

令和 6 年 8 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00406

研究課題名(和文) N-混乱ポルフィリノイド金属錯体の機能開拓

研究課題名(英文) Creation of Novel N-Confused Metallo-porphyrinoid System

研究代表者

古田 弘幸 (FURUTA, HIROYUKI)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：40244157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,090,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者が独自に展開している混乱(反転)ピロール環を含有するN-混乱ポルフィリノイド化学を基盤として、金属配位可能な多様な化合物の合成およびその光・電子・磁気物性などを包括的に検討し、多彩な機能性(多電子授受能、触媒能、光熱変換能など)発現が可能な分子材料開発を目指した。N-混乱系の環縮小、環拡張ポルフィリノイドの中から、第二近赤外(NIR-II)と呼ばれる低エネルギー光学窓で機能する分子を多数見出すことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

異種ポルフィリノイドとして新たなクラスを形成するN-混乱ポルフィリノイドの未知なる基本物性や反応性等を発見すると共に、深部固形がんの治療において注目されている「近赤外光免疫治療法」には欠かす事のできない近赤外光感受性薬剤分子への応用展開可能な、第二近赤外(NIR-II)低エネルギー光学窓で機能する化合物を多数見出すことに成功した。

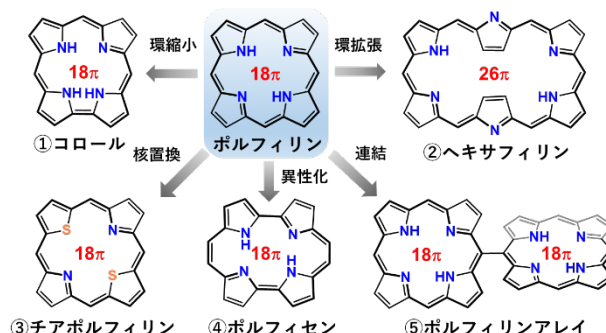
研究成果の概要(英文)：Based on the N-confused porphyrinoid chemistry containing a confused (inverted) pyrrole ring, developed independently by us, we have synthesized various molecules capable of metal coordination and investigated their optical, electronic, and magnetic properties, aiming to create molecular materials that can exhibit a variety of functionalities (multi-electron transfer ability, catalytic ability, photothermal conversion ability, etc.). Among N-confused ring-contracted and ring-expanded porphyrinoids, we discovered many molecules that function in the low-energy optical window called the second near-infrared (NIR-II).

研究分野：機能有機分子化学

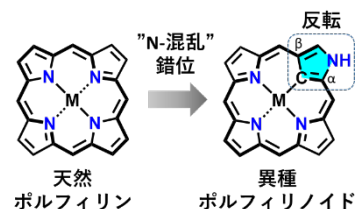
キーワード：ポルフィリン異性体 N-混乱ポルフィリン 金属錯体 近赤外色素

1. 研究開始当初の背景

ポルフィリン化合物は化学安定性に優れ、周期表の殆どの金属種と錯形成が可能であり、ポルフィリン環周辺部位の修飾、置換基導入も容易なことから、これまで膨大な数の誘導体、金属錯体が合成されてきた。特に光合成アンテナモデルを模倣した光捕集・エネルギー変換、生体代謝機構に倣った分子触媒などの機能性材料を志向する応用研究の観点からも注目が集まっている。現在では、今まで活用してきたポルフィリン骨格では達成できない新たな物性・機能を求め、ポルフィリン類似の環状 π 共役系構造を持つ類縁体や誘導体類(右図)の合成が次々に展開され、望みの機能を発現するポルフィリン材料の開発と進化が続いている。



我々は、1994年に、ポルフィリン異性体の一つである“N-混乱ポルフィリン(N-Confused Porphyrin: NCP)”を世界に先駆けて発見して以来、ポルフィリン窒素(N)原子の位置異性体(右図)の基本特性を明らかにすることから合成化学研究を着手した。この混乱した α, β' -位や β, β' -位の炭素位置で連結したピロール環を環状基盤構造に組み込むことを修飾アプローチ「N-混乱法」の一つと捉え、各種ポルフィリノイドの環骨格に系統的に導入(変異の誘起)することにより、多様なポルフィリノイドの合成の展開を通じて、混乱という概念の一般化とそれに基づく新機能の開拓を目指した。



