

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02746

研究課題名(和文) アロステリズムによってシグナル増幅可能な化学センサーの創製

研究課題名(英文) Signal-amplification Chemosensors through Allostereism

研究代表者

福原 学 (Fukuhara, Gaku)

東京工業大学・理学院・准教授

研究者番号：30505996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、進展著しい新現象であるシグナル増幅センシング(SASS)機構を出発点に、従来のLock-and-key戦略(エンタルピー化学)を超えて、極微小なシグナル出力を能動的かつ積極的、そして「如何にしてアロステリズムによってシグナルを増幅して計測することができるのか？」というこれまでの分析化学への提起とともに、従来の計測科学の限界を極限まで追求した。この結果、(1)ホモトロピックあるいはヘテロトロピックなアロステリズムが働く化学センサーの構築、(2)II型糖尿病の薬理活性のあるオリゴ糖を高感度で検出できる多糖センサーの開発、(3)本申請内容の総説、を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの化学センサーの分野では、優れた系が報告されてきてはいるものの、いずれの場合も検体に対してレセプターの形やサイズが適合するLock-and-key戦略が一般的であり、もし設計・合成後にそれらが適合しなければ低感度あるいは低選択性といった問題点を抱えていたのが現状である。しかし研究代表者の提唱する手法は、アロステリズムによってセンサー部位が検体にあわせるため、従来法に付きまとっていた補償エントロピー損失という本質的な問題点を考慮しなくて良く、シグナルを増幅させて計測すれば良いというパラダイムが起きつつあると言ってもよい。

研究成果の概要(英文)：To develop chemosensors that operate signal-amplification behavior, the applicant achieved the following results: (1) the creation of homo- and heterotropic allostereism-operated chemosensors, (2) oligosaccharide sensing using polymer chemosensors in aqueous media, and (3) reviews of SASS.

研究分野：分析化学

キーワード：化学センサー アロステリズム ポリチオフェン カードラン

## 1. 研究開始当初の背景

超分子センシングは、弱い相互作用が協同的に働く生体内において精密に設計されているタンパク質や酵素(センサー分子)が特定の糖や抗原など(検体分子)を精緻に識別していることを模倣・補完・代替する人工的手法として注目を浴び、急速に発展しつつある新領域である。現在、医薬系・農薬・香料・環境・国防問題など幅広い分野において、特定の検体を高感度かつ選択的に検知できる化学センサーの開発は、基礎学問にとどまらず応用面においても化学・生体系ナノテクノロジーとも密接に関連し社会に対する波及効果は高く、現代化学の最重要テーマの一つである(Anslyn, E. V. eds. Chemosensors, Wiley, New Jersey, 2011)。これまでに超分子的アプローチによる化学センサーが数多く報告されてきているが、これらは Lock-and-key principle (鍵と鍵穴モデル)戦略に基づき、検体認識サイトの立体的あるいは電子的変化に基づくスペクトル変化を読み取るものが主流である。研究代表者はこのような背景の基、生体内認識過程で精緻に活用されているアロステリック効果に想を得て、レセプターから柔軟な高分子主鎖(リポーター)へとアロステリックに伝播した情報を増幅して読み取る「Supramolecular Allosteric Signal-amplification Sensing (SASS; 超分子アロステリックシグナル増幅センシング)」手法を提案した(例えば: Polym. J. 2015)。この概念は、(i)精密に設計された超分子空間での検体の包接に伴う認識部位自身の動的構造変化により、(ii)アロステリズム機構によってシグナル増幅高分子への認識情報の伝播を誘起し、(iii)そこから増幅されたシグナルを得るという一連のプロセスを確立した。本提案では、この進展著しい分野において、申請者が提唱している「Supramolecular Allosteric Signal-amplification Sensing (SASS; 超分子アロステリックシグナル増幅センシング)」という新規な分析手法を確固たる学術基盤とすることを目的としている。

