

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06558

研究課題名(和文)イオン輸送によるプロトン駆動力成分制御

研究課題名(英文)Control of proton motive force components by ion transport system

研究代表者

魚住 信之(Uozumi, Nobuyuki)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40223515

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 63,700,000円

研究成果の概要(和文): シロイヌナズナ葉緑体のKEA1-KEA6の内向きおよび外向きのK輸送活性の両方向への輸送活性を有することを明らかにした。また、KEA3の輸送活性増強変異体であるdpgr(KEA3-G422R)は、野生型よりも大きい比輸送活性をしめした、生理的な結果と一致することが明らかとなった。また、藍藻のNa/HアンチポーターのNhaS1-NhaS6のNaとHの交換輸送活性を検出した。この中で、チラコイド膜に存在する輸送体も明らかとなり、光合成機能が上昇する強光環境において必須となるNhaSが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光合成の明反応は葉緑体や藍藻で行われており、両者の長所を生かして詳細な検討をすすめた。チラコイド膜におけるプロトン駆動力の形成に必要なNaやK輸送体を同定して、イオン輸送活性を明らかにした。このことにより、チラコイドの膜電位形成には、H以外のNaやKなどの陽イオンが関与しており、その輸送体の実体の一部が明らかにされた。これらの輸送体が光エネルギーの変換でチラコイド膜に蓄積される電気化学エネルギーの生成と変換に重要な役割を担うことが示された。

研究成果の概要(英文): We showed that Arabidopsis chloroplasts possess both influx and efflux of K-transport activities in KEA1-KEA6. In addition, the mutant, dpgr(KEA3-G422R), exhibited increased specific transport activity, compared with that of the wild type KEA3, consistent with physiological results. We also detected the Na and H exchange transport activity of the cyanobacterial Na/H antiporters, NhaS1-NhaS6. Some of NhaS located in the thylakoid membranes, and played an essential role in photosynthetic function under high light conditions.

研究分野：電気生理学

キーワード：膜輸送体 膜電位 プロトン駆動力 イオン チラコイド膜

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

H 駆動力は膜内外の H 勾配(pH)と膜電位()の和に近似されており、葉緑体やラン藻のチラコイド膜では、H 勾配の H 駆動力への貢献が大きい。チラコイド膜を介した pH は、光リン酸化反応に関与する光化学系や H 輸送体(シトクロム b6f 複合体, NDH,ATP シンターゼ)の活性のバランスにより維持される。一方、膜電位に関しては電子伝達複合体の機能の解析はすすめられているが、イオン輸送体の同定がすすんでいないためその調節機構は未知である。また、H の膜内外の移動を埋め合わせる陽イオン移動に関する知見も乏しい。一方、最近になり、シロイヌナズナのチラコイド膜に 2 種類の K 輸送体(KEA3 と TPK3)が局在することが報告された。このホモログとしてラン藻には NhaS3 がチラコイド膜に存在していると予想される。これらは、H 濃度勾配から膜電位への置換、膜電位の解消の他に、過剰な電気化学的ポテンシャルを熱散逸するための脱共役(アンカップリング)の役割を受け持つと考えられる。光リン酸化反応に関わる H 輸送機構に関する知見に加えて、膜電位成分調節の実体の解明が H 駆動力の形成と消費の理解に必須である。

膜の駆動力は動物細胞と植物細胞・微生物で根本的に異なる。動物細胞は Na⁺駆動力が主体であるが、植物と微生物には Na/K ポンプがなく、H-ATPase が H 濃度勾配を形成して共役する K 輸送体が膜電位成分を形成に寄与する。このため植物・微生物は H 駆動力が一般的である。この動物細胞と植物細胞・微生物の違いは、K チャネルや Na/H アンチポーターのイオン輸送方向が基本的に互いに逆という性質にも反映されている。植物・微生物には、K チャネルの他に動物にはない K 取込み系輸送体が膜電位形成や浸透圧調節に機能している。この差異のために、動物細胞の輸送体の知見を植物・微生物や葉緑体の輸送体にそのまま適用することはできない。葉緑体と光合成微生物のイオン輸送の知見が蓄積しており、チラコイド膜にも複数のイオン輸送体が機能していると考えられている。しかし、H 輸送以外のイオンの輸送に関する情報と膜電位成分に関する報告は限られている。

