

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04997

研究課題名(和文) ラマン光学活性を利用したタンパク質反応サイトの立体構造変化の追跡

研究課題名(英文) Probing conformational changes in protein reaction sites via Raman optical activity

研究代表者

藤澤 知績 (Fujisawa, Tomotsumi)

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：60633493

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：生体内で起こる様々な化学反応を実現するのは酵素などのタンパク質である。タンパク質研究において、反応サイトで化学変化する分子の立体的な構造変化を捉えることは重要課題の一つであるが、その難易度は高い。本研究では分子の立体的構造に最も鋭敏とされるラマン光学活性(ROA)の利用によってタンパク質内の化学反応を追跡する新手法の開発を行った。本研究では微生物の光応答を担う光受容タンパク質を具体的な対象とした。種々の光受容タンパク質の反応中間体を低温下で捕捉してラマン測定を行い、量子化学計算を併用した構造解析を行った。低温ラマン装置を拡張して、反応中間体の立体構造を取得するための低温ROA装置を製作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実施した光受容タンパク質の低温ラマン測定は良質な分子のスペクトルを得られる方法でありながら、世界的にみても同様の手法を用いる研究グループがほとんど無い。そのため、独自性ある構造情報に基づいた研究成果を発信することができる。さらに、これを発展させた低温ラマン光学活性(ROA)分光法は、今日広く利用されるどの分光手法でも測定ができない、溶液中のタンパク質の反応サイトの立体構造変化を捉えられる方法となる。本研究はタンパク質研究において"今まで見えなかった構造を観測する"展開を開拓する取り組みである

研究成果の概要(英文)：It is proteins that perform diverse chemical reactions in living organisms. In proteins, the visualization of three-dimensional structures of reacting molecules is one of the most important challenge. This research aimed to build up a new method using Raman optical activity (ROA) spectroscopy, which is very sensitive to three-dimensional (3D) structure of molecules, to track the biochemical reactions. We chose the photoreceptors of micro-organisms, such as microbial rhodopsins and photoactive yellow proteins, for the target of our study and planned to measure ROA of their photointermediates trapped at low temperature. As the first step for this ROA measurement, we measured the low-temperature Raman spectra of the photointermediates of various photoreceptors and analyzed their structural changes in the photoreactions. Then, we extended our this Raman spectrometer to the low-temperature ROA spectrometer to obtain the three-dimensional structure information of photointermediates.

研究分野：物理化学

キーワード：ラマン光学活性 光受容タンパク質 低温分光

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

酵素などのタンパク質は内部に化学反応を実現するための活性部位といわれるサイトを持ち、このサイトは一般に単一の化学反応を高い効率で起こす。タンパク質はアミノ酸が立体的に連なった高分子であるから、その内部で起こる化学反応もまた立体的な構造変化・化学変化の連続である。その立体的な構造変化を正確に捉えることはタンパク質でおこる化学反応の真のメカニズムを知ることにつながる。しかし、立体構造の動的な観測はタンパク質研究における最難関の課題の一つであり、現在でもその状況は変わっていない。

通常、タンパク質の立体的構造を見るには、タンパク質の立体構造の全容が原子レベルで可視化できる X 線結晶構造解析が最も強力である。しかし、反応サイトの分子の立体構造を結晶構造から特定する場合、空間分解能が不足し不明確あるいは誤った構造が報告されることもしばしばである。結晶構造解析の他に、タンパク質中で反応する分子の構造を観測する方法として用いられる手法に(赤外・ラマンに代表される)振動分光法があるが、通常の振動分光法は分子の立体的構造情報を取り出すことが原理的にできないといった弱点がある。そこで、本研究は分子の立体構造を取得可能なラマン光学活性分光法をタンパク質の活性部位の研究に応用することを企画した。

