

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03217

研究課題名（和文）光合成反応中心での非対称電子移動を誘起する蛋白質分子内因子の特定

研究課題名（英文）Asymmetric electron transfer in photosynthetic reaction centers

研究代表者

石北 央 (Ishikita, Hiroshi)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：00508111

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

研究成果の概要（和文）：光合成反応中心タンパク質における電子移動に関する理論化学的研究を行った。typr-I reaction centerでは、heliobacteria反応中心(HbRC)と green sulfur bacteria由来の反応中心(GsbRC)におけるクロロフィルを介した二つの電子移動経路に関して酸化還元電位を全て明らかにした。photosystem I (PSI)を含めて皆同じtype I 反応中心とよばれるものの、その酸化還元電位、つまるところコファクター間の酸化還元電位はそれぞれ大きく異なる様子が明らかとなり、論文発表を行った。鉄硫黄錯体に関する研究を実施し、論文発表も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

紅色光合成細菌の反応中心（PbRC）、Photosystem II（PSII）、Photosystem I（PSI）では、光励起・電荷分離反応を介してエネルギー変換反応を行う。PbRC、PSIIにおける「（構造の）対称性の中における（電子の振る舞いの）非対称性」という疑問は、「PbRC三次元構造の決定」（ノーベル化学賞、1988年）によって鮮明に打ち出された。数年後のMarcusによる「電子移動反応理論への貢献」（ノーベル化学賞、1992年）といった有用な理論の出現もあった。本研究の結果は、これら基礎自然科学の長年の問いへの分子化学の観点からの解となる。

研究成果の概要（英文）：A theoretical chemical study on electron transfer in photosynthetic reaction center proteins was conducted. In type-I reaction centers, the redox potentials of two electron transfer pathways mediated by chlorophyll in the heliobacteria reaction center (HbRC) and the reaction center derived from green sulfur bacteria (GsbRC) were elucidated. Despite all being called type I reaction centers, including photosystem I (PSI), it was revealed that the redox potentials, specifically the redox potentials between cofactors, differ significantly among them. This finding was published in a paper. Additionally, research on iron-sulfur clusters was carried out, and the results were also published in papers.

研究分野：生物物理

キーワード：人工光合成 プロトン移動 電子移動 タンパク質 X線結晶構造解析 水分解酸素発生

1. 研究開始当初の背景

紅色光合成細菌の反応中心 (PbRC)、Photosystem II (PSII)、Photosystem I (PSI) では、励起・電荷分離反応を介してエネルギー変換反応を行う。光合成系の内部量子効率¹は 100%に近く、励起子や電荷の移動経路が蛋白質環境により巧妙に制御されていることがうかがえる。そのトリックは反応中心に配置されたクロロフィル分子等から構成される 1 対の対称 (C_2) 配置された電子移動経路が担う。PbRC、PSII では常に片方の経路のみで電子移動が起こる (以下、「非対称電子移動 (経路)」と呼ぶ)。PbRC 反応中心は、 C_2 軸に配置された 2 つの蛋白質サブユニット (L, M) により構成されるが、クロロフィル分子群近傍の両者のアミノ酸配列には目立った違いは見られずなぜ非対称電子移動なのか、長年の謎であるが、エナジेटクスにおいては違いが見られることが応募者の最近の研究から明らかになった。一方、PSI では両方の経路で電子移動が観測されている (以下、「対称性電子移動 (経路)」と呼ぶ)。PbRC、PSII における「(構造の) 対称性の中における (電子の振る舞いの) 非対称性」という疑問は、Deisenhofer, Huber, Michel らによる「PbRC 三次元構造の決定」(ノーベル化学賞、1988 年) によって鮮明に打ち出された。数年後の Marcus による「電子移動反応理論への貢献」(ノーベル化学賞、1992 年) といった有用な理論の出現もあった。さらに 2013 年に「蛋白質の理論研究 (複雑系のマルチスケールモデリング)」でノーベル化学賞を受賞した Warshel の受賞理由の一つとしても光合成光励起電子移動反応解明への貢献が挙げられている。