2. 研究の目的

光合成電子伝達反応の舞台となるチラコイド膜ではプロトン駆動力の形成と消費が起こる。電子伝達による H 勾配形成機構の解明はすすんでいるが、もう一つの H 駆動力の成分の膜電位形成と分配を制御するイオン輸送は未知な点が多い。本研究は、H 駆動力成分を制御するイオン輸送体の同定とその活性の評価を行い、光合成電子伝達反応と協奏・共役的または脱共役的に機能することで、H 駆動力と調節にかかわるイオン輸送系の解明をめざす。H 濃度勾配と膜電位の両成分の形成に関わるラン藻・植物の Na/H および K/H アンチポーターの局在性と機能測定、機能不明の藍藻の K チャネルと葉緑体の陰イオンチャネルの藍藻ホモログ輸送体の局在性と機能を測定する。また、他の班が解析をすすめる光合成電子伝達系の H 輸送活性の検出を行い、光合成電子伝達反応との協働を検討する。上記により不明な点の多いチラコイド膜のイオン輸送体を調べることで、過剰に蓄積した H 駆動力の解消に関わる脱共役系や H 勾配成分から膜電位成分への変換系を明らかにする。

3. 研究の方法

シロイヌナズナの変異株をストックセンターより取り寄せ、ホモ化をすすめた。藍藻変異株は相同的組み換えによって作成した。申請者らが構築した測定方法を中心に遂行した。イオン輸送体の機能測定と細胞内元素測定：研究代表者の研究室で構築している電気生理学的測定、大腸菌の反転膜小胞を用いた輸送活性の蛍光測定と細胞内の元素濃度を調べた。藍藻の陰イオンチャネルをコードすると推定される sll1024 の出芽酵母液胞膜での発現には GAP プロモーターを用いた。当該遺伝子産物の局在の確認は当該遺伝子産物の C 末に GFP を融合させ、GFP 蛍光を観察することで行った。パッチクランプ解析に用いるチラコイド膜からなる bleb の調製は既報に基づいて行った。調製した bleb がチラコイド膜由来であることをクロロフィル由来の蛍光によって確認した。シアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803 と *Thermosynechococcus vulcanus* を用いて、物質生産や環境応答にかかわる遺伝子を同定もしくは改変することで、光合成機能との関連を調べた。

4. 研究成果

シロイヌナズナ葉緑体の KEA1-KEA6 の輸送活性の決定は生理学的役割に関する知見に強く貢献することとなるが、ほとんど測定結果は見られない。KEA1-KEA6 の輸送活性を大腸菌変異株に発現して、直接測定した。この結果、内向きおよび外向きの K 輸送活性の両方向への輸送活性を有することを明らかとなった。一方、予想されていた K/H 加えてアンチポーター活性は検出できなかった。このことは、本来アンチポーター活性を持たないことが考えられるが、補助因子が必要など他の条件に依存している輸送体である可能性が考えられた。さらに、KEA3 の輸送活性増強変異体である dpgr (KEA3-G422R)について検討した。大腸菌の発現量を測定して、比輸送活性を求めたところ、生理的な結果と一致することが明らかとなった。Na の透過性についても検討したところ、ほとんど輸送活性が認められなかった。KEA3 の C 末端領域には輸送活性を調節する部位が存在しており、K 輸送を阻害することが推定されている。この C 末端領域を削除したタンパク質を作成して大腸菌において輸送活性を調べたところ、輸送活性は輸送活

性の調節に関与する結果は得られなかった。また、アンチポーターに保存されている DD 配列が Na と K の選択制に関与すると予想する報告がある。この DD を他のアミノ酸に置換して輸送活性を調べたが、Na と K の輸送選択性に変化はなかった。K 輸送活性を測定するとともに、タンパク質量をウエスタン解析により定量した。単位分子あたりの K 輸送活性が野生型より大きいことが分かった。(研究代表者)

