

研究課題名 ILC のための最先端測定器の国際的新展開

東北大学・大学院理学研究科・教授

やまもと ひとし
山本 均

研究分野：素粒子実験

キーワード：高エネルギー実験、先端機能デバイス、ネットワーク、計算物理

【研究の背景・目的】

いま提案されている国際リニアコライダー (ILC) は現在稼働しているテラスケールの物理をかきまみると言われている LHC をはるかに超える感度を持つ。ILC 物理成果を実現するには LHC の測定器をはるかに上回る分解能が要求され、実際 ILC 測定器開発は、近年、高エネルギー実験分野のレベルを大きく底上げして来た。

この研究計画の目的は、ILC が科学的政治的に建設可能となると、その測定器が技術面でも組織面でも実現されるように準備する事である。そのために、ILC の物理的可能性を実現する測定器の設計を遅れる事なく完成し、反応点測定器、TPC 飛跡検出器、カロリメータに焦点を当て、必要な測定器要素を開発する。これらは国際的枠組みのもとで国際共同研究によって遂行する。

ILC のような巨大な計画は、国民の理解と支持なしには実現され得ない。一般市民に ILC などの基礎科学の価値を理解してもらえように働きかける事もこの研究計画の目的の一つである。

【研究の方法】

ILC の物理に必要なクォークのエネルギー分解能は PFA (Particle Flow Algorithm) と呼ばれる方法によって可能になる。それは、荷電粒子は飛跡検出器で測定し、中性粒子はカロリメータで測定して重複をパターン認識で除くというものである。さらに、運動量や反応点位置の分解能でもこれまでのレベルをはるかに超える性能が要求される。

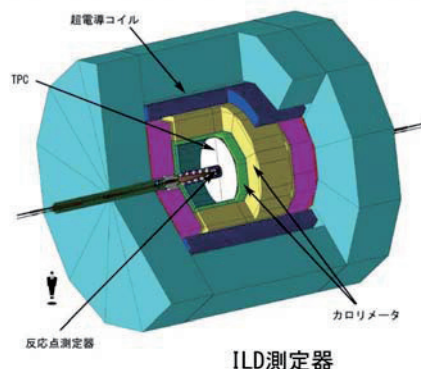
PFA には、チャンネル数が LHC のものより 3 桁大きいカロリメータが必要となり、そのためには従来とは本質的に異なるカロリメータの技術が要求されるが、最先端光検出器 MPPC や高精細のシリコン読み出しによって実現する。さらに、必要となる運動量分解能は LHC の 10 分の 1 程度だが、それは TPC 読み出しに GEM (Gas Electron Multiplier) を使い、検出器の質量を LHC の場合の 6 分の 1 にすることで可能にする。また、要求される反応点測定器の分解能は LHC の千分の 1 のピクセルサイズの高精細 CCD (FPCCD) によって達成する。

【期待される成果と意義】

最先端技術を駆使し PFA の概念に基づいた ILC 測定器を実現する。それにあたり、我々は国際的枠組みの中で主導的役割を果たす。

ILC 測定器を実現するために開発される技術は

それぞれが最先端のものであり、高エネルギー物理学実験の分野で新しい地平を開くものである。ILC が現在予定されているタイムラインで実現すれば、この研究成果はもちろん十分に役立てられる。加えて、これらの測定器技術は高エネルギー物理学の分野での新しい標準となり、さらに、高エネルギー物理学の領域を超えて、原子核物理、天文学、生物学、医学に波及する。



【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] <http://www.linearcollider.org/>, ILC Reference Design Report vol.1-4 (2007):
- [2] The International Large Detector (ILD) Letter of Intent, ILD group, <http://www.ilcild.org/documents/ild-letter-of-intent/LOI.pdf>
- [3] "Construction and Commissioning of the CALICE Analog Hadron Calorimeter Prototype", The CALICE collaboration, C. Adloff, et al., JINST 5 P05004 (2010).
- [4] "CCD-based vertex detector for GLC", Y. Sugimoto, et al., Nucl. Instrum. and Meth. A549: 87-92 (2005):
- [5] "Study in a beam test of the resolution of a Micromegas TPC with standard readout pads", The LCTPC Collaboration, D.C.Arogancia, et al., Nucl. Inst. And Meth. A602 403-414 (2009);

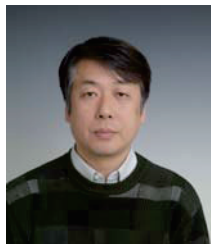
【研究期間と研究経費】

平成 23 年度 - 27 年度

428,300 千円

【ホームページ等】

<http://epx.phys.tohoku.ac.jp/ilcsuishin/>
yhitoshi@epx.phys.tohoku.ac.jp



研究課題名 マルチ・ストレンジネス多体系の精密分光

京都大学・大学院理学研究科・教授 ながえ ともふみ 永江 知文

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

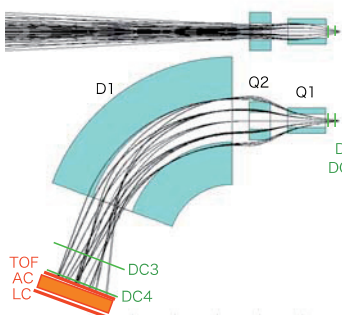
キーワード：原子核（実験）

【研究の背景・目的】

ストレンジネス(S)が入ったバリオン多体系としてのハイパー核の研究は、これまで $S=1$ のラムダ (Λ)・ハイパー核とシグマ (Σ)・ハイパー核を中心に研究が行われてきた。一方、これを進めてストレンジネスが2個入った、マルチ・ストレンジネスのバリオン多体系の研究では、2個のラムダ粒子が束縛した二重ラムダ ($\Lambda\Lambda$)・ハイパー核が数個見つかったのみである。 $S=2$ のバリオン多体系には、この二重ラムダ・ハイパー核から約 28 MeV だけエネルギーの高い状態として、 $S=2$ のバリオンであるグザイ (Ξ) 粒子が原子核に束縛したグザイ・ハイパー核が存在すると予想されている。本研究は、このグザイ・ハイパー核分光を、高エネルギー分解能で世界で初めて本格的に研究するものであり、その上でグザイ・ハイパー核と二重ラムダ・ハイパー核という2つの束縛状態が強く結合した特徴ある系である $S=2$ のバリオン多体系の様相を解明することを目的とする。これは、中性子星の中心部において実現されていると考えられる高密度核物質中でのストレンジネス自由度の役割を理解する上で重要な知見を与えるものである。

