

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07453

研究課題名（和文）新規クロロフィルを用いた光化学系エネルギー変換機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of photosystem energy conversion mechanism using new Chlorophyll

研究代表者

梶 達也（Tomo, Tatsuya）

東京理科大学・理学部第一部教養学科・教授

研究者番号：60300886

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）：クロロフィルには多様性が存在するが、本研究ではクロロフィルdやfを結合した光化学系標品の機能解析を行った。クロロフィルdに関しては光化学系II反応中心標品の単離・精製を行うことができた。分光解析から個々のクロロフィルのサイトエネルギーの解明を行った。また、クロロフィルfをもつ光化学系IおよびIIの作成に成功し、光化学系Iに関してはクライオ電子顕微鏡解析により、個々のクロロフィルの結合位置を明らかにすることができた。これらの結果は光励起エネルギー移動機構がどのように制御されているかについて知見を与えたことになる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光合成によって得られるエネルギーはほぼ全ての生物のエネルギーの源である。光エネルギー変換を解き明かすことは、エネルギー問題の解明につながる。本研究ではクロロフィルfをもつ生物の光化学系Iの詳細な構造を明らかにすることで、低エネルギーを吸収するクロロフィルfから高エネルギーのクロロフィルaに向かってどのような位置関係にあるとエネルギー伝達が機能するかを述べることもできた。

研究成果の概要（英文）：Although there is a diversity of chlorophylls, in this study, we used chlorophyll d and f-linked photosynthetic products. Regarding chlorophyll d, the photosystem II reaction center complex was successfully isolated. From the spectroscopic analysis, the site energies of each chlorophyll were determined. Regarding chlorophyll d, photosystem I and II with chlorophyll f have been successfully isolated. Cryo-EM analysis revealed the binding sites of individual chlorophylls. These results provide insight into how the photo-excited energy transfer mechanism is regulated.

研究分野：光合成科学

キーワード：クロロフィル 光化学系 光合成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

生物が使用するほとんど全てのエネルギーは光合成由来であり、光合成由来のバイオマスは持続可能な再生可能エネルギーとして利用が急速に求められている。また、光合成反応で発生する酸素は従属生物の呼吸反応の基質としても決定的な役割を担っている。この光合成光エネルギー変換反応はクロロフィルがエネルギー捕集および電荷分離・電子伝達成分として機能している。ほとんど全ての酸素発生型光合成生物のクロロフィルはクロロフィル *a* であり、生物種によってはクロロフィル *b*、クロロフィル *c* が集光性色素として用いられている。光合成の光エネルギー変換機構の研究はこれまでに数多く行われてきたが、その研究は現在飽和に近づいている。それはクロロフィルの吸収帯が近接していることにより、解析が困難であることが理由の一つである。2011 年にオーストラリア西岸で発見されたシアノバクテリアは 700 nm より低エネルギー光で培養すると新規クロロフィル (クロロフィル *f*) を約 10% 蓄積する。クロロフィル *f* はクロロフィル *a* の C2 位がメチル基からフォルミル基に置換しており、有機溶媒中において吸収極大がクロロフィル *a* と比較して約 40 nm 長波長側にシフトしている。研究者の中には、この 40 nm の差を小さいと思う人がいるかもしれない。しかし、タンパク質中でのクロロフィル *f* の吸収帯は最大 100 nm 以上シフトしていた。もし、初期電子供与体がクロロフィル *a* でアンテナ色素がクロロフィル *f* の場合エネルギー移動が物理的に不利になることが予想され、実際にそれがどう機能しているかを明らかにすることは、光合成のエネルギー移動の理解に新たな知見を与えることになる。

また、吸収帯のシフトは、クロロフィル *a* の光化学系では互いに吸収帯が近接して、これまで困難であった吸収帯の分離が可能になることを意味しており、摂動として取り扱うことにより、既存研究のブレークスルーにつながる。また、これまでに細胞レベルでクロロフィル *f* の機能を解析した報告は国内外で数例あるが、詳細な解析には光化学系を単離し解析することが必須である

