π-Molecular Complexity

学術変革領域A

π分子複雑性の追究が紡ぐ機能科学

NEWS LETTER

Volume 4

May 2026

– 研究紹介 No. 7

松田亮太郎グループ（A03-4）

名古屋大学大学院工学研究科応用物質化学専攻構造機能化学研究室・名古屋大学未来社会創造機構脱炭素社会創造センター・名古屋大学学際統合物質研究機構（IRCCS）

教授：松田亮太郎，准教授：井口弘章，特任准教授：土方優，講師：日下心平，特任助教：Qu, Liyuan，特任助教：Pirillo, Jenny，特任助教：薄葉純一, D3:1 名，D2:1 名，M2:7 名，M1:6 名，B4:6 名，B3:1 名

研究のねらい

私たちは，ナノメートルレベルの微小な空間を扱う「ナノ空間の化学」について研究しています．このナノサイズの空間は，私たちが普段目にするメートルサイズの空間とは全く異なる性質を有しています．例えば，分子を捕まえる非常に強い力が働いたり，捕らえられた分子が通常とは全く異なる反応性を示したりすることが知られています．私たちは「金属錯体」という物質を用い，まるでビルを建築するようにこの微小な空間を自在に設計・構築して，新しい反応や現象の発見に挑んでいます．また，「ナノ空間の化学」の基礎的な学術研究にとどまらず，二酸化炭素の回収や熱エネルギーの有効利用など，様々なテーマで産官学民連携研究を，自然科学のみならず環境・都市工学・人文社会学の研究者や，民間，行政を含む様々なステークホルダーともに推進しています．私たち大学等の公的機関の研究者の普遍的な使命は，研究という知的活動の成果を現在・未来の人類と社会に還元することであることを念頭に，近視眼的な目的や成果にとらわれず，俯瞰的かつ大局的な視点で研究テーマを設定し，楽しく研究に取り組むことをモットーとしています．

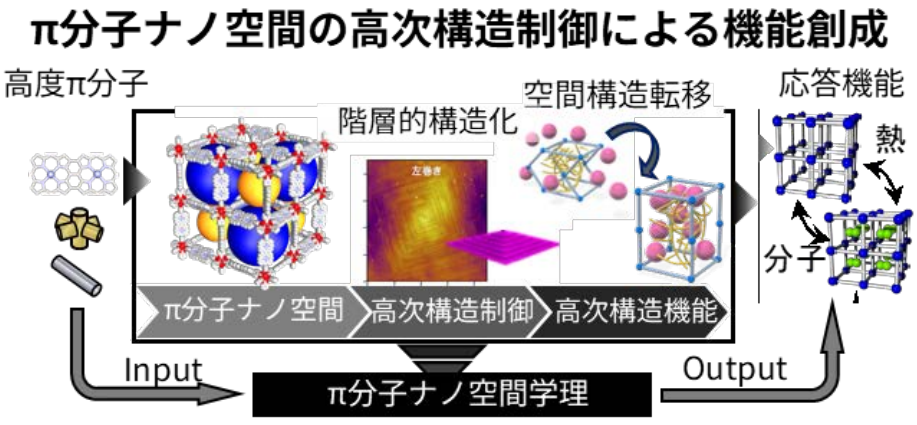
ナノポーラス金属錯体とは

ナノポーラス金属錯体とは，金属錯体で作られるナノ多孔性物質の総称です．その中でも，金属イオンと有機分子が配位結合を介して無数につながり，マクロな骨格を成す物質は Metal-organic Framework（MOF）と呼ばれています．ほとんどの MOF は結晶性であるため，骨格内部には均一なサイズのミクロ孔を無数に有し，様々な小分子を捕捉することができま

す．MOF を構成する有機配位子と金属イオンの組み合わせは無限にあり，また骨格構造も多様であるため，MOF は非常にバラエティに富んだ物質群です．したがって，分子吸着に代表される MOF の性質や機能も多岐にわたります．[1-3]当研究室でも，従来不可能とされていた選択的な分子捕捉を可能にするなど，優れた性質を有する MOF を多数発見しています．さらにナノポーラス金属錯体は，錯体由来の光物性，磁性，伝導性などの物性と，ナノ空間ならではの特性を融合させることで複合機能を創出する，新たなプラットフォームとしても期待される物質です．研究室では右図に示す 6 つの研究テーマを中心に研究を行っています．