## 2. 研究の目的

実際に代表者が見出した SASS の系は、シグナル増幅リポーターとして機能したポリチオフェン(PT)にキラルなピナフトクラウンエーテル側鎖を架橋した BPT とシクロデキストリン(CD)を側鎖に連結した CDPT である。これらは SASS 機構による 40 倍ものシグナル増幅が可能であり、アミノ酸やペプチドから生体関連物質の $\mu\text{M}$  オーダーでの計測に成功している。さらに、現代化学の大きな挑戦課題の一つである水溶液中での糖分析において、カードラン(Cur)をセンサーとし、これにシグナル出力リポーターを導入した DABz-, Por-Cur がアカルボース(II 型糖尿病治療薬)を水溶液中で計測できることを見出した。この新手法からさらに一歩進んで、センサーとして天然 Cur、この構造変化を鋭敏に読み取るシグナル増幅リポーターとして水溶性 PT (PyPT)を用いる *in situ* 複合センサーの構築に成功した。これは、既存の糖センサーの数万倍の感度を示し SASS 機構により $\mu\text{M}$  での検出を可能にした。さらに、この複合センサーの異種三重螺旋形性機構を明らかにするとともに、新規なセンサー性能を発揮すると考えられる異種二重螺旋への構造制御も可能である。従って、本研究課題の核心をなす学術的目的としては、この進展著しい新現象である SASS 機構を出発点に、後述する多くの系において、従来の Lock-and-key 戦略(エンタルピー化学)を超えて、極微小なシグナル出力を能動的かつ積極的、そして「如何にしてアロステリズムによってシグナルを増幅して計測することができるのか?」というこれまでの分析化学への提起とともに、従来の計測科学の限界を極限まで追求することである。

### 3. 研究の方法

研究方法の具体例として、PT 基盤アミノ酸・ペプチドセンサー、蛍光増幅 Cur センサーを設計した。PT 系では、アミノ酸・ペプチドが包接された際に、その情報がピチオフェン (BT) モノマーユニットに伝わり、この BT の構造変化が続くチオフェン主鎖へと連動することで、次の検体バインドの際にアロステリズムが発現するという機構である。Cur 系では、血中でのアルカボース検体の超高感度蛍光増幅検出のため、aggregation-induced emission (AIE: 凝集誘起発光) を示すテトラフェニルエチレン (TPE) を修飾した Cur を設計した。現在、オリゴ糖が三重螺旋に組み込まれた際に、アロステリズムにより Cur 主鎖が伸縮することが明らかとなっており、これに伴い修飾リポーターの距離が近づけば蛍光増幅 Turn-on センシングが可能であると考えられ、アロステリック蛍光増幅センシングへの展開が可能である。つまり本 Cur 系は、この「高分子-分子超分子錯体による複雑凝集系」における柔らかな高分子主鎖 (Cur) からリポーター (TPE) への増幅された光学出力を読み取る新たなアロステリック計測を提唱するものである。

### 4. 研究成果

実際に、この基盤研究で得られた主要な原著論文成果を以下に示す：

- ・シグナル増幅ポリマーとその機構解明 (*J. Org. Chem.* 2020, 85, 13239-13245; *RSC Adv.* 2021, 11, 30472-30478; *ACS Appl. Polym. Mater.* in press.)
- ・ヘテロトロピックアロステリック化学センサー (*Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2022, 95, 1183-1189.)
- ・Cur 多糖センサー (*Polym. J.* 2019, 51, 1063-1071; *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 2022, 426, 113736; *ACS Appl. Polym. Mater.* 2023, 5, 2254-2263.)
- ・SASS の総説 (*J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* 2019, 93, 127-143; *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* 2020, 42, 100340; *Polym. J.* 2021, 53, 1325-1334.)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kinoshita, T.; Imai, Y.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 125
2. 論文標題 Hydrostatic Pressure-Controllable Chiroptical Properties of Chiral Perylene Bisimide Dyes: A Chiral Aggregation Case	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem.	6. 最初と最後の頁 5952-5958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c02112	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 Matoba, S.; Kanzaki, C.; Yamashita, K.; Kusakawa, T.; Fukuhara, G.; Okada, T.; Narushima, T.; Okamoto, H.; Numata, M.*	4. 巻 143
2. 論文標題 Directional Supramolecular Polymerization in a Dynamic Microsolution: A Linearly Moving Polymer's End Striking Monomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 8731-8746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c02644	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 Fukuhara, G.*	4. 巻 53
2. 論文標題 Smart polymer chemosensors: Signal-amplification systems with allostereism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polym. J.	6. 最初と最後の頁 1325-1334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00547-2	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 Tsuchiya, T.; Mizuno, H.; Fukuhara, G.*	4. 巻 11
2. 論文標題 The factors that govern the allosteric chemical sensing of polythiophene chemosensors: scope and limitation toward signal-amplification sensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 30472-30478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra05795b	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 Nakasha, K.; Fukuhara, G.*	4. 巻 426
2. 論文標題 Dynamic hybridization of fluorescence polymers upon complexation of glucan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A: Chem.	6. 最初と最後の頁 113736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2021.113736	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 Kinoshita, T.; Fujise, K.; Tsurumaki, E.; Toyota, S.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 58
2. 論文標題 A pressure-induced ratiometric signalling chemosensor: a case of helical anthracenes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 3290-3293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2cc00428c	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 中舎琴恵, 福原学	4. 巻 70
2. 論文標題 発光性高分子センサーで圧力を可視化する	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 426-427
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 -

