

平成 26 年 5 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23657099

研究課題名(和文) 光合成蛋白質と金属ナノ粒子を用いた人工光エネルギー水分解システムの開発

研究課題名(英文) Development of artificial light-driven water splitting nanodevice using gold nanoparticles and photosystem II

研究代表者

野口 巧 (NOGUCHI, Takumi)

名古屋大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60241246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：天然の光合成蛋白質を用いたバイブリット型人工光水分解ナノデバイスの開発を目的とし、シアノバクテリアから単離した光化学系II蛋白質(PSII)と直径20 nmの金ナノ粒子(GNP)を結合させたPSII-GNP複合体、およびさらに光化学系I蛋白質(PSI)を結合させたPSI-GNP-PSII複合体を作成した。PSII-GNPの光照射による水分解・酸素発生活性、およびPSI-GNP-PSIIにおけるPSIIからPSIへの電子移動の存在を確認した。また、PSIに直径3 nmの白金ナノ粒子(PtNP)を結合させたPSI-PtNPについて、光による水素発生を検出した。

研究成果の概要(英文)：To develop a hybrid-type artificial light-driven water splitting nano-device, the conjugate of photosystem II and a 20-nm gold nano-particle (PSII-GNP), and the conjugate that further combined photosystem I to PSII-GNP (PSI-GNP-PSII) were prepared. The obtained PSII-GNP exhibited light-induced O₂ evolution by splitting water and the PSI-GNP-PSII showed the capability of electron transfer from PSII to PSI via a mediator. Furthermore, light-induced H₂ evolution was detected in the conjugate of PSI with 3-nm platinum nano-particles (PSI-PtNP).

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生物科学・生物物理学

キーワード：光合成 水分解 酸素発生 人工光合成 金属ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

全世界の喫緊の課題であるエネルギー問題・地球温暖化問題の解決を目指して、人工光合成系の開発研究が盛んに行われている。中でも太陽光エネルギーを利用した水分解による酸素・水素発生の研究は、CO₂を排出しないクリーンエネルギーの観点から特に注目されてきた。一方、植物による光合成では、光化学系 蛋白質において水分解による酸素発生が起こる。しかし、水から得た電子はほとんど CO₂還元による糖の合成に使用され、通常、直接的な水素発生は起こらない。

近年、光化学系 蛋白質に白金ナノ粒子を結合させることによって、光による水素発生を起こすハイブリッド型光水素発生系が報告されるようになった。しかしながら、この系では水素発生に必要な電子は、外部からの人工電子供与体から与えられており、真の水の光分解(水 酸素+水素)は未だ実現していなかった。その実現のためには、光化学系の水分解と光化学系 の水素発生とを共役させ、同一システム上に構築する必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、シアノバクテリアの光化学系 蛋白質、及び金・白金ナノ粒子を用いて、ハイブリッド型人工光エネルギー水分解ナノシステムを開発を行った。具体的には、光化学系 および光化学系 I を金ナノ粒子上に配置し、さらに光化学系 I の還元側に白金ナノ粒子を結合させる。本システムでは、光化学系 (陽極)において水分解による酸素発生が起こり、金ナノ粒子を通して光化学系 I へ電子が移動し、白金ナノ粒子(陰極)において水素が発生する。本研究では、水以外の反応物を一切必要とせず太陽光によって水素を得る、完全にクリーンなナノシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1)光合成蛋白質：金ナノ粒子に配向を揃えて光合成蛋白質を結合させるため、それぞれ還元側および酸化側にヒスチジンタグをもつ光化学系 (CP47His-PSII)および光化学系 I(PsaLHis-PSI)蛋白質を調製した。

(2) 光化学系 金ナノ粒子への結合：金ナノ粒子(GNP:直径20 nm)表面にNi-NTA(nickel-nitrilotriacetic acid)を自己集積させ、ヒスチジンタグを介してPSIIおよびPSIを結合させた。PSII-GNP複合体の生成は、電子吸収スペクトルおよび電子顕微鏡により確認した。また、PSI-GNP-PSII複合体の生成は、低温蛍光スペクトルおよび共焦点レーザー顕微鏡による1粒子蛍光測定により確認した。

(3)電位移動計測：PSI-GNP-PSII複合体におけるPSIIからPSIへの光誘起電子移動は、PSIのP700⁺の電子吸収波長(~700 nm)での時間挙動を調べることにより行った。

