

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02695

研究課題名（和文）人工光スイッチングをもちいたタンパク質分子運動計測

研究課題名（英文）Visualizing protein motions using molecular photoswitching

研究代表者

水野 操（Misao, Mizuno）

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：10464257

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：広範なタンパク質中の構造変化をともなう化学反応に対して、高速な反応スイッチングによる時間分解共鳴ラマン分光計測法の開発を行った。反応スイッチングには、タンパク質分子に導入したアゾベンゼンなどの小分子の光反応を利用した。光スイッチングタンパク質の作製は、分光測定に必要な試料を十分に得ることができなかった。時間分解分光システムは、既存装置の改良を行い、対象とするタンパク質反応の追跡に十分な性能を持つことを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分子光スイッチングは、生体分子の高速な構造制御を可能にする。ダイナミクス計測技術が進展し、スイッチ分子の多岐化・導入部位のノウハウの蓄積により、より汎用性の高い実験手法へと拡張できる。光スイッチングは、機能性高分子に対する応用も可能である。これにより、光を利用した機能性分子の反応制御が大いに期待できる。

研究成果の概要（英文）：To visualize chemical reactions associated with structural changes in a wide range of proteins, time-resolved resonance Raman spectroscopic methods were developed using ultrafast molecular photoswitching. The photoreaction of a small molecule, such as photoisomerization of azobenzene introduced into the protein backbone, was used for switching to form three-dimensional structures of targeted proteins. We did not obtain sufficient amount of photoswitching protein samples for spectroscopic measurements. The time-resolved spectroscopy system was improved from the existing system. We demonstrated that the performance of the spectroscopic system was sufficient to follow the chemical reactions of targeted proteins.

研究分野：タンパク質分子科学

キーワード：時間分解共鳴ラマン分光法 タンパク質 分子光スイッチング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

タンパク質は生命活動を支える分子である。その機能は構造変化によって生み出される。分子機構の理解は、タンパク質機能の発現メカニズムを解く鍵となる。メカニズム解明は、静的構造解析のみでは実現せず、動的プロセスの理解が必須である。フェムト秒・ピコ秒から秒におよぶ幅広い時間スケールをカバーし、局所から分子全体におよぶ構造変化の進展を原子レベルの空間スケールでもらさず観ることにより、はじめてその理解に到達する。

時間分解共鳴ラマン分光法は、もっとも本質的かつ明快なタンパク質構造ダイナミクス情報を与える実験方法である。その理由は、分子振動数の変化から化学結合におけるオングストローム未満の原子スケールの部位特異的な構造変化を、ピコ秒から秒にわたる幅広い時間スケールでリアルタイム観測できるからである。一連のタンパク質ダイナミクス観測により、構造変化によって生み出されるタンパク質機能発現のための分子機構が解明できる。したがって、時間分解共鳴ラマン分光法によるダイナミクス計測の有効性は非常に高い。機能発現のスイッチングにかかる応答時間が瞬時的であるほど、よりシャープな構造ダイナミクス情報が得られる。短パルス光の吸収によるスイッチングは、幅広い時間スケールにおよぶタンパク質ダイナミクス計測にはきわめて有効である。このため、構造ダイナミクス計測の実験的な成功例は、発色団の光異性化やリガンド分子の光解離反応により開始される反応ダイナミクス計測に限られていた。しかし、光を機能発現のスイッチングにもちいるタンパク質は、数多くあるタンパク質の中でもごくわずかしかない。生理学的に重要ですぐにでも解明したい大多数のタンパク質の動的な分子機構は不明のままであった。

「タンパク質の動的な分子機構を幅広い時間スケールと原子レベルの空間スケールで明らかにしたい」という問いに対して、「いかに反応のスイッチングをシャープにするか」という問題がある。これに対し、「分子光スイッチング」により反応タイミングの同期を行い、時間分解共鳴ラマン分光法をもちいて構造ダイナミクスを観測することが、この問題の解となりうると考えた。分子光スイッチングは、小分子を観測対象のタンパク質に導入し、この小分子の光応答により瞬時的におこるタンパク質立体構造形成を機能発現のスイッチングに利用する方法である。スイッチングのタイミングを揃えることで時間分解共鳴ラマン分光法のもつ有効性を大きく活用できる。本研究の実現により、タンパク質の機能発現のための分子機構を明らかにするための普遍的な分光実験方法の確立を目指した。

