

令和 3 年 4 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03662

研究課題名(和文) 光合成による水分解：プロトン共役電子移動の分子機作

研究課題名(英文) Photosynthetic water oxidation: Molecular mechanism of proton-coupled electron transfer

研究代表者

野口 巧 (Noguchi, Takumi)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：60241246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：光合成水分解反応のプロトン共役電子移動のメカニズムについて、赤外分光法、量子化学計算、部位特異的変換などを用いて研究を行った。水分解反応の各中間状態遷移におけるプロトン、水分子、および電子移動の過程を追跡し、光化学系 II タンパク質におけるプロトンおよび水分子の移動経路を同定した。また、水分解の触媒部位であるMn₄CaO₅クラスターの形成過程を観測し、その構築機構のモデルを提唱した。さらに、Mnのアミノ酸配位子の新奇なアミノ酸変換機構を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、天然の光合成における水分解・酸素発生反応の分子機構、およびその触媒部位であるMn₄CaO₅クラスターの構築過程について多くの知見が得られた。現在人類が直面するエネルギー問題、地球温暖化問題の解決の鍵を握る、人工光合成系の構築および実用化のためには、高効率な水分解触媒の開発が急務であり、本研究で得られた知見は、こうした人工水分解触媒の設計の基本原則を与え、大きく社会に貢献するものであると考えている。

研究成果の概要(英文)：We studied the molecular mechanism of proton-coupled electron transfer in photosynthetic water oxidation mainly using infrared spectroscopy, quantum chemical calculations, and site-directed mutagenesis. The process of proton and water transfer as well as electron transfer was detected, and proton and water pathways in photosystem II proteins were identified. In addition, the formation process of the Mn₄CaO₅ cluster, which is a catalytic center of water oxidation, was observed. Furthermore, we found novel mechanism of light-induced amino acid conversion at the ligands of the Mn ions.

研究分野：生物物理学

キーワード：生物物理 光合成 赤外分光 水分解 電子移動

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光合成水分解反応は、光化学系 蛋白質に結合する Mn クラスターを活性中心とする水分解系において、5つの中間状態 (S0-S4) の光駆動サイクルによって行われる。その反応は、プロトン移動と電子移動が連動して起こる、いわゆる「プロトン共役電子移動」から成る。Mn クラスターの安定構造 (S1) は、高分解能 X 線結晶解析によって明らかにされたが、他の中間体の構造は不明であり、水分解反応の具体的な分子機構についてはほとんど未解明であった。そうした水分解機構の解明のためには、「プロトン移動と電子移動の時間・エネルギー相関」を明らかにし、水分解反応の動作原理を理解する必要がある。そのような研究には、水素結合やプロトンの変化に敏感であり、水分解系の反応を原子レベルで詳細に追跡することができる赤外分光法、特に、光誘起フーリエ変換赤外 (FTIR) 差分光法および時間分解赤外分光法が最も有効である。研究代表者は、赤外分光法を用いた水分解機構解明の研究を長年に渡って行い、赤外分光法による水分解機構研究の手法を確立してきた。また、量子力学/分子力学法を用いた大規模計算によって、アミノ酸配位子および水分子ネットワークの構造・振動解析を行ってきた。しかし、これまでに得られた知見は未だ断片的であり、水分解機構の全貌を解明するには不十分であった。安定中間状態の X 線構造が得られたことから、これまで研究代表者が培ってきた赤外分光技術と知見を発展させ、より詳細な構造・反応・エネルギー情報を得ることにより、光合成水分解反応の分子機構解明に挑戦できる状況にあった。

2. 研究の目的

本研究では、プロトン共役電子移動に注目して、光合成水分解反応の動作原理と具体的な分子機構を解明する。水分解反応の動作原理を解く鍵は、「電子移動とプロトン移動の時間・エネルギー相関」による反応制御にある。そこで、各中間状態遷移における、(1) プロトン放出および電子移動の時間相関と酸化還元電位制御機構、(2) 蛋白質内プロトン放出経路、(3) 電子・プロトン移動におけるアミノ酸残基の役割、の解明に焦点を絞って研究を行う。

3. 研究の方法

蛋白質中の個々の化学結合・相互作用変化を検出できる光誘起フーリエ変換赤外 (FTIR) 差分光法、および、反応の時間挙動を追跡できる時間分解赤外分光法 (TRIR) を主な手法として用いて研究を行った。それに加え、基質アナログの交換による変化を検出できる全反射吸収 (ATR) FTIR 法、アミノ酸側鎖・水分子の角度情報が得られる偏光 FTIR 法、酸化還元電位の測定のための FTIR 電気化学計測など、様々な赤外計測技術を駆使して測定を行った。また、水分解系の中間状態のポテンシャル情報を与える、熱発光・遅延蛍光測定も併用した。さらに、量子力学/分子力学法 (QM/MM) を用いた量子化学計算を行い、中間状態や様々なプロトン化モデルの最適化構造、振動構造、および酸化還元電位を求めた。試料については、シアノバクテリアに部位特異変異を導入し、様々な化学的摂動を加え、これらの効果を解析した。