(4)水素発生の検出：光化学系 と白金ナノ粒子(PtNP)との複合体(PSI-PtNP)による光誘起水素発生は、バリア放電イオン化検出器(BID)を備えたガスクロマトグラフ(島津製作所、Tracera)を用いて行った。

4. 研究成果

(1) PSII-GNP 複合体の作成

CP47サブユニットのC末端にヒスチジンタグを導入したPSIIを、直径20 nmの金ナノ粒子へ結合させることにより、PSII-GNP複合体を初めて作成した。電子吸収スペクトルにより、金ナノ粒子のプラズモン吸収(530 nm)に加え、PSIIのクロロフィル由来のバンド(674, 440 nm)の存在が確認できた。これらのバンドの吸光度から、金ナノ粒子あたり4-5つのPSII二量体が結合したことが示された。金ナノ粒子へのPSIIの結合は、さらに透過型電子顕微鏡によって確認された。PSII-GNP複合体の酸素発生活性は、低塩濃度下における遊離光化学系 蛋白質試料とほぼ同じであったが、高Ca²⁺濃度中の活性の23%であった。

(2) PSII-GNP 複合体の活性向上

PSII-GNP複合体の水分解活性を向上させるため、調製プロトコルの改善を行った。低Ca²⁺濃度緩衝液中(金ナノ粒子の凝集を避けるため)でのPSIIのインキュベーションによる水分解能の低下を回避するため、GNPとPSIIの結合のためのインキュベーション時間を極力短縮し、PSII結合後に迅速に高Ca²⁺濃度の緩衝液に移した。その結果、酸素発生活性を遊離光化学系 蛋白質の46%にまで向上させることができた。

(3) PSI-GNP-PSII 複合体の作成

Psa LサブユニットのC末端側(ルーメン側)にヒスチジンタグを導入したPSIを、PSIIと同時にGNPに結合させ、PSI-GNP-PSII複合体を作成した。PSIとPSIIの両方が同一のGNPに結合していることを、77 Kにおける蛍光スペクトル測定および共焦点レーザー顕微鏡を用いた極低温1粒子蛍光測定によって確認した。また、水を電子供与体とする光化学系 から光化学系 への電子移動反応を、光化学系 の第一電子供与体クロロフィルP700の光誘起電子吸収変化により追跡し、電子メディエーターDCPIPを介した電子移動の存在を確かめた。

(4) PSI-PtNP 複合体による水素発生

光化学系 に直径3 nmの白金ナノ粒子(PtNP)を結合させ、PSI-PtNP複合体を形成した。この複合体に人工電子供与体としてアスコルビン酸とTMPDを電子供与体として添加し、光を照射することにより、微量ながら水素の発生を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計14件)