2. 研究の目的

本研究では、人工的に分子光スイッチングを観測対象のタンパク質に導入し、時間分解共鳴ラマン分光法により、原子スケールかつピコ秒からサブ秒までの幅広い時間スケールで、機能発現に関わる構造ダイナミクスを観測する手法を確立する。これにより、通常は光に応答しない広範のタンパク質における機能に関わる分子機構を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 光スイッチングタンパク質の作製

本研究では、ダイナミクス観測に対して、タンパク質機能に影響を与えないように、できるだけ小分子でありかつ迅速な構造変化を起こすスイッチング分子を観測対象のタンパク質に導入する。スイッチング分子には、アソベンゼンやスピロピランなど、フォトクロミック反応による構造変化を示す分子を用いる。観測対象のタンパク質のスイッチング反応による立体構造形成を機能発現のスイッチとして利用し、その後のタンパク質ダイナミクスを時間分解共鳴ラマン分光法により観測する。

(2) 時間分解共鳴ラマン分光システムの構築

タンパク質機能発現のスイッチング分子をタンパク質分子内へ人工的に導入し、幅広い時間領域にわたる時間分解共鳴ラマン分光計測を行う。芳香族アミノ酸残基、主鎖および結合する基質に由来するラマンバンドの時間進展を観測する。これらのラマンバンドは、各部位の構造変化や周辺環境変化により鋭敏に変化する。ここから、分子(部位)間相互作用、二次構造および結合による基質構造のそれぞれの変化の部位選択的ダイナミクス情報を得る。

4. 研究成果

(1) 光スイッチングタンパク質の作製

研究期間を通して光スイッチング分子を導入したタンパク質試料の作製を試みたが、分光測定に必要な試料を十分に得ることができなかった。

(2) 時間分解共鳴ラマン分光システムの構築

本研究において使用する時間分解共鳴ラマン分光システムは、既存の分光システムに改良を加える必要があった。具体的に以下の3点の改良を行った。

- ・ スwitching光（ポンプ光）
スイッチング分子であるアゾベンゼンやスピロピランは、近紫外～青色光を吸収し、フォトクロミック反応が起こる。このため、従来の光受容タンパク質の測定において光化学反応開始のためのポンプ光に用いていた緑色光レーザーから、分子スイッチングを行うための近紫外レーザーへ変更したシステムを作成した。
- ・ ラマン散乱の検出光（プローブ光）
共鳴ラマン効果を最大限に活用するために、紫外光から可視光のすべての波長領域をカバーするレーザーシステムを新規に導入した。これにより、タンパク質の二次構造・芳香族アミノ酸側鎖・光スイッチング部位近傍のタンパク質構造におけるスペクトル観測が高感度に実施できるようになった。
- ・ マイクロ秒～ミリ秒領域における時間分解分光をおこなうためのフローシステム作成
タンパク質構造がダイナミックに変化する時間領域であるマイクロ秒からミリ秒の時間領域において時間分解測定を行うために、デュアルビームフロー法（フローセルを流れる試料に対して、光反応を起こす光とラマン散乱を観測する光の照射位置差と流速を利用して時間分解計測する方法）を用いている。可視ポンプ光・可視プローブ光をもちいた時間分解測定の実施例はあるが、紫外プローブ光をもちいた研究はこれまで行っていなかった。このため、紫外プローブ光によるタンパク質の骨格構造変化の観測が行える装置を作成した。また、スペクトルの品質を向上させるため繰り返し積算を行うが、フロー装置中にラマン散乱を検出する箇所とは別に、スイッチング分子をフォトクロミック反応により初期構造に回復させる光照射部位をフロー装置の流路に設けた。