1. 著者名 木下智和, 福原学	4. 巻 31
2. 論文標題 静水圧分光分析の新潮流: 分子から生体細胞の制御に向けて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 高圧力の科学と技術	6. 最初と最後の頁 74-81
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 -

1. 著者名 水野裕彬, 福原学	4. 巻 42
2. 論文標題 静水圧で駆動する超分子モジュール	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 超分子研究会アニュアルレビュー	6. 最初と最後の頁 10-11
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 無
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 Muto, T.; Harada, M.; Fukuhara, G.; Okada, T.*	4. 巻 124
2. 論文標題 Ice Confinement-Induced Solubilization and Aggregation of Cyanonaphthol Revealed by Fluorescence Spectroscopy and Lifetime Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 3734-3742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c01451	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 Mizuno, H.; Kitamatsu, M.; Imai, Y.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 4
2. 論文標題 Smart Fluorescence Materials that Are Controllable by Hydrostatic Pressure: Peptide-Pyrene Conjugates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 502-507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.202000036	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 Nakasha, K.; Fukuhara, G.*	4. 巻 2
2. 論文標題 Aggregation-Induced Emission-Based Polymer Materials: Ratiometric Fluorescence Responses Controlled by Hydrostatic Pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Polym. Mater.	6. 最初と最後の頁 2303-2310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00272	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 Fujise, K.; Tsurumaki, E.; Fukuhara, G.; Hara, N.; Imai, Y.; Toyota, S.*	4. 巻 15
2. 論文標題 Multiple Fused Anthracenes as Helical Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Motif for Chiroptical Performance Enhancement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 2456-2461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202000394	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 Miyagawa, A.*; Kinoshita, T.; Zheng, Y.; Harada, M.; Fukuhara, G.*; Okada, T.*	4. 巻 124
2. 論文標題 Multiphase Behavior of Tetraphenylethylene Derivatives with Different Polarities at High Pressures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 7263-7271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c05912	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 Tsuchiya, T.; Fukuhara, G.*	4. 巻 85
2. 論文標題 Allosteric Signal Amplification Sensing Using a Bisthiourea-Binaphthyl-Polythiophene Conjugate: A Positive Homotropic Allosterism Case	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 13239-13245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c01326	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 Miyagawa, A.; Yoneda, H.; Mizuno, H.; Numata, M.; Okada, T.; Fukuhara, G.*	4. 巻 5
2. 論文標題 Hydrostatic-Pressure-Controlled Molecular Recognition: A Steroid Sensing Case Using Modified Cyclodextrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 118-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.202000204	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 Fukuchi, M.; Oyama, K.*; Mizuno, H. Miyagawa, A.; Koumoto, K.; Fukuhara, G.*	4. 巻 37
2. 論文標題 Hydrostatic Pressure-Regulated Cellular Calcium Responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 820-826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c03141	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 Kanzaki, C.; Inagawa, A.; Fukuhara, G.; Okada, T.; Numata, M.*	4. 巻 2
2. 論文標題 Proton-Gradient-Driven Self-Assembly of Porphyrin and In Situ Dynamic Analysis in a Microflow Platform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemSystemsChem	6. 最初と最後の頁 e2000006 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/syst.202000006	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 Yao, J.; Mizuno, H.; Xiao, C.; Wu, W.; Inoue, Y.*; Yang, C.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 12
