

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K05076

研究課題名(和文) 分光学的特徴を有する機能性フタロシアニン類の創出

研究課題名(英文) Creation of Functional Phthalocyanines having Spectroscopic Characteristics

研究代表者

小林 長夫 (Kobayashi, Nagao)

信州大学・繊維学部・特任教授

研究者番号：60124575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：[分光学的特徴を有する機能性フタロシアニン類の創出]という題で研究助成を頂いた。当初3年の予定であったがコロナの発生により2年間延長して頂いた。研究期間全体を通して、主に機能性フタロシアニン、ポルフィリンに関する化合物を合成、特性化してその成果を37報の原著論文、4報の総説、1つの本に纏めて出版した。近年研究が盛んになってきた反芳香族分子に関する報告が5報、またBODIPYや環拡大ポルフィリンなどで超波長領域に吸収を有し、癌の光化学治療などへの応用に使える分子も幾つか報告した。5年間に化学分野で高評価のJACS, Angew. Chem., Nat. Commun.の雑誌に5報発表できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フタロシアニン、ポルフィリンは芳香環錯体の代表的な化合物であり、特に前者は応用面での実用化でもやく1世紀弱の歴史がある。機能性材料として染料・顔料の他に癌の光化学治療における増感剤、消臭・抗菌として実用化され、また太陽電池等への応用でも研究が続いている。しかし未開の分野も多い。例えば反芳香属性を有するフタロシアニンは殆ど報告例がなく、今回の研究成果の中で報告した5報は、この分野の基本となり得る論文である。このほか巨大芳香環の中に小さい芳香環を含む分子、1800nm近傍に主吸収を有する分子など、当該分野を先導する分子を多数報告した。

研究成果の概要(英文)：I obtained financial support on the title that "Creation of Functional Phthalocyanines having Spectroscopic Characteristics", and the duration of the research was originally 3 years, but due to Covid-19, it was allowed to postpone two more years. In the whole period, we have synthesized and characterized mainly functional phthalocyanines and porphyrins, and the results were published as 37 original papers, four review articles, and one book, which includes 5 papers of recently popular antiaromatic compounds. In addition, BODIPYs and ring-expanded porphyrins that show the main absorption bands in the near-IR region were also reported in several papers. These compounds have potentials to be used as photosensitizers in photodynamic therapy. In the 5 years, we could publish five papers in highly evaluated journals such as JACS, Angew. Chem. and Nat. Commun.

研究分野：構造有機化学

キーワード：フタロシアニン ポルフィリン 合成 分光学 理論計算 分子軌道 芳香族

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

フタロシアニン類は約1世紀前に合成された色素であるが、初めの約70年間は染料・顔料として使われ、その後他の用途での可能性が見つかり、癌の光化学治療、召集・抗菌などの分野で実用化され、更には太陽電池、燃料電池の分野でも研究され、「機能分子の王様」と形容されてきた。しかし更なる応用のためには吸収波長の調整が必要な要素の1つであり、それを達成するため、理論的に分子をデザインする必要がある。

2. 研究の目的

フタロシアニン類縁体のように収率と安定性が高く、それでいて世間から要求される化合物を合成、提案する必要がある。特に近赤外領域に強い主吸収を有する安定なフタロシアニン、ポルフィリン誘導体の合成を目的とした。また今まで合成例のない反芳香族のそれらの合成・調製・特製化も目的とした。

3. 研究の方法

小職のこの分野の研究における特徴は、今まで養った知識により分子の特性(特に分光学的)が見えることである。目的を達成するために幾つかの方法があった。1)初めは巨大芳香環を構成する小さい芳香族の数を増やすことである。2)2番目は分子に歪みを導入したり、電荷移動吸収帯をパイ-パイ遷移の長波長側に生じさせることである。そして3)今までに報告の無い半芳香族フタロシアニン誘導体の合成では、パイ電子数が4の倍数になる様、分子をデザインした。