2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が独自に展開している混乱(反転)ピロール環を含有するN-混乱ポルフィリノイド化学を基盤として、金属配位可能な多様な化合物の合成およびその光・電子・磁気物性などを包括的に検討することで、多彩な機能性(多電子授受能、触媒能、光熱変換能など)発現が可能な分子材料開発を目的としている。

3. 研究の方法

新規ポルフィリノイドの合成を中心に単結晶X線構造解析、種々の分光学(NMR、定常および過渡吸収発光スペクトル、IR、CD、MCD等)や電気・磁気化学的物性測定、およびDFT計算による理論的な電子構造解析を行った。また、すでに報告しているN-混乱ポルフィリノイド化合物についてもより詳細な基本的特性を検討すると共に、一部の錯体化合物については触媒反応に対する活性能や光熱変換・光音響信号等の熱失活応答に関する評価も行った。

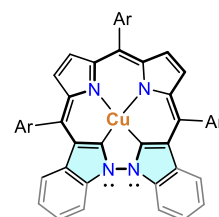
4. 研究成果

1) N-混乱ポルフィリン化学に関する総説

ポルフィセンに次ぐ第二のポルフィリン異性体NCPを1994年に報告してから、継続して行ってきた約30年間にわたる関連研究を総説にまとめた。(Chem. Rev. 2022, 122, 8313) また、同時期に独立してNCPの報告を行ったLatos-Grażyńskiと共著でカルバポルフィリン化学とNCP化学の関連を総説にまとめた。(Chem. Soc. Rev. 2023, 52, 2082)

2) 環縮小N-混乱ポルフィリン化学に関する研究

環縮小ポルフィリノイドの一つとして、メゾ炭素が欠落した「コロール」が知られている。これまでN-混乱コロールは、銅3価の高原子価状態を安定化する特異な配位子として機能することを明らかにしており、外周部に縮環修飾したN-混乱コロールに銅錯化を行うと、酸化的に内環ピロール炭素同士が σ 結合した二量体が生成することを見出し、キラル光学物性を評価した。(Chem. Asian J. 2021, 16, 743)

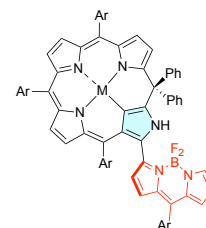


さらに混乱ピロール環の数を2つにした新規二重N-リンクコロールは、環状共役骨格上にN-N結合を持つ安定銅(III)錯体を与えることを見出した(右図)。(Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 15897) また、パラジウム(II)および白金(II)塩との錯体では、窒素が直接連結していない開環ポルフィリノイドと金属イオンとの錯体であり、近赤外領域に吸収をもつ安定色素分子が得られた。(Angew. Chem. Int. Ed. 2024, 63, e202405059)

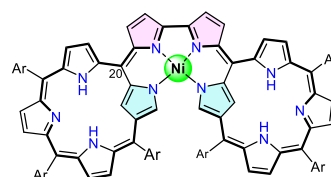
3) N-混乱ポルフィリン化学に関する研究

N-混乱ポルフィリンの特徴であるプロトン移動を伴うNH互変異性体に関する解析は超分子材料への応用や触媒設計において重要である。そこで置換基および溶媒効果についてNCP異性化機構について ^1H および ^{15}N -NMR分光を用いて包括的な解析を行った。(J. Phys. Chem. 2020, 124, 5756) NCPにおけるNH互変異性の特性は、金属錯形成において高原子価金属種の安定化に寄与し、Ru(IV) NCP二量体錯体においては、酸応答性の分子ローター特性を示した。(RSC Adv. 2021, 11, 24575) またコバルト(III)錯体においては、アルケンのシクロプロパン化反応を触媒すること、二量化したコバルト(III)ポルフィリンアレイの特異なレドックスノンイノセンス特性について明らかにした。(Molecules 2022, 27, 7266 ; J. Porphyrins Phthalocyanines 2023, 27, 1074)

一方、N-混乱ポルフィリンの還元特性において、化学還元によって得られるN-混乱フロリン類縁体は、非環状 π 共役骨格を有しており、混乱ピロール環の α 位を介して π 共役拡張した新規誘導体の合成に成功した(右図)。(Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 1537)



