

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 格子、保型形式とモジュライ空間の総合的研究

名古屋大学・大学院多元数理科学研究科・教授

こんどう しげゆき
金 銅 誠 之

研究分野: 数物系科学、数学、代数学

キーワード: 代数幾何

【研究の背景・目的】

いくつかの方程式の共通零点の集まりとして定まる図形 (代数多様体) の構造や対称性および図形のある種の分類 (モジュライ空間) を行うことが代数幾何の大きな問題である。代数多様体の中で最も美しいものの一つに楕円曲線と呼ばれるものがある。楕円曲線は 19 世紀に見いだされた現代数学の雛形の一つと言え、代数・幾何・解析が見事に調和した世界を形作っているが、暗号理論への思わぬ応用など、現在でも重要な研究対象である。楕円曲線の 2 次元版として K3 曲面と呼ばれる代数多様体が 19 世紀に発見された。その名は、3 人の数学者 Kummer, Kähler, 小平邦彦の頭文字 K および、その神秘性から当時は未踏峰であったカラコルムの山名 K2 に由来する。K3 曲面はミラー対称性予想を通して数理物理学でも興味を持たれており、また K3 曲面の対称性を表す自己同型群は散在型有限単純群の一つマシュー群と不思議な関係がある。楕円曲線の周期理論の類似も成り立ち、1990 年代に Borchers によって見いだされた新しい保型形式論 (ある種の不変性を持った関数論) が K3 曲面のモジュライ空間の研究にも有用であることも徐々に分かってきた。

本研究課題の目的は、K3 曲面やその高次元版のカラビ・ヤウ多様体の対称性 (自己同型群) やモジュライ空間を、上で述べた代数幾何にとどまらない広い視点から研究することである。

【研究の方法】

上に述べた K3 曲面、散在型有限単純群論、Borchers の保型形式論は、格子理論 (座標平面的整数点の集合の一般化) を通じて結びついている。この観点に立ち研究を進めるのが大きな特色である。K3 曲面の位相不変量であるオイラー数は 24 であるが、一方、24 次元の格子はリーチ格子と呼ばれる格子の存在など、特別に良いクラスをなしており、この点に着目して研究を進める。また K3 曲面の周期領域は IV 型有界対称領域と呼ばれるものであり、Borchers の保型形式論はこの領域上展開される理論である。楕円曲線の場合、古典的な保型関数・保型形式がモジュライ空間の研究に有効であったが、K3 曲面の場合に Borchers の保型形式論を用いてモジュライ空間の幾何学を研究する。

数学においては研究者の研究交流が最も大切である。研究者の派遣・招聘や国際研究集会の開催

を行い広い視点からの研究を進めていく予定である。

【期待される成果と意義】

これまで代数曲線のモジュライの研究はそのヤビ多様体を通して、アーベル多様体の観点から研究されてきた。本研究においては、種数が小さい曲線に限るが、そのモジュライ空間の研究をアーベル多様体の代わりに K3 曲面とその自己同型の組の周期を用いる点が新しい発想である。またアーベル多様体の場合、テータ関数を用いた研究は古い歴史があるが、Borchers の IV 型領域上の保型形式を用いたモジュライ空間の研究は新しい理論の展開を促す可能性がある。K3 曲面のオイラー数が 24 であることを起点として、有限単純群論や保型形式論を取り込んだ研究を進めて行くことで、代数幾何学・数理物理学・有限単純群などが、K3 曲面を要とした新しい理論の雛形に発展することが期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ Shigeyuki Kondo, Niemeier lattices, Mathieu groups, and finite groups of symplectic automorphisms of K3 surfaces (Appendix by Shigeru Mukai), *Duke Math. J.*, vol.92, 593—603 (1998).

・ Shigeyuki Kondo, A complex hyperbolic structure for the moduli space of curves of genus three, *J. reine angew. Math.*, vol. 525, 219—232 (2000).

・ Shigeyuki Kondo, The moduli space of Enriques surfaces and Borchers products, *J. Algebraic Geometry*, vol.11, 601—627 (2002).

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度—26 年度
58,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.math.nagoya-u.ac.jp/ja/people/faculty-03.html#kondo>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 秒角撮像遠赤外線干渉計による星生成領域核心部の観測

大阪大学・大学院理学研究科・教授

しばい ひろし
芝井 広

研究分野：数物系科学、天文学

キーワード：光学赤外線天文学、太陽系外原始惑星系円盤、遠赤外線干渉計

【研究の背景・目的】

わが国初の本格的赤外線衛星「あかり」の成功など、波長1ミクロンから1mmまで赤外線全域にわたる高感度観測が実現し、天文学・宇宙物理学の多くの分野で新しい発見が相次いでいる。このような状況で、1秒角の空間分解能を目指して世界初の宇宙遠赤外線干渉計を完成させた。従来のミリ波、サブミリ波の分子線観測から星生成コアの中心ほど高密度であることがわかったり、サブミリ波でダストがコアに集中していることが観測されたりしているが、ダストの密度・温度分布を知るためには遠赤外線の高分解能観測が最も重要である。誕生しつつある天体の中心に向かう温度上昇度、密度集中度を観測的に求めたい。

【研究の方法】

ブラジル・サンパウロ近郊の気球フライト基地から科学観測用大気球に遠赤外線干渉計 FITE を搭載して、上空35000メートルから宇宙観測を実施する。図1は打上げ前の試験の様子である。観測天体候補はオリオン KL 周辺の星生成領域、大マゼラン雲の30 Dor などである。



図1 科学観測用大気球に搭載する宇宙遠赤外線干渉計 FITE の打上げ前試験の様子 (ブラジルの気球基地に於いて)

さらには干渉計の基線長の拡大と基線長変更機構の実装を行う。前述したように、我々は遅延線装置不要の像再生法を考案した (Matsuo et al. 2008)。この方法を用いるためには基線長を観測中に変化させる必要がある。

【期待される成果と意義】

宇宙遠赤外線観測の解像度の大幅な改善によって、星惑星形成現象の詳細な解明につながるとともに、予想されなかったまったく新しい現象が見えてくることが期待される。

一つの焦点は、原始惑星系円盤において、密度、温度分布を解明できる可能性があることである。従来のほとんどの理論・シミュレーション研究は、密度・温度分布が軸対称であることを仮定しているが、すばるによる近赤外線の高解像観測 (Fukagawa et al. 2004) などにより、軸対称でない場合も多いことが示唆されてきた。近赤外線では光学的に円盤を見通すことができないために、本当にどのような非一様性かは求められていない。遠赤外線観測からはダストの温度、密度分布について直接的なデータを取得できると期待される。我々が指摘したように (Matsuo et al. 2007) 円盤の外縁で重力不安定による巨大ガス惑星形成の可能性についても確認できる可能性がある。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- "New High Resolution Imaging Method For Fizeau Interferometer," Matsuo, et al., Publ. Astron. Soc. Jp., 60, 303, 2008.
- "Far-Infrared Interferometric Telescope Experiment (FITE): sensor optics," Kohyama, et al., in Proc. SPIE-7013, 70133O-10, 2008.
- "Planetary Formation Scenarios Revisited: Core-Accretion versus Disk Instability," Matsuo, et al., Astrophys. J., 662, 1282, 2007.
- "Spiral Structure in the Circumstellar Disk around AB Aurigae," Fukagawa, et al., Astrophys. J. (Letters), 605, L53-56, 2004

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
151,300千円

【ホームページ等】

http://www-ir.ess.sci.osaka-u.ac.jp/www_fite/

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 対称性の破れとゲージダイナミックス

名古屋大学・素粒子宇宙起源研究機構・特別教授

まずかわ としひで
益川 敏英

研究分野：理工系、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 (理論)

【研究の背景・目的】

対称性とその破れは現代素粒子論の最も基本的な概念である。標準模型においてはゲージ対称性が本質的であり、すべての素粒子の質量は対称性の自発的破れとして生成される。CP 対称性の破れに関する小林・益川理論もクォークの質量の存在が前提であり、質量の起源と密接に関わるものである。質量の起源は現代素粒子論の当面する最大の課題であり、超大型加速器実験 LHC の主要なターゲットとなっている。

本研究課題では素粒子物理学におけるあらゆる対称性とその破れを、とくにその力学的起源についてゲージダイナミックスを通じて探求する。

対称性の破れの有効理論である非線型表現は申請者が 60 年代から一貫して追求しているもので、超対称理論の枠内での研究や超対称性そのものの非線型表現の研究に至っている。非線型表現は分担者山脇らによって「隠れた局所対称性」の理論としてさらに発展している。

対称性の破れを下部のゲージダイナミックスで力学的に生成する仕事は、研究代表者らによって創始され、その後山脇らによってテクニカラー理論に適用されてコンフォーマル対称性 (スケール不変性) をもつゲージダイナミックスに基づく「ウォーキングテクニカラー」として発展している。

「ウォーキングテクニカラー」は結合の強さのスケール依存性 (「ランニング」の度合い) がほとんどなくて「ウォーク」するという意味で名付けられた。(図 1)

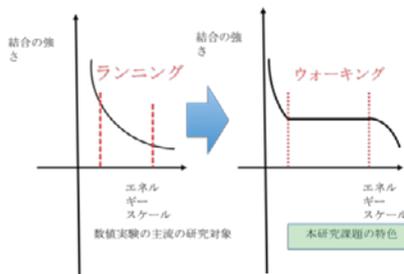


図 1：ウォーキングテクニカラー

名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構 (以下「機構」) で新たに導入する専用の高速並列計算機を用いて、解析的研究と数値実験の両面から対称性の破れとゲージダイナミックスの研究を集中的に展開する。これにより標準模型を超える新しい理論

の発見と検証を目指す。

【研究の方法】

素粒子模型の探索のため、様々な対称性の破れの帰結を研究する。関連するゲージダイナミックスを探るため、機構に導入される専用並列計算機を駆使して、「大 N_f QCD」など通常の QCD とは異なるコンフォーマルなゲージダイナミックスの格子上での数値実験を行う。これを (隠れた局所対称性を含む) ‘カイラル摂動論’ と併用することによりさらに威力を高める。これらに基づく素粒子模型を今後本格化する超大型加速器 LHC での実験で検証することを目指す。

【期待される成果と意義】

対称性の破れに関する研究は、2008 年ノーベル物理学賞に象徴されるように日本の独創が世界をリードしており、質量の起源に関するゲージダイナミックスの研究についても我々の研究を基盤に発展している。数値実験と併用することによりこの指導性をさらに高めることが期待される。広範に行われている通常の QCD の数値実験とは異なり、主要ターゲットは自ら提唱したコンフォーマルなゲージダイナミックスであり、従来の定性的分析を併用しつつ LHC での実験的検証を見据えた数値実験による定量的な結果を出すことで、革命期を迎えた素粒子論において世界をリードすることが期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ M. Maskawa and H. Nakajima, “Spontaneous Symmetry Breaking in Vector-Gluon Model”, Progress of Theoretical Physics, Vol. 52, 1326-1354 (1974)
- ・ K. Yamawaki, M. Bando and K. Matumoto “Scale-Invariant Hypercolor Model and Dilaton”, Physical Review Letters, Vol. 56, 1335-1338 (1986)

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度 - 26 年度
165,900 千円

【ホームページ等】

<http://www.kmi.nagoya-u.ac.jp/>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 電子弾性散乱による短寿命不安定核の 電荷密度分布測定

東北大学・電子光理学研究センター・教授 **すだ としみ**
須田 利美

研究分野：原子核 (実験)

キーワード：電子弾性散乱、短寿命不安定核、電荷形状因子、SCRIT, イオントラップ

【研究の背景・目的】

本研究の目的は、私の身の回りには安定に存在できない短寿命で崩壊する原子核の大きさ及び形(電荷密度分布)を、高エネルギー電子をそれらに照射しその散乱具合を調べる(電子散乱)ことで決定することです。電子散乱は、原子核を見る電子顕微鏡に相当します。

非常に短時間しか存在できないこれらの原子核は、原子核反応の連鎖である宇宙での元素合成過程では非常に重要な役割を果たすことが知られています。その原子核反応率は、関与する原子核の構造によって大きく左右されるので、それらの構造をきちんと調べることは元素合成過程の理解に重要です。最近の加速器及び実験技術の進歩により、生成困難なこれら短寿命不安定核が実験室での研究対象となりました。いままでの研究から、安定な原子核(これはとても詳しく調べられています)では知られていなかった特異な構造をもつと考えられる短寿命不安定核が発見されてきています。

原子核の大きさや形などの構造を調べるには、上記の電子散乱という方法が最適です。約半世紀ほど前に安定な原子核の構造が電子散乱によって詳細に調べられました(1961年 R. Hofstadter、ノーベル物理学賞)。

しかしながら生成が困難でしかも短寿命で崩壊してしまう原子核に対する電子散乱実験はあまりにも難しすぎて、望まれていながらも誰もこの研究が出来ませんでした。我々は、この壁を打ち破る革新的なアイデアの着想を得、長い時間がかかりましたがその新方法により短寿命不安定核の電子散乱実験が出来ることを実証しました。

本研究ではこの実験技術により世界で初めて短寿命で崩壊する原子核の内部構造を調べます。

【研究の方法】

この方法は高エネルギー電子蓄積リングを利用します。周回する電子ビームが作り出す静電ポテンシャルで電子ビーム上に研究対象の原子核イオンを捕獲させます。この方法によるとイオンは電子ビームから逃げ出せずビーム上に滞在してくれるので非常に少数のイオン数

で実験ができます。上図のように電子ビーム上に電極を設置し捕獲イオンの分布範囲を制限します。散乱電子の測定を容易にすると同時に、電極の印



加電圧の制御でイオンの入射、捕獲及び吐き出しが自由に制御できるので、短寿命の原子核を標的とすることが出来るわけです。

研究は、世界最大強度で短寿命不安定核を生成することが出来る独立行政法人・理化学研究所のRI ビームファクトリー(RIBF)で行います。このイオンの捕獲装置を装着した高エネルギー電子蓄積リングがRIBFで稼働しています。本研究費で散乱電子測定系を建設し、 ^{132}Sn 核という寿命40秒で崩壊する原子核の荷電分布を決定します。これは陽子、中性子ともに魔法数と呼ばれるとても特別な原子核で、この短寿命不安定核の形と大きさを世界で初めて明らかにすることができるのです。

【期待される成果と意義】

電子散乱は原子核研究にとって最も信頼性の高い研究方法で、この実験方法で精密に短寿命不安定核の形と大きさを決定することができます。いままで全く不可能と思われていたこの研究を、独自のアイデアで世界に先駆けて開始することができ、原子核の研究を大きく進めることが期待できます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. "First Demonstration of Electron Scattering Using a Novel Target Developed for Short-Lived Nuclei". T. Suda *et al.*, Phys. Rev. Lett. 102(2009) 102501.
2. "Novel Internal Target for Electron Scattering off Unstable Nuclei". M. Wakasugi *et al.*, Phys. Rev. Lett. 100(2008) 164801.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
156,200千円

【ホームページ等】

<http://www.lns.tohoku.ac.jp/~scrit>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 多自由度放射光X線二色性分光による強相関係界面 新規電子相の研究

東京大学・大学院理学系研究科・教授

ふじもり あつし
藤森 淳

研究分野：数物系科学

キーワード：遷移金属酸化物、界面、軟X線磁気円二色性、光電子分光、線二色性

【研究の背景・目的】

酸化物界面に出現する新しい電子相におけるスピン・軌道・電荷整列の可能性、スピン・軌道相互作用の重要性が近年盛んに議論されている。また、異種の基底状態間の界面の新規電子状態に大きな関心が集まっている。本研究では、界面電子状態の測定に最も適した手法であるX線磁気円二色性(XMCD)、X線磁気線二色性(XMLD)等を用いて、これらの新規電子状態を解明する。このため、磁場方向と偏光方向を独立に制御できる多自由度XMCD, XMLD測定系を高エネルギー研フotonファクトリー(KEK-PF)と協力して開発する。

【研究の方法】

界面に出現する新規電子状態を明らかにするために、ベクトル型マグネットを用いて磁場方向を、偏光可変アンジュレータを用いて偏光方向をそれぞれ独立に制御できる多自由度X線二色性測定系を開発し、系統的な測定を行う。スピン・軌道整列が予言されている系について、高速偏光スイッチングと組み合わせた高感度測定を行い、スピン・軌道相互作用の重要性が指摘されている系については、XMCD総和則を用いて軌道磁気モーメントを定量的に評価する。異なった基底状態をもつ物質の界面における相共存・相競合を明らかにするために、元素選択性を利用した、界面双方でのオーダーパラメータの評価を行う。基板圧力下の極薄膜の界面、超格子中の界面におけるスピン・軌道整列も、上記の多自由度X線二色性測定系を用いて解明する。X線二色性ととも、共鳴軟X線散乱、角度分解光電子分光の測定も行なう。

【期待される成果と意義】

(1) 超薄膜、超格子における新規電子状態が明らかになる。例えば、常磁性金属SrVO₃、強磁性金属SrRuO₃、(La, Sr)MnO₃などの超薄膜で反強磁性・軌道秩序を観測できれば、次元性の低下による金属-絶縁体転移の機構を特定できる。同じ薄膜において、基板圧力がどのように電子状態を変化させるかも明らかになる。
(2) 界面に出現する新規電子状態の磁性・軌道整列が明らかになる。とくに、バンド絶縁-バンド絶縁体界面LaAlO₃/SrTiO₃における金属状態の出現機構、スピン-軌道相互作用が金属状態出現・超伝導発現に果たす役割に知見を与える。反強磁性絶縁体同士の界面に出現する強磁性金属状態の出現機構の解明にもつながる。

(3) 異なった基底状態をもつ物質の界面における相共存・相競合の同定・機構が解明される。非磁性体-反強磁性体界面の強磁性、超伝導体-強磁性体界面におけるスピン分布、軌道状態が明らかにされる。