藍藻は高塩性であることからナトリウムの輸送活性を持つ可能性が考えられるとともに、光合成や生理機能にナトリウムがどのように関係するかを検討した。その結果、強光環境では Na が必要であることが分かった。シロイヌナズナ KAE1-KEA6 のホモログである藍藻の Na/H アンチポーターのナトリウムの内向きおよび外向きの輸送について検討した。また、ナトリウムとプロトンのアンチポーター活性についても大腸菌の反転膜を調製してアクリジンオレンジを用いた蛍光の消光測定を行った。NhaS1-NhaS6 の Na と H の交換輸送活性を検出した。藍藻に存在する K チャネル、Na/H アンチポーター、Cl チャネルの合計 16 種類のイオン輸送体に関して細胞内局在性を検討した。構造遺伝子の下流に GFP を融合したタンパク質を作成してその遺伝子を藍藻に導入後に、形質転換体を抗生物質含有培地で選択した。獲得した導入株を用いて、ショ糖密度勾配遠心法により細胞膜とチラコイド膜を分離した。GFP 抗体を用いた抗体検出により局在性を調べた。NhaS3 は 2009 年の報告のとおり、チラコイド膜に存在することが明らかになった。また、光合成活性に関する *nhaS1-nhaS6* の寄与を明らかにする目的で、PAM 蛍光法を用いてプロトン駆動力に影響を与えるアンチポーターを検討した。これまでの研究からチラコイド膜に局在する NhaS3 の変異株の変化を検討するとともに、他の NhaS1- NhaS6 について測定を行い、NhaS がプロトン勾配と膜電位に作用することにより、光化学系伝達に影響を与えることを示唆する結果を獲得した。藍藻の Na/H アンチポーター変異株に pH をモニターするセンサータンパク質を発現させて細胞内の pH を計測した。野生株の細胞質と比較して変異株ではアルカリ化していることが分かった。また、強光で誘導される遺伝子発現も *nhaS* 変異株では野生株よりも低下していた。(研究代表者)

孔辺細胞の原形質膜で機能する KAT1 チャネルのイオン電流の化合物の添加の有無による変化を測定し野生型チャネルと比較して、イオン電流値の低下が検出され阻害活性を確認した。気孔の開度に関しても本化合物の添加で気孔の開度の変化が検出した。藍藻のシステインパーсульフィドの合成に関わる可能性のある酵素遺伝子の変異株を取得して、表現型の一つとして光合成活性を検討し野生株との差を検出した。(研究代表者)

藍藻の陰イオンチャネルをコードすると推定される sll1024 を出芽酵母液胞膜に異種発現させパッチクランプ法で解析した。その結果、これまで実験的には機能が同定されていなかった当該遺伝子産物が電位依存性チャネルであることが明らかになった。チラコイド膜に存在する光合成に関連するイオン輸送体の解析にはパッチクランプ法による whole チラコイドモードはこれまでに報告がない。シロイヌナズナ由来チラコイドより調製した bleb を用い、whole チラコイドモードの実現に成功した。(川崎分担者)