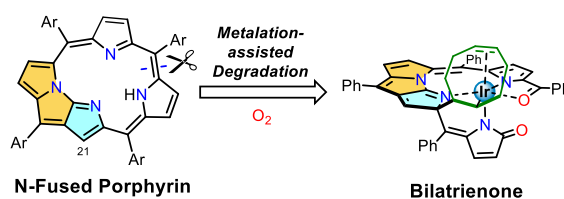
さらに、NCPの混乱ピロール環に隣接するメゾ炭素部位にピロリル基を導入した誘導体は、ニッケル(II)錯形成によって、酸化的な二量化およびヘリカル様 π 共役骨格をもつ近赤外光応答性材料として機能することを見出した(右図)。(Chem. Eur. J. 2020, 26, 13590 ; J. Porphyrins Phthalocyanines 2021, 25, 447)



4) N-フューズポルフィリン化学に関する研究

狭小な HOMO-LUMO ギャップを有する N-フューズポルフィリン (NFP) は、特異な環外金属配位を示す近赤外光機能性材料として注目されている。高原子価タングステン(VI) NFP 錯体は、電子不足金属中心による LUMO の安定化により、波長 1000 nm を超える光吸収特性を示した。(Chem. Asian J. 2020, 15, 748) また

イリジウム(I)シクロオクタジエン塩との反応により、NFP 環の酸化的切断反応が生じ、ポルフィリン環分解機構に関する新たな知見が得られた(右図)。(Chem. Eur. J. 2021, 27,

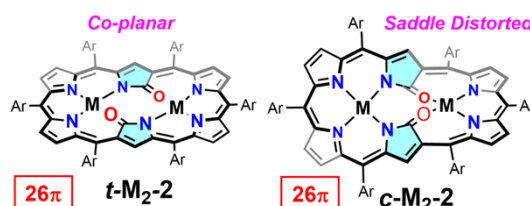


8268 ; Chem. Lett. 2021, 50, 1707) 塩化ロジウム(III)塩との反応では、 μ -クロロ架橋 NFP 二量

体が生じ、近赤外光照射による光熱変換特性を示した。(*J. Inorg. Biochem.* **2024**, *251*, 112435)

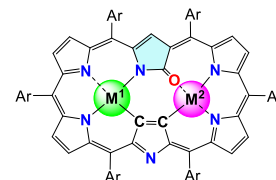
5) 環拡張ポルフィリン化学に関する研究

N-混乱修飾法を拡張ポルフィリン類に適用すると、剛直平面型のポルフィリン骨格とは異なる、3次元的にねじれた共役骨格を有する刺激応答性色素としての応用が期待される。既報の *Transoid*型ジオキソヘキサフィリンとは異なり、新たに *Cisoid*型の異性体(右図)が金属錯形成によってサドル状にねじれた 26π 共役分子を与えること、さらに非対称な金属配位環境を利用してヘテロ二核錯体を合成できること、第二近赤外



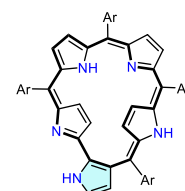
(NIR-II)と呼ばれる低エネルギー光学窓で機能する光音響イメージングの造影剤としての可能性が示された。(*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 4429 ; *J. Porphyrins Phthalocyanines* **2022**, *26*, 807) 一方、内環部位にカルボニル基を持たない二重 N-混乱ヘキサフィリンのパラジウム(II)および白金(II)においては、炭素-金属原子間の共有結合性によって、HOMO-LUMO エネルギーが変調し、第三近赤外 (NIR-III) 光領域まで吸収帯がシフトする。

(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 16161) 同様に、一重 N-混乱オキソヘキサフィリンにおいては、金(III)/Pd(II)錯形成によって、非対称軌道の電荷移動遷移が寄与して、可視域全体に吸収帯が広がった



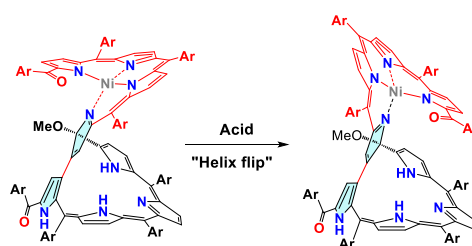
黒色色素としてふるまうことを見出した(右図)。(*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 6807)

また、サフィリンと呼ばれるペンタピロール系骨格を N-混乱修飾することで、構造的に柔軟な $4n\pi$ 系反芳香族環状構造を持つ類縁体を与え、特異的な酸化反応性(転移・縮環)を示すことを明らかにした(右図)。(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202212174) ピロール環の代わりにチオフェン環を末端に