(4) 異方的な強相関物質における局所磁性研究のツールとしても威力を発揮することが期待される。例えば、銅酸化物超伝導体の磁束状態・磁場誘起反強磁性状態、鉄化合物超伝導体の異常な帯磁率、磁場誘起超伝導状態などの研究が対象となる。近藤状態における軌道揺らぎとその磁場依存性についても実験的情報が得られる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] T. Koide et al., Evidence for a close correlation between the magnetic moments, lattice distortions and hybridization in LaMnO₃ and La_{1-x}Sr_xMnO_{3+δ}: Doping-dependent magnetic circular x-ray dichroism study, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 246404.
- [2] M. Takizawa et al., Photoemission from buried interfaces in SrTiO₃/LaTiO₃ superlattices, Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 057601.
- [3] H. Wadati et al., In-situ photoemission study of Pr_{1-x}Ca_xMnO₃ epitaxial thin films with suppressed charge fluctuations, Phys. Rev. Lett. **100** (2008) 026402.
- [4] K. Yoshimatsu et al., Origin of metallic states at the heterointerface between the band insulators LaAlO₃ and SrTiO₃, Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 026802.
- [5] M. Takizawa et al., Remote hole-doping of Mott insulators on the nanometer scale, Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 236401.
- [6] K. Yoshimatsu et al., Dimensional-crossover-driven metal-insulator transition in SrVO₃ ultrathin films, Phys. Rev. Lett. **104** (2010) 147601.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
161,600千円

【ホームページ等】

http://wyvern.phys.s.u-tokyo.ac.jp/f/Research/xmcd/xmcd_en.htm
fujimori@phys.s.u-tokyo.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 分子性導体における極限 π 電子物性

理化学研究所・加藤分子物性研究室・主任研究員

かとう れいぞう
加藤 礼三

研究分野：数物系科学

キーワード：分子性固体・有機導体、電気・磁氣的機能、強相関係、有機電子材料・素子

【研究の背景・目的】

固体中の電子は、置かれた環境に依存して多彩な性質を示し、これが電子機能の多様性を産み出している。特に、電子を収容する軌道の性格は極めて重要である。分子性固体において (p および d 軌道から構成される) π 電子系は、1) 単純で明快な電子構造を持つ、2) 強相関電子系、低次元電子系の宝庫である、3) 巨大な外場応答が可能、4) 柔らかく軽い、5) π 電子を収容する「分子」は多様な内部自由度を有し、また化学修飾が容易、6) ウェットプロセスで高純度試料が得られ、多量のエネルギーを要する高温プロセスが不要、等の特徴を持ち、電子物性の基礎および応用の両面から国内外で活発な研究が行われている。

本研究は、電気伝導性分子集合体 (分子性導体) を舞台として、化学的手法・物理的手法を駆使して、 π 電子の機能を極限まで高めること、および π 電子物性の可能性を究極まで追求することを目的とする。つまり、分子性導体の単結晶を用いて π 電子の物性値 (超伝導転移温度、移動度、光応答特性値等) を極限まで高めるとともに、 π 電子が示す機能の可能性 (例えば、電場誘起超伝導、光誘起超伝導等) を、物質開発・輸送物性・磁気物性・光物性の総合的観点から徹底的に追求する。

【研究の方法】

1. デュアル機能 (遍歴/局在スピン) π 電子の極限物性

π 電子だけで伝導電子—局在スピン系が構築されている新しいタイプの遍歴/局在電子相互作用系物質について、電子スピン共鳴やサイクロトロン共鳴等を用いて、微視的な電子状態、特に極低温での基底状態を明らかにして、その近藤効果的な振舞いの本質を明らかにする。

2. 強相関 π 電子 FET (Field Effect Transistor) の極限性能

分子性導体の薄片単結晶を、シリコンやプラスチック基板上に密着させて作製した単結晶デバイスを用いて、移動度の極限、バンドフィリング制御の極限 (1つの目標として電場誘起超伝導) 等に挑む。また、電界効果と組み合わせた光誘起相転移等の、 π 電子の光伝導物性開発を行う。

3. ディラック π 電子の極限機能

ディラック π 電子系 α -(ET)₂I₃ へのキャリア注入を試みる。キャリアの注入法としては、電界効果および光照射を用いる。磁気抵抗・ホール効果

からランダウ準位の観測を試みる。ディラックコーンの傾きによる効果から生じる新しい電子物性の探索を行い、ディラック π 電子の物性を極める。同時に、新たなディラック π 電子系の探索を行う。

4. π 電子の超高压下極限物性

結晶格子が柔らかく圧力の影響を受けやすい分子性導体に対し、ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压下での輸送現象測定を行い、超高压下における π 電子系の極限物性探索を行う。

【期待される成果と意義】

本研究では、オリジナルな物質系とオリジナルな測定手法を用いて、物理学者と化学者との緊密な連携に基づく物質・物性開発を行う。「分子系 π 電子でどこまで可能か」という問題を極めることによって、新しい学際的学術領域の形成が期待できる。本研究の成果は、 π 電子系の基礎学理を確立すると同時に、将来の分子エレクトロニクスにおける物質開発・デバイス開発の方向性を明確にすると期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Kosaka, H. M. Yamamoto, A. Nakao, M. Tamura, and R. Kato, “Coexistence of Conducting and Magnetic Electrons Based on Molecular π -Electrons in the Supramolecular Conductor (Me-3,5-DIP)[Ni(dmit)₂]₂”, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 3054-3055 (2007).
- N. Tajima, S. Sugawara, R. Kato, Y. Nishio, and K. Kajita, “Effect of the Zero-Mode Landau Level on Interlayer Magnetoresistance in Multilayer Massless Dirac Fermion Systems”, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 176403 (2009).
- Y. Kawasugi, H. M. Yamamoto, N. Tajima, T. Fukunaga, K. Tsukagoshi, and R. Kato, “Field-Induced Carrier Delocalization in the Strain-Induced Mott Insulating State of an Organic Superconductor”, *Phys. Rev. Lett.*, **103**, 116801 (2009).

【研究期間と研究経費】

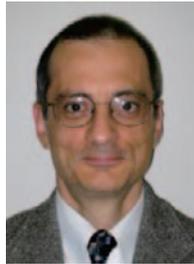
平成22年度—26年度
167,500千円

【ホームページ等】

<http://www.riken.jp/lab-www/molecule/>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 超伝導量子ビットを用いた量子情報処理

理化学研究所・単量子操作研究グループ

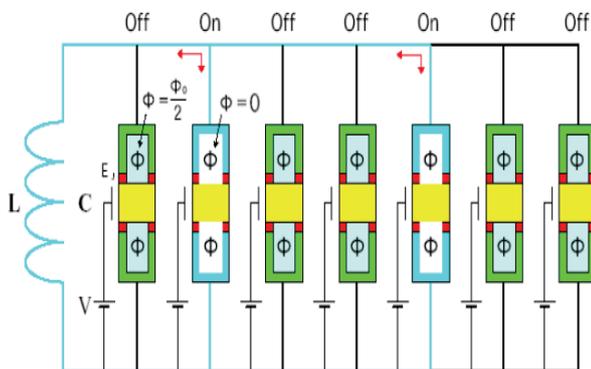
デジタル・マテリアル研究チーム・チームリーダー ふらんこ のり Franco Nori

研究分野：理論物理

キーワード：超伝導量子ビット、ナノメカニカル共振器、電磁的共振器

【研究の背景・目的】

人工原子としての超伝導量子ビットに関する研究を行い、自然にある原子に対するものと類似した問題を追及します。例えば、こうした“巨大人工原子”がどのように、光、伝搬路、電磁的共振器、機械的共振器等と相互作用するか、という課題を含みます。そのために、量子光学、原子物理、固体物理、ナノサイエンス、コンピューターサイエンスに及ぶ、分野横断的な理論的研究を行います。具体的には、光子がどのように量子ビットと相互作用するか、超伝導量子ビットを用いたレージング現象、単一光子生成器、光子数制御 (Fock 状態生成)、共振器による量子ビットカップリング、量子ビットによる共振器カップリング、及び量子測定という課題を扱います。



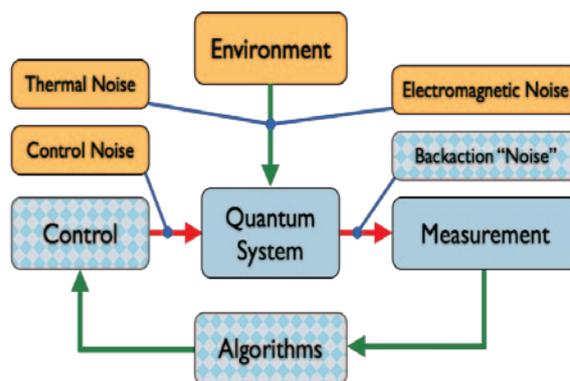
【研究の方法】

原子物理学、量子光学、凝縮系物理学、ナノサイエンス、また量子情報処理の知識を用い、解析的、及び数値的研究を行います。

【期待される成果と意義】

実験を難しくしているいくつかの問題点の解決を目指しています。例えば、量子ビット間のカップリングの制御等です。また、超伝導量子ビットの改良、集積可能な回路のデザイン、また超伝導量子ビットを用いた原子物理現象に関しても研究を行います。さらに、超伝導回路における量子状態のコヒーレンス時間をどのように延長するかと

いうことを解析することです。例えば、量子状態の測定結果を用いた量子フィードバック制御による方法などです。本研究分野における新たな研究の方向性の探索も行います。



【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- J.Q. You, F. Nori, Phys. Today **58** (11), 42 (2005).
- S. Ashhab, et al., Phys. Rev. B **77**, 014510 (2008).
- L. Zhou, et al., Phys. Rev. Lett. **101**, 100501 (2008).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
62,800千円

【ホームページ等】

<http://dml.riken.jp/>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 川井型装置による核マントル境界の温度圧力発生とマントル最深部実験地球科学の展開

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授 **よねだ あきら**
米田 明

研究分野：固体地球惑星物理学

キーワード：地球・惑星内部構造

【研究の背景・目的】

焼結ダイヤモンドアンビルを用いた川井型装置 (KWA) により地球の核マントル境界 (CMB) の温度圧力 (136 GPa、 ~ 4000 K) を発生し、マントル最深部実験地球科学を展開する。川井型マルチアンビル装置 (KMA) とダイヤモンドアンビルセル (DAC) は実験地球深部科学における二大手法である。発生圧力は DAC が勝るが、試料容積では KMA は DAC のそれより 4 桁以上大きく、その利点を生かした研究を行う。現時点で予定しているマントル最深部物性測定は、ポストペロブスカイトのレオロジー、電気伝導度、熱伝導度測定である。マントルと核との、力学的、電磁気学的、熱学的結合様式を理解することは、金属核を有する地球型惑星の特徴を理解する鍵となるものである。

【研究の方法】

写真は 2007 年に岡山大学に設置された新型プレスである。近年の機械制御技術の粋をこらしたものである。



新型 6 軸プレス全景：各軸の推力は 600 トンである。各軸独立に精密制御できることが特徴である。図中に示したスケールは約 2m である。

一方、最近の有限要素法解析のソフトウェア面での進歩も著しい。これらの学術的・技術的進歩を背景として、(1) 新型 6 軸プレスの活用、(2) 圧媒体・ガスケット材の熱伝導率・流動構成則の決定、(3) 有限要素法による温度圧力発生シミュレーションの確立、を要素技術として CMB の温度圧力 (136 GPa、 ~ 4000 K) の実現とマントル最深部実験地球科学の展開を行っていく。

岡山大学ではボロンをドーパしたダイヤモンド (半導体ダイヤ) をヒーター材として開発し 3800 K までの高温発生に成功している。半導体ダイヤ

ヒーターを KWA に組み込むことにより、CMB の温度圧力条件を達成できる見通しがある。本研究計画での設備面でのニーズはセルの精密化・小型化に役立つ観察装置、コンピューター、スパッタリング装置などである。本研究期間中に順次整備していく。

【期待される成果と意義】

本研究計画で期待される最大の成果は、ポストペロブスカイト相の各種物性のその場測定データの蓄積である。

近年、Hi-net 等の稠密高感度地震観測網データとそれに対する解析法の進歩により CMB 直上 (D 層) の大局的かつ地域的描像が明らかになってきている。また電磁気学的内部探査の発展やマントル対流計算などの新アルゴリズム開発も著しい。この時機に観測と理論の間を繋ぐ本実験研究を遂行する意義は大きい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Ito et al., Pressure generation and investigation of the post-perovskite transformation in MgGeO_3 by squeezing the Kawai-cell equipped with sintered diamond anvils. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **293**, 84-89, 2010.
- ・ Yoneda et al., Heat capacity measurement under high pressure: A finite element method assessment, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **174**, 309-314, 2009.

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度 - 26 年度
155,200 千円

【ホームページ等】

<http://www.misasa.okayama-u.ac.jp/~hacto/>

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

かわはた ほだか
川 幡 穂 高

研究分野：数物系科学、地球惑星科学、地質学、環境地質

キーワード：環境変動、地球変動予測、海洋科学、地球化学、生物硬化作用

【研究の背景・目的】

＜海洋酸性化問題：二酸化炭素に関連したもう一つの地球環境問題＞

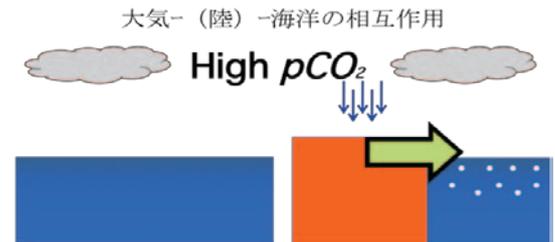
大気中の二酸化炭素濃度 (PCO_2) は産業革命以前の 280ppm から 380ppm まで増加している。これにより地球温暖化問題に至るといふ道筋はプロセスが複雑なため議論が多い。現在、人為起源の CO_2 の約 30% が海洋に吸収されている。 CO_2 は酸性気体なので、海洋の表層水の平均 pH は産業革命以前の 8.17 から現在 8.06 と下がってきている。海洋酸性化問題は「海水 pH の減少」に起因し、着実に溶解反応は進行しているので、状況は将来確実に悪化すると予想され、「海洋酸性化」として、もう一つの地球環境問題として近年注目をあびている。

これは、海洋でよくみられる炭酸塩殻をもつ生物群に損傷を与えるとともに、5500 万年前と同様、深海底での大量絶滅を引き起こすと危惧される。本研究では、①水環境の酸性化に伴う生物の応答を精密飼育実験で明らかにする。②酸性化の生物起源炭酸塩の微小領域への影響を解析する。③「大量絶滅海洋酸性化説」を検証する。④中和機能がある陸の風化過程を明らかにする。最終的に、地球表層 (大気圏、水圏、生態圏、岩石圏) システム全体の中で、海洋酸性化の位置づけ、pH を支配する地球システムと将来の生物圏への影響を明らかにする。

【研究の方法】

本研究の目的の遂行に際し 4 つの方面より研究を行う：①生物の海洋酸性化への応答を解析するため、環境をコントロールした精密飼育実験 (サンゴ、有孔虫、翼足類) を行う。②長尺サンゴコアを用いた近過去の pH 変動復元と海洋酸性化が生物起源炭酸塩の微小領域にどのような影響を与えるのかを調べるため、ICP-MS レーザーアブレーションを用いて微小領域の化学分析を行う。③「大量絶滅海洋酸性化説」の検証のため白亜紀と P/E 境界での酸性化を復元する。④酸性化を抑制する陸の働きを明らかにするため、河川、地下水、湧水などを国内と世界の大河を対象に現代の水循環を水質の観点より分析・解析する。

実験室での飼育実験、微小領域化学分析、現代の水質フィールド調査、過去の環境復元という 3 つを組み合わせ研究を行う。



【期待される成果と意義】

海洋酸性化は、人為起源 CO_2 が放出されている限り深刻化する緊急の課題である。2050 年には南極海表層水の一部でアラレ石に不飽和となり、私のクリオネ (翼足類) の事前酸性化実験では、翼足類の息は厳しくなる。翼足類は日本のシロザケの重要な食料で漁業にも影響を与える。私の「大量絶滅海洋酸性化仮説」では深海底生態系に深刻な影響を与えると予想している。2012 年に発行予定の IPCC 第 5 次報告書 (AR5) への貢献も期待され、低炭素社会を巡る議論にも海洋酸性化は非常に合理的な根拠を与えると考えられる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

川幡穂高, 海洋地球環境学—生物地球化学循環から読む. 東京大学出版会, ISBN978-4-13-060752-0, 1-280, 2008.

Kleypas, J.A., Feely, R.A., Fabry, V.J., Langdon, C. Sabine, C.L. and Robbins, L.L., Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research, report of a workshop held 18–20 April 2005, St. Petersburg, FL, sponsored by NSF, NOAA, and the U.S., 1-88, 2006.

