

機関番号：13901

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18074003

研究課題名（和文）

ナトリウムイオン駆動型膜内回転モーターの力発生機構の解明

研究課題名（英文）

Study on the mechanism of force generation in the sodium-driven flagellar motor

研究代表者：

本間 道夫 (HOMMA MICHIO)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：50209342

研究成果の概要（和文）：

細菌べん毛モーター回転のエネルギー源は、電気化学的ポテンシャル差によるイオンの流入である。海洋性ビブリオ菌 *Vibrio alginolyticus* は、ナトリウムイオンで動く極べん毛を持つ。これまでに固定子内のイオン透過経路については、ほとんど研究が進んでいなかったが、ATR-FTIRを用いた測定により Na^+ 結合部位をはじめ実験的に明らかにした。また、固定子タンパク質膜貫通部位への変異導入により、イオン透過経路を推測した。固定子構成タンパク質に GFP を融合させて、それらの局在の条件を調べたところ、 Na^+ 依存的な局在を明らかにした。固定子のダイナミックな集合解離の重要性を示唆した。固定子タンパク質のペリプラズム側断片の結晶構造を解明しすることにより、大きな構造変化がイオンチャネルの活性化に必要であることを示唆することができた。

研究成果の概要（英文）：

The bacterial flagellar motor is a molecular machine powered by an electrochemical potential gradient of ions across the cytoplasmic membrane. The marine bacterium *Vibrio alginolyticus* has a single polar flagellum that enables it to swim in liquid by Na^+ ions. Until this study, the ion flux pathway in the stator complex is almost unknown. We experimentally showed that Na^+ ions bind to PomB-24 by ATR-FTIR. Furthermore, the ion pathway was inferred by the mutations of the transmembrane regions of stator proteins. Next, we investigated the localization of the GFP-fused stator complex and we found that the stator is assembled into a functional motor around the rotor only in the presence of Na^+ ions. Furthermore, we determined the crystal structure of a C-terminal periplasmic fragment of a stator protein and we could suggest that drastic conformational changes in the N-terminal portion of the stator protein are required both for PG binding and the ion channel activation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	30,900,000	0	30,900,000
2007年度	34,600,000	0	34,600,000
2008年度	34,700,000	0	34,700,000
2009年度	34,600,000	0	34,600,000
2010年度	28,600,000	0	28,600,000
総計	163,400,000	0	163,400,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生物物理学

キーワード：モーター、ナノテク、ナトリウムイオン、生体エネルギー、べん毛

1. 研究開始当初の背景

本研究をスタートした時には、通常 H^+ 駆動型べん毛モーターで回転する大腸菌の欠損株に、キメラモーターを発現させることで、大腸菌のべん毛を Na^+ 駆動力で動かすこと

に成功していた。これは、生命科学技術をもっとも応用しやすい大腸菌を用いて Na^+ 駆動モーターを研究できる画期的な成果である。一般的な H^+ 駆動型モーターの解析の場合、 H^+ イオンがあまりにも水中に普遍的に存

在するため、イオン共役に伴うエネルギー変換の解析は困難である。しかしながら、この大腸菌 Na^+ 駆動型キメラモーターを使った解析は、溶液中での Na^+ イオンの制御が容易で、イオン流入数に対する回転運動量の直接的な計測が可能である。また、 H^+ 駆動型よりも、極べん毛特異的な回転阻害剤が存在するなどの利点も多い。加えて、大腸菌の H^+ 駆動型べん毛のモーターとの比較により研究を進めることが出来る状態であった。

2. 研究の目的

イオン流入を動力源として回転する、超小型ナノマシンである ATPase とバクテリアべん毛モーターにおいて、イオン流入がどのようなメカニズムによって回転運動に変換されるかを解明することを大きな目標とした。本研究計画では、これまでに多くの研究が行われてきたプロトン型のモーターに対してナトリウムイオン駆動型のモーターについて研究を進めた。イオン共役と回転の仕組みを分子レベルで明らかにすることを目的に、モータータンパク質によるイオン流入を直接検出する方法を確立し、イオン流入する際のモータータンパク質構造変換と回転を同時計測することを目指した。