導入するだけでも大きな反応性の違いを示し、予想外な多環縮合化合物を与えた。(*CCS Chem.* **2023**, *5*, 1332) これらの反応性は、上記の N-混乱ポルフィリンの拡張類縁体において、多様な分子内縮環生成物を与えることを明らかにした。(*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 17195)

低対称性の N-混乱類縁体は、柔軟な巨大 π 共役骨格を金属配位で固定することで捻じれに起因するキラリティが発現する。オリゴピロール骨格を酸化的に分子内縮環したイソスマグラジリン類縁体のニッケル錯体は、プロトン化によってヘリシティの反転特性を示した(右図)。(*Chem. Sci.* **2020**, *11*, 2790)



さらに N-混乱オクタフィリンに対して、Pd(II)塩で錯形成すると、メビウス型にねじれた二核金属錯体を与え、そのエナンチオマーのキラル光学特性について評価した。(*J. Porphyrins Phthalocyanines* **2020**, *24*, 416)

6) その他のポルフィリンおよびオリゴピロール誘導体に関する研究

N-混乱ポルフィリン類縁体の合成化学の知見から、 20π 反芳香族ジオキサポルフィリン錯体の基盤上への三次元集積や特異的な開環反応性、ロザリンヘテロ金属錯体錯体の開殻 π ラジカル電子構造の安定化にとどまらず、BODIPY およびアザ BODIPY 類縁体などへ派生した、近赤外光機能性材料に寄与する分子合成化学を達成した。(*ACS Appl. Opt. Mater.* **2024**, *2*, 211 等)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 34件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Togano H Motoki, Furuta Hiroyuki	4. 巻 122
2. 論文標題 Creation from Confusion and Fusion in the Porphyrin World The Last Three Decades of N-Confused Porphyrinoid Chemistry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 8313 ~ 8437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.1c00065	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Chen Tsang Wei Matt, Tanaka Yuki, Kametani Yohei, Cheng Kum Yi, Lin Chih Hsun, Lin Yi Rick, Hsu Ting Rong, Chen Zuqian, Hao Jiping, Mori Shigeki, Shiota Yoshihito, Yoshizawa Kazunari, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji, Chen Chun hsien	4. 巻 61
2. 論文標題 Spontaneous Assembly and Three Dimensional Stacking of Antiaromatic 5,15 Dioxaporphyrin on HOPG	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202212726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202212726	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shimomura Keito, Nakamura Yuma, Kai Hiroto, Saito Kyosuke, Furukawa Ko, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 26
2. 論文標題 Selective hetero-bis-metalation of a cisoid isomer of doubly N-confused dioxohexaphyrin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 807 ~ 814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424622500456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Iwanaga Osamu, Miyanishi Mayuko, Tachibana Toshihiro, Miyazaki Takaaki, Shiota Yoshihito, Yoshizawa Kazunari, Furuta Hiroyuki	4. 巻 27
2. 論文標題 A Computational Study on the Mechanism of Catalytic Cyclopropanation Reaction with Cobalt N-Confused Porphyrin: The Effects of Inner Carbon and Intramolecular Axial Ligand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 7266 ~ 7266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27217266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Li Qizhao, Ishida Masatoshi, Wang Yunyun, Li Chengjie, Baryshnikov Glib, Zhu Bin, Sha Feng, Wu Xinyan, Agren Hans, Furuta Hiroyuki, Xie Yongshu	4. 巻 62
2. 論文標題 Antiaromatic Sapphyrin Isomer: Transformation into Contracted Porphyrinoids with Variable Aromaticity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202212174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202212174	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sato Yuma, Shimada Takahide, Mori Shigeki, Yasutake Yuhsuke, Fukatsu Susumu, Furuta Hiroyuki, Ishida Masatoshi	4. 巻 27
2. 論文標題 Conformation-dependent photophysical properties of butadiyne-linked -extended BODIPY dimers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 486 ~ 492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424623500232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hao Jiping, Nishiyama Akihideo, Mori Shigeki, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 27
2. 論文標題 Ring-opening of 5,15-dioxaporphyrin into 1,9-diaryldipyrin by a reaction with Grignard reagents	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 1083 ~ 1088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424623500293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwanaga Osamu, Yoshida Naoya, Miyazaki Takaaki, Tani Fumito, Mori Shigeki, Shimizu Soji, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 27
2. 論文標題 Redox properties of bis-cobalt(III) complex of 3,3 -linked <i>N</i> -confused porphyrin dimer with axial pyridine ligands	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 1074 ~ 1082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424623500281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Feng Ru, Mori Tatsuya, Yasuda Takuma, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 210
2. 論文標題 Panchromatic small-molecule organic solar cells based on a pyrrolopyrrole aza-BODIPY with a small energy loss	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 111020 ~ 111020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dyepig.2022.111020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bialek Michal J., Hurej Karolina, Furuta Hiroyuki, Latos-Grazynski Lechoslaw	4. 巻 52