分光システムの有効性を、光受容タンパク質である微生物型ロドプシンのダイナミクス観測により実証した。これにより、分子光スイッチングによるタンパク質ダイナミクス観測の基盤が整った。広範なタンパク質の機能発現機構の解明を継続して目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Li Zixuan, Mizuno Misao, Ejiri Tomo, Hayashi Shigehiko, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 127
2. 論文標題 Unique Vibrational Characteristics and Structures of the Photoexcited Retinal Chromophore in Ion-Pumping Rhodopsins	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9873 ~ 9886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jp cb.3c02146	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 Iritani Yu, Ishikawa Haruto, Mizuno Misao, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 62
2. 論文標題 Heme Pocket Structure and Its Functional Implications in an Ancestral Globin Protein	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 2727 ~ 2737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.3c00203	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 Urui Taito, Hayashi Kouhei, Mizuno Misao, Inoue Keiichi, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 128
2. 論文標題 Cis-Trans Reisoimerization Preceding Reprotonation of the Retinal Chromophore Is Common to the Schizorhodopsin Family: A Simple and Rational Mechanism for Inward Proton Pumping	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 744 ~ 754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jp cb.3c07510	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 Zixuan, Mizuno Misao, Ejiri Tomo, Hayashi Shigehiko, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 127
2. 論文標題 Unique Vibrational Characteristics and Structures of the Photoexcited Retinal Chromophore in Ion-Pumping Rhodopsins	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9873 ~ 9886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jp cb.3c02146	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 Iritani Yu, Ishikawa Haruto, Mizuno Misao, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 62
2. 論文標題 Heme Pocket Structure and Its Functional Implications in an Ancestral Globin Protein	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 2727 ~ 2737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.3c00203	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 Urui Taito, Hayashi Kouhei, Mizuno Misao, Inoue Keiichi, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 128
2. 論文標題 Cis-Trans Reisomerization Preceding Reprotonation of the Retinal Chromophore Is Common to the Schizorhodopsin Family: A Simple and Rational Mechanism for Inward Proton Pumping	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 744 ~ 754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c07510	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 Yamashita Satoshi, Mizuno Misao, Takemura Kazuhiro, Kitao Akio, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 126
2. 論文標題 Dependence of Vibrational Energy Transfer on Distance in a Four-Helix Bundle Protein: Equidistant Increments with the Periodicity of Helices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3283 ~ 3290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c00956	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 Hayashi Kouhei, Mizuno Misao, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 61
2. 論文標題 Cis-Trans Reisomerization Precedes Reprotonation of the Retinal Chromophore in the Photocycle of Schizorhodopsin 4	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202203149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202203149	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 Shionoya Tomomi, Mizuno Misao, Kandori Hideki, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 126
2. 論文標題 Contact-Mediated Retinal-Opsin Coupling Enables Proton Pumping in Gloeobacter Rhodopsin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 7857 ~ 7869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c04208	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 Urui Taito, Das Ishita, Mizuno Misao, Sheves Mordechai, Mizutani Yasuhisa	4. 巻 126
2. 論文標題 Origin of a Double-Band Feature in the Ethylenic C=C Stretching Modes of the Retinal Chromophore in Heliorhodopsins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 8680 ~ 8688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c04883	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 Taito Urui, Misao Mizuno, Akihiro Otomo, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani	4. 巻 125
2. 論文標題 Resonance Raman Determination of Chromophore Structures of Heliorhodopsin Photointermediates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 7155-7162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c04010	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 Tomomi Shionoya, Misao Mizuno, Manish Singh, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani	4. 巻 60
2. 論文標題 Strongly hydrogen-bonded Schiff base and adjoining polyene twisting in the retinal chromophore of schizorhodopsins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 3050-3057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.1c00529	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 Satoshi Yamashita, Misao Mizuno, Yasuhisa Mizutani	4. 巻 156
2. 論文標題 High Suitability of Tryptophan Residues as a Spectroscopic Thermometer for Local Temperature in Proteins under Nonequilibrium Conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 75101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0079797	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37件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Spatiotemporal mapping of vibrational energy flow in proteins
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Unique vibrational characters and structures of the photoexcited retinal chromophore in ion-pumping rhodopsins
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference (ASC2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 時間分解アンチストークスラマン分光法によるタンパク質分子内振動エネルギー移動の観測
3. 学会等名 第23回日本光生物学協会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Observing of structural changes critical to the functioning of ion-pumping rhodopsins
