全く新しい分子配向制御手法を開拓するとともに、配向した分子試料を用いた一連の研究により、「分子の新しい量子相の物理学」を開拓することを目的とする。具体的には以下の研究課題に取り組む。

(1) 2波長レーザー光により形成される非対称レーザー電場をそのピーク強度付近で急峻にスイッチオフすることにより、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下で分子配向を実現する手法を新たに提案し実現する。

(2) 配向した分子を試料とし、分子内電子の再衝突によって引き起こされる多彩な超高速物理現象のメカニズムを直接的に解明する「分子内電子の立体ダイナミクス」を開拓するとともに、最も高度で洗練された「超高速分子イメージング」技術の確立を通じて、「分子の新しい量子相の物理学」を開拓する。

## 【研究の方法】

2波長レーザー光により形成される非対称レーザー電場をそのピーク強度付近で急峻にスイッチオフすることにより、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下で分子配向を実現する手法を新たに提案し実現する。これまで実現している配向制御の手法では、全て静電場が利用されているのに対し、全く新しいコンセプトに基づく本手法ではレーザー電場のみで配向を実現できるのが大きな特長である。さらに、互いに平行に直線偏光した2波長レーザー光を用いた1次元的な配向だけでなく、2波長レーザー光の偏光を交差させることにより、3次元的な配向制御の実現も目指す。

配向した分子を試料とし、基礎過程であるトンネルイオン化に加え、高エネルギー電子の発生、非段階的二重イオン化、高次高調波発生など、分子内電子の再衝突によって引き起こされる多彩な超高速物理現象のメカニズム、及び多原子分子の構造変形のダイナミクスなどの直接的な解明を目指す。

## 【期待される成果と意義】

完全に電場のない条件下での分子配向制御を可能とする全く新しい技術が開発されるとともに、配向した分子試料に最先端の超高速分子イメージング技術を適用することにより、「分子内電子の立体ダイナミクス」の直接的な解明が進み、「分子の新しい量子相の物理学」の確立が期待される。

本研究では、分子内電子の立体ダイナミクスや多原子分子の構造変形のダイナミクスを主たる研究対象としているが、本研究によって得られるであろう一連の成果は、分子の関与する衝突物理や化学反応の立体ダイナミクスに新展開をもたらすだけでなく、アト秒科学への応用、表面科学への応用、キラルな分子の選択的生成とそのメカニズムの解明などに大きく寄与すると期待される。

## 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Akihisa Goban, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, "Laser-field-free molecular orientation," *Phys. Rev. Lett.* **101**, 013001 (4 pages) (2008).
- Tsuneto Kanai, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, "Quantum interference during high-order harmonic generation from aligned molecules," *Nature (London)* **435**, 470-474 (2005).
- Haruka Tanji, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, "Three-dimensional molecular orientation with combined electrostatic and elliptically polarized laser fields," *Phys. Rev. A* **72**, 063401 (4 pages) (2005).
- Hirofumi Sakai, Shinichirou Minemoto, Hiroshi Nanjo, Haruka Tanji, and Takayuki Suzuki, "Controlling the orientation of polar molecules with combined electrostatic and pulsed, nonresonant laser fields," *Phys. Rev. Lett.* **90**, 083001 (4 pages) (2003).

## 【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度

261,700千円

ホームページ等

<http://light.phys.s.u-tokyo.ac.jp/indexj.html>

[hsakai@phys.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:hsakai@phys.s.u-tokyo.ac.jp)



研究課題名 半導体量子構造による電子波束のダイナミクス

東京工業大学・極低温物性研究センター・教授

ふじさわ としまさ  
藤澤 利正

研究分野：数物系科学

キーワード：メソスコピック系 半導体物理

【研究の背景・目的】

半導体超格子構造の提案以来、半導体量子構造を用いた電子波の制御技術は著しく発展した。例えば、MBE結晶成長技術による高品質ヘテロ構造では、整数・分数量子ホール効果など特徴的な量子状態が形成される。微細加工技術で作製された量子細線や量子ドットなど低次元構造により、局所的な量子状態を人為的に設計製作できるようになった。近年、量子干渉を短い時間で制御する量子情報デバイスの研究が盛んである。このように半導体量子構造は、電子を量子力学によって制御する舞台として研究され続けている。