4. 研究成果

主吸収を近赤外領域に移動させる目的では、ピロールを9個環状に連結させることにより、約1800nmまで吸収を伸ばした。分子に歪みや電化移動吸収帯を生じさせる実験では、やはり1000nm近傍まで主吸収が移動した。反芳香族体では、最長波長吸収帯は禁制遷移のため弱いと予想されたがその通りで、その代わり、今まで強い吸収が現れない可視部において許容遷移が観測された。フタロシアニン誘導体を含め、一般に半芳香族錯体は分子の対称性が低く、分光学的性質も完全な反芳香族でなく、幾分通常の芳香族に近いもの、あるいは中心部に金属を配位させることにより典型的な反芳香族となったものもあった。

当初3年の予定で研究費を頂いたが、コロナもあり最終的には2年延長して頂き、5年となった。5年間の成果を原著論文約40報、総説4報、著書1冊として発表した。各年度ごとに主な成果の要点を以下にまとめる。

1) 2018年度:

a) 水溶性のフタロシアニンに葉酸を結合し、がんの光化学治療への応用を試みた。これは癌の組織には葉酸が集まりやすいということを活用したもので、癌組織に光増感剤としてのフタロシアニンが効果的に運ばれれば、光化学治療効果が上がることを期待したものである。結果は思った通り、フタロシアニンだけの時より効果が上がった。

b) BODIPYはフタロシアニンの半分の構造を有している。通常のBODIPYは溶解度が低く、細胞中に取り込ませ、癌の治療に役立てるには極性基を導入し、水溶性を上げる必要がある。そこでクラウン単位を導入したが、溶解度、癌の光化学治療への効果の向上は期待したほど大きくはなかった。

c) 置換基に燐を含むフタロシアニンは殆ど報告されていない。電子供与性の置換基がフタロシアニンの置換基として導入されると、主吸収帯が長波長移動することが知られている。燐は周期表で窒素の下にあり、期待を込めて合成した。リンの数、位置にもよるが、置換基なしのフタロシアニンと比べて30-60 nm長波長に主吸収を伸ばすことができた。癌の光化学治療への応用までは行きつかなかった。

d) サブフタロシアニンというイソインドリン環が3個からなるフタロシアニン誘導体のベンゼン環にピリジン結合し、3つの亜鉛フタロシアニンに配位させた超分子を太陽電池の色素増感剤として用いた。広い範囲で強い吸収が得られるため、高い増感効率を示した。

e) スーパーフタロシアニンのノルコロールを合成した。これは反芳香族化合物であるが、2電子還元すると芳香族錯体となり、主吸収が約840nmに移動した。

2) 2019年度:

a) カルバサブフタロシアニンと命名できるサブフタロシアニンを合成した。これは面内にカルバゾール環を含んでおり、性質を調べると反芳香族性を示して、世界で初めての反芳香族サブフタロシアニンとなった。環電流は左巻きで、NMRシグナルもも環中央部では非常に低磁場に現れた。

b) モルフォリンを置換したフタロシアニンを合成した。その窒素を4級化すると水溶性となるため、癌の光化学治療に応用できると考えた。中心金属は亜鉛とインジウムを導入した。インジウム体では主吸収帯位置が置換基のない物より約100nm長波長移動し、癌の光化学治療の増感剤として理想的であった。一重項酸素生成収率も約0.5-0.7と高かった。

c) 長鎖の置換基を導入した液体ポルフィリンを調製し、液体を用いた電気装置の作成への可能性を調べた。

d) 窒素数がフタロシアニンより4つ少ないテトラベンズポルフィリンに4つあるいは8つのフェニル基を導入して、更に中央部の金属として燐を導入した。これは対応するフタロシアニンでは主吸収は1000nm以上に移動したので、ベンズポルフィリンで、どこまで移動するか見るためである。8個のフェニル基を環中央に近い位置に結合した時は約750nmに、遠い位置に結合した時約700nmに現れた。フタロシアニンの主吸収帯と比べて、テトラベンズポルフィリンのそれは弱く、450nm近傍のソレ帯の方が強度は高かった。