### 2. 研究の目的

ラマン光学活性 (ROA: Raman optical activity) はラマン散乱光の右円偏光成分と左円偏光成分の微差を計測する方法であり、その微差をプロットした ROA スペクトルは分子の立体構造に極めて鋭敏であることが知られている。本研究は、微生物の光受容タンパク質を具体的な対象として、ROA 分光法を用いた活性部位の立体構造変化の観測を目的とした。光受容タンパク質は発色団と呼ばれる色素分子を内包したタンパク質群であり、発色団の光反応を通してイオンポンプや光感知などの様々な機能を発現する。光受容タンパク質の反応中間体のうち、特に光エネルギーを分子の立体的ゆがみとして蓄積すると考えられてきた初期中間体の計測に焦点を当てた。

### 3. 研究の方法

#### (研究対象)

光受容タンパク質の多くは発色団の種類によって分類される。本研究では、レチナール色素を内包した微生物型ロドプシンと、*p*-クマル酸色素を内包した光活性イエロータンパク質 (PYP)、およびテトラピロール色素を結合したシアノバクテリオクロム (CBCR) を対象とした。微生物型ロドプシンは古細菌やバクテリアの膜に存在して、光駆動型イオンポンプ、イオンチャネル、あるいは光センサーとして働く光受容体である。PYP はバクテリアの光センサーであり、CBCR はシアノバクテリアに存在して緑/赤など 2 色の光を感知し分ける光センサーとして知られる光受容タンパク質である。

#### (方法 : 低温トラップ法を利用したラマン・ROA スペクトル測定)

本研究で目的とする光受容タンパク質の反応中間体の測定には低温トラップ法を利用する。通常、光受容タンパク質を光励起して生じる反応中間体は、マイクロ秒からミリ秒の寿命を持つものが多い。低温トラップ法は極低温下でこれら反応中間体の寿命を長くする、あるいは実効的に捕捉する方法である。液体窒素温度 (77K) から常温の間で測定温度を調節することで、光反応で現れるすべての中間体に対してラマン測定を進めた。またこれら中間体の立体構造情報を取得すべく低温 ROA 装置の開発を進めた。

#### (方法 : 量子化学計算による構造解析)

量子化学計算を利用した振動スペクトルの解析によって経験的には知り得ない詳細な分子構造を明らかにすることが可能である。ほぼ全ての振動バンドの特徴を量子化学計算によって再現できれば、分子構造を決定することができる。光受容タンパク質の実測のラマン・ROA スペクトルを、タンパク質環境を考慮した QM/MM 計算や単純化活性部モデルなどを用いてシミュレートし、計算結果と実測スペクトルとの整合性に基づいて活性部位における発色団の構造決定を行った。

### 4. 研究成果

微生物型ロドプシン、光活性イエロータンパク質、シアノバクテリオクロムの低温ラマン・ROA 測定

近赤外レーザーを光源とした低温ラマン装置を用いて、微生物型ロドプシン、光活性イエロータンパク質、シアノバクテリオクロムの光反応中間体に対して低温ラマン測定を実施した。このような計測を行うグループは世界的に見ても少ないため、独自かつ新規な反応中間体の構造情報を得ることができ、これら光受容タンパク質の反応中間体に関する研究結果の一部を下記の国際雑誌に公開した。特に、微生物型ロドプシンの一種であるナトリウムポンプロドプシンの研

