

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03165

研究課題名(和文) 高等動物細胞間結合チャネルのクライオ電子顕微鏡構造研究

研究課題名(英文) Cryo-EM analysis of intercellular junction channels of higher animals

研究代表者

大嶋 篤典(Oshima, Atsunori)

名古屋大学・細胞生理学研究センター・教授

研究者番号：80456847

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)：ギャップ結合チャネルとその関連タンパク質を脂質ナノディスクに再構成してクライオ電子顕微鏡で構造解析を行った。具体的には線虫のinnexin-6(INX-6)とヒトpannexin-1(PANX1)の2つについての構造研究を行い、電気生理学による機能解析とMDシミュレーションを共同研究で行った。これらの結果から、チャネルが開くときはN末端領域が漏斗状のコンフォメーションを取り、チャネルが閉じるときには脂質がINX-6やPANX1のチャネル通路に入り込んで塞ぐ脂質ゲーティングモデルが示唆された。本研究によってLarge pore channelが閉じるメカニズムの一つの解釈を与えることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ギャップ結合チャネルとは水やイオンのほか、ヌクレオチドやペプチドといった大きい分子を通すことが知られているが、その開閉機構を明確に説明できる構造モデルは存在しておらず、これはLarge pore channelについても同様であった。本研究によってINX-6やPANX1のチャネル通路に脂質が入り込んで閉じる概念は、過去に示唆されることのない新しい開閉機構のモデルである。INX-6とPANX1はその機能が本質的に異なると想定されるが、N末端領域がファネルを形成し、その閉塞に脂質が関与している点が似通っているのは、ギャップ結合ファミリータンパク質に共通したメカニズムであることを示唆するものである。

研究成果の概要(英文)：The gap junction and related proteins were reconstituted into lipid nanodiscs, and those structures were determined by cryo-electron microscopy. In this project, we worked on two proteins, *C. elegans* innexin-6 (INX-6) and human pannexin-1 (PANX1), and functional analysis by electrophysiology and MD simulations were performed in collaboration. We proposed a lipid gating model in which the N-terminal region takes a funnel conformation when the channel is open, and lipids enter and block the channel pore of INX-6 and PANX1 when the channel is closed. This study provides an interpretation of the mechanism of large pore channel closure.

研究分野：構造生物学

キーワード：ギャップ結合チャネル 開閉メカニズム クライオ電子顕微鏡 高分解能構造解析 タンパク質 脂質 相互作用 チャネル機能解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ほぼすべての多細胞生物はギャップ結合チャネルと呼ばれる細胞間コミュニケーションを担う膜貫通構造を保持している。我々は過去に無脊椎動物のギャップ結合チャネルタンパク質イネキシン 6(INX-6)をクライオ電子顕微鏡で高分解能構造解析し、N 末端領域のファネルがオープン構造を作ることを示した(Oshima et al. (2016) Nat. Commun.)。これは脊椎動物が持つギャップ結合チャネルタンパク質コネキシン 26(Cx26)の X 線結晶構造解析で示唆された N 末端ファネル(Maeda et al. (2009) Nature 458, 597)と共通していたが、サブユニットの数がコネキシンの 12 個に対して、イネキシンは 16 個であり、チャネルの大きさや通路の広さが INX-6 の方が大きいことが分かった。一方で、INX-6 や Cx26 が明確に閉じた高分解能構造の報告がなく、チャネルがどのように閉じるのかは未解明である。また、ギャップ結合チャネルの高分解能構造解析は可溶性状態のものしかなく、脂質に存在した状態での構造研究の報告がない。パネキシンはギャップ結合タンパク質イネキシンの脊椎動物に存在するホモログで、Large pore channel として知られているが、その構造は未解明であった。特に脊椎動物が持つコネキシンとパネキシンについては、高分解能構造解析の報告例が X 線結晶構造解析の一例(Maeda et al. (2009))しかなく、クライオ電子顕微鏡単粒子解析による報告はまだなかった。