2. 研究の目的

既存の実験的手法では「電子移動経路活性の非対称性の謎」の解明は、容易ではない。アミノ酸変異ではアミノ酸側鎖を変えることで側鎖の影響を見積もることは可能だが、主鎖の影響やさらにはクロロフィル分子の極性側鎖 (アセチル基、ケト基等) の影響を実験的に見積もることは非常に困難である。さらに、電子移動不活性の経路では電子移動が起こらないため何も測定できず、解析手段にブレークスルーが必要である。「PbRC、PSII における不活性側の電子移動経路に関しては、そもそも電子移動が起こらないため、実験的手法では解析不能である。本研究では、PbRC、PSII における電荷分離反応がなぜ片方の電子移動経路のみ優先的に起こるか等の電子移動経路選択律を、蛋白質結晶構造に基づいた理論化学的手法で解析する。結晶構造の座標さえあれば解析できるため、(実験では電子移動が起こらないため直接測定不可能な) 不活性側の電子移動経路の電子移動カップリングも明らかにできる。

3. 研究の方法

以下の理論化学的計算手法により研究を実施した：

- (i) 色素分子の励起状態計算 [Saito, Suzuki, Ishikita. *J. Photochem. Photobiol. A.* 358 (2018) 422]
- (ii) 静電相互作用計算によるタ酸化還元電位計算 [Saito et al. *J. Am. Chem. Soc.* 133 (2011) 14379]
- (iii) タンパク質環境場における量子化学計算：quantum mechanical/molecular mechanical approach (QM/MM 計算) [Saito et al. *J. Am. Chem. Soc.* 133 (2011) 14379]
- (iv) 分子動力的シミュレーションによるタンパク質分子のゆらぎ・構造変化解析 [Sakashita, et al. *Biochemistry* 56 (2017) 3049]

4. 研究成果

光合成に関わる type-II 反応中心 (PSII, PbRC) を主としてその電子移動経路およびプロトン移動経路の解析を行い、数多くの反応機構を明らかにした。PSII の電子移動経路の最終ステップであるキノン QA, QB 間の電子移動では、その中間地点に存在する非ヘム鉄錯体が電子移動に関わっている様子が明らかとなった。非ヘム鉄は一般に酸化還元活性は見られないが、superexchange 機構により、その分子軌道を介することで数 Å 離れているキノン間の電子移動カップリングを高めて、電子移動を起しやすくさせている様子が明らかとなった。

PSII では非ヘム鉄に重炭酸イオンが配位している。強光下において電子移動反応があまりにも

活発に起こると、QB が還元後に PSII から外れるが、その間も電子移動は QA まで起こり続けるため、逆反応、即ち電荷の再結合が起こりやすくなり、結果として活性酸素生成源となりうるクロロフィル 3 重項状態が生成してしまいかねない。そのようなリスクを下げるため、QB 非存在下で QA が還元されアニオンになると重炭酸イオンが Fe から外れやすくなり、その結果として非ヘム鉄錯体のヒスチジン配位子と QA 間に低障壁水素結合が生じて QA の酸化還元電位を上昇させ、再結合反応を起こりにくくする、という機構が本研究の QM/MM 計算により明らかとなった。

その他にも、キノンへのプロトン移動反応や、クロロフィル分子を解した電荷分離反応のエナジエティクス（電子移動経路活性の非対称性）等の反応を明らかとした。これらは水分解酸素発生反応にも最終的にはつながるため、水分解反応の研究もあわせて行い、車軸の両輪として両反応機構を明らかにしていきたい。

