

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05648

研究課題名(和文) フェナセンの分子構造及び電子骨格の精密設計に基づく超高移動度有機半導体の創造

研究課題名(英文) Development of high-performance semiconductor molecules utilizing molecular and electronic skeletons of phenacenes

研究代表者

岡本 秀毅 (Okamoto, Hideki)

岡山大学・自然科学学域・准教授

研究者番号：30204043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高性能有機半導体がユビキタス社会を支える基盤として渴望されていることを背景に、フェナセンの電子骨格を活用して高性能有機半導体材料の開発に取り組んだ。種々のフェナセン分子を光化学反応により効率的に合成し、有機半導体としての特性を評価した。分子の形や置換基の種類、フェナセンのベンゼン環数などの違いが有機半導体としての特性にもたらす影響を調べ、より高性能な有機半導体材料開発の指針を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体材料は、柔軟、軽量で材料設計の自由度が高ことなどの多くの利点を有しているが、安定で高性能な材料はいまだに限られているのが現状である。本研究で得られた有機半導体材料の高移動度化に対する指針は、耐久性があり、高性能な未来の有機半導体を開発するために有効であると考えられる。特にフェナセンは、従来の有機分子に比べて安定であるため、耐久性のある有機電子デバイスの作製に展開できる可能性があると期待される。

研究成果の概要(英文)：Development of new high-performance organic semiconductors is one of the central issues in organic electronics. In this study, synthesis of novel phenacene-based organic semiconductors and their performance of active layers in field-effect transistor devices were investigated. The phenacene molecules were successfully synthesized through Mallory photoreactions of the corresponding diarylethene precursors. On the bases of the relationships between the phenacene structures and the performance of organic semiconductors, factors for designing a future high-performance organic semiconductors were obtained.

研究分野：有機光化学

キーワード：有機半導体 フェナセン 電界効果型トランジスタ FET 多環芳香族化合物

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機半導体材料は、シリコンを中心とする無機半導体材料と比較して柔軟性を持ち、デバイスの軽量化と大面積化を可能とし、材料設計の自由度が高こと、およびテーラーメイド化が可能である、など多くの利点を有している。したがって、従来の無機半導体を有機材料に置き換えることによって半導体デバイス、電子デバイスの設計、作製の自由度が飛躍的に向上する。そのため、高性能有機半導体デバイスの開発は熾烈な競争が展開されている。高性能有機半導体の実現は、現在～将来のユビキタス社会、DX 社会を支えるために渴望されている。^[1,2] 高性能有機 FET のホール移動度 μ_{H} は今やアモルファスシリコンを凌ぐが、安定で高性能な材料はいまだに限られているのが現状である。例えば、Takimiya による含硫黄ヘテロ環化合物 BTBT とその関連化合物は高性能有機半導体材料のベンチマークと捉えることができる (図 1)。^[3] 分子構造の最適化とデバイス作製の継続的な検討により BTBT 誘導体の μ_{H} は $>10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に達する。^[4] 今後、有機エレクトロニクスの飛躍的な発展のためには、デバイスの特別な作製技術に頼らない、普遍的な活性層形成技術によって超高性能 FET デバイスを実現できる有機半導体材料の開発が望まれる。ルブレンやペンタセンも超高移動度を示す材料として注目されてきた。^[5,6] 近年、有機半導体特性と発光特性を兼ね備える複合機能性有機半導体材料も見いだされ、電界効果型トランジスタ (FET) や有機発光デバイスに応用されるようになってきた。^[7] 一方で、これらの化合物は光や酸素への暴露に対して不安定なアセン構造を有するため、耐候性、耐久性に乏しく、化学的に安定な有機半導体の開発が望まれている。我々は、ベンゼン環がジグザグに連なるフェナセンを活性層に用いることで高い電荷移動度をもつ有機 FET デバイスの作製が可能であることを示してきた。^[8,9] 本研究ではこれらの知見にもとづき、フェナセン π 電子骨格を鍵構造として化学的に安定で、高移動度を発現できる有機半導体材料を開発する設計指針の探索、合成および FET デバイス作製・評価について研究を展開した。