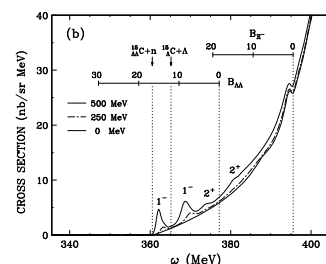
【研究の方法】

大強度陽子加速器施設 J-PARC において得られる中間エネルギーの大強度 K中間子ビームと大立体角を有し高いエネルギー分解能を持つ磁気スペクトロメーターを組み合わせることにより、世界で初めて (K, K^+) 反応によるグザイ・ハイパー核と二重ラムダ・ハイパー核の分光学的研究を行う。大立体角をもち運動量分解能を向上させた (0.05%FWHM) 新しい磁気スペクトロメーターを設計・製作する。図に示すように QQD (四重極電磁石2台と双極型電磁石1台) からなる磁気光学系を採用する。ビームライン・スペクトロメーターと合わせて、エネルギー分解能として 1.2 MeV を目標とする。スペクトロメーターの覆う立体角の大きさは 70 msr 以上を目指す。



【期待される成果と意義】

グザイ・ハイパー核と二重ラムダ・ハイパー核の励起を調べるため、まず最初に $^{16}\text{O}(K, K^+)$ 反応の測定を行う。J-PARC のハドロン実験室 K1.8 ビームラインの K中間子大強度ビームを利用する。図に原田らによる ^{16}O 標的の場合の理論的に期待されるスペクトルの例を示す。下図の右側のピークがグザイ・ハイパー核の束縛状態に対応し、中央部分の数本のピークが二重ラムダ・ハイパー核の励起準位に相当している。約1ヶ月のビームタイムで十分な統計精度のデータが取得できる。引き続き、 ^{10}B (2週間)、 ^7Li (2週間)、 ^{28}Si 標的(1ヶ月)を使ってデータを取得し、グザイ原子核ポテンシャル等のアイソスピン依存性や質量数依存性を調べる。



これらの実験情報は、超高密度核物質中でのストレンジネス自由度の役割、すなわち、ラムダやグザイ粒子などのハイペロン出現の仕方を決定づけるものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- P. Khaustov, D.E. Alburger, et al., "Evidence of Ξ hypernuclear production in the $^{12}\text{C}(K, K^+)^{12}_{\Xi}\text{Be}$ reaction", Phys. Rev. C 61 (2000) 054603
- T. Harada, Y. Hirabayashi, A. Umeya, "Production of doubly strange hypernuclei via Ξ -doorways in the $^{16}\text{O}(K, K^+)$ reaction at 1.8 GeV/c", Phys. Lett. B 690 (2010) 363-368.

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

336,200千円

【ホームページ等】

<http://www-nh.scphys.kyoto-u.ac.jp/~nagae/tokubetsu/index.html>
nagae@scphys.kyoto-u.ac.jp



研究課題名 高感度X線CCDとスーパーミラーによる観測と宇宙進化の研究

大阪大学・大学院理学研究科・教授

つねみ ひろし
常 深 博

研究分野：理工系、数物系科学、天文学

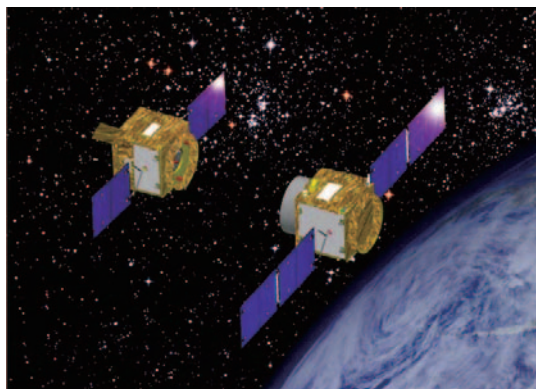
キーワード：X線γ線天文学

【研究の背景・目的】

宇宙は137億年前のビッグバンから始まり、進化している。時代毎、つまり距離ごとに、宇宙全体で、どんな明るさの天体がどのくらいあるかを調べれば進化の様子が判る。宇宙には、いろいろなサイズのブラックホールをもつ活動銀河核がたくさんあり、X線宇宙背景放射(CXB)となって見えている。そのX線強度は40keVあたりで最大となる。これまで技術的な制約からX線望遠鏡を使った詳細な観測は10keV以下の領域(軟X線)で行われた。10keV以上の領域(硬X線)では、X線望遠鏡を使えないために、観測精度は限られていた。

宇宙進化を研究するためには、CXBの強度から、従来までのX線望遠鏡では観測できない領域の精度の高い観測が必要である。まさに硬X線領域には、AGNを中心として未知の世界が広がっている。

X線望遠鏡を使った衛星は、狭い領域を集中的に観測してきた。これに対してX線望遠鏡を使わない衛星は、広い領域を走査観測してきた。宇宙の進化を研究するためには、いろいろな明るさの星を多数観測する必要がある、従来までの方法では不十分である。そこで、我々は、X線望遠鏡を使い、広い領域を走査観測し、80keVまで観測できる衛星の実現を目指す。宇宙進化の解明のための観測を、我々のアイデアで、そして我々の手では是非とも実行したい。



