

## 【特別推進研究】

## 理工系



## 研究課題名 分子組織化に立脚した革新的医薬品の分子設計

筑波大学・数理物質系・教授

ながさき ゆきお  
長崎 幸夫

研究課題番号：19H05458 研究者番号：90198309

キーワード：自己組織化薬、抗酸化、パーキンソン病、遺伝子、がん

## 【研究の背景・目的】

従来のビタミンや様々な抗酸化剤は低分子ゆえに正常細胞内のレドックス反応を破壊する重大な欠点があった。我々は自己組織能を持つ高分子に抗酸化剤を共有結合すると、正常細胞への取り込みが抑制され、炎症部位に集積して活性酸素種(ROS)を効果的に消去することを見出した。この成果は、低分子を自己組織化させることによって、低分子単独では得られない生体機能や治療効果を実現できる可能性を示すものである。本研究では、低分子・中分子合成医薬品、抗体・生物製剤および近年登場している核酸医薬などバイオ医薬品に次ぐ、第3の医薬モダリティとして自己分子組織化により薬効を発揮する新しい創薬原理を創出することを狙いとする。本研究成果は、革新的な創薬産業創出の基盤となり患者に優しい医療技術の創生に繋がるものと期待される。

## 【研究の方法】

「分子組織化」を基盤とする新しい創薬基礎を構築するに当たり、我々が展開してきた抗酸化型材料の組織化を中心とし、さらに新たな展開を図る。具体的な研究計画を下記にまとめる。

- i) スフェア型自己組織化薬の開発：これまで研究してきた副反応を低減させた自己組織化抗酸化剤を時空間的に局在化させ、抗酸化と局所疾患との相関を追究するとともに、さらにアミノ酸、脂質などを基盤とする組織化薬の設計をはかり、一般化を進める。
- ii) ラダー型自己組織化薬の開発：これまでオリゴ核酸の配列認識能を利用し、一般的には全く反応しない官能基どうしが、隣接基の配列基の設計で高選択的に反応を引き起こすことを実証した。本研究では単体では非選択的な作用により効果が十分でなかったり、副作用の原因になる低分子を配列選択的にRNAの所望の位置に導入する技術を確立する。
- iii) ネットワーク型自己組織化薬の開発：これまで低分子ペプチド脂質の自己組織化に伴うゲル化反応をがん細胞内特異的に引き起こし、がん細胞選択的に細胞毒性を高度に制御する方法を見いだした。本研究ではがん細胞選択的薬効ペプチド脂質の開発、ペプチド脂質の細胞内輸送・動態と細胞死滅メカニズムの解明、がん細胞内亢進酵素を利用したがん細胞選択性の向上、がん細胞特有の細胞内環境を利用したがん細胞選択性の向上等の検討を行う。

## 【期待される成果と意義】

100年以上に及ぶ有機合成薬から21世紀に入り酵素や抗体を中心としたタンパク質薬が実用化され、創薬のパラダイムシフトが実現しつつある。鍵と鍵穴を作用機序とする酵素や受容体をターゲットとするバイオ医薬品は著しい効果を示すことで高く着目されたものの、著しく薬価が高騰しているのに加え、全く効果の伴わない症例や有効例でもしばしば死に至る程極めて重篤な副作用も見られ、まだまだ問題が多い。このようなバイオ医薬品を基本とする創薬ターゲットに対して、これまであまり着目されていなかった分子組織化をターゲットとし、薬理活性が高く、副作用の少ない新しい創薬を狙う。このような切り口は右図に示すように我が国発の新しい創薬領域を構築する道である。

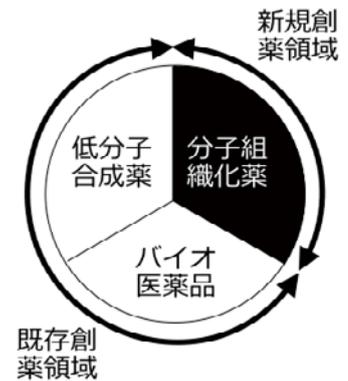


図. 将来の創薬領域

## 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Yukio Nagasaki, Design and Application of Redox Polymers for Nanomedicine, *Polymer Journal*, (Review), Volume 50, No. 9, 821-836(2018). (10.1038/s41428-018-0054-6)
- Long Binh Vong, Shinya Kimura, Yukio Nagasaki, Newly designed silica-containing redox nanoparticles for oral delivery of novel TOP2 catalytic inhibitor for treating colon cancer, *Advanced Healthcare Materials*, Vol.6,1700428(2017) (0.1002/adhm.201700428)

## 【研究期間と研究経費】

令和元年度—令和5年度  
481,700 千円

## 【ホームページ等】

[http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~nagasaki\\_lab/index.htm](http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~nagasaki_lab/index.htm)  
[happyhusband@nagalabo.jp](mailto:happyhusband@nagalabo.jp)