2. 研究の目的

タンパク質の高分解能構造解析手法として結晶化を必要としないクライオ電子顕微鏡単粒子解析が近年盛んに利用されており、膜タンパク質の構造研究もその例外ではない。本研究ではギャップ結合チャネル関連タンパク質の高分解能構造解析をクライオ電子顕微鏡単粒子解析で行い、ギャップ結合チャネルを含む Large pore channel の開閉機構と生理機能の解明を目的とした。具体的には脊椎動物が持つヒト pannexin-1(PANX1)、線虫が持つ INX-6 のクライオ電子顕微鏡単粒子解析を行った。試料調製にはナノディスクを用いて脂質に再構成された状態の構造解析の高分解能化を目指した。またこれらのチャネルの透過活性測定を蛍光顕微鏡下で行い、大阪大学渡邊准教授との共同研究によって、電気生理学的な機能研究も行った。さらに MD シミュレーションの共同研究によって、構造に基づく開閉機構の解釈の検証を目指した。本研究によって、構造学的視点からギャップ結合チャネルとその関連タンパク質がもつ開閉機構を解明するとともに、膜タンパク質のクライオ電子顕微鏡による高分解能構造解析を加速するための試料調製基盤技術開発を目指した。

3. 研究の方法

(1) ギャップ結合チャネル INX-6 と Large pore channel の PANX1 のナノディスク再構成
チャネルタンパク質を脂質に埋まった状態で構造解析するため、ナノディスク再構成を全ての精製膜タンパク質に適用した。具体的には POPC と MSP2N2、精製チャネルタンパク質のモル比を検討し、再構成効率の最も高い条件を探索して、クライオ電子顕微鏡単粒子解析のための試料とした。

(2) クライオ電子顕微鏡による INX-6、PANX1 の高分解能構造解析

日本電子製 JEM-3000SFF を用いて試料調製の条件検討を行い、確実に高分解能構造解析が可能な凍結グリッドが作製できていることを確認して、複数のグリッドを作製、凍結保存した。大量データ収集は PANX1 については共同研究で行い、日本電子が保有するデモ機 CRYOARM300(東京都、昭島市)を使用した。Cx26 は JEM-3000SFF(名大)で行った。画像解析は RELION3.0, EMAN2, CryoSPARC のソフトウェアでマップの計算を行い、モデリングは Coot、精密化は Phenix を用いて行った。

(3) チャネルの機能解析と MD シミュレーション

INX-6、PANX1 の機能解析は大阪大学大学院生命機能研究科の渡邊正勝准教授との共同研究で行った。アフリカツメガエルの Oocyte を用いた Whole cell voltage clamp を用いたほか、PANX1 については検証を兼ねて、HEK による Whole cell patch clamp を行った。クライオ電子顕微鏡で解析した構造から示唆されるモデルの検証の一つとして、MD シミュレーションを東京大学の寺田透先生と共同研究で行った。

4. 研究成果

(1) 線虫 INX-6 ヘミチャネルのナノディスク再構成とクライオ電子顕微鏡高分解能構造解析

本課題に先行する科研費基盤研究 C から引き継いだ内容で、線虫 innexin-6(INX-6)ギャップ結合チャネルを脂質ナノディスクに再構成して構造解析したものである。ナノディスク再構成した野生型 INX-6 ヘミチャネルの 3.8 Å 分解能構造はチャネルのポアの中に二重層の密度が現れ(図 1(b))、細胞外領域の特に第 2 ループが不安定化していた。可溶性状態の野生型 INX-6 チャネルとナノディスクに再構成した N 末端欠変異体の構造はそれぞれ 3.8 Å 分解能と 3.6 Å 分解能で解析され(図 1(a,c))、脂質二重膜が存在するか否かで N 末端の配置が異なっており、ナノディスク再構成によってポアの通路が妨げられていると解釈された。共同研究に基づく分子動力学シミュレーションでは脂質分子が隣接するサブユニットの膜貫通領域