本領域で何を目指すか

A03−4「高度 π 分子体からなるナノ空間の高次構造制御による機能創出」では，研究分担者である広島大学 WPI キラルノット超物質拠点の佐藤弘志特任教授のチームと共同で「高度なπ分子で構築された，ナノ空間物質を合成するとともにπ分子ナノ空間物質の機能を開拓し，物質と機能つなぐ真の鍵」を明らかにしていきます．また，物質の機能はディスクリートな分子のみに依拠するものではなく，フレームワークやそのフレームワークを成す 2 次以上の高次構造によって発現するものです．私たちは，その高次構造による機能発現という普遍的な概念をフレームワークだけではなく，空間にまで拡張することに挑戦します．[4]



[1] J. Usuba, Y. Hijikata, T. Takahara, S. Kusaka, and R. Matsuda, *Small.* **2026**, *22*, e12697. [2] S. Kusaka, Y. Itoh, A. Hori, J. Usuba, J. Pirillo, Y. Hijikata, Y. Ma, R. Matsuda, *Nat. Commun.*, **2024**, *15*, 10117. [3] M. Nakagawa, S. Kusaka, A. Kiyose, T. Nakajo, H. Iguchi, M. Mizuno, R. Matsuda, *J. Am. Chem. Soc.*, **2023**, 126, 103910. [4] K. Negita, S. Kusaka, H. Iguchi, K. Yano, S. Shin and R. Matsuda, *J. Am. Chem. Soc.*, **2025** , *147*, 26184.

– 研究紹介 No. 8

岩本武明グループ（A01-3）

東北大学大学院理学研究科化学専攻　合成・構造有機化学研究室

教授：岩本武明，准教授：石田真太郎，事務補佐：1 名，D3：1 名，D2：3 名，D1：1 名，M2：2 名，M1：5 名，B4：7 名，外国人留学生（1 名）（令和 8 年 4 月時点）

研究のねらい

典型元素化合物は，多数の元素と多様な結合様式の組み合わせに由来した特徴ある構造，反応性と物性を示します．私達は「典型元素で未来物質を創る」を目標に，構造と機能の宝庫である典型元素を基盤とした新物質群の創出とそれらの反応性と機能の追究，典型元素化合物の構造や結合の包括的理解を進めて，物質科学の発展に貢献することを目指します．