2. 論文標題 Pressure-driven, solvation-directed planar chirality switching of cyclophano-pillar[5]arenes (molecular universal joints)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 4361-4366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0sc06988d	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 Miyagawa, A.*; Fukuhara, G.; Okada, T.*	4. 巻 328
2. 論文標題 Acid dissociation under hydrostatic pressure: Structural implications for volumetric parameters.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mol. Liq.	6. 最初と最後の頁 115512 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molliq.2021.115512	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 Kajiyama, K.; Tsurumaki, E.; Wakamatsu, K.; Fukuhara, G.; Toyota, S.*	4. 巻 in press
2. 論文標題 Complexation of an Anthracene-Triptycene Nanocage Host with Fullerene Guests through CH-Contacts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202000816	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 Kanzaki, C.; Matoba, S.; Inagawa, A.; Fukuhara, G.; Okada, T.; Narushima, T.; Okamoto, H.; Numata, M.*	4. 巻 94
2. 論文標題 Linear Momentum of a Microfluid Realizes an Anisotropic Reaction at the Ends of a Supramolecular Nanofiber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 579-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200279	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 Kinoshita, T.; Haketa, Y.; Maeda, H.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 in press
2. 論文標題 Ground- and excited-state dynamic control of an anion receptor by hydrostatic pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1sc00664a	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 水野裕彬, 福原学	4. 巻 69
2. 論文標題 高圧分光分析法: 機能性分子・超分子への適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 607-617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunseki.kagaku.69.607	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 中舎琴恵, 福原学	4. 巻 70
2. 論文標題 グナル増幅センシング: アロステリズム機構が働く化学センサーの構築	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 93-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.70.93	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 Yonezawa, S.; Sethy, R.; Fukuhara, G.; Kawai, T.*; Nakashima, T.*	4. 巻 55
2. 論文標題 Pressure-dependent guest binding and release on a supramolecular polymer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 5793-5796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc02696g	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 Ji, J.; Wu, W.; Liang, W.; Cheng, G.; Matsushita, R.; Yan, Z.; Wei, X.; Rao, M.; Yuan, D.-Q.*; Fukuhara, G.; Mori, T.; Inoue, Y.*; Yang, C.*	4. 巻 141
2. 論文標題 An Ultimate Stereocontrol in Supramolecular Photocycloheximerization: Photocyclodimerization of 2-Anthracenecarboxylate Mediated by Sulfur-Linked beta-Cyclodextrin Dimers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 9225-9238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b01993	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 Tamano, K.; Nakasha, K.; Iwamoto, M.; Numata, M.; Suzuki, T.; Uyama, H.*; Fukuhara, G.*	4. 巻 51
2. 論文標題 Chiroptical properties of reporter-modified or reporter-complexed highly 1,6-glucose-branched beta-1,3-glucan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polym. J.	6. 最初と最後の頁 1063-1071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-019-0222-3	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 Nakanishi, K.; Ohtsu, H.*; Fukuhara, G.*; Kawano, M.*	4. 巻 25