究では、細胞内から細胞外への一方方向性の Na<sup>+</sup>輸送機構において鍵となる発色団の構造変化を世界に先駆けて観測して公表した。

- [1] T. Fujisawa\*, K. Kinoue, R. Seike, T. Kikukawa, M. Unno, "Configurational Changes of Retinal Schiff Base during Membrane Na<sup>+</sup> Transport by a Sodium Pumping Rhodopsin", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 15, 1993-1998, 2024.
- [2] T. Fujisawa\*, K. Kinoue, R. Seike, T. Kikukawa, M. Unno, "Reisomerization of retinal represents a molecular switch mediating Na<sup>+</sup> uptake and release by a bacterial sodium-pumping rhodopsin", *Journal of Biological Chemistry*, 296, 100792, 2022.
- [3] T. Fujisawa, S. Masuda, S. Takeuchi, T. Tahara\*, "Femtosecond Time-Resolved Absorption Study of Signaling State of a BLUF Protein PixD from the Cyanobacterium *Synechocystis*: Hydrogen-Bond Rearrangement Completes during Forward Proton-Coupled Electron Transfer" *Journal of Physical Chemistry B*, 125, 12154-12165, 2021.
- [4] M. Unno\*, Y. Hirose, M. Mishima, T. Kikukawa, T. Fujisawa, J. Tamogami, "Spectroscopic approach for exploring structure and function of photoreceptor proteins", *Biophysics and Physicobiology*, 18, 127-130, 2021.

低温ラマン測定を行った光受容タンパク質の中には、光励起前の暗状態（反応の始状態）に類似する強度のラマン信号が得られたものが複数あり、このことは低温下の ROA 測定が現実的であることを示していた。そのため、低温ラマン測定と並行して低温 ROA 測定装置の開発を進め、製作した装置を用いて微生物型ロドプシン等の光反応中間体に対して低温 ROA 測定を実施した。得られた信号の再現性等の確認を行っている現状である。

#### 微生物型ロドプシンおよび光活性イエロープロテインの ROA 測定と量子化学計算

上記の低温測定のほか、種々の光受容タンパク質に対して常温下で光励起前の暗状態の ROA 測定を行った。微生物型ロドプシンや光活性イエロータンパク質が内包する色素の構造に対して、従来の振動分光法では得ることができない詳細な立体構造情報を取得することができた。例えば、色素がどの方向に、どのようにねじれているかといった構造情報を量子化学計算の併用によって明らかにすることができた。これら ROA 測定から得られた研究成果の一部を下記の国際雑誌等に公表し、量子化学計算などを利用したスペクトル解析について著書を執筆した。