4. 研究成果

光合成水分解反応の「プロトン共役電子移動」のメカニズムについて、赤外分光法、量子化学計算、部位特異的変換を主に用い、以下の成果を得た。

(1) 時間分光赤外分光法によるプロトン共役電子移動の検出

水分解反応の S 状態サイクル (S1→S2→S3→S0→S1) では、S2-S3, S3-S0, S0-S1 遷移においてプロトンが放出される。また、S2-S3, S3-S0 遷移において基質水分子が挿入される。時間分解赤外分光を用いて、S0-S1 遷移および S2-S3 遷移におけるプロトン移動と電子移動の時間相関、また S2-S3 遷移における水分子の挿入プロセスを調べた。

S0-S1 遷移

S0-S1 遷移は水分解反応の最初の酸化ステップであるが、最も安定な S1 状態から 4 閃光目に起こるため、詳細な研究が困難であった。本研究では、3 閃光後に暗順応を挟んで 1 閃光を与えることにより、他の遷移の混入のない S0-S1 遷移の信号を得た。その結果、S0-S1 遷移では電子移動律速のプロトン共役電子移動が起こり、S 状態遷移の中では最も速い速度 (~45 μs) で電子・プロトン移動が起こることが示された。このことから、S0 状態では、Mn₄CaO₅ クラスターの O4 がプロトン化しており、Mn₃ の酸化後に直ちに O4 から続く水分子鎖を経由してプロトンが放出されることが示唆された (Shimizu et al., 2018)。

S2-S3 遷移

S2-S3 遷移ではプロトン放出とともに基質水分子の挿入が起こり、O-O 結合生成直前の S3 中間状態を生成する。よって、この遷移での反応過程を明らかにすることは、水分解反応の理解の鍵となる。時間分解赤外法を用いて S2-S3 遷移での反応過程を追跡した結果、約 100 μs で YZ 近傍の水ネットワークの再配置が起こり、約 350 μs でプロトン共役電子移動が起こることが示された。反応速度への H/D 同位体効果から、この反応はプロトン移動律速であることが示唆された (Sakamoto et al., 2017)。次に、それを確かめるために、好熱性シアノバクテリア *T. elongatus* の YD 欠損変異体 (D2-Y160F) から調製した光化学系 タンパク質を用いて、S2-S3 遷移の電子・

プロトン移動速度の pH 依存性を調べた。その結果、pH を下げることによって、 $\sim 350 \mu\text{s}$ の速度成分が著しく遅延することが示され、この成分がプロトン移動律速の電子移動反応によることが確かめられた (Takemoto et al., 2019)。一方、水分子の挿入については、 $\sim 100 \mu\text{s}$ での YZ 近傍の水分子ネットワークの変化に引き続き、 $\sim 350 \mu\text{s}$ でプロトン放出と同時に、Ca に配位する W3 から O5 近傍に水の移動が起こることが示唆された。

(2) プロトン化構造の解明

Mn4CaO5 クラスタおよびその配位子、近傍アミノ酸側鎖のプロトン化構造は、水分解反応を理解するために必須な情報である。本研究では、Mn4CaO5 クラスタに相互作用するヒスチジン残基 (D1-H337) 水配位子、S0 状態の架橋酸素のプロトン化構造について調べた。

D1-H337 のプロトン化構造

光誘起偏光赤外全反射吸収差分法を用いて、Mn4CaO5 クラスタの架橋酸素 (O3) と相互作用するヒスチジン残基 D1-H337 のプロトン化構造を調べた。その結果、このヒスチジン残基は、水分解反応の中間状態サイクルを通して、常にプロトン化したカチオン型として存在していることが示された。このことは、Mn4CaO5 クラスタの O3 が水素結合受容体として働き、脱プロトン化した状態であることを示している。また、量子力学 / 分子力学 (QM/MM) 法を用いた量子化学計算により、このヒスチジンカチオンの正電荷が、Mn クラスタを高い電位に保ち、水分解能の発現に重要な役割を果たしていることが示された (Nakamura et al., 2017)。

Mn4CaO5 クラスタに結合する水分子のプロトン化構造

Mn4CaO5 クラスタに結合する 4 つの水分子のプロトン化構造は、基質水分子の候補であり、そのプロトン構造を明らかにすることは極めて重要である。そこで、QM/MM 法による量子化学計算により、水配位子が H2O または OH⁻ である場合について Mn-O 距離を計算し、X 線結晶解析で実測された距離と比較した。その結果、S0 から S2 状態において、4 つのすべての水配位子 (W1-W4) は、プロトン化された H2O 分子であることが示された (Yamamoto et al., 2020)。

S0 状態におけるプロトン化構造とプロトン放出機構の解明

最も酸化状態が低い S0 状態の Mn4CaO5 クラスタのプロトン化構造は、S0-S1 遷移におけるプロトン移動機構を明らかにするための鍵となる。そこで、QM/MM 計算により S0-S1 遷移による赤外差スペクトルを計算し、実測 FTIR 差スペクトルと比較した。その結果、Mn4CaO5 クラスタの O4 酸素がプロトン化している構造が最も実測スペクトルを再現することが示された。よって、S0 状態の O4-H プロトンが S0-S1 遷移において放出されると結論された (Yamamoto et al., 2020)。

(3) プロトン・水分子移動経路の解明

Mn4CaO5 クラスタからルーメン側に伸びる主な水チャンネルには、「O1 チャンネル」、「O4 チャンネル」、「Cl チャンネル」の 3 つが知られている。水分解反応において放出される 4 つのプロトン、取り込まれる 2 つの水分子がどのチャンネルが経由して移動するか、また、各プロトンまたは水分子が各遷移において異なるチャンネルを用いるのかは明らかにされていなかった。そこで、部位特異的変異体の赤外分光解析から、プロトンおよび水分子の移動経路を調べた。