e) チオフェン6個からなる環状化合物のカチオンラジカルダイマーを合成した。これは1000から2000nmにかけていくつもの幅広い吸収帯を示した。

3)2020年度:

a) テトラアザバクテリオクロリン、テトラアザイソバクテリオクロリンを鑄型反応を利用して合成する方法を提案した。これらの化合物はフタロシアニンよりベンゼン環を幾つか除いた化合物であるが、他の化合物にはない波長で強い吸収を有するという分光学的特徴があり、価値が高いものである。しかしピロール環がいくつか還元されており、有効な合成方法は提案されていなかった。

b) ピロールの窒素の向きが2つ外側を向いたポルフィリンを作り特性化した。対称性が低いことにより、LUMOの縮退が解け、それが磁気円偏光二色性スペクトルで分光学的に検出された。

c) テトラチアフルバレンが結合した珪素フタロシアニンのミュオキソ2量体を調製した。この化合物を酸化、或いは還元すると、テトラチアフルバレン部の酸化、還元により反発、吸引が起き、2つのフタロシアニン間の角度が変わった。

d) 金属フタロシアニンにはピロール窒素が通常4つ配位している。強い軸配位子を亜鉛に配位させることにより、亜鉛に3つのピロール窒素が廃位したフタロシアニンを合成した。対称性の低下により、通常660nm付近に現れる主吸収が約740nmに現れた。

4)2021年度:

a) 3角形をした拡張ヘミポルフィラジンを合成した。この化合物は中心にニッケル、亜鉛、コバルト、銅などの遷移金属を3つ取り込むことができ、その電子構造を解析した。無金属体は中心部が反芳香族、外側は芳香族性を示した。金属体は分子全体として芳香族であった。この化合物を金に吸着させSTMで観測したところ、コバルト原子が3角形に取り込まれている様子が可視化できた。分子が3角形であることも可視化により理解できた。

b) 中心にベンゼン環を有する環状ピロール6量体を合成した。ピロール部をアセナフトピロールにすると300-600nmに幅広い吸収を有するスペクトルを示し、ラジカルカチオン、ジカチオンにする事により、吸収は更に1000-2250nm程度まで伸びた。この化合物はC₆₀と1:1化合物を形成した。

c) テトラジアセピノポルフィラジンとフタロシアニンで希土類元素をサンドイッチした化合物を調製した。主吸収は600-800nmであったが近赤外領域でも約1700nm近傍まで吸収があり、理論と計算、実測の磁気円偏光二色性スペクトルから、これらの遷移を全て合理的に解釈した。

d) アルキル置換されたアザコロンを調製した。中心部はベンゼン環であり、中性状態では反芳香族性を示した。ジカチオンは芳香族性を示し、700-1300nmにかけて弱い吸収を示した。磁気円偏光二色性スペクトルもほぼ同じ形であり、電荷移動バンドと帰属された。

e) シクロ[9]ピロールを合成した。ピロール環が奇数の環状化合物は合成しにくく、殆ど報告されていなかった。今回のシクロ[9]ピロールは芳香族で、1100-2100nmに極めて強い主吸収を示し、ピークは1742nmに現れた。

f) サブポルフィリンの1つのメソ位フェニル環から水産基を出し、それが別のサブポルフィリンの軸配位子として結合する事により、環状サブポルフィリンダイマーを調製した。発色団間の相互作用は小さいことが、実測のスペクトルおよび理論計算から示された。

g) テトラベンゾジチアアメチリンを合成した。これは反芳香族化合物であり、中央の水素が抜ける事により、対称性があがった。

h) テトラピラジノポルフィラジンとフタロシアニン骨格で置換基の同じ化合物を揃え、芳香族性を実験的、理論的に検証した。フタロシアニンの方が芳香族性が高いことが示された。

i) コロールは通常3価であることが知られていたが、1価のコロールが組み込まれたフェナントロリンフタロシアニンを報告した。しかもこれは反芳香族であった。1価のコロールは世界で初めての例である。