特定領域内における我々の研究班は、蛋白質科学(生化学)の手法を駆使し、膜蛋白質の基本特性を理解した上で、現在の最先端生命科学技術の応用をする立場にある。膜蛋白質の精製や分子生物学的技術に精通した班である。積極的な共同研究を背景に、膜蛋白質間の蛍光エネルギー移動やイオン流入制御と力発生を測定するという独創的なアイデアを真に現実化できるグループである。さらに研究班代表者は、べん毛モーターの回転揺らぎを検出することで、べん毛モーターのルースカップリングを指示する結果を出している。 F_0F_1 -ATPase の回転モーターの運動と ATP 分解エネルギーやイオン流入との共役機構とを比べることが出来る協力的体制として研究することを目的とした行った。

3. 研究の方法

1) 生化学的手法による PomA-FliG 間の相互作用の検討: 固定子タンパク質 PomA と回転子タンパク質 FliG との間で回転力が作られていると考えられている。それを直接的に示す実験事実は得られていない。しかも、PomA と FliG の相互作用は非常に微弱であると予測されている。そこで、PomA の精製過程において界面活性剤の種類を検討するなど、出来るだけ相互作用を損なわないような条件下での共沈実験を行った。

2) 蛍光相関分光法による相互作用の検出: 弱い結合の測定の為に、蛍光相関分光法を用いて測定を行った。FliF の大量発現系を構築して精製を進め、大量発現させた菌体を破碎し、超遠心で分画を行ったところ、半分以上の FliF が可溶性画分に存在することを確認した。そこで、この可溶性画分の FliF を用いて蛍光相関分光法で相互作用を測定した。

3) 試験管内モーター膜蛋白再構成系の構築: PomA・PomB 複合体を精製し、試験管内でプロテオソームに再構成して、膜電位依存的なナトリウムイオンの取り込み活性を検出している。しかし、この実験系は、モーター蛋白質の精製と効率の良い再構成系に問題があった。膜再構成系の確立の為に、

試験管内無細胞蛋白質合成系を開発した。

4) エネルギー変換ユニットの同定: PomA・PotB 複合体の、界面活性剤に対する可溶性や複合体としての安定性などの生化学的性質を、MotA・MotB 複合体や PomA・PomB 複合体あるいは PomA・PotB 変異体と比較した。精製方法については、ヒスチジンタグに対するアフィニティークロマトグラフィーとカラムクロマトグラフィーによる分離法の組み合わせ、可溶化の条件、界面活性剤の種類、濃度などの見直しを行った。

5) 固定子タンパク質の構造解析: 固定子タンパク質の構造決定に向けて、タンパク質の大量調製を行っているが、膜タンパク質であることから十分な量が得られていない。そこで、固定子タンパク質の可溶性部分だけを大量に調製して結晶化とその構造解析を行った。

6) エネルギー変換ユニットの動態観察: 固定子と回転子との静電相互作用が重要だというこれまでのエネルギー変換機構のモデルを根底から覆す結果を研究代表者は発表している。また、エネルギー変換ユニットがダイナミックに共役イオンの存在に伴って、集合解離が起こるといふ新しい現象も発見している。この集合解離の原因を調べるために、多くの GFP 融合タンパク質と変異導入を行い、集合能を調べた。

7) ナトリウムイオン認識部位の同定:

Na^+ -Asp24 の結合を全反射型赤外分光法

(ATR-FTIR) を用い、分光解析によって検討を行った。Asp24 に至る透過経路を形成するアミノ酸 (Cys31-PomB, Ala39-MotB) を提案している。この経路を変異体の導入と先述のナトリウムイオン取り込み活性測定法を組み合わせて検討を行った。

4. 研究成果

in vitro べん毛モーターの再構成系の構築のためには、まずリポソームに再構成した PomAB 複合体に Na^+ チャネル活性が存在し、取り込んだ Na^+ の定量的測定系の確立が必要である。これまでに大腸菌由来の転写翻訳再構成系 PURESYSYSTEM(ポストゲノム研究所)、大腸菌抽出液系 RTS(ロシュ)、小麦胚抽出液系 ENDEXT テクノロジー(セルフフリーサイエンス)を使用した固定子タンパク質(PomAB)の合成を試みた。その結果、PURESYSYSTEM を使った系において、界面活性剤存在下でタンパク質合成を行い、PomAB の合成と可溶化画分からの回収に成功した。これらの合成 PomAB を用いて、プロテオリポソームへの再構を行い、 Na^+ 取り込み活性の測定を行ったが、活性の検出はできなかった。