【研究の方法】

X線望遠鏡を使わない硬X線領域の観測は、国際宇宙ステーション搭載のMAXIで継続する。X線望遠鏡を使った硬X線領域観測は、2013年度打ち上げ予定のASTRO-Hで実行する。この衛星は狭い領域を精度よく測定するものである。これらに対して、我々は名古屋大学で開発するX線望遠鏡と大阪大学で開発するSDCCD検出器をそれぞ

れ別の小型科学衛星に搭載して、ASTRO-Hを凌ぐ焦点距離を持つ宇宙望遠鏡FFASTの実現をめざす。左下の図は、望遠鏡と検出器とを搭載した2機の小型科学衛星の想像図である。

【期待される成果と意義】

宇宙進化を解明するために、望遠鏡と検出器とを別の小型衛星に搭載して、硬X線領域で広い領域の走査観測を世界で初めて実行する。こうして、宇宙のいろいろな時代に、どんな明るさの天体がどのくらいあったかを調べ、巨大ブラックホールを中心とする宇宙進化解明を目指す。

科学観測のための2衛星を使った編隊飛行技術は、ヨーロッパやアメリカで計画されてきたが、いずれも計画は中止となっている。技術的な困難も大きい。我々は、JAXAで開発してきた編隊飛行技術を応用すれば、十分に実現可能であることが判っている。そこで、我々の計画が実現すれば、工学技術的にも世界で初めてとなる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

Hiroshi TSUNEMI, Kiyoshi HAYASHIDA, Naohisa ANABUKI, Rui SAKAGUCHI, Hideyo KUNIEDA, Yasushi OGASAKA, Masayuki ITOH, Masanobu OZAKI, Isao KAWANO, and FFAST team, "High Energy X-Ray Sky Observation by the Formation Flight All Sky Telescope", Transaction of JSASS Aerospace Tech Japan, To_4_7-12, 2010

Hiroshi Tsunemi, Shutaro Ueda, Kazuo Shigeyama, Koji Mori, Shoichi Aoyama, Shinichiro Takagi, "Performance of a newly developed SDCCD for X-ray use", Nucl. Instrum. and Meth. 10.1016/j.nima.2010.08.118

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

424,800千円

【ホームページ等】

<http://wwwxray.ess.sci.osaka-u.ac.jp/ffast/FFAST/Top.html>

http://wwwxray.ess.sci.osaka-u.ac.jp/OskXrayTlabHP/Tsunemi_Labo.html

研究課題名 加速器中性子利用 ^{99}Mo 等医学用RI生成開発研究

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門

原子力エネルギー基盤連携センター・客員研究員 ながい やすき
永井 泰樹

研究分野：数物系科学、化学、医歯薬学

キーワード：原子核（実験）、加速器、核利用分析、核医学、放射線治療学

【研究の背景・目的】

我国では、 ^{99}Mo の娘核種 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を含む医薬品は、核医学診断用に年間90万件、 ^{90}Y を含む医薬品も癌治療に多用されている。そして、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及び ^{90}Y の製剤化は、其々半減期66時間の ^{99}Mo 及び64時間の ^{90}Y を外国から輸入し行われている。しかし、 ^{99}Mo を製造してきた原子炉が高経年化により事故が頻発している事、高濃縮 ^{235}U を使用している事（核不拡散に抵触）から ^{99}Mo の安定確保を如何にするかが、世界中の問題になっている。又、 ^{90}Y は、輸入に日数を要するため製薬時に比放射能が低下し、標識化に困難が生じている。一方、診断・治療両用RIとして世界が期待する ^{64}Cu 及び ^{67}Cu は、未だ適切な製造法が未開発で、医学現場で大きな課題となっている。

本研究では、「加速器中性子のみを用い上記医学用4RI核種を製造する」という世界に類を見ない革新的方法を導入し、化学分離等で無担体RIを分離抽出し、核医学で用いる標識化合物を合成する。これらを動物に注射、RIの体内分布を測定し、その結果を、既存のRIで得られる体内分布と比較し、本方法で市販品等と同品質のRIが生成可能な事を立証する基礎研究を行う。

【研究の方法】

核医学診断治療に重要な ^{99}Mo 、 ^{90}Y 、 ^{64}Cu 及び ^{67}Cu の4核種は、原子力機構核融合研究部門の加速器で得られる高速中性子を用い、 $^{100}\text{Mo}(n, 2n)^{99}\text{Mo}$ 、 $^{90}\text{Zr}(n, p)^{90}\text{Y}$ 、 $^{64}\text{Zn}(n, p)^{64}\text{Cu}$ 及び $^{67}\text{Zn}(n, p)^{67}\text{Cu}$ 反応で生成する。生成したRIからの無担体RIの分離抽出は、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は昇華法で、 ^{90}Y 、 ^{64}Cu 及び ^{67}Cu は、イオン交換法で行う。そして、抽出した $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は、既存医薬品の中から適切な配位子を選択し、標識化を行う。 ^{90}Y については、標識率及び放射化学的純度の比較に適切なモデル配位子を合成する。 ^{64}Cu 及び ^{67}Cu 標識化に関しては、オクトレオタイドなどの腫瘍集積性ペプチドにDOTAを配位子として結合させたモデルプローブを合成し、 $^{64}\text{Cu}/^{67}\text{Cu}$ で標識して体内動態を臓器摘出法により検討する。又、新規配位子として官能基を種々変更した誘導体を合成する。それと共に、がんの特異的な抗体、ペプチドを母体として、 ^{64}Cu 標識PET用薬剤を設計、合成する。