- (1) R. Ashizawa and T. Noguchi, Effects of hydrogen bonding interactions on the redox potential and molecular vibrations of plastoquinone as studied by density functional theory calculations, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, in press (2014) (査読有)
DOI: 10.1039/C3CP54742F
- (2) T. Nishimura, C. Uno, K. Ido, R. Nagao, T. Noguchi, F. Sato and K. Ifuku, Identification of the basic amino acid residues on the PsbP protein involved in the electrostatic interaction with photosystem II, *Biochim. Biophys. Acta*, in press (査読有)
DOI: 10.1016/j.bbabi.2013.12.012
- (3) Y. Shibata, W. Katoh, T. Chiba, K. Namie, N. Ohnishi, J. Minagawa, H. Nakanishi, T. Noguchi and H. Fukumura, Development of a novel cryogenic microscope with numerical aperture of 0.9 and its application to photosynthesis research, *Biochim. Biophys. Acta* 1837, 880-887 (2014) (査読有)
DOI: 10.1016/j.bbabi.2014.03.006
- (4) K. Hasegawa and T. Noguchi, Molecular interactions of the quinone electron acceptors Q_A , Q_B and Q_C in photosystem II as studied by the fragment molecular orbital method, *Photosynth. Res.* 120, 113-123 (2014) (査読有)
DOI: 10.1007/s11120-012-9787-9
- (5) T. Noguchi, Monitoring the reactions of photosynthetic water oxidation using infrared spectroscopy, *Biomedical Spectroscopy and Imaging* 2, 115-128 (2013) (査読有)
DOI: 10.3233/BSI-130040
- (6) C. Uno, R. Nagao, H. Suzuki, T. Tomo and T. Noguchi, Structural coupling of extrinsic proteins with the oxygen evolving center in red algal photosystem II as revealed by light-induced FTIR difference spectroscopy, *Biochemistry* 52, 5705-5707 (2013) (査読有)
DOI: 10.1021/bi4009787
- (7) H. Suzuki, J. Yu, T. Kobayashi, H. Nakanishi, P. Nixon and T. Noguchi, Functional roles of D2-Lys317 and the interacting chloride ion in the water oxidation reaction of photosystem II as revealed by Fourier transform infrared analysis, *Biochemistry* 52, 4748-4757 (2013) (査読有)
DOI: 10.1021/bi301699h
- (8) H. Suzuki, M. Sugiura and T. Noguchi, Determination of the miss probabilities of individual S-state transitions during photosynthetic water oxidation by monitoring electron flow in photosystem II using FTIR spectroscopy, *Biochemistry* 51, 6776-6785 (2012) (査読有)
DOI: 10.1021/bi300708a
- (9) K. Ido, S. Kakiuchi, C. Uno, T. Nishimura, Y. Fukao, T. Noguchi, F. Sato and K. Ifuku, Structure around conserved His144 and Asp165 in the PsbP protein is important for the interaction between its N-terminus and the Cyt b559 subunit of photosystem II, *J. Biol. Chem.* 287, 26377-26387 (2012) (査読有)
DOI: 10.1074/jbc.M112.385286
- (10) T. Noguchi, H. Suzuki, M. Tsuno, M. Sugiura and C. Kato, Time-resolved infrared detection of the proton and protein dynamics during photosynthetic oxygen evolution, *Biochemistry* 51, 3205-3214 (2012) (査読有)
DOI: 10.1021/bi300294n
- (11) S. Kakiuchi, C. Uno, K. Ido, T. Nishimura, T. Noguchi, K. Ifuku and F. Sato, The PsbQ protein stabilizes the functional binding of the PsbP protein to photosystem II in higher plants, *Biochim. Biophys. Acta* 1817, 1346-1351 (2012) (査読有)
DOI: 10.1016/j.bbabi.2012.01.009
- (12) T. Noji, H. Suzuki, T. Gotoh, M. Iwai, M. Ikeuchi, T. Tomo and T. Noguchi, Photosystem II-gold nanoparticle conjugate as a nano-device for the development of artificial light-driven water-splitting systems, *J. Phys. Chem. Lett.* 2, 2448-2452 (2011) (査読有)
DOI: 10.1021/jz201172y
- (13) I. Idedan, T. Tomo and T. Noguchi, Herbicide effect on the photodamage process of photosystem II: Fourier transform infrared study, *Biochim. Biophys. Acta* 1807, 1214-1220 (2011) (査読有)
DOI: 10.1016/j.bbabi.2011.06.006
- (14) H. Ishikita, K. Hasegawa and T. Noguchi, How does the Q_B site influence propagate to the Q_A site in Photosystem II? *Biochemistry* 50, 5436-5442 (2011) (査読有)
DOI: 10.1021/bi102023x

[学会発表](計59件)

- (1) 加藤祐樹、野口巧、光合成光化学系IIにおけるMnクラスターの損傷が非ヘム鉄の酸化還元電位に及ぼす影響、日本化学会第94春季年会、名古屋大学、2014年3月27-30日
- (2) Keisuke Namie, Wataru Katoh, Hanayo