2. 論文標題 Organometallic chemistry confined within a porphyrin-like framework	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Society Reviews	6. 最初と最後の頁 2082 ~ 2144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CS00784C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamasumi Kazuhisa, Mori Shigeki, Tanaka Takayuki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 25
2. 論文標題 Metal complexes of 5,10,15-tris(pentafluorophenyl)-20-pyrrolyl N-confused porphyrin and its meso-pyrrolyl-bridged dimers: Synthesis and optical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 447 ~ 455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424621500255	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Fei, Liang Kejiang, Larsen Mads Christian, Bahrng Steffen, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki, Jana Atanu	4. 巻 26
2. 論文標題 Solvent-Controlled Self-Assembled Oligopyrrolic Receptor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1771 ~ 1771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26061771	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Abraham Jibin Alex, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 27
2. 論文標題 Iridium Complex of N Fused Bilatrienone: Oxidative Cleavage of N Fused Porphyrin Induced by Iridium Cyclooctadiene Complexation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 8268 ~ 8272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202100789	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyazaki Takaaki, Watanabe Motonori, Matsushima Toshinori, Chien Ching-Ting, Adachi Chihaya, Sun Shih-Sheng, Furuta Hiroyuki, Chow Tahsin J.	4. 巻 27
2. 論文標題 Synthesis of Heptacene and Its Hole Transfer Property of Stable Thin Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 10677 ~ 10684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202100936	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishizaki Toshiharu, Karasaki Hideaki, Kage Yuto, Kamioka Misaki, Wang Yitong, Mori Shigeki, Ishikawa Naoto, Fukuda Takamitsu, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 27
2. 論文標題 Janus Pyrrolopyrrole Aza dipyrin: Hydrogen Bonded Assemblies and Slow Magnetic Relaxation of the Cobalt(II) Complex in the Solid State	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 12686 ~ 12692
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202101755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abraham Jibin Alex, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 50
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of N-Fused Porphyrin Rhodium Complex with an Isomerized Cyclooctadiene Ligand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1707 ~ 1709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210381	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwanaga Osamu, Fukuyama Kazuki, Mori Shigeki, Song Jun Tae, Ishihara Tatsumi, Miyazaki Takaaki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Ruthenium(IV) N-confused porphyrin μ -oxo-bridged dimers: acid-responsive molecular rotors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 24575 ~ 24579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA05063J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kesavan Praseetha E., Pandey Vijayalakshmi, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki, Mori Shigeki, Gupta Iti	4. 巻 15
2. 論文標題 Synthesis, Photophysical Properties and Computational Studies of beta Substituted Porphyrin Dyads	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2015 ~ 2028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202000463	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Basumatary Biju, Hashiguchi Ikuho, Mori Shigeki, Shimizu Soji, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Copper 1,19 Diaza 21,24 dicarbacorrole: A Corrole Analogue with an N-N Linkage Stabilizes a Ground State Singlet Organocopper Species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 15897 ~ 15901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202005167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Yue, Ogasahara Koki, Tomihama Daisuke, Mysliborski Radomir, Ishida Masatoshi, Hong Yongseok, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Murayama Tomotaka, Muranaka Atsuya, Uchiyama Masanobu, Mori Shigeki, Yasutake Yuhsuke, Fukatsu Susumu, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Near Infrared III Absorbing and Emitting Dyes: Energy Gap Engineering of Expanded Porphyrinoids via Metallation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 16161-16166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202006026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanaka Susumu, Konishi Masafumi, Imoto Hiroaki, Nakamura Yuma, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki, Naka Kensuke	4. 巻 59