O1 チャンネルおよび Cl チャンネルを経由する水・プロトン移動

YZ から始まり、O1 および D1-N298 近傍を通過する幅の広い「O1 チャンネル」の水・プロトン移動における役割を調べるため、D1-N298 をアラニンに改変した D1-N298A 変異体を作成し、熱発光・遅延蛍光および赤外分光測定を行った。その結果、この変異により、S2-S3、S3-S0 遷移が阻害されることが示され、O1 チャンネルの水ネットワークがこれらの遷移におけるプロトン放出または水取り込み経路として機能していることが示された (Nagao et al., 2017)。さらに、時間分解赤外法を用いて、D1-N298A 変異体と「Cl チャンネル」中の Cl⁻ イオンを NO3⁻ に置換した試料について、S2-S3 遷移の速度への影響および D2O 置換による同位体効果を調べた。その結果、水分子の取り込みには O1 チャンネルが使われており、一方、プロトン放出は Cl チャンネルを介して行われることが示された (Okamoto et al., submitted)。

O4 チャンネルを介したプロトン移動

上記の S0-S1 遷移の TRIR 測定、および S0 におけるプロトン化構造の研究において、S0-S1 遷移では O4 から始まる「O4 チャンネル」の水ネットワークを介してプロトンが放出されることが示唆された。一方、このチャンネルは S2-S3 遷移における水分子の取り込み経路として機能するという説が複数のグループから出されていた。そこで、O4 に水素結合する水分子と相互作用するセリン残基 D1-Ser169 をアラニンに置換した D1-S169A 変異体を作成し、その反応を FTIR 差分法、時間分解赤外分光法および熱発光を用いて調べた。その結果、この変異により、Mn4CaO5 クラスタの酸化還元電位は低下するものの、各中間状態遷移の効率および速度には大きな変化がないことが示された。このことから、O4 チャンネルは S2-S3 遷移における水取り込みには直接関与しないこと、O4 の水素結合は電子移動を制御することが明らかとなった (Shimada et al., 2020)。

アルコール阻害の効果

メタノール、エタノール、2 - プロパノールなど低分子アルコールの光合成水分解反応への効果を、FTIR 差分分光法および時間分解赤外法を用いて調べた。その結果、これらのアルコールは Mn₄CaO₅ クラスタ近傍の水分子チャンネルに結合し、S2-S3 および S3-S0 遷移を阻害することが示された。幅の狭い O4 チャンネルにはエタノールや 2 - プロパノールなどのアルコールは結合できないと考えられることから、S2-S3 および S3-S0 遷移では水分子の取り込みおよびプロトン放出に O4 チャンネルを使用していないことが示された (Yata et al., 2018)。上記の S0-S1 遷移および S0 のプロトン化構造の結果も考慮し、O4 チャンネルを介したプロトン移動は S0-S1 遷移でのみ起こることが結論された。

(4) Mn₄CaO₅ クラスタの構築機構

水分解 Mn₄CaO₅ クラスタは、光活性化と呼ばれる光誘起過程によって、アポ光化学系 タンパク質のルーメン側に構築されるが、その機構の多くは不明であった。そこで、赤外分光法、高速原子間力顕微鏡、量子化学計算を用いてこの構築過程を調べた。

高速原子間力顕微鏡 (HS-AFM) による光化学系 の構造ダイナミクスの直接観察

高速原子間力顕微鏡を用いて、光化学系 タンパク質の水分解系近傍の構造ダイナミクスを観測した。その結果、まず、表在性タンパク質 PsbP および PsbO が解離し、次に Mn₄CaO₅ クラスタが破壊されると、それに直接的に相互作用する CP43 タンパク質のルーメン側ドメインが構造ゆらぎを起こすことが示された。この結果から、CP43 タンパク質の構造ゆらぎが、Mn₄CaO₅ クラスタの構築を促進するモデルを提唱した (Tokano et al., 2020)。

量子化学計算による Mn²⁺の結合位置の推定

光活性化過程において、アポ光化学系 タンパク質に最初に Mn²⁺が結合する位置を、QM/MM 法を用いた量子化学により予測した。その結果、Mn²⁺は、D1-H332, D1-E189 が配位する Mn1 部位に最初に結合することが示唆された (Nakamura and Noguchi, 2019)。しかし、その後のクライオ電子顕微鏡による研究から、アポタンパク質の構造は大きなコンフォメーション変化を起こしていることが明らかとなり、ここで計算した結合位置は実際にはコンフォメーション変化後の光酸化された Mn³⁺の結合位置であることが示唆された (Sato et al., 2021)。

ラピッドスキャン時間分解全反射 (ATR) FTIR 法による Mn₄CaO₅ クラスタ形成過程

ラピッドスキャン時間分解 ATR-FTIR 法を用いて、アポ光化学系 タンパク質における Mn₄CaO₅ クラスタ形成の初期過程を追跡した。その結果、最初の Mn²⁺の光酸化はほぼ 100%の効率で起こること、酸化された Mn³⁺は約 0.7 秒で結合部位から解離して Mn²⁺に置き換わること、Mn³⁺生成後のいわゆる「暗再構成 (dark rearrangement) 過程」は極めて量子効率が低いことが示された。密度汎関数法を用いた量子化学計算によって、Mn²⁺の光酸化の際の実測赤外差スペクトルを再現し、Mn²⁺はコンフォメーション変化前のアポタンパク質において D1-D170 と D1-E189 に配位することが示された。また、コンフォメーション変化後の成熟タンパク質における Mn³⁺の結合位置を計算し、先に計算した Mn²⁺の結合位置と一致することが示された。さらに、Mn³⁺の緩和を取り入れた逐次反応の式によって、過去の光活性化の量子効率の閃光間隔依存性のデータが再現され、低い光活性化の量子効率 (0.01) は、Mn³⁺の緩和と極めて遅い「暗再構成過程」との競争によることが示された。これらの結果から、Mn₄CaO₅ クラスタの構築過程のモデルを提唱した (Sato et al., 2021)。