## 研究課題名 分子および分子集合体の動的挙動研究のための 分子電子顕微鏡技術の開発

東京大学・大学院理学系研究科・特任教授

なかむら えいち  
中村 栄一

研究課題番号：19H05459 研究者番号：00134809

キーワード：構造解析、電子顕微鏡、微量分析、有機化学

### 【研究の背景・目的】

研究代表者は2007年に、高分解能電子顕微鏡（電顕）による有機分子1分子1分子の動的挙動のビデオ撮影を世界に先駆けて報告した。それまで主として生物や材料方面での静的な固体の構造解析を対象としてきた電顕の世界を、動的な分子の構造研究と結びつけた初めての研究である。この背景の元、本研究では、超高速カメラを備えた最新鋭の原子分解能電顕を最大限に活用して「単分子原子分解能実時間電顕法」

(SMART-EM\*)によりミリ秒レベルでの高速2次元動画を撮影し、さらにはナノレベルの3次元情報を取得する。この結果に基づき、分子および分子集合体の動的挙動研究のための「分子電顕技術 (molecular electron microscopy)」という新しい分子科学の手法を確立し、さらにこの手法を触媒、有機エレクトロニクス、医薬、生物科学分野に展開することを目的とする。

(\*Single-molecule atomic-resolution real-time electron microscopy)

分子電顕技術 (Molecular electron microscopy) で拓く  
分子科学の新領域

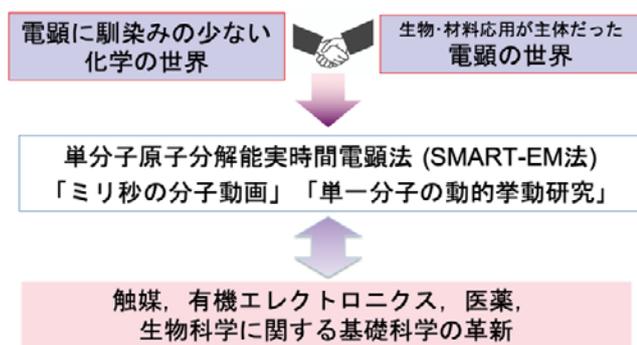


図1 全体構想図

### 【研究の方法】

単分子の動的挙動を直接観察出来る点において SMART-EM 法は「クライオEM」や「マイクロ電子回折 (ED)」とは質的に異なる研究手法である。すなわち、多数の単分子の振る舞いを実時間観察して、その統計的解釈からマクロの化学的、物理的性質や反応性の理解に結びつけることを可能とする新しい手法である。本手法により反応溶液中の単分子単分子の単離と構造決定、一つ一つの化学反応事象の時間変化の「その場」観察等という、実現不可能と考えられてきた実験手法が拓ける。

時々刻々と形を変え、また化学反応する分子を、原子分解能の動画として捉えることは化学者の夢であ

り、また顕微鏡科学の究極目標の1つである。2007年時点では1秒間に1枚しか撮影できなかった電顕像が、最新鋭機によって1秒間に1600枚もの画像が撮影できる。さらにノイズ除去や動画の自動解析などのソフトウェア開発を通じて、分子の動きや反応の高速ビデオ撮影を実現し、複雑な有機分子の構造変化や、個々の分子の行う化学反応の時間分解追跡など分子科学における重要な基礎化学的知見を取得する。

### 【期待される成果と意義】

本特別推進研究は、SMART-EM法を中心とした各種電顕技術の開発と、それを活用した触媒、有機エレクトロニクス、生命科学での問題解決を車の両輪として推進する。極微量反応中間体の捕捉・構造同定や非晶質有機物集合体の構造解析など従前の手法では解明できない分子種の動的挙動を解明する。また、一分子構造解析とその統計解析による複雑混合物の究極微量分析、個別反応事象の「その場」反応観察、逐次反応の各段階の個別観察を実現できれば、バルク溶液や固体の研究からは知ることのできない化学反応研究の新局面が開拓できると期待される。

本研究によって、分子の時々刻々の動きや反応を目の当たりに見てみたいという、ドルトンの原子説以来の化学者の夢が叶うことになる。さらに、このような体験を若者と分かち合うことにより、分子や原子の科学が人々により身近なものとなるだろう。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. Koshino, T. Tanaka, N. Solin, K. Suenaga, H. Isobe, E. Nakamura, Imaging of Single Organic Molecules in Motion, *Science*, **316**, 853, (2007).
- E. Nakamura, K. Harano, Chemical Kinetics Study through Observation of Individual Reaction Events with Atomic-Resolution Electron Microscopy, *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, **94**, 428-440, (2018)