5)2022年度:

a) テトラシクロペンタテトラフェニレンのジカチオン、ジアニオンを報告した。芳香族化合物であるが、環の外側と内側の共役は少なく、アニュレンの中にアニュレンがある構造のように例えられた。

b) ジカルバメチリンと呼ばれるアズレンを2つ組み込んだ長方形の芳香族化合物を合成した。これは反芳香族性を示し、吸収スペクトルは理論的に解釈された。

c) フェナンスレンが組み込まれたジアザポルフィリンを合成した。これは無金属体は非芳香族、金属体は弱い芳香族性を示した。

d) フタロシアニン合成の際の一番レベルの高い前駆体はイソインドリンと呼ばれ、通常芳香族ジニトリルにアンモニアガスを吹き込んで得られる。しかし、アンモニアガスポンペを維持するのはだんだん難しくなる傾向にあり、これを避ける方法として、ホルムアミドと強アルカリから系中でアンモニアガスを発生させる方法を提案した。多くの当該分野の研究者に役立つと思われる。

e) カルバゾール分子を共有して2つのフタロシアニンが結合している分子を報告した。両者の共有性は低く、ほぼ独立した2つのフタロシアニンが相互作用している姿が見えた。

F)多くの薬物を合成するのに鉄オクタカルボン酸フタロシアニンが有効であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計46件（うち査読付論文 46件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 A. C. C. Bacilla, S. Yoshimoto, M. K. Islyaiyin, O. I. Koifman, and N. Kobayashi	4. 巻 94
2. 論文標題 Triangular Expanded Hemiporphyrazines: Electronic Structures and Nanoscale Characterization of Their Adlayers on Au(111).	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 34-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200188	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 G. Kubheka, B. Babu, E. Prinsloo, N. Kobayashi, J. Mack, and T. Nyokong	4. 巻 25
2. 論文標題 Photodynamic Activity of 2,6-Dibrominated Dimethylaminophenylbuta-1,3-dienylBODIPY Dyes.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 47-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424620500509	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 Y. Sasaki, M. Takase, N. Kobayashi, S. Mori, K. Ohara, T. Okujima, and H. Uno	4. 巻 86
2. 論文標題 Radially Pi-Extended Pyrrole-fused Azacoronene: A Series of Crystal Structures of HCHAC with Various Oxidation States.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 4290-4295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c02825	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 S. Hirokawa, N. Kobayashi, and S. Shimizu.	4. 巻 26
2. 論文標題 Periphery-Fused Chiral A2B-Type Subporphyrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1140-1151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26041140	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 E. N. Tarakanova, P. A. Tarakanov, A. O. Simakov; T. Furuyama, N. Kobayashi, D. V. Konev, S. A. Trashin, K. D. Wael, I.V. Sulimenkov, V. I. Kozlovskiy, V.V. Filatov, L. G. Tomilova, P. A. Stuzhin, and V. E. Pushkarev	4. 巻 50
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Heteroleptic Rare Earth Double-Decker Complexes Involving Tetra- azepinoporphyrazine and Phthalocyanine Macrocycles.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 6245-6255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1DT00088H	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 K. Itoh, N. Kobayashi, and K. Ohta	4. 巻 25
2. 論文標題 Discotic Liquid Crystals of Silicone Phthalocyanine-based Single-Deckers and Double Deckers: Influence of the Axial Substituent Groups on Their Mesomorphism.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 188-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424621500115	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 K. Oki, M. Takase, N. Kobayashi, and H. Uno.	4. 巻 86
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Peralkylated Pyrrole-Fused Azacoronene.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 5102-5109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c03042	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 T. Morise, A. Muranaka, H. Ban, M. Harada, M. Naito, K. Yoshida, N. Kobayashi, M. Uchiyama, and Y. Tokunaga	4. 巻 23
2. 論文標題 A Chiral [3]Rotaxane Comprising Achiral Bis-macrocyclic and Dumbbell-shaped Components.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Org. Lett.	6. 最初と最後の頁 2120-2124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.1c00271	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 Matsumoto Hiroki, Okujima Tetsuo, Mori Shigeki, Bacilla Ana C. C., Takase Masayoshi, Uno Hidemitsu, Kobayashi Nagao	4. 巻 23
2. 論文標題 Cyclo[9]pyrrole: Selective Synthesis of [34]Nonaphyrin(0.0.0.0.0.0.0.0.0)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 3442 ~ 3446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.1c00899	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 S. Hirokawa, S. Mori, N. Kobayashi, and S. Shimizu	4. 巻 25