更に、加速器照射後の大量RIから目的とする医薬品原料核種の化学処理を行い、高品質の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及び ^{90}Y を遠隔手法により分離精製すると共に、高価な高濃縮 ^{100}Mo 試料及び ^{90}Zr を再利用すべく回収するための装置の設計・製作を行う。又、高強度の加速器中性子源については、大型銅円盤上にトリチウムを吸蔵する能力が高いチタンを蒸着、これをトリチウムガス中にセットし製造する。

【期待される成果と意義】

需要の多い ^{99}Mo の国内安定供給体制構築に向けて、基礎開発の技術基盤が確立する。同様に、新鮮な ^{90}Y の国内安定確保が可能になり、 ^{64}Cu 及び ^{67}Cu については、大量に生成できる有効な方法が初めて確立し、その実用化に向けた研究基盤が確立すると共に新薬開発等に利用されると期待できる。この結果、RIが廉価・安定に確保され医療費の高騰は抑制される。

本RI生成法は、高濃縮 ^{235}U を利用する事が無く小型施設で行えるため、世界が受容する方法であり、広く普及し、国際的・社会的な貢献は極めて大である。更に、本生成法により多様なRI生成による核医学診断・治療のフロンティアが形成され、新しい研究分野を拓くと共に、本新RI生成法では、開発研究で多くの知財獲得を可能にし、基礎研究の知見の社会貢献として大きな意義を持つ。原子核物理・加速器科学・核化学研究の医療分野への展開であり、夫々の学問分野に新たな発展を齎すと共に、若い人材育成に寄与する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) Production of ^{99}Mo for nuclear medicine by $^{100}\text{Mo}(n, 2n)^{99}\text{Mo}$, J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 033201-1, 033201-4
- 2) Production of an isomeric state of ^{90}Y by fast neutrons for nuclear diagnostics, J. Phys. Soc. Jpn. 78, (2009) 113201-1, 113201-4

【研究期間と研究経費】

平成23年度－26年度

299, 200千円

【ホームページ等】



研究課題名 高度に酸化された複雑な構造を有する生理活性天然有機化合物の合成法の開拓研究

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授 **すずき けいすけ**
鈴木 啓介

研究分野：有機化学

キーワード：有機合成化学、高選択的有機反応の開発、生理活性天然有機化合物の全合成

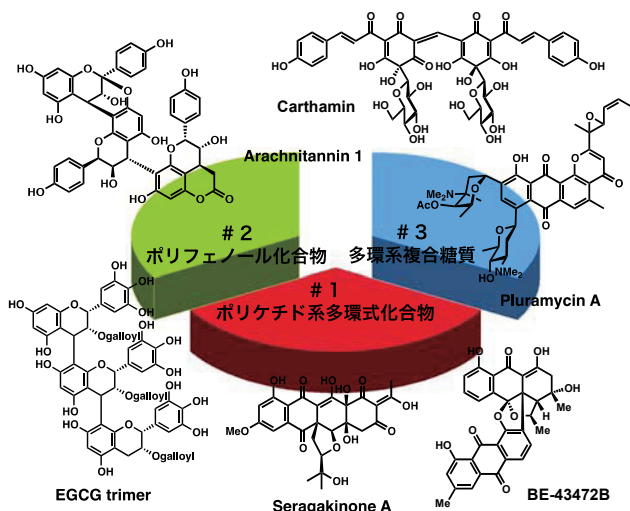
【研究の背景・目的】

有機合成化学は、有用分子の効率的かつ量的な供給を通じ、生命科学を含め、物質関連科学技術の幅広い分野を支える基盤である。その水準は、近年、多様な遷移金属触媒の登場、理論、計算機科学の進歩、分離分析技術、プロセス化学等、周辺技術の進展に支えられ、充分に発展し尽くしたとの見方もある。しかし、合成効率や環境調和性の視点、あるいは合成標的の構造によっては、未だ有機合成化学自体の発展が強く求められる場面がある。

本研究では、まさに有機合成化学の先鋭的発展なくしては取り扱うことのできない“タフな合成標的”として、高度に酸化された複雑な構造を有する天然有機化合物を取り上げる。すなわち、ポリケチド経路をはじめとして、天然の生合成に由来する化合物の中には、未踏峰のように合成を拒み続けているかのような構造があり、しかも重要な生理活性がそうした構造ゆえのことであることも多い。本研究は、既存の手法では達成が困難な生理活性有機化合物を標的とした合成研究を行い、合成的諸問題の解決を通じて精密有機合成化学の進歩に寄与するとともに、新規有用分子構造の創出と基盤を開拓し、特に生命科学分野への貢献を志向するものである。

【研究の方法】

以下の3つのタイプの化合物群の合成経路を開拓することを目指す。



本研究で目指すのは、対象構造の構築に関し、幹が太く、また立体化学的にも疑問の余地のない“堅牢な合成経路”の開拓である。そのために、我々が開発した独自の合成の方法論を多面的に活用するとともに、それぞれの標的化合物に特有な問題を把握し、それに応じて新たな反応開拓にも取り組む。さらにそれらを総合して、力強く、柔軟な有機合成プロセスの確立を行うとともに、対象化合物の挙動に十分注意を払い、必要に応じて分離・分析法の確立を手掛ける。

【期待される成果と意義】

本研究の展開により、複雑な構造の自在構築を目指す中で、有機合成化学自体を鍛えることができる。また、波及効果として、希少な天然有機化合物でも量的供給を可能にする、あるいは非天然型構造類縁体を合成的に創出することにより、関連の生化学研究等に拍車をかけることができる。