- [5] T. Wu, P. Bour\*, T. Fujisawa, M. Unno\*, "Molecular Vibrations in Chiral Europium Complexes Revealed by Near-Infrared Raman Optical Activity", *Advanced Science*, 11, 2305521, 2024.
- [6] T. Fujisawa, T. Shingae, J. Ren, S. Haraguchi, T. Hanamoto, W. D. Hoff, M. Unno\*, "Spectroscopic Validation of Crystallographic Structures of a Protein Active Site by Chiroptical Spectroscopy", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 14, 9304-9309, 2023.
- [7] K. Nishikawa, R. Kuroiwa, J. Tamogami, M. Unno\*, T. Fujisawa\*, "Raman Optical Activity of Retinal Chromophore in Sensory Rhodopsin II" *Journal of Physical Chemistry B*, 127, 7244-7250, 2023.
- [8] M. Ohya, T. Kikukawa, J. Matsuo, T. Tsukamoto, R. Nagaura, T. Fujisawa, M. Unno\*, "Structure and Heterogeneity of Retinal Chromophore in Chloride Pump Rhodopsins Revealed by Raman Optical Activity" *Journal of Physical Chemistry B*, 127, 4775-4782, 2023.
- [9] Y. Okuda, R. Miyoshi, T. Kamo, T. Fujisawa, T. Nagae, M. Mishima, T. Eki, Y. Hirose\*, M. Unno\*, "Raman Spectroscopy of an Atypical C15-E<sub>syn</sub> Bilin Chromophore in Cyanobacteriochrome RcaE" *Journal of Physical Chemistry B*, 126, 813-821, 2022.
- [10] T. Fujisawa\*, K. Nishikawa, J. Tamogami, M. Unno\*, "Conformational analysis of a retinal Schiff base chromophore in proteorhodopsin by Raman optical activity", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 12, 9564-9568, 2021.
- [11] T. Nagae, M. Unno\*, T. Koizumi, Y. Miyanori, T. Fujisawa, K. Masui, T. Kamo, K. Wada, T. Eki, Y. Ito, Y. Hirose\*, M. Mishima\*, "Structural basis of the photochromic green/red photocycle of the chromatic acclimation sensor RcaE" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 118, e2024583118, 2021.
- [12] T. Fujisawa\*, M. Unno\*, "Near-Infrared Excited Raman Optical Activity as a Tool to Uncover Active Sites of Photoreceptor Proteins", *Journal of Physical Chemistry B*, 128, 2228-2235, 2024.
- [13] 藤澤知績、海野雅司  
「ラマン光学活性によるプロテオロドプシン中のレチナール色素の構造解析」  
*生物物理*、第 62 巻、(2022) 331-333.
- [14] 藤澤知績、海野雅司  
「近赤外ラマン分光法の色素タンパク質への応用」  
*分光研究*、第 71 巻、第 4 号 (2022) 105-107.
- [15] T. Fujisawa, M. Unno, "Advanced spectral analysis of complex molecular system" In *Molecular and Laser Spectroscopy: Advances and Applications: Volume 3*; Gupta, V. P. Ed.; Elsevier Inc.; pp 25-54 (2022)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fujisawa, T., Unno, M.	4. 巻 128
2. 論文標題 Near-Infrared Excited Raman Optical Activity as a Tool to Uncover Active Sites of Photoreceptor Proteins	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2228-2235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.4c00094	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 Fujisawa, T., Kinoue, K., Seike, R., Kikukawa, T., Unno, M.	4. 巻 15
2. 論文標題 Configurational Changes of Retinal Schiff Base during Membrane Na <sup>+</sup> Transport by a Sodium Pumping Rhodopsin	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1993-1998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.3c03435	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 Wu, T., Bour, P., Fujisawa, T., Unno, M.	4. 巻 11
2. 論文標題 Molecular Vibrations in Chiral Europium Complexes Revealed by Near-Infrared Raman Optical Activity	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Adv. Sci.	6. 最初と最後の頁 2305521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202305521	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 Fujisawa, T., Shingae, T., Ren, J., Haraguchi, S., Hanamoto, T., Hoff, W. D., Unno, M.	4. 巻 14
2. 論文標題 Spectroscopic Validation of Crystallographic Structures of a Protein Active Site by Chiroptical Spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9304-9309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.3c01954	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 Nishikawa, K., Kuroiwa, R., Tamogami, J., Unno, M., Fujisawa, T.	4. 巻 127
2. 論文標題 Raman Optical Activity of Retinal Chromophore in Sensory Rhodopsin II	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 7244-7250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c02391	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 Ohya, M., Kikukawa, T., Matsuo, J., Tsukamoto, T., Nagaura, R., Fujisawa, T., Unno, M.	4. 巻 127