## 2. 研究の目的

申請者はこれまでに細胞および単離光化学系のエネルギー移動・電子移動を数多く報告してきており、また、新規クロロフィルの一つであるクロロフィル *d* の単離光化学系を用いた電子移動制御機構とその制御機構を報告してきた。これまでの蓄積された知見を新規クロロフィルであるクロロフィル *f* に応用することにより、本研究において光合成エネルギー変換反応の普遍性・新規性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

新規クロロフィルをもつシアノバクテリアから光化学系 I, II 標品の調製

新規クロロフィルをもつシアノバクテリアをラボスケールで培養を行い、遠心操作により細胞を回収した。ガラスビーズ処理により細胞を破碎し、遠心処理によりチラコイド膜を回

収した。チラコイド膜を界面活性剤で可溶化後、陰イオン交換クロマトグラフィー、密度勾配遠心を組み合わせることにより、光化学系 I、II 標品の調製を行った。クロロフィル *d* をもつシアノバクテリアにおいては、光化学系 II 標品を調製後、再度陰イオン交換クロマトグラフィーに供することにより、精製をおこなった。

単離精製標品に対して、室温および低温吸収スペクトル測定、室温および低温蛍光スペクトル測定、また時間分解蛍光スペクトル測定を行った。タンパク質の純度に関しては電気泳動法により評価を行った。

構造決定 クロロフィル *f* をもつシアノバクテリアにおいては、光化学系 I 標品を調製後、クライオ電子顕微鏡解析により構造決定を行った。

#### 4. 研究成果

光合成光化学反応は光化学系 II において安価で豊富にある水を電子供与体とし、光化学系 I で高い還元力を生む光で駆動する反応である。クロロフィルには *a, b, c, d, f* の多様性が存在する。酸素発生型光合成でもっとも低エネルギー側に吸収極大をもつものはクロロフィル *f* と呼ばれ、ある種のシアノバクテリアがこれをもっている。クロロフィル *f* は常に合成されているわけではなく、培養光が 700 nm 以上の遠赤色光下において、遺伝子スイッチが働き全クロロフィル量の約 10% 発現する。高い還元力を生み出す、光化学系 I は約 100 分子のクロロフィルが結合している。ほとんどのクロロフィルは希薄な太陽光を濃縮するためのアンテナとして機能するが、クロロフィル *f* を結合した光化学系 I の初期電子供与体のクロロフィルはクロロフィル *a* であり、クロロフィル *f* より高エネルギー側に吸収極大を位置しているが、エネルギーは自発的に高い方から低い方に移動するため、これはアップヒルな移動となり、エネルギー濃縮の点で不利である。我々はこのシアノバクテリアを 740 nm に発行極大をもつ LED 光で培養しているが、生育速度は白色光とは大きく異なっていないことから、アップヒルなエネルギー移動が機能していると考えられる。

本研究ではクロロフィル *f* を結合した光化学系 I 標品をシアノバクテリアから生化学的に単離精製を行い、それに対してクライオ電子顕微鏡による構造解析を行った。2.4Å の分解能で構造を明らかにした結果、光化学系 I あたり 83 分子のクロロフィル *a* と 7 分子のクロロフィル *f* の位置を明らかにした。6 分子のクロロフィル *f* は互いに近接してクラスターを形成しており、また初期電子供与体より低エネルギー側に吸収極大をシフトしたクロロフィル *a* も近傍に位置することが示唆された。これは低エネルギー側に吸収帯をもつクロロフィルが近接することによりエネルギーをシェアすることにより、吸収波長をオーバーラップさせて、初期電子供与体に向かってエネルギー移動していることを意味しており、新規クロロフィルを用いたエネルギー変換機構の一部が明らかとなった。

クロロフィル *d* をもつシアノバクテリアに関しては最小の電荷分離能をもつ光化学系 II 反応中心標品を単離することが、反応の理解につながる。一般的にシアノバクテリアから光化学系 II 反応中心標品の単離精製の報告は少ない。それは、生化学的困難さが存在するた

めである。我々は、この単離を試み種々の条件を検討したところ光化学系 II 反応中心標品の単離精製に成功した。この標品にはクロロフィル *a* も結合していたことからその役割を現在解析中である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 1件）