本研究を通じて開発が期待される新たな合成反応 (tactics) や合成論理 (strategy) は、学術および産業の発展に貢献するものである。本研究は有機合成に立脚した基礎研究であり、特異な機能を有する高次構造を創出する基盤技術として、生命科学やナノ材料科学などの分野にも新鮮な知識を提供するものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Integrated Synthetic Strategy for Higher Catechin Oligomers”, K. Ohmori, T. Shono, Y. Hatakoshi, T. Yano, K. Suzuki, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 4862–4867 (2011).
- “Total Synthesis and Absolute Stereochemistry of Seragakinone A”, A. Takada, Y. Hashimoto, H. Takikawa, K. Hikita, K. Suzuki, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 2297–2301 (2011).
- “Lessons from Total Synthesis of Hybrid Natural Products”, K. Suzuki, *The Chemical Record*, **10**, 291–301 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

333, 800千円

【ホームページ等】

http://www.chemistry.titech.ac.jp/~org_synth



研究課題名 特異なクラスター活性中心をもつ酸化還元金属酵素の生物無機化学

名古屋大学・物質科学国際研究センター・教授

たつみ かずゆき
異 和 行

研 究 分 野：生物無機化学、金属錯体化学、有機金属化学

キ ー ワ ー ド：ニトロゲナーゼ、ヒドロゲナーゼ、光化学系 II 酸素発生中心、遷移金属クラスター

【研究の背景・目的】

生命活動は自然の巧みな仕組みによって維持されている。その駆動力の一つが金属酵素／金属タンパク質であり、活性中心に存在する微量の金属元素が優れた酵素機能の中核的役割を担う。とりわけ、空気中の窒素分子を温和な条件下でアンモニアに変換するニトロゲナーゼ、光合成で水分子を酸素に変換する光化学系 II、補酵素 A をアセチル化して炭素固定反応を担うアセチル CoA シンターゼ、水素を可逆的にプロトンと電子に変換するヒドロゲナーゼなど、複雑でユニークな金属クラスター活性中心が基質活性化機能を担う酵素群の生化学研究が最近漸く進展し、活性中心の構造・機能相関に関する化学研究の必要性が強く認識されるようになった。

本研究では、これら特異な金属クラスターを活性中心に有する酸化還元金属酵素に注目し、我々が独自に開拓した非極性溶媒中での多核カルコゲニド錯体合成法などを駆使しつつ、これまで困難と考えられていた金属酵素クラスター活性部位の化学合成に挑戦し、酵素機能の発現機構の解明をめざす新たな生物無機化学を展開することを目的とする。

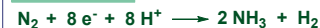
自然の巧みな仕組み — 新たな“知”の躍動

クラスター活性中心を持つ 酸化還元金属酵素

光化学系 II 酸素発生中心



ニトロゲナーゼ



[NiFe]ヒドロゲナーゼ



アセチル-CoA-合成酵素



CO-デヒドロゲナーゼ



不均等配位[4Fe-4S]クラスター

電子移動反応、クエン酸の異性化反応 etc.

文明社会の未来を担う 基礎概念

水の分解

O₂ 発生

窒素肥料合成

H₂ 発生

還元力 ⇔ エネルギー

燃料電池 ⇔ エネルギー

炭素サイクル

電子移動

素機能の発現機構の解明をめざす。また、自然に巧みな仕組みに習う環境調和型高機能触媒の開発に資する基礎研究を展開する。挑戦的課題の具体例を以下に示す。

1) 光化学系 II 酸素発生中心の[3Mn-Ca-4O-Mn]クラスター骨格の化学合成と、水分子の活性化反応機構の解明。

2) ニトロゲナーゼ活性中心である P-クラスターおよび FeMo-co の[7Fe-Mo-9S-X]骨格の人工構築と、基質還元反応活性の検討。

3) 多様な状態にある[NiFe]ヒドロゲナーゼ活性中心のモデル錯体の系統的合成と、水素分子活性化およびプロトン還元反応の検討。

【期待される成果と意義】

クラスター活性中心をもつ金属酵素は、水分子、窒素分子、一酸化炭素、水素分子などのユビキタス分子を温和な条件で活性化する。これら金属酵素群の化学研究を新たに展開し、巧みな酵素機能の解明を通して化学・生物学の境界領域研究を推進することは、広範な学術分野の発展に貢献するだけでなく、窒素肥料の効率的合成法と石油資源に代わる水素製造方法や水の新規分解法の開拓など、環境エネルギー問題を解決する科学技術の発展に必要な学術基盤を与え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】

- [1] “Synthesis, Structures, and Electronic Properties of [8Fe-7S] Cluster Complexes Modeling the Nitrogenase P-Cluster”, Y. Ohki, M. Imada, S. Ohta, and K. Tatsumi, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 13168-13178 (2009).
[2] A Model for the CO-Inhibited Form of [NiFe] Hydrogenase: Synthesis of (CO)₃Fe(μ-S^tBu)₃Ni{SC₆H₃-2,6-(mesityl)₂} and Reversible CO Addition at the Ni Site. Y. Ohki, K. Yasumura, M. Ando, S. Shimokata, and K. Tatsumi, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **107**, 3994-3997 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 23 年度－27 年度

309,800 千円

【ホームページ等】

<http://inorg.chem.nagoya-u.ac.jp/top.html>

【研究の方法】

本課題では、クラスター活性中心をもつ金属酵素の化学研究を新たに展開する。まず、非極性溶媒中での不安定金属クラスター合成法を発展させ、複雑な金属酵素クラスター活性中心の人工構築をめざし、化学合成の力量を示したい。さらに、活性中心モデルの生物無機化学と生化学分野との共同研究によって、活性中心の生合成過程および酵