本研究は、静止した量子ドット中の電子状態の制御技術を、伝搬する電子波束のダイナミクスに発展するものである。電子波束を空間的かつ時間的に制御することによって、量子電子光学と電子波工学への発展を期待している。特に、一方向で散逸のない量子ホール系のエッジチャンネルに注目し、電子波束の生成・制御・観測技術を確立し、電子波束の基礎物性と応用の可能性を追求する。

【研究の方法】

高電子移動度半導体ヘテロ構造に微細加工を施すことにより、電子波束のビームスプリッター、電圧可変のディレイライン、単一電子の電荷パルス生成・検出、電子波の干渉計などの素子を集積化することができる。様々な光の干渉実験を固体素子中で再現するとともに、統計性による相関や相互作用による影響に着目した研究を行う。

例えば、図1(a)は金属ゲートに沿ったエッジチャンネルを用いた遅延制御器を示している。ゲート電圧によって、局所的な電界や遮蔽効果に変化し、群速度の変化が生じる。オーミック接合にパルス電圧を印加することによって生じた電荷パルスを、図1(b)のように遅延制御器によって遅延するこ

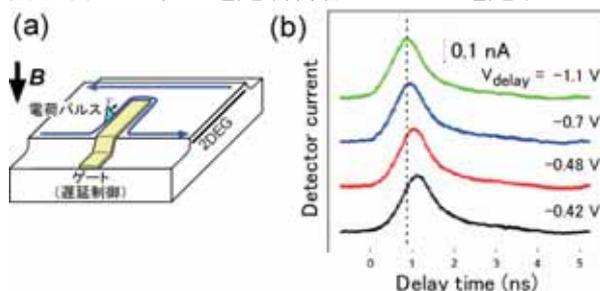


図1 (a) エッジチャンネルの遅延制御 (b)測定例

とができる。このような電荷パルスの制御技術を組み合わせることにより、電子波束ダイナミクスの研究を進める。

【期待される成果と意義】

本研究で注目するエッジマグネトプラズモンは、 $10^5 \sim 10^6$  m/s の速度でエッジチャンネルを伝搬する。超高周波領域での電荷パルスを生成・制御・観測する手法を確立し、電荷ダイナミクスの測定を通じて分散、可干渉性、量子統計性などの基礎物性を明らかにし、一次元伝導特有のスピン電荷分離や電荷分断化現象など興味深い現象を明らかにする。これらの研究により、オンチップのコヒーレント輸送への応用や、超高速波束エレクトロニクスへの発展性が見込まれる。

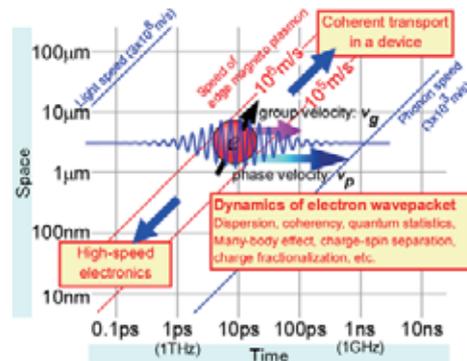


図2 エッジマグネトプラズモンの時空領域

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] H. Kamata, T. Ota, and T. Fujisawa, "Correlation Measurement of Time-Dependent Potentials in a Semiconductor Quantum Point Contact", Jpn. J. Appl. Phys 48, 04C149(2009).
- [2] G. Shinkai, T. Hayashi, T. Ota, and T. Fujisawa, "Correlated coherent oscillations in coupled semiconductor charge qubits", to be published in Phys. Rev. Lett. (2009).

【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度  
421,400千円

ホームページ等

<http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/>  
fujisawa@phys.titech.ac.jp

## 【特別推進研究】

### 理工系（化学）



#### 研究課題名 特殊ペプチド創薬

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

すが ひろあき  
菅 裕明

研究分野：生物分子科学

キーワード：天然物有機化学、生理活性物質、生体高分子、生合成、ケミカルバイオロジー

#### 【研究の背景・目的】

本研究では、申請者が10年に渡り研究を推進してきたフレキシザイム（1999年に申請者が独自に単離・同定したtRNAアシル化RNA酵素）を用いた遺伝暗号リプログラミングの基盤技術をさらに飛躍発展させ、mRNA鋳型依存的に天然物ライクな特殊ペプチドライブラリーを自在に合成する技術とその網羅的探索技術を開発する。さらに、その創薬応用を展開する事で特殊ペプチドによるケミカルバイオテクノロジーの新時代を築く。具体的には、①両親媒性環状特殊ペプチドの合成技術開発、②リボソームによる炭素・炭素結合形成技術開発によるポリケチド骨格含有特殊ペプチドの合成、③上記特殊ペプチドライブラリーの合成と網羅探索系の融合、④生理活性特殊ペプチドの探索（申請者自身の研究室で単独で推進する蛋白質間相互作用阻害剤探索に加え、生物リズム制御を担う蛋白質因子群を標的とした探索を共同研究で行う）、を目標に掲げる。