(5) Mn 配位子の新規な光誘起アミノ酸変換

Mn₄CaO₅ クラスタにおいて Mn と Ca を架橋する D1-Asp170 をヒスチジンに置換した D1-D170H 変異体を作成し、その光化学系 タンパク質を光誘起 FTIR 差分分光および質量分析によって解析した。その結果、変異導入された His 側鎖が、元の Asp 側鎖に変換され、野生株と同様の FTIR スペクトルが観測されることが示された。全ゲノム解析等から、この現象は DNA レベルで変換ではないことが示され、これまでに知られていない、Mn 結合サイトに特異的な光誘起アミノ酸変換であることが推測された (Ihara-Kitajima et al., 2020)。これを確かめるため、同位体置換 ¹³C-His を取り込ませた D1-D170H 細胞に光変換を施し、D1 タンパク質の質量分析および光化学系 の FTIR スペクトルを測定した。その結果、¹³C 置換された D1-D170 と D170 の赤外バンドの低波数シフトが観測され、アミノ酸レベルでの His から Asp への変換が起こることが証明された (Shimada et al., in preparation)。Mn を含まない培地では光変換が起こらないことから、Mn₄CaO₅ クラスタの形成過程において光酸化された Mn³⁺が変異アミノ酸を本来のカルボキシル基に酸化する機構が提唱された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 K. Kawahara, N. Inoue-Kashino, K. Namie, Y. Kato, T. Tomo, Y. Shibata, Y. Kashino, and T. Noguchi	4. 巻 9
2. 論文標題 A gold nanoparticle conjugate with photosystem I and photosystem II for development of a biohybrid water-splitting photocatalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biomed. Spectrosc. Imaging	6. 最初と最後の頁 73-81
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/BSI-200200	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 S. Taguchi, T. Noguchi, and H. Mino	4. 巻 124
2. 論文標題 Molecular Structure of the S2 state with a g = 5 signal in the oxygen evolving complex of photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 5531-5537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c02913	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 S. Taguchi, L. Shen, G. Han, Y. Umena, J.-R. Shen, T. Noguchi, and H. Mino	4. 巻 11
2. 論文標題 Formation of the high-spin S2 state related to the extrinsic proteins in the oxygen evolving complex of photosystem II	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 8908-8913
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcclett.0c02411	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 T. Tokano, Y. Kato, S. Sugiyama, T. Uchihashi, and T. Noguchi,	4. 巻 124
2. 論文標題 Structural dynamics of a protein domain relevant to the water-oxidizing complex in photosystem II as visualized by high-speed atomic force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 5847-5857
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c03892	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 M. Yamamoto, S. Nakamura, and T. Noguchi,	4. 巻 22
2. 論文標題 Protonation structure of the photosynthetic water oxidizing complex in the S0 state as revealed by normal mode analysis using quantum mechanics/molecular mechanics calculations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 24213-24225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP04079G	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 M. Kimura, Y. Kato, and T. Noguchi	4. 巻 59
2. 論文標題 Protonation state of a key histidine ligand in the iron-quinone complex of photosystem II as revealed by light-induced ATR-FTIR spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 4336-4343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.0c00810	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 M. Sugiura, T. Taniguchi, N. Tango, M. Nakamura, J. Sells, and A. Boussac	4. 巻 171
2. 論文標題 Probing the role of Arginine 323 of the D1 protein in Photosystem II function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiol. Plant.	6. 最初と最後の頁 183-199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.13115	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 杉浦美羽	4. 巻 4月号
2. 論文標題 明らかにされつつある光合成によるエネルギー変換のしくみと応用への期待	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気評論	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) 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 A. Sato, Y. Nakano, S. Nakamura, and T. Noguchi	4. 巻 125
2. 論文標題 Rapid-Scan Time-Resolved ATR-FTIR Study on the Photoassembly of the Water-Oxidizing Mn4CaO5 Cluster in Photosystem II	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4031-4045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c01624	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 H. Takemoto, M. Sugiura, and T. Noguchi	4. 巻 58
2. 論文標題 Proton release process during the S2-to-S3 transition of photosynthetic water oxidation as revealed by the pH dependence of kinetics monitored by time-resolved infrared spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 4276-4283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.9b00680	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 T. Kitajima-Ihara, T. Suzuki, S. Nakamura, Y. Shimada, R. Nagao, N. Dohmae, and T. Noguchi	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 Bioenergetics	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 Y. Shimada, T. Kitajima-Ihara, R. Nagao, and T. Noguchi	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.jpcc.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 Y. Kato, S. Haniu, Y. Nakajima, F. Akita, J.-R. Shen, and T. Noguchi,	4. 巻 124
2. 論文標題 FTIR Microspectroscopic analysis of the water oxidation reaction in a single photosystem II microcrystal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 121-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10154	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 Y. Kato, A. Ohira, R. Nagao, and T. Noguchi	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 2020年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta Bioenergetics	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 A. Boussac, J. Selles, and M. Sugiura,	4. 巻 1861