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Koji Kato, Toshiyuki Shinoda, Ryo Nagao, Seiji Akimoto, Takehiro Suzuki, Naoshi Dohmae, Min Chen, Suleyman I. Allakhverdiev, Jian-Ren Shen, Fusamichi Akita, Naoyuki Miyazaki, Tatsuya Tomo | 4. 巻<br>11              |
| 2. 論文標題<br>Structural basis for the adaptation and function of chlorophyll f in photosystem I   | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Nature Communications 238   | 6. 最初と最後の頁<br>238       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41467-019-13898-5  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>Bekzhan D. Kossalbayev, Tatsuya Tomo, Bolatkhan K.Zayadan, Asemgul K.Sadvakasova, Kenzhegul Bolatkhan, Saleh Alwasei, Suleyman I. Allakhverdiev   | 4. 巻<br>45              |
| 2. 論文標題<br>Determination of the potential of cyanobacterial strains for hydrogen production   | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Hydrogen Energy  | 6. 最初と最後の頁<br>2627-2639 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.ijhydene.2019.11.164  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>Somayyeh Akbarian, Mohsen Kompany-Zareh, Mohammad Mahdi Najafpour, Tatsuya Tomo, Suleyman I. Allakhverdiev  | 4. 巻<br>195             |
| 2. 論文標題<br>Unsupervised classification of PSII with and without water-oxidizing complex samples by PARAFAC resolution of excitation-emission fluorescence images                                      | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Photochemistry and Photobiology B  | 6. 最初と最後の頁<br>58-66     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jphotobiol.2019.03.008  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>M. YAMADA, R. NAGAO, M. IWAI, Y. ARAI, A. MAKITA, H. OHTA, T. TOMO  | 4. 巻<br>56              |
| 2. 論文標題<br>The PsbQ protein affects the redox potential of the QA in photosystem II   | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>PHOTOSYNTHETICA   | 6. 最初と最後の頁<br>185-191   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11099-018-0778-8   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Najafpour Mohammad Mahdi, Madadkhani Sepideh, Akbarian Somayyeh, Zand Zahra, Ho?y?ska Ma?gorzata, Kompany-Zareh Mohsen, Tatsuya Tomo, Singh Jitendra Pal, Chae Keun Hwa, Allakhverdiev Suleyman I. | 4. 巻<br>42                  |
| 2. 論文標題<br>Links between peptides and Mn oxide: nano-sized manganese oxide embedded in a peptide matrix  | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>New Journal of Chemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>10067 ~ 10077 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/c8nj02119h   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Tomo Tatsuya, Okumura Akinori, Suzuki Takehiro, Okuhara Mirai, Katayama Ruriko, Isayama Noboru, Nagao Ryo, Iwai Masako, Dohmae Naoshi, Enami Isao | 4. 巻<br>2                     |
| 2. 論文標題<br>Lysyl oxidase-like protein secreted from an acidophilic red alga, Cyanidium caldarium  | 5. 発行年<br>2018年               |
| 3. 雑誌名<br>Plant Direct  | 6. 最初と最後の頁<br>e00084 ~ e00084 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>DOI: 10.1002/pld3.84  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Bolatkhan Kenzhegul, Kossalbayev Bekzhan D., Zayadan Bolatkhan K., Tomo Tatsuya, Veziroglu T. Nejat, Allakhverdiev Suleyman I. | 4. 巻<br>44                |
| 2. 論文標題<br>Hydrogen production from phototrophic microorganisms: Reality and perspectives  | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Hydrogen Energy   | 6. 最初と最後の頁<br>5799 ~ 5811 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.ijhydene.2019.01.092   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Franz;Josef Schmitt,;leyha Yenice Campbell, Mai Vi Bui, Anne, Tatsuya Tomo, Min Chen, Eugene G. Maksimov, Suleyman I. Allakhverdiev, Thomas Friedrich      | 4. 巻<br>139           |
| 2. 論文標題<br>Photosynthesis supported by a chlorophyll f-dependent, entropydriven uphill energy transfer in Halomicronema hongdechloris cells adapted to far-red light | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>PHOTOSYNTHESIS RESEARCH  | 6. 最初と最後の頁<br>185-291 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s1112 0-018-0556-2   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Nii Daisuke, Miyachi Mariko, Shimada Yuichiro, Nozawa Yosuke, Ito Masahiro, Homma Yoshikazu, Ikehira Shu, Yamanoi Yoshinori, Nishihara Hiroshi, Tomo Tatsuya | 4. 巻<br>133             |