#### 【研究の方法】

これまで申請者が精力的に研究を継続してきたフレキシザイム・翻訳系研究の流れを引き継ぎ、「遺伝暗号リプログラミング（初期化による書き直し）」の技術を駆使し、「特殊ペプチドの翻訳合成」の確立と薬剤探索を推進する。特に本研究計画では、天然物として過去に薬剤探索されてきた特殊ペプチド類からその特徴を学び取り、擬天然物としての人工特殊ペプチドを合成するための技術開発を行う。

①両親媒性環状特殊ペプチドの合成技術開発、ならびに②リボソームによる炭素・炭素結合形成技術開発によるポリケチド骨格含有特殊ペプチドの合成では、擬天然物としての人工特殊ペプチドの新規合成手法の開発を目指す。その後、③上記特殊ペプチドライブラリーの合成と網羅探索系の融合、④生理活性特殊ペプチドの探索へと応用展開する。いずれの研究においても、合成された特殊ペプチドの生体内安定性や標的への親和性を高めるため、環状化は必須であり、各目的に即した環状特殊ペプチドの創製とその探索を行う。

#### 【期待される成果と意義】

本技術は、高多様性特殊ペプチドライブラリーからの生理活性化合物の探索の低コスト且つ高スピード化を可能にし、これにより疾患標的蛋白質へのアゴニストやアンタゴニストになりうる新規

特殊ペプチドを探索・発見することが可能となる。したがって、本研究は、天然物科学・ケミカルバイオロジー領域に学術上高いインパクトを与えるばかりでなく、抗体医薬に代わる特殊ペプチド医薬の新時代を築くことで高い社会的インパクトをもたらすと期待できる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ "Structural basis of specific tRNA aminoacylation by a small in vitro selected ribozyme" H. Xiao, H. Murakami, H. Suga, A. R. Ferre-D'Amare *Nature* 454, 358-361 (2008).
- ・ "Ribosomal synthesis of peptidase-resistant peptides closed by a non-reducible inter-sidechain bond" Y. Sako, Y. Goto, H. Murakami, H. Suga *ACS Chemical Biology* 3, 241-249 (2008).
- ・ "Synthesis of biopolymers using genetic code reprogramming" A. Ohta, Y. Yamagishi, H. Suga *Current Opinion in Chemical Biology* 12, 159-167 (2008).
- ・ "Reprogramming the initiation event in translation for the synthesis of physiologically stable cyclic peptides" Y. Goto, A. Ohta, Y. Sako, Y. Yamagishi, H. Murakami, H. Suga *ACS Chemical Biology* 3, 120-129 (2008).
- ・ "Messenger RNA-directed incorporation of multiple N-methyl-amino acids into linear and cyclic peptides" T. Kawakami, H. Murakami, H. Suga *Chemistry & Biology* 15, 32-42 (2008).
- ・ "A highly flexible tRNA aminoacylation tool for non-natural polypeptide synthesis" H. Murakami, A. Ohta, H. Ashigai, H. Suga *Nature Methods* 3, 357-359 (2006).

#### 【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度

406,700千円

ホームページ等

<http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp>

[hsuga@rcast.u-tokyo.ac.jp](mailto:hsuga@rcast.u-tokyo.ac.jp)



研究課題名 高性能有機触媒の創製と精密有機合成化学への応用

まるおか けいじ  
丸岡 啓二

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究分野： 有機化学  
キーワード： 有機合成化学

【研究の背景・目的】

天然資源の乏しい我が国の将来にとって、高付加価値の新機能性材料や医薬品の創製に不可欠な知識集約型科学技術の発展とその産業の育成が重要であることは言をまたない。その基盤となるものは「有機合成化学」であり、その絶え間ざる育成は、今世紀も我が国が科学技術創造立国として世界的優位性を確保するうえで必須となるであろう。本研究では、近年、爆発的な発展を遂げている有機触媒分野において、これまでほとんど手掛けられていなかった「高性能有機触媒」の創製を目指す。それによって、現在、世界中で急速に発展しつつある「脱金属触媒」としての有機触媒化学分野を本質的な意味で短期間にダイナミックに展開させ、世界の有機触媒分野で国際的なリーダーシップを取ることに、有機触媒研究の国際的のトップ拠点を築きたい。