### 【研究期間と研究経費】

令和元年度—令和5年度

475,200千円

### 【ホームページ等】

<http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/~common/NakamuraLab.html>

[nakamura@chem.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:nakamura@chem.s.u-tokyo.ac.jp)

## 【特別推進研究】

## 理工系

## 研究課題名 二次元共役ポリマー、配位ナノシートの創製とヘテロ構造化による高次機能発現



にしはら ひろし  
東京大学・大学院理学系研究科・教授 西原 寛

研究課題番号：19H05460 研究者番号：70156090

キーワード：二次元物質、金属錯体、結晶、ヘテロ構造、エネルギー貯蔵

## 【研究の背景・目的】

配位ナノシートとは、金属イオンと平面形の架橋有機  $\pi$  配位子との結合で構成される二次元共役ポリマーの極薄膜を指す。金属的な性質を示す強電子相関系配位ナノシートは研究代表者らが2013年に初めて報告した。配位ナノシートは、二次元物質の代表例であるグラフェンなどの強電子相関系無機物質とは異なり、温和な条件下で進行する金属イオンと有機分子のボトムアップ錯形成反応により合成でき、多彩な化学・幾何構造とそれに伴う多様な物性・化学的性質・機械的特性を創出できることから、その自然科学や産業への波及効果は計り知れない。本研究では、液-液や気-液などの二相界面を反応場とする、新規機能性配位ナノシートの高品質合成を確立し、本質的な物理・化学的特性を明らかにするとともに、ヘテロ積層体・接合体のような複合系を創製してそれらの特異な物理的、化学的機能を導き出し、電子・磁気・光デバイスやエネルギー変換・貯蔵デバイスなどへの応用を探索する。

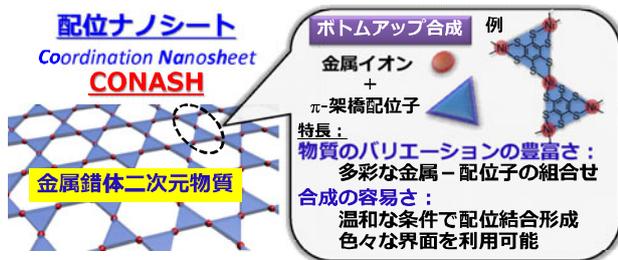


図1 配位ナノシートの特長

## 【研究の方法】

本研究では、新規配位ナノシートを創製するとともに、高品質の配位ナノシートの特異な物理的、化学的特性を完全に解明し、その機能を極限まで引き出すために、具体的に次の4課題に取り組む。

1) 新規化学構造の機能性配位ナノシートを理論計算予測と組み合わせながら創製する。2) 高純度で大面積(10マイクロメートル平方)の単結晶性配位ナノシートを合成・同定し、精密な電子・磁気・光物性測定を行い、本質的な構造-物性相関を完全に解明する。3) 金属錯体と二次元共役構造の両方の特長を活用した極限の物理的、化学的機能を探索する。4) 配位ナノシートを他のナノシートと組み合わせたヘテロ積層、ヘテロ接合構造を作製し、複合系の特異な物理的、化学的特性を見出して解明する。

いずれの課題も、これまで研究代表者らが独自に

開発してきた研究手法や進め方および物理学、電子工学の研究者との共同研究ネットワークを基盤としているが、高品質の配位ナノシートを合成するには、大きな実験手法の飛躍が必要である。独自の新界面合成手法を開発することによってこの課題を解決し、配位ナノシートが有する様々な機能の基礎研究を主軸としながら、応用展開を進める。特に研究分担者の坂牛 健主任研究員(NIMS)と共同で配位ナノシートのエネルギー貯蔵・変換機能について研究する。

## 【期待される成果と意義】

配位ナノシートは、二次元物質であるが、グラフェン等の無機ナノシートとは合成法が異なり、二相界面または溶液中での錯形成反応という高温を必要としない常温でのボトムアップ合成で作られる。しかしながら、現時点でのこの湿式合成法の問題点として、極めて高品質(高純度、単結晶、大面積)の生成物を常に得ることができるところまでは到達していないことが挙げられる。

本研究において高品質配位ナノシートの一般的な合成法を確立することができれば、配位ナノシートの科学と工学は、次のステージに飛躍できる。それは、化学や物理学、電子工学を核として、産業化に結び付く研究技術開発である。配位ナノシートには、無機系ナノシートとは異なる多くのユニークな点が存在する。それは金属錯体ユニットがもつ特性や機能を二次元構造に組み込める点であり、二次元物質と金属錯体の相乗的な現象や機能による独自の応用展開によって、新たな科学技術、社会的および経済・産業の要請への答えを生み出す力を秘めている。

## 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- $\pi$ -Conjugated Nickel Bisdithiolene Complex Nanosheet. T. Kambe, R. Sakamoto, K. Hoshiko, K. Takada, M. Miyachi, J. Ryu, S. Sasaki, J. Kim, K. Nakazato, M. Takata, H. Nishihara, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 2462-2465.
- Coordination nanosheets (CONASHs): strategies, structures and functions. R. Sakamoto, K. Takada, T. Pal, H. Maeda, T. Kambe, H. Nishihara, *Chem. Commun.* (Feature article) **2017**, *53*, 5781-5801.