【論文】（英文、査読あり 計 14 報）

1. Hiroyuki Tamura*, Keisuke Saito, and **Hiroshi Ishikita**
J. Phys. Chem. B **125** (2021) 13460–13466. doi 10.1021/acs.jpccb.1c09538
“Long-range electron tunneling from the primary to secondary quinones in photosystem II enhanced by hydrogen bonds with non-heme Fe complex”
2. Masaki Tsujimura¹, Keiichi Kojima¹, Shiho Kawanishi, Yuki Sudo*, and **Hiroshi Ishikita***
eLife **10** (2021) e72264. doi: 10.7554/eLife.72264
“Proton transfer pathway in anion channelrhodopsin-1”
¹These authors contributed equally to this work.
3. Taichi Tsuneishi¹, Masataka Takahashi¹, Masaki Tsujimura¹, Keiichi Kojima, **Hiroshi Ishikita**, Yasuo Takeuchi, and Yuki Sudo*
Front. Mol. Biosci. **8** (2021) doi 10.3389/fmolb.2021.794948
“Exploring the retinal binding cavity of archaerhodopsin-3 by replacing the retinal chromophore with a dimethyl phenylated derivative”
¹These authors contributed equally to this work.
4. Yasunori Saitoh¹, Namiki Mitani-Ueno¹, Keisuke Saito¹, Kengo Matsuki, Sheng Huang, Lingli Yang, Naoki Yamaji, **Hiroshi Ishikita**, Jian-Ren Shen, Jian Feng Ma, and Michihiro Suga*
Nat. Commun. **12** (2021) 6236. doi: 10.1038/s41467-021-26535-x
“Structural basis for high selectivity of a rice silicon channel Lsil”
¹These authors contributed equally to this work.
5. Katsumori Segawa¹, Atsuo Kikuchi¹, Tomoyasu Noji, Yuki Sugiura, Keita Hiraga, Chigure Suzuki, Kazuhiro Haginoya, Yasuko Kobayashi, Mitsuhiro Matsunaga, Yuki Ochiai, Kyoko Yamada, Takuo Nishimura, Shinya Iwasawa, Wataru Shoji, Fuminori Sugihara, Kohei Nishino, Hidetaka Kosako, Masahito Ikawa, Yasuo Uchiyama, Makoto Suematsu, **Hiroshi Ishikita**, Shigeo Kure, Shigekazu Nagata*
J. Clin. Invest. **131** (2021) e148005. doi 10.1172/JCI148005
“A sublethal mutation in ATP11A that causes aberrant phosphatidylcholine flipping in plasma membranes”
¹These authors contributed equally to this work.
6. Tomoki Kanda¹, Keisuke Saito¹, and **Hiroshi Ishikita***
J. Phys. Chem. Lett. **12** (2021) 7431-7438. doi: 10.1021/acs.jpcclett.1c01896
“Electron acceptor-donor iron sites in the iron-sulfur cluster of photosynthetic electron-transfer pathways”
¹These authors contributed equally to this work.
7. Yu Sugo, Keisuke Saito, and **Hiroshi Ishikita***
Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **118** (2021) e2103203118 doi: 10.1073/pnas.2103203118 [direct submission, edited by A. Warshel]
“Mechanism of the formation of proton transfer pathways in photosynthetic reaction centers”
8. Keisuke Saito*, Minesato Nakagawa, Manoj Mandal, and **Hiroshi Ishikita***
Photosynth. Res. **148** (2021) 153-159. doi: 10.1007/s11120-021-00846-y
“Role of redox-inactive metals in controlling the redox potential of heterometallic manganese-oxido clusters”