ソルビトール生産の最適化を検討する過程で、中間代謝物の蓄積が光合成増殖を遅らせていること、新しく見いだした酵素(ソルビトールリン酸ホスファターゼ)を共発現することで増殖阻害を解消できることを示した。アスタキサンチン蓄積の最適化を検討する過程で、光合成の光化学系 I に多数のキサントフィルが挿入されていることを見いだした。好熱性シアノバクテリアの環境応答にかかわる cAMP シグナル経路と c-di-GMP シグナル経路のクロストーク因子を同定した。これらの経路は温泉における光と温度への適応順化にかかわると推定している。細胞外多糖として新規の硫酸多糖とその合成系を同定した。これはシアノバクテリアの塩や温度への環境順化にかかわると推定した。(池内分担者)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Sugawara Keita, Toyoda Hayato, Kimura Mami, Hayasaka Shunsuke, Saito Hiromi, Kobayashi Hiroshi, Ihara Kunio, Ida Tomoaki, Akaike Takaaki, Ando Eiji, Hyodo Mamoru, Hayakawa Yoshihiro, Hamamoto Shin, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 478
2. 論文標題 Loss of cell wall integrity genes cpxA and mrcB causes flocculation in Escherichia coli	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical Journal	6. 最初と最後の頁 41～59
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1042/BCJ20200723	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 Kaisei Maeda, Yukiko Okuda, Gen Enomoto, Satoru Watanabe, Masahiko Ikeuchi	4. 巻 in press
2. 論文標題 Biosynthesis of a sulfated exopolysaccharide, Synechan, and bloom formation in the model cyanobacterium Synechocystis sp. strain PCC 6803	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 in press
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Saito Shunya, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Calcium-Regulated Phosphorylation Systems Controlling Uptake and Balance of Plant Nutrients	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpls.2020.00044	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 Ishikawa Ko, Chubachi Chihiro, Tochigi Saeko, Hoshi Naomi, Kojima Seiji, Hyodo Mamoru, Hayakawa Yoshihiro, Furuta Tadaomi, Kera Kota, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 166
2. 論文標題 Functional characterization of multiple PAS domain-containing diguanylate cyclases in Synechocystis sp. PCC 6803	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbiology	6. 最初と最後の頁 659～668
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1099/mic.0.000929	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 Tsujii Masaru, Tanudjaja Ellen, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Diverse Physiological Functions of Cation Proton Antiporters across Bacteria and Plant Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4566 ~ 4566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms21124566	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 Uehara Chihiro, Takeda Kota, Ibuki Tatsuki, Furuta Tadaomi, Hoshi Naomi, Tanudjaja Ellen, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Analysis of Arabidopsis TPK2 and KC03 reveals structural properties required for K ⁺ channel function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Channels	6. 最初と最後の頁 336 ~ 346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19336950.2020.1825894	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 Kera Kota, Yoshizawa Yuichiro, Shigehara Takehiro, Nagayama Tatsuya, Tsujii Masaru, Tochigi Saeko, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Hik36-Hik43 and Rre6 act as a two-component regulatory system to control cell aggregation in <i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-76264-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Enomoto Gen, Kamiya Ayako, Okuda Yukiko, Narikawa Rei, Ikeuchi Masahiko	4. 巻 66
2. 論文標題 Tlr0485 is a cAMP-activated c-di-GMP phosphodiesterase in a cyanobacterium <i>Thermosynechococcus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 147 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2020.01.007	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 Naoya, Okuda Yukiko, Maeda Kaisei, Umeno Daisuke, Takaichi Shinichi, Ikeuchi Masahiko	4. 巻 66
2. 論文標題 Astaxanthin production in a model cyanobacterium <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 116 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2020.01.003	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 Adams Eri, Miyazaki Takae, Saito Shunya, Uozumi Nobuyuki, Shin Ryoung	4. 巻 60
2. 論文標題 Cesium Inhibits Plant Growth Primarily Through Reduction of Potassium Influx and Accumulation in Arabidopsis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 63 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy188	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 Saito Shunya, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Guard Cell Membrane Anion Transport Systems and Their Regulatory Components: An Elaborate Mechanism Controlling Stress-Induced Stomatal Closure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 9 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants8010009	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 Amemiya Shun, Toyoda Hayato, Kimura Mami, Saito Hiromi, Kobayashi Hiroshi, Ihara Kunio, Kamagata Kiyoto, Kawabata Ryuji, Kato Setsu, Nakashimada Yutaka, Furuta Tadaomi, Hamamoto Shin, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 294
2. 論文標題 The mechanosensitive channel YbdG from Escherichia coli has a role in adaptation to osmotic up-shock	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 12281 ~ 12292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1074/jbc.RA118.007340	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 Tsuji Masaru, Kera Kota, Hamamoto Shin, Kuromori Takashi, Shikanai Toshiharu, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Evidence for potassium transport activity of Arabidopsis KEA1-KEA6	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46463-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Harada Kyohei, Arizono Takatoshi, Sato Ryoichi, Trinh Mai Duy Luu, Hashimoto Akira, Kono Masaru, Tsujii Masaru, Uozumi Nobuyuki, Takaichi Shinichi, Masuda Shinji	4. 巻 60