2. 論文標題 Structure and Heterogeneity of Retinal Chromophore in Chloride Pump Rhodopsins Revealed by Raman Optical Activity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4775-4782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c01801	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 Fujisawa, T., Kinoue, K. Seike, R., Kikukawa, T., Unno, M.	4. 巻 298
2. 論文標題 Reisomerization of retinal represents a molecular switch mediating Na <sup>+</sup> uptake and release by a bacterial sodium-pumping rhodopsin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 102366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2022.102366	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 藤澤知績、海野雅司	4. 巻 62
2. 論文標題 ラマン光学活性によるプロテオロドプシン中のレチナル色素の構造解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 331 - 333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.62.331	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 藤澤知績、海野雅司	4. 巻 71
2. 論文標題 近赤外ラマン分光法の色素タンパク質への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 分光研究	6. 最初と最後の頁 105 - 107
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 Okuda, Y., Miyoshi, R., Kamo, T., Fujisawa, T., Nagae, T., Mishima, M., Eki, T., Hirose, Y., Unno, M.	4. 巻 126
2. 論文標題 Raman Spectroscopy of an Atypical C15-E <sub>syn</sub> Bilin Chromophore in Cyanobacteriochrome RcaE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 813-821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c09652	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 Fujisawa, T., Masuda, S., Takeuchi, S., Tahara, T.	4. 巻 125
2. 論文標題 Femtosecond time-resolved absorption study of signaling state of a BLUF protein PixD from the cyanobacterium Synechocystis: Hydrogen-bond rearrangement completes during forward proton-coupled electron transfer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 12154-12165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c05957	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 Fujisawa, T., Nishikawa, K., Tamogami, J., Unno, M.	4. 巻 12
2. 論文標題 Conformational analysis of a retinal Schiff base chromophore in proteorhodopsin by Raman optical activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9564-9568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpclett.1c02552	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 Nagae, T., Unno, M., Koizumi, T., Miyanoiri, Y., Fujisawa, T., Masui, K., Kamo, T., Wada, K., Eki, T., Ito, Y., Hirose, Y., Mishima, M.	4. 巻 118
2. 論文標題 Structural basis of the protochromic green/red photocycle of the chromatic acclimation sensor RcaE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. USA	6. 最初と最後の頁 e2024583118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2024583118	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 Unno, M., Hirose, Y., Mishima, M., Kikukawa, T., Fujisaewa, T., Tamogami, J.	4. 巻 18
2. 論文標題 Spectroscopic approach for exploring structure and function of photoreceptor proteins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 127-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophysico.bppb-v18.014	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 藤澤知績、海野雅司	4. 巻 62
2. 論文標題 ラマン光学活性によるプロテオロドプシン中のレチナル色素の構造解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 331-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.62.331	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 藤澤知績、海野雅司	4. 巻 71
2. 論文標題 近赤外ラマン分光法の色素タンパク質への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 分光研究	6. 最初と最後の頁 105-107
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21件(うち招待講演 4件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa
2. 発表標題 Raman optical activity spectroscopy of biological photoreceptors
3. 学会等名 24th East Asian Workshop on Chemical Dynamics (EAWCD 2024) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masashi Unno, Masaiku Ohya, Takashi Kikukawa, Junpei Matsuo, Takashi Tsukamoto, Ryota Nagaura, Tomotsumi Fujisawa
2. 発表標題 Structure and Heterogeneity of Retinal Chromophore in Chloride Pump Rhodopsins Revealed by Raman Optical Activity
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa, Kouta Kinoue, Ryouhei Seike, Takashi Kikukawa, Masashi Unno