9. Hiroyuki Tamura*, Keisuke Saito, and **Hiroshi Ishikita**
Chem. Sci. **12** (2021) 8131-8140. doi: 10.1039/D1SC01497H
“The origin of unidirectional charge separation in photosynthetic reaction centers: nonadiabatic quantum dynamics of exciton and charge in the pigment-protein complexes”
 10. Manoj Mandal, Keisuke Saito, and **Hiroshi Ishikita***
J. Phys. Chem. Lett. **12** (2021) 4032-4037. doi: 10.1021/acs.jpcllett.1c00814
“Two distinct oxygen-radical conformations in the X-ray free electron laser structures of photosystem II”
 11. Koji Mitsuhashi, Hiroyuki Tamura, Keisuke Saito, and **Hiroshi Ishikita***
J. Phys. Chem. B **125** (2021) 2879-2885. doi: 10.1021/acs.jpcc.0c10885
“Nature of asymmetric electron transfer in the symmetric pathways of photosystem I”
 12. Masaki Tsujimura*, and **Hiroshi Ishikita***
J. Biol. Chem. **296** (2021) 100459. doi: 10.1016/j.jbc.2021.100459
“Identification of intermediate conformations in the photocycle of the light-driven sodium-pumping rhodopsin KR2”
 13. Hiroshi Kuroda¹, Keisuke Kawashima¹, Kazuyo Ueda, Takuya Ikeda, Keisuke Saito, Ryo Ninomiya, Chisato Hida, Yuichiro Takahashi*, and **Hiroshi Ishikita***
Biochim. Biophys. Acta (Bioenergetics) **1862** (2021) 148329. doi: 10.1016/j.bbabi.2020.148329
“Proton transfer pathway from the oxygen-evolving complex in photosystem II substantiated by extensive mutagenesis”
- ¹These authors contributed equally to this work.
14. Masaki Tsujimura, Tomoyasu Noji, Keisuke Saito, Keiichi Kojima, Yuki Sudo, and **Hiroshi Ishikita***
Biochim. Biophys. Acta (Bioenergetics) **1862** (2021) 148349. doi: 10.1016/j.bbabi.2020.148349
“Mechanism of absorption wavelength shifts in anion channelrhodopsin-1 mutants”

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計40件（うち査読付論文 40件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 35件）