固定子構成タンパク質 PomB に GFP を融合させた GFP-PomB の局在の条件を調べたところ、培地に Na^+ が存在するときは極局在がみられるが、培地を交換して Na^+ を K^+ に置換すると極局在がみられず蛍光は菌全体に拡散し、更に蛍光ドットの局在と拡散は可逆的であることが分かった。次に、PomB の推定イオン結合部位を含む、種々の変異体を作成してモーターの局在化を調べ、モーター機能と局在の関連をさらに明らかにできた。また、イオノフォアを用いた実験で、局在には、おそらく膜電位は必要ではないことが示された。固定子の集合が適切に行われないうちに遊泳欠損(Mot)を示す FliG の変異体があるのではないかと考え、Mot となる FliG 変異体の

取得を行った。それら変異体を用いて、回転子タンパク質の FlgI の変異によって固定子複合体のべん毛モーターへの集合に影響が生じることを示すことができ、FlgI が固定子の集合に重要であることが示唆された。

べん毛モーター固定子中を透過するイオンは、固定子複合体中の膜貫通部位に唯一存在するカルボン酸、Asp24-PomB(Asp32-MotB) がイオン結合部位と推定されている。全反射型赤外分光法 (ATR-FTIR) を用い、Asp 残基とイオンの相互作用を確かめることに成功した。PomA/PomB をビブリオ菌で発現させ、精製を行い、大腸菌 Polar lipid に再構成した。この試料を用い塩存在下・非存在下での測定を行った。その結果、Na⁺存在下で、COOH 型から COO⁻型へ変化するカルボン酸を見出した。D24N 変異体での信号消失から、Asp24 と Na⁺の結合による変化であることを確かめるとともに、2つの信号が残ることから、Asp24 以外の Na⁺結合部位を明らかにすることができた。さらに、Asp24 に至る透過経路について検討した。Asp24 (Asp32-MotB) のヘリックス 2 ターン分、イオン取り込み側に位置し、H⁺駆動型で Ala、Na⁺駆動型で Cys に保存されている残基に着目し、側鎖の大きさを変える種々の変異体を作成した。その結果、MotA-M206 が MotB-A39 と向かい合いイオン透過経路を形成していることが推定された。

本研究で用いている海洋性ビブリオ菌 (*Vibrio alginolyticus*) は、固定子タンパク質として PomA、PomB を持ち、4A:2B 複合体を形成する。この複合体中を Na⁺が透過し、共役して回転力が発生する。PomA の 3 番目、4 番目の膜貫通領域と PomB の膜貫通領域によってイオン透過経路は形成されると考えられている。PomB の膜貫通領域には、高度に保存された、べん毛の回転に必須なアスパラギン酸残基(PomB-D24)が存在し、Na⁺結合残基として働く。必須である PomB-D24 の負電荷を中和し運動能を完全に欠損した変異体から、運動能を回復させる抑圧変異体を得ることが出来た。この変異は、PomA の 4 番目の膜貫通領域の PomA-N194D であった。この結果は、固定子複合体のイオン結合ポケットにおいて負電荷は必要とされるが、PomB-D24 の位置である必要はないことを示唆している。タンデムに融合した PomA ダイマーは、N 末端側、C 末端側どちらの PomA に PomA-N194D 変異を導入しても、PomB-D24N のバックグラウンドにおいて運動能が回復した。これは、PomB-D24 は、PomA ダイマーのどちらのサブユニットともイオン結合ポケットを形成できることを示唆している。これらのことは、固定子複合体のイオン結合メカニズムの新たな情報を与えた。

ナトリウム駆動モーター固定子 Pom 複合体と相同である Mot タンパク質からなる固定子複合体は、プロトン流と共役して回転力を発生している。Mot 複合体は、MotB の推定ペプチドグリカン結合(PGB)ドメインを介して、PG 層に固定されていると考えられている。またプロトンの透過は固定子がモーターに設置されて始めて活性化される。我々は MotB の C 末端ペリプラズム側断片(MotBC)の結晶構造を解明した。MotBC には PGB ドメインだけでなく、ペリプラズム側において運動に必須な部分がすべて含まれている。構造情報をもとに行った機能解析により、PGB ドメインはプ

ロトンチャンネルを形成するために二量体となっていること、MotBC の N 末端部分の大きな構造変化が PG 結合とプロトンチャンネルの活性化に必要であることが明らかとなった。同様な構造変換が PomB の PGB ドメインでも起こっていることが推測された。