2. 発表標題 Configurational change of retinal Schiff base chromophore in a sodium pump rhodopsin
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryoka Seto, Masako Hamada, Yuu Hirose, Tomotsumi Fujisawa, Masashi Unno
2. 発表標題 Structural analysis of the blue-absorbing form of blue/orange cyanobacteriochrome by Raman spectroscopy
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Taisei Koga, Masako Hamada, Yuu Hirose, Tomotsumi Fujisawa, Masashi Unno
2. 発表標題 Role of Lys261 in Cyanobacteriochrome RcaE Studied by Mutagenesis and Raman Spectroscopy
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kirari Ogata, Tomotsumi Fujisawa, Wouter D Hoff, Masashi Unno
2. 発表標題 Low-temperature spectroscopy of photoactive yellow protein from Rhodospirillum rubrum
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤澤知績, 西川航平, 黒岩亮介, 田母神淳, 海野雅司
2. 発表標題 ラマン光学活性分光法を用いた センサリーロドプシンの発色団コンフォメーションの研究
3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川崎翔太, 藤澤知績, 海野雅司, Wouter D. Hoff
2. 発表標題 低温ラマン分光法による Photoactive Yellow Proteinの L中間体の構造解析
3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa
2. 発表標題 Photoconversion mechanism of a green/red cyanobacteriochrome based on its molecular structure
3. 学会等名 15th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasuhiro Jyojima, Masako Hamada, Yuu Hirose, Masashi Unno, Tomotsumi Fujisawa
2. 発表標題 Cryogenic Raman study of photoconversion from green to red absorbing state of the cyanobacteriochrome RcaE
3. 学会等名 15th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤澤知績, 木ノ上 晃汰, 清家陵平, 菊川 峰志, 海野雅司
2. 発表標題 クライオ時間分解ラマン分光法によるナトリウムポンプロドプシンの研究: 0中間体における発色団構造変化
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa, Daisuke Shiga, Akihiro Baba, Wouter D. Hoff, Masashi Unno
2. 発表標題 Cryogenic Raman study of primary photointermediate of photoactive yellow protein
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa
2. 発表標題 Raman optical activity spectroscopy for measuring chromophore conformations in biological photoreceptors
3. 学会等名 3rd Q-PIT photofunction integration symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomotsumi Fujisawa, Kouta Kinoue, Ryouhei Seike, Takashi Kikukawa, Masashi Unno
2. 発表標題 Time-resolved cryo-Raman study of Na <sup>+</sup> uptake and release by a sodium pumping rhodopsin
3. 学会等名 第60回生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Kawasaki, Tomotsumi Fujisawa, Wouter D. Hoff, Masashi Unno
2. 発表標題 低温ラマン分光法によるphotoactive yellow proteinのL中間体の構造解析
3. 学会等名 第60回生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Okuda, Risako Miyoshi, Takanari Kamo, Tomotsumi Fujisawa, Takayuki Nagae, Masaki Mishima, Toshihiko Eki, Yuu Hirose, Masashi Unno
2. 発表標題 シアノバクテリアオクロムRcaEにおけるユニークなC15-E, syn型ピリン発色団のラマン分光法による研究
3. 学会等名 第60回生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ejima, Tomotsumi Fujisawa, Takashi Kikukawa, Masashi Unno
2. 発表標題 低温ラマン分光法による光駆動Cl-ポンプNMR3の発色団構造変化の研究
3. 学会等名 第60回生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江島那月, 藤澤知績, 菊川峰志, 海野雅司
2. 発表標題 光駆動クロロイドイオンポンプロドプシンのラマン分光法を用いた構造解析
3. 学会等名 溶液化学研究会若手の会 第2回冬季発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志賀 大将 , 藤澤 知績2, Hoff Wouter D. , 海野 雅司
2. 発表標題 低温ラマン分光法による Photoactive Yellow Protein の初期中間体の構造決定
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川 航平 , 藤澤 知績 2, 海野 雅司 , 須藤 雄気 , 小島 慧一 , 仲間 政樹
2. 発表標題 ラマン光学活性による微生物型ロドプシン単量体と多量体におけるレチナルシッフ塩基の構造解析
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川航平, 田母神淳, 藤澤知績, 海野雅司
2. 発表標題 ラマン光学活性によるセンサリーロドプシンのレチナルシッフ塩基の構造解析
3. 学会等名 溶液化学研究会若手の会第1回冬季発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Fujisawa, T., Unno, M.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 30
3. 書名 Advanced spectral analysis of complex molecular system; In Molecular and Laser Spectroscopy: Advances and Applications: Volume 3	

〔産業財産権〕

〔その他〕

藤澤知績 <a href="http://biophysics.chem.saga-u.ac.jp/Fujisawa_webpage/Tfujisawa.html">http://biophysics.chem.saga-u.ac.jp/Fujisawa_webpage/Tfujisawa.html</a> 佐賀大学 海野 藤澤研究室 <a href="http://biophysics.chem.saga-u.ac.jp/unno-lab/homu.html">http://biophysics.chem.saga-u.ac.jp/unno-lab/homu.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
---------	---------

米国	オクラハマ州立大学			
チェコ	チェコ科学アカデミー			