2. 論文標題 What can we still learn from the electrochromic band-shifts in Photosystem II?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 148176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2020.148176	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 T. Motomura, L. Zuccarello, P. Setif, A. Boussac, Y. Umena, D. Lemaire, J. N. Tripathy, M. Sugiura, R. Hienerwadel, J.-R. Shen, and C. Berthomieu	4. 巻 1860
2. 論文標題 An alternative plant-like cyanobacterial ferredoxin with unprecedented structural and functional properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 14804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2019.148084	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 Y. Kato, F. Akita, Y. Nakajima, M. Suga, Y. Umena, J.-R. Shen, and T. Noguchi	4. 巻 9
2. 論文標題 Fourier transform infrared analysis of the S-state cycle of water oxidation in the microcrystals of photosystem II	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 2121-2126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b00638	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 Y. Nozawa, and T. Noguchi	4. 巻 57
2. 論文標題 pH-Dependent regulation of the relaxation rate of the radical anion of the secondary quinone electron acceptor QB in photosystem II as revealed by Fourier transform infrared spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 2828-2836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.8b00263	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 H. Yata, and T. Noguchi	4. 巻 57
2. 論文標題 Mechanism of methanol inhibition of photosynthetic water oxidation as studied by Fourier transform infrared difference and time-resolved infrared spectroscopies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 4803-4815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.8b00596	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 Y. Nakajima, Y. Umena, R. Nagao, K. Endo, K. Kobayashi, F. Akita, M. Suga, H. Wada, T. Noguchi, and J.-R. Shen	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 T. Shimizu, M. Sugiura, and T. Noguchi	4. 巻 122
2. 論文標題 Mechanism of proton-coupled electron transfer in the S0-to-S1 transition of photosynthetic water oxidation as revealed by time-resolved infrared spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B.	6. 最初と最後の頁 9460-9470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b07455	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 S. Jana, T. Du, R. Nagao, T. Noguchi, and Y. Shibata	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 Bioenergetics	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 Y. Takegawa, M. Nakamura, S. Nakamura, T. Noguchi, J. Sells, A. W. Rutherford, A. Boussac, and M. Sugiura	4. 巻 1860
2. 論文標題 New insights on ChlD1 function in Photosystem II from site-directed mutants of D1/T179 in <i>Thermosynechococcus elongatus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biochim. Biophys. Acta Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 297-309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2019.01.008	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 S. Nakamura and T. Noguchi	4. 巻 721
2. 論文標題 Initial Mn2+ binding site in photoassembly of the water-oxidizing Mn4CaO5 cluster in photosystem II as studied by quantum mechanics/molecular mechanics calculations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 62-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2019.02.029	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 K. Tahara, A. Mohamed, K. Kawahara, R. Nagao, Y. Kato, H. Fukumura, Y. Shibata, and T. Noguchi	4. 巻 198
2. 論文標題 Fluorescence property of photosystem II protein complexes bound to a gold nanoparticle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Faraday Discuss.	6. 最初と最後の頁 121-134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C6FD00188B	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 M. Suga, F. Akita, M. Sugahara, ... Y. Kato, T. Noguchi J.-R. Shen (38 authors)	4. 巻 543
2. 論文標題 Light-induced structural changes and the site of O=O bond formation in PSII caught by XFEL	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 131-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nature21400	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 H. Sakamoto, T. Shimizu, R. Nagao, and T. Noguchi	4. 巻 139
2. 論文標題 Monitoring the reaction process during the S2 S3 transition in photosynthetic water oxidation using time-resolve infrared spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 2022-2029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.6b11989	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 R. Nagao, M. Yamaguchi, S. Nakamura, H. Ueoka-Nakanishi, and T. Noguchi	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 S. Nakamura, and T. Noguchi	4. 巻 139
2. 論文標題 Infrared determination of the protonation state of a key histidine residue in the photosynthetic water oxidizing center	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 9364-9375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b04924	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 R. Nagao, H. Ueoka-Nakanishi, and T. Noguchi	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 R. Nagao, S. Kitazaki, and T. Noguchi	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 Bioenergetics	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 -