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 18 件)

1. Role of the intramolecular disulfide bond in FlgI, the flagellar P-ring component of *Escherichia coli*. Hizukuri, Y., Yakushi T., Kawagishi I. & Homma, M. *J. Bacteriol.* (査読有) **188**(12): 4190-4197. (2006)
2. Helical distribution of the bacterial chemoreceptor via co-localization with the Sec protein translocation machinery. Shiomi, D., Yoshimoto, M., Homma, M. & Kawagishi, I. *Mol. Microbiol.* (査読有) **60**(4): 894-906. (2006)
3. Electron cryomicroscopic visualization of PomA/B stator units of the sodium-driven flagellar motor in liposomes. Yonekura, K., Yakushi, T., Atsumi, T., Maki-Yonekura, S., Homma, M. & Namba, K. *J. Mol. Biol.* (査読有) **357**: 73-81. (2006)
4. Roles of charged residues of rotor and stator in flagellar rotation: comparative study using H⁺-driven and Na⁺-driven motors in *Escherichia coli*. Yakushi, T., Yang, J., Fukuoka, H., Homma, M. & Blair D. F. *J. Bacteriol.* (査読有) **188**(4): 1466-1472. (2006)
5. Visualization of functional rotor proteins of the bacterial flagellar motor in the cell membrane. Fukuoka, H., Sowa, Y., Kojima, S., Ishijima, A. & Homma, M. *J. Mol. Biol.* (査読有) **367**(3): 692-701. (2007)
6. Flagellar motility in bacteria structure and function of flagellar motor. Terashima, H., Kojima, S. & Homma, M. *Int. Rev. Cell. Mol. Biol.* (査読有) **270**:39-85. Review. (2008)
7. Cell-free synthesis of the torque-generating membrane proteins, PomA and PomB, of the Na⁺-driven flagellar motor in *Vibrio alginolyticus*. Terashima, H., Abe-Yoshizumi, R., Kojima, S. & Homma, M. *J. Biochem.* (査読有) **144**(5):635-642. (2008)
8. Roles of charged residues in the C-terminal region of PomA, a stator component of the Na⁺-driven flagellar motor. Obara, M., Yakushi, T., Kojima, S. & Homma, M. *J. Bacteriol.* (査読有) **190**(10): 3565-3571. (2008)
9. Torque-speed relationships of Na⁺-driven chimeric flagellar motors in *Escherichia coli*. Inoue, Y., Lo, C.J., Fukuoka, H., Takahashi, H., Sowa, Y., Pilizota, T., Wadhams, G.H., Homma, M., Berry, R.M. & Ishijima, A. *J. Mol. Biol.* (査読有) **376**(5): 1251-1259. (2008)
10. Sodium-dependent dynamic assembly of membrane complexes in sodium-driven flagellar motors. Fukuoka, H., Wada, T.,

- Kojima, S., Ishijima, A. & Homma, M. *Mol. Microbiol.* (査読有) **71**(4): 825-835. (2009)
11. Dynamic behavior of giant liposomes at desired osmotic pressures. Ohno, M., Hamada, T., Takiguchi, K. & Homma, M. *Langmuir* (査読有), **25**(19): 11680-11685. (2009)
 12. Interaction between Na⁺ ion and carboxylates of the PomA-PomB stator unit studied by ATR-FTIR spectroscopy. Sudo, Y., Kitade, Y., Furutani, Y., Kojima, M., Kojima, S., Homma, M. & Kandori, H. *Biochemistry.* (査読有) **48**(49): 11699-11705. (2009)
 13. Stator assembly and activation mechanism of the flagellar motor by the periplasmic region of MotB. Kojima, S., Imada, K., Sakuma, M., Sudo, Y., Kojima, C., Minamino, T., Homma, M. & Namba, K. *Mol. Microbiol.* (査読有) **73**(4): 710-718. (2009)
 14. Comparative study of the ion flux pathway in stator units of proton- and sodium-driven flagellar motors. Sudo, Y., Terashima, H., Abe-Yoshizumi, R., Kojima, S. & Homma, M. *Biophysics.* (査読有) **5**: 45-52. (2009)
 15. The flagellar basal-body associated protein, FlgT, essential for a novel ring structure in sodium-driven *Vibrio* motor. Terashima, H., Koike, M., Kojima, S. & Homma, M. *J. Bacteriol.* (査読有) **92**(21):5609-5615. (2010)
 16. Functional transfer of an essential aspartate for the ion binding site in the stator proteins of the bacterial flagellar motor. Terashima, H., Kojima, S. & Homma, M. *J. Mol. Biol.* (査読有) **397**(3): 689-696. (2010)
 17. Zernike Phase Contrast Cryo-electron Tomography of Sodium-driven Flagellar Hook-basal Bodies from *Vibrio alginolyticus*. Naoki Hosogi, Hideki Shigematsu, Hiroyuki Terashima, Michio Homma, Kuniaki Nagayama. *J. Struct. Biol.* (査読有) 173: 67-76. (2011)
 18. The significance of a glutamate-139 residue of V-type Na⁺-ATPase NtpK subunit in its catalytic turnover linked with salt tolerance of *Enterococcus hirae*. Kawano-Kawada, M., Takahashi, H., Igarashi, K., Murata, T., Yamato, I., Homma, M., & Kakinuma, Y. *J. Bacteriol.* (査読有), in press (2011)