2. 論文標題 Phenolate-bridged A2B-type subporphyrin dimer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 975-980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424621500796	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 T. Okujima, R. Kozumi, S. Mori, Y. Chino, M. Takase, H. Uno, and N. Kobayashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Synthesis of antiaromatic tetrabenzodithiaamethyrin.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 1055-1063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424621500966	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 Y. Igarashi, Y. Okada, S. Watabiki, Y. Sakaguchi, S. Yoshino, K. Sakamoto, M. Suzuki, and N. Kobayashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Electronic structures of zinc octaalkylthio- and octaphenylthio-tetrapyrrozinoporphyrazines, and comparison with those of phthalocyanines and pyrazinoporphyrazines.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 1078-1085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424621500991	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 J. Y. M. Chan, Y. Okada, T. Kawata, N. Kobayashi, and D. K. P. Ng	4. 巻 23
2. 論文標題 Phenanthroline-Fused Phthalocyanine Analogues Having an Unprecedented Monovalent Corrole Inner Perimeter and 4npi Non-Aromatic Properties.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Org. Lett	6. 最初と最後の頁 5942-5946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.1c02039	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 S. Tajima, A. Muranaka, M. Naitoh, N. Taniguchi, S. Miyanaga, M. Ueda, H. Takaya, N. Kobayashi, M. Uchiyama, and Y. Tokunaga	4. 巻 23
2. 論文標題 Synthesis of a mechanically planar chiral and axially chiral [2]rotaxane.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Org. Lett.	6. 最初と最後の頁 8678-8682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.1c02983	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 T. Furuyama, Y. Takahashi, T. Fukumura, A. C. C. Bacilla, and N. Kobayashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Synthesis and Electronic Properties of meso-Tetra(3,4,5-trimethoxy)phenyl-porphyrin and -tetrabenzoporphyrin and Their Phosphorus Complexes.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 105-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424619500871	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 T. Fujiwara, A. Muranaka, T. Nishinaga, S. Aoyagi, N. Kobayashi, M. Uchiyama, H. Otani, and M. Iyoda	4. 巻 142
2. 論文標題 Preparation, Spectroscopic Characterization and Theoretical Study of a Three-Dimensional Conjugated 70 ⁻ -Electron Thiophene 6-Mer Radical Cation ⁺ -Dimer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 5933-5937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b13573	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 S. V. Dudkin, T. Kawata, S. A. Belova (Savkina), Y. Okada, and N. Kobayashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Synthesis of Metal-Free Tetraazaisobacteriochlorin and Tetraazachlorin via Template Condensation of Phthalogenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins & Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 878-886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424619502031.	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 H. Uno, K. Muramatsu, S. Hiraoka, H. Tahara, M. Hirose, E. Tamura, T. Shiraishi, J. Mack, N. Kobayashi, S. Mori, T. Okujima, and M. Takase	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis and Aromaticity of Benzene-Fused Doubly N-Confused Porphyrins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry, a European Journal	6. 最初と最後の頁 5701-5708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202000339	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 M. Uchiyama, A. Momotake, N. Kobayashi, and Y. Yamamoto	4. 巻 49
2. 論文標題 Specific Binding of an Anionic Phthalocyanine Derivative to G-quadruplex DNAs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 530-533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl200110	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 Y. Shiina, Y. Kage, K. Furukawa, H. Wang, H. Yoshikawa, H. Furuta, N. Kobayashi, and S. Shimizu	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 T. Ikeuchi, R. Kudo, T. Yoshii, N. Kobayashi, Y. Kitazawa, and M. Kimura	4. 巻 7
2. 論文標題 Activation of Water at Active-site Cavity of Zinc Phthalocyanine with Tris(pentafluorophenyl)borane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 622-625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201901273	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 Y. Okada, T. Hoshi, and N. Kobayashi	4. 巻 8
2. 論文標題 Recent Progress in Optically Active Phthalocyanines and Their Related Azamacrocycles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2020.595998	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 A. Sindelo, N. Kobayashi, M. Kimura, and T. Nyokong	4. 巻 374