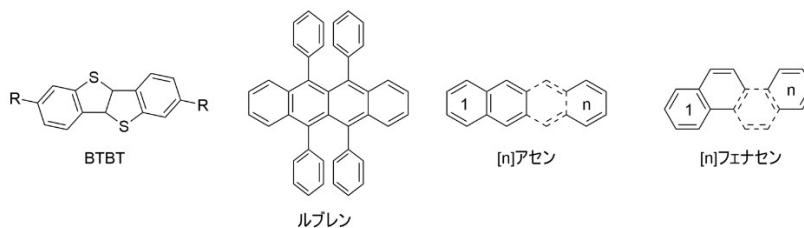


図 1. 多環芳香族 FET 材料の分子構造。

2. 研究の目的

高性能有機半導体デバイスを実現するために最も重要なのは、化合物の観点から特別な成膜技術や複雑なデバイス構造に頼らずに電荷の高移動度をもたらす「素性のよい半導体分子」を創造することである。BTBT 類はそのような分子の先駆けであると言える。^[3] 前述のように、我々はフェナセン類がヘテロ原子に頼らない炭化水素芳香族化合物でありながら高性能 FET デバイスに適用できることを示してきた。フェナセンの分子構造と π 電子骨格の適切な設計によって超高性能フェナセン半導体構築の分子設計指針が確立できれば有機半導体材料開拓のブレークスルーとなる。特殊な成膜技術や複雑なデバイス構造を用いず、分子が本質的に持つ能力を発現させて超高移動度を達成できる「素性のよい半導体分子」を、フェナセンの分子構造と π 電子骨格を活用してどのように構築すべきか、という本研究課題の核心をなす学術的な「問い」に答えるため、フェナセンの分子構造と電子骨格の特徴を活用して、超高移動度の有機半導体分子構築の指針を得ることを目的とし、特に下の二点を検討することとした。

- フェナセン類の分子構造、 π 電子骨格を実験的、理論的に解析し有機半導体分子としての「素性」を明らかにする。
- 新規なフェナセン類の FET デバイスの作製と動作特性評価を行い、移動度とフェナセンの分子および固体構造、 π 電子骨格との相関を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究課題の遂行にあたって、岡本秀毅 (岡山大学・自然科学研究科・研究代表者)、山路稔 (群馬大学・理工学府・研究分担者) および久保園芳博 (岡山大学・異分野基礎科学研究所・研究協力者) からなる研究グループを組織した。研究活動の分担はフェナセン有機半導体分子の設計、合成および研究総括を岡本が担当し、新規フェナセン類の電子物性の調査を山路が行った。有機 FET デバイスの作製と動作特性評価を久保園が実行した。フェナセン骨格の合成は、Mallory による光環化法 (図 2)^[10] を適用して行った。

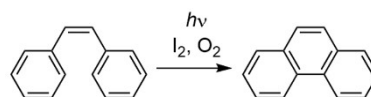


図 2. Mallory 光反応によるフェナセン骨格の構築。

4. 研究成果

(1) フェナセン類を活性層とする FET デバイスの動作特性評価.

フェナセン類の FET デバイス特性を正確に評価し、高性能 FET デバイス構築の指針を得るために、種々のフェナセンを用いる薄膜および単結晶 FET 動作特性を、effective mobility, μ_{eff} ^[11] を見積もって評価した.^[12] 従来の移動度の見積り方法では μ 値が過大評価される可能性が問題となっていた. 種々のフェナセン FET に対して μ_{eff} を評価した結果, [n]フェナセンのベンゼン環数 n が増加するに従って μ_{eff} が増大する傾向が確認された (図 3). これにより, フェナセン FET の移動度を向上させるためにはベンゼン環の数を増やすことが有効であるとの分子設計指針が得られた.

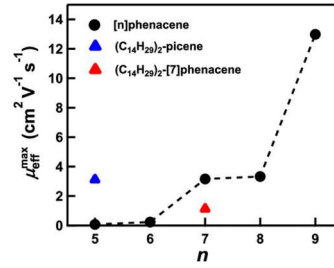


図 3. [n]フェナセンのベンゼン環数と μ_{eff} 値との相関 (引用文献 12 から引用).

(2) フェニル-アルキル置換[n]フェナセン (PhC_nPhen) の合成と FET 特性評価.