研究課題名 グラフェンテラヘルツレーザーの創出

東北大学・電気通信研究所・教授

おつじ たいいち
尾 辻 泰 一

研 究 分 野：工学、数物系科学

キ ー ワ ー ド：レーザー、カーボン材料、電子デバイス、量子デバイス、光デバイス、ミリ波

【研究の背景・目的】

将来の情報通信技術の飛躍的な発展には新たな周波数資源の開拓が必須である。トランジスタやレーザーダイオード等の半導体デバイスの世界では、光波と電波の融合域であるテラヘルツ(THz)領域は長らく未開拓領域として取り残されてきた。

そのような中で、バンドギャップおよび有効質量が消失するという特異な電子物性を有する炭素原子の単層シート：グラフェンが、2004年に A. Geim と K. Novoselov によって生成・発見され、以来、夢の光電子材料として研究が急速に進展している。本申請者は、グラフェン中に光学励起および電流注入で生じる過剰電子・正孔の非平衡キャリア緩和再結合過程を考察し、THz 領域での反転分布形成・誘導放出が実現できることをはじめて理論的に発見し、他に先駆けて実証している。

本研究では、グラフェンの特異な光電子物性を積極的に活用し、申請者が発見した新たな反転分布形成機構を導入することにより、従来成し得なかった電流注入型の室温 THz 帯レーザーを創出しようとするものである。

【研究の方法】

第一に、THz 帯レーザー共振器を構成して光ポンピングによる室温レーザー発振の実現から着手する。第二に、グラフェンの二次元電子系に励起される巨大プラズモン不安定性を利用増強手段として導入する申請者らオリジナルの素子構造・動作機構を明らかにし、その有効性を実証する。第三に、これらの新構造を用いて電流注入型 THz レーザーを試作し、室温動作の実証に挑む。

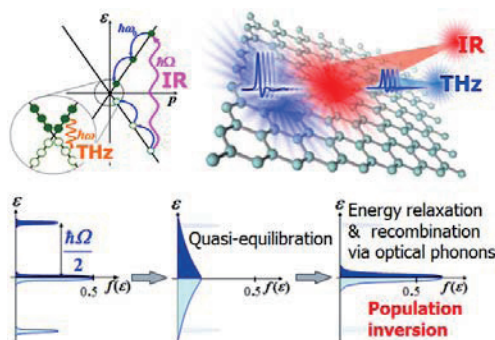


図1 光学励起グラフェンの非平衡キャリア緩和・再結合過程がもたらす THz 帯誘導増幅放出。

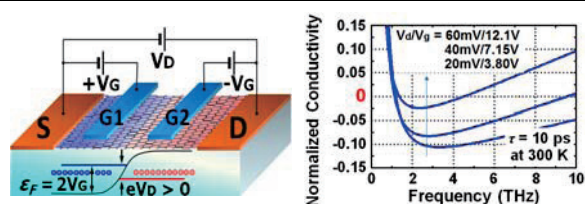


図2 電流注入型グラフェン THz レーザーの基本構造と THz 帯負性導電率の数値解析例。

【期待される成果と意義】

新しいグラフェンの光物性応用ならびに新しいレーザー理論の誕生という科学的側面において、本研究の学術的意義は極めて高いと判断できる。同時に、グラフェンの特異なバンド構造を活用する新しい電流注入型グラフェンレーザー素子構造の提案、設計論の体系化という工学的側面からの学術的意義も高く、学理の追及に基づく科学技術イノベーションとして極めて高い意義を有する。

本研究が成功すれば、半導体集積デバイスとして世界初の室温 THz レーザー発振の実現が可能となり、THz 無線通信や THz カメラなど、将来の安心・安全・ユビキタスな情報通信社会に産業革命をもたらす大きな可能性を秘めている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- V. Ryzhii, T. Otsuji, and M. Ryzhii, "Negative dynamic conductivity of graphene with optical pumping," J. Appl. Phys. **101**, 083114 (2007).
- H. Karasawa, T. Komori, T. Watanabe, A. Satou, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Observation of amplified stimulated terahertz emission from optically pumped heteroepitaxial graphene-on-silicon materials," J. Infrared Milli. Terahz. Waves, **32**, 655-665 (2011).

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

355,400千円

【ホームページ等】

URL: <http://www.otsuji.riec.tohoku.ac.jp>Email: otsuji@riec.tohoku.ac.jp



研究課題名 固液界面での光励起キャリアダイナミクスに基づいた革新的水分解光触媒の開発

東京大学・大学院工学系研究科・教授 どうめん かずなり
堂 免 一 成

研究分野：触媒・資源化学プロセス、材料化学

キーワード：触媒反応、光触媒、表面・界面

【研究の背景・目的】

現在、環境問題・エネルギー問題の観点から、人工光合成や水の光分解の研究は世界的に非常に活発に行われている。しかしながら、可視光（太陽光）照射下で実際にエネルギー変換を定常的に行える反応系は極めて限られている。我々はこれまでに数多くの独自の光触媒材料を世界に先駆けて開発してきた。特に、非酸化物系材料（酸窒化物、酸硫化物等）は可視光領域の光で水を分解できるポテンシャルをもつ非常に有望な物質群である。実際、窒化ガリウムと酸化亜鉛の固溶体（ $\text{GaN}:\text{ZnO}$ ）をベースにした反応系は、可視光照射下で一段階で水を水素と酸素に定常的に分解できる最初の例であると同時に現在世界最高活性を示す光触媒である。このような研究をさらに発展させ、太陽光を用いた光触媒による水分解の活性を実用的なレベルまで引き上げるためには、より長波長の光を有効に利用し、高い量子収率で水を分解できる光触媒の開発が不可欠である。このような革新的光触媒を開発するためには、光触媒反応の励起キャリアダイナミクスや表面化学反応メカニズムを詳細に解明し、高度に制御された構造・反応ダイナミクスを有する光エネルギー変換系の構築が必要である。