2. 論文標題 Physicochemical and Photodynamic Antimicrobial Chemotherapy Activity of Morpholine-Substituted Phthalocyanines: Effect of Point of Substitution and Central Metal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A: Chem.	6. 最初と最後の頁 58-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2019.01.025	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 A. Ghosh, M. Yoshida, K. Suemori, H. Isago, N. Kobayashi, Y. Mizutani, Y. Kurashige, I. Kawamura, M. Nirei, O. Yamamuro, T. Takaya, K. Iwata, A. Saeki, K. Nagura, S. Ishihara, and T. Nakanishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Soft-Chromophore Featured Liquid Porphyrins and Their Utilization toward Liquid-Electret Applications.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4210-4218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12249-81	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 S. Mapukata, N. Kobayashi, M. Kimura, and T. Nyokong	4. 巻 379
2. 論文標題 Asymmetrical Zinc Phthalocyanine-Cobalt Ferrite Conjugates Embedded in Electrospun Fibers for Dual Photocatalytic Degradation of Azo Dyes: Methyl Orange and Orange G.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A: Chem.	6. 最初と最後の頁 112-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2019.04.048	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 T. Furuyama T. Okujima, K. Muramatsu, Y. Takahashi, A. Mikami, T. Fukumura, S. Mori, T. Nakae, M. Takase, H. Uno, and N. Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis, Structural and Optical Properties of Tetrabenzoporphyrin Complexes Bearing Four or Eight Peripheral Phenyl Groups.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eur. J. Org. Chem	6. 最初と最後の頁 3224-3235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201900528.	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 T. Furuyama, Y. Takahashi, T. Fukumura, A. C. C. Bacilla, and N. Kobayashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Synthesis and Electronic Properties of meso-Tetra(3,4,5-trimethoxy)phenyl-porphyrin and -tetrabenzoporphyrin and Their Phosphorus Complexes.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 105-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424619500871	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 T. Fujiwara, A. Muranaka, T. Nishinaga, S. Aoyagi, N. Kobayashi, M. Uchiyama, H. Otani, and M. Iyoda	4. 巻 142
2. 論文標題 Preparation, Spectroscopic Characterization and Theoretical Study of a Three-Dimensional Conjugated 70 ⁻ -Electron Thiophene 6-Mer Radical Cation ⁻ -Dimer.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 5933-5937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b13573	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 N. Kobayashi	4. 巻 62(4)
2. 論文標題 Spectroscopically and/or Structurally Intriguing Phthalocyanines and Related Compounds. Part 1: Monomeric Systems.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Russ. J. Chem. & Chem. Tech.	6. 最初と最後の頁 4-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6060/ivkkt.20196206.5913_1	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 N. Kobayashi	4. 巻 62(8)
2. 論文標題 Spectroscopically and/or Structurally Intriguing Phthalocyanines and Related Compounds. Part 2: Monomeric Systems (continued).	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Russ. J. Chem. & Chem. Tech.	6. 最初と最後の頁 4-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6060/ivkkt.20196208.5913_2	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 N. Kobayashi	4. 巻 62(11)
2. 論文標題 Spectroscopically and/or Structurally Intriguing Phthalocyanines and Related Compounds. Part 3: Dimeric Systems, Tetramers, and Conclusions.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Russ. J. Chem. & Chem. Tech.	6. 最初と最後の頁 4-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6060/ivkkt.20196208.5913_3	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 Matlou Gauta Gold, Kobayashi Nagao, Kimura Mutsumi, Nyokong Tebello	4. 巻 149
2. 論文標題 Physicochemical properties of water soluble unsymmetrical phthalocyanine-folic acid conjugates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 393 ~ 398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dyepig.2017.10.030	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 Kimura Takeshi, Muraoka Hiroki, Nakajo Shiduko, Ogawa Satoshi, Yamamoto Satoshi, Kobayashi Nagao	4. 巻 2018
2. 論文標題 Preparation and Optical and Electrochemical Properties of Phthalocyanines with Four or Eight Diphenylphosphino, Diphenylphosphoryl, and Diphenylthiophosphinyl Groups	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1255 ~ 1264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201701676	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 T. Kawata, Y. Chino, N. Kobayashi, and M. Kimura	4. 巻 34
2. 論文標題 Increased Light-Harvesting in Dye-Sensitized Solar Cells through Forster Resonance Energy Transfer within Supramolecular Dyad Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 7294-7300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b0118	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 Y. H. Koo, R. Yanagisawa, W.-Y. Cha, T. Furuyama, N. Kobayashi, D. Kim	4. 巻 22