1. 著者名 J. Kondo, and T. Noguchi	4. 巻 56
2. 論文標題 PsbP-induced protein conformational changes around Cl ⁻ ions in the water oxidizing center of photosystem II	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photosynthetica	6. 最初と最後の頁 178-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11099-017-0749-5	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91件(うち招待講演 17件/うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Yuki Kato, Hiroki Watanabe, Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR spectroelectrochemical study on the mechanism of the pH dependence of the redox potential of the non-heme iron in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤帆奈美、加藤佑樹、野口巧
2. 発表標題 Time-resolved infrared detection of electron transfer between quinone electron acceptors QA and QB in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林智幸、嶋田友一郎、長尾遼、野口巧
2. 発表標題 Role of D1-His252 in the reaction of the secondary quinone electron acceptor QB in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020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 Novel amino acid conversion of a His mutant of D1-Asp170 in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Mino, Shota Taguchi, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Molecular structure of the S2 state with a $g = 5$ signal in the oxygen evolving complex of photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山綾音、嶋田友一郎、長尾遼、野口巧
2. 発表標題 Involvement of the chloride channel in proton transfer during water oxidation in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三野広幸、田口翔太、野口巧
2. 発表標題 $g = 5$ をもつ酸素発生系マンガクラスターの分子構造
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸叶貴也、加藤祐樹、杉山翔吾、野口巧、内橋貴之
2. 発表標題 高速原子間力顕微鏡を用いた光化学系IIの動態観察
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸叶貴也、加藤祐樹、杉山翔吾、内橋貴之、野口巧
2. 発表標題 光化学系におけるルーメン側タンパク質ドメインの動的構造変化の高速AFM観察
3. 学会等名 新学術領域研究「革新的光物質変換」第3回公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤祐樹、野口巧
2. 発表標題 Effects of herbicide and formate on the redox potential of the primary quinone QA in photosystem II
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田友一郎、鈴木健裕、北島(井原)智美、長尾遼、堂前直、野口巧
2. 発表標題 Mechanism of novel amino acid conversion of a Mn-cluster ligand in photosystem II
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三野広幸、田口翔太、Liangliang Shen、Guangye Han、梅名泰史、沈建仁、野口巧
2. 発表標題 Formation of high spin S2 intermediate state related to g~5 EPR signal in the oxygen evolving complex
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今泉滉、西村大志、長尾遼、加藤祐樹、中野雄司、野口巧、伊福健太郎
2. 発表標題 Effects of mutations in the Loop4 region of PsbP on the oxygen-evolving activity of photosystem II
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉浦美羽
2. 発表標題 光化学系IIにおける励起・電荷分離の分子機構
3. 学会等名 新学術領域研究「革新的光物質変換」第3回公開シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared analyses of electron and proton transfer reactions in photosystem II
3. 学会等名 Annual Meeting of the French Photosynthesis Society, (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤祐樹、埴生悟史、中島芳樹、秋田総理、沈 建仁、野口 巧
2. 発表標題 顕微赤外分光法による光化学系IIの単一微結晶における水分解反応の解析
3. 学会等名 第10回日本光合成学会年会
4. 発表年 2019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、第10回日本光合成学会年会
3. 学会等名 第10回日本光合成学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Kato, Fusamichi Akita, Yoshiki Nakajima, Satoshi Haniu, Michihiro Suga, Yasufumi Umena, Jian-Ren Shen, Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR study on the water oxidation reaction in photosystem II microcrystals
3. 学会等名 10th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Kato, Satoshi Haniu, Yoshiki Nakajima, Fusamichi Akita, Jian-Ren Shen, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared microspectroscopic study on water oxidation in a single photosystem II microcrystal
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019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 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masao Yamamoto, Shin Nakamura, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 QM/MM analysis of the protonation structure of the S0 state in the water-oxidizing Mn4CaO5 cluster
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Taguchi, Liangliang Shen, Guangye Han, Jian-Ren Shen, Takumi Noguchi, Hiroyuki Mino
2. 発表標題 Equilibrium of the S2-state isomers of the water-oxidizing Mn4CaO5 cluster in photosystem II regulated by extrinsic proteins
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