2. 論文標題 Do Anionic pi Molecules Aggregate in Solution ? A Case Study with Multi-interactive Ligands and Network Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 15182-15188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201903764	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 Miyagawa, A.; Eng, J.*; Okada, T.; Inoue, Y.; Penfold, T.; Fukuhara, G.*	4. 巻 5
2. 論文標題 Hydrostatic Pressure-Induced Spectral Variation of Reichardt's Dye: A Polarity/Pressure Dual Indicator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 897-903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b03880	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 Fukuhara, G.*	4. 巻 42
2. 論文標題 Analytical supramolecular chemistry: colorimetric and fluorimetric chemosensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.	6. 最初と最後の頁 100340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochemrev.2020.100340	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 Iijima, K.; Harada, M.; Fukuhara, G.*; Okada, T.*	4. 巻 85
2. 論文標題 Frozen Solution-Mediated Asymmetric Synthesis: Control of Enantiomeric Excess	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 4525-4529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b03415	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 Miyagawa, A.; Harada, M.; Fukuhara, G.; Okada, T.*	4. 巻 124
2. 論文標題 Space Size Dependent Transformation of Tetraphenylethylene Carboxylate Aggregates by Ice-Confinement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem.	6. 最初と最後の頁 2209-2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11345	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69件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 西 玲哉・福原 学
2. 発表標題 シクロデキストリン修飾ポリフルオレンを化学センサーとして用いるペプチドセンシング
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下 智和・羽毛田 洋平・前田 大光・福原 学
2. 発表標題 静水圧で動的制御可能な蛍光フォルダマーによるアニオンセンシング
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中舎 琴恵・福原 学
2. 発表標題 グルカンと蛍光性高分子から構成される複合錯体の光学特性
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiabin Yao · 水野 裕彬 · Chao Xiao · Wanhua Wu · 井上 佳久 · Cheng Yang · 福原 学
2. 発表標題 面不斉ピラーアレーンの静水圧印加によるキラリティー反転
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下 智和 · 羽毛田 洋平 · 前田 大光 · 福原 学
2. 発表標題 アニオン認識超分子センサーの静水圧による動的制御
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 の場 聖太 · 楠川 隆博 · 福原 学 · 岡田 哲男 · 成島 哲也 · 岡本 裕巳 · 沼田 宗典
2. 発表標題 マイクロ流体エネルギーを用いた分子間相互作用の誘発と異方的超分子重合
3. 学会等名 第18回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中舎 琴恵 · 福原 学
2. 発表標題 静水圧に応答する蛍光性高分子の開発
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下 智和 ・ 福原 学
2. 発表標題 静水圧で制御可能な感圧応答化学センサーの構築
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西 玲哉 ・ 福原 学
2. 発表標題 シクロデキストリン修飾ポリフルオレンによるペプチドセンシングとその機構解明
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 学
2. 発表標題 高度に機能化された化学センサーを用いる増幅計測 ～分子、超分子、高分子から細胞に至る広範囲な系の制御に向けて～
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会（2022）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○本間 天音、福原 学
2. 発表標題 動的らせんオリゴマーによるキラリティー増幅センシングとその機構解明
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会（2022）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○本告 潤之介、福原 学
2. 発表標題 酸化還元によってキラリティー反転が可能な動的高分子の合成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若子 綜思、中川 桂一、福原 学
2. 発表標題 ビレン修飾ポリリシンの静水圧効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下 智和、中村 俊太、羽曾部 卓、福原 学
2. 発表標題 ペンタセンダイマーの分子内一重項分裂における静水圧効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○水野 裕彬、中澤 廣宣、宮川 晃尚、焼山 佑美、櫻井 英博、福原 学
2. 発表標題 スマノン化学センサーの光学特性ならびに分子認識挙動
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○武藤 智也 ・ 原田 誠 ・ 福原 学 ・ 岡田 哲男
2. 発表標題 凍結水溶液中でのナフトール誘導体の蛍光特性
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮川 晃尚 ・ 木下 智和 ・ Yue Zheng ・ 原田 誠 ・ 福原 学 ・ 岡田 哲男
2. 発表標題 高压下におけるテトラフェニルエチレンの分配挙動の評価
