

令和 2 年 4 月 29 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07442

研究課題名(和文) 網羅的な部位特異的置換による光合成水分解反応機構の解明

研究課題名(英文) Effects of site-directed mutations on photosynthetic water oxidation reactions

研究代表者

長尾 遼 (Nagao, Ryo)

岡山大学・異分野基礎科学研究所・特任講師

研究者番号：30633961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：植物、藻類、シアノバクテリアのチラコイド膜内に存在する光化学系II膜タンパク質(PSII)は、水を分解し酸素を発生する光反応酵素タンパク質である。本研究は、光合成水分解反応の各素反応に関与するアミノ酸の部位特異的変異体を作成し、変異体から精製したPSIIを用いて赤外分光測定による詳細な反応機構の解明を目指す。

PSIIの重要なサブユニットであるD1およびD2上のアミノ酸を変異対象とした。D1-Val157, D1-Ser169, D1-Asp170, D1-Asn298, D2-Val156が水分解反応および電子伝達反応において重要な役割を担うことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が完遂されることにより、水分解反応におけるアミノ酸配位子のマンガンクラスターへの寄与およびプロトン放出機構が明らかとなる。これは光に弱いPSIIを強化することによる光合成能増強に向けた基盤研究となり、将来的にはイネやトウモロコシなどの有用作物の生産量向上のための応用研究に繋がると考えられるため、その意義は大きい。また、太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する人工光合成デバイス、特に光を利用した水分解システムや効率的な水素発生システムの原理構築に繋がり、人工光合成分野の発展も期待できる。

研究成果の概要(英文)：Photosystem II (PSII) is a multi-subunit pigment-protein complex embedded in thylakoid membranes in plants, algae, and cyanobacteria. PSII serves as light-driven water-oxidation reactions. In this study, we examined mechanisms of the water-oxidation reactions, especially proton release and charge separation, by means of infrared spectroscopy using PSII isolated from site-directed mutants.

The mutations were introduced into D1 and D2 subunits in PSII, which have important amino acid residues for the water-oxidation reactions as suggested by the X-ray crystal structure of PSII. The Fourier transformed infrared and time-resolved infrared analyses clearly showed that at least five amino acid residues, D1-Val157, D1-Ser169, D1-Asp170, D1-Asn298, and D2-Val156, contribute to the reactions, that is, D1-Val157 and D2-Val156 are involved in charge-separation reaction, and the remaining D1-Ser169, D1-Asp170, and D1-Asn298 function in water-oxidation reaction.

研究分野：生化学

キーワード：光合成 シアノバクテリア 赤外分光 水分解反応

1. 研究開始当初の背景

チラコイド膜内に存在する光化学系 II 複合体 (PSII) は、マンガンクラスターを活性中心とし、水分解反応を行う。この反応は 5 つの反応中間状態の光誘起サイクル (S 状態サイクル) によって進み、結果として、二分子の水は一分子の酸素と 4 つの電子およびプロトンに分解される (図 1)。Umena らの PSII の X 線結晶構造解析により、マンガンクラスターが 4 つの Mn イオン、1 つの Ca^{2+} イオン、および 5 つの酸素原子から構成されていることが明らかとなった (図 2) [Umena et al. 2011]。しかし、結晶構造解析では PSII の静的な情報しか含んでおらず、詳細な水分解反応機構、特に各反応中間状態におけるマンガンクラスター周辺の詳細な構造変化やプロトン放出経路など、水分解反応の根幹をなすメカニズムは未だ明らかとなっていない。