1. 著者名 Tsujiyama Masaki, Chiba Yoshihiro, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Proton transfer and conformational changes along the hydrogen bond network in heliorhodopsin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-022-04311-x	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 Sugo Yu, Tamura Hiroyuki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 126
2. 論文標題 Electron Transfer Route between Quinones in Type-II Reaction Centers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9549 ~ 9558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c05713	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 Noji Tomoyasu, Ishikita Hiroshi	4. 巻 126
2. 論文標題 Mechanism of Absorption Wavelength Shift of Bacteriorhodopsin During Photocycle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9945 ~ 9955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c04359	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 Kanda Tomoki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Energetics of the Electron Transfer Pathways in the Homodimeric Photosynthetic Reaction Center	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 2621 ~ 2627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.2c00524	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 Saito Keisuke, Mino Hiroyuki, Nishio Shunya, Ishikita Hiroshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Protonation structure of the closed-cubane conformation of the O ₂ -evolving complex in photosystem II	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	6. 最初と最後の頁 pgac221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pnasnexus/pgac221	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 Sugo Yu, Ishikita Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Proton-mediated photoprotection mechanism in photosystem II	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 934736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2022.934736	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 Tamura Hiroyuki, Takezawa Hiroki, Fujita Makoto, Ishikita Hiroshi	4. 巻 24
2. 論文標題 A self-assembled coordination cage enhances the reactivity of confined amides <i>via</i> mechanical bond-twisting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 21367 ~ 21371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP03126D	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 Imaizumi Ko, Nishimura Taishi, Nagao Ryo, Saito Keisuke, Nakano Takeshi, Ishikita Hiroshi, Noguchi Takumi, Ifuku Kentaro	4. 巻 1
2. 論文標題 D139N mutation of PsbP enhances the oxygen-evolving activity of photosystem II through stabilized binding of a chloride ion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	6. 最初と最後の頁 pgac136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pnasnexus/pgac136	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 Sugo Yu, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Conformational Changes and H-Bond Rearrangements during Quinone Release in Photosystem II	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1836 ~ 1843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.2c00324	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 Saito Keisuke, Xu Tianyang, Ishikita Hiroshi	4. 巻 126
2. 論文標題 Correlation between C?O Stretching Vibrational Frequency and p <i>K</i> Shift of Carboxylic Acids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4999 ~ 5006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c02193	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 Mandal Manoj, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Release of a Proton and Formation of a Low-Barrier Hydrogen Bond between Tyrosine D and D2-His189 in Photosystem II	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Physical Chemistry Au	6. 最初と最後の頁 423 ~ 429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acspchemau.2c00019	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 Tsujiura Masaki, Tamura Hiroyuki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 25
2. 論文標題 Absorption wavelength along chromophore low-barrier hydrogen bonds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 104247 ~ 104247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2022.104247	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 Kanda Tomoki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 126
2. 論文標題 Mechanism of Mixed-Valence Fe ^{2.5+} · · · Fe ^{2.5+} Formation in Fe ₄ S ₄ Clusters in the Ferredoxin Binding Motif	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3059 ~ 3066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c01320	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 Mandal Manoj, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Release of Electrons and Protons from Substrate Water Molecules at the Oxygen-Evolving Complex in Photosystem II	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 91012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.091012	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 Saito Yutaro, Yatabe Hiroyuki, Tamura Iori, Kondo Yohei, Ishida Ryo, Seki Tomohiro, Hiraga Keita, Eguchi Akihiro, Takakusagi Yoichi, Saito Keisuke, Oshima Nobu, Ishikita Hiroshi, Yamamoto Kazutoshi, Krishna Murali C., Sando Shinsuke	4. 巻 8