フェニル基とアルキル基で修飾された BTBT 誘導体を用いた FET デバイスが非常に高い電荷移動度を示すことが報告されていることから,^[4] フェナセン電子骨格を用いた類縁体を合成し, その FET 動作特性を評価した.^[13] [n]フェナセン骨格 (n = 4-6) を芳香族コアとして, デシル基およびテトラデシル基を導入した 8 種類の誘導体を, 図 4 に示す経路でホスホニウム塩から発散的に合成した. これらの化合物を活性層に用いて薄膜 FET デバイスを作製し, その動作特性を評価した. いずれの化合物も p 型の動作を示し, 観測された μ 値は $10^{-3} \sim 10^0 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の範囲であった. PhC10-PIC を活性層として ZrO₂ ゲートを用いたデバイスに対して最も高い μ 値 ($1.66 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) が観測された. 電荷移動度は, フェナセンコアの種類とアルキル基の長さの両方に依存し, これらの分子構造の違いが顕著に FET デバイス性能に影響することが明らかになった.

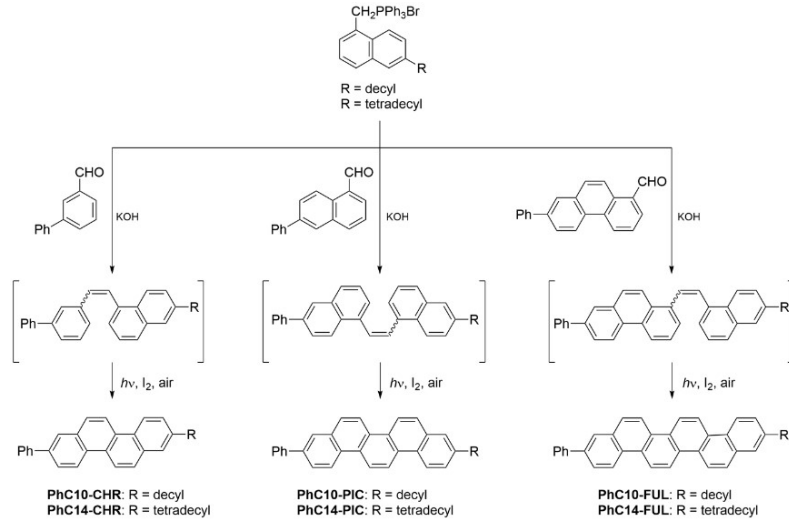


図 4. PhC_nPhen の合成.

(3) ジベンゾ [n]フェナセンの FET 特性評価

ジベンゾ [n]フェナセン (DBnP, n = 5-7) はフェナセンとアセン (アントラセン) のハイブリッド π 電子構造を持っている (図 5). これらの化合物を, Mallory 光反応をキーステップとして効率よく合成した.^[14] DBnP を活性層とする単結晶 FET デバイスはいずれも良好な p 型駆動性能を示し, μ_{eff} は, DB5P: $0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, DB6P: $1.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, DB7P: $0.9 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった. D_{2h} の対称性を持つ DB6P は, C_{2v} の分子構造を持つ DB5P, DB7P より高い移動度を示すことが確認された. 単結晶 X 線回折により詳細な分子構造と結晶構造を調べたところ, DBnP 分子はいずれも固体中で湾曲した分子構造を持つことが明らかとなった (図 5). この結晶構造から, 一連の DBnP 同族体の中で DB6P が最も密なパッキングを実現できる分子構造を持つと推測される. また, DBnP の単結晶 FET デバイスの詳細な動作特性評価から DB6P に対して最もトラップ密度が低い, FET デバイス作製に適した単結

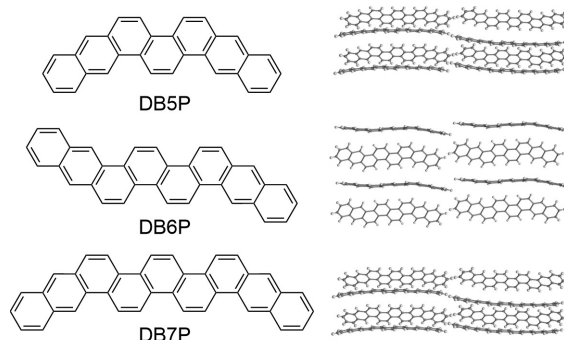


図 5. DBnP の分子構造と結晶構造.