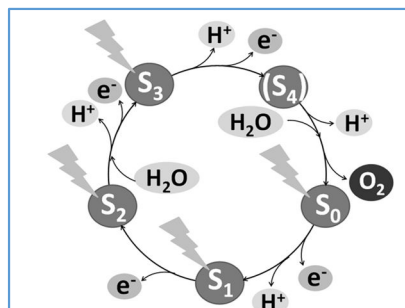


図 1. 水分解反応の S 状態サイクル

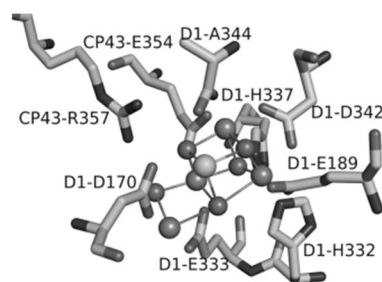


図 2. マンガンクラスターおよびアミノ酸配位子

結晶構造の情報をもとに、水分解反応機構の全容解明が世界中で行われている。特に、部位特異的変異株を用いた解析は、野生株との差を捉えることにより対象とするアミノ酸の水分解反応における役割を明らかにすることができるため、国内外問わず広く用いられている研究手法である。こうした中、申請者は部位特異的変異株を作成し、精製した PSII 試料を用いた赤外分光解析に従事してきた。赤外分光法はタンパク質複合体中の活性部位の詳細な構造変化、相互作用、反応を原子・分子レベルで調べる唯一の手法であるため、光合成水分解反応機構を解明するうえで強力なツールとなっている [Noguchi 2008; 2015]。従って、部位特異的変異株と赤外分光法を組み合わせることによって初めて、変異対象とするアミノ酸の水分解反応における原子・分子レベルの詳細な役割を明らかにすることが可能となる。

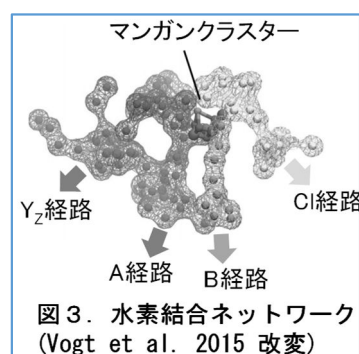
これまでの実験系では部位特異的変異株を一つずつ赤外分光解析してきたため、全てのアミノ酸を調べるには未だ至っていない。その最大の理由は、水分解反応に特徴的な四閃光周期振動を細胞レベルで簡易的に調べる方法がなかったためである。例えば、ある変異株において四周期振動に変化が生じれば、そのアミノ酸は水分解反応に影響を及ぼすということがいえる。所属研究室では閃光照射毎に PSII のマンガンクラスターと第二キノン電子受容体 Q_B との電荷再結合により生じる遅延蛍光を測定する装置を独自に開発しており、これは細胞を用いることにより四周期振動を測定することが可能である [Noguchi et al., 2002]。申請者はこれまでの研究により、PSII の水分解反応に重要な役割を果たすと考えられる全てのアミノ酸、特にマンガンクラスターのアミノ酸配位子および水素結合ネットワーク上のアミノ酸に対する変異株を作成してきた。そこで本研究ではまず、作成した全ての変異株細胞を遅延蛍光解析することにより各アミノ酸が四周期振動に変化をもたらすか調べ、次に変化が生じた株から精製した

PSII 試料を赤外分光解析することにより原子・分子レベルの反応メカニズムを明らかにするという着想に至った。

2. 研究の目的

上記の背景をもとに、本研究は PSII のマンガクラーのアミノ酸配位子および水素結合ネットワーク上のアミノ酸への部位特異的変異株を用いて、遅延蛍光解析や赤外分光解析をすることにより、水分解反応における各アミノ酸の役割を網羅的に調べ、各反応中間状態における活性中心周辺のタンパク質構造のマンガクラーへの寄与や水分解反応により生じるプロトンの放出経路を明らかにすることを目的とする。具体的な内容を以下に記述する。

- (1)マンガクラーのアミノ酸配位子(図2)はマンガクラーの安定化をもたらすと考えられているが、それぞれのアミノ酸配位子の各 S 状態遷移における寄与は不明である。本研究では、アミノ酸配位子の部位特異的変異株を用いて遅延蛍光法による細胞レベルの四周期振動や PSII 試料を用いて赤外分光法によるタンパク質構造の変化を測定し、各 S 状態遷移におけるマンガクラーとのアミノ酸配位子との相互作用を明らかにする。
- (2)マンガクラーからルーメン側へと繋がる水素結合ネットワークは4つ存在し、これらが水分解反応により生じたプロトンの放出経路として機能すると考えられている。4つのネットワークとは、Cl⁻イオンを経由する Cl 経路、Y_Zを経由する Y_Z 経路、多くの水分子から構成される Y_Z 近傍の A 経路、マンガクラーの酸素原子 O₄ と繋がる B 経路である(図3)。プロトンは S₂→S₃, S₃→S₀, S₀→S₁ 遷移においてそれぞれ1個、2個、1個ずつ放出されるが(図1)[Suzuki et al. 2009]、どの経路が実際にプロトン放出のために利用されているか不明である。本研究では、4つの経路上の部位特異的変異株を用いて遅延蛍光法による細胞レベルの四周期振動や PSII 試料を用いて赤外分光法による水素結合相互作用の変化を測定し、各 S 状態遷移において生じるプロトンがどの経路を辿りルーメン側へと放出されるかを明らかにする。