【研究の方法】

本研究者らがこれまで携わってきた精密ルイス酸や有機金属触媒の合理的な触媒設計研究で得られた知見を活かし、本研究では他に類例を見ないような有機触媒の合理的な触媒設計を行う。すなわち、有機触媒の性能に応じて、「有機塩基触媒」、「有機酸触媒」、「有機酸塩基複合触媒」、「有機ラジカル触媒」という四つの研究項目に分けて、高性能有機触媒の合理的な設計と創製を目指すとともに、これらの過程で見出された高性能有機触媒を駆使して、新たな精密有機合成反応を開拓する。また、研究の進め方として、「ゼロ（無）から1（有）を生み出す基礎研究」と「1から1万、10万を生み出す展開研究」の双方を目指すことにより、高性能有機触媒プロジェクトを強力に推し進めたい。

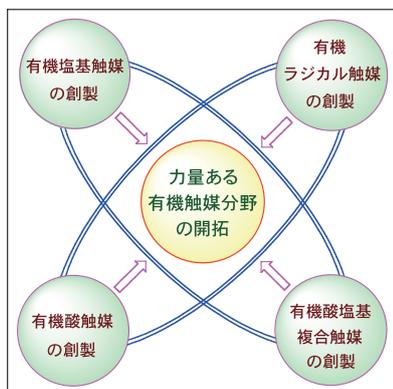


図1 高性能有機触媒プロジェクト

【期待される成果と意義】

「有機触媒」は、従来の「生体触媒」や「金属触媒」に加え、第三の触媒として、その化学安定性ゆえに近年、注目を集めている。この有機触媒分野において、「高性能有機触媒」を創製できれば、従来の「生体触媒」や「金属触媒」では及ばないような反応性や選択性の獲得が可能になるであろう。それによって種々の新しい精密有機合成反応を開拓でき、従来、合成が難しいと考えられていた新規有機化合物の創製へとつながり、産業界における関連研究の諸分野の発展に大きな波及効果をもたらすと考えられる。

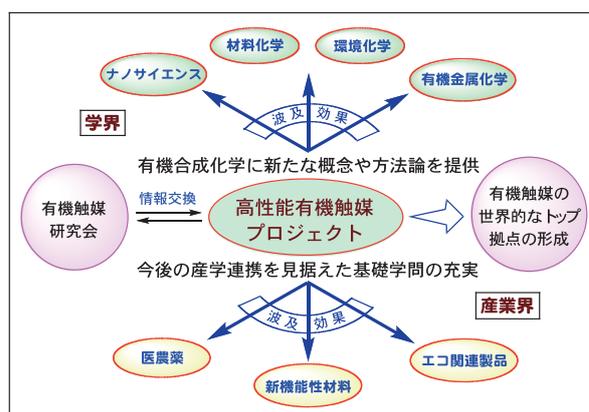


図2 高性能有機触媒プロジェクトの成果と波及効果

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- (1) K. Nakayama and K. Maruoka, Complete Switch of Product Selectivity in Asymmetric Direct Aldol Reaction with Two Different Chiral Organocatalysts from a Common Chiral Source. *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 17666-17667 (2008).
- (2) K. Maruoka, *Asymmetric Phase Transfer Catalysis*. Wiley-VCH, 2007.

【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度

426,300千円

ホームページ等

<http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/yugo/index.html>  
maruoka@kuchem.kyoto-u.ac.jp