2. 論文標題 Electron Photoejection from Dianion of an Expanded Phthalocyanine	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Porphyrins and Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 437-442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s1088424618500359	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 L. A. Maiorova, N. Kobayashi, S. V. Zyablov, V. A. Bykov, S. I. Nesterov, A. V. Kozlov, C. H. Devillers, A. V. Zavyalov, V. V. Alexandriysky, M. Orena, and O. I. Koifman	4. 巻 34
2. 論文標題 Magnesium Porphine Supermolecules and Two-Dimensional Nanoaggregates Formed Using the Langmuir Schaefer Technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 9322-9329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b00905	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 Y.-M. Chan, T. Kawata, N. Kobayashi, and D. K. P. Ng	4. 巻 58
2. 論文標題 Carbazosubphthalocyanines: Core-Expanded Antiaromatic Subphthalocyanine Analogues	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie, Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 2272-2277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201811420	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 H. Miyoshi, R. Sugimura, R. Kishi, S. N. Spisak, Z. Wei, A. Muranaka, M. Uchiyama, N. Kobayashi, S. Chatterjee, Y. Ie, I. Hisaki, M. A. Petrukhina, T. Nishinaga, M. Nakano, and Y. Tobe	4. 巻 61
2. 論文標題 Dianion and Dication of Tetracyclopentatetraphenylene with Decoupled Annulene-within-an-Annulene Structure Models.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202115316	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 T. Okujima, H. Inaba, S. Mori, M. Takase, H. Uno, Y. Chino, Y. Okada, and N. Kobayashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Synthesis of antiaromatic dicarbaamethyrin: [24]diazulihexaphyrin(0.1.0.0.1.0).	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Org. Lett.	6. 最初と最後の頁 234-239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.1c03882	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 J. Y. M. Chan, Y. Okada, S. Yoshida, T. Kawata, N. Kobayashi, and D. K. P. Ng	4. 巻 95
2. 論文標題 Phenanthrodiazaporphyrins: 1,10-Phenanthroline-Embedded Diazaporphyrin Analogues.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1325-1331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220152	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 A. Muranaka, H. Ban, M. Naito, S. Miyagawa, M. Ueda, S. Yamamoto, M. Harada, H. Takaya, M. Kimura, N. Kobayashi, M. Uchiyama, and Y. Tokunaga.	4. 巻 95
2. 論文標題 A naked-eye-detectable porphyrin-based molecular sensor for glutaric acid and isophthalic acid and its selective sensing mechanism.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 1428-1437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220195	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 L.A. Maiorova, N. Kobayashi, D. S. Salnikov, S. M. Kuzmin, T. V. Basova, O. I. Koifman, V. I. Parfenyuk, V. A. Bykov, Y. A. Bobrov, and P. Yang	4. 巻 39
2. 論文標題 Nanonetworks of vitamin B12 derivatives as a link in the evolution of the parent molecules during self-assembly at the air-water interface.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 3246-3254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c02964	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 Y. Igarashi, Y. Okada, K. Sakamoto, M. Suzuki, N. Kobayashi	4. 巻 27
2. 論文標題 Synthesis of Isoindole-diimine and its Derivatives without Ammonia Gas Bubbling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 423-433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424623500116	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 M. S. Belousov, Y. Okada, N. Kobayashi, A. G. Martynov, M. A. Gradova, D. V. Konev, O. A. Goncharova, V. A. Tafeenko, and T. V. Dubinina	4. 巻 96
2. 論文標題 First planar binuclear phthalocyanines sharing a common carbazole linkage: synthesis, and optical and photochemical properties.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 226-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220319	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 K. Muramatsu, T. Okujima, S. Mori, S. Kikuchi, S. Ando, Y. Okada, M. Takase, H. Uno, and N. Kobayashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Synthesis of peripherally annulated phenanthroporphyrins.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Org. Lett.	6. 最初と最後の頁 3049-3054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.3c00876	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 H. Ueda, S. Sato, K. Noda, H. Hakamata, E. Kwon, N. Kobayashi, and H. Tokuyama	4. 巻 62
2. 論文標題 Iron-Catalyzed Biomimetic Dimerization of Tryptophan-Containing Peptides.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int Ed,	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202302404	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 -