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

1. 発表者名 Yuichio 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 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Tokano, Yuki Kato, Syogo Sugiyama, Takumi Noguchi, Takayuki Uchihashi
2. 発表標題 Dynamics of photosystem II protein complexes as observed by high speed atomic force microscopy
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared detection of protons and water molecules in photosynthetic water oxidation
3. 学会等名 日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Kato, Satoshi Haniu, Yoshiki Nakajima, Fusamichi Akita, Jian-Ren Shen, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR microspectroscopic study on the water oxidation in a single photosystem II microcrystal
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared studies on the water oxidation and electron transfer reactions in photosystem II
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Shibata, Sankar Jana, Ting Du, Ryo Nagao, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 Single molecule spectroscopy on photosystem i revealed the dynamical nature of the light harvesting
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤祐樹, 埴生悟史, 中島芳樹, 秋田総理, 沈 建仁, 野口 巧
2. 発表標題 顕微赤外分光法を用いた光合成光化学系IIの単一微結晶における水分解反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田友一郎, 中島聖竜, 小林智幸, 長尾遼, 野口巧
2. 発表標題 光化学系IIのpHに依存した電子移動制御におけるD1-H252の役割
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北島(井原)智美, 鈴木健裕, 中村伸, 嶋田友一郎, 長尾遼, 堂前直, 野口巧
2. 発表標題 光化学系IIにおけるMnクラスターのカルボキシレート配位子変異体の光誘起アミノ酸変換
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村仁哉、中村誠、竹川裕紀、杉浦美羽
2. 発表標題 光化学系IIアクセサリークロフィルの軸配位子環境と強光との関係
3. 学会等名 第10回日本光合成学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島本直拓、中村誠、竹川裕紀、杉浦美羽
2. 発表標題 ChlD1の異なるリガンド構造がP680の機能にもたらす影響
3. 学会等名 第10回日本光合成学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miwa Sugiura, Itsuki Takachi, Yuya Hara, Shin Kanawaku, Julien Selles, and Alain Bousac
2. 発表標題 The role of Valine 185 of the D1 protein in the Photosystem II oxygen evolution
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Tone, Natsumi Ugai, Yoshiki Nakajima, Michihiro Suga, Fusamichi Akita, Yasufumi Umena, Akiko Nakagawa, Miwa Sugiura, Jian-Ren Shen
2. 発表標題 X-Ray crystallographic analysis of Photosystem II from a PsbA2-only strain and its complex with bromoxynil
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉浦美羽
2. 発表標題 光化学系IIのD1/VaI185は水の酸化反応過程で多機能な役割を担う
3. 学会等名 第17回JST-さきがけ領域会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 大貴、野口 巧、加藤 祐樹
2. 発表標題 光化学系IIにおける非ヘム鉄の酸化還元電位のpH依存性：FTIR分光電気化学法を用いた解析
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 竹本 寛、野口 巧
2. 発表標題 光合成水分解反応のS2 S3遷移におけるプロトン共役電子移動の時間分解赤外分光解析
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 渡邊 大貴、野口 巧、加藤 祐樹
2. 発表標題 光化学系II非ヘム鉄の酸化還元電位のpH依存性
3. 学会等名 第26回光合成セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田 穰、小林 誉宗、Jana Sankar、長尾 遼、野口 巧
2. 発表標題 光化学系Iの単一分子分光
3. 学会等名 第26回光合成セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 誉宗、Jana Sankar、長尾 遼、野口 巧、柴田 穰
2. 発表標題 単一分子励起スペクトル測定による光化学系Iの光捕集過程の研究
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Regulation mechanism of electron and proton transfer reactions in photosystem II
3. 学会等名 1st Asia-Oceania International Congress on Photosynthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared analyses of proton-coupled electron transfer in photosynthetic light-energy conversion
3. 学会等名 日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kato, Fusamichi Akita, Yoshiki Nakajima, Michihiro Suga, Yasufumi Umena, Jian-Ren Shen, Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR study on the S-state cycle of water oxidation in the microcrystals of photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutada Okamoto, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Effect of replacement of Cl ⁻ with NO ₃ ⁻ on photosynthetic water oxidation as studied by time-resolved infrared spectroscopy
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masao Yamamoto, Shin Nakamura, Takumi Noguchi
2. 発表標題 QM/MM analysis of the DOD vibrations of water molecules around the Mn ₄ CaO ₅ cluster in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Takemoto, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Mechanism of proton-coupled electron transfer in the S ₂ S ₃ transition of photosynthetic water oxidation revealed by TRIR analysis
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe, Takumi Noguchi, Yuki Kato
2. 発表標題 FTIR-spectroelectrochemical study on the pH dependence of the redox potential of the non-heme iron in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichio Shimada, Tomomi Kitajima-Ihara, Ryo Nagao, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Role of D1-Ser169 near O ₄ of the Mn ₄ CaO ₅ cluster in photosynthetic water oxidation
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野口 巧
2. 発表標題 光化学系 における電子・プロトン移動反応の赤外分光解析
3. 学会等名 水和ナノ構造研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared analyses of photoreactions in photosystem II
3. 学会等名 10th OCARINA International Symposium（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 祐樹、埴生 悟史、秋田 総理、中島 芳樹、菅 倫寛、梅名 泰史、沈 建仁、野口 巧
2. 発表標題 光化学系II微結晶の水分解系における中間状態遷移の赤外分光解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 祐樹、埴生 悟史、中島 芳樹、秋田 総理、沈 建仁、野口 巧
2. 発表標題 光化学系IIの単一微結晶における水分解反応の顕微赤外分光解析
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019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 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口 翔太、Shen Liangliang、Han Guangye、沈 建仁、野口 巧、三野 広幸
2. 発表標題 光化学系 II における水分解Mn4CaO5クラスターのS2構造異性体平衡の種依存性の要因
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019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分光電気化学法による光化学系II第一キノン電子受容体QAの酸化還元特性の解明
3. 学会等名 生物物理学会中部支部講演会
4. 発表年 2019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変異体を用いた光合成水分解機構の赤外分光解析
3. 学会等名 生物物理学会中部支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸叶 貴也、加藤 祐樹、杉山 翔吾、野口 巧、内橋 貴之
2. 発表標題 高速原子間力顕微鏡を用いた光化学系IIの観察
3. 学会等名 生物物理学会中部支部講演会
4. 発表年 2019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 光合成光化学系IIにおける第一キノン電子受容体QAの酸化還元特性
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Sugiura
2. 発表標題 New Insights on ChlD1 Function in Photosystem from Site-Directed Mutants