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋 智誠 ・ 福原 学
2. 発表標題 チオウレア基を有するポリチオフェン化学センサーによる分子センシング
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 裕彬 ・ 中澤 廣宣 ・ 宮川 晃尚 ・ 原田 誠 ・ 岡田 哲男 ・ 植竹 裕太 ・ 焼山 佑美 ・ 櫻井 英博 ・ 福原 学
2. 発表標題 スマネンのスタックに基づく分子センシング
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋 智誠・ 福原 学
2. 発表標題 チオウレア修飾ポリチオフェンを化学センサーとする分子センシング
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 裕彬・中澤 廣宣・宮川 晃尚・原田 誠・岡田 哲男・植竹 裕太・焼山 佑美・櫻井 英博・福原 学
2. 発表標題 スマネンの超分子ポリマー形成に基づく分子センシング
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ○水野裕彬, 宮川晃尚, 焼山佑美, 櫻井英博, 福原学
2. 発表標題 スマネンセンサー: 合成ならびにスマネンの超分子ポリマー形成
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 良尊 由麻、北原 由羽、田中 大輔、福原 学
2. 発表標題 ドナー・アクセプター対修飾カーボランを用いたFRETによる水溶液中でのオリゴ糖センシング
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福地 みなみ ・ 福原 学
2. 発表標題 コラーゲン類縁体ペプチドを用いた化学センサーの合成および分光特性
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 裕彬 ・ 宮川 晃尚 ・ 焼山 佑美 ・ 櫻井 英博 ・ 福原 学
2. 発表標題 スマネン化学センサーを用いる分子認識ならびにスタック挙動の解明
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 渉 ・ 福原 学
2. 発表標題 認識部位が独立して働く化学センサーの構築
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原 学
2. 発表標題 シグナル増幅が可能な機能性化学センサー
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武藤 智也・原田 誠・福原 学・岡田 哲男
2. 発表標題 水に制限された溶液におけるナフトール誘導体の蛍光特性変化
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原 学
2. 発表標題 高感度高分子センサーの開発に関する研究
3. 学会等名 第69回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 祐貴・山角 拓也・木下 智和・福原 学・齋藤 尚平
2. 発表標題 三角形ベルト型分子の結晶構造と溶液中の圧力応答
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場 浩希・水野 裕彬・福原 学・後藤 敬・河合 英敏・小野 公輔
2. 発表標題 内部に OH基を有するオリゴフェニレンケージの分光特性
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会（2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下 智和・羽毛田 洋平・前田 大光・福原 学
2. 発表標題 静水圧によるアニオン認識蛍光フォルダマーの動的制御
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西 玲哉・福原 学
2. 発表標題 シクロデキストリン修飾ポリフルオレンのキロプティカル特性評価および分子認識
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神崎 千沙子・稲川 有徳・福原 学・岡田 哲男・成島 哲也・岡本 裕巳・沼田 宗典
2. 発表標題 マイクロ流体の力学的エネルギーを利用した異方的な超分子成長とそのメカニズムの解明
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤 北斗・DEY Nilanjan・木下 智和・福原 学・齊藤 尚平
2. 発表標題 水溶性の羽ばたく蛍光粘度プローブの開発と圧力応答
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅 亮介・佐藤 優衣・水野 裕彬・森 寛敏・福原 学
2. 発表標題 柔軟なトリペプチドが作り出す金属中心における圧力応答性
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若子 緑思・中舎 琴恵・中川 桂一・福原 学
2. 発表標題 フルオレセイン修飾ポリリシンの静水圧効果
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間 天音・福原 学
2. 発表標題 動的二重らせんオリゴマーを用いた増幅キラリティーセンシングとその機構解明
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武藤 智也・原田 誠・福原 学・岡田 哲男
2. 発表標題 凍結水溶液中での光励起状態におけるプロトン移動
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋 智誠 ・ 原田 誠 ・ 岡田 哲男 ・ 福原 学
2. 発表標題 チオウレア基を有するピチオフェン化学センサーによるアニオンセンシング
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木麻友子・良尊由麻・沼田宗典・福原学
2. 発表標題 ポルフィリン修飾カードランをホストとする水溶液中でのオリゴ糖センシング：アロステリック増幅センシング
3. 学会等名 第17回ホスト ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神崎千沙子・稲川有徳・福原学・岡田哲男・沼田宗典
2. 発表標題 定常的なエネルギー供給により実現する高活性超分子の創製とその速度論的安定化
3. 学会等名 第17回ホスト ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gaku Fukuhara
2. 発表標題 Supramolecular Oligosaccharide Sensing in Aqueous Media Using Curdlan Hosts
3. 学会等名 14th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry (ISMSC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木麻友子・良尊由麻・沼田宗典・福原学
2. 発表標題 ポルフィリン修飾カードランを用いる水溶液中でのオリゴ糖センシングにおよぼすアロステリズム
3. 学会等名 第65回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chisako Kanzaki・Arinori Inagawa・Gaku Fukuhara・Tetsuo Okada・Munenori Numata
2. 発表標題 Controlled Self-assembly of Porphyrins in Microflow Space
3. 学会等名 27th International Society of Heterocyclic Chemistry Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 良尊 由麻・福原 学