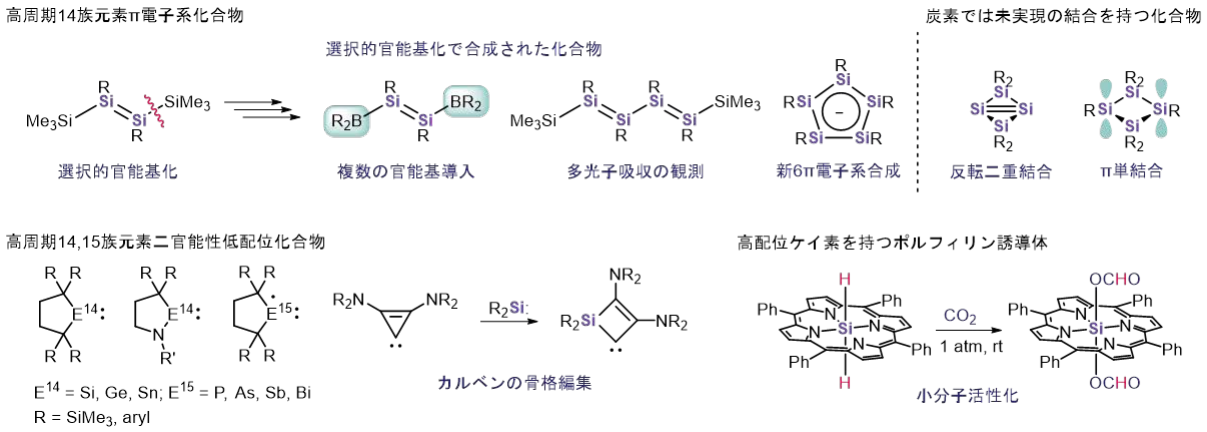
特徴ある構造を持つ高周期典型元素化合物を創る

高周期 14 元素のπ電子系化合物は孤立したπ結合でも可視領域にπ→π*遷移に由来する吸収を示す，容易に酸素や水素を活性化するなど，特徴ある性質を示します．これらの化合物はπ結合が弱いため，その合成には求めるπ骨格に合わせた立体保護のデザインと適切な合成経路の選択が必要です．私達の研究室ではケイ素ーケイ素二重結合の保護を維持しながら選択的に二重結合ケイ素上の置換基を変換させる方法を開発しました [1]．この方法を用いてボリル基のような官能基を複数持つケイ素ーケイ素二重結合化合物（ジシレン）の合成 [2]，π 系が拡張したケイ素版ブタジエンの合成とさらなる官能基化 [3]，更にケイ素版シクロペンタジエニド [4] の合成を達成しました．また，合成したケイ素版ブタジエンが多光子吸収を示すこと [1] や，アルキル基で置換されたケイ素 5 つからなる不飽和クラスター（ケイ素版スピ

ロペンタジエン）のラジカルカチオンが近赤外領域に吸収を示すこと[5]など，ケイ素π電子系化合物の特徴ある光学的特性を明らかにしました．さらに私達は反転した立体配置のケイ素ーケイ素二重結合をもつ化合物[6]や，π結合だけからなるケイ素ーケイ素結合をもつ化合物[7]など，炭素骨格では実現されていないπ電子系化合物を合成しています．

私達は，同一原子上に性質の異なる２つの軌道を持つ高周期典型元素二官能性低配位化合物の合成と性質の解明にも取り組んでいます．具体的にはカルベンの高周期 14 族元素類縁体や，中性二配位の高周期 15 族元素ラジカル，それらを配位子にもつ金属錯体を合成しています．特に，電子状態を精密に制御したケイ素二価化合物（シリレン）による炭化水素の脱水素芳香族化[8]や，安定カルベンの骨格編集反応[9]を見出しています．

また，高度に活性化された6配位ケイ素ヒドリドを持つポルフィリンの合成と小分子活性化にも取り組み，無触媒条件下での二酸化炭素からギ酸への変換反応を見出しています[10]．



本領域で何を目指すか

本領域で私達は新しいπ結合様式を持つ高度π分子体の創製に取り組みます．具体的にはπ結合のみからなる単結合を持つ化合物に注目し，σ結合の支えがないことによる柔軟性や特徴的な電子状態を活かした新たなπ分子体の創製を目指します．

[1] N. Akasaka, K. Fujieda, E. Garoni, K. Kamada, H. Matsui, M. Nakano, and T. Iwamoto, *Organometallics* **2018**, *37*, 172-175; N. Akasaka, K. Tanaka, S. Ishida, and T. Iwamoto, *Inorganics* **2018**, *6*, 21. [2] K. Tanaka, N. Akasaka, T. Kosai, S. Honda, Y. Ushijima, S. Ishida, and T. Iwamoto, *Molecules* **2021**, *26*, 1632. [3] T. Iwamoto, T. Ishikawa, N. Akasaka, and S. Ishida, *Organometallics* **2025**, *44*, 1246-1250. [4] T. Iwamoto, T. Ishikawa, and S. Ishida, *Science* **2026**, *391*, 587-591. [5] S. Honda, R. Sugawara, S. Ishida, and T. Iwamoto, *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 2649-2653. [6] T. Nukazawa, and T. Iwamoto, *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 9920-9924. [7] T. Iwamoto, T. Abe, K. Sugimoto, D. Hashizume, H. Matsui, R. Kishi, M. Nakano, and S. Ishida, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 4371-4375. [8] T. Koike, T. Kosai, and T. Iwamoto, *Chem. - Eur. J.* **2019**, *25*, 9295-9302. [9] T. Koike, and T. Iwamoto, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 9264-9272. [10] S. Ishida, T. Hatakeyama, T. Nomura, M. Matsumoto, K. Yoshimura, S. Kyushin, and T. Iwamoto, *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 15811-15815.