3. 学会等名 10th OCARINA International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Sugiura
2. 発表標題 Molecular Mechanisms of Efficient Electron Transfer and Water Oxidation in Photosystem II
3. 学会等名 1st Evolutionary Materials Workshop in Seoul National University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉浦 美羽
2. 発表標題 光合成による高効率エネルギー変換機構の理解と応用研究はどこまで進んだか？
3. 学会等名 平成30年度日本農芸化学会西日本支部大会シンポジウム「限りある資源、地球環境への農芸化学からの取り組み」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高智 五輝、原 侑也、Alain Boussac、杉浦 美羽
2. 発表標題 光化学系IIの水の酸化反応におけるD1/V185の役割について
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Sugiura
2. 発表標題 Role of accessory chlorophyll ChlD1 as P680 in Photosystem II
3. 学会等名 1st Asia-Oceania International Congress on Photosynthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高智 五輝、原 侑也、Alain Boussac、杉浦 美羽
2. 発表標題 光化学系IIの水の酸化反応におけるD1-V185の役割の解明
3. 学会等名 第9回日本光合成学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 誠、Alain Boussac、杉浦 美羽
2. 発表標題 光化学系IIを構成するCyb559のヘム周辺構造の変化がアクセプター側へ及ぼす影響
3. 学会等名 第9回日本光合成学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大平 彩花、長尾 遼、野口 巧、加藤 祐樹
2. 発表標題 FTIR分光電気化学法による光化学系II第一キノンQAの酸化還元電位計測：Mn除去の効果
3. 学会等名 日本光合成学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村 伸、野口 巧
2. 発表標題 光合成水分解反応の赤外分光解析
3. 学会等名 日本光合成学会年会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤 祐樹、秋田 総理、中島 芳樹、菅 倫寛、梅名 泰史、沈 建仁、野口 巧
2. 発表標題 光化学系II結晶における水分解反応のATR-FTIR解析
3. 学会等名 生体分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢田 はる奈、野口 巧
2. 発表標題 光合成水分解系におけるメタノール阻害機構のフーリエ変換赤外分光解析
3. 学会等名 生体分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大平 彩花、長尾 遼、野口 巧、加藤 祐樹
2. 発表標題 光化学系IIにおいてMn除去してもQAの酸化還元電位は変動しない
3. 学会等名 第25回光合成セミナー2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sankar Jana, Takanori Kobayashi, Ryo Nagao, Takumi Noguchi, Yutaka Shibata
2. 発表標題 Development of novel scanning microscope for excitation spectra measurement
3. 学会等名 光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田 穰、小林 誉宗、杜 亭、ジャナ サンカー、長尾 遼、野口 巧
2. 発表標題 光化学系Iタンパク質複合体の単一分子蛍光分光
3. 学会等名 分子化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Kato, Fusamichi Akita, Yoshiki Nakajima, Michihiro Suga, Yasufumi Umena, Jian-Ren Shen, Takumi Noguchi
2. 発表標題 ATR-FTIR analysis of the S-state transitions during water oxidation in photosystem II crystals
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayaka Ohira, Ryo Nagao, Takumi Noguchi, Yuki Kato
2. 発表標題 Influence of Mn depletion on the redox potential of the primary quinone QA in photosystem II as revealed by FTIR spectroelectrochemistry
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin Nakamura, Akihiko Sato, Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR and quantum chemical calculation study of the photoactivation process of the Mn cluster in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masakazu Kimura, Shin Nakamura, Yuki Kato, Takumi Noguchi
2. 発表標題 ATR-FTIR study on the protonation state of a histidine ligand to the non-heme iron in photosystem II
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Shibata, Takanori Kobayashi, Ting Du, Sankar Jana, Ryo Nagao, Takumi Noguchi
2. 発表標題 Single-molecule spectroscopy of photosystem I at low temperature: The origin of the blinking
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Kato, Ayaka Ohira, Ryo Nagao, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 FTIR study on the redox property of the primary quinone QA in photosystem II
3. 学会等名 8th International Conference "Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability ? 2017" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Shibata, Sankar Jana, Takanori Kobayashi, Ting Du, Ryo Nagao, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 Single-molecule spectroscopy study on photosystem I at low temperatures
3. 学会等名 8th International Conference "Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability ? 2017" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Takemoto, and Takumi Noguchi
2. 発表標題 Mechanism of proton-coupled electron transfer in the S2-S3 transition of photosynthetic water oxidation revealed by time-resolved infrared analysis
3. 学会等名 IGER International Symposium on Science of Molecular Assembly and Biomolecular Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin Nakamura and Takumi Noguchi
2. 発表標題 Protonation structure of a key His residue interacting with the Mn cluster in photosystem II as revealed by polarized ATR-FTIR spectroscopy
3. 学会等名 IGER International Symposium on Science of Molecular Assembly and Biomolecular Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takumi Noguchi
2. 発表標題 Infrared analysis of electron transfer and water oxidation reactions in Photosystem II
3. 学会等名 Japan-France Joint Workshop on the Structure and Function of Photosystem (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野口 巧、中村 伸
2. 発表標題 光合成水分解マンガンクラスターの酸化還元電位の制御機構
3. 学会等名 新学術領域研究「革新的光物質変換」第1回公開シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 伸、佐藤 彰彦、野口 巧
2. 発表標題 光化学系IIにおけるMnクラスターの光活性化過程：FTIRおよび量子化学計算による解析
3. 学会等名 日本生物物理学会中部支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野口 巧
2. 発表標題 天然光合成における電子移動制御の分子機構
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会（招待講演）
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分光法による光化学系IIにおける第一キノン電子受容体QAの酸化還元特性の解明
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 誉宗、Jana Sankar、杜 亭、長尾 遼、野口 巧、柴田 穣
2. 発表標題 光化学系Iの極低温単一分子分光
3. 学会等名 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 中村伸、野口巧、吉澤一成	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 10
3. 書名 量子力学ノ分子力学(QM/MM)計算による金属タンパク質の研究、生命金属ダイナミクス - 生体内における金属の挙動と制御	

1. 著者名 Takumi Noguchi	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 17
3. 書名 Molecular mechanism of asymmetric electron transfer on the electron donor side of photosystem II, Photosynthesis: Molecular Approaches to Solar Energy Conversion	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Nagoya Phys G lab https://www.bio.phys.nagoya-u.ac.jp/ 名古屋大学理学研究科光生体エネルギー研究室ホームページ</p>
--

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
研究分担者	杉浦 美羽 (Sugiura Miwa) (80312255)	愛媛大学・プロテオサイエンスセンター・准教授 (16301)	

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			
中国	中国科学院			
フランス	CEA Saclay			