2. 論文標題 DAY-LENGTH-DEPENDENT DELAYED-GREENING1, the Arabidopsis Homolog of the Cyanobacterial H ⁺ -Extrusion Protein, Is Essential for Chloroplast pH Regulation and Optimization of Non-Photochemical Quenching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 2660 ~ 2671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz203	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 Chin Taejun, Okuda Yukiko, Ikeuchi Masahiko	4. 巻 1
2. 論文標題 Improved sorbitol production and growth in cyanobacteria using promiscuous haloacid dehalogenase-like hydrolase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biotechnology: X	6. 最初と最後の頁 100002 ~ 100002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.btecx.2019.100002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saito, S., Hamamoto, S., Moriya, K., Matsuura, A., Sato, Y., Muto, J., Noguchi, H., Yamauchi, S., Tozawa, Y., Ueda, M., Hashimoto, K., Koster, P., Qiuyan. D., Held, K., Kudla, J., Utsumi, T., and Uozumi, N.	4. 巻 218
2. 論文標題 N-myristoylation and S-acylation are common modifications of Ca ²⁺ regulated Arabidopsis kinases and are required for activation of the SLAC1 anion channel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Phytol.	6. 最初と最後の頁 1504-1521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.15053	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 Hamamoto, S., Mori, Y., Yabe, I., and Uozumi, N.	4. 巻 285
2. 論文標題 In vitro and in vivo characterization of modulation of the vacuolar cation channel TRPY1 from <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 FEBS J.	6. 最初と最後の頁 1146-1161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/febs.14399	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 Kera, K., Nagayama, T., Nanatani, K., Saeki-Yamoto, C., Tominaga, A., Souma, S., Miura, N., Takeda, K., Kayamori, S., Ando, E., Higashi, K., Igarashi, K., and Uozumi, N.	4. 巻 200
2. 論文標題 Reduction of spermidine content resulting from inactivation of two arginine decarboxylases increases biofilm formation in <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Bacteriol.	6. 最初と最後の頁 E00664-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/JB.00664-17	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 Chang, D., Sakuma, S., Kera, K., Uozumi, N. and Arai F.	4. 巻 18
2. 論文標題 Measurement of mechanical properties of single <i>Synechocystis</i> sp. strain PCC6803 cells in different osmotic concentrations using robot integrated microfluidic chip	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lab. Chip	6. 最初と最後の頁 1241-1249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7LC01245D	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 Toh Shigeo, Inoue Shinpei, Toda Yosuke, Yuki Takahiro, Suzuki Kyota, Hamamoto Shin, Fukatsu Kohei, Aoki Saya, Uchida Mami, Asai Eri, Uozumi Nobuyuki, Sato Ayato, Kinoshita Toshinori	4. 巻 59
2. 論文標題 Identification and Characterization of Compounds that Affect Stomatal Movements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1568 ~ 1580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy061	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 Oikawa, T., Ishimaru, Y., Munemasa, S., Takeuchi, Y., Washiyama, K. Hamamoto, S., Yoshikawa, N., Mutara, Y., Uozumi, N. and Ueda, M.	4. 巻 28
2. 論文標題 Ion channels regulate nyctinastic leaf opening in <i>Samanea saman</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 2230-2238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2018.05.042	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 Saito Shunya, Hoshi Naomi, Zulkifli Lalu, Widyastuti Sri, Goshima Shinobu, Dreyer Ingo, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Identification of regions responsible for the function of the plant K ⁺ channels KAT1 and AKT2 in <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Xenopus laevis</i> oocytes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Channels	6. 最初と最後の頁 510 ~ 516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19336950.2017.1372066	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 Tatsumi Daiki, Nanatani Kei, Koike Yuto, Kamagata Kiyoto, Takahashi Satoshi, Konno Ayumu, Furuta Tadaomi, Sakurai Minoru, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 474
2. 論文標題 Probing native metal ion association sites through quenching of fluorophores in the nucleotide-binding domains of the ABC transporter MsbA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biochemical Journal	6. 最初と最後の頁 1993 ~ 2007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1042/BCJ20161051	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 Tanudjaja Ellen, Hoshi Naomi, Su Yi-Hsin, Hamamoto Shin, Uozumi Nobuyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Kup-mediated Cs ⁺ uptake and Kdp-driven K ⁺ uptake coordinate to promote cell growth during excess Cs ⁺ conditions in <i>Escherichia coli</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-02164-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Eriko Mishima, Yoko Sato, Kei Nanatani, Naomi Hoshi, Jong-Kook Lee, Nina Schiller, Gunnar von Heijne, Masao Sakaguchi, Nobuyuki Uozumi	4. 巻 473
2. 論文標題 The topogenic function of S4 promotes membrane insertion of the voltage-sensor domain in the KvAP channel	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Biochem. J.	6. 最初と最後の頁 4361-4372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1042/BCJ20161051	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