## 【特別推進研究】

# 理工系（工学）



### 研究課題名 拡張ナノ空間流体工学の創成

東京大学・大学院工学系研究科・教授

きたもり たけひこ  
北森 武彦

研究分野：流体工学、マイクロ・ナノデバイス  
キーワード：拡張ナノ空間、マイクロ化学システム

#### 【研究の背景・目的】

量子効果や近接場効果が発現する数 nm の空間を利用するナノテクはエレクトロニクスやフォトンクス等における学術と技術に新しい展開をもたらしてきた。一方、我々は数  $\mu\text{m}$  以上の空間において、ガラス基板上にマイクロ流路を作製し、そこに反応・抽出等の化学操作を集積化するマイクロ化学システムの研究を進めてきた(図1)。小さいが故に、表面の化学的・物理的特性が流体挙動に大きく影響する空間特性を利用し、短時間高効率に化学プロセスを完了するマイクロ化学チップの技術を世界に先駆けて開発し、診断分析等に適用してきた。こうした直近の先端技術をサイズスケールで整理すると(図1)、 $10^1\text{-}10^2$  nm の空間(拡張ナノ空間と定義)は、ナノテクからマイクロ化学チップへの移行領域であり、また、孤立系の単一分子から凝縮相への過渡的空間であるが、この空間は科学的・技術的に重要であるにもかかわらず、これまで有効な実験ツールがなく、科学としても技術としても比較的未踏の領域といえる。そこで本研究では、我々が培ってきたマイクロ化学技術を基盤に拡張ナノ空間の研究ツールを創成し、これをもとに拡張ナノ領域で初めて出現する流体の物理と化学を明らかにして、「拡張ナノ空間流体工学」を創成する。それにより、拡張ナノ空間を利用した将来の革新的デバイス創成のための基礎を構築することを目的とする。

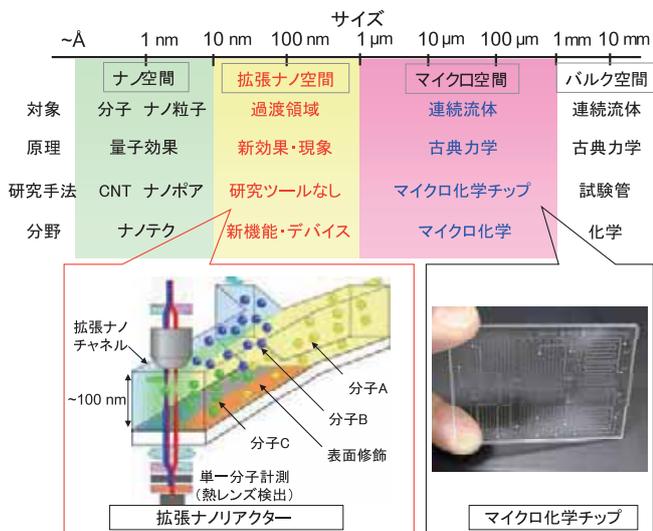


図1 研究の構想

#### 【研究の方法】

##### 研究項目 A: 拡張ナノ空間工学基盤技術の確立

###### A-1) 拡張ナノ空間極限加工法の開発

従来のトップダウン加工技術に加え、ナノ光学や電子線等、拡張ナノ空間特有の原理を利用した部分表面修飾法を開発する。

###### A-2) 拡張ナノ空間の流体制御法の開発

親水・疎水等、表面濡れ性制御によって、機械的流体制御デバイスを持ち込めない拡張ナノ空間内で高度な流体制御法を提供する。

###### A-3) 拡張ナノ空間の単一分子分析法の開発

拡張ナノ空間において必須である単一分子検出法を、我々独自の非蛍光性分子の超高感度検出器・熱レンズ顕微鏡(TLM)を発展させ、実現する。

##### 研究項目 B: 拡張ナノ空間物理・化学特性の解明

###### B-1) 拡張ナノ空間の溶液構造・基礎物性の解明

分光学的手法を用いて密度、比熱、屈折率といった重要な物性と分子論的な溶液構造を解明する。

###### B-2) 拡張ナノ空間の化学反応特性の解明

化学反応の空間サイズ依存を解析し、拡張ナノ空間特異性が反応へ及ぼす影響を明らかにする。

###### B-3) バイオ拡張ナノ空間の溶液化学の解明

特異性が示唆されている細胞間空間の模倣デバイスを創出し、溶液の挙動を解析する。

#### 【期待される成果と意義】

本研究は、新しい研究領域を開くという学術上の意義があるだけでなく、新たな工学的的方法論を提供する。古来、電気二重層と呼ばれる界面領域に分子的描像を与えることでナノ流体力学にも展開でき、極限分析デバイスや革新的エネルギーデバイス等の全く新しいデバイス創成に繋がると期待される。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. T. Tsukahara, A. Hibara, Y. Ikeda, T. Kitamori, "NMR Study of Water Molecules Confined in Extended-Nano Spaces", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 1180-1183 (2007)
2. T. Kitamori, M. Tokeshi, A. Hibara, K. Sato, "Thermal lens microscopy and microchip chemistry", *Anal. Chem.*, **76**, 52A-60A (2004)