の間に入り込んでいく様子が確認され、アフリカツメガエル卵母細胞を用いた電気生理学的機能解析の結果は intact な N 末端が正常にポアを開くのに不可欠であることを示すものであった。これらを総合すると、INX-6 ギャップ結合チャンネルが持つ大きなポアが脂質二重膜中でどのように閉じるのかという問題について、脂質分子がチャンネルのポアに入り込むことによって INX-6 の N 末端が構造変化を起こし、ポアを塞ぐというメカニズムが示唆された。本研究は論文としてまとめ、Science Advances 誌にて発表した(Burendei et al. (2020) Sci. Adv. 6, eaax3157)。

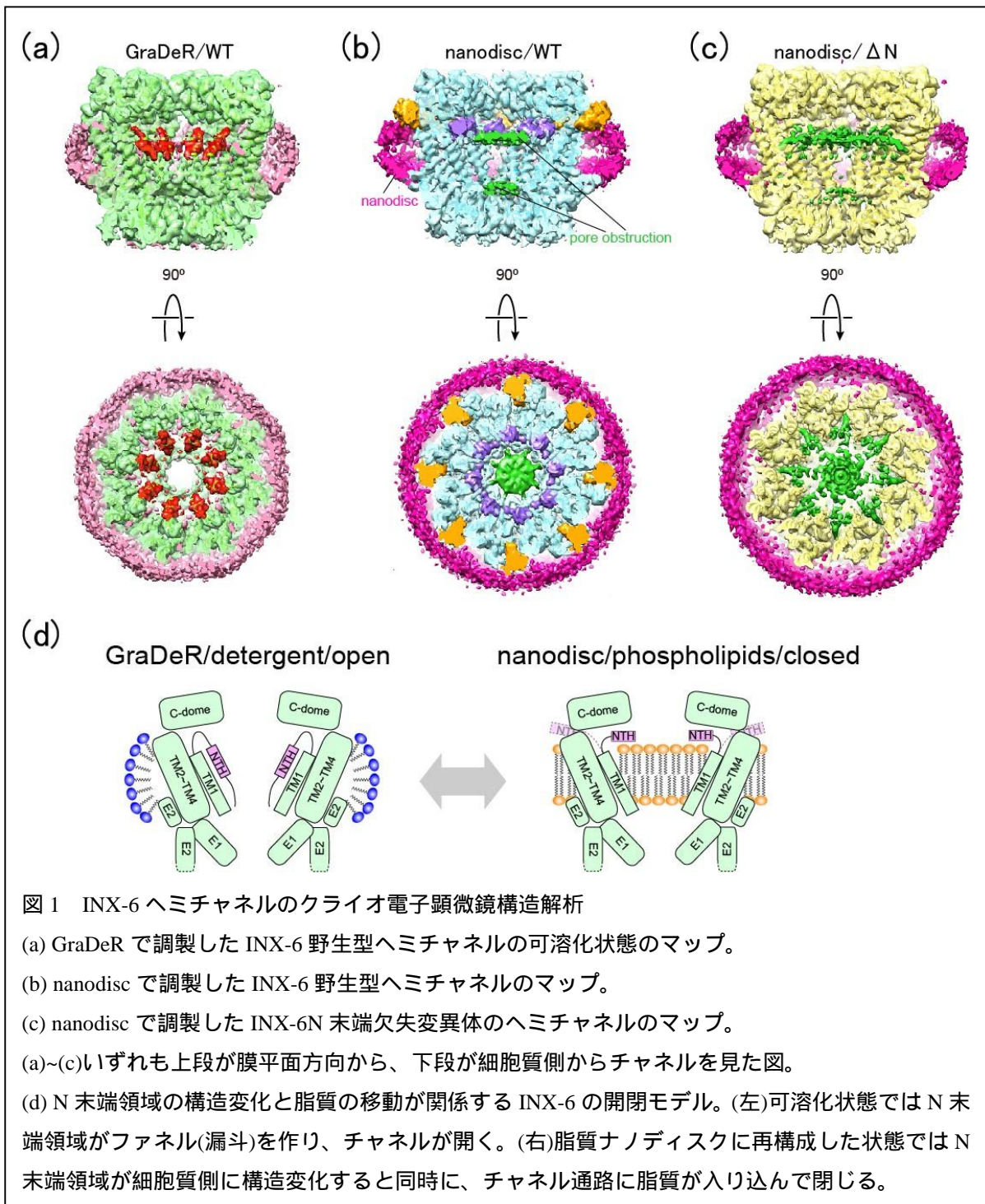


図1 INX-6ヘミチャンネルのクライオ電子顕微鏡構造解析

(a) GraDeR で調製した INX-6 野生型ヘミチャンネルの可溶化状態のマップ。

(b) nanodisc で調製した INX-6 野生型ヘミチャンネルのマップ。

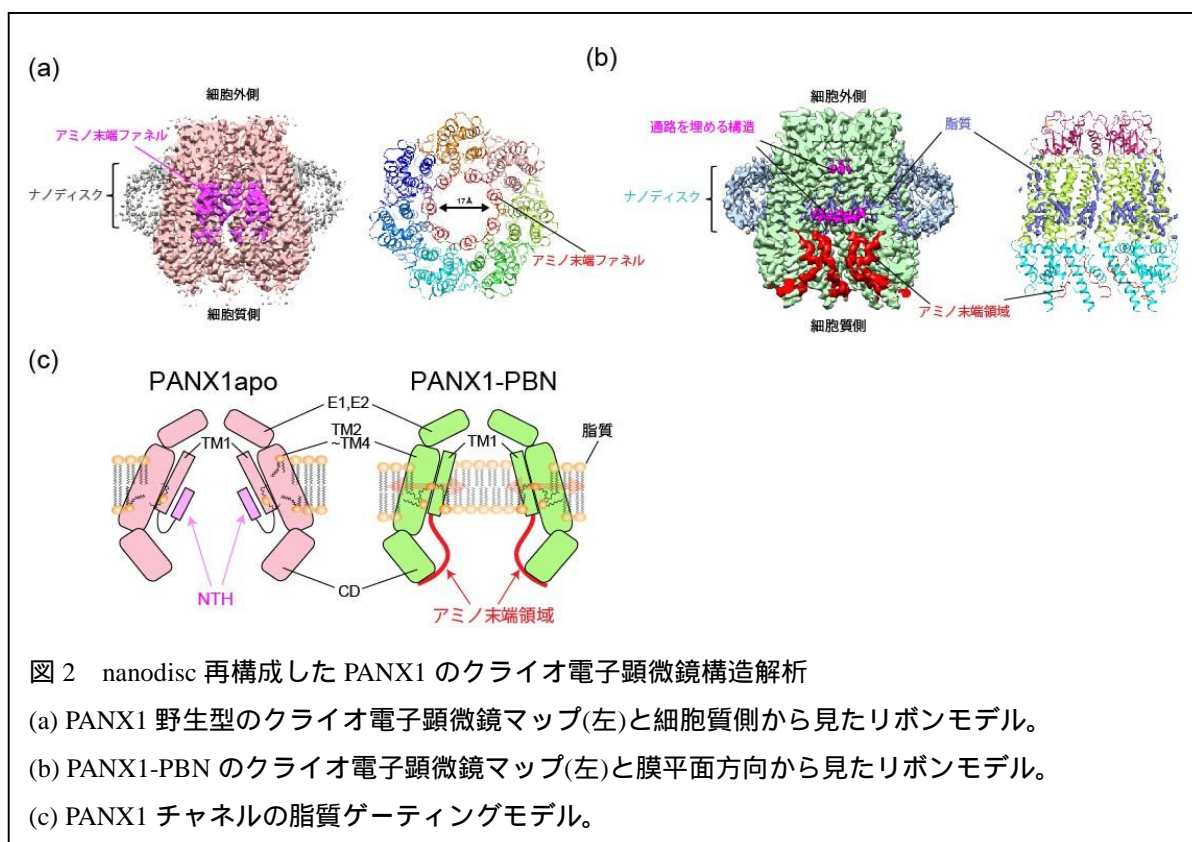
(c) nanodisc で調製した INX-6N 末端欠失変異体のヘミチャンネルのマップ。