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度—26 年度
109,700 千円

【ホームページ等】

<http://ofgs.ori.u-tokyo.ac.jp/~ofgs/member-j.html>
http://www.k.u-tokyo.ac.jp/pros/person/hodaka_kawahata/hodaka_kawahata.htm
kawahata@aori.u-tokyo.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系(数物系科学)



研究課題名 初期太陽系における鉱物-水-有機物相互作用：惑星と生命の起源物質初期進化

東京大学・大学院理学系研究科・教授

ながはら ひろこ
永原 裕子

研究分野：数物系科学、地球惑星科学

キーワード：地球惑星物質

【研究の背景・目的】

初期太陽系における物質進化は、無機鉱物、有機物、水の複雑な相互作用によることが始原物質の研究から明らかになりつつある。それらは微惑星や惑星の多様性を作りだし、地球や海、生命の原材料物質へと引き継がれた。重要なことは、相互作用こそが進化を担ったということである。起源物質を知り、分子雲より地球の生命につながる一連の過程を理解するには、この相互作用の実態を解明する必要がある。従来は個別の研究分野において進められていた研究を統合し、本研究はこの最先端課題に、物質科学の統合的な手法により取り組む。具体的には、原始太陽系円盤中および微惑星における無機鉱物、氷・鉱物中の水、有機物の相互作用とその進化に関する、実験・モデル化と(順問題)と、雪微隕石等もっとも始原的物質中の鉱物・有機物のその場分析を含む詳細分析(逆問題)の連携により解明する。

【研究の方法】

以下の4つのテーマに取り組む

- 1) 原始惑星系円盤での有機物形成可能性の評価：原始惑星系円盤により近い条件での反応実験および円盤での鉱物分布モデルと合わせ、円盤での有機物形成効率を定量的に評価
- 2) 母天体での水質変成・熱変成の定量指標の作成：炭素質コンドライトから抽出した不溶性高分子量有機物と無機鉱物の水質変成実験・熱変成実験
- 3) 南極雪微隕石中の鉱物・有機物相互作用の解明：南極雪微隕石の組織・鉱物その場観察、微小部同位体分析、年代測定、有機物分析、全岩元素組成分析、希ガス分析を系統的に実施し、微隕石中の鉱物・有機物相互作用を解明
- 4) 地球・生命材料物質の形成・進化の解明：1)-3)の結果を統合し、初期太陽系における物質進化の統合的な描像をえがく

【期待される成果と意義】

本研究により、惑星と生命の起源物質につながる初期太陽系の物質進化に関する世界の最先端のサイエンスを展開することができる。さらに、南

極において日本が採取する試料を日本チームにより完全に世界の最先端のサイエンスに仕立てることができる。ここで培われるチーム力は、将来の惑星探査におけるリターンサンプル分析を国際競争の下でおこなう際にも非常に有効であり、本研究計画でつくられるチームは将来の宇宙物質科学分野のコアとなることが期待される。

また、無機-有機-水相互作用の定量指標の確立は、円盤進化モデルに組み込むことで、系外惑星系における物質分布、期待される赤外-電波スペクトルの予測につながる。これは、今まさに始まろうとしている系外惑星系探査における生命探査、ハビタブルプラネット探しに重要な指標を与える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Nagahara, H., Ozawa, K., Ogawa, R., Tachibana, S., and Chiba, H. (2010): Laboratory condensation and reaction of silicate dust. In "Cosmic Dust - Near and Far", Th. Henning, E. Grün, J. Steinacker (eds.), in "*Cosmic Dust*", ASP Conf. Ser., 403-410.
- Yabuta, H., Williams, L. B., Cody, G. D., Alexander, C. M. O'D. and Pizzarello, S. (2007) The insoluble carbonaceous material of CM chondrites: A possible source of discrete organic compounds under hydrothermal conditions, *Meteoritics and Planetary Science* 42, 37-48.
- Sakamoto, K., Nakamura, T., Noguchi, T., Tsuchiyama, A. (2010) A new variant of saponite-rich micrometeorites recovered from recent Antarctic snowfall. *Meteoritics Planet. Sci.*, (in press)

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
166,800千円

【ホームページ等】

http://ns.eps.s.u-tokyo.ac.jp/jp/member/index.php?_urid=1389&_lang=ja



研究課題名 分子地球化学：原子レベルの状態分析に基づく地球と生命の進化史の精密解析

広島大学・大学院理学研究科・教授

たかはし よしお
高橋 嘉夫

研究分野：地球化学

キーワード：物質循環

【研究の背景・目的】

本研究では、X線吸収微細構造法(XAFS法)などにより固液界面での元素の局所構造を精密に調べる(化学種解析)ことで、海洋での微量元素の固相への吸着反応に伴う同位体分別のメカニズム解明を行うと共に、それに基づいた精密な古海洋の酸化還元状態の解析を行う。

さらに、微量元素の水溶性は固相への吸着反応に規定されるので、固液界面の元素の局所構造の情報を基に、元素の水溶性を支配する因子を明らかにする。こうした元素の固液分配を酸化的な海洋と還元的な海洋を想定した系で調べ、地球の進化に伴う酸化還元状態の変化により微量元素の溶解性がどのように変わったかを明らかにする。そして、これらの結果と生体必須元素の変遷とを比較し、地球の酸化還元環境の変化史-元素の水溶性-生命進化を関連づけた分子地球化学的・生物地球化学的研究を行う。

【研究の方法】

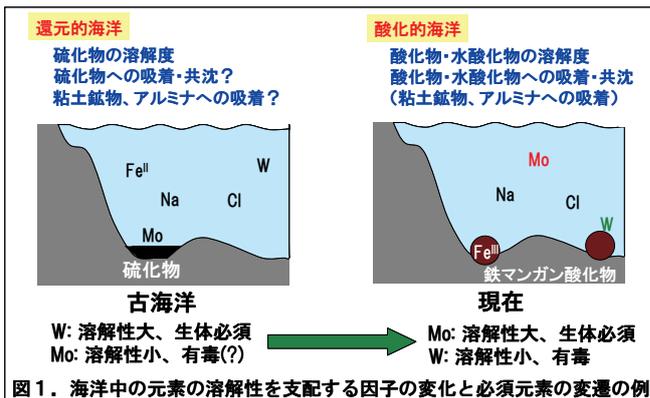
本研究では、XAFS法などを用いた化学種解析(主に固液界面での元素の局所構造)に基づき様々な元素の海洋環境での同位体比の変動(マルチコレクター型ICP質量分析計を使用)を理解する。対象元素は主にMo、W、Se、Teなどであり、その結果に基づき古海洋の酸化還元状態を精密に推定する。次に固液界面での化学種の情報に基づき、様々な元素の溶解性を系統的に理解し、微量元素の生物必須性ととの関係を明らかにする。さらに固液分配実験を現在の酸化的な地球と過去の還元的な地球を想定した系で実施し、様々な酸化還元状態での元素の水溶性を明らかにすることで、地球の歴史(=酸化還元状態の変動)と微量元素の生体必須性の変遷の関係を解明する。

【期待される成果と意義】

- (1) 固液界面での化学種の解明に基づく海洋環境でのMo及びW同位体比の分別挙動の解明:水酸化鉄が沈澱する程度に地球表層が酸化的だった場合にMo同位体比は変動しないが、さらに酸化的でマンガン酸化物が沈澱する環境では、Mo同位体比が変動するとの我々の仮説を実験室系および天然系での研究に基づき明らかにする。
- (2) 固液界面の元素の存在状態解明に基づく元素の水溶性や生体必須性の解明:海水中の微量元素の溶存濃度は、水酸化鉄などへの吸着平衡によ

り支配される。本研究では、酸化的および還元的環境における微量元素の水溶性やそれを支配する化学反応を化学種解析に基づいて明らかにする。さらに、元素の性質の考察や原子レベルの化学種の解明が、元素の生体必須性までリンクしていることを示す(図1)。

(3) 本研究のように原子・分子の情報に基づきマクロな現象を理解しようとする視点は、ミクロとマクロの両方を同時に意識した研究としてユニークである。本研究は21世紀の地球化学が目指す将来像のひとつとして、「分子地球化学」の重要性をアピールし、その実践を行うという点で重要である。



【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- T. Kashiwabara, Y. Takahashi, and M. Tanimizu, A XAFS study on the mechanisms of isotopic fractionation of molybdenum during its adsorption on ferromanganese oxides. *Geochem. J.*, 43 (2009) e31-e36.
- T. Harada and Y. Takahashi, Origin of the difference in the distribution behavior of tellurium and selenium in a soil-water system, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72 (2008) 1281-1294.
- 高橋嘉夫, XAFS が拓く分子環境地球化学、放射光, 21 (2008) 204-212.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
54,500千円

【ホームページ等】

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/ytakaha/>
ytakaha@hiroshima-u.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 高エネルギー密度物質準安定相生成と凍結機構解明

大阪大学・大学院工学研究科・教授 **こだま りょうすけ**
見玉 了 祐

研究分野：数物系科学、プラズマ科学

キーワード：高エネルギー密度状態、パワーレーザー、高圧物性

【研究の背景・目的】

高出力レーザーでテラパスカル以上の圧力を実現し、地上に存在していない高エネルギー密度状態のダイヤモンドを生成しその物性を明らかにする。これは通常のダイヤモンドの2倍以上の密度をもった高密度状態の固相 (BC8) である。このために世界的競争力を持った独自のレーザー圧縮・ダイナミック診断技術を組み合わせる。さらに高エネルギー密度状態としてすでに取り出しに成功している金属シリコンをもとに、非平衡・超高压状態で実現できる高エネルギー密度新物質の準安定相凍結機構を明らかにし、安定に高エネルギー密度ダイヤモンドを取り出す手法を探索することを目的とする。

【研究の方法】

ダイヤモンドを大型高出力レーザー (数 100J) で動的圧縮し、テラパスカル以上の圧力により高エネルギー密度状態の固相 (BC8) ダイヤモンドを実現する。動的圧縮技術、ダイナミック診断技術の最適化のために繰り返し中出力レーザー (数 10J) を利用することでショット数の限られた大型装置利用においてピンポイントで最適なショット行う。

高エネルギー密度ダイヤモンドのみならず高エネルギー密度状態としてすでに取り出しに成功している金属シリコンをもとに動的圧縮が誘起する物質相転移-圧力解放-準安定相凍結ダイナミクスをその場診断する。さらに回収試料の詳細な材料分析を行い、ダイナミック診断結果と総合的な解析を行うことで、非平衡高エネルギー密度新物質生成と準安定相凍結の機構を明らかにする。

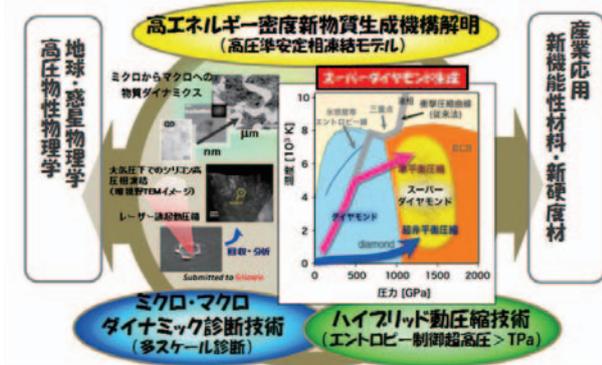


図1 高エネルギー密度新物質アプローチの手法

【期待される成果と意義】

レーザーで高エネルギー密度状態を実現しその物理過程を調べることは、新しい学際物理として重要な課題である。テラパスカルを超える超高压の高エネルギー密度状態にありながら比較的低温の固体相である物質状態を実現し、高エネルギー密度固体状態の物質を取り出すことが期待でき、様々な可能性が広がる。例えばシリコンと同じ格子構造であるダイヤモンド高密度状態 (BC8) は、ダイヤモンドより硬度の高い物質として理論的に予測されている。これを、安定な物質として取り出すことができれば、超高硬度材による加工プロセスを飛躍させる可能性につながる。さらに高エネルギー密度状態を凍結する機構が明らかになれば、従来にないタイプの物質創生など材料科学や高圧物性物理の進展に役立つ。結果として、世界に先駆けて、高エネルギー物質という新物質創生・開発を現実的なものとするのが期待できる。

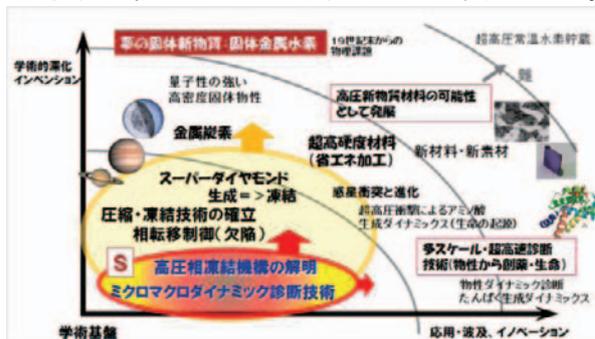


図2 高エネルギー密度物質探索の意義と可能性

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Miyanishi et al., "EOS measur. of pressure standard materials using laser-driven ramp compression technique.", J. Phys. 215, 012199-1-4 (2010)
- ・ R. Kodama et al., "Plasma devices to guide and collimate a high density of MeV electrons" Nature 432, 1005-1008 (2004).

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
168,300千円

【ホームページ等】

<http://www.eie.eng.osaka-u.ac.jp/ef/>



研究課題名 原子ナノワイヤー内包ナノチューブの創製と物性探索

名古屋大学・大学院理学研究科・教授 しのはら ひさのり 篠原 久典

研究分野: ナノ構造科学、物理化学

キーワード: カーボンナノチューブ、金属内包フラーレン、ナノワイヤー、ピーポッド、HRTEM

【研究の背景・目的】

本研究では私の研究グループが世界をリードする、フラーレン類や種々の機能性分子を内包する新規ナノチューブ・ハイブリッド物質(通称、ナノピーポッド(nano-peapod))の創製、評価と応用を行う。本研究グループは、ピーポッドを高効率で合成できる方法を開発することに成功し、さらにカーボンナノチューブ内部ではフラーレンや金属内包フラーレンが容易に融合反応を起こすことを発見した(図1参照)。本研究では、このような研究進展を背景に、さらに独創的・先駆的な研究を格段に発展させるため、フラーレン類のみならず、金属ナノワイヤー、炭素ナノワイヤーなどの多種多様な機能性分子を内包した新奇ナノピーポッドの高効率汎用合成法を確立し、その構造・物性を詳細に調べる。

【研究の方法】

種々のフラーレン(C₆₀~C₁₀₀程度)および金属内包フラーレンを中心として、さまざまな物質を単層カーボンナノチューブ、2層カーボンナノチューブあるいは多層カーボンナノチューブに

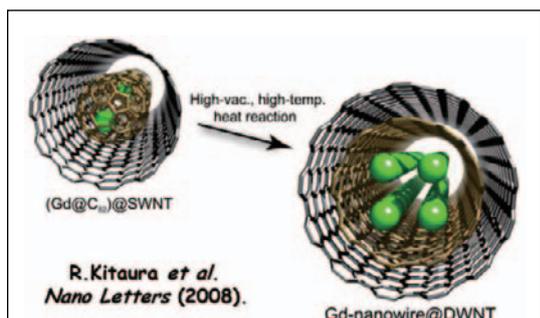


図1 超極細の金属原子ナノワイヤー内包CNT内包した、ハイブリッド・カーボンナノチューブの高純度合成を行う。また、新規ピーポッドの構造・物性相関を詳細に調べるために、FETタイプデバイスを用いた1本1本の常温~極低温における電子輸送特性およびデバイス特性計測と、高分解能TEM観察および各種分光測定を組み合わせた手法を開発する(図2参照)。この手法を駆逐することで、内包物質-CNT間の強い相互作用に由来する特性を、構造・電子状態と関連付けて明らかにすることができる。

【期待される成果と意義】

本研究は、新規炭素系ナノ構造物質であるハイブリッド・カーボンナノチューブ(ピーポッド)物質において、ナノチューブへのドーピング技術、ピーポッドを出発物質として用いたナノリアクターへの展開、およびピーポッド・ナノデバイス形成技術

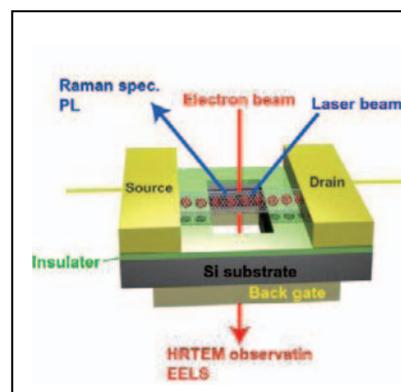


図2 ピーポッド観測システム

世界に先駆けて確立する。また、金属ナノワイヤー内包の単層、あるいは2層カーボンナノチューブは極めて新規で興味深く、これらの電子物性、電子輸送特性や磁気物性はこれまでのカーボンナノチューブにはない新奇な特性が出現する可能性が高い。これは、金属ナノワイヤーからカーボンナノチューブへのヘビーな電荷移動が期待されるからである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. R.Kitaura, H.Shinohara et al. "Fabrication of Metal Nanowires in Carbon Nanotubes via Versatile Nano-Template Reaction" *Nano Lett.* **8**, 693-699 (2008).
2. R.Kitaura, H.Shinohara et al. "High Yield Synthesis of Ultrathin Metal Nanowires in Carbon Nanotubes" *Angew.Chem.Int.Ed.* **48**, 8298-8302 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
176,000千円

【ホームページ等】

Website: <http://nano.chem.nagoya-u.ac.jp/>
Email: norisaki@nagoya-u.jp

【基盤研究(S)】

理工系(化学)



研究課題名 ナノドット配列における結合励起状態の時空間特性と励起場制御

分子科学研究所・光分子科学研究領域・教授

おかもと ひろみ
岡本 裕巳

研究分野: 化学

キーワード: ナノ計測、走査プローブ顕微鏡、表面・界面、クラスター・微粒子

【研究の背景・目的】

ナノレベルのサイズの物質には、マクロな物質とも、分子レベルの物質とも異なる特異な性質が現れ、21世紀の科学と技術に新たな展開を与えることが期待されている。特に、励起状態(物質のエネルギーが通常よりも高い状態)の性質が、ナノ物質の新たな特性に密接に関わる。本研究では、様々なナノサイズの物質構造を作成し、その励起状態の特異な性質、特に光学的性質との関連に注目して研究を行う。ナノ構造の設計を通じて励起状態の特性を制御することで、例えば空間的に大きな領域に広がった光を、ナノレベルの小さな空間の目的とする場所に運んだり、通常環境では起こらない分子の変化を誘起すること、またそれらを利用して微小な光通信素子を構築すること等ができると考えられている。それを実現し、発展させるための体系を確立するには、光の空間構造をナノレベルで解析する必要があるが、普通の顕微鏡ではそれはできない。本研究では、我々が自ら開発した近接場顕微分光装置を用いて、ナノレベルの光学イメージングを行い、ナノ構造上の光の空間分布の特徴やその分光特性を、直接観察する。その結果を、モデル計算等を併用して解析することで、ナノ構造と光学特性の関係を解明・概念化して、新しい特性を創出し、ナノ空間で光と励起状態を制御するための基盤を構築していく。