3. 学会等名 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9IDMRCS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 時間分解共鳴ラマン分光法によるイオンポンプロドプシンの構造ダイナミクス観測
3. 学会等名 第23回日本蛋白質科学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 時間分解共鳴ラマン分光法によるイオンポンプロドプシンの構造ダイナミクス観測
3. 学会等名 第23回日本蛋白質科学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Observing of structural changes critical to the functioning of ion-pumping rhodopsins
3. 学会等名 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9IDMRCS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 時間分解アンチストークスラマン分光法によるタンパク質分子内振動エネルギー移動の観測
3. 学会等名 第23回日本光生物学協会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Unique vibrational characters and structures of the photoexcited retinal chromophore in ion-pumping rhodopsins
3. 学会等名 8th Asian Spectroscopy Conference (ASC2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Spatiotemporal mapping of vibrational energy flow in proteins
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 潤井 泰斗、林 航平、水野 操、井上 圭一、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 シゾロドプシンに共通する内向きプロトン輸送に重要な構造変化の同定
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zixuan Li, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Time-resolved resonance Raman observation of the photoexcited retinal chromophore in halorhodopsin
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡瀬 太郎、水野 操、石川 春人、水谷 泰久
2. 発表標題 ヘムタンパク質を用いた分子ヒーターの開発
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入谷 悠、石川 春人、水野 操、水谷 泰久
2. 発表標題 祖先型グロビンフォールドタンパク質の構造ダイナミクスの解明
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 Elucidation of intramolecular heat transfer mechanism for construction of highly effective photothermal protein heaters (高効率光熱変換タンパク質ヒーター創出に向けた分子内熱伝導機構の解明)
3. 学会等名 日本生物物理学会第60回年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Time-resolved anti-Stokes Raman Study on vibrational energy flow in proteins
3. 学会等名 Taiwan-Japan International Symposium on Raman Spectroscopy / Development of Advanced Raman Spectroscopy in Japan and Taiwan (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomomi Shionoya, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Contact-Mediated Retinal-Opsin Coupling Enables Proton Pumping in Gloeobacter Rhodopsin
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taito Urui, Kouhei Hayashi, Misao Mizuno, Keiichi Inoue, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Identification of Structural Changes Essential to Inward Proton Transport Common to Schizorhodopsins
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouhei Hayashi, Taito Urui, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yuki Sudo, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Structural analysis on the M intermediates of inward proton-pumping xenorhodopsins
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野 操
2. 発表標題 時間分解共鳴ラマン分光法で観るタンパク質ダイナミクス
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 徳 さくらこ、水野 操、今村 博臣、村越 秀治、水谷 泰久
2. 発表標題 無蛍光性色素タンパク質による分子ヒーターの開発
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 中村 大輝、水野 操、大友 章裕、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 ナトリウムイオン輸送タンパク質の多量体形成に依存した分子内水素結合変化
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 Misao Mizuno, Naito Ishimoto, Sam-Yong Park, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Characterization of the chromophore structure in the photocycle of a new type of chloride ion-pumping rhodopsin
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomomi Shionoya, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Interaction between retinal chromophore and opsin to enable proton transport in a light-driven proton pump GR
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taito Uruï, Misao Mizuno, Akihiro Otomo, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Resonance Raman Determination of Chromophore Structures of Heliorhodopsin Photointermediates
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野操、石本 直偉士、朴 三用、水谷 泰久
2. 発表標題 新規光駆動塩化物イオンポンプの光反応中間体の発色団構造解析
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 潤井 泰斗、水野 操、水谷 泰久
2. 発表標題 レチナルアナログ置換によるヘリオロドプシン発色団の構造特異性の解明
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Misao Mizuno
2. 発表標題 Role of atomic contacts in vibrational energy transfer in protein
3. 学会等名 Pacifichem2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xiang Gao, Misao Mizuno, Haruto Ishikawa, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Time-resolved Resonance Raman Observation of Quaternary Structural Changes of Dimeric Hemoglobin
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 Zixuan Li, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Time-resolved resonance Raman observation of the chromophore structure in primary intermediates of microbial rhodopsins
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 入谷 悠、石川 春人、水野 操、水谷 泰久
2. 発表標題 共鳴ラマン分光法による祖先型グロビンフォールドタンパク質のヘム-軸配位子構造の解明
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 林 航平、水野 操、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 内向きプロトンポンプシゾロドプシンにみられる複数のM中間体の発色団構造解析
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 塩谷 智巳、水野 操、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 紫外共鳴ラマン分光法によるプロトンポンプGRのプロトン輸送過程におけるタンパク質構造変化
3. 学会等名 分子科学会オンライン討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 潤井泰斗、水野 操、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 新規光受容タンパク質ヘリオロドプシンが持つ光反応中間体の発色団構造
3. 学会等名 分子科学会オンライン討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taito Urui, Akihiro Otomo, Misao Mizuno, Hideki Kandori, Yasuhisa Mizutani
2. 発表標題 Chromophore structure in a long-lived intermediate of heliorhodopsins: switching of a hydrogen bonding partner of protonated Schiff base
3. 学会等名 Asian Spectroscopy Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩谷 智巳、水野 操、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 光駆動プロトンポンプGRのプロトン輸送を誘起する発色団-オブシン相互作用
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 潤井 泰斗、水野 操、神取 秀樹、水谷 泰久
2. 発表標題 ヘリオロドプシンの光サイクルにおけるレチナールシッフ塩基の水素結合強度の変遷
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021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

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