## 【研究期間と研究経費】

令和元年度-令和5年度  
418,700 千円

## 【ホームページ等】

<http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/~inorg/nishihara@chem.s.u-tokyo.ac.jp>



**研究課題名** 空間捕捉によるタンパク質の構造・機能制御および高効率構造解析

東京大学・大学院工学系研究科・卓越教授

ふじた まこと  
藤田 誠

研究課題番号：19H05461 研究者番号：90209065

キーワード：タンパク質包接、NMR 構造解析、X 線構造解析、自己集合、ケージ化合物

**【研究の背景・目的】**

大きさが数ナノメートルを超える空間を一義構造体としてつくる手法は、もはや研究代表者らの「配位結合駆動の自己集合」のみで、この先の「到達不可能であった空間」で広がる世界はすべて未踏化学である。本研究では、そこで繰り広げる化学として「タンパク包接」を掲げ、人工空間内でのタンパクの新機能の創出や構造生物学にまで波及する新しいライフサイエンス技術の開拓をめざす。具体的には、タンパクの機能や構造制御とともに、NMR や X 線技術を組み合わせたタンパクの新しい構造解析手法を創出をめざす。

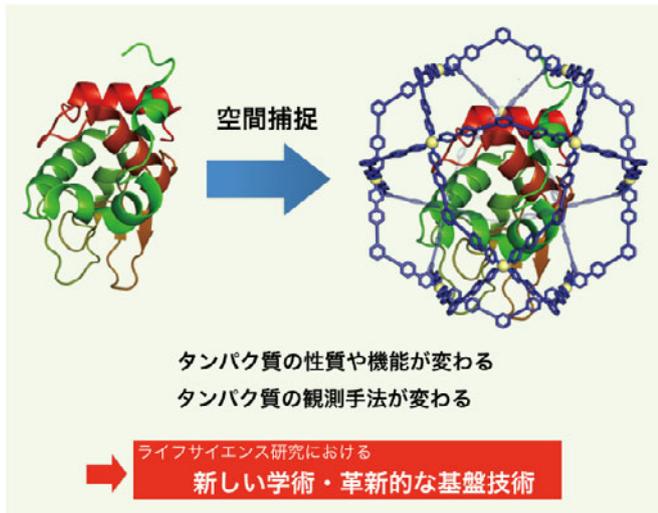


図 1. 本研究の概念図

**【研究の方法】**

巨大中空ケージの自己集合時に、配位子とタンパク質分子を可逆的な縮合させることで、ワンポットでタンパク包接ケージを得ることができる。このようにして空間捕捉されたタンパクから、単独の溶液または結晶状態からでは得られない構造情報を引き出し、タンパクの構造解析を高効率に行う。

例えば、タンパク包接による非生体環境下での NMR 構造の情報取得を行う。これまで、NMR 情報の取得は、タンパク分子が安定性を保てる「室温・水中」の条件下に限られていたが、ケージに内包されたタンパクは有機溶媒条件やある程度の高温度条件でも安定であることから、溶媒・温度条件を変え、

タンパク細部の構造が高い解像度で解析する。NMR 構造が不鮮明なタンパクをカプセル化し、高解像度の NMR 構造を取得する。極低温では、通常見られない弱いリガンド相互作用やタンパク動的部位の観測が可能になると期待される。

一方、包接によるタンパクの安定効果を利用して、水中で単独で単離した状態では構造を保てないタンパク質の構造解析を NMR で行う。例えば、 $\alpha\beta$  タンパクは生体内でファイバー状に会合しやすく、アルツハイマーを引き起こすと言われている。 $\alpha\beta$  を少数分子包接し、限られた容積の中で会合させることで、 $\alpha\beta$  の初期会合構造を観測する。

**【期待される成果と意義】**

革新的な分子構造解析技術（2次元 NMR、低温電顕等）の出現が、分子が関与するあらゆる研究に革新をもたらすことは、歴史が証明する事実である。本研究では、タンパクの空間捕捉によりその観測手段を変えることで、「化学ツール」を用いた新しい分子構造解析技術が生まれる。構造生物学にまで波及する独創性の高いライフサイエンス技術につながる事が期待される。

**【当該研究課題と関連の深い論文・著書】**

- Self-Assembly of Tetraivalent Goldberg Polyhedra from 144 Small Components, D. Fujita, Y. Ueda, S. Sato, N. Mizuno, T. Kumasaka, M. Fujita, Nature 2016, 540, 563-566.
- Protein encapsulation within synthetic molecular hosts, D. Fujita, K. Suzuki, S. Sato, M. Yagi-Utsumi, Y. Yamaguchi, N. Mizuno, T. Kumasaka, M. Takata, M. Noda, S. Uchiyama, K. Kato, and M. Fujita, Nature Commun. 2012, 3, 1093.