【研究の方法】

半導体微細加工技術として用いられる電子線描画装置により、設計された構造と配置をもつナノ物質試料を作成する。研究の前半では、貴金属のナノ構造に重点を置く。特に、金属の円形ディスクや、金属薄膜に開いた円形の孔(これらを円形ナノドットと総称する)を様々な構造に配列した試料(鎖状や環状にドットを配置した構造、2次元的にドットを敷き詰めた構造、規則正しく配列したものその他、揺らぎや欠陥を導入した構造等)を中心に研究を行う。作成した試料は、近接場光学顕微鏡(ナノ空間領域での光の減衰や散乱・発光、及び光に対する非線形な応答を観測する実験的手法)によって、ナノ光学イメージングの測定を行う。我々の以前の研究により、近接場イメージングの実験で、ナノ構造上の光の空間分布を観察できることがわかっている。得られた光の空間構造の実験データは、電磁気学理論に基づくシミュレーションや、より単純で物理的な描像を抽出

し易いモデル計算等を併用して解析する。研究の後半では、金属に限らず、半導体や高分子など、興味深い特性の期待できる様々な物質を対象を挙げ、見いだされる現象の、物質による個性と一般性を議論する。

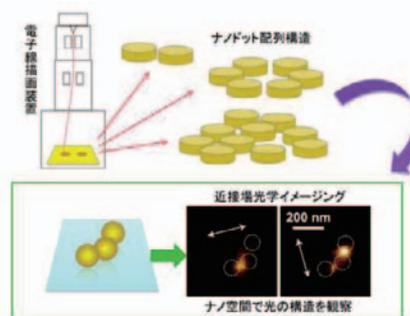


図 研究の方法: 電子線描画で作成したナノ構造を近接場イメージングで観察。

【期待される成果と意義】

本研究によってナノ物質における励起状態と光の時空間構造を支配する基本原理が解明され、更に設計・制御していくための、基盤となる指針が得られると期待される。これを基礎として、適切に設計されたナノ物質の中でのみ起こる光物理・光化学現象の創出や、極めて高い感度を持つ化学物質検出法、様々な光応答性材料や微小な光通信素子、光情報処理等の技術に繋がる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・Hiromi Okamoto and Kohei Imura, "Near-field optical imaging of enhanced electric fields and plasmon waves in metal nanostructures," *Prog. Surf. Sci.* **84**, 199-229 (2009).
- ・岡本裕巳, 「プラズモンのイメージング」, プラズモンナノ材料の最新技術, 山田 淳 監修, シーエムシー出版, pp. 105-115 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
119,300千円

【ホームページ等】

<http://www.ims.ac.jp/know/light/okamoto/okamoto.html>



研究課題名 極微量小分子RNAを網羅的に解析する次世代型
核酸アレイチップの開発

東北大学・大学院理学研究科・教授

てらまえ のりお
寺前 紀夫

研究分野：化学

キーワード：核酸検出

【研究の背景・目的】

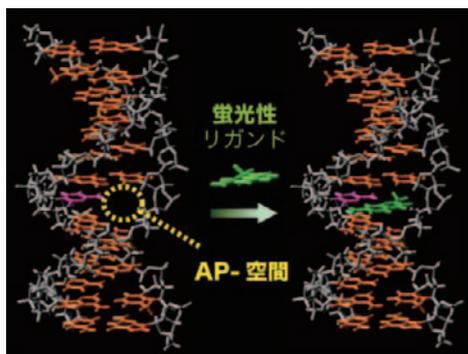
分子生物学の中心原理に示されるように、DNAやRNAは遺伝情報の貯蔵や伝達を行うものと考えられてきた。これに対し、遺伝情報をコードしていないRNAが生命活動に多大の寄与を果たしていることが分かってきた。ヒトゲノムプロジェクトの中でDNA分析法は多くの発展を遂げたが、RNA特に小分子RNAについてはその分析法は未発達の状態にあると言える。本研究では、小分子RNAと特異的に結合するリガンドの開発や小分子RNAを高感度に検出する方法論を開拓すると共に「高感度核酸検出用アレイチップの開発」を目指す。

【研究の方法】

本研究では以下により「高感度核酸検出用アレイチップの開発」への展開を図る。

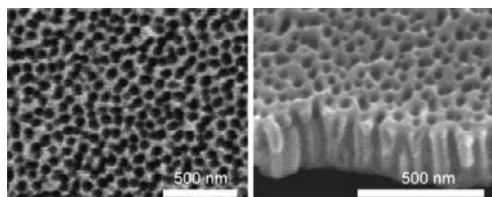
[1] 核酸塩基を認識する蛍光性リガンドの開発

小分子RNAに特異的に結合する、水素結合能を有する蛍光性リガンドの設計・合成と機能評価を行う。また、RNA二重鎖中に構築した脱塩基(AP)空間へのリガンド結合による塩基配列の選択的識別を検討し、高性能のアレイチップの開発へと展開する。



[2] ナノ細孔内での核酸塩基認識

孔径数十nm程度のナノ細孔が集積したナノポーラス膜を作製し、核酸塩基の高密度修飾による



検出能の向上を図る。またナノ細孔での過冷却効果による検出能の向上を検討する。さらに開発したナノポーラス膜を用いた蛍光及び光導波路検出によるハイスループットな核酸検出法を開発する。

[3] アレイチップの開発

ナノポーラス膜と蛍光性リガンドの組合せに対して最適なアレイチップを設計し、小分子RNAの網羅的解析への展開を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究では、申請者らが開発してきた、水素結合能を有する小分子による核酸塩基認識や生理活性小分子認識、またナノポーラス膜による分離・検出を統合して新たな計測法を開拓するもので、分子認識化学、遺伝子分析、ナノ科学を融合した領域での新たな学術創製を目指す。

本研究の成果は、分析化学のみならず、超分子化学、ケミカルバイオロジー、ナノ科学、バイオテクノロジーなどの分野へ波及効果を及ぼすことが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ 2-Aminopurine-Modified Abasic Site-Containing Duplex DNA for Highly Selective Detection of Theophylline, M. Li, Y. Sato, S. Nishizawa, T. Seino, K. Nakamura, N. Teramae, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 2448-2449 (2009).
- ・ Use of Abasic Site Containing DNA Strands for Nucleobase Recognition in Water, K. Yoshimoto, S. Nishizawa, M. Minagawa and N. Teramae, *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 8982-8983 (2003).
- ・ Self Assembly of Silica-Surfactant Nano-composite in Porous Alumina Membrane, A. Yamaguchi, F. Uejo, T. Yoda, T. Yamashita, T. Uchida, Y. Tanamura and N. Teramae, *Nat. Mater.* **3**, 337-341 (2004).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－25年度
166,400千円

【ホームページ等】

<http://www.anal.chem.tohoku.ac.jp/>



研究課題名 協奏機能分子触媒による遍在小分子の
固定化技術の開拓

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授 いかりや たかお
碓屋 隆雄

研究分野: 化学

キーワード: 錯体有機金属触媒、不斉合成反応、環境調和型反応

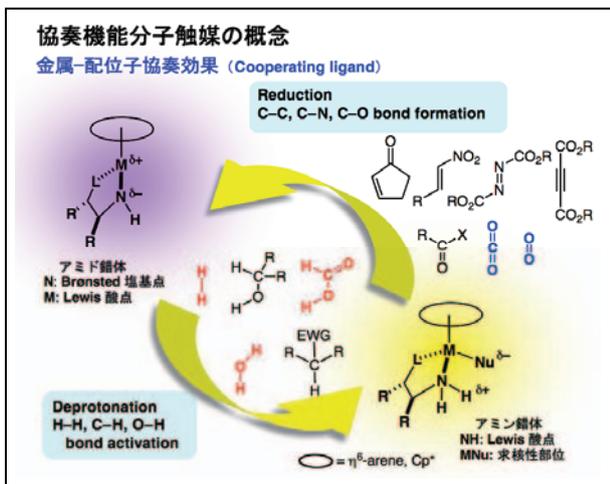
【研究の背景・目的】

環境への負荷を極力排除して資源やエネルギーを有効に利用した合成プロセス、すなわち、グリーンケミストリーに立脚した「ものづくり」技術の開発は喫緊の課題である。加えて、地球上に大量に存在する水、酸素、窒素、二酸化炭素分子など遍在小分子を炭素、水素、酸素、窒素源として元素を利活用する合成プロセスの確立は、化学者に課せられた責務といえる。

研究代表者がこれまでに取り組んできた協奏機能分子触媒は、還元-酸化、炭素結合形成など多様で高効率かつ高選択的な触媒反応を促進するとともに、水、水素、酸素、二酸化炭素など小分子との特異的な反応性を示す。本研究では、この協奏機能触媒がグリーンケミストリー実現に向けた重要戦略と考え、協奏機能分子触媒の作用原理の解明と一般性の実証とともに、グリーンケミストリーに資する完全化学反応の実現と遍在小分子の利用技術の開拓をめざす。

【研究の方法】

協奏機能分子触媒は酸塩基複合効果を有するアミド錯体とアミン錯体の相互変換を駆動力として、図に示すように、段階的に反応基質を活性化しつつ、結合形成を促進する。本研究では、まず触媒活性種の有機金属化学および理論化学研究により、協奏機能の作用原理と触媒機構の解明とともに、触媒設計の概念を非アミン-アミド系



錯体や多核触媒へ拡張し協奏機能触媒の体系化を試みる。次いで、協奏機能の原理を活用して酸素、二酸化炭素、窒素などの不飽和小分子や水、アンモニアなどのプロトン性小分子の錯体レベルでの活性化法を確立する。さらに、単核および多核協奏機能触媒を用いる遍在小分子の固定化法の開拓、具体的に不斉酸素酸化や触媒的水和反応、二酸化炭素の高付加価値品への固定プロセス、窒素と水素の同時活性化による窒素固定など、高難度分子変換システムの開発をめざす。

【期待される成果と意義】

金属-配位子協同効果に基づく協奏機能触媒の概念の確立とその化学の体系化により、1) 触媒設計の統一原理を提示する。また2) 化石資源によらない遍在小分子を炭素、窒素、酸素、水素元素源とする新たな元素戦略に基づく合成技術への展開が、加えて3) 水から水素と酸素の触媒的な生成法の確立によりエネルギー変換技術への貢献が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Ikariya, A. J. Blacker, Asymmetric transfer hydrogenation of ketones with bifunctional transition metal-based molecular catalysts. *Acc. Chem. Res.* 40, 1300–1308 (2007).
- ・ S. Kuwata, T. Ikariya, Hydrogen- and oxygen-driven interconversion between imido-bridged dirhodium(III) and amido-bridged dirhodium(II) complexes. *J. Am. Chem. Soc.* 131, 5001–5009 (2009).
- ・ M. Ito, T. Ikariya, Hydrogenation of *N*-acylcarbamates and -sulfonamides catalyzed by bifunctional Cp**Ru*(PN) complex. *Angew. Chem. Int. Ed.* 48, 1324–1327 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成22年度–25年度
167,800千円

【ホームページ等】

<http://www.apc.titech.ac.jp/%7Etikariya/index.html>



研究課題名 転写・翻訳反応のQCM法による時空間的解析

東京工業大学・大学院生命理工学研究科・教授

おかはた よしお
岡畑 恵雄

研究分野: 生体関連化学

キーワード: 転写・翻訳過程、水晶発振子マイクロバランス法、定量的解析

【研究の背景・目的】

生体内では転写・翻訳過程に代表されるように、多くの分子が順序よくそのタイミングに従って認識し反応している。しかし、生体内での多くの分子が順序正しく各々のタイミングに従って認識・反応している、分子間で連携して進行する複雑な反応を追跡する計測手法はまだ確立されていない。

分子の認識、解離、反応には必ず質量変化が伴うので、我々がこれまでに用いてきた水晶発振子マイクロバランス(QCM)法が有効である。27-MHzの基本振動数をもつQCM法を用いれば、基板に0.6 ng/cm²の物質が結合すると、1 Hzの振動数が減少するので、非常に高感度で分子の結合量が経時的に定量化できる。

本研究の目的は、転写・翻訳過程を水晶発振子マイクロバランス(QCM)法を用いて、定量的に解析し、生体内反応の時空間制御を解明することにある。

【研究の方法】

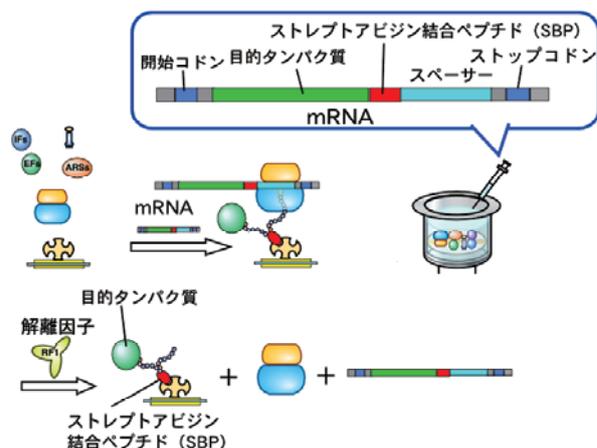
1) 転写過程の動力学解析

これまで転写過程は生成物であるRNAをゲル電気泳動で確認する事が多く、各々の因子がどのような順序で、どのようなタイミングで結合してRNAが伸長するのかが明らかになっていない。QCM基板にDNA二本鎖を固定化し、①転写因子と②RNAポリメラーゼを添加すると塩基配列特異的に結合(質量増加)し、続いてRNAモノマーを加えると③転写(RNAの伸長)(質量増加)が起こり、DNAの終止コドンや鎖末端まで来ると④酵素とRNAの脱離(質量減少)が続いておこり、質量は元のDNA鎖の状態に戻ることが予想される。転写因子の種類、酵素への変異の導入、DNA鎖長の長さ、などを変えることにより転写過程を定量的に評価できるようになる。

2) 翻訳の各過程に解析

ストレプトアビジンを固定化したQCMセル内に開始因子(IF)、成長因子(EF)、tRNAやアミノ酸やtRNAアミノアシル化酵素を入れ、これにmRNAを加えるとセル内で翻訳が始まる。このときmRNAの開始コドンのすぐ下流に目的タンパク質をコードする配列、ストレプトアビジン結合ペプチド(SBP)をコードする配列を入れておけば、翻訳が進むにつれてタンパク質、続いてSBP

がリボソームから顔を出し、SBPがQCM基板のアビジンに特異的に結合し、質量が増加する。翻訳が止まった後で解離因子(RF1)を加えるとリボソームがペプチドから離れて質量が減少して、基板にはタンパク質とペプチドの質量分だけ残ることが期待される。



【期待される成果と意義】

これまで転写や翻訳過程は、ゲル電気泳動や超遠心分析などの古典的な手法で定性的に解析されてきた。水晶発振子法を用いれば、転写過程でのRNAの生成速度や量がナノグラムレベルで定量化できる。翻訳過程についても、タンパク質の生成量や速度が定量化できる特徴があり、新しい研究手法となり得る。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) S. Takahashi, R. Akita, H. Matsuno, H. Furusawa, Y. Shimizu, T. Ueda, and Y. Okahata, *ChemBioChem*, 9, 870-873 (2008).
- 2) S. Takahashi, M. Iida, H. Furusawa, Y. Shimizu, T. Ueda, and Y. Okahata, *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 9326-9332 (2009).