本研究は、水を水素と酸素に分解することによりこれまでにない高い効率で太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する人工光合成型の微粒子光触媒システムの開発を最終目的とする。そのために、光励起・励起キャリア移動・表面反応過程の精密解析を行うとともに、新規な構造を有する光エネルギー変換システムの構築を目指す。

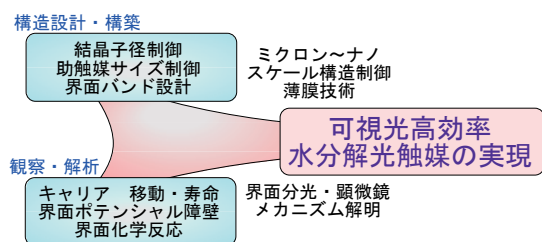


図1 本研究の構想

【研究の方法】

本研究では以下の課題に取り組む。

- (1) 光触媒材料調整法の改良
各種結晶成長法を駆使し、半導体光触媒の粒径や結晶性の最適な制御を実現する。
- (2) 光触媒表面修飾法の確立
光触媒表面を助触媒で修飾する際に、サイズ・形状・位置・接合の制御手法を確立する。
- (3) ナノ構造の *in-situ* 評価
分光法・プローブ顕微鏡法等を用いて光触媒ナノスケール構造の *in-situ* 評価を行い、光触媒材料開発への知見を見出す。
- (4) キャリアダイナミクス評価
ナノ秒～マイクロ秒スケールで光触媒の励起キャリアダイナミクスを評価し、(1), (2)の構造制御と光触媒特性との相関を明らかにする。

【期待される成果と意義】

本課題では、固液界面における励起キャリア移動や反応機構などの物理化学的側面を追求し、固体バルクの固体物理的な視野から表面化学反応までを体系的にとらえ、触媒開発に結び付ける。新たな研究分野を切り開くだけでなく、人類のエネルギー問題解決への貢献も期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) K. Maeda, T. Takata, M. Hara, N. Saito, Y. Inoue, H. Kobayashi, K. Domen, "GaN:ZnO Solid Solution as a Photocatalyst for Visible-Light-Driven Overall Water Splitting", *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 8286-8287, (2005).
- 2) K. Maeda, K. Teramura, D. Lu, T. Takata, N. Saito, Y. Inoue, K. Domen, "Photocatalyst releasing hydrogen from water - Enhancing catalytic performance holds promise for hydrogen production by water splitting in sunlight", *Nature*, **440**, 295, (2006).

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

410,600千円

【ホームページ等】

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



研究課題名 不揮発性および再構成可能な機能をもつ半導体材料とデバイスの研究開発

東京大学・大学院工学系研究科・教授

たなか まさあき
田中 雅明

研究分野：応用物性・結晶工学、電子・電気材料工学

キーワード：スピントロニクス、半導体、不揮発、再構成可能

【研究の背景・目的】

従来の半導体デバイスや集積回路では持ち得なかった「不揮発性」と「再構成可能性」の機能をもつ材料とデバイスを創製する。半導体材料あるいはデバイス構造中に磁性元素や強磁性材料を構成要素として取り込み、キャリアの電荷輸送に加えて「スピン自由度」をも活用する新しい機能材料やデバイスをつくる。スピン自由度による機能を有する新しい半導体デバイス構造を提案・解析し、不揮発性メモリ機能と合わせて、柔軟な情報処理機能、すなわちハードウェアを作製した後で機能を再構成する（書き換える）ことが可能な半導体デバイスを試作して、その原理的な動作実証を行う。具体的には、大きく分けて次の3つのタイプのスピンドバイスを作製する。

- 1) III-V 族半導体をベースとした強磁性トンネル接合および接合型スピントランジスタ
- 2) IV 族半導体をベースとした MOSFET 型のスピンドバイス（スピン MOSFET）
- 3) 磁性金属微粒子と半導体からなる複合構造をベースとした強磁性トンネル接合および単電子スピントランジスタ

【研究の方法】

不揮発性メモリと再構成可能な論理回路への応用を視野に入れて、材料形成、物性制御、スピン伝導の物理、デバイス作製、論理回路設計まで一貫した研究を展開する。代表者と分担者が密接に協力し、図1に示すような体制で研究を進める。