**【研究期間と研究経費】**

令和元年度～令和 5 年度  
480,000 千円

**【ホームページ等】**

<http://fujitalab.t.u-tokyo.ac.jp>  
[mfujita@appchem.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:mfujita@appchem.t.u-tokyo.ac.jp)

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 プラズマ誘起生体活性物質による超バイオ機能の展開

名古屋大学・低温プラズマ科学研究センター・教授

ほり まさる  
堀 勝

研究課題番号：19H05462 研究者番号：80242824

キーワード：プラズマ、低温大気圧プラズマ、プラズマ医療、プラズマ農業

【研究の背景・目的】

細胞および動植物実験で、プラズマ [活性粒子 (ラジカル, イオン, 電子, 光) の集合体] を照射した生体液もしくは生体適用液が、多様ながんの高選択アポトーシス死滅、再生が不可能であった中枢神経細胞の増殖と分化、及び植物の驚異的成長促進を引き起こすことを見出した。また、プラズマによる活性液が生体系 (遺伝子、代謝、免疫、シグナル伝達) に与える影響について組織的に解析してきた。しかし、その核心となる活性物質の特定には至っていない。

本研究では、プラズマによって誘起された生体活性物質の分子構造と物性を突き止め、該物質と生体との相互作用を解明することによって、超バイオ機能発現の本質を明らかにする。また、その活性物質による細胞死、増殖、分化などの真核生物に普遍的な現象の分子機構を解明する。

その結果、プラズマ医療、農業という未来産業を拓く羅針盤となる、学術基盤『プラズマ生命科学』を切り拓き、地球規模の課題である、難病治療や食糧不足などを解決するイノベーションの産出を実現する。

【研究の方法】

本研究では、プラズマと生体液もしくは生体適用液との相互作用から生じる活性物質の分子構造やその物性の解明に焦点を絞る。

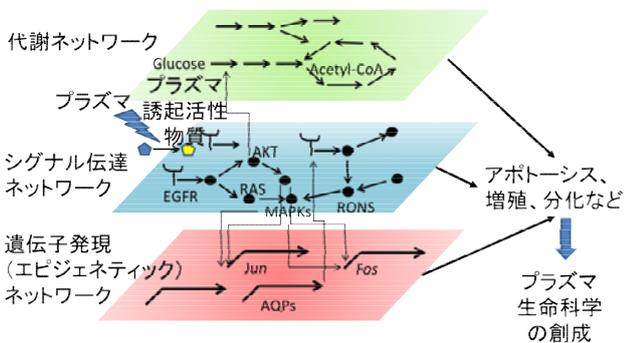


図1 プラズマ誘起生体活性物質と生体との分子反応の体系化

生体活性物質と動植物細胞との相互反応によって生じる選択死滅と再生・増殖現象に対して、活性物質と生体との分子反応 (シグナル伝達、遺伝子発現、代謝、免疫、ホルモン) を細胞レベルで網羅的・統

一的に解明する。動物 (マウス、ラット)・植物系 (シロイヌナズナ、イチゴ、イネ) で、そのトランスクリプトーム (網羅的遺伝子発現) やメタボローム解析により、その死滅、再生、成長の機構、活性物質に対する生物応答の本質を解明し、その分子機構を体系化する (図1)。

【期待される成果と意義】

本研究は、プラズマ誘起活性物質による生体刺激の複合暴露の効果によって発現する超バイオ機構の中から、細胞の死滅と再生・増殖に着目し、これらの現象を総合的に理解し、プラズマに応答する「生体の本質」を明らかにする学理 (プラズマ生命科学) を切り拓く。

プラズマ医療と農業に関する研究や技術開発が、世界中で試行錯誤的な手法によって爆発的に進行する中で、本研究でその方向性を実証せしめることは、世界に、本分野の研究の羅針盤を示すことになり、計りしれないほどの学術的インパクトを与える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- F. Utsumi, H. Kajiyama, K. Nakamura, H. Tanaka, M. Mizuno, K. Ishikawa, H. Kondo, H. Kano, M. Hori, F. Kikkawa, Effect of Indirect Nonequilibrium Atmospheric Pressure Plasma on Anti-Proliferative Activity against Chronic Chemo-Resistant Ovarian Cancer Cells In Vitro and In Vivo, Plos One, 8 (2013) e81576/1-10.
- H. Tanaka, K. Nakamura, M. Mizuno, K. Ishikawa, K. Takeda, H. Kajiyama, F. Utsumi, F. Kikkawa, M. Hori, Non-thermal atmospheric pressure plasma activates lactate in Ringer's solution for anti-tumor effects, Sci Rep, 6 (2016) 36282/1-11.