【研究期間と研究経費】

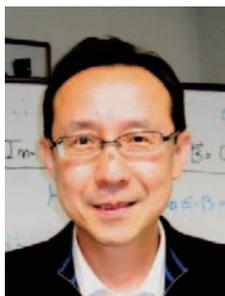
平成22年度-26年度
142,200千円

【ホームページ等】

<http://www.okahata-lab.bio.titech.ac.jp/>

【基盤研究(S)】

理工系 (工学 I)



研究課題名 相対論的効果を用いたスピndeバイスの創製

東北大学・大学院工学研究科・教授 新田 淳作 (にった じゅんさく)

研究分野: 工学

キーワード: スピントロニクス

【研究の背景・目的】

現代のエレクトロニクスは電子の持つ「電荷」の流れを電界制御することによりトランジスタをはじめとするデバイスが構成されている。さらにトンネル効果、二次元電子ガスなど量子効果を用いることにより超高速・低消費電力化が実現されてきた。更なるエレクトロニクスの発展には、電子の持つもうひとつの自由度である「スピン」を情報の担体として電界制御することが望まれる。「スピン」はこれまで磁界により制御されてきたため、空間的(局所的)・時間的高速な制御が出来ない。このため、「スピン」を新たな情報担体とするには、電界でスピン制御する方法を確立することが不可欠である。スピン軌道相互作用は、電子が電界中で高速で運動することにより、電界が磁界に変換される相対論的な効果である。この変換された磁界を用いることにより電子スピンを生成・制御・検出し、新しい原理で動作するスピndeバイスを創製することを目的とする。

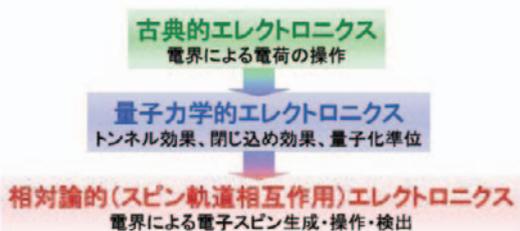


図1. エレクトロニクスの発展

【研究の方法】

1. スピン生成・注入の確立

スピン軌道相互作用をゲート電界により空間的に変調し、有効磁界の空間勾配を作ることにより、Stern-Gerlach(SG)効果によるスピンの生成を実現する。さらに、原子レベル制御された磁性体/半導体界面を作製し、半導体中へのスピン注入を行い、半導体中にスピン偏極したキャリアを生成する。磁性体から半導体へのスピン注入は、スピン緩和長の直接計測、スピントランジスタ構造を構成するために不可欠である。

2. スピンコヒーレント電界制御の確立

起源の異なる2つのスピン軌道相互作用を組み合わせることによりスピン緩和の抑制された、永久スピン旋回状態(Persistent Spin Helix, PSH)の電界制御を実現する。

3. スピン検出・選別の確立

スピン軌道相互作用に起因するスピンホール効果やSGスピンフィルターを用いた電氣的スピン検出方法を確立する。さらに、スピン生成・スピンコヒーレント電界制御・スピン検出を組み合わせたスピン機能デバイス化を図る。

【期待される成果と意義】

エレクトロニクスに相対論的な効果であるスピン軌道相互作用を導入することにより、電界によるスピン生成・制御・検出機能がもたらされ新たな原理で動作するエレクトロニクスが可能となる。学術的には反転対称性の破れに起因したスピン軌道相互作用の起源とスピンの電界応答に関する相対論的量子効果の基本原理解明に貢献することが出来る。



図2 相対論的エレクトロニクスの概念図

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, "Enhancement of Spin Lifetime in Gate-Fitted InGaAs Narrow Wires", Phys. Rev. Lett. **102**, 226601 1-4 (2009).
- ・ M. Scheid, M. Kohda, Y. Kunihashi, K. Richter, and J. Nitta, "All-Electrical Detection of the Relative Strength of Rashba and Dresselhaus Spin-Orbit Interaction in Quantum Wires", Phys. Rev. Lett. **101**, 266401 1-4 (2008).

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
167,000千円

【ホームページ等】

<http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/nitta@material.tohoku.ac.jp>



研究課題名 光および弾性波励起による磁化の超高速制御とその応用

東京工業大学・像情報工学研究所・教授

むねかた ひろお
宗片 比呂夫

研究分野：工学、応用物理・工学基礎、応用物性・結晶工学
キーワード：スピントロニクス

【研究の背景・目的】

電子スピンの操作速度（周波数 f ）は磁場に比例して速くなります。すなわち f (GHz) = 176 B (Tesla)。ところが、電子スピンの集合体である磁化の場合、磁場を大きくすると、スピンのわずかな乱れがスピン回転中に増幅されて全体の位相がばらけてしまい、磁化の操作速度はある値で頭打ちになるかもしれないことが示されたのでした [I. Tudosa, *et al.*, Nature 428, 831 (2004)]。これは、電子情報処理スピードがますます速くなると、磁化はついていけなくなるということを暗示しています。

この磁化操作の問題を根底から解消するものとして、私は、波動関数の励起による磁化ベクトルの方向制御を提案します。物質中の電子を記述する波動関数は、軌道成分とスピン成分から成り立っています。非常に速い過程である軌道励起をおこなって、スピン・軌道相互作用によって個々のスピンを同時に、かつ、均一に操作することによって、スピン相互の乱れを回避して磁化を超高速で操作しようという提案です。これができると、新しいタイプのスピンドバイスが作れますので、新しい応用が拓けると期待されます。

【研究の方法】

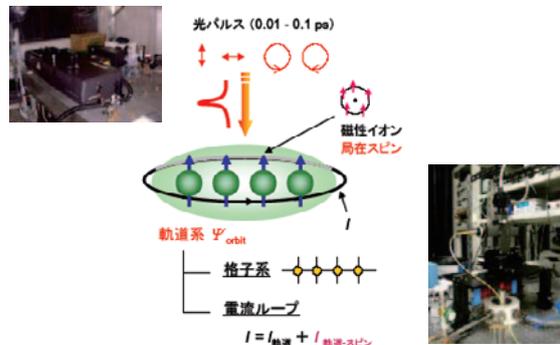
磁性を示す固体には、個々の原子の外核電子の波動関数が重なってできる軌道系と、やや内核の電子のスピンが平行に揃えてできる局在スピン系が存在します。電子は軌道を高速で運動しながら、個々の原子核を結び付けて格子系をつくるとともに、本提案で重要な役割を担う電流ループ I を生成します。この電流ループが、スピン・軌道相互作用を通じてスピン集団の向きを決定しています。したがって、軌道部分を光励起すると電流ループが変形し、その結果、磁化が超高速で傾くことが期待されます[1]。

研究すべきメカニズムは2つです。第一がスピン・軌道相互作用によって、軌道とスピン系がいっしょに励起されてスピン軸が変化する軌道・スピン複合励起です。第二が軌道励起で発生する格子変形にスピンがカップルして、スピンの方向が格子とともに変化するスピン波励起です。

研究は2つのグループで進めます。光パルス励起グループの基盤は超高速光ポンプ・プローブ分光です。このグループは磁化の超高速制御を追究します。弾性波・スピン波励起グループの基盤は磁気光学顕微鏡です。試料に圧電素子を組み込んで高周波や光パルスで弾性波を発生させて、格子

による磁化のコヒーレント操作と伝播の様子を調べます。試料には、スピン軌道相互作用が大きい強磁性金属や強磁性半導体[2]、さらには、臨界状態のスピン構造である磁壁を作りこんだ細線やドットを用いる計画です。

図1 スピン超高速制御の研究方法イメージ図



【期待される成果と意義】

最終的には、2つの研究を融合させて、光と弾性波を協働させて、テラ・ペタヘルツ領域の磁化のベクトル方向制御を達成し、磁場によらない磁化操作を確立します。この過程で、光情報処理の演算部分に使う光フリップ・フロップ機能を備えた小型光メモリ、空間光変調器に使う低電力駆動の光スイッチを試作し、新しい応用への展望を拓きます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Y. Hashimoto, S. Kobayashi, and H. Munekata: "Photoinduced Precession of Magnetization in Ferromagnetic (Ga,Mn)As"; Phys. Rev. Lett. 100, 067202 1-4 (2008).
2. H. Munekata, H. Ohno, S. von Molnár, A. Segmüller, L.L. Chang, and L. Esaki: "Diluted magnetic III-V semiconductors"; Phys. Rev. Lett. 63, 1849-1852 (1989).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
164,200千円

【ホームページ等】

<http://www.isl.titech.ac.jp/~munelab/>

【基盤研究(S)】

理工系(工学I)



研究課題名 スピンドイナミクス可視化技術の開拓と 新奇機能素子開発への展開

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授 しげかわ ひでみ
重川 秀実

研究分野: 工学

キーワード: 走査プローブ顕微鏡、イメージング、ナノ物性

【研究の背景・目的】

例えば、半導体素子はそのサイズが数十 nm で制限される領域に達し、特性を制御するために導入されたドーパントの空間分布や界面の揺らぎが、得られる機能に直接影響を及ぼす段階に至っている。現在、電荷に加えスピンを利用した新しい特性を持つ機能材料・素子の開発が盛んであるが、局所的な秩序や構造の揺らぎは電荷同様スピンの生成や消滅、相互作用(量子相間)などにも大きな影響を与え、これら過程の理解と制御が重要な課題となる。しかし、最近の著しい進展にもかかわらず解析はマクロな特性が基礎とされてきた。

本プロジェクトでは、機能材料・素子中のスピン(流)のダイナミクスをナノスケールで計測し実空間で可視化する為の新しい基盤技術の確立を目指す。スピンまで含め様々な状態間の遷移や相間などの局所特性を明らかにする技術を開発することで、例えば、現在、急速に進展中のスピントロニクスにおける重要課題である、スピンドイナミクス機構の詳細、微細構造と特性ゆらぎの関係など、量子マニピュレーションを基盤として展開する新たな機能材料・素子開発のための指針を得ることも可能になるものと期待される。

【研究の方法】

走査トンネル顕微鏡とその関連技術に光学的な手法を融合させることで、キャリアダイナミクス(電荷)を実空間・ナノスケールで可視化する技術を開発してきた。素子中に注入された少数キャリアの様子や、異なる寿命を持つ材料からなる微細構造中のキャリアダイナミクスの空間的なマッピングが可能になっている。これに励起光や探針を制御する機構を組み込むことで、磁性の選択性を導入し、スピンのダイナミクスの計測・解析技術を取り入れる。

また、多探針を用いた計測の基礎技術も開発を行い、マルチトンネル分光も可能な段階になりつつある。本手法を併せ用いることで、局所的なスピンの注入とその解析が可能となる。

本プロジェクトでは、こうして、これまで開発してきた新しい技術を更に推し進め、ナノスケールでスピンのダイナミクスを計測・可視化することが可能な基盤技術の構築を目指す。

【期待される成果と意義】

ナノスケールの構造揺らぎと局所量子ダイナミクスを評価する技術の確立は、半導体素子開発という限られた応用面において大切なだけでなく、有機・無機を問わず、将来、幅広い量子構造を対象とした科学および材料開発の基礎となり得る。ナノスケールでのスピンドイナミクスを評価する技術は、例えば、磁性クラスターからのスピン注入や散乱機構の解析など、新奇機能実現において直面する重要課題の一つであるにもかかわらず未だ十分に準備されていないのが現状である。

本プロジェクトは、これら要請に応えるもので、局所領域の科学に対する理解を深め新たな学問領域を構築する意義を持つとともに、ナノスケールの量子ダイナミクス制御により次世代の素子開発を目指す社会へのインパクトは大きいと考える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. "Ultrafast photoinduced carrier dynamics in GaNAs probed using femtosecond time-resolved STM." Y. Terada, M. Aoyama, H. Kondo, A. Taninaka, O. Takeuchi, and H. Shigeoka, Nanotechnology 18, 044028 (2007).
2. "Microscopic basis for the mechanism of carrier dynamics in an operating p-n junction examined by using light-modulated STM." S. Yoshida, Y. Kanitani, R. Oshima, Y. Okada, O. Taeuchi, and H. Shigeoka, Phys. Rev. Lett. 98, 026802 (2007). (Focus に掲載).
3. 特許: ポンププローブ測定装置及びそれを用いた走査プローブ顕微鏡装置, 特願 2006-322622.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
167,800千円

【ホームページ等】

<http://dora.bk.tsukuba.ac.jp/>
hidemi@ims.tsukuba.ac.jp



研究課題名 ナノメカニカル構造の創製とデバイス応用に関する研究

東京大学・大学院工学系研究科・教授 いしはら すなお
石原 直

研究分野: 工学、機械工学

キーワード: ナノメカニクス、ナノマイクロ加工、ナノ計測、ナノ振動子、NEMS

【研究の背景・目的】

あらゆる産業を支えるデバイスや材料は、その構成要素・構造の微細化により機能を高度化し性能を高めてきた。今やその構造寸法は数〜数十ナノメートル領域に突入し、極微細構造のナノ物性を利用して革新的なデバイス開発を目指すナノテク研究が活発化している。

本研究では、小さな構造の作製や特性測定の技術手段としてナノテクの発展を支えてきた機械工学において、ナノメカニカル構造の機械的な振舞いそのものを研究対象に、微小な3次元構造がナノ寸法ゆえに発現する機械特性を探索・機能化することによる革新的デバイスの創製を目指す。この機械工学をナノメカニクス、創製する新デバイスをNEMS (Nano Electro-mechanical Systems) と呼ぶ。(図1)

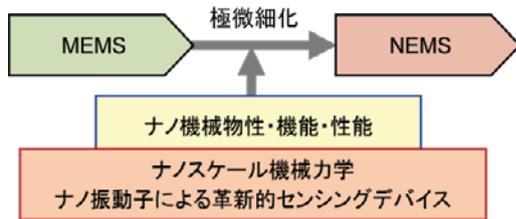


図1. 本研究の位置付けと狙い

【研究の方法】

半導体やカーボン材料を用いてナノ振動子を設計・製作し、共振特性を解明し(図2)機能化することによって革新的デバイスの創製を目指す。

具体的には、(1) 2次元パターン形成用の電子ビーム描画と3次元構造作製の集束イオンビーム堆積技術の複合化による3次元ナノ構造作製技術、(2) ナノ振動子の共振周波数、共振振幅、Q値という共振特性の測定・評価のための電子ビーム利用振動測定、AFM (Atomic Force Microscope) 応用型共振特性測定法などナノ計測技術、(3) 3次元ナノ構造の表面物性が共振特性に及ぼす影響の評価と表面状態の制御方法、(4) 極めて高性能なメンブレン振動子を狙うグラフェン振動子の作製と振動特性評価、(5) 振動子構造への引張歪印加によって共振特性の飛躍的向上を狙う歪エンジニアリング、などの研究によってナノメカニクス基盤技術を構築し、これらを駆使して、(6) 力・質量・電子・光などの極微小物理量を検出するセンシングデバイスを開発する。

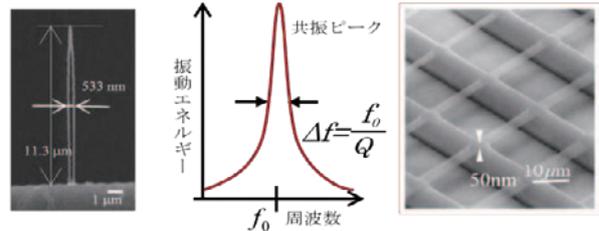


図2. ナノ振動子の作製例と共振特性

【期待される成果と意義】

ここで確立されるナノ振動子に関する設計、作製、特性測定・評価の基盤技術を駆使すれば、これまで科学研究用ツールであったナノメカニカル構造による極限センシング技術を、室温・大気中という工学分野で使用できるセンシングデバイス開発に展開することが可能となる。さらに、このナノメカニクスを電子工学や光工学分野のデバイス技術と融合させることにより、超小型・超低消費電力の超高感度センサー、メカニカルスイッチ、高密度光集積回路などへの幅広い応用展開が展望される。加えて学術的には、ナノ寸法を有するNEMSの機械的特性を扱うナノスケール機械力学の開拓が期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Tamaru, H. Yamaguchi and S. Ishihara: Direct Actuation of GaAs Membrane with the Microprobe of Scanning Probe Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2009) 06FG06.
- R. Kometani and S. Ishihara, Nanoelectromechanical device fabrications by 3-D nanotechnology using focused-ion beams, Sci. Technol. Adv. Mater. **10** (2009) 034501.
- H. Yamaguchi, S. Warisawa and S. Ishihara, Improved resonance characteristics of GaAs beam resonators by epitaxially induced strain, App. Phys. Lett. **92**, 251913 (2008)

【研究期間と研究経費】

平成22年度〜24年度
158,300千円

【ホームページ等】

<http://www.nanome.t.u-tokyo.ac.jp/ishihara@mech.t.u-tokyo.ac.jp>



研究課題名 次世代高精度ミラー製作のための法線ベクトル追跡型
高速ナノ精度形状測定法の開発

大阪大学・大学院工学研究科・教授

えんどう かつよし
遠藤 勝義

研究分野：機械工学

キーワード：生産工学・加工学、形状測定、精密位置決め・加工計測、超精密加工、高精度ミラー

【研究の背景・目的】

第三世代放射光施設や X 線自由電子レーザー(XFEL)では、高コヒーレンス・ナノメートルサイズの集光を可能にする高精度非球面ミラーが要求されている。一方、産業応用では、次世代半導体製造技術として、波長 13.5nm の極紫外光(EUV)を用いた EUV リソグラフィ(EUVL)技術の開発が急務である。また、可視光においても、数多くのデジタル映像機器から、10mm 以下の平均曲率半径の高精度非球面レンズが求められている。これら次世代高精度ミラー・レンズは、形状精度 1nmPV 以上が要請されている。

本研究の目的は、これら光学素子を製作するために、XFEL や EUVL から求められる最大サイズ 500mm×300mm の次世代高精度ミラーや民生用の平均曲率半径 10mm 以下の高精度レンズの非球面形状を、測定精度 1nm PV 以上、スロープエラー 0.1 μ rad 以下、測定時間 5min/sample 以下で測定できる法線ベクトル追跡型高速超精密形状測定法を開発することである。

【研究の方法】

提案した新しい形状計測法の原理を図 1 に示す。本測定法は、レーザーの直進性を基準にして、並進運動より精度が高いゴニオメータの回転運動を使い、法線ベクトルを測定する。光源から出射したレーザー光がミラー面で反射され、光源と光学的に同じ位置にある検出器の中心に反射光が戻るように 2 軸 2 組のゴニオメータを調整すれば、その点での法線ベクトルが求まる。また、y 方向並進ステージで、光路長 L が一定になるように調