(a)~(c)いずれも上段が膜平面方向から、下段が細胞質側からチャンネルを見た図。

(d) N 末端領域の構造変化と脂質の移動が関係する INX-6 の開閉モデル。(左)可溶化状態では N 末端領域がファネル(漏斗)を作り、チャンネルが開く。(右)脂質ナノディスクに再構成した状態では N 末端領域が細胞質側に構造変化すると同時に、チャンネル通路に脂質が入り込んで閉じる。

(2) ヒト PANX1 チャンネルの構造解析と脂質ゲーティングモデル

Large pore channel の一つとして知られるヒト pannexin-1(PANX1)を哺乳動物細胞で発現、精製し、ナノディスク再構成を行った後、クライオ電子顕微鏡による高分解能構造解析を行った。野生型 PANX1 の apo 状態(PANX1apo)、野生型 PANX1 に阻害剤の probenecid(PBN) 3mM を添加した状態(PANX1-PBN)、PANX1 の C 末端欠失変異体(PANX1ΔC)、PANX1 の N 末端欠失変異体(PANX1ΔN)を解析した。PANX1apo は N 末端がチャンネル通路内でファネルを形成し、通路を大きく開けている構造(図 2(a))であるのに対し、PANX1-PBN は N 末端領域が細胞質側に大きく構造変化すると同時に、脂質がチャンネルの内側に存在することが確認され、チャンネルの通路をブロックする密度が確認された(図 2(b))。また、PANX1 ΔC は PANX1apo と、PANX1 ΔN は PANX1-PBN と非常に良く似た構造を取っていた。共同研究の電気生理学実験によって、PBN がチャンネルの活性を低下させることが確認されたことから、PANX1-PBN は、チャンネルが機能的に閉じた構造を示唆する一方、PANX1apo と PANX1 ΔC は活性を示したことからオープンの状態を示していると解釈された。また、PANX1 ΔN は全くチャンネル活性を示さず、これは先行研究(Ruan et al. (2020) Nature 584, 646)と相反するデータであった。我々は *Xenopus Oocyte* と HEK の両方で活性測定を行って再現性を確認しており、PANX1 ΔN のチャンネル活性は無いものと判断した。クライオ電子顕微鏡構造解析により、隣接するサブユニットの隙間に脂質が存在していることが明らかとなった。これらのサブユニットの境界を埋める脂質の動的構造変化を検証するため、共同研究により MD シミュレーションを行った。その結果、サブユニットの隙間を縫うようにして脂質がチャンネルの通路に入り出す可能性が示唆された。これらの結果を総合して、脂質が PANX1 と相互作用しながらチャンネル通路内へ移動する「脂質ゲーティングモデル」(図 2(c))を提示した。この結果は論文としてまとめ、*Science signaling* 誌に発表した(Kuzuya et al. (2022) Sci. Signal. 15, eabg6941)。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kuzuya Maki, Hirano Hidemi, Hayashida Kenichi, Watanabe Masakatsu, Kobayashi Kazumi, Terada Tohru, Mahmood Md. Iqbal, Tama Florence, Tani Kazutoshi, Fujiyoshi Yoshinori, Oshima Atsunori	4. 巻 15
2. 論文標題 Structures of human pannexin-1 in nanodiscs reveal gating mediated by dynamic movement of the N terminus and phospholipids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Signaling	6. 最初と最後の頁 eabg6941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/scisignal.abg6941	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 Batuujin Burendei, Ruriko Shinozaki, Masakatsu Watanabe, Tohru Terada, Kazutoshi Tani, Yoshinori Fujiyoshi, Atsunori Oshima	4. 巻 6
2. 論文標題 Cryo-EM structures of undocked innexin-6 hemichannels in phospholipids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 aax3157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aax3157	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 大嶋篤典	4. 巻 51
2. 論文標題 クライオ電子顕微鏡で見るギャップ結合チャネルの構造	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 細胞	6. 最初と最後の頁 8, 11
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 無
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 Oshima Atsunori	4. 巻 63
2. 論文標題 Structural insights into gap junction channels boosted by cryo-EM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Opinion in Structural Biology	6. 最初と最後の頁 42 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sbi.2020.03.008	査読の有無 無
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 Oshima Atsunori	4. 巻 54
2. 論文標題 Potential of cryo-EM for high-resolution structural analysis of gap junction channels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Opinion in Structural Biology	6. 最初と最後の頁 78 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sbi.2019.01.005	査読の有無 無
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 Abe Kazuhiro, Yamamoto Kenta, Irie Katsumasa, Nishizawa Tomohiro, Oshima Atsunori	4. 巻 12
2. 論文標題 Gastric proton pump with two occluded K+ engineered with sodium pump-mimetic mutations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-26024-1	査読の有無 無
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 Nakanishi Hanayo, Hayashida Kenichi, Nishizawa Tomohiro, Oshima Atsunori, Abe Kazuhiro	4. 巻 298