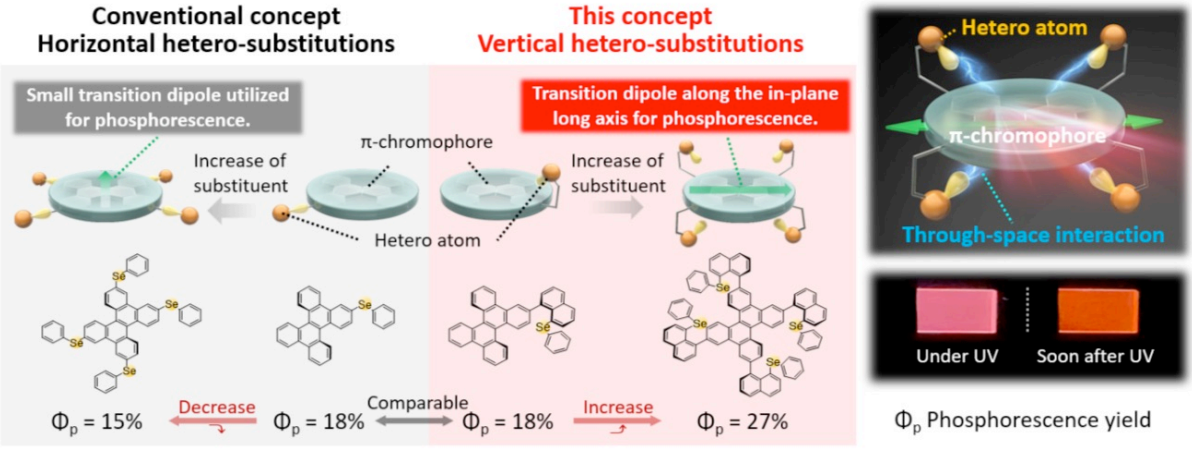
– 研究トピックス

– 有機りん光を増強させるマルチ垂直型スルースペース相互作用 –

– A02-3　平田修造
電気通信大学大学院情報理工学研究科 –

有機りん光は自家蛍光に依存しない高コントラストイメージング，多標識イメージング，そしてりん光寿命イメージングへの応用が展開されています．これまでに有機蛍光で使われるようなさまざまな発色団や置換基が検証されてきましたが，特に長波長域における有機りん光の収率は有機蛍光の収率と比較して依然低いままです．長波長域の有機りん光の活用は生体深部の情報を正確に確認していく上で重要性が高まっています．もし有機りん光を増加させる新しいπ分子の構造要素が見出されれば，長波長域の有機りん光の収率を蛍光レベルにまで大きく向上させることができると期待されます．

本研究では，π 発色団に対して垂直方向から適切な典型元素のスルースペース相互作用を増加させていくと有機りん光が増加していくことを見出しました．有機りん光を増強させるためには，原理的にはスピン軌道相互作用と遷移双極子モーメントの両者を協働的に増加させる必要があります．赤色有機りん光を放射するπ発色団に対して，通常通りの水平方向から Se 原子を置換すると，置換基の数の増加とともに，発色団の面内長軸方向の遷移双極子が有効利用されず，りん光収率が低下していく挙動が確認されました．一方でそのπ発色団に対して垂直方向から Se がスルースペース相互作用を持つような置換基を導入すると，その置換基数の増加とともに発色団の面内長軸方向の遷移双極子モーメントが有効利用されることで，スピン軌道相互作用と遷移双極子の協働性が増加し，りん光収率が増加していくことが明らかとなりました．この垂直型典型元素のスルースペース置換の要素は，有機蛍光や遅延蛍光の分子設計とは抜本的に異なるものであるため，有機りん光の特有の設計指針の一つとなることが期待されます．今後，さまざまな垂直型置換要素を活用した有機π分子を開発することで，さまざまな長波長域の高効率有機りん光分子の登場が期待されます．



[1] K. Hayashi, R. Shimura, R. Miyashita, S. Hirata, *Nat. Commun.*, 10.1038/s41467-026-70371-w.