【研究期間と研究経費】

令和元年度ー令和5年度  
464,100 千円

【ホームページ等】

<http://horilab.nuee.nagoya-u.ac.jp/>  
hori@nuee.nagoya-u.ac.jp



## 研究課題名 未踏分子ナノカーボンの創製

名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・拠点長

いたみ けんいちろう  
伊丹 健一郎

研究課題番号：19H05463 研究者番号：80311728

キーワード：拡張 $\pi$ 電子系化合物、有機機能物質、選択的合成、超分子、ケミカルバイオロジー

## 【研究の背景・目的】

ナノカーボンは機能の宝庫である。基本ユニットであるベンゼンがユニークな幾何学的配置で連結したナノカーボンは、電気を流す、光を出し入れする、磁力を出す、物質を取り込むなどの魅力あふれる物性を示し、次世代マテリアルサイエンスの主角となっている。その美しい構造体の発見はノーベル賞の対象（1996年フラーレン、2010年グラフェン）にもなり、またその破格の物性は理論化から実用化を指向した企業研究者まで、多くの科学者を魅了している。さらにナノカーボンは人工皮膚・神経など生体への応用、人工細胞・ウィルスなどのシンセティックバイオロジーやバイオイメージングへの展開も期待できる物質群である。理論的に予想されている未発見・未合成の新奇ナノカーボンもあり、基礎と応用の両面から今後さらなる発展が望まれている分野である。しかしながら、多くのナノカーボンが「構造的に純粋な分子」として未だに取り扱えていない現実があり、これがナノカーボンの分子科学的な理解・発展・応用を妨げている。これまで本申請者はナノカーボンを分子として自在に合成・活用すべく、有機合成化学と分子触媒化学のエッセンスをもちこんだ「分子ナノカーボン」の研究を遂行してきた。本研究では、培ってきた分子ナノカーボン合成技術を用いて、従来の有機合成化学のスケールを超えたナノカーボン構造の精密構築を行う。

## 【研究の方法】

カーボンナノチューブ、グラフェンナノリボン、3次元ナノカーボンネットワークに対して、分子ナノカーボンを起点とした精密構造構築を成功させる。以下に概要を記す。

1. カーボンナノベルトの自在合成及びCNT精密合成

世界最先端のシーズ技術である「カーボンナノベルト合成」を活かし、CNT構造の自在合成法へと昇華させる。有機合成化学的手法による長いナノベルト構造構築と、CVD法のテンプレートにカーボンナノベルトを用いたCNT伸長を行う。

2. グラフェンナノリボンの構造一義的合成

本申請者が開発した「リビングAPEX重合」を基盤技術として、長さやエッジ構造を制御したグラフェンナノリボンの系統的合成を行う。開始剤を基板に担持させたのちに成長させることで、ナノリボンを電子回路として直接使用する応用展開につなげる。

3. 3次元ナノカーボンネットワーク構造の構築

Mackay結晶を代表とする3次元ナノカーボンは、未だ合理的合成法の提案すらされていない。本研究で

は分子ナノカーボンを構成単位とすることで、複雑な湾曲構造をもつ3次元ナノカーボンのボトムアップ合成を行う。

4. 分子ナノカーボン合成を加速させる新合成法開発

上記の研究は既存の合成手法だけでは到達不可能であるため、新規合成法開発を並行して行うことで、課題解決を加速させる。具体的には、複数の炭素炭素結合を同時に生成する新たなAPEX反応が必要であり、これを開発する。

5. 新規分子ナノカーボンの未知の応用を探る網羅的探索研究

本研究によって始めて合成される様々な分子ナノカーボン類は、電子物性や生物活性の面においても特異な有機分子であると予想される。これらの物性を応用につなげるため、広範囲に渡る応用探索を実施する。

## 【期待される成果と意義】

不可能を可能にする基礎研究は、新しい研究領域や潮流を生み出すのみならず、社会的・産業的インパクトをもたらす。「分子ナノカーボン」の概念は、すでに社会波及効果が見え始めているナノカーボン科学に新しい価値と創造を与えるだろう。そして、画期的な分子ナノカーボンマテリアルの創製は産業界に多大なインパクトを及ぼす。