2. 論文標題 Fundamental Study on Arsenic(III) Halides (AsX ₃ ; X = Br, I) toward the Construction of C3-Symmetrical Monodentate Arsenic Ligands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 9587 ~ 9593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c00598	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Feng Ru, Sato Narumi, Nomura Mayuka, Saeki Akinori, Nakanotani Hajime, Adachi Chihaya, Yasuda Takuma, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 8
2. 論文標題 Near-infrared absorbing pyrrolopyrrole aza-BODIPY-based donor-acceptor polymers with reasonable photoresponse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8770 ~ 8776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC01487G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishizuka Tomoya, Sakashita Ryuichi, Iwanaga Osamu, Morimoto Tatsuki, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Toganoh Motoki, Takegoshi Kiyonori, Osuka Atsuhiko, Furuta Hiroyuki	4. 巻 124
2. 論文標題 NH Tautomerism of N-Confused Porphyrin: Solvent/Substituent Effects and Isomerization Mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 5756 ~ 5769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c04779	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamasumi Kazuhisa, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis of Helically Extended N Confused Porphyrin Dimer via meso Bipyrrole Bridge with Near Infrared II Absorption Capability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 13590 ~ 13594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202002406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiina Yuta, Kage Yuto, Furukawa Ko, Wang Heng, Yoshikawa Hirofumi, Furuta Hiroyuki, Kobayashi Nagao, Shimizu Soji	4. 巻 59
2. 論文標題 TTF Annulated Silicon Phthalocyanine Oligomers and Their External Stimuli Responsive Orientational Ordering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 22721 ~ 22730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202011025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Li Chengjie, Li Qizhao, Shao Jiwei, Tong Zhangfa, Ishida Masatoshi, Baryshnikov Glib, Agren Hans, Furuta Hiroyuki, Xie Yongshu	4. 巻 142
2. 論文標題 Expanded N-Confused Phlorin: A Platform for a Multiply Fused Polycyclic Ring System via Oxidation within the Macrocyclic	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17195 ~ 17205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c09572	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jana Atanu, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 27
2. 論文標題 Benzo Tetrathiafulvalene (BTTF) Annulated Expanded Porphyrins: Potential Next Generation Multielectron Reservoirs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 4466 ~ 4472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202005021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kage Yuto, Kang Seongsoo, Mori Shigeki, Mamada Masashi, Adachi Chihaya, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 27
2. 論文標題 An Electron Accepting aza BODIPY Based Donor-Acceptor-Donor Architecture for Bright NIR Emission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 5259 ~ 5267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202005360	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kumar Maurya Yogesh, Wei Pingchun, Shimada Takahide, Yamasumi Kazuhisa, Mori Shigeki, Furukawa Ko, Kusaba Hajime, Ishihara Tatsumi, Xie Yongshu, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Chiral Interlocked Corrole Dimers Directly Linked at Inner Carbon Atoms of Confused Pyrrole Rings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 743 ~ 747
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202100083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Basumatary Biju, Tsuruda Hidetoshi, Szczepanik Dariusz W., Lee Jiyeon, Ryu Jaehyeok, Mori Shigeki, Yamagata Kyo, Tanaka Takayuki, Muranaka Atsuya, Uchiyama Masanobu, Kim Jiwon, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 63
2. 論文標題 Metalla Carbaporphyrinoids Consisting of an Acyclic N Confused Tetrapyrrole Analogue Served as Stable Near Infrared II Dyes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202405059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202405059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Xue Songlin, Dong Yuting, Lv Xiaojuan, Qiu Fengxian, Wang Yue, Furuta Hiroyuki, Teranishi Toshiharu, Wu Fan	4. 巻 30