[学会発表] (計 4 8 件)

1. 檜作 洋平、小嶋 誠司、川岸 郁朗、本間 道夫「Systematic Cys substitution of the P-ring component FlgI and the C-terminus of the motor component MotB of the flagellar motor of *Escherichia coli*」 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress (第 20 回国際生化学・分子生物学会議・第 11 回アジア・オセアニア生化学者・分子生物学者連合会議), 京都国際会議場, 2006.6.18-23
2. 本間 道夫「細菌べん毛の超分子ナノモーターの構造と機能を見る」第 8 回 分子ダイナミック分光ワークショップ, 浜松名鉄ホテル, 2006.7.6-7 2006.7.7
3. 本間 道夫「膜超分子イオンモーターの分子構築」生物学研究所研究会「機能分子ダイナミクスの分子機構解明に向けて」, 愛知県岡崎市 自然科学研究機構 (岡崎カンファレンスセンター) 2006.9.28-29
4. 和田 智之、福岡 創、小嶋 誠司、本間 道夫「Localization of the stator of the Na⁺-driven flagellar motor dependent on Na⁺ ion」 日本生物物理学会第 44 回年会(Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan), 沖縄コンベンションセンター, 2006.11.12-16
5. Hiroyuki Terashima, Seiji Kojima, Michio Homma「Attempt of functional reconstitution of stator of the bacterial flagellar motor」 日本生物物理学会第 44 回年会(Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan), 沖縄コンベンションセンター, 2006.11.12-16
6. 小原 円、薬師 寿治、小嶋 誠司、本間 道夫「The role of charged residues in C-terminus of PomA in *V. alginolyticus*」 日本生物物理学会第 44 回年会(Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan), 沖縄コンベンションセンター, 2006.11.12-16
7. 小嶋 誠司「Visualizing assembly of the bacterial flagellar stator and rotor proteins *in vivo*」 The Second Workshop of the UK-Japan Bionanotechnology Collaboration, 芝パークホテル, 2006.12.4-6
8. 小嶋 誠司、福岡 創、和田 智之、石島 秋彦、本間 道夫「膜に埋まった超分子複合体“細菌べん毛モーター”の挙動を追う」 分子生物学会 2006 フォーラム, 名古屋国際会議場, 2006.12.6-8 2006.12.8
9. 小嶋 誠司、篠原 明梨、今田 勝己、薬師 寿治、佐久間 麻由子、本間 道夫「Crystal structure of MotY, an essential component for the torque generation of sodium-driven polar flagellar motor of *Vibrio alginolyticus*」 BLAST IX, 米国ネバダ州ラフリン, 2007.1.14-19
10. Hiroyuki Terashima, Hajime Fukuoka, Toshiharu Yakushi, Seiji Kojima and Michio Homma「MotX AND MotY FORM THE T RING ON THE BASAL BODY OF NA⁺-DRIVEN FLAGELLA AND ARE REQUIRED STATOR FORMATION, BLAST IX, 米国ネバダ州ラフリン, 2007.1.14-19
11. M. Homma「Dynamic assembly of the sodium-driven flagellar motor complex in membrane」 The Third Workshop of the UK-Japan Bionanotechnology Collaboration, Lindemann Lecture Theatre, 英国 Oxford, 2