また、本研究により、分子合成のための新しい方法論と技術が開発される。合成技術は分子ナノカーボンのみならず生物活性分子やデバイス材料分子の迅速合成へと容易に応用される。従って、分子が関わる化学・物理・生物関連の分野に対して大きなブレークスルーをもたらすと期待できる。化学産業・エレクトロニクス産業および医薬分野などでのイノベーションが期待される。

## 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Povie, G.; \*Segawa, Y.; Nishihara, T.; Miyauchi, Y.; \*Itami, K. Synthesis of a carbon nanobelt, *Science* **2017**, *356*, 172–175.
- Koga, Y.; Kaneda, T.; Saito, Y.; \*Murakami, K.; \*Itami, K. Synthesis of partially and fully fused polyaromatics by annulative chlorophenylene dimerization, *Science* **2018**, *359*, 435–439.

## 【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年  
491,500千円

## 【ホームページ等】

<http://synth.chem.nagoya-u.ac.jp>

## 【特別推進研究】 理工系



### 研究課題名 自律圧縮型デトネーション推進機の物理解明: 高次統合化 観測ロケット宇宙飛行実証展開

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

かさハラ じろう  
笠原 次郎

研究課題番号: 19H05464 研究者番号: 60312435

キーワード: 推進、熱流体力学、デトネーション、航空宇宙工学、観測ロケット

#### 【研究の背景・目的】

デトネーション（極超音速）燃焼を用いた推進機構が航空宇宙工学分野に革新をもたらしている。本研究では、革新的な自律圧縮過程を有する多孔壁噴射器付直接冷却回転デトネーションエンジン及び、機体とエンジンの統合を実現するデトネーションユニットの研究を実施することによって、航空宇宙機の革新的高性能化と軽量化の原理を同時に解明する。また、2025年には、観測ロケットの第3段にデトネーションエンジンを搭載してロケットとして世界最高性能の低軌道投入飛行にて原理実証することを目標とする。

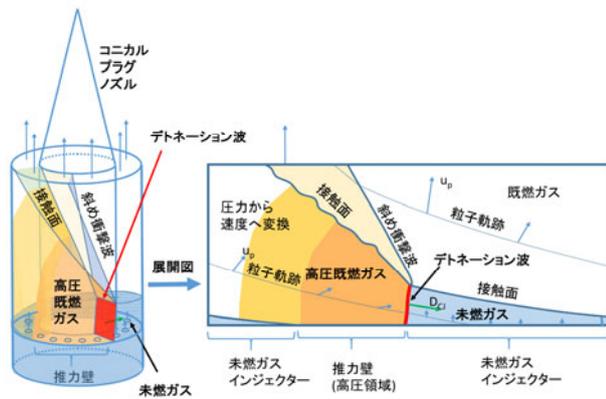


図1 デトネーションエンジン

#### 【研究の方法】

本研究では、円盤内直径、噴射条件（噴射角、噴射口ピッチ）、気体種（セルサイズ、初期圧力）、を変更した実験・数値解析を行い、円盤回転デトネーションエンジン内の最も支配的な物理現象を完全に把握し、自律圧縮爆轟現象の昇圧メカニズムを理解する。円盤型デトネーションエンジンを発展させた多段化・エジェクター付きエンジン（または、遠心圧縮型円盤デトネーションエンジン機構）によって、自律的な圧力増加の限界値を解明する。現状の回転デトネーションエンジンの壁面を多孔化することで多孔冷却壁面構造のデトネーションエンジンの熱的特性を解明する。最先端のナノ微細加工法・3D プリ

ンタ技術・小型電動モータ技術を駆使してデトネーションエンジン・ユニットを製作し、燃料・酸化剤の入力に対し、ユニット化用エンジンの性能を解明するとともに、これらの風洞実験を実施し、推力、抗力、揚力、回転力を計測し、ユニット統合時の推力及び空力特性（揚力、抗力、回転力）を解明する。

#### 【期待される成果と意義】

デトネーションエンジンに関する基礎物理が解明され、高性能で革新的なデトネーションエンジンシステムが実現する。デトネーションキックモーター低軌道投入実験が可能となる。本研究によって、航空宇宙工学分野において1903年のライトフライヤー以来の原理的に高レベルに統合された高性能システム（ユニット化ロケット）を出現させ、全く新しい航空宇宙分野の学術を切り拓くことになる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Goto, J. Nishimura, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, D. Nakata, M. Uchiumi, K. Higashino, Experimental Propulsive Performance and Heating Environment of Rotating Detonation Engine with Various Throat Geometries, Journal of Propulsion and Power, Vol. 35, No. 1, 2019, pp.213-223.
- ・ Kawasaki, T. Inakawa, J. Kasahara, K. Goto, K. Matsuoka, A. Matsuo, I. Funaki, Critical Condition of Inner Cylinder Radius for Sustaining Rotating Detonation Waves in Rotating Detonation Engine Thruster, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 37, No. 3, 2019, pp. 3461-3469.