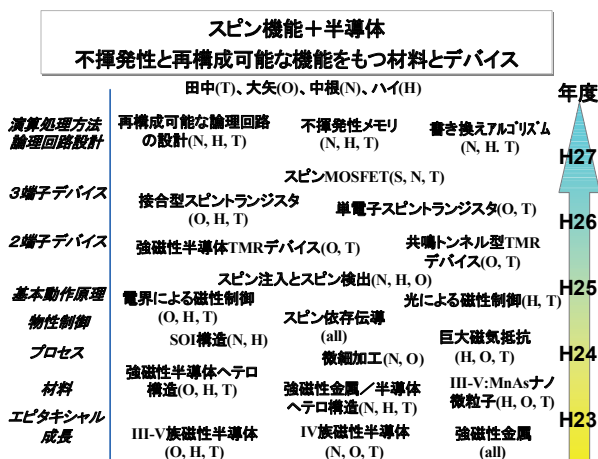


図1 研究の進め方と研究項目

【期待される成果と意義】

本研究では、これまでの本申請者グループによる材料物性・デバイス研究の実績をベースとして、従来の半導体デバイスや集積回路では持ち得なかった「不揮発性」と「再構成可能性」の機能をもつ材料とデバイスを作製し、その動作原理を実証することにより、不揮発性および再構成可能な機能をもつスピン機能材料とデバイス工学の学術および技術体系を構築しようとするものである。その波及効果は広範囲にわたり、超高密度・高速の不揮発性メモリ、再構成可能な論理回路、作製した後で再設計可能な”やわらかいハードウェア”をもつリコンフィギュラブル・コンピューティングなど、情報の記録や情報処理技術においても革新的な半導体デバイスや集積回路が実現でき、低迷している日本の半導体産業のカンフル剤となり再生の契機を与える可能性がある。材料物性面においては、シリコンや化合物半導体材料やデバイス構造中のキャリアスピンの伝導（注入、拡散、散乱、検出）に関する知見が得られ、今後の「半導体スピントロニクス」の基盤を大幅に強化することができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ M. Tanaka and S. Sugahara, "Metal-Oxide-Semiconductor Based Spin Devices for Reconfigurable Logic", *Invited paper*, IEEE Transactions on Electron Devices Vol. 54, pp.961-976 (2007).
- ・ Pham Nam Hai, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka, "Long spin-relaxation time in a single metal nanoparticle", *Nature Nanotechnology* 5, pp.593-596 (2010).
- ・ Shinobu Ohya, Kenta Takata, and Masaaki Tanaka, "Nearly non-magnetic valence band of the ferromagnetic semiconductor GaMnAs", *Nature Physics* 7, pp.342-347 (2011).

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

414,700千円

【ホームページ等】

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



研究課題名 極低摩擦・極低摩耗生体関節に学ぶ生体規範超潤滑 ハイドロゲル人工軟骨の実用化

九州大学・大学院工学研究院・教授 **村 上 輝 夫** むらかみ てるお

研 究 分 野：医用生体工学・生体材料学、バイオトライボロジー

キ ー ワ ー ド：ハイドロゲル人工軟骨、生体関節多モード潤滑、生体規範人工関節、生体医工学、
トライボロジー

【研究の背景・目的】

超高齢社会の進展に伴い人工関節置換術の適用が急増し、国内では年間約 15 万例が実施され、運動機能の回復や疼痛の除去という恩恵が得られているが、一部では緩みの発生により再置換手術が必要な場合がある。その緩みの主因として、超高分子量ポリエチレン等の異物摩耗粉に対するマクロファージの過剰反応に起因する骨吸収（骨融解）が指摘されている。そこで、本研究では、このような摩耗の発生を根本的に解決するために、超高分子量ポリエチレンに替えて、優れた潤滑機能を有する生体関節を規範として、長期耐久性を有する高機能（ゼロ摩耗）ハイドロゲル人工軟骨の開発に取組み、その臨床応用実用化を目指す。

【研究の方法】

まず、極低摩擦・極低摩耗特性を有する生体関節の多モード適応潤滑機構の詳細を解明し、その成果を人工軟骨の構造・機能改善に反映させる。特に、構造・物性や吸着膜形成機構・固液二相流動挙動とトライボ特性の関連を明確化する。

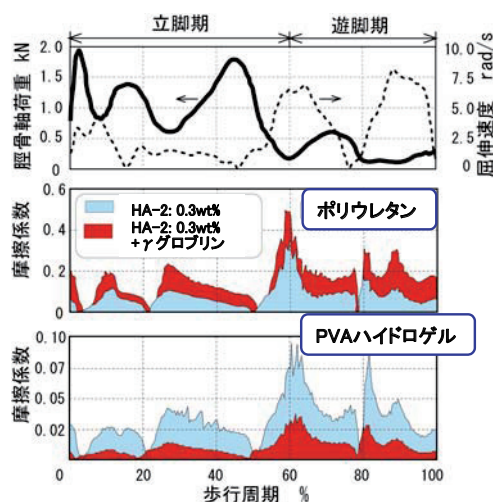


図1 歩行模擬条件下の人工軟骨材料の摩擦挙動
(HA: ヒアルロン酸)

人工軟骨候補材料の人工膝関節シミュレータ試験における摩擦挙動を図1に示す。生体模擬環境において、高含水性のポリビニルアルコール(PVA)ハイドロゲルは、ポリウレタンに比べて優れた低摩擦特性を示した。本研究では、日常動作の多様

な作動条件に対応できる機能をPVAハイドロゲルに付与させるために、繰返し凍結解凍法とキャストドライ法を組合せることにより、ナノ・マイクロ・マクロレベルの構造・物性制御を行う。

バイオメカニクス・バイオトライボロジーチームによる「生体関節潤滑機構の解明」、バイオマテリアルチームによる「ゲル人工軟骨の高機能化」、バイオメディカルチームによる「臨床応用人工軟骨の試作評価と最適化」の連携研究により高機能人工軟骨・人工関節の臨床実用化技術を構築する。

【期待される成果と意義】

人工軟骨に生体関節軟骨の優れた構造・機能を導入し、多モード適応潤滑機構と修復機構を付与することにより、長期耐久性を有する超潤滑ハイドロゲル人工軟骨を実現することが期待される。

関節症患者のQOL(Quality of Life)向上と自立支援に寄与するとともに、生体に学ぶ潤滑学理の発展に貢献できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- (1) T. Murakami, K. Nakashima, Y. Sawae, N. Sakai and N. Hosoda, Roles of adsorbed film and gel layer in hydration lubrication for articular cartilage, Proc. IMechE, Part J, Journal of Engineering Tribology, Vol.223, No.3, 287-295, 2009.
- (2) K. Nakashima, Y. Sawae, T. Murakami, Influence of protein conformation on frictional properties of poly(vinyl alcohol) hydrogel for artificial cartilage, Tribology Letters, Vol.26, No.2, 145-151, 2007.
- (3) E. Otsuka and A. Suzuki, A simple method to obtain a swollen PVA gel crosslinked by hydrogen bonds, Journal of Applied Polymer Science, Vol.114, No.1, 10-16, 2009.

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度

348,900千円

【ホームページ等】

<http://biorc.mech.kyushu-u.ac.jp/SPR/index.html>