2. 論文標題 Structure-guided design enables development of a hyperpolarized molecular probe for the detection of aminopeptidase N activity in vivo	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabj2667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abj2667	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 Tamura Hiroyuki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Long-Range Electron Tunneling from the Primary to Secondary Quinones in Photosystem II Enhanced by Hydrogen Bonds with a Nonheme Fe Complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 13460 ~ 13466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c09538	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 Tsujimura Masaki, Kojima Keiichi, Kawanishi Shiho, Sudo Yuki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Proton transfer pathway in anion channelrhodopsin-1	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e72264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.72264	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 Tsuneishi Taichi, Takahashi Masataka, Tsujimura Masaki, Kojima Keiichi, Ishikita Hiroshi, Takeuchi Yasuo, Sudo Yuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Exploring the Retinal Binding Cavity of Archaelrhodopsin-3 by Replacing the Retinal Chromophore With a Dimethyl Phenylated Derivative	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Molecular Biosciences	6. 最初と最後の頁 794948
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmolb.2021.794948	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 Saitoh Yasunori, Mitani-Ueno Namiki, Saito Keisuke, Matsuki Kengo, Huang Sheng, Yang Lingli, Yamaji Naoki, Ishikita Hiroshi, Shen Jian-Ren, Ma Jian Feng, Suga Michihiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Structural basis for high selectivity of a rice silicon channel Lsi1	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-26535-x	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 Segawa Katsumori et al.	4. 巻 131
2. 論文標題 A sublethal ATP11A mutation associated with neurological deterioration causes aberrant phosphatidylcholine flipping in plasma membranes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Investigation	6. 最初と最後の頁 e148005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1172/JCI148005	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 Kanda Tomoki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Electron Acceptor?Donor Iron Sites in the Iron?Sulfur Cluster of Photosynthetic Electron-Transfer Pathways	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 7431 ~ 7438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01896	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 Sugo Yu, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Mechanism of the formation of proton transfer pathways in photosynthetic reaction centers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2103203118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2103203118	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 Saito Keisuke, Nakagawa Minesato, Mandal Manoj, Ishikita Hiroshi	4. 巻 148
2. 論文標題 Role of redox-inactive metals in controlling the redox potential of heterometallic manganese?oxido clusters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photosynthesis Research	6. 最初と最後の頁 153-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11120-021-00846-y	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 Tamura Hiroyuki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 The origin of unidirectional charge separation in photosynthetic reaction centers: nonadiabatic quantum dynamics of exciton and charge in pigment?protein complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 8131 ~ 8140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC01497H	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 Mandal Manoj, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Two Distinct Oxygen-Radical Conformations in the X-ray Free Electron Laser Structures of Photosystem II	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 4032 ~ 4037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c00814	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 Mitsuhashi Koji, Tamura Hiroyuki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Nature of Asymmetric Electron Transfer in the Symmetric Pathways of Photosystem I	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2879 ~ 2885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c10885	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 Tsujimura Masaki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 296
2. 論文標題 Identification of intermediate conformations in the photocycle of the light-driven sodium-pumping rhodopsin KR2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 100459 ~ 100459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2021.100459	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 Kuroda Hiroshi, Kawashima Keisuke, Ueda Kazuyo, Ikeda Takuya, Saito Keisuke, Ninomiya Ryo, Hida Chisato, Takahashi Yuichiro, Ishikita Hiroshi	4. 巻 1862
2. 論文標題 Proton transfer pathway from the oxygen-evolving complex in photosystem II substantiated by extensive mutagenesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 148329 ~ 148329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2020.148329	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 Tsujimura Masaki, Noji Tomoyasu, Saito Keisuke, Kojima Keiichi, Sudo Yuki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 1862
2. 論文標題 Mechanism of absorption wavelength shifts in anion channelrhodopsin-1 mutants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 148349 ~ 148349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2020.148349	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 Kojima Keiichi, Ueta Tetsuya, Noji Tomoyasu, Saito Keisuke, Kanehara Kanae, Yoshizawa Susumu, Ishikita Hiroshi, Sudo Yuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Vectorial Proton Transport Mechanism of RxR, a Phylogenetically Distinct and Thermally Stable Microbial Rhodopsin	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-57122-2	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 Tamura Hiroyuki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Quenching of Singlet Oxygen by Carotenoids via Ultrafast Superexchange Dynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 5081 ~ 5088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c02228	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 Tamura Hiroyuki, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 117