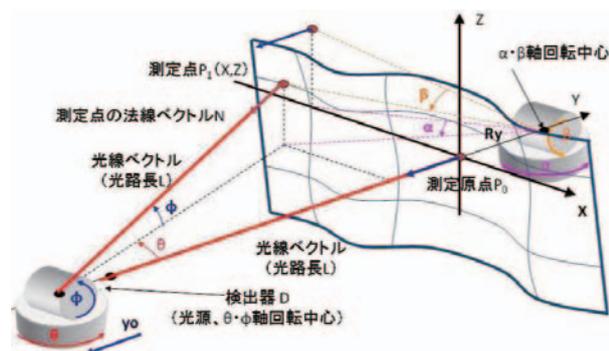


図 1 形状測定の方法

整すれば、測定点座標が決まる。そして、法線ベクトルと測定点座標から、独自に開発したフーリエ級数展開最小自乗法によって形状が導出できる。

【期待される成果と意義】

本ナノ精度形状測定法が開発できれば、本研究拠点の加工グループによって、完成した超精密加工システムによって、世界で初めて必要な局所領域をナノの精度で加工して計測することに成功する。この加工法と計測法を用いて製作した高精度非球面ミラーは、基礎科学・先端産業と幅広く貢献する。基礎科学では、①ライフサイエンス分野で活躍する細胞内を観察するナノビーム硬 X 線 CT 顕微鏡の開発、②X 線自由電子レーザーの応用を支えるフルコヒーレント集光ミラーの開発に、先端産業では、③次世代 EUV リソグラフィ用高精度非球面ミラーの開発、④高精度非球面レンズ用金型製作のための工作機械オンマシン高速ナノ形状測定機の開発に貢献する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ High Precision profile measurement of a small radius lens by Surface Gradient Integrated Profiler: Y.Higashi, T.Ueno, S.Tachibanada, J.Uchikoshi, T.Kume, K.Enami, K.Endo, SPIE symposium on "Advances in X-Ray/EUV Optics and Components IVPaper No. 7448-3, 2-6 August 2009, San Diego, CA, USA

・ Development of surface gradient integrated profiler, - precise coordinate determination of normal vector measured points by self-calibration method and new data analysis from normal vector to surface profile, Y. Higashi, T. Ueno, K. Endo, J. Uchikoshi, T. Kume, K. Enami, Proceedings of the SPIE, Vol. 7077-12, August, 2008, San Diego, CA, USA

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度 - 25 年度
156,400 千円

【ホームページ等】

<http://www.upst.eng.osaka-u.ac.jp/21coe/atom/measure.html>
endo@upst.eng.osaka-u.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系(工学I)



研究課題名 単層カーボンナノチューブの構造制御合成とエネルギーデバイス応用

東京大学・大学院工学系研究科・教授

まるやま しげお
丸山 茂夫

研究分野: 工学

キーワード: エネルギー利用、カーボンナノチューブ

【研究の背景・目的】

単層カーボンナノチューブ (SWNT) は、炭素の共有結合のみからなる 1 次元構造に由来して、様々な特異な物性を有することで、ナノテクノロジーの中心的新素材として注目されている。その重要性から、多岐にわたる基礎研究が展開されている一方、工学応用の実用化に向けては課題も多い。最大の課題は、確固たる合成技術に立脚した学術的応用研究の展開の必要性であり、目的に併せてオンデマンドで SWNT の構造制御が可能な合成技術と、その実用化に向けた具体的なビジョンが対になった研究が切望される。

本研究課題では、SWNT のエネルギー機器応用を目的とする。これまでに開発してきた高純度の SWNT の合成法や物性評価法をさらに発展させて、応用環境に適した SWNT 膜材料を実現する。ナノ構造の制御を基に革新的デバイスを開発することを旨とするとともに、SWNT の実用化への道筋を示す。

【研究の方法】

これまで開発してきたアルコール触媒 CVD 法 [1, 2] を改良し、直径分布や配向性をオンデマンドで制御できる合成法を確立する。さらに、合成基板の濡れ性を制御して触媒を選択的に配置することによる [3]、ナノスケールの SWNT パターンニング技術を開発し、構造可変の SWNT アーキテクチャを実現する (図 1)。一方で、密度勾配超遠心分離法によって合成後に金属と半導体 SWNT を分離する技術の開発も進め、数値解析による分離機構の理解をもとに分離精度を大幅に改善する。以上の合成技術を基に、色素増感太陽電池 (図 2(A)) や固体高分子形太陽電池の電極 (図 2(B)) に応用するとともに、既存の技術と比較・評価する。

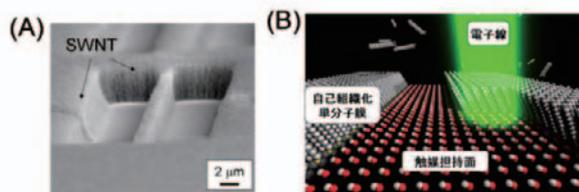


図 1(A) SWNT 垂直配向膜のパターン合成と(B)電子線による SAM 膜のエッチング技術

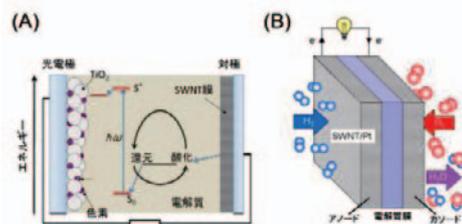


図 2(A) 色素増感太陽電池の対電極および(B) 固体高分子型燃料電池の電極への SWNT 膜の応用

【期待される成果と意義】

本研究では、構造を制御した SWNT 膜を太陽電池や燃料電池の電極に応用することで、エネルギー環境問題の解決を目指していく。SWNT の合成実験、分光評価、数値解析の全ての要素技術のスペシャリストが三位一体をなって取り組むことで、単に新ナノ材料を用いてデバイスを試作するのではなく、ナノスケールでの現象の理解に基づいて、設計・評価・最適化を継ぎ目なく実践する。また、ここで取り扱う太陽電池や燃料電池系には、多くの新しい物理化学の問題が関連しており、ナノテクノロジーや関連学術領域の発展にも貢献することを旨とする。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] S. Maruyama, R. Kojima, Y. Miyauchi, S. Chiashi, M. Kohno, *Chem. Phys. Lett.*, **360**, 229-234 (2002).
- [2] Y. Murakami, S. Chiashi, Y. Miyauchi, M. H. Hu, M. Ogura, T. Okubo, S. Maruyama S, *Chem. Phys. Lett.*, **385**, 298-303, (2004).
- [3] R. Xiang, T. Wu, E. Einarsson, Y. Suzuki, Y. Murakami, J. Shiomi, S. Maruyama, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 10344-10345 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度 - 26 年度
167,300 千円

【ホームページ等】

<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/Kakenhi/KibanS-j.html>

【基盤研究(S)】

理工系(工学I)



研究課題名 MDC・SHGによる誘電現象としての有機薄膜の電子輸送・分極構造評価と素子特性

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授 いわもと みつまさ
岩本 光正

研究分野：工学

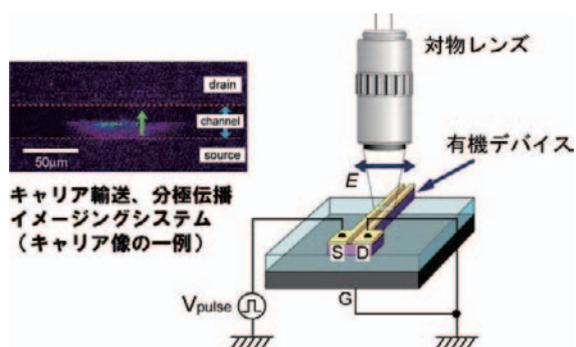
キーワード：電気・電子材料、誘電体、有機・分子エレクトロニクス

【研究の背景・目的】

『有機材料のフレキシブル性に潜む物理を究め、分子形状・配列に起因する多様な現象を制御可能として、有機デバイス物理・工学へと学術分野を開拓すること』が国内外で待望されている。本研究は、分極現象の源である永久双極子の動的挙動の評価を可能とするMDC(マックスウェル変位電流測定)と、過剰電荷と高強度レーザー光の相互作用がもたらす非線形分極現象を通じて電子輸送を可視化するEFISHG(電界誘起光第2次高調波発生)測定を用いて、フレキシブルな有機材料に潜む独特な分極構造・電子輸送を観測・解析し、有機デバイスの評価・解析するための手法を確立することを目的とする。界面における双極子配列やデバイスに注入されたキャリアによってもたらされる誘電分極現象に着目し、分極現象に由来して発生する界面現象・量子的現象を電子物性と結びことで、有機素子进行评估・解析する系統的手法の確立を目指す。

【研究の方法】

電子・双極子・四重極子が原因となって発生する有機材料内の分極現象を静的・動的に観測し、それらのエネルギー状態と挙動を解析することを基本とする。ガウス則によって電子から発生する電界が電界誘起非線形分極を、双極子の配列が自発分極を、そして四重極子がキラルな非線形分極を誘発することに着眼し、それぞれがEFISHGやMDC



法により計測可能なことを、システムを構築して示す。次いで、これらの結果を解析しながら、これを基礎に次の4項目の研究を進める。

(1)MDC-SHGによるナノ界面のフレキシブル性評価とマックスウェル応力による量子的ドメイン形状制御、(2)3電極系の有機FET構造を用いた柔構造分子膜素子のキャリア輸送の可視化と伝導解析、(3)2電極系有機積層構造素子の電荷ダイナミクスおよび再結合・発光に至る過程と劣化機構解析、(4)有機量子形状効果素子の試作・特性評価・及び量子形状制御による圧電効果。

【期待される成果と意義】

分極という誘電体物性工学の基本概念のもと、有機素子特性を評価する工学手法が確立する。その成果は有機FET, ELなどあらゆる有機デバイスに活用できる。また、研究のコンセプトは、ナノ、マイクロ、マクロを問わず有機エレクトロニクス全般にわたり、新規分野の開拓などに期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. Iwamoto, C. X. Wu, "The Physical Properties of Organic Monolayers," World Scientific, Singapore, 2001.
- M. Iwamoto, T. Manaka, T. Yamamoto, E. Lim, "Probing motion of electric dipoles and carriers in organic monolayers by Maxwell Displacement Current and optical second harmonic generation", *Thin Solid Films*, Vol. 517, pp. 1312-1316 (2008).
- T. Manaka, E. Lim, R. Tamura, M. Iwamoto, "Direct imaging of carrier motion in organic transistors by optical second-harmonic generation", *Nature Photon.*, Vol. 1, pp. 581-584 (2007).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
151,200千円

【ホームページ等】

<http://www.pe.titech.ac.jp/IwamotoLab/top.html>
iwamoto@pe.titech.ac.jp



研究課題名 超低消費電力光配線のための集積フォトニクスの進化

東京工業大学・精密工学研究所・教授 こやま ふみお
 小山 二三夫

研究分野：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス・光回路、半導体レーザー、光インターコネク

【研究の背景・目的】

スーパーハイビジョンなどの次世代超高精細映像の伝送には、20Gbps以上の大容量伝送技術が必要であり、低消費電力化を両立させることも将来のグリーンICTの方向性から重要な課題である。幹線系光通信網に対しては、10Tbpsを超える大容量波長多重伝送技術が可能になりつつあるものの、今後加速的に重要性が増してくる光アクセス、光LAN、装置間・装置内配線の大容量化を実現するためには、経済性やスケーラビリティに優れた革新的な光リンク・光配線技術の開拓が必要である。本研究では、申請者の提案したMEMS構造集積化による絶対波長安定化(アサーマル)面発光レーザーアレイ、光群速度低下させて素子サイズを大幅に小型化して高速化を図るスローライト光検出器/光変調器をキイデバイスとして、その並列アレイ化、多波長集積化、超高速化、低消費電力化を進めて、現状技術の100倍から1000倍の超大容量(100Gbps-1Tbps)の光リンク/光配線のための革新的な集積光デバイスの開発を行い、高速化と低消費電力化を両立する集積フォトニクスの進化を目指す。

【研究の方法】

光マイクロマシン構造集積により発振波長の温度依存性を完全に補償した絶対波長温度無依存レーザー(図1)、あるいは、サブ波長回折格子を用いた高精度多波長集積化など、従来の半導体レーザーでは実現困難であった革新的な波長制御技術を開拓し、大きな消費電力を発生する温度制御を不要とし、高精度に制御されたアレイ素子の百波長に及ぶ高精度多波長一括生成技術を確立する。面発光レーザーの微小共振器構造を活かして、既存の半導体レーザーに比べて集積密度を100倍以上に高めた面発光レーザーフォトニクス集積技術の確立を目指す。

面発光レーザーに集積可能なBragg反射鏡導波路におけるスローライトを用いて、光変調器や光検出器などの光回路の飛躍的な小型化を実現する。光の群速度を1/10~1/100まで低減することにより、素子長を数十ミクロン以下となる超小型光素子、高密度光回路の実現が期待できる。これによって、超高速光変調器、低容量の高速光レシーバ、大規模半導体光スイッチ網など、低消費電力

化と高速化を両立可能な光配線要素技術を確立する。また、面発光レーザーアレイとテーパ中空光導波路をハイブリッドに集積した小型光合波回路を実現する。

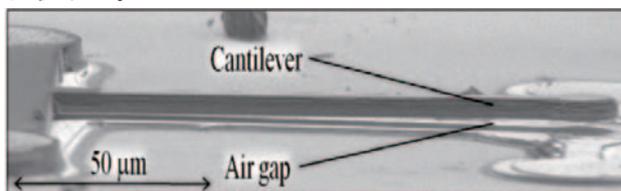


図1 MEMS技術を用いたアサーマル面発光レーザー

【期待される成果と意義】

本研究で推進するアサーマル面発光レーザーを用いれば、消費電力の主要因である温度制御器不要の大規模多波長アレイを実現できる。アクティブ素子である半導体レーザーの非冷却化が可能になれば、低消費電力化に大きなインパクトがある。また、スローライト構造を導入することで、変調器や光検出器の小型化が可能になり、高速化に大きな効果がもたらされる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ H. Sano, A. Matsutani and F. Koyama, "Athermal 850nm Vertical Cavity Surface Emitting Lasers with Thermally Actuated Cantilever Structure," Appl. Phys. Exp, vol. 2, 07210, pp. 1-3, 2009.
- ・ P. Babu Dayal, T. Sakaguchi, A. Matsutani, and F. Koyama, "Multiple-Wavelength Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers by Grading a Spacer Layer for Short-Reach Wavelength Division Multiplexing Applications," Appl. Phys. Exp., vol. 2, no. 9, 2009.
- ・ F. Koyama, "VCSEL Photonics -advances and new challenges," IEICE ELEX, Invited, vol. 6, no. 11, pp. 651-672, 2009.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
 161,700千円

【ホームページ等】

<http://vcsel-www.pi.titech.ac.jp/index-j.html>

【基盤研究(S)】

理工系(工学I)



研究課題名 断熱モード単一磁束量子回路の導入によるサブ μ Wマイクロプロセッサの研究

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 よしかわ のぶゆき
吉川 信行

研究分野：電子デバイス・電子機器

キーワード：電子デバイス・集積回路

【研究の背景・目的】

超伝導リング中の量子化された磁束を情報担体とする単一磁束量子(Single Flux Quantum: SFQ)回路は、100GHzを超える高速動作が可能でありながら、その消費電力は半導体に比べて3~4桁小さい。そのため、高性能計算機などの大規模なデジタルシステムの実現を最終目標とし、欧米諸国と日本を中心に研究が進められている。

本研究では、高速低消費電力で知られるSFQ回路の極限的な低消費電力化を実証する。断熱モード動作など、低消費電力化への回路的ブレイクスルーを中心に、アーキテクチャ、プロセスも含めすべての知見を導入する。これにより、SFQ回路の消費電力を従来の1/400から1/10⁵に低減する。本研究では、これらの技術を確認し、最終的に50 μ Wで動作する16bマイクロプロセッサの動作実証を行う。加えて、学術的にも未踏領域となる高性能サブ μ Wマイクロプロセッサを実現する基盤技術を確認する。

【研究の方法】

本研究は、断熱モード動作に基づく低消費電力化法、及び動作マージンを飛躍的に向上させる新たな回路構成法を用いて超低消費電力SFQ回路の原理実証を行う。加えて、インダクティブロード技術、ゲート間PTL配線技術、サブ μ m接合プロセスによる臨界電流低減技術、非同期アーキテクチャ技術をSFQ大規模集積回路の設計に適応し、総合してSFQ回路の消費電力を従来の1/400から1/10⁵に低減する。

図1に示すように提案する断熱モードSFQ回路は、QFP(Quantum Flux Parametron)と同様な回路構成をとるが、スイッチングに際してヒステリシスを持たない回路パラメータを利用することにより断熱的な状態変化を可能とする。本回路は、断熱モード動作により原理的にk_BT熱雑音程度($\sim 10^{-22}$ J)のエネルギーでの論理動作が可能である。

【期待される成果と意義】

現在、CMOS回路を含めすべての集積回路は、発熱によりその性能が制限されている。発熱の問題の抜本的解決には、論理回路自体の低消費電力化が必要であるが、これには断熱モード動作が有効である。特に単純な物理系であるSFQ回路は、

k_BT熱雑音程度の消費エネルギーでの動作が期待できる。この値は最新のCMOS回路に比べて6桁以上、低消費電力化されたSFQ回路自身よりも3桁以上小さく、冷凍機の電力を見込んでも、ハイエンド情報機器の消費電力を圧倒的に低減できる。

断熱モードSFQ回路の動作原理

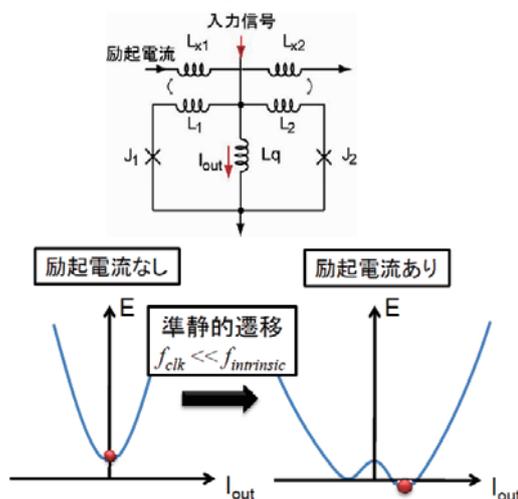


図1 断熱モードSFQ回路の動作原理

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- H. Park, Y. Yamanashi, K. Taketomi, N. Yoshikawa, M. Tanaka, K. Obata, Y. Itou, A. Fujimaki, N. Takagi, K. Takagi, S. Nagasawa, "Design and Implementation of SFQ Half-Precision Floating-Point Adders," IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol. 19, pp. 634-639, 2009.
- T. Nishigai, S. Yamada, N. Yoshikawa, "Design and implementation of low-power SFQ circuits using LR-load biasing technique," Physica C, vol. 445-448, pp. 1029-1033, 2006.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
163,300千円