#### 【研究期間と研究経費】

平成21年度-24年度  
418,800千円

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kitamori/index.html>



**研究課題名 MEMS と実時間 TEM 顕微観察によるナノメカニカル特性評価と応用展開**

東京大学・生産技術研究所・教授

ふじた ひろゆき  
藤田 博之

研究分野：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：MEMS・NEMS、マイクロメカニクス

【研究の背景・目的】

数 nm から数十 nm のナノ構造は、量子効果など微細な寸法で初めて現れる性質があることが知られている。ナノテクノロジーの最終的な狙いは、この特別な性質をうまく用いて、これまで得られなかった高度の機能や性能を持つ超微細の部品や新材料を得ることである。ナノテクノロジーの今後の発展には、個々のナノ物体の性質を詳細に測定することが大切である。

通常私たちが何か分からない物体を調べるとき、それを手にとって良く観察したり、力などを加えて形がどう変わるかみたり、またそうした変形が特性にどう影響するか測るだろう。

ナノ物体を原子や分子の分解能で調べるためには、極微の物を扱う「手」と、見る「眼」が必要である。本研究では「手」として半導体チップの微細加工技術で作るマイクロ・ナノマシンを用い、「眼」には超高分解能の透過電子顕微鏡を使う。電子顕微鏡内でマイクロマシンを動かし、マシンで捕らえたナノ物体に力や熱や電圧を加えて、物体がどのように変形するかを原子レベルで調べたり、変形に伴って電気・機械特性がどう変化するかを計測したりする。このような計測データと、計算機を用いた数値実験とを比較して解釈することで、ナノ寸法での現象の理解を深める。この結果から、例えば、高分子材料などのナノ繊維の強さ、微小な配線の劣化機構、摩擦や摩耗現象に伴う表面の微視的な破壊などを解明する手がかりを得る。

【研究の方法】

まず半導体微細加工を用いて極微の立体構造を作る。その構造には、ナノ物体を捕獲するピンセットになる一対の鋭い針先、電圧を加えると動くアクチュエータ、微小な動きや力や温度を測るセンサなどを組み込むことができる。



図1 ナノピンセットの顕微鏡像と、針先に捕らえたDNA分子の束

さらにマイクロマシンを超高分解能の透過電子顕微鏡に入れ、ナノ物体の形状を実時間で詳細に観察しながら、力や熱や電圧を加えその形の変化を実時間で記録する。同時に、加わった力と伸びや歪の関係、ナノ物体の太さと熱伝達の関係、印加電圧と電流の関係などを測る。形状の変化と、様々の特性の変化を合理的に説明する理論モデルを作り、それに基づいた計算と実験データを比較することでモデルの正しさを証明するとともに、実験で知ることのできなかった様々の現象を推定する。

【期待される成果と意義】

- (1) ナノ物体の形状と電気・機械・熱特性を、多面的かつ同時に計測する手法を確立する。個々のナノ物体の特性を詳細に知ることを可能にすることで、ナノテクノロジーの発展に貢献する。
- (2) 社会的に重要な工学的課題である、新材料の開発、機械の劣化メカニズムの解明、電子機器の信頼性向上などに対し、時間変化を含む極微レベルからの基礎的知見を提供し、その解決に資する点で意義がある。例えば下図は、ナノワイヤを破断する実験で、接点劣化機構の解明に役立つと考えている。

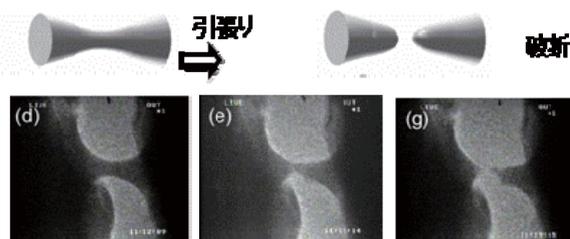


図2 ナノワイヤの引張り断破壊実験

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] 藤田博之, マイクロ・ナノマシン技術入門, 工業調査会, 東京, 2003.
- [2] G. Hashiguchi, H. Fujita, et al., Analytical Chemistry, vol.75, pp.4347-4350, 2003.

【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度  
251, 100千円

ホームページ等

<http://www.fujita3.iis.u-tokyo.ac.jp>