- Nakanishi, Takumi Noguchi, Hiroshi Fukumura and Yutaka Shibata, Development of a novel cryogenic microscope and its application to the fluorescence spectroscopy of single photosystem I complexes, 日本植物生理学会年会、富山大学、2014年3月18-20日
- (3) 西村太志、宇野千尋、井戸邦夫、長尾遼、深尾陽一郎、野口巧、佐藤文彦、伊福健太郎、高等植物の光化学系II膜表在性サブユニットの結合様式、日本植物生理学会年会、富山大学、2014年3月18-20日
- (4) 中村伸、長尾遼、高橋亮太、野口巧、光化学系IIにおけるチロシンYzの水素結合構造とプロトン移動、日本植物生理学会年会、富山大学、2014年3月18-20日
- (5) 加藤祐樹、野口巧、光化学系IIにおいてMn除去は非ヘム鉄の酸化還元電位を変動させるか?、日本植物生理学会年会、富山大学、2014年3月18-20日
- (6) 長尾遼、中西華代、鞆達也、野口巧、シアノバクテリアの光化学系IIにおける表在性蛋白質と水分解中心との相互作用、日本植物生理学会年会、富山大学、2014年3月18-20日
- (7) 加藤祐樹、野口巧、光化学系IIにおけるMnクラスターの損傷がアクセプター側機能分子に及ぼす影響 - FTIR分光電気化学計測による解析、生物物理学会中部支部講演会、岡崎、2014年3月6日
- (8) 長尾遼、中西華代、鞆達也、野口巧、光化学系II水分解中心と表在性蛋白質との相互作用: FTIR法による解析、生物物理学会中部支部講演会、岡崎、2014年3月6日
- (9) Takumi Noguchi, FTIR study of photosynthetic water oxidation and application to artificial photosynthesis, 日本分光学会国際シンポジウム「分光学の太陽電池・天然/人工光合成への応用」、大阪大、2013年11月20日
- (10) 野口巧、光合成水分解反応の赤外分光解析、物性研究所短期研究会、物性研、2013年11月11-13日
- (11) Shin Nakamura, Ryo Nagao, Hanayo Ueoka-Nakanishi, Ryouta Takahashi and Takumi Noguchi, FTIR evidence for the presence of a strong H-bond with high proton polarizability between the Y_z radical and a His in photosystem II, 日本生物物理学会年会、京都、2013年10月28-30日
- (12) Ryo Nagao, Hanayo Ueoka-Nakanishi, Chihiro Uno, Tatsuya Tomo and Takumi Noguchi, FTIR study on the functions of extrinsic proteins in cyanobacterial photosystem II: Evolutionary aspect of extrinsic proteins, 日本生物物理学会年会、京都、2013年10月28-30日
- (13) Yuki Kato and Takumi Noguchi, FTIR-spectroelectrochemical investigation into whether Mn-depletion influences the redox potential of the non-heme iron in photosystem II, 日本生物物理学会年会、京都、2013年10月28-30日
- (14) Yuki Kato and Takumi Noguchi, FTIR-Spectroelectrochemical Study on the Influence of the Mn-depletion from photosystem II on the redox potential of the non-heme iron, 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, August 25-30, 2013, Kobe, Japan
- (15) Takumi Noguchi, Hiroyuki Suzuki, Jianfeng Yu, Takashi Kobayashi, Hanayo Nakanishi and Peter J. Nixon, FTIR Study on the Role of a Chloride Ion in Photosynthetic Water Oxidation, 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, August 25-30, 2013, Kobe, Japan
- (16) Ryo Nagao, Hanayo Ueoka-Nakanishi, Chihiro Uno, Tatsuya Tomo and Takumi Noguchi, FTIR study on the interactions of the extrinsic proteins with the water-oxidizing center in cyanobacterial photosystem II: Evolutionary aspect of the functions of the extrinsic proteins, The 16th International Congress on Photosynthesis, St. Louis, USA, August 11-16, 2013
- (17) Yuki Kato and Takumi Noguchi, Influence of Mn-depletion on the redox potential of the non-heme iron in photosystem II as revealed by FTIR-spectroelectrochemistry, The 16th International Congress on Photosynthesis, St. Louis, USA, August 11-16, 2013
- (18) Chihiro Azai, Yuko Sano, Yuki Kato, Takumi Noguchi and Hirozo Oh-oka, Site-specific structural modification around the special pair of homodimeric photosynthetic reaction center in green sulfur bacteria, The 16th International Congress on Photosynthesis, St. Louis, USA, August 11-16, 2013
- (19) 浅井智広、佐野裕子、加藤祐樹、野口巧、大岡宏造、緑色硫黄細菌の一次電子供与体P840の酸化還元差スペクトルの帰属再検討、日本光合成学会年会、名古屋大学、2013年5月31-6月1日
- (20) 加藤祐樹、野口巧、光化学系IIにおけるMn除去が非ヘム鉄の酸化還元電位に及ぼす影響 - FTIR-分光電気化学法によるアプローチ、日本光合成学会年会、名古屋大学、2013年5月31-6月1日
- (21) 河原弘典、井上名津子、加藤祐樹、中西華代、鞆達也、菓子野康浩、野口巧、天然