| 2. 論文標題<br>Conjugates between photosystem I and a carbon nanotube for a photoresponse device   | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Photosynthesis Research  | 6. 最初と最後の頁<br>155 ~ 162 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11120-016-0324-0  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Nagao Ryo, Suzuki Takehiro, Okumura Akinori, Kihira Tomohiro, Toda Ayaka, Dohmae Naoshi, Nakazato Katsuyoshi, Tomo Tatsuya           | 4. 巻<br>1858            |
| 2. 論文標題<br>Electrostatic interaction of positive charges on the surface of Psb31 with photosystem II in the diatom <i>Chaetoceros gracilis</i> | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Biochimica Biophysica Acta   | 6. 最初と最後の頁<br>779 ~ 785 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbabi.2017.06.002  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Miyachi Mariko, Ikehira Shu, Nishiori Daiki, Yamanoi Yoshinori, Yamada Masato, Iwai Masako, Tomo Tatsuya, Allakhverdiev Suleyman I., Nishihara Hiroshi | 4. 巻<br>33                |
| 2. 論文標題<br>Photocurrent Generation of Reconstituted Photosystem II on a Self-Assembled Gold Film   | 5. 発行年<br>2017年           |
| 3. 雑誌名<br>Langmuir   | 6. 最初と最後の頁<br>1351 ~ 1358 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.langmuir.6b03499   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Miyachi Mariko, Okuzono Kyoko, Nishiori Daiki, Yamanoi Yoshinori, Tomo Tatsuya, Iwai Masako, Allakhverdiev Suleyman I., Nishihara Hiroshi | 4. 巻<br>46                |
| 2. 論文標題<br>A Photochemical Hydrogen Evolution System Combining Cyanobacterial Photosystem I and Platinum Nanoparticle-terminated Molecular Wires    | 5. 発行年<br>2017年           |
| 3. 雑誌名<br>Chemistry Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>1479 ~ 1481 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1246/cl.170576   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Nagao Ryo, Suzuki Takehiro, Dohmae Naoshi, Shen Jian-Ren, Tomo Tatsuya                             | 4. 巻<br>591               |
| 2. 論文標題<br>Functional role of Lys residues of Psb31 in electrostatic interactions with diatom photosystem II | 5. 発行年<br>2017年           |
| 3. 雑誌名<br>FEBS Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>3259 ~ 3264 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/1873-3468.12830  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Najafpour Mohammad Mahdi, Madadkhani Sepideh, Tomo Tatsuya, Allakhverdiev Suleyman I. | 4. 巻<br>41                  |
| 2. 論文標題<br>A nanosized Mn oxide/boron nitride composite as a catalyst for water oxidation       | 5. 発行年<br>2017年             |
| 3. 雑誌名<br>New Journal of Chemistry  | 6. 最初と最後の頁<br>10627 ~ 10633 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/c7nj00049a  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Daisuke Nii, Yosuke Nozawa, Mariko Miyachi, Yoshinori Yamanoi, Hiroshi Nishihara, Tatsuya Tomo, Yuichiro Shimada                | 4. 巻<br>56                    |
| 2. 論文標題<br>Peptide aptamer-assisted immobilization of green fluorescent protein for creating biomolecule-complexed carbon nanotube device | 5. 発行年<br>2017年               |
| 3. 雑誌名<br>Japanese Journal of Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>107001 ~ 107006 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.7567/JJAP.56.107001  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林誉宗, 谷口凜, 柴田穰, 篠田稔行, 鞆達也, 叶深            |
| 2. 発表標題<br>単一分子分光によるクロロフィル-fを含む光化学系Iの蛍光不均一性         |
| 3. 学会等名<br>第61回日本植物生理学会年会 第61回日本植物生理学会年会 2. 発表標題 2. |
| 4. 発表年<br>2020年                                     |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行, 加藤公児, 長尾遼, 秋本誠志, 沈建仁, 秋田総理, 宮崎直幸, 鞆達也 |
| 2. 発表標題<br>クロロフィル f をもつ光化学系I 複合体の構造および分光的特性について        |
| 3. 学会等名<br>第61回日本植物生理学会年会                              |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|                                |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名<br>鞆 達也                |
| 2. 発表標題<br>新規クロロフィルを用いた光合成     |
| 3. 学会等名<br>藍藻の分子生物学2019 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Toshiyuki Shonoda, Seiji Akimoto, Min Chen, Suleyman I. Allakhverdiev, Tatsuya Tomo                               |
| 2. 発表標題<br>Analysis of energy transfer pathway in cyanobacterium during the process of the chlorophyll f accumulation        |
| 3. 学会等名<br>10th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (招待講演) (国際学会) (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田 稔行、新井 啓史、田伏 廣輝、横野 牧生、秋本 誠志、鞆 達也         |
| 2. 発表標題<br>Chlorophyll f 蓄積過程における光化学系I複合体のエネルギー移動について |
| 3. 学会等名<br>第26回 光合成セミナー2018                           |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>曾根俊介、 田中奨大、 鞆達也      |
| 2. 発表標題<br>光化学系複合体と新規炭素材料間の電子移動 |
| 3. 学会等名<br>第20回日本光生物学協会年会       |
| 4. 発表年<br>2018年                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行、 新井啓史、 田伏廣輝、 横野牧生、 秋本誠志、 鞆達也                 |