– 受賞・イベント紹介

[受賞]　　※未掲載分の報告

(1)

GUO Zhenfeng（物質・材料研究機構/北海道大学, D3, A03 中西グループ）

IGP 2025 論文賞

"Merging π-molecular functions achieved through homogeneous liquid-liquid blending of solvent-free alkyl-π liquids"

地球規模課題解決型生命科学研究者養成プログラム（IGP）, 2026 年 3 月 3 日.

[イベント紹介]

(1)

2026 年 2 月 4 日に国立研究開発法人物質・材料研究機構 千現地区研究本館第一会議室を会場とし，学術変革領域研究(A) 「π分子複雑性」第 4 回融合マッチングワークショップを開催しました.
本領域から，成田（A01），相見（A03）が講演を行いました.

開催日時:　2026 年 2 月 4 日（水） 13:00-20:00
話題テーマ:　機能場を意識した高度π分子系の開拓
開催方法:　対面+online（ハイブリッド形式）
開催場所:　物質・材料研究機構千現地区研究本館第一会議室

(2)

2026 年 3 月 17 日に日本大学理工学部 船橋キャンパスで開催された日本化学会第 106 春季年会（2026）において，学術変革領域研究（A）「π 分子複雑性の追究が紡ぐ機能科学」主催のシンポジウム「π 分子複雑性：π 分子の構造，状態，機能を繋ぐ新しい階層的アプローチ」を開催しました．

山口領域代表のあいさつに始まり，各計画班から，成田（A01），平田（A02），柳井（A04），若宮（A03）の研究代表者 4 名が研究成果発表を行いました．また，Prof. Zac Hudson に講演を実施いただきました．

開催日時: 2026 年 3 月 17 日（火） 13:00–15:40
開催場所: 日本大学理工学部 船橋キャンパス

– 海外研究体験記

A01 班　筑波大学　笹森研究室

数理物質科学研究群　化学学位プログラム　安井 智紀（博士後期課程 D1）

期間：2026 年 1 月 4 日～2026 年 2 月 28 日（56 日間）

滞在先：ボン大学（Prof. Alessandro Bismuto）（ドイツ）

研究課題名：高周期 15 族元素間 π 結合化合物（dipnictene）の光反応開拓

研究の概要

ドイツ・ボン大学・Alessandro Bismuto 先生との共同研究として，かさ高い置換基によって速度論的に安定化された高周期 15 族元素間 π 結合（dipnictene, Pn=Pn, Pn = P, Sb, Bi）の光反応性を系統的に調査することを目的とする．

研究生活

Bismuto グループ（https://www.chemie.uni-bonn.de/bismuto/de）は，博士後期課程の学生が 5 名，修士課程の学生が 3 名の計 8 名の小さなグループでした．各メンバーには 1 台ずつドラフトが割り当てられており，グローブボックスは 2, 3 人で共有していました．日々の研究生活は規則的で，朝は 8 時頃から数人が実験室に集まり始め，9 時半には全員が揃っていました．夜も遅くまで残ることはなく，遅くとも 21 時までには全員が帰宅していました．

ランチ後と日没前の 1 日 2 回，コーヒータイムが設けられており，研究室のメンバーが自然に集まる交流の場となっていました．この時間は単なる休憩にとどまらず，研究活動を支える重要なコミュニケーションの機会として機能していました．実際のコーヒータイムでは，日常的な雑談を通じてメンバー同士の親睦が深まる一方で，各自が直面している実験上の課題や，得られたスペクトルの解釈，さらには反応機構に関する考察についても気軽に議論が行われていました．Bismuto 先生もほぼ毎回この時間に参加されており，エスプレッソを片手にホワイトボードへ反応機構を書く姿が印象に残っています．このような何気ない日常の積み重ねが，研究を前に進める driving force になっているのだと実感しました．形式的なミーティングだけでは得られない発想や気づきが，この短い時間の中に凝縮されていると感じます．今後，どのような環境においても，自由で開かれたコミュニケーションの場を大切にしながら研究を進めていきたいと考えています．

最後になりますが，このような機会を与えてくださいました，Bismuto 先生，笹森先生に感謝申し上げます．また，経済的支援をいただいた π 分子複雑性および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム (JPMJSP2124)に感謝いたします．そして，日本から来た私を温かく迎え入れてくださった Bismuto グループのメンバーに感謝申し上げます．