- の光合成タンパク質と金ナノ粒子を用いた人工光合成ナノデバイスの開発、日本光合成学会年会、名古屋大学、2013年5月31-6月1日
- (22) 近藤淳平、野口巧、光合成酸素発生系における表在性蛋白質とCl⁻結合部位の相互作用：NO₃⁻置換による赤外分光解析、日本光合成学会年会、名古屋大学、2013年5月31-6月1日
- (23) Takumi Noguchi, Mechanism of photosynthetic water oxidation as studied by flash-induced FTIR difference and time-resolved IR spectroscopies, The XVIth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy, May 19-24, 2013, Beppu, Oita, Japan
- (24) 野口巧、赤外光で探る光合成水分解メカニズム、日本植物生理学会年会、岡山大学、2013年3月21-23日
- (25) 河原弘典、井上名津子、加藤祐樹、中西華代、鞆達也、菓子野康浩、野口巧、光化学系Iおよび光化学系IIの金ナノ粒子への結合による人工光合成ナノデバイスの開発、日本植物生理学会年会、岡山大学、2013年3月21-23日
- (26) 大田該、野口巧、光合成水分解反応に関する水分子および水素結合ネットワークの赤外分光解析、日本植物生理学会年会、岡山大学、2013年3月21-23日
- (27) 宇野千尋、鈴木博行、長尾遼、鞆達也、野口巧、紅藻の酸素発生系における表在性蛋白質の相互作用と機能発現機構：赤外分光法による解析、日本植物生理学会年会、岡山大学、2013年3月21-23日
- (28) 浅井智広、佐野裕子、加藤祐樹、野口巧、大岡宏造、部位特異的変異導入によるホモダイマー型光合成反応中心の構造改変、日本植物生理学会年会、岡山大学、2013年3月21-23日
- (29) 宇野千尋、鈴木博行、長尾遼、鞆達也、野口巧、「酸素発生系における表在性蛋白質の相互作用と機能発現機構：赤外分光法による解析」、生物物理学会中部支部講演会、名古屋大、2013年2月19日
- (30) 野口巧、光合成による光駆動水分解反応のメカニズム、第43回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、名古屋工業大学、2012年11月10-11日
- (31) Takumi Noguchi, Infrared Studies on the Molecular Mechanism of Photosynthetic Water Oxidation, Okayama University International Symposium, "Structure and Dynamics of Photosynthetic Systems" October 22-23, 2012, Okayama, Japan
- (32) Kai Ota and Takumi Noguchi, FTIR analysis of the hydrogen bonding network around the O₂-evolving Mn₄CaO₅ cluster, 日本生物物理学会年会、名古屋大学、2012年9月22-24日
- (33) Chihiro Azai, Yuko Sano, Takumi Noguchi and Hirozo Oh-oka, Local Structural Modifications around the Primary Electron Donor of the Green Sulfur Bacterial Photosynthetic Reaction Center, 日本生物物理学会年会、名古屋大学、2012年9月22-24日
- (34) Takashi Kobayashi and Takumi Noguchi, Mechanism of NH₄⁺ inhibition in the S-state cycle of photosynthetic oxygen evolution, 日本生物物理学会年会、名古屋大学、2012年9月22-24日
- (35) Kousuke Kawahara, Tatsuya Tomo and Takumi Noguchi, Development of artificial light-driven water splitting nanodevice using gold nanoparticles and photosystem II, 日本生物物理学会年会、名古屋大学、2012年9月22-24日
- (36) Ryota Ashizawa, Takuya Iwasa, Miwa Sugiura and Takumi Noguchi, Mechanism of controlling the redox potentials of the quinone electron acceptors in photosystem II, 日本生物物理学会年会、名古屋大学、2012年9月22-24日
- (37) Ryota Ashizawa and Takumi Noguchi, Effect of hydrogen bonds on the redox potential and vibrations of plastoquinone as studied by density functional theory calculations, IGER International Symposium on Science of Molecular Assembly and Biomolecular Systems 2012, Nagoya Univ. September 3-4, 2012
- (38) Chihiro Uno, Kunio Ido, Shusuke Kakiuchi, Fumihiko Sato, Kentaro Ifuku and Takumi Noguchi, FTIR study on the functional mechanism of the extrinsic proteins in the oxygen evolving complex of photosystem II, IGER International Symposium on Science of Molecular Assembly and Biomolecular Systems 2012, Nagoya Univ. September 3-4, 2012
- (39) Takumi Noguchi, Infrared monitoring of reactions in photosystem II, Gordon Research Conference: Photosynthesis, Davidson College, Davidson, NC, USA, July 8-13, 2012
- (40) 浅井智広、佐野裕子、野口巧、大岡宏造、緑色硫黄細菌の一次電子供与体P840の周辺構造の部位特異的変異導入による改変、光合成色素系と反応中心に関するセミナー、大阪大学、2012年6月30-7月1日
- (41) 大田該、野口巧、光合成酸素発生マンガングラスタに配位する水分子の構造と反応、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日
- (42) 芦沢竜壮、岩佐拓也、野口巧、光化学系IIにおけるキノン電子受容体の酸化還元電位制御機構、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日