2. 論文標題 Stabilization of the Neutral [25]Hexaphyrin(1.0.1.0.1.0) Radical by Hetero Bimetal Coordination	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202400812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202400812	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimada Takahide, Kaneko Takashi, Notsuka Yusuke, Kim Jinseok, Mori Shigeki, Shimizu Soji, Kim Jiwon, Kamada Kenji, Kim Dongho, Yamaoka Yoshihisa, Furuta Hiroyuki, Ishida Masatoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Molecular Design for Stable Near-Infrared-II Two-Photon Excitation-Induced Photoacoustic Contrast Agents Based on Donor-Substituted BODIPYs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Applied Optical Materials	6. 最初と最後の頁 211 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaom.3c00400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Abraham Jibin Alex, Tsuruda Hidetoshi, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 251
2. 論文標題 Synthesis and photothermal conversion properties of sandwich N-fused porphyrin rhodium- μ -dichloride dimer complexes: -extended analog of pentamethylcyclopentadienyl dirhodium(III)- μ -dichloride dimer	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic Biochemistry	6. 最初と最後の頁 112435 ~ 112435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinorgbio.2023.112435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Li Qizhao, Ishida Masatoshi, Li Chengjie, Baryshnikov Glib, Sha Feng, Zhu Bin, Wu Xinyan, ?gren Hans, Furuta Hiroyuki, Xie Yongshu	4. 巻 5
2. 論文標題 Conformation Governed Reactivity of Fused Thia-Sapphyrin Dimers Bearing Multiply Fused Heteroaromatic Rings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CCS Chemistry	6. 最初と最後の頁 1332 ~ 1342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.31635/ccschem.023.202202690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計43件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 Modulation of Aromatic Circuits in the Triply Fused N-Confused Porphyrin Dimer System
3. 学会等名 12th International Conference of Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 N-Confused Porphyrinoids: Directional Evolution from Porphyrin Isomer to Functional NIR Dyes
3. 学会等名 XX Brazilian Meeting on Inorganic Chemistry (XXBMIC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osamu Iwanaga, Kazuki Fukuyama, Takaaki Miyazaki, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Synthesis and Ring Rotation of Ruthenium μ -Oxo N-Confused Porphyrin Dimer
3. 学会等名 第31回万有福岡シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Biju Basumatary, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Copper 1,19-Diazadibenzonorrole: Rational Synthesis of a Porphyrin Analogue Containing N-N Direct Linkage
3. 学会等名 International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines -11 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Osamu Iwanaga, Kazuki Fukuyama, Takaaki Miyazaki, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Ring Rotation Behavior of Ruthenium N-Confused Porphyrin [μ]-Oxo Dimers
3. 学会等名 International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines -11 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahide Shimada, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Synthesis of - and -Alkynylated BODIPYs via Gold(I)-catalyzed Direct C-H Functionalization and Their Photophysical Properties
3. 学会等名 International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines -11 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水口波暉, 古田弘幸, 清水宗治
2. 発表標題 Azabora[6]hel icene誘導体の合成および光学特性
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田直也, 石田真敏, 古田弘幸
2. 発表標題 N-混乱金属ポルフィリン修飾K ₂ O ₃ ;系光触媒による完全水分解
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴田英寿, Bijubasumatary, 石田真敏, 古田弘幸
2. 発表標題 近赤外光吸収色素の分子構造と光熱変換特性の相関関係
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池本彪流, 古田弘幸, 清水宗治
2. 発表標題 外部配位能を有する四置換ジオキサポルフィリンの合成
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 甲斐浩太郎, 甲斐寛人, 石田真敏, 古田弘幸
2. 発表標題 二重N-混乱ジオキソヘキサフィリンを基盤とした光音響イメージング造影剤の開発
3. 学会等名 第58回 化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩永修、福山和希、宮崎隆聡、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 N-混乱ポルフィリンルテニウム μ -オキソ二量体の環回転制御
3. 学会等名 九州錯体化学懇談会第261回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田直也、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 N-混乱金属ポルフィリン修飾Pt/KTa(Zr)O ₃ 光触媒による水分解反応
3. 学会等名 第33回 若手研究者のためのセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Osamu Iwanaga, Kazuki Fukuyama, Takaaki Miyazaki, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Ring Rotation and Restriction of Ruthenium μ -Oxo N-Confused Porphyrin Dimer
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古田弘幸
2. 発表標題 混乱アプローチによる新規ポルフィリノイドの創製と機能化
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優真・石田真敏・古田弘幸
2. 発表標題 ブタジイン架橋 共役 BODIPY 二量体の合成と物性
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口まり・森重樹・古田弘幸・清水宗治
2. 発表標題 ケイ素テトラアザポルフィリンu-oxo 二量体の合成と分光特性の解明