3. 研究の方法

光合成水分解反応におけるマンガクラーのアミノ酸配位子および水素結合ネットワーク上のアミノ酸の役割を明らかにするために、初年度は遅延蛍光法による部位特異的変異株の網羅的な解析から四周期振動に影響を与えるアミノ酸を示し、各アミノ酸の水分解反応への寄与の全体像を明らかにする。次年度以降は、野生株と顕著な差が現れた変異株からは PSII を精製し、光誘起フーリエ変換赤外 (FTIR) 測定および時間分解赤外 (TRIR) 測定により各反応中間状態において生じるタンパク質および水素結合の構造変化やキネティクスを解析し、各アミノ酸の水分解反応における詳細な機能を原子・分子レベルで明らかにする。すでに、対象とする変異株は全て作成済みであり、その一部においては遅延蛍光解析および赤外分光解析が進んでいる。

4 . 研究成果

1) PSII の電荷分離反応における D1-Val157 および D2-Val156 の寄与

光エネルギーを利用し電荷分離反応を行う反応中心クロロフィル P680 はクロロフィルの二量体 (PD1, PD2) を形成する。電荷分離後に PD1 および PD2 のどちらにも正電荷が多く蓄積するのか明らかにするために、P680 近傍に位置するアミノ酸 D1-Val157, D2-Val156 に変異導入し、赤外分光解析した。その結果、正電荷は PD1 側に多く分布することを実証した。この内容を論文として纏めた[Nagao et al., (2017) J. Biol. Chem. 292: 7474–7486]。

2) PSII のプロトン放出における D1-Asn298 の寄与

水分解反応で生じるプロトンがどの水素結合ネットワークを経て膜外へと放出されるのか明らかにするために、酸化還元活性のある D1-Tyr161 残基を経由する水素結合ネットワーク上のアミノ酸 D1-Asn298 に変異導入し、精製 PSII を試料とし赤外分光解析した。その結果、このネットワークがプロトン移動経路として機能することが判明した。この内容を論文として纏めた[Nagao et al., (2017) J. Biol. Chem. 292: 20046–20057]。

3) PSII の水分解反応における D1-Asp170 の寄与

マンガククラスターにはいくつかのアミノ酸が配位子として結合する。このうち D1-Asp170 を His へ置換する変異導入を行い、精製 PSII を試料とし赤外分光解析した。得られたスペクトルは野生株と全く同じであった。質量分析の結果、変異体の D1-D170 のサイトに変異が入っていないことが判明した。変異体細胞の全ゲノムシーケンスをしたところ、ゲノム上ではたしかに変異導入されていた。培養条件を検討したところ、興味深いことに、従属栄養条件下でのみ D1-D170H の変異がタンパク質レベルで有意に確認された。これらの結果は、光合成生物にとって必須であるマンガククラスター周辺のアミノ酸は、培養条件により翻訳システムが変わることを示しているのかもしれない。この内容を論文として纏めた[Kitajima-Ihara et al., 2020 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg. 1861: 148086]。