- (43) 小林聖、津野将弥、野口巧、光合成酸素発生の中間状態遷移におけるNH₄⁺阻害のメカニズム、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日
- (44) 宇野千尋、井戸邦夫、垣内秀介、西村大志、佐藤文彦、伊福健太郎、野口巧、光合成酸素発生系における表在性タンパク質の機能発現機構のFTIR解析、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日
- (45) 河原弘典、鞆達也、野口巧、光化学系IIと金ナノ粒子の結合による人工光合成ナノデバイスの開発、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日
- (46) 浅井智広、佐野裕子、野口巧、大岡宏造、緑色硫黄細菌の光合成反応中心の部位特異的変異体：一次電子供与体 P840周辺の水素結合構造の改変を例として、日本光合成学会年会、東京工業大学、2012年6月1-2日
- (47) 芦沢竜壮、野口巧、光化学系IIにおけるキノン電子受容体の酸化還元制御機構、生物物理学学会中部支部講演会、名古屋大、2012年3月19日
- (48) 佐野裕子、大久保辰則、遠藤嘉一郎、鞆達也、野口巧、*Acaryochloris marina*の光化学系IIにおけるクロロフィル三重項状態の赤外分光検出、日本植物生理学会年会、京都、2012年3月16-18日
- (49) 宇野千尋、井戸邦夫、垣内秀介、西村大志、佐藤文彦、伊福健太郎、野口巧、光合成酸素発生系における表在性タンパク質PsbPの機能発現機構：FTIR法による解析、日本植物生理学会年会、京都、2012年3月16-18日
- (50) 嶋田友一郎、鈴木博行、土屋徹、三室守、野口巧、光化学系IIの酸素発生系に関与するアルギニン残基の同位体標識赤外分光による検出、日本生化学会年会、京都国際会議場、2011年9月21 - 24日
- (51) Tomoyasu Noji, Kousuke Kawahara, Hiroyuki Suzuki, Toshiaki Goto, Tatsuya Tomo, Masako Iwai, Masahiko Ikeuchi and Takumi Noguchi, Formation of photosystem II-gold nanoparticle conjugates, 日本生物物理学学会年会、兵庫県立大学、2011年9月16-18日
- (52) Chihiro Uno, Shusuke Kakiuchi, Fumihiko Sato, Kentaro Ifuku and Takumi Noguchi, Interaction and function of the PsbP extrinsic protein in the oxygen evolving center of photosystem II, 日本生物物理学学会年会、兵庫県立大学、2011年9月16-18日
- (53) 嶋田友一郎、鈴木博行、土屋徹、三室守、野口巧、光化学系IIの水分解反応に関与するアルギニン残基検出系の構築、光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、大阪大学、2011年7月9-10日
- (54) 津野将弥、鈴木博行、野口巧、光合成酸素発生反応におけるアンモニア阻害のメカニズム、生体分子科学討論会、筑波大、2011年6月23-24日
- (55) 野地智康、鈴木博行、五藤俊明、鞆達也、岩井雅子、池内昌彦、野口巧、光化学系II蛋白質の金ナノ粒子への結合、日本光合成学会年会、京都大学、2011年6月3-4日
- (56) 岩佐拓也、鈴木博行、杉浦美羽、野口巧、光化学系IIにおける¹³C同位体置換による第二キノン電子受容体Q_Bの赤外分光解析、日本光合成学会年会、京都大学、2011年6月3-4日
- (57) 宇野千尋、垣内秀介、佐藤文彦、伊福健太郎、野口巧、光合成酸素発生系における表在性タンパク質PsbPの相互作用と機能、日本光合成学会年会、京都大学、2011年6月3-4日
- (58) 津野将弥、鈴木博行、野口巧、光合成酸素発生反応におけるアンモニア阻害の分子機構、日本光合成学会年会、京都大学、2011年6月3-4日
- (59) 野口巧、赤外分光で探る光合成水分解反応の分子メカニズム、理研シンポジウム「生物を律する揺らぎのメカニズムを追い求めて 光合成と生体信号」, 2011年4月19-21日

〔図書〕(計1件)

- (1) J. Messinger, T. Noguchi and J. Yano, Photosynthetic O₂ Evolution, in *Molecular Solar Fuels* (T. Wydrzynski and W. Hillier, Eds.) Chapter 7, RSC Publishing, Cambridge UK, pp. 163-207 (2012)
DOI: 10.1039/9781849733038-00163

〔その他〕

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
<http://www.glab.phys.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 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