晶が得られたことが明らかとなった。以上の結果は、高性能 FET 材料の設計指針として、効果的に密なパッキングを実現する分子の構築が有効であることを示唆しており、今後の FET 材料設計の指針となる。^[15]

(4) イミド官能基を持つ[n]フェナセンの電子特性と FET 特性評価

n 型で作動する有機半導体材料が、p 型材料と相補的に作動する電子デバイス構築のために望まれている。n 型で作動するためにはラジカルアニオンの状態で安定に存在できる材料の設計が必要である。分子両端にフェナセンにイミド基を導入した C_n PDI ($n = 4, 8, 12$) および nPDI ($n = 3, 5, 7$) を合成し、その電子物性、FET 特性を検討した (図 6)。^[16] C_n PDI を活性層とする FET デバイスは n 型で作動することを明らかにした。オクチル基を持つ C_8 PDI は良好なデバイス特性を示し、最も高い電子移動度 $\mu_e = 0.2 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ が観測された。この結果はフェナセン骨格に基づく n 型 FET 材料の最初の例である。イミド部位の位置が異なる 7PDI は n 型 FET 材料として動作しないことが明らかとなった。その一方で、nPDI は蛍光スペクトルの顕著な溶媒応答性を持つことが見いだされ、フェナセンを用いる初めての蛍光溶バトクロミズム色素として利用できることを明らかにした。^[17] nPDI の蛍光の溶媒応答性は、フェナセンの π 系が電子ドナーとして働き、イミド部位が電子アクセプターとなる A-D π -A 型の分子内電荷移動特性に起因すると考えられる。

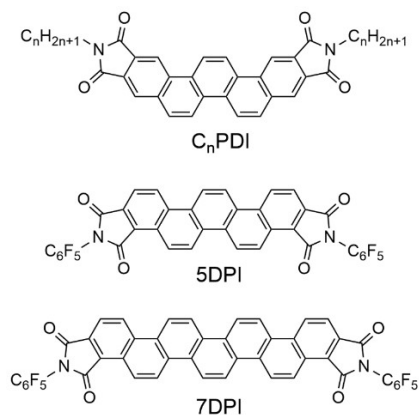


図 6. C_n PDI および nPDI の分子構造。

<引用文献>

- [1] Y. Luo et. al, Technology roadmap for flexible sensors, *ACS Nano*, **17**, 5211-5295 (2023).
- [2] X. Zhang, H. Dong, W. Hu, Organic semiconductor single crystals for electronics and photonics, *Adv. Mater.*, **30**, 1801048 (2018)
- [3] K. Takimiya, I. Osaka, T. Mori, M. Nakano, Organic semiconductors based on [1]benzothieno[3,2-b][1]benzothiophene substructure, *Acc. Chem. Res.*, **47**, 1493-1502 (2014).
- [4] H. Iino, T. Usui, J. Hanna, Liquid crystals for organic thin-film transistors, *Nat. Commun.*, **6**, 6828 (2015).
- [5] T. Hasegawa, J. Takeya, Organic field-effect transistors using single crystals, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **10**, 024314 (2009).
- [6] J. E. Anthony, The larger acenes: Versatile organic semiconductors, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 452-483 (2008)
- [7] J. Liu¹, H. Zhang, H. Dong¹, L. Meng, L. Jiang, L. Jiang, Y. Wang, J. Yu, Y. Sun, W. Hu, A. J. Heeger, High mobility emissive organic semiconductor, *Nat. Commun.*, **6**, 10032 (2015).
- [8] Y. Kubozono, S. Hamao, T. Mikami, Y. Shimo, Y. Hayashi, and H. Okamoto, 'Transistor Application and Intercalation Chemistry of π -Conjugated Hydrocarbon Molecules', in "Physics and Chemistry of Carbon-Based Materials", Y. Kubozono Ed., Springer-Verlag, Heidelberg (2019).
- [9] Y. Shimo, T. Mikami, S. Hamao, H. Goto, H. Okamoto, R. Eguchi, S. Gohda, Y. Hayashi, and Y. Kubozono, Synthesis and transistor application of the extremely extended phenacene molecule, [9]phenacene, *Sci. Rep.*, **6**, 21008 (2016).
- [10] F. B. Mallory, C. W. Mallory, Photocyclization of Stilbenes and Related Molecules, *Org. React.*, **30**, 1-456 (1984).
- [11] H. H. Choi, K. Cho, C. D. Frisbie, H. Sirringhaus, V. Podzorov, Critical assessment of charge mobility extraction in FETs, *Nat. Mater.*, **17**, 2-7 (2018).
- [12] Y. Zhang, R. Eguchi, S. Hamao, H. Okamoto, H. Goto, Y. Kubozono, Evaluation of effective field-effect mobility in thin-film and single-crystal transistors for revisiting various phenacene-type molecules, *ACS Omega*, **7**, 5495-5501 (2022).
- [13] Y. Zhang, R. Eguchi, H. Okamoto, K. Goto, F. Tani, M. Yamaji, H. Goto, Y. Kubozono, Fabrication and characterization of thin-film field-effect transistors with alkyl-