| 2. 発表標題<br>Chlorophyll f 蓄積過程における光化学系I複合体のエネルギー移動とタンパク質組成の変化 |
| 3. 学会等名<br>第20回日本光生物学協会年会                                    |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>豊福玲於、 篠田稔行、 鞆達也               |
| 2. 発表標題<br>光化学系IIの初期電子受容体フェオフィチンaの分光学的性質 |
| 3. 学会等名<br>第20回日本光生物学協会年会                |
| 4. 発表年<br>2018年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>豊福 玲於奈, 秋本 誠志, 篠田 稔之, 鞆 達也   |
| 2. 発表標題<br>Absorption and fluorescence properties of Photosystem II complex in a chlorophyll d-dominated cyanobacterium |
| 3. 学会等名<br>第56回日本生物物理学会年会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>朱文超, 西織大輝, Raphael Salles, 宮地麻里子, 山野井慶徳, 生田昂, 前橋兼三, 鞆達也, 西原寛 |
| 2. 発表標題<br>グラフェンFET上の金ナノ粒子とPSIを用いた光感知システム                               |
| 3. 学会等名<br>第9回分子アーキテクトニクス研究会  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>宮地麻里子, Raphael, 朱文超, 山野井慶徳, 鞆達也, 西原寛 |
| 2. 発表標題<br>光化学系Iおよび白金ナノ粒子で構成される積層ナノシートの作製と物性評価  |
| 3. 学会等名<br>第9回分子アーキテクトニクス研究会                    |
| 4. 発表年<br>2018年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Reona Toyofuku, Seiji Akimoto, Toshiyuki Shinoda, Tatsuya Tomo                                  |
| 2. 発表標題<br>Spectroscopic assignments of Photosystem II complex in a chlorophyll d-dominated cyanobacterium |
| 3. 学会等名<br>International Symposium on Photosynthesis and Chloroplast Biogenesis 2018 (国際学会)                |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行, 鞆達也, 秋本誠志                |
| 2. 発表標題<br>クロロフィル f の蓄積過程におけるエネルギー移動経路の解析 |
| 3. 学会等名<br>新学術領域研究「革新的光物質変換」第2回公開シンポジウム   |
| 4. 発表年<br>2019年                           |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>曾根俊介、田中奨大、岩瀬 顕秀、工藤 昭彦、鞆達也 |
| 2. 発表標題<br>光合成電子伝達系と酸化グラフェン間の移動反応    |
| 3. 学会等名<br>第8回日本生物物理学会関東支部会          |
| 4. 発表年<br>2019年                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行, 新井啓史, 田伏廣輝, 秋本誠志, 鞆達也            |
| 2. 発表標題<br>クロロフィル f 蓄積過程のシアノバクテリアにおけるエネルギー移動経路の確立 |
| 3. 学会等名<br>第60回日本植物生理学会年会                         |
| 4. 発表年<br>2019年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行, 新井啓史, 秋本誠志, 鞆達也                  |
| 2. 発表標題<br>クロロフィル f 蓄積過程の光化学系I複合体におけるエネルギー移動経路の確立 |
| 3. 学会等名<br>第60回日本植物生理学会年会                         |
| 4. 発表年<br>2019年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>豊福玲於奈, 鞆達也                               |
| 2. 発表標題<br>クロロフィルd 型光化学系IIにおける初期電子受容体フェオフィチンa の分光特性 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第74回年次大会                           |
| 4. 発表年<br>2019年                                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田 稔行、秋本 誠志、鞆 達也                                 |
| 2. 発表標題<br>クロロフィル fをもつシアノバクテリアの光化学系IIにおけるエネルギー移動とその局在部位について |
| 3. 学会等名<br>第8回日本光合成学会年会                                     |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>豊福玲於奈、遠藤嘉一郎、篠田稔行、秋本誠志、鞆達也                    |
| 2. 発表標題<br>Acaryochloris marina光化学系II反応中心複合体の分光学的性質について |
| 3. 学会等名<br>第8回日本光合成学会年会                                 |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tatsuya Tomo, Reona Toyofuku, Toshiyuki Shinoda, Seiji Akimoto  |
| 2. 発表標題<br>New chlorophyll properties in photosynthetic reaction   |
| 3. 学会等名<br>Thirteen International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋本誠志、鞆達也、村上明男、田中歩                   |
| 2. 発表標題<br>77 Kでの遅延蛍光スペクトル測定による光化学系間エネルギー移動の検討 |
| 3. 学会等名<br>第25回光合成セミナー: 反応中心と色素系の多様性           |
| 4. 発表年<br>2017年                                |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>鞆 達也、豊福 玲於奈、篠田 稔行、秋本 誠志  |
| 2. 発表標題<br>光化学系における新規クロロフィルの局在部位    |
| 3. 学会等名<br>第25回光合成セミナー:反応中心と色素系の多様性 |
| 4. 発表年<br>2017年                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田 稔行、新井 啓史、田伏 廣輝、秋本 誠志、鞆 達也 |
| 2. 発表標題<br>Chlorophyll f をもつ光化学系複合体の性質  |
| 3. 学会等名<br>第25回光合成セミナー:反応中心と色素系の多様性     |
| 4. 発表年<br>2017年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>篠田 稔行、新井 啓史、田伏 廣輝、鞆 達也               |
| 2. 発表標題<br>新奇クロロフィルを持つシアノバクテリアにおける光環境の変化と吸収帯の相関 |
| 3. 学会等名<br>日本植物学会第81回大会                         |
| 4. 発表年<br>2017年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>豊福 玲於奈、遠藤 嘉一郎、篠田 稔行、秋本 誠志、鞆 達也                          |
| 2. 発表標題<br>シアノバクテリア <i>Acaryochloris marina</i> の光化学系II 反応中心複合体の性質 |
| 3. 学会等名<br>日本植物学会第81回大会  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|         |   |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Shota Tanaka, Mariko Miyachi, Yoshinori Yamanoi, Akihide Iwase, Akihiko Kudo, Hiroshi Nishihara, Tatsuya Tomo |
| 2. 発表標題 | Linear electron transfer between photosystems and carbon nanomaterials  |
| 3. 学会等名 | 日本生物物理学会第55回年会  |
| 4. 発表年  | 2017年   |