2. 論文標題 Acquirement of water-splitting ability and alteration of the charge-separation mechanism in photosynthetic reaction centers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 16373 ~ 16382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2000895117	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 Sakashita Naoki、Ishikita Hiroshi、Saito Keisuke	4. 巻 22
2. 論文標題 Rigidly hydrogen-bonded water molecules facilitate proton transfer in photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 15831 ~ 15841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp00295j	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 Saito Keisuke、Nakagawa Minesato、Ishikita Hiroshi	4. 巻 3
2. 論文標題 pKa of the ligand water molecules in the oxygen-evolving Mn4CaO5 cluster in photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-020-00336-7	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 Saito Keisuke、Mandal Manoj、Ishikita Hiroshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Energetics of Ionized Water Molecules in the H-Bond Network near the Ca ²⁺ and Cl ⁻ Binding Sites in Photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 3216 ~ 3224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.0c00177	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 Kojima Keiichi、Miyoshi Natsuki、Shibukawa Atsushi、Chowdhury Srikanta、Tsujiura Masaki、Noji Tomoyasu、Ishikita Hiroshi、Yamanaka Akihiro、Sudo Yuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Green-Sensitive, Long-Lived, Step-Functional Anion Channelrhodopsin-2 Variant as a High-Potential Neural Silencing Tool	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6214 ~ 6218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c01406	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 Saito Keisuke, Mitsuhashi Koji, Ishikita Hiroshi	4. 巻 402
2. 論文標題 Dependence of the chlorophyll wavelength on the orientation of a charged group: Why does the accessory chlorophyll have a low site energy in photosystem II?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112799 ~ 112799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112799	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 Saito Keisuke, Mandal Manoj, Ishikita Hiroshi	4. 巻 22
2. 論文標題 Redox potentials along the redox-active low-barrier H-bonds in electron transfer pathways	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 25467 ~ 25473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP04265J	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 Mandal Manoj, Saito Keisuke, Ishikita Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 The Nature of the Short Oxygen-Oxygen Distance in the Mn ₄ Ca ₆ Complex of Photosystem II Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 10262 ~ 10268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02868	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 Tsujimura Masaki, Ishikita Hiroshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Insights into the Protein Functions and Absorption Wavelengths of Microbial Rhodopsins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 11819 ~ 11826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c08910	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46件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 西川 凱、菅生 優、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Energetics of time-dependent structural changes in the photosynthetic electron transfer pathway
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高見 亮成、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Energetics of proton transfers in the communication channel between two active sites of pyruvate oxidase
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤 昌弘、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Why is the oxygen-evolving complex in photosystem II composed of manganese instead of iron?
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鍵本 拓海、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Energy transfer pathways in light harvesting complex II
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳 楊、齊藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Effect of chlorine substitution by iodine in oxygen-evolving photosystem II
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沖 樹、石北 央
2. 発表標題 Extracellular electron transfer pathways in the multi-heme MtrABC complex
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 俊哉、齊藤 圭亮、三野 広幸、石北 央
2. 発表標題 Origin of electron paramagnetic resonance signals from the water-splitting complex in photosystem II
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神田 知樹、石北 央
2. 発表標題 Electron transfer pathways in photosynthetic type-I reaction centers
3. 学会等名 第2回システム生物医学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石北 央
2. 発表標題 光・電子・プロトンとタンパク質分子
3. 学会等名 第26回新学術「高速分子動画」オンラインセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 俊哉、斉藤 圭亮、三野 広幸、石北 央
2. 発表標題 水分解反応触媒における電子スピン共鳴 シグナルの起源
3. 学会等名 第36回分子シミュレーション大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石北 央
2. 発表標題 タンパク質分子構造と機能をつなぐ光・電子・プロトン
3. 学会等名 第19回糖鎖科学コンソーシアムシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaki Tsujimura, Hiroshi Ishikita
2. 発表標題 Light absorption, proton transfer, and ion transport in the light-driven sodium-pumping rhodopsin KR2