- phenyl[n]phenacenes (n = 4 - 6), *J. Mater. Chem. C*, **10**, 16309-16320 (2022).
- [14] Y. Zhang, R. Eguchi, S. Hamao, K. Goto, F. Tani, M. Yamaji, Y. Kubozono, H. Okamoto, Photochemical synthesis and device application of acene-phenacene hybrid molecules, dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7), *Chem. Commun.*, **57**, 4768-4771 (2021).
- [15] Y. Zhang, S. Hamao, H. Goto, Y. Kubozono, H. Okamoto, K. Sugimoto, N. Yasuda, A. Fujiwara, R. Eguchi, Charge transport capabilities of dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7): Influence of trap states and molecular packing, *J. Phys. Chem. C*, **126**, 18849-18854 (2022).
- [16] Y. Guo, K. Yoshioka, S. Hamao, Y. Kubozono, F. Tani, K. Goto, and H. Okamoto, Facile synthesis of picones incorporating imide moieties at the both edges of the molecule and their application to n-channel field-effect transistors, *RSC Adv.*, **10**, 31547-31552 (2020).
- [17] K. Nose, K. Yoshioka, M. Yamaji, F. Tani, K. Goto, H. Okamoto, Solvent-dependent fluorescence behaviour of imide-fused [n]phenacenes (n = 3, 5, 7), *RSC Adv.*, **13**, 4096-4101 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Zhang Yanting, Eguchi Ritsuko, Okamoto Hideki, Goto Kenta, Tani Fumito, Yamaji Minoru, Goto Hidenori, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication and characterization of thin-film field-effect transistors with alkyl-phenyl[n]phenacenes (n = 4-6)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16309 ~ 16320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2tc03383f	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 Zhang Yanting, Hamao Shino, Goto Hidenori, Kubozono Yoshihiro, Okamoto Hideki, Sugimoto Kunihisa, Yasuda Nobuhiro, Fujiwara Akihiko, Eguchi Ritsuko	4. 巻 126
2. 論文標題 Charge Transport Capabilities of Dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7): Influence of Trap States and Molecular Packing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18849 ~ 18854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c04879	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 Yamaji Minoru, Okamoto Hideki	4. 巻 436
2. 論文標題 Star-burst polycyclic aromatic hydrocarbons prepared by multi-photocyclization and the photophysical features	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 114387 ~ 114387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2022.114387	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 Nose Keito, Yoshioka Kaito, Yamaji Minoru, Tani Fumito, Goto Kenta, Okamoto Hideki	4. 巻 13
2. 論文標題 Solvent-dependent fluorescence behaviour of imide-fused [n]phenacenes (n = 3, 5, 7)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 4096 ~ 4101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ra07771j	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 Yamaji Minoru, Okamoto Hideki, Goto Kenta, Tani Fumito	4. 巻 421
2. 論文標題 Solid-state photoluminescence of biaryls: Relationship between photophysical feature and crystal structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 113518 ~ 113518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2021.113518	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 Zhang Yanting, Eguchi Ritsuko, Hamao Shino, Okamoto Hideki, Goto Hidenori, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of Effective Field-Effect Mobility in Thin-Film and Single-Crystal Transistors for Revisiting Various Phenacene-Type Molecules	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 5495 ~ 5501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c06932	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 Guo Yuxin, Yoshioka Kaito, Hamao Shino, Kubozono Yoshihiro, Tani Fumito, Goto Kenta, Okamoto Hideki	4. 巻 10
2. 論文標題 Facile synthesis of picones incorporating imide moieties at both edges of the molecule and their application to n-channel field-effect transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 31547 ~ 31552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra06629j	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 Fioravanti Niko, Pierantoni Luca, Mencarelli Davide, Turchetti Claudio, Hamao Shino, Okamoto Hideki, Goto Hidenori, Eguchi Ritsuko, Fujiwara Akihiko, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Fabrication of ring oscillators using organic molecules of phenacene and perylenedicarboximide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 7538 ~ 7551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra00511a	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 Yanting Zhang, Ritsuko Eguchi, Shino Hamao, Kenta Goto, Fumito Tani, Minoru Yamaji, Yoshihiro Kubozono, and Hideki Okamoto	4. 巻 57