【ホームページ等】

<http://www.yoshilab.dnj.ynu.ac.jp/jpn/yoshi@yoshilab.dnj.ynu.ac.jp>



研究課題名 最新型偏波レーダーとビデオゾンデの同期集中観測と水災害軽減に向けた総合的基礎研究

京都大学・防災研究所・教授

なかきた えいいち
中北 英一

研究分野: 理工系・工学・土木工学・水工学、水文気象学、レーダー気象学、レーダー水文学
キーワード: 偏波レーダー、ビデオゾンデ、大気モデル、降水量推定、降水予測、ゲリラ豪雨

【研究の背景・目的】

昨今、温暖化・都市化と絡んで頻発化が議論される集中豪雨災害が目についている。比較的規模の大きな豪雨は最新のメソ数値気象モデルでおおよその予測が可能となってきたが、それより規模の小さな集中豪雨は未だ再現すら不可能な状況である。加えて、ゲリラ豪雨災害においては、ほんの5分でも10分でも早い避難情報が極めて重要である。このような状況下、雷発生も含めた雲物理過程のさらなる解明、降雨予測精度・降雨量推定精度の向上、ゲリラ豪雨等の早期探知・予測、急激な出水・浸水の予測、ならびに新たな避難情報発信手法の確立が古くて新しい課題となっている。本研究では、降水粒子の大きさ・形状が推定できると大きな期待が寄せられている最新型偏波レーダー、ならびに上空に存在する降水粒子を撮影できるビデオゾンデを同期させた基礎観測実験を通して、雲物理・大気モデルを改良、降雨量推定・予測の向上を図りながら、併せて水管理への様々な利用手法の基礎開発を実施する。

【研究の方法】

本研究の最もベースとなる最新型偏波レーダーとビデオゾンデとの同期観測実験は、平成22年度は汎用ビデオ観測システム開発を主目的として、沖縄・滋賀における予備観測実験を秋期に実施する。平成23年度以降は梅雨期を対象に、過去3年間実施してきた沖縄に加えて、滋賀県において実施する。図に偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測手法の概略を示す。沖縄では情報通信研究機構のCOBRAを、滋賀では国土交通省が導入した現業用の最新レーダーを最新型偏波レーダーとして利用する。滋賀では京大生存圏研究所のMUレーダーや雲レーダーとも同期観測を行なう。

これらの同期観測ならびに観測データをもとに、

- 1) 雲物理過程の解明を深めると同時により詳細な雲物理過程を包含したメソ大気モデルを構築する。
- 2) 上空で混在する降水粒子の種類だけでなく、それらの量をも推定する手法を確立し、その推定情報をメソ大気モデルによって同化させて豪雨の予測手法を開発する。
- 3) すでにプロトタイプを基礎開発した地上降雨量推定アルゴリズムの実用化として、順次導入される予定の国土交通省5cm, 3cm波の現業用最新型偏波レーダーへの手法として確立する。
- 4) 水管理へのインパクト評価として、大河川の洪

水予測だけでなく、雲レーダーを利用したゲリラ豪雨の早期探知・予測、急激な出水の予測手法や避難情報発信手法をも新たに確立する。

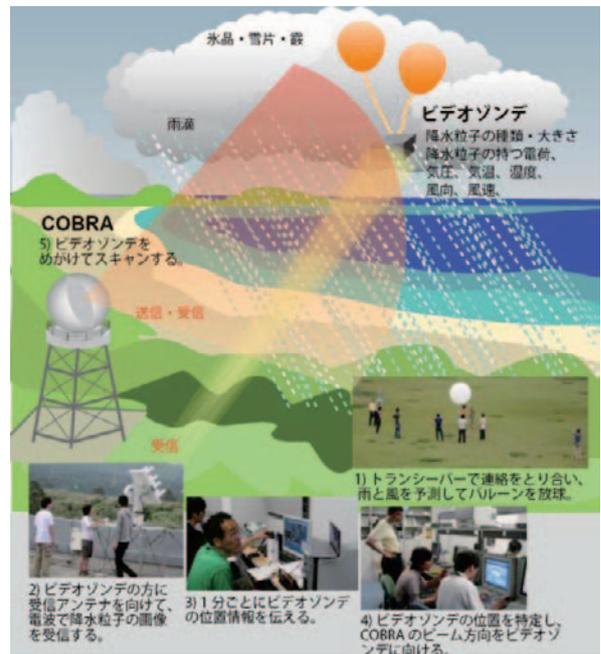


図1 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測

【期待される成果と意義】

- 1) 世界唯一をキープしている最新偏波レーダーとビデオゾンデとの同期観測実験の世界標準化。
- 2) 大気・雲物理モデル、降雨量推定・降水粒子タイプ推定・豪雨予測手法に飛躍的向上。
- 3) 国内外の現業用レーダーの最新型偏波化。
- 4) ゲリラ豪雨などの豪雨災害の予測・軽減(安心・安全)。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

中北英一・山口弘誠・隅田康彦・竹畑栄伸・鈴木賢士・中川勝広・大石哲・出世ゆかり・坪木和久・大東忠保: 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別, 土木学会水工学論文集, 第53巻, pp.361-366, 2009.

【研究期間と研究経費】

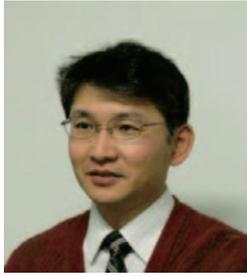
平成22年度-26年度
169,700千円

【ホームページ等】

<http://urh.dpri.kyoto-u.ac.jp/nakakita/nakakita.html>

【基盤研究(S)】

理工系(工学II)



研究課題名 マルテンサイト変態の低温異常 —その普遍性と起源の解明—

東北大学・大学院工学研究科・教授 **かいぬま りょうすけ**
貝 沼 亮 介

研究分野: 工学

キーワード: マルテンサイト変態、超弾性効果、低温

【研究の背景・目的】

近年、形状記憶合金であるNiTiのストレイン・ガラス、NiCoMnInのカイネティック・アレスト現象や加熱誘起マルテンサイト(M)変態(図1)といった低温におけるM変態に関係した異常な挙動が見出され注目を集めている。本研究では、幾つかの代表的な形状記憶合金を対象に10~200Kの温度領域において、電気抵抗、磁気特性、変態潜熱などの基本物性や超弾性特性、兄弟晶界面の移動度等の機械特性を調査し、低温で磁場、応力を同時に印加しつつマルテンサイト組織や変態時における内部組織や結晶構造変化を観察する。これらの研究を通して低温で出現する異常現象の普遍性を確認した上でその起源を解明し、極低温用超弾性材料の開発と実用化を目指す。

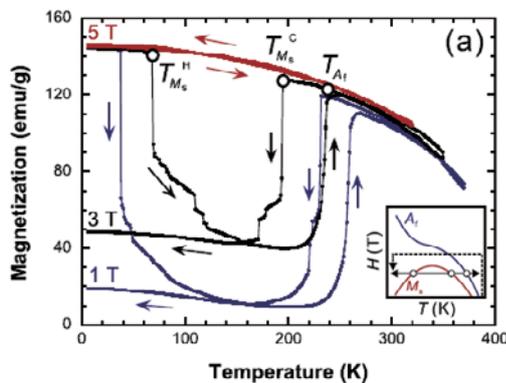


図1 NiCoMnIn合金に見られる加熱誘起M変態

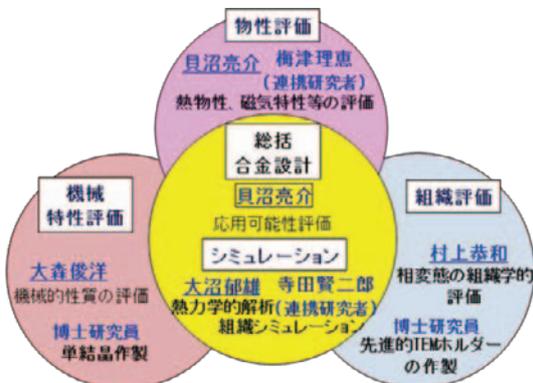


図2 本研究課題の実施内容および体制

【研究の方法】

NiTi系、Cu系、Ni系、Fe系、Co系、Ti系とい

った多くの合金系を対象に、10K-200Kにおける電気抵抗測定、熱分析、磁化測定を行う。特に液体ヘリウム温度付近まで冷却できる機械試験機を作製し、形状記憶合金における応力誘起変態やバリエーション再配列挙動を系統的に調査する。また、応力と磁場を同時に印加できる透過電子顕微鏡用低温ステージを作製して30K-室温におけるその場観察を行い、温度変化だけでなく応力や磁場印加に伴うプレマルテンサイト組織や磁区構造変化等の詳細を観察する。これらの結果を踏まえ、熱力学的考察や組織シミュレーション等の助けを借りながら異常現象の普遍性と本質を解明する。

【期待される成果と意義】

主要な形状記憶合金であるNiTiがM変態を起こさないため、低温での形状記憶合金の研究は、従来より低調であり、特に液体ヘリウム温度近傍までの研究はCuAlNiなど一部の合金系にわずかに報告があるに過ぎない。しかし、多くの金属系超電導材料では超電導相転移に先立ちマルテンサイト変態が生じるなど、100K以下におけるマルテンサイト変態挙動を明確にすることは実用的にも意義深い。また、低温でも柔軟性を失わず安定に使用できる超弾性材料が開発できれば、超電導や液体水素等に関連した低温技術周辺において、硬化してしまうプラスチックや繰返し使用が出来ないメタルシール(メタルOリング等)に代わる用途が考えられる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Xiao Xu et al., "Anomaly of critical stress in stress-induced transformation of NiCoMnIn metamagnetic shape memory alloy", Appl. Phys. Lett. 95,(2009) 181905
- W. Ito et al., "Kinetic arrest of martensitic transformation in the NiCoMnIn metamagnetic shape memory alloy", Applied Physics Letters, 92, (2008) 021908

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
167,000千円

【ホームページ等】

<http://www.material.tohoku.ac.jp/~seigo/lab.html>
kainuma@material.tohoku.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系 (工学Ⅱ)



研究課題名 半導体多層配線のプロセス限界を超越する 拡散バリア層の開発原理

東北大学・大学院工学研究科・教授

こいけ じゅんいち
小池 淳一

研究分野：工学

キーワード：多層配線、銅合金、半導体、バリア層、電界促進成長

【研究の背景・目的】

Si 半導体デバイスは、性能と信頼性を維持するために、多種多様な異相界面に薄膜拡散バリア層が必要とされ、その厚さは数 nm 以下であることが求められる。原子が 10 個程度の薄膜層であるが故に、バルク相平衡から拡散バリア性の優劣を予測することは困難である。我々のこれまでの研究によって、拡散バリア層の成長挙動は、バリア層を介した電子トンネリングに起因する電界促進拡散が寄与していることが明らかになっている。本研究では、対向する固相中の電子エネルギーバンド構造と電子トンネリングの可否に着目して、薄膜拡散バリア層の成長、拡散バリア性、構造・組成依存性に関する学理を究明し、薄膜バリア層の開発に資する普遍的な指導原理を確立する。

【研究の方法】

種々の Cu 合金と SiO₂ の界面反応において以下のことを調査する。

- (1) 界面層の組成分布、および SiO₂ 中における組成変化。
- (2) 界面層、SiO₂ の電子エネルギーバンド構造、およびトンネル電子の占有サイトの有無。
- (3) Cu 合金、界面層、SiO₂ 各々の構成元素のイオン化状態、および電界形成の有無。
- (4) 拡散バリア層の形成挙動とバリア性。

上記を総合して、界面反応による「組成変化」をきっかけとした、「バンド構造変化」と、それによって可能となる「電子トンネリング」と「電界形成」との相互関係を明らかにし、「電界促進拡散」の観点から、十分な拡散バリア性を有するバリア層を自己形成するための必要条件とその機構を明らかにする。

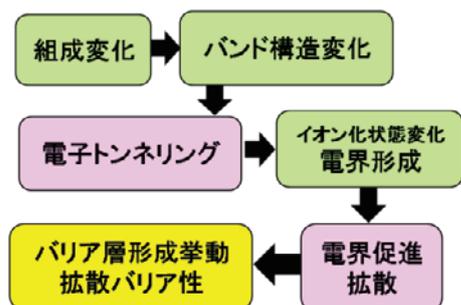


図1 研究方法の概略図

【期待される成果と意義】

拡散バリア層を自己形成するにあたり、従来の熱力学的・動力学的な概念に基づいた界面反応の理解では不十分であり、界面反応に伴って生じる電子状態の変化に着目することの必要性が明確になる。本研究で得られる知見は、32nm 以下の半導体多層配線材料とプロセス開発において、有用な学術基盤を提供するだけでなく、Si 半導体以外のデバイス（酸化半導体トランジスタ配線、MRAM の酸化絶縁層、MIM キャパシタの絶縁層）にも拡散拡張できる可能性があり、広範な波及効果と有する。

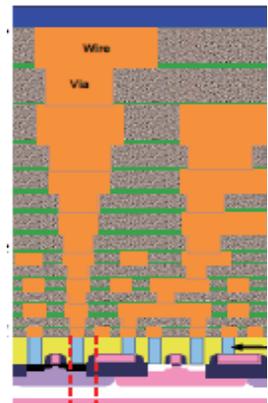


図2 半導体多層配線の断面 (ITRS ロードマップより)

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ "Graded composition and valence states in self-forming barrier layers at Cu-Mn/SiO₂ interface", Y. Otsuka et al., Appl. Phys. Lett., 96, 012101 (2010).
- ・ "Growth kinetics and thermal stability of a self-formed barrier layer at Cu-Mn/SiO₂ interface", J. Koike et al., J. Appl. Phys. 102, 043527 (2007).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
81,700千円

【ホームページ等】

<http://www.material.tohoku.ac.jp/~kyokugen/lab.html>



研究課題名 ナノ世界のインターフェイス構築へのタンパク質工学的デザイン学

東北大学・大学院工学研究科・教授

くまがい いずみ
熊谷 泉

研究分野：生物機能・バイオプロセス

キーワード：生物機能工学

【研究の背景・目的】

近年におけるナノ・分子レベルでのマニピュレーションの達成は、正確な生体分子間・細胞間接合やナノ素材からのボトムアップ構造化を期待させる。その中で我々は、他分子と比較して秀でた分子認識機能と幅広い抗原対応性を持つタンパク質「抗体分子」に着目し、生体免疫系システム中の抗体遺伝子群を膨大なライブラリーと考え、有機低分子から細胞表面受容体や無機材料表面などの幅広い抗原に対して高親和な抗体分子の取得に成功してきた。

本研究では、タンパク質・細胞・ナノ工学材料の幅広い抗原を対象とした抗体分子断片を構成要素として、接合対象素材によらず目的素材間をナノレベルで正確に接合・アセンブリ制御できるバイオインターフェイス分子を創出するプラットフォーム技術を開発する。そして、分子立体構造解析と詳細な物理化学的解析および生物機能解析から裏付けされた、架橋分子の立体構造と接合による機能発現の相関を明らかにする。

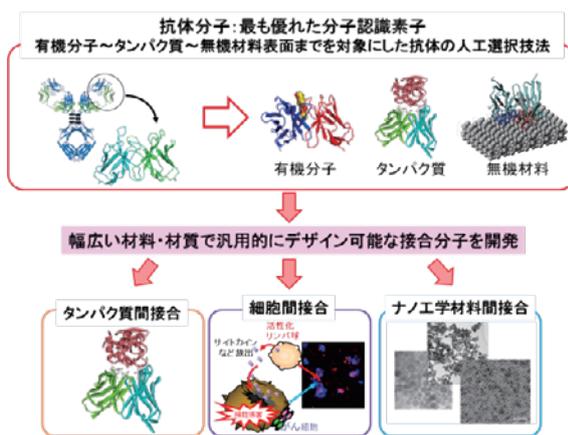


図1. 抗体分子を利用したインターフェイス分子開発

【研究の方法】

本研究では、抗体分子のがん免疫療法とナノ工学材料への高度利用を目標として、がん細胞とリンパ球表面に特異的な抗体断片や有機・無機ナノ材料に高親和な抗体断片の取得を人工選択系により取得する。そして、ドメイン組換え融合による人工分子形態を設計し、目的素材間をナノレベル

で効果的に接合できるバイオインターフェイス分子を作製する。作製したインターフェイス分子はX線や熱量測定などを用いて構造・機能を解析し、分子の架橋構造・機能データから細胞・ナノ素材の機能発現を誘発する要因を見出し、接合対象素材によらず目的素材間をナノレベルで効果的に接合できるバイオインターフェイス分子を作製する技術を開発する。

【期待される成果と意義】

タンパク質・細胞・ナノ工学材料を正確にトラップし接合できる分子は医薬・再生医療・ナノテク開発分野において重要であるが、各々の分野で独自の開発研究が行われている。その中で、我々は、有機低分子から細胞表面抗原や無機ナノ材料表面まで幅広い抗原に対応したファージ選択技術を世界に先駆けて開発した。本研究では、抗体分子はあらゆる素材間を架橋する分野横断的なナノ世界の「糊」として活躍し得る接合素子であることを立証する。この立証は、この接合素子開発プロセスがあらゆる分野で利用できるプラットフォーム技術となることを意味し、今後の細胞・ナノテクノロジーにおいて重要な単位操作の開発時間・コストが大幅に合理化されることが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) H. Watanabe, M. Umetsu, I. Kumagai *et al.*, Human anti-gold antibodies: Biofunctionalization of gold nanoparticles and surfaces with anti-gold antibodies, *The Journal of Biological Chemistry*, **283**, 36031-38 (2008)
- 2) R. Asano, M. Umetsu, I. Kumagai *et al.*, Highly effective recombinant format of a humanized IgG-like bispecific antibody for cancer immunotherapy with retargeting of lymphocytes to tumor cells *The Journal of Biological Chemistry*, **282**, 27659-27665 (2007)