#### 【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度  
480,900 千円

#### 【ホームページ等】

<http://www.prop.nuae.nagoya-u.ac.jp/kasahara@nuae.nagoya-u.ac.jp>



**研究課題名** ナノ物質科学と強電場非線形光学の融合による  
フォトニクスの新展開

京都大学・化学研究所・教授

かねみつ よしひこ  
金光 義彦

研究課題番号：19H05465 研究者番号：30185954

キーワード：光物性、ナノ物質、強電場非線形光学、高次高調波発生、テラヘルツ分光

**【研究の背景・目的】**

近年の高強度・超短パルスレーザー技術の進展により、新しい光科学が拓かれつつあります。強電場光パルスが固体に照射することにより新しい現象が発現し、その現象の理解と利用が期待されています。その一つに、入射電場の整数倍の周波数を持つ高次高調波の発生があり、赤外線からX線に至る幅広い波長をカバーできる光源やアト秒（ $10^{-18}$ 秒）パルス光源としての利用が考えられています。さらに、レーザーの持つ強い光電場は、ツェナートンネリングなどの高電場現象を誘起し、固体の電子状態を劇的に変化させることも可能であり、物質相の制御技術や光周波数で動作する高速な光スイッチング技術、新しい分光技術など、新しいフォトニクスの基盤技術になると期待されます。本研究では、特異な電子状態を持つ固体結晶やナノスケールで構造制御したナノ物質を創製できる物質科学と精緻な先端レーザー技術を融合し、新しいフォトニクス技術としての強電場光科学の発展に挑戦します。

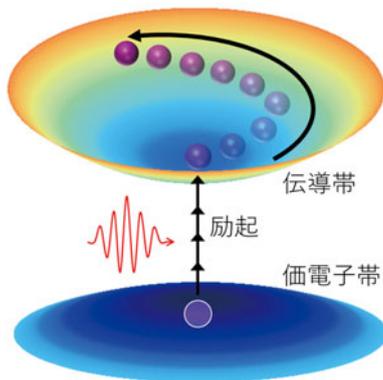


図1 強電場光パルス照射によって、伝導帯に生成される電子とバンド内で加速される電子が引き起こす新しい光学現象に注目

**【研究の方法】**

研究代表者のグループは、これまでナノ物質科学に関する豊富な研究実績を背景に、新しい固体結晶やナノ物質の光学応答に関する研究を展開してきました。光電場の位相が制御された光パルスを用いた超高速分光により、強い電場下でのナノ物質の特性を明らかにし、新しい光学現象の発見に挑みます。さらに、位相や偏光などの特性が精密に制御された強電場光パルスやテラヘルツパルスの発生技術を利用して、結晶やナノ物質の電子運動や電子状態の制

御に挑み、強電場光科学の深化と応用展開を目指します。

**【期待される成果と意義】**

原子や分子を中心に発展してきた強電場光技術とナノ物質光科学・固体光物性の融合による非線形光学の普遍的な理解が、新しい学術分野を開拓すると期待されます。この基盤的な学術分野の開拓により、光科学研究を格段に発展させる新たな分光技術、新しい物質制御技術、さらには光加工技術や光エネルギー変換技術などの開発へ繋がり、広い研究分野にインパクトを与えるものと期待されます。

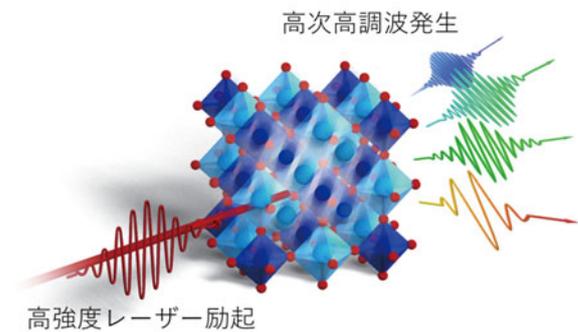


図2 強電場光パルスを固体に照射し、これにより駆動された固体中の電子から放射される高次高調波発生の概念図

**【当該研究課題と関連の深い論文・著書】**

- H. Tahara, Y. Kanemitsu *et al.*, “Harmonic quantum coherence of multiple excitons in PbS/CdS core-shell nanocrystals”, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 247401 (2017).
- Y. Sanari, Y. Kanemitsu, H. Hirori *et al.*, “Zener tunneling breakdown in phase-change materials revealed by intense terahertz pulses”, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 165702 (2018).

**【研究期間と研究経費】**

令和元年度～令和5年度  
429,300千円

**【ホームページ等】**

<https://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~opt-nano/>