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優真・石田真敏・古田弘幸
2. 発表標題 -アリールエチニル BODIPY 誘導体の合成と光物性
3. 学会等名 2021ハロゲン利用ミニシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古田弘幸
2. 発表標題 「混乱から創造へ」; 混乱型ポルフィリノイドの創製と展開
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩永 修、石田 真敏、古田 弘幸
2. 発表標題 三重縮環N-混乱ポルフィリン二量体の合成と物性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋田 隆秀、石田 真敏、古田 弘幸
2. 発表標題 二光子励起光音響イメージング応用を目指した近赤外吸収BODIPY誘導体の合成と光物性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yitong Wang, Shigeki Mori, Hiroyuki Furuta, Soji Shimizu
2. 発表標題 Synthesis and Optical Properties of Donor-Acceptor-Donor Pyrrolopyrrole aza-BODIPYs
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jiping Hao, Shigeki Mori, Hiroyuki Furuta, Soji Shimizu
2. 発表標題 Synthesis of tetraaryl-substituted 5,15-dioxaporphyrin and its oxidation to the aromatic dication
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井口 まり、森 重樹、古田 弘幸、清水 宗治
2. 発表標題 ケイ素テトラアザポルフィリン μ -oxo二量体の合成と分光・電気化学特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深水 柊兵、森 重樹、古田 弘幸、清水 宗治
2. 発表標題 B0縮環構造を有するピロロピロールaza-BODIPYの合成とキラル光学特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金森 隆太郎、森 重樹、古田 弘幸、清水 宗治
2. 発表標題 Push-Pull 置換基を有するケイ素テトラアザポルフィリンの合成と μ -oxo 二量化
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jibin Alex Abraham, Masatoshi Ishida, Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of N-fused porphyrin iridium complexes towards catalysis
3. 学会等名 Virtual Conference on Recent Advances in Bis and Tetra-Pyrrolic Molecular Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Osamu IWANAGA, Ritesh NANDY, Takaaki MIYAZAKI, Masatoshi ISHIDA, Hiroyuki FURUTA
2. 発表標題 Redox Property of N-Confused Porphyrin Dimer Complexes
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王越、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 異種拡張ポルフィリノイドの異核金属錯形成に基づく黒色素の設計と合成
3. 学会等名 第30回記念万有福岡シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩永 修, 宮崎 隆聡, 石田 真敏, 古田 弘幸
2. 発表標題 N-混乱ポルフィリン二量体二核金属錯体の酸化還元特性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田隆秀, 石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 芳香族C-H部位の直接アルキニル化反応を用いたエチニル置換BODIPY色素の位置選択的合成および光物性
3. 学会等名 第117回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田隆秀, 石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 芳香族 C-H 部位の直接アルキニル化反応 による BODIPY 誘導体の合成および光物性
3. 学会等名 基礎有機化学会第0回若手オンラインシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋口育歩、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 コバルトベンゾノロール錯体の電子構造と電気化学的水素発生
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤優真、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 アルキニル置換 拡張ポロンジピリン誘導体の合成
3. 学会等名 日本化学会第101春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩永修、福山和毅、宮崎隆聡、石田真敏、古田弘幸
2. 発表標題 N-混乱ポルフィリンルテニウム μ -オキソ二量体の合成と環回転
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jibin Alex Abraham, Masatoshi Ishida, and Hiroyuki Furuta
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of N-Fused Porphyrin Iridium Complexes
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口まり、清水宗治、古田弘幸
2. 発表標題 TTF縮環ケイ素テトラアザポルフィリンの合成
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長野純・古田弘幸・清水宗治
2. 発表標題 - 4置換5,15-ジオキサポルフィリンおよびジカチオン種の合成と構造
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 Craig-Type Moebius Metalla-(anti)aromaticity in Platinum(II) and Palladium(II) Dicarbaporphyrinoids
3. 学会等名 Prof. Leszczynski's 70th Birthday Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 N-Confused Porphyrinoids: Directional Evolution from Porphyrin Isomer to Functional NIR Dyes
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Bali 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 N-Confused Porphyrinoids: Directional Evolution from Porphyrin Isomer to Functional NIR Dyes
3. 学会等名 The 13th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 N-Confused Porphyrinoids: Directional Evolution from Porphyrin Isomer to Functional NIR Dyes
3. 学会等名 The 2nd Asian Conference on Porphyrins, Phthalocyanines and Related Materials (ACPP-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Furuta Hiroyuki
2. 発表標題 Electronic and Magnetic Interactions between N-Confused Porphyrin Dimers
3. 学会等名 13th International Conference of Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石田 真敏 (Ishida Masatoshi) (60706951)	東京都立大学・理学研究科・准教授 (22604)	
研究分担者	井川 善也 (Ikawa Yoshiya) (70281087)	富山大学・学術研究部理学系・教授 (13201)	
研究分担者	清水 宗治 (Shimizu Soji) (70431492)	九州大学・工学研究院・准教授 (17102)	追加： 令和4年6月21日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ポーランド	University of Wroclaw	Jagiellonian University	
中国	ECUST		
スウェーデン	Uppsala University		

共同研究相手国	相手方研究機関			
その他の国・地域	National Taiwan University			
韓国	Yonsei University			
インド	GITAM	IIT Gandhinagar		
デンマーク	University of Southern Denmark			