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
167,500千円

【ホームページ等】

<http://www.che.tohoku.ac.jp/~kuma/index.htm>

【基盤研究(S)】

理工系(工学Ⅱ)



研究課題名 Fly By Light Power : 低パワーによる飛躍的な高速空力性能の向上

名古屋大学・大学院工学研究科・教授 さそう あきひろ
佐宗 章弘

研究分野： 総合工学(航空宇宙工学)

キーワード： 航空宇宙流体力学、衝撃波、プラズマ、レーザー

【研究の背景・目的】

超音速飛行は、揚抗比(揚力と抗力の比)の低さと騒音(ソニックブーム)という大きな問題を抱え、未だ陸地上空での商用飛行は実現していない。本研究は、これを実現するため繰返しレーザーパルスによるパワー付加によって既存技術よりも高い揚抗比を実現し、なおかつレーザーの遠隔操作機能を活用した能動的なソニックブーム低減を実現することを目的としている。

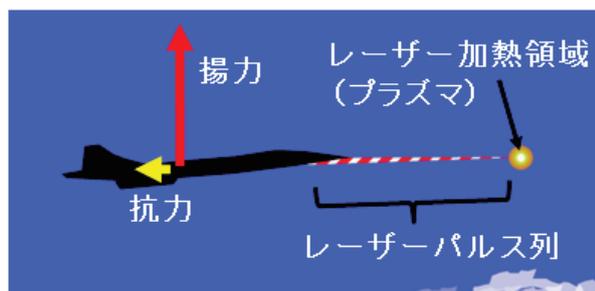


図1 繰返しレーザーパルスによる揚抗比の向上

【研究の方法】

次の5つの要素課題に取り組み、その後それらを統合した実証実験に取り組む。

- (1) 飛行体上流に音速が高い領域を発生させて圧力場がより上流にまで影響を及ぼすようにして飛行体表面の圧力を低下させる「プリカーサー効果」を実現させる。さらに、流れに非対称にパワーを付加し、揚抗比を増加させる。
- (2) 境界層への運動量作用/エネルギー作用を併用することによって、剥離を抑制し、抗力をさらに低下させる。
- (3) 衝撃波とプラズマの干渉による渦の発生(バロクリニック効果)を積極的に利用して、低密度領域滞留時間と作用力積量を増加させる。
- (4) レーザーパルスを繰返し作用させることによって密度/速度乱れを発生させ、遠隔的に衝撃波を減衰させ、ソニックブームを低減する。
- (5) パワー付加形態を最適化する。

これらの課題および統合実証のため、衝撃波管、超音速風洞、正方形断面バリスティックレンジ、

低速格子乱流風洞、高繰返しパルスレーザーおよび放電装置、三次元非定常 Navier-Stokes 方程式数値シミュレーションおよび診断計測を駆使して研究に取り組む。

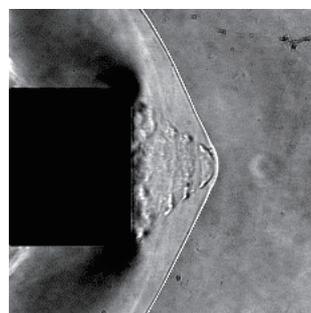


図2 繰返しレーザーパルスによって弱められた衝撃波層の光学可視化写真

【期待される成果と意義】

本研究で成果を挙げることによって、超音速旅客機開発の動機と実現性を高めることができる。高出力・高効率・小型レーザー技術は急速に進歩しており、実用技術に至るのにもそれほど長い時間を要さないのではなかろうか。さらに、本研究で扱う流体力学は、非定常かつ低パワーの作用で流れを大きく変えることを志向する新しいアプローチであり、流体力学の新展開を期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- A. Sasoh, T. Ohtani and K. Mori, "Pressure effect in a shock-wave-plasma interaction induced by a focused laser pulse," Phys. Rev. Lett., 97, 205004, 2006.
- T. Sakai, "Supersonic Drag Performance of Truncated Cones With Repetitive Energy Depositions," Intl. J. of Aerospace Innovation, Vol.1, No.1, pp.31-43, 2009.

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
172,100千円

【ホームページ等】

<http://akagi.nuae.nagoya-u.ac.jp/>



研究課題名 画期的な海底鉱物資源としての含金属堆積物の包括的研究

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

かとう やすひろ
加藤 泰浩

研究分野：地球・資源システム工学

キーワード：海底鉱物資源、資源探査、グローバル物質循環

【研究の背景・目的】

レアアースは、Nd-Fe-B 磁石、蛍光体など我が国の最先端技術産業に不可欠な元素であり、その需要の急増により新たな供給源の確保が火急の国家的課題となっている。こうした状況の中、我々は、レアアースを豊富に含有した『深海底含金属堆積物』が太平洋に広範囲に分布していることを発見した。この新規資源は、従来の海底鉱物資源（マンガノジュール・クラスト鉱床、海底熱水性硫化物鉱床）の総資源量を3桁も上回る膨大なものである。①レアアース含有量が非常に高い、②層厚がおそらく数十メートルの堆積物であり、資源量が膨大かつ探査が容易、③開発の障害となるウラン、トリウムなどの放射性元素の含有量が低い、④弱酸によりほとんど全ての有用元素が容易に回収できるなど、資源としてまさに理想的なものである。この新発見の資源は公海上に存在しているが、国際海底機構への鉱区申請を経て我が国が開発できる可能性がある資源であり、国家的課題であるレアアース資源の安定確保へ向けた切り札となることが期待される。本研究は、この新規の資源について、(a) 太平洋全域における分布状況、レアアースの含有量および存在状態の包括的把握、(b) 資源ポテンシャル評価と有望海域の選定、(c) 海底資源開発へ向けた積極的な政策提言、を行うことを目的とする。

【研究の方法】

本研究では、北中南米沖から日本近海までの太平洋全域からすでに採取されている DSDP/ODP のボーリングコア 65 本を研究試料とする。約 5,000 個の堆積物コア試料について、実体顕微鏡およびスミアスライドによる基礎的記載、粉末 X 線回折装置 (XRD) による構成鉱物の同定を行う。さらに蛍光 X 線分析装置 (XRF) による主成分元素分析と誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) によるレアアース・微量元素分析を行い、堆積物の地球化学データの収集に努める。分析によって得られた大量の化学組成データについて、独立成分分析により解析を行う。さらに、レアアースおよび他のレアメタルの酸・アルカリによるリーチング実験を行い、ホスト相毎のレアアース含有量と存在状態について、より詳細な情報を得る。

【期待される成果と意義】

含金属堆積物におけるレアアースの起源物質、

ホスト相、生成プロセスの全容が解明されるはずである。さらに、太平洋全域での過去数千万年間の元素の分布や物質循環を復元し、この新規資源を生み出す地球のダイナミクスを明らかにすることができると期待される (図 1)。それにより、ボーリングコア試料が存在しないデータの空白域が補完され、太平洋全域の資源量の高精度予測と確度の高い有望海域の選定が可能になるはずである。将来的には、この新資源を実際に開発することを目指した、さらなる研究の新展開が期待される。

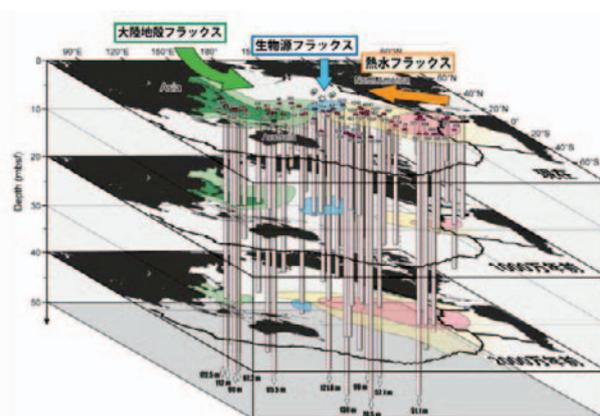


図1 DSDP/ODP ボーリングコア試料位置図と復元が期待される過去の物質循環(熱水活動の経年変動など)の概念図

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Kato, Y., Yamaguchi, K. and Ohmoto, H.: Rare earth elements in Precambrian banded iron formations: Secular changes of Ce and Eu anomalies and evolution of atmospheric oxygen. Geological Society of America Memoir 198, 269-289, 2006
- Kato, Y., Fujinaga, K. and Suzuki, K.: Major and trace element geochemistry and Os isotopic composition of metalliferous umbers from the Late Cretaceous Japanese accretionary complex. Geochemistry Geophysics Geosystem vol. 7, Q07004, doi: 10.1029/2005GC000920, 2005

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
121,300千円

【ホームページ等】

<http://egeol.geosys.t.u-tokyo.ac.jp/kato/ykato@sys.t.u-tokyo.ac.jp>



研究課題名 長寿命核廃棄物の核変換処理技術開発のための 中性子捕獲反応断面積の系統的研究

東京工業大学・原子炉工学研究所・教授 **いがしら まさゆき**
井頭 政之

研究分野：工学

キーワード：炉物理・核データ

【研究の背景・目的】

核分裂炉で生成される長寿命核廃棄物の処理・処分については、他の放射性核種と共にガラス固化・一時貯蔵・地中埋設が我が国の今日の国策となっている。

しかし、長寿命核廃棄物を分離・抽出して、安定核種に核変換処理すれば、地中埋設における環境負荷を大幅に軽減することができる。また、長寿命核廃棄物は遠い子孫にとっては負の遺産であるという倫理学的問題も解決することができる。

このように、長寿命核廃棄物の核変換処理・処分は非常に重要な技術開発課題である。中性子核反応を用いた核変換が現実的技術として期待されており、本研究対象の中性子捕獲反応は最も重要な核変換反応である。しかし現在、核変換処理技術開発を推進するために必須な中性子捕獲反応断面積データベースの精度は極めて不十分であり、データベースの高精度化が喫緊の課題である。

本研究では、長寿命核廃棄物等の中性子捕獲反応断面積等の高精度測定、測定結果の統一的理論解析、長寿命核廃棄物の中性子捕獲反応機構の解明を行い、測定できない核種・中性子エネルギー領域の中性子捕獲反応断面積を理論計算により提供し、中性子捕獲反応断面積データベースの高精度化に資することを目的とする。

【研究の方法】

新しい大強度核破砕パルス中性子源を用いた「大強度陽子加速器施設 物質・生命科学実験施設 中性子核反応測定装置 (J-PARC MLF NNRI)」での熱領域から keV 領域までの広い領域での長寿命核廃棄物の中性子捕獲反応断面積の高精度測定を中心に据え、これまで実績を有している東京工業大学ペレット加速器施設での keV 領域の測定と京都大学電子線形加速器施設での熱領域から eV 領域の測定を合わせて行い、重複する核種・中性子エネルギーに対する結果を比較することにより、施設固有の認識不可能な系統誤差に関する情報を得、得られた情報を基にこの系統誤差を極力排除し、信頼性の極めて高い測定結果を導出する。導出された信頼性の高い断面積とガンマ線スペクトルの測定結果を同時に理論解析することにより、長寿命核廃棄物の中性子捕獲反応機構を解明して捕獲反応断面積の理論予測精度を飛躍的に向上させ、測定できない核種・中性子エネルギー領域の捕獲反応断面積の精度良い計算値を与える。

【期待される成果と意義】

本研究の最終的な成果となる長寿命核廃棄物 (Zr-93, Tc-99, Pd-107, I-129, Np-237, Am-241, Am-243, Cm-244, Cm-246) の中性子捕獲反応断面積の精度良い測定値と計算値は、核変換処理技術開発において非常に重要な核データとなり、その意義は極めて大きい。また、本研究で測定する Se, Zr, Pd, Sn, I, Cs の安定同位体の捕獲反応断面積データは、同位体分離を行わない核変換システムの研究において重要な核データとなり、その意義は大きい。

研究の独創性・革新性・波及効果・普遍性

- ・独創性:断面積とスペクトルの同時測定
- ・革新性:世界最高性能のNNRI等の使用

・波及効果:

- ①核変換処理技術開発を加速
- ②核データ分野の学術進展を加速
- ③測定結果は宇宙元素合成研究を加速
- ④高精度測定データは核反応理論研究を加速

・普遍性:世界標準核データベース

*グローバル産業化された原子力において、世界標準でリードすることは我が国にとって非常に重要!

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Nuclear data study at J-PARC BL04: M. Igashira, Y. Kiyonagi, and M. Oshima; Nucl. Instr. Meth., **A600**, 332-334 (2009).
- ・ Thermal Neutron Capture Cross-Section and Resonance Integral of Americium-241: S. Nakamura et al.; J. Nucl. Sci. Technol., **44**, 1500-1508 (2007).
- ・ Measurement of Neutron Capture Cross Section of ^{237}Np from 0.02 to 100eV: O. Shcherbakov et al.; J. Nucl. Sci. Technol., **42**, 135-144 (2005).

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度
166,800千円

【ホームページ等】

<http://www.nr.titech.ac.jp/~iga/>
iga@nr.titech.ac.jp

【基盤研究(S)】

理工系(工学Ⅱ)



研究課題名 1つ・2つ・3つ・・・の粒子が導く新材料創出の包括科学

大阪大学・大学院工学研究科・教授

せき しゅうへい
関 修平

研究分野: 工学

キーワード: 単一粒子ナノ加工、高分子材料、蛋白質、粒子線、ナノワイヤ

【研究の背景・目的】

“原子(Atom)”の語源はギリシャ語の“ATOMOS”、言わずもがな“Indivisible”・“これ以上分けることのできない”という概念に端を発している。一方で、和製複合語である“量子ビーム”という考え方は、その“ビーム(梁)”の表す根底として、分けることのできない粒子を“集束”するという概念に支えられている。

近年、ナノテクノロジーの発展とともにトップダウン型の技術としてリソグラフィに代表されるようなビーム微細加工技術が発展してきた。これらの技術体系は、共通して“集束”したビームを利用している。数nm以内の微細な空間にエネルギーを集めることにより、自由度の高い微細な加工を達成することができるが、反面、加工領域がビームの“集束”度合に依存する。先に述べた“Indivisible”であるべき“世の中で最も細いビーム”を突き詰めれば、単一の粒子に突きあたるのではないだろうか。本研究「1つ・2つ・3つ・・・の粒子が導く新材料創出の包括科学」では、単一の粒子による「ありとあらゆる材料」のナノ構造化を実証し、その機能化・機能複合化を目指した包括的な「量子ビーム科学」を推進する。

【研究の方法】

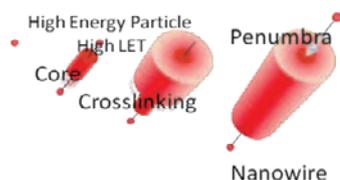


図1 単一粒子ナノ加工法の概念

本研究の核となる“単一粒子ナノ加工法”のプロセスは極めて簡便であり、図1にその概念を示す。1) 高分子薄膜形成、2) 粒子線照射、3) 高分子未変性部分の溶出、の3ステップですべてのプロセスが完結する。本研究では、1) タンパク質を基盤とした生物材料、2) 各種有機高分子材料、3) 無機セラミクスナノ構造形成、4) 有機-無機ハイブリッドの4つの材料分野をそれぞれ基礎とする。本研究終了までに、「こんな材料があるのだが、これを自由に微細(ナノ)構造化できないだろうか?」といった要求に確実に答えられる技術基盤を確立し、量子ビーム応用におけるデファクト・スタンダードとなる技術を目指す。

【期待される成果と意義】

単一粒子ナノ加工法は、そのプロセスが非常に簡便である反面、現状で使用される粒子加速器は極めて高価かつ大規模であるが、近年がん治療やポジトロン造影に供される加速器や、小型の加速器の開発が盛んに進んでいる事を鑑みると、それほど非現実的な利用ではなく、一方で形成するナノ構造体を触媒活性表面などに限定すれば、本申請の最終目標の一つであるラポレベルの簡便な低エネルギー装置によるプロセス技術が確立できる。

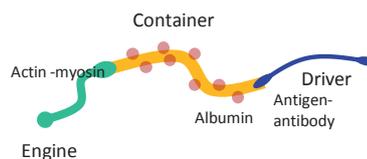


図2 蛋白質をベースとした複合機能1次元ナノ構造体

「1つの粒子が1つの構造体を形成する」という特徴を考えると、形成される構造体の数あたりに必要な形成時間はわずかであり、現状においても10億個の構造体を形成するのに必要な時間は、わずか数秒未満である。また、近年のトップダウン型の加工手法の代表格であるリソグラフィプロセス費用・複雑性と比較すれば、本手法におけるプロセスは圧倒的に安価・簡便であるため、ナノ構造化プロセス技術としての応用範囲は、本研究で挙げた①触媒担持体・②生体適合ナノ材料、にとどまるものではなく、産業・医療分野への広範な適用が期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

S. Seki, et al., *Polymer J.*, **39** (2007) 277; S. Seki, et al., *Macromolecules*, **39** (2006) 7446; *ibid.*, **38** (2005) 10164; S. Tsukuda, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **87** (2005) 233119; S. Seki, et al., *Phys. Rev. B*, **70** (2004) 144203

【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度
154,900千円

【ホームページ等】

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~cmpc-lab/seki@chem.eng.osaka-u.ac.jp>