4) PSII のプロトン放出における D1-Ser169 の寄与

水分解反応で生じるプロトンがどの水素結合ネットワークを経て膜外へと放出されるのか明らかにするために、マンガククラスターを構成する酸素原子(O4) を経由する水素結合ネットワーク上のアミノ酸 D1-Ser169 に変異導入し、精製 PSII を試料とし赤外分光解析した。フーリエ変換赤外分光および時間分解赤外分光測定により、各 S 状態遷移における D1-S169A 変異の影響が小さいことを見出した。一方、熱発光測定の結果、D1-S169 がマンガククラスターの酸化還元電位に寄与することが判明した。このことは、O4 を経由するネットワークがプロトン移動経路としてではなく水分子の輸送経路として機能することを示唆する。この内容を論文として纏めた[Shimada et al., 2020 J. Phys. Chem. B 124: 1470–1480]。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nagao, R., Yokono, M., Ueno, Y., Jiang, T.-Y., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 124
2. 論文標題 pH-induced regulation of excitation energy transfer in cyanobacterial photosystem I tetramer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 1949-1954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c01136	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 Shimada, Y., Kitajima-Ihara, T., Nagao, R., Noguchi, T.	4. 巻 124
2. 論文標題 Role of the O4 channel in photosynthetic water oxidation as revealed by Fourier transform infrared difference and time-resolved infrared analysis of the D1-S169A mutant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 1470-1480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.9b11946	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 Nagao, R., Yokono, M., Ueno, Y., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 124
2. 論文標題 Excitation-energy transfer and quenching in diatom PSI-FCPI upon P700 cation formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 1481-1486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c00715	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 Kato, K., Shinoda, T., Nagao, R., Akimoto, S., Suzuki, T., Dohmae, N., Chen, M., Allakhverdiev, S.I., Shen, J.-R., Akita, F., Miyazaki, N., Tomo, T.	4. 巻 11
2. 論文標題 Structural basis for the adaptation and function of chlorophyll f in photosystem I	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-13898-5	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 Kitajima-Ihara, T., Suzuki, T., Nakamura, S., Shimada, Y., Nagao, R., Dohmae, N., Noguchi, T.	4. 巻 1861
2. 論文標題 Fourier transform infrared and mass spectrometry analyses of a site-directed mutant of D1-Asp170 as a ligand to the water-oxidizing Mn4CaO5 cluster in photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.	6. 最初と最後の頁 148086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2019.148086	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 Nagao, R., Ueno, Y., Yokono, M., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 141
2. 論文標題 Effects of excess light energy on excitation-energy dynamics in a pennate diatom <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photosynth. Res.	6. 最初と最後の頁 355-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11120-019-00639-4	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 Ueno, Y., Nagao, R., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Spectral properties and excitation relaxation of novel fucoxanthin chlorophyll a/c-binding protein complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 5148-5152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b02093	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 Nagao, R., Kato, K., Suzuki, T., Ifuku, K., Uchiyama, I., Kashino, Y., Dohmae, N., Akimoto, S., Shen, J.-R., Miyazaki, N., Akita, F.	4. 巻 5
2. 論文標題 Structural basis for energy harvesting and dissipation in a diatom PSII-FCPII supercomplex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nat. Plants	6. 最初と最後の頁 890-901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-019-0477-x	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 Nagao, R., Yokono, M., Ueno, Y., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 pH-sensing machinery of excitation energy transfer in diatom PSI-FCPI complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 3531-3535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b01314	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 Kato, Y., Ohira, A., Nagao, R., Noguchi, T.	4. 巻 1860
2. 論文標題 Does the water-oxidizing Mn ₄ CaO ₅ cluster regulate the redox potential of the primary quinone electron acceptor QA in photosystem II? A study by Fourier transform infrared spectroelectrochemistry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.	6. 最初と最後の頁 148082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2019.148082	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 Nagao, R., Ueno, Y., Yokono, M., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 1859
2. 論文標題 Alterations of pigment composition and their interactions in response to different light conditions in the diatom <i>Chaetoceros gracilis</i> probed by time-resolved fluorescence spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.	6. 最初と最後の頁 524-530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2018.04.003	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 Nakajima, Y., Umena, Y., Nagao, R., Endo, K., Kobayashi, K., Akita, F., Suga, M., Wada, H., Noguchi, T., Shen, J.-R.	4. 巻 293