2. 論文標題 Cryo-EM of the ATP11C flippase reconstituted in Nanodiscs shows a distended phospholipid bilayer inner membrane around transmembrane helix 2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 101498 ~ 101498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2021.101498	査読の有無 無
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 Akil Caner, Ali Samson, Tran Linh T., Gaillard Jeremie, Li Wenfei, Hayashida Kenichi, Hirose Mika, Kato Takayuki, Oshima Atsunori, Fujishima Kosuke, Blanchoin Laurent, Narita Akihiro, Robinson Robert C.	4. 巻 8
2. 論文標題 Structure and dynamics of Odiarchaeota tubulin and the implications for eukaryotic microtubule evolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabm2225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abm2225	査読の有無 無
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 Tanaka Saki, Morita Mikio, Yamagishi Tatsuya, Madapally Hridya Valia, Hayashida Kenichi, Khandelia Himanshu, Gerle Christoph, Shigematsu Hideki, Oshima Atsunori, Abe Kazuhiro	4. 巻 65
2. 論文標題 Structural Basis for Binding of Potassium-Competitive Acid Blockers to the Gastric Proton Pump	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Medicinal Chemistry	6. 最初と最後の頁 7843 ~ 7853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jmedchem.2c00338	査読の有無 無
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 Kataoka Koki, Suzuki Shota, Tenno Takeshi, Goda Natsuko, Hibino Emi, Oshima Atsunori, Hiroaki Hidekazu	4. 巻 4
2. 論文標題 A cryptic phosphate-binding pocket on the SPFH domain of human stomatin that regulates a novel fibril-like self-assembly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Research in Structural Biology	6. 最初と最後の頁 158 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.crstbi.2022.05.002	査読の有無 無
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 Suzuki Shota, Iida Momoko, Hiroaki Yoko, Tanaka Kotaro, Kawamoto Akihiro, Kato Takayuki, Oshima Atsunori	4. 巻 5
2. 論文標題 Structural insight into the activation mechanism of MrgD with heterotrimeric Gi-protein revealed by cryo-EM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-022-03668-3	査読の有無 無
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 Young Victoria C., Nakanishi Hanayo, Meyer Dylan J., Nishizawa Tomohiro, Oshima Atsunori, Artigas Pablo, Abe Kazuhiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Structure and function of H+/K+ pump mutants reveal Na+/K+ pump mechanisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-32793-0	査読の有無 無
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 Kozai Daisuke, Numoto Nobutaka, Nishikawa Kouki, Kamegawa Akiko, Kawasaki Shohei, Hiroaki Yoko, Irie Katsumasa, Oshima Atsunori, Hanzawa Hiroyuki, Shimada Kousei, Kitano Yutaka, Fujiyoshi Yoshinori	4. 巻 435
2. 論文標題 Recognition Mechanism of a Novel Gabapentinoid Drug, Mirogabalin, for Recombinant Human 2 1, a Voltage-Gated Calcium Channel Subunit	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 168049 ~ 168049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmb.2023.168049	査読の有無 無
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 大嶋篤典	4. 巻 63
2. 論文標題 Large pore channel の構造とチャネルの開閉メカニズム	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 97-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.63.97	査読の有無 無
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 大嶋篤典	4. 巻 71
2. 論文標題 クライオ電子顕微鏡が加速するギャップ結合の構造研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体の科学	6. 最初と最後の頁 315-320