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 内山 剛志, 竹林 昂亮, 浜本 晋, 加藤 恵, 池田 隼人, 菊永 英寿, 須田 利美, 遠山 翔, 三輪 美沙子, 松山 成男, 黒森 崇, 石川 敦司, 堀江 智明, 山上 睦, 石丸 泰寛, 魚住 信之
2. 発表標題 シロイヌナズナAtHKT1のNa輸送機能の役割
3. 学会等名 第62回植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻井雅、石丸泰寛、魚住信之
2. 発表標題 光合成電子伝達系を調節するイオン輸送体と硫黄分子の解析
3. 学会等名 第一回 R&D 戦略委員会 サテライトシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林歩夢, 辻井雅, 狩野文香, 解良康太, 児島征司, 小口理一, 彦坂幸毅, 園池公毅, 魚住信之
2. 発表標題 藍藻の新規強光応答機構を担う Na ⁺ /H ⁺ アンチポーターの同定と機能解析
3. 学会等名 日本農芸化学会 2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤奏音, 齋藤俊也, 笥太心, 河野優, Matteo Grenz, Alex Costa, 石丸泰寛, 魚住信之
2. 発表標題 気孔閉鎖を抑制する化合物の同定
3. 学会等名 植物化学調節学会第55回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林歩夢, 辻井雅, 狩野文香, 解良康太, 石丸泰寛, 魚住信之
2. 発表標題 強光適応と光合成調節にかかわる藍藻 Na ⁺ /H ⁺ アンチポーターの解析
3. 学会等名 第15回トランスポーター研究会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shunya Saito, Misaki Sato, Shin Hamamoto, Philipp Koster, Jorg Kudla and Nobuyuki Uozum
2. 発表標題 Multiple CBL-CIPK pairs regulate Arabidopsis guard cell ion channels
3. 学会等名 18th International Workshop on Plant Membrane Biology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Uozumi, Masaru Tsujii, Ellen Tanudjaja and Kota Kera
2. 発表標題 Elucidation of the mechanism of Na ⁺ and Cs ⁺ -induced cell growth through cation transporters
3. 学会等名 18th International Workshop on Plant Membrane Biology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 魚住信之
2. 発表標題 気孔開閉と根長の制御をめざした植物イオン輸送体の活性化剤・阻害剤の探索
3. 学会等名 日本生物工学会北日本支部仙台シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木喬太, 遠藤 晃輔, 島田 友輝, 有澤 美枝子, 熊田 佳菜子, 一ノ刀 かおり, 谷井 沙織, 古田 未有, 井坂 修久, 山口 利男, Khurram Basir, 関 原明, 浜本 晋, 石丸 泰寛, 魚住 信之
2. 発表標題 気孔開口を抑制するKチャンネル阻害剤の同定とその構造活性相関
3. 学会等名 第71回日本生物工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Uozumi
2. 発表標題 Uniquely evolved plant ion transport system
3. 学会等名 The 4th Symposium on Plant Environmental Sensing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻井雅、狩野文香、小林歩夢、解良康太、児島征児、小口理一、彦坂公毅、園池公毅、魚住信之
2. 発表標題 光合成活性調節に関与する藍藻 Na ⁺ /H ⁺ アンチポーターの解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 魚住信之, 辻井雅, 狩野文香, 解良康太, 浜本晋, 斎藤俊也
2. 発表標題 駆動力形成を担うイオン輸送による光合成調節
3. 学会等名 第70回日本生物工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunya Saito, Shin Hamamoto, Nobuyuki Uozumi
2. 発表標題 Dual lipidation on Ca ²⁺ -dependent kinases governs SLAC1-mediated stomatal closure