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 N. Kobayashi
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Spectroscopically Intriguing Phthalocyanines and Cyclic Pyrroles.
3. 学会等名 International Seoul Symposium on Exotic Porphyrinoids and Related System (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Y.-M. Chan, T. Kawata, N. Kobayashi, and D. K. P. Ng
2. 発表標題 Boron(III) Carbazosubphthalocyanines: Core-Expanded Antiaromatic Boron(III) Subphthalocyanine Analogues
3. 学会等名 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Kobayashi
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Spectroscopically Intriguing Phthalocyanines and Cyclic Pyrroles.
3. 学会等名 7th Georgian Bay International Conference on Bioinorganic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林長夫、大島輝明、古山溪行、木村睦
2. 発表標題 安定フタロシアニンラジカルとその色素増感大洋電池への応用
3. 学会等名 複素環化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Neya, M. Suzuki, T. Yoneda, and N. Kobayashi
2. 発表標題 Copper-induced selective synthesis of cis-diazaporphyrin with 1,19-dibromotripyrrin
3. 学会等名 The 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kobayashi
2. 発表標題 A Metallorphthalocyanine where Three Isoindole Nitrogens are Coordinated to the Central Metal Ion
3. 学会等名 The 10th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kobayashi
2. 発表標題 Structurally or Electronically Intriguing Phthalocyanines
3. 学会等名 The 8th International Workshop "Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 S. Yamamoto, S. Duddkin, M. Kimura, and N. Kobayashi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 World Scientific	5. 総ページ数 168
3. 書名 Handbook of Porphyrin Science	

〔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

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