2. 発表標題 異種発色団修飾カードランを用いたFRETによる水溶液中でのオリゴ糖センシング
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤 智也・原田 誠・福原 学・岡田 哲男
2. 発表標題 蛍光プローブを用いる凍結水溶液の物性評価
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川 晃尚 ・ 原田 誠 ・ 福原 学 ・ 岡田 哲男
2. 発表標題 凍結によるテトラフェニルエチレンの発光挙動
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川 晃尚 ・ 福原 学 ・ 岡田 哲男
2. 発表標題 高压溶媒抽出による分配係数の圧力変化の評価
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋 智誠 ・ 原田 誠 ・ 岡田 哲男 ・ 福原 学
2. 発表標題 チオウレア修飾ポリチオフェン化学センサーによるアニオンセンシング
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神崎千沙子 ・ 稲川有徳 ・ 福原学 ・ 岡田哲男 ・ 沼田宗典
2. 発表標題 定常的なエネルギー供給による高活性超分子の創製とその崩壊過程を利用した分子量制御
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤 智也・原田 誠・福原 学・岡田 哲男
2. 発表標題 蛍光プローブを用いる凍結水溶液の溶媒特性評価
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chisako Kanzaki・Arinori Inagawa・Gaku Fukuhara・Tetsuo Okada・Munenori Numata
2. 発表標題 Creation of discrete 1D micro-structures through directional dissociation from a metastable supramolecular polymer
3. 学会等名 The 18th Asian Chemical Congress (2019 ACC)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神崎 千沙子・稲川 有徳・福原 学・岡田 哲男・成島 哲也・岡本 裕巳・沼田 宗典
2. 発表標題 プロトン勾配を駆動力とした速度論的超分子会合とメカニズムの解明
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 的場 聖太・稲川 有徳・福原 学・岡田 哲男・成島 哲也・岡本 裕巳・沼田 宗典
2. 発表標題 マイクロ流体の力学的エネルギーを利用した分子間相互作用の誘発と超分子構造の制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中舎 琴恵・福原 学
2. 発表標題 グルカンと発光性高分子からなる複合錯体の動的制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶山 一輝・鶴巻 英治・福原 学・若松 寛・豊田 真司
2. 発表標題 ケージ型アントラセン大環状化合物とフラレン類との錯形成
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福地 みなみ・福原 学
2. 発表標題 発光性コラーゲン類縁体ペプチドセンサーの合成ならびにキロプティカル特性の検討
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木下 智和・羽毛田 洋平・前田 大光・福原 学
2. 発表標題 静水圧による蛍光フォルダマーの動的制御ならびにアニオンセンシング
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 渉・福原 学
2. 発表標題 ポルフィリンリポーターを有する化学センサーの合成ならびに分子センシング
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 良尊 由麻・福原 学
2. 発表標題 蛍光団修飾カードランを用いたFRETによる水溶液中でのオリゴ糖センシング
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 裕彬・北松 瑞生・今井 喜胤・福原 学
2. 発表標題 感圧応答性化学センサーの開発：静水圧によるペプチド-ピレン複合体の発光制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西 玲哉・福原 学
2. 発表標題 シクロデキストリン修飾ポリフルオレンの合成およびキロプティカル特性の検討
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyoshi Ohtsu, Keisuke Nakanishi, Nozomu Odagawa, Gaku Fukuhara, and Masaki Kawano
2. 発表標題 Versatile solution states of multi-interactive ligand lead to porous coordination networks
3. 学会等名 CEMSupra 2019, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Mizuno, Yuki Mimura, Yoshitane Imai, and Gaku Fukuhara
2. 発表標題 Hydrostatic Pressure-Regulated Fluorescence Responses of Peptide-Pyrene Conjugates
3. 学会等名 CEMSupra 2019, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minami Fukuchi, Kotaro Oyama, Hiroaki Mizuno, Akihisa Miyagawa, Kazuya Koumoto, and Gaku Fukuhara
2. 発表標題 Hydrostatic Pressure-Controlled Calcium Transport in HeLa Cell
3. 学会等名 CEMSupra 2019, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sho Suzuki, Makoto Harada, Tetsuo Okada, and Gaku Fukuhara
2. 発表標題 A Rational Construction of Signal-amplification Chemosensors Based on Heterotropic Allosterism
3. 学会等名 CEMSupra 2019, Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原 学
2. 発表標題 機能性化学センサーを用いるシグナル増幅センシング～分子、超分子、高分子から細胞に至る広範囲な系の制御に向けて～
3. 学会等名 日本化学会関東支部栃木地区講演会, 宇都宮大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原 学
2. 発表標題 化学センサーを用いるシグナル増幅センシング
3. 学会等名 新領域創成研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.chemistry.titech.ac.jp/~okada/">http://www.chemistry.titech.ac.jp/~okada/</a> 研究室HP <a href="http://www.chemistry.titech.ac.jp/~okada/index.html">http://www.chemistry.titech.ac.jp/~okada/index.html</a>
---

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