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 無
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18件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Structures of gap junction family proteins in nanodiscs
3. 学会等名 2022 Life Sciences International Symposium, R&E Center for Life Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Didik H. Utomo, Akari Fujieda, Atsunori Oshima, Akihiro Narita, Momoko Takahashi, Hideo Kigoshi, and Masaki Kita
2. 発表標題 Structural Study of Actin-Aplyronine A-Tubulin Heterotrimeric Complex and Development of Actin-affinity Tags
3. 学会等名 日本化学会102回春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Structural biology of gap junction proteins
3. 学会等名 Symposium on Computer Simulations and Cryo-ET/EM of Complex Biomolecular Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木翔大、飯田桃子、廣明洋子、川本晃大、加藤貴之、大嶋篤典
2. 発表標題 Structural insights into the unique activation mechanism of the MrgD
3. 学会等名 第44回分子生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Structures of gap junction proteins in nanodiscs
3. 学会等名 第59回生物物理学会年会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大嶋篤典
2. 発表標題 クライオ電子顕微鏡の試料調製と構造研究
3. 学会等名 量子構造生物学委員会の第3回研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大嶋篤典、葛谷麻希、平野秀美、林田研一、渡邊正勝、小林一美、谷一寿、藤吉好則
2. 発表標題 ナノディスクに再構成したPanx1チャネルの構造変化
3. 学会等名 顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Burendei, B, Shinozaki, R., Watanabe, M., Terada, T., Tani, K., Fujiyoshi, Y., Oshima, A.
2. 発表標題 Structures of the Innexin-6 gap junction hemichannels in nanodiscs
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Burendei, B, Shinozaki, R., Watanabe, M., Terada, T., Tani, K., Fujiyoshi, Y., Oshima, A.
2. 発表標題 Cryo-EM structures of undocked innexin-6 gap junction hemichannels
3. 学会等名 International Gap Junction Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oshima, A.
2. 発表標題 Cryo-EM structures of undocked innexin-6 hemichannels in lipid nanodiscs
3. 学会等名 第92回日本生化学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大嶋篤典
2. 発表標題 名古屋大学タンパク質生産領域の支援技術紹介
3. 学会等名 AMED/BINDS 連携セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Structures and gating of gap junction family proteins in phospholipids
3. 学会等名 日本生理学学会第100回記念大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Cryogenic electron microscopy (Cryo-EM)
3. 学会等名 The 3rd Bioinformatics and Biodiversity Conference/ the 6th International Symposium on Bioinformatics (InSyB)/The 2nd Synthetic Biology and Biotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大嶋篤典
2. 発表標題 クライオ電子顕微鏡を用いた細胞間結合の構造研究の最前線
3. 学会等名 第16回バイオ関連化学シンポジウム学生企画『Graduate Student Session』（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大嶋篤典
2. 発表標題 脂質ナノディスクを利用したギャップ結合ファミリータンパク質の構造と膜透過機構
3. 学会等名 生理研研究会「構造情報を基盤とした膜機能分子の生理機能理解に向けて」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大嶋篤典
2. 発表標題 「クライオ電子顕微鏡とタンパク質構造生物学 糖鎖の可視化に向けて」
3. 学会等名 香川県希少糖戦略会議 第15回複合糖質・糖鎖部会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Gating of gap junction family proteins involving phospholipids
3. 学会等名 ISDD & KSSB JOINT SYMPOSIUM（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsunori Oshima
2. 発表標題 Structures of gap junction family proteins in nanodiscs
3. 学会等名 2022 Life Sciences International Symposium, R&E Center for Life Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大嶋篤典	4. 発行年 2023年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 427
3. 書名 クライオ電子顕微鏡ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

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
---------	---------