|         |   |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Toshiyuki Shinoda, Keishi Arai, Hiroki Tabushi, Seiji Akimoto, Tatsuya Tomo |
| 2. 発表標題 | 新奇クロロフィルを持つシアノバクテリアにおけるクロロフィル f 蓄積過程のエネルギー移動の解析                             |
| 3. 学会等名 | 日本生物物理学会第55回年会  |
| 4. 発表年  | 2017年   |

|         |   |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Reona Toyofuku, Kaichiro Endo, Toshiyuki Shinoda, Seiji Akimoto, Tatsuya Tomo                           |
| 2. 発表標題 | Spectral characterization of Photosystem II reaction center in a chlorophyll d-dominated cyanobacterium |
| 3. 学会等名 | 日本生物物理学会第55回年会  |
| 4. 発表年  | 2017年   |

|         |  |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | Shota Tanaka, Mariko Miyachi, Daiki Nishiori, Yoshinori Yamanoi, Hiroshi Nishihara, Tatsuya Tomo   |
| 2. 発表標題 | Reduced graphene oxide as an electron mediator in photosystem I and II                             |
| 3. 学会等名 | 8th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (国際学会) |
| 4. 発表年  | 2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tatsuya Tomo, Toshiyuki Shinoda, Reona Toyofuku, Seiji Akimoto, Suleyman I. Allakhverdiev                 |
| 2. 発表標題<br>New chlorophylls in the primary processes of photosynthesis   |
| 3. 学会等名<br>8th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Daiki Nishiori, Mariko Miyachi, Kyoko Okuzono, Yoshinori Yamanoi, Tatsuya Tomo, Masako Iwai, Suleyman I. Allakhverdiev, Hiroshi Nishihara |
| 2. 発表標題<br>Photochemical Hydrogen Evolution with Cyanobacterial Photosystem I ; Platinum Nanoparticle Hybrid Systems                                 |
| 3. 学会等名<br>8th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Matsumura, Mariko Miyachi, Daiki Nishiori, Yoshinori Yamanoi, Hiroshi Nishihara, Tatsuya Tomo |
| 2. 発表標題<br>Formation of gold nanoparticles by thylakoid membranes   |
| 3. 学会等名<br>8th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (国際学会)     |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Reona Toyofuku, Seiji Akimoto, Toshiyuki Shinoda, Suleyman I. Allakhverdiev, Tatsuya Tomo                                    |
| 2. 発表標題<br>Spectral characterization of photosystem II reaction center complex isolated from the chlorophyll d-dominated cyanobacterium |
| 3. 学会等名<br>8th International Conference Photosynthesis and Hydrogen Energy Research for Sustainability (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2017年   |