3. 学会等名 19th International Conference on Retinal Proteins (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 俊哉、斉藤 圭亮、三野 広幸、石北 央
2. 発表標題 Origin of electron paramagnetic resonance signals from the water-splitting complex in photosystem II
3. 学会等名 第14回筑波大学計算科学研究センター創立30周年記念シンポジウム（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Yatabe, Yutaro Saito, Iori Tamura, Yohei Kondo, Ryo Ishida, Tomohiro Seki, Keita Hiraga, Akihiro Eguchi, Yoichi Takakusagi, Keisuke Saito, Nobu Oshima, Hiroshi Ishikita, Kazutoshi Yamamoto, Murali C. Krishna, Shinsuke Sando
2. 発表標題 A newly designed hyperpolarized molecular probe enables the in vivo detection of aminopeptidase N activity from the tumor regions in animals
3. 学会等名 WMIC2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻村 真樹、石北 央
2. 発表標題 微生物型ロドプシンの吸収波長とプロトン移動の制御機構
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田村 宏之、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心における一方向の励起子電荷分離経路の分子論的起源
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 田村 宏之、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心における一方向の励起子電荷分離 経路の起源
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 雄太郎、谷田部 浩行、田村 伊織、近藤 洋平、石田 諒、関智 宏、平賀 啓太、江口 晃弘、高草木 洋一、斉藤 圭亮、大嶋野 歩、石北 央、山本 和俊、Murali C. Krishna、山東 信介
2. 発表標題 酵素反応速度論に立脚したアミノペプチダーゼ活性検出超偏極MRI分子プローブの開発
3. 学会等名 第16回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Ishikita
2. 発表標題 Quinone-mediated electron transfer in type II reaction centers
3. 学会等名 18th International Congress on Photosynthesis Research 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石北 央
2. 発表標題 タンパク質中におけるプロトン移動と電子移動
3. 学会等名 物性研短期研究会「理論タンパク質物性科学の最前線：理論と実験との密な協働」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻村 真樹、田村 宏之、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光受容タンパク質の色素が形成する低障壁水素結合における吸収波長
3. 学会等名 第48回生体分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千葉 義大、辻村 真樹、石北 央
2. 発表標題 ヘリオロドプシンの水素結合ネットワークと光反応におけるプロトン移動経路の解析
3. 学会等名 第22回 日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻村 真樹、小島 慧一、須藤 雄気、石北 央
2. 発表標題 微生物型ロドプシンにおける光駆動イオン輸送機構の解明
3. 学会等名 第22回 日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今泉 滉、西村 大志、長尾 遼、斉藤 圭亮、中野 雄司、石北 央、野口 巧、伊福 健太郎
2. 発表標題 塩素イオンの結合安定化を介した光 化学系 II の酸素発生活性の向上
3. 学会等名 日本光合成学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤 恭紀、三谷-上野 奈見季、齊藤 圭亮、松木 謙悟、Huang Sheng, Yang Lingli、山地 直樹、石北 央、沈 建仁、馬 建鋒、菅 倫寛
2. 発表標題 イネ由来ケイ酸チャネルによるケイ酸透過機構の構造基盤
3. 学会等名 第44回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yu Sugo, Keisuke Saito, Hiroshi Ishikita
2. 発表標題 Mechanism of the formation of proton transfer pathways in photosynthetic reaction centers
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 神田 知樹、齊藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 Electron acceptor - donor iron sites in the iron - sulfur cluster of photosynthetic electron-transfer pathways
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 辻村 真樹、小島 慧一、川西 志歩、須藤 雄気、石北 央
2. 発表標題 アニオンチャネルロドプシンのプロトンを介したアニオン透過機構の解明
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 齊藤 恭紀、三谷-上野 奈見季、齊藤 圭亮、松木 謙悟、Huang Sheng, Yang Lingli、山地 直樹、石北 央、沈 建仁、馬 建鋒、菅 倫寛
2. 発表標題 Structural basis for high selectivity of a rice silicic acid channel
3. 学会等名 PDBアジア地区50周年記念シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤 恭紀、三谷-上野 奈見季、齊藤 圭亮、松木 謙悟、Huang Sheng, Yang Lingli、山地直樹、石北 央、沈 建仁、馬 建鋒、菅 倫寛
2. 発表標題 穀物由来ケイ酸チャネルによるケイ酸輸送機構の構造学的研究
3. 学会等名 膜シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平賀 啓太、瀬川 勝盛、野地 智康、石北 央、長田 重一
2. 発表標題 フリッパーゼの変異による活性への影響
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中利 一輝、齊藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 タンパク質中における短い水素結合を含むネットワークの探索
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅生 優、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心におけるプロトン移動経路同定と機能解明
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田 知樹、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光化学系IIにおける鉄硫黄錯体を介した特異な電子移動機構
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村 真樹、野地 智康、斉藤 圭亮、小島 慧一、須藤 雄気、石北 央
2. 発表標題 アニオンチャネルロドプシンにおけるプロトンを介したアニオン透過機構の解明
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Ishikita
2. 発表標題 Electron and proton releasing sites in the oxygen-evolving complex of photosystem II
3. 学会等名 19th Congress of the European Society for Photobiology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石北 央
2. 発表標題 タンパク質分子内における酸化還元とプロトン授受
3. 学会等名 第4回人工光合成研究拠点講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田 知樹、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光化学系IIにおける鉄硫黄錯体を介した特異な電子移動機構
3. 学会等名 第28回光合成セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅生 優、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心におけるプロトン移動経路同定と機能解明
3. 学会等名 第28回光合成セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村 真樹、石北 央
2. 発表標題 微生物型ロドプシンにおける吸収波長と分子機能の考察
3. 学会等名 第28回光合成セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野地 智康、石北 央
2. 発表標題 バクテリオロドプシンにおける中間体の吸収波長変化の機構
3. 学会等名 第28回光合成セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村 真樹、野地 智康、斉藤 圭亮、小島 慧一、須藤 雄気、石北 央
2. 発表標題 微生物型ロドプシンにおける吸収波長と分子機能の考察
3. 学会等名 第47回生体分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅生 優、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心におけるプロトン移動経路同定と機能解明
3. 学会等名 第47回生体分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅生 優、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 光合成反応中心におけるプロトン移動経路同定と機能解明
3. 学会等名 第11回日本光合成学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村 真樹、斉藤 圭亮、石北 央
2. 発表標題 ジメチルフェニル誘導体への置換と機能・光化学的解析
3. 学会等名 第11回日本光合成学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 恒石 泰地、辻村 真樹、高橋 雅崇、 小島 慧一、石北 央、 竹内 靖雄、 須藤 雄気
2. 発表標題 Archaerhodopsin-3 (AR3) における発色団レチナールのジメチルフェニル誘導体への置換と機能・光化学的解析
3. 学会等名 生物物理学会・中国四国支部大会
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
---------	---------