2. 論文標題 Photochemical synthesis and device application of acene-phenacene hybrid molecules, dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4768 ~ 4771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 野勢勁斗, 吉岡海渡, 山路 稔, 五島健太, 谷 文都, 岡本秀毅
2. 発表標題 分子長軸両端にイミド官能基を持つ [n] フェナセン誘導体 (n=3, 5, 7) の合成および蛍光特性
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 西村賢宣, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 環状及び非環状スルホンアミド構造を持つフタルイミド類の ES IPT 蛍光特性
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minoru Yamaji, Hideki Okamoto, Kengo Ssuzuki, Kengo, Toshiki Mutai, Isao Yoshikawa, Hirohiko Houjou
2. 発表標題 Relationship between fluorescence in the solid state and the crystal structures of diphenyl naphthalenes
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical Synthesis of Phenacenes and Their Application to Organic Electronics
3. 学会等名 International Conference on Organic and Applied Chemistry 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 西村賢宣, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 スルホンアミドをプロトンドナーとする ESIPT 蛍光色素の発光挙動
3. 学会等名 2022年日本化学会中国四国支部大会広島大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多月あおい, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 ベンゼンスルホンアミドをプロトンドナーとするフタルイミドのESIPT 蛍光挙動
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野勢勤斗, 吉岡海渡, 山路 稔, 五島健太, 谷 文都, 岡本秀毅
2. 発表標題 イミド置換基で修飾したフェナセン誘導体の合成および蛍光特性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉岡海渡, 山路 稔, 五島健太, 谷 文都, 岡本秀毅
2. 発表標題 分子長軸の両端にイミド基を持つフェナセン誘導体の蛍光の溶媒応答
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 スルホンアミドをプロトドナーとするフタルイミド類のESIPT蛍光特性
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山路 稔, 岡本秀毅, 五島健太, 谷 文都
2. 発表標題 ピアリル分子の固体発光と結晶構造の関連性について
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideki Okamoto
2. 発表標題 Fluorescence manipulation of amino- and amido-substituted phthalimides and naphthalimides based on ICT and ESIPT features
3. 学会等名 Symposium on Organic and Applied Chemistry 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 西村賢宣, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 環状及び非環状のスルホンアミドをプロトンドナーとするフタルイミド類のESIPT 蛍光特性
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 野勢勁斗, 吉岡海渡, 山路 稔, 五島健太, 谷 文都, 岡本秀毅
2. 発表標題 イミド官能基を持つフェナセン誘導体の合成および蛍光特性
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 Y. Zhang, R. Eguchi, S. Hamao, K. Goto, F. Tani, M. Yamaji, Y. Kubozono, and H. Okamoto
2. 発表標題 Organic field-effect transistors based on newly synthesized dibenzo[n]phenacenes (n = 5 - 7)
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡海渡, 岡本秀毅
2. 発表標題 分子長軸の両端にイミド部位を持つ 拡張フェナセン誘導体の合成研究
3. 学会等名 2020日本化学会中国四国支部大会島根大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuxin Guo, Kaito Yoshioka, Shino Hamao, Yoshihiro Kubozono, Fumito Tani, Kenta Goto, Hideki Okamoto
2. 発表標題 Photochemical Synthesis of Picones Incorporating Imide Moieties at the both Edges of the Molecule and their Application to n-Channel Field-Effect Transistors
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小笹景子, 浜尾志乃, 久保園芳博, 谷 文都, 五島健太, 岡本秀毅
2. 発表標題 長鎖アルキル基を有する 拡張フェナセンの合成: 高性能FET材料の開拓
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中塚智子, 岡本秀毅
2. 発表標題 両端にドナーおよびアクセプター置換基を有する[7]ヘリセン誘導体の合成および電子スペクトル
3. 学会等名 2020年Web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山路 稔, 岡本秀毅, 加藤真一郎
2. 発表標題 マルチクロモファー化による芳香族分子の発光特性への影響
3. 学会等名 2020年Web光化学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本化学会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 216
3. 書名 有機光反応の化学（執筆担当部分：12章シクロファン類の光反応）	

〔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	山路 稔 (Yamaji Minoru) (20220361)	群馬大学・大学院理工学府・准教授 (12301)	

	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
研究協力者	久保園 芳博 (Kubozono Yoshihiro) (80221935)		

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
---------	---------