|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田伏廣輝、篠田稔行、新井啓史、鞆達也     |
| 2. 発表標題<br>長波長型アロフィコシアニンの蓄積条件と光環境 |
| 3. 学会等名<br>藍藻の分子生物学2017           |
| 4. 発表年<br>2017年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>西織大輝, 生田 昂, 宮地麻里子, 前橋兼三, 鞆 達也, 山野井慶徳, 西原 寛 |
| 2. 発表標題<br>光化学系I タンパク質複合体 - グラフェンFET を用いた光センサの構築      |
| 3. 学会等名<br>第8回分子アーキテクトニクス研究会                          |
| 4. 発表年<br>2017年                                       |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>篠田稔行、田伏廣輝、新井啓史、秋本誠志、鞆達也   |
| 2. 発表標題<br>長波長型色素を結合した光化学系エネルギー移動の解析 |
| 3. 学会等名<br>第7回日本生物物理学会関東支部会          |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>松村洋貴、宮地麻里子、西織大輝、山野井慶徳、西原寛、鞆達也       |
| 2. 発表標題<br>光合成生物由来の材料による金ナノ粒子形成および励起エネルギー移動の評価 |
| 3. 学会等名<br>第7回日本生物物理学会関東支部会                    |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>豊福 玲於奈, 秋本 誠志, 篠田 稔行, 鞆 達也      |
| 2. 発表標題<br>クロロフィルd型光化学系II反応中心の色素励起エネルギーの解析 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第73回年次大会                  |
| 4. 発表年<br>2018年                            |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|