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 Nobuyuki Uozumi
2. 発表標題 Optimum Control of Cellular Homeostasis in Photosynthetic Organism, Cyanobacteria and Plant Cells
3. 学会等名 プラズマフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 解良康太, 永山達也, 七谷圭, 佐伯-矢本千香, 富永昂, 相馬聡, 三浦のぞみ, 武田幸太, 茅森俊介, 安藤英司, 東恭平, 木花将、五十嵐一衛, 魚住信之
2. 発表標題 シアノバクテリアのバイオフィルム形成に関与するポリアミン合成酵素の解析
3. 学会等名 第60回植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻井雅, 解良康太, 浜本晋, 黒森崇, 鹿内利治, 魚住信之
2. 発表標題 大腸菌を宿主細胞としたシロイヌナズナの K ⁺ /H ⁺ アンチポーターの機能解析
3. 学会等名 第12回トランスポーター研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻井雅, 解良康太, 浜本晋, 黒森崇, 鹿内利治, 魚住信之
2. 発表標題 シロイヌナズナの Non-photochemical quenchingに關与するK ⁺ /H ⁺ アンチポーターの輸送活性の評価
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 狩野文香, 解良康太, 辻井雅, 魚住信之
2. 発表標題 シヨ糖密度勾配遠心分離法によるN ⁺ /H ⁺ アンチポーターの細胞内局在性の解析
3. 学会等名 藍藻の分子生物学
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 狩野文香, 辻井雅, 解良康太, 魚住信之
2. 発表標題 シアノバクテリアトランスポーターの局在性および機能解析
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池内昌彦
2. 発表標題 シアノバクテリアの物質生産と光合成
3. 学会等名 日本光合成学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池内昌彦
2. 発表標題 シアノバクテリアの物質生産に向けた試み
3. 学会等名 ラン藻の分子生物学（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 ジフェニル尿素化合物誘導体	発明者 魚住信之, 有澤美枝子, 鈴木喬太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019- 145811	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 植物のカリウムイオン輸送体の機能制御剤及び植物の育成方法	発明者 魚住信之, 有澤美枝子, 鈴木喬太, 遠藤晃輔, 浜本晋, 池ノ	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019- 021445	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 植物のカリウムイオン輸送体の機能制御剤及び植物の育成方法	発明者 魚住信之 遠藤晃輔 浜本晋 池ノ上芳章	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-042163	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 植物のカリウムイオン輸送体の機能制御剤及び植物の育成方法	発明者 魚住信之 遠藤晃輔 浜本晋 鈴木喬太 池ノ上芳章	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-020806	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分担者	川崎 寿 (Kawasaki Hisashi) (90349788)	東京大学・生物生産工学研究センター・特任教授 (12601)	
研究 分担者	池内 昌彦 (Ikeuchi Masahiko) (20159601)	東京大学・大学院総合文化研究科・名誉教授 (12601)	

	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 協力者	辻井 雅 (Tshujii Masaru) (30865887)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

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			
イタリア	University of Milan			
ドイツ	University of Munster			