2. 論文標題 Thylakoid membrane lipid sulfoquinovosyl-diacylglycerol (SQDG) is required for full functioning of photosystem II in <i>Thermosynechococcus elongatus</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 14786-14797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.RA118.004304	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 Nagao, R., Ueno, Y., Akita, F., Suzuki, T., Dohmae, N., Akimoto, S., Shen, J.-R.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Biochemical characterization of photosystem I complexes having different subunit compositions of fucoxanthin chlorophyll a/c-binding proteins in the diatom <i>Chaetoceros gracilis</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photosynth. Res.	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11120-018-0576-y	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 Jana, S., Du, T., Nagao, R., Noguchi, T., Shibata, Y.	4. 巻 1860
2. 論文標題 Redox-state dependent blinking of single photosystem I trimers at around liquid-nitrogen temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.	6. 最初と最後の頁 30-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2018.11.002	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 Nagao, R., Yokono, M., Ueno, Y., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 123
2. 論文標題 Low-energy chlorophylls in fucoxanthin chlorophyll a/c-binding protein conduct excitation energy transfer to photosystem I in diatoms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 66-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b09253	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 Nagao, R., Kagatani, K., Ueno, Y., Shen, J.-R., Akimoto, S.	4. 巻 123
2. 論文標題 Ultrafast excitation-energy dynamics in diatom photosystem I-antenna complex: A femtosecond fluorescence upconversion study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 2673-2678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b12086	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 Nagao, R., Yamaguchi, M., Nakamura, S., Ueoka-Nakanishi, H., Noguchi, T.	4. 巻 292
2. 論文標題 Genetically introduced hydrogen bond interactions reveal an asymmetric charge distribution on the radical cation of the special-pair chlorophyll P680	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 7474-7486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.M117.781062	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 Nagao, R., Ueoka-Nakanishi, H., Noguchi, T.	4. 巻 292
2. 論文標題 D1-Asn-298 in photosystem II is involved in a hydrogen-bond network near the redox-active tyrosine YZ for proton exit during water oxidation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Biol. Chem.	6. 最初と最後の頁 20046-20057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.M117.815183	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 Nagao, R., Kitazaki, S., Noguchi, T.	4. 巻 1859
2. 論文標題 Evaluation of photosynthetic activities in thylakoid membranes by means of Fourier transform infrared spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg.	6. 最初と最後の頁 129-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2017.11.004.	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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Taichi Hayase, Yuichiro Shimada, Ryo Nagao, Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR study on the localization of the excited triplet state of chlorophyll in photosystem II
3. 学会等名 第57回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Yasutada Okamoto, Yuichiro Shimada, Ryo Nagao, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Time-resolved infrared analysis of proton release pathways in photosynthetic water oxidation using a D1-N298A mutant and NO ₃ -substitution
3. 学会等名 第57回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Yuichiro Shimada, Seiryu Nakajima, Ryo Nagao, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Molecular mechanism of pH-dependent electron-flow regulation in photosystem II
3. 学会等名 第57回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 嶋田友一郎、中島聖竜、長尾遼、野口巧
2. 発表標題 光化学系IIにおけるpHに依存する電子移動制御の分子機構
3. 学会等名 第10回日本光合成学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 長尾 遼、秋田 総理、加藤公児、鈴木健裕、伊福健太郎、内山郁夫、葉子野康浩、堂前直、秋本誠志、宮崎直幸、沈建仁
2. 発表標題 珪藻光化学系II膜タンパク質複合体の構造解析
3. 学会等名 日本光合成学会年会およびシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嶋田友一郎、北島智美、長尾遼、野口巧
2. 発表標題 光化学系IIにおけるMn4CaO5クラスター近傍に位置する D1-Ser169の水分解反応への関与
3. 学会等名 日本光合成学会年会およびシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤祐樹、大平彩花、長尾遼、野口 巧
2. 発表標題 FTIR分光法で明らかになった光化学系II第一キノン電子受容体QAの酸化還元特性
3. 学会等名 生体分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長尾 遼、秋田 総理、加藤公児、鈴木健裕、伊福健太郎、内山郁夫、菓子野康浩、堂前直、秋本誠志、宮崎直幸、 沈建仁
2. 発表標題 クライオ電子顕微鏡による珪藻PSII-FCPII複合体の構造解析
3. 学会等名 第26回「光合成セミナー2018：反応中心と色素系の多様性
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Nagao, Fusamichi Akita, Koji Kato, Takehiro Suzuki, Kentaro Ifuku, Ikuo Uchiyama, Yasuhiro Kashino, Naoshi Dohmae, Seiji Akimoto, Naoyuki Miyazaki, Jian-Ren Shen
2. 発表標題 Cryo-EM structures of PSII-FCPII complexes in the diatom <i>Chaetoceros gracilis</i>
3. 学会等名 1st Asia-Oceania International Congress on Photosynthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Nagao, Fusanichi Akita, Koji Kato, Takehiro Suzuki, Kentaro Ifuku, Ikuo Uchiyama, Yasuhiro Kashino, Naoshi Dohmae, Seiji Akimoto, Naoyuki Miyazaki, Jian-Ren Shen
2. 発表標題 Cryo-EM structures of diatom PSII-FCPII supercomplexes
3. 学会等名 International Symposium on Photosynthesis and Chloroplast Biogenesis 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嶋田友一郎、北島(井原)智美、長尾 遼、野口巧
2. 発表標題 光化学系II のD1-S169A変異体を用いた水分解機構の解析
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長尾 遼、秋田 総理、加藤公児、鈴木健裕、伊福健太郎、内山郁夫、菓子野康浩、堂前直、秋本誠志、宮崎直幸、 沈建仁
2. 発表標題 珪藻PSII-FCPII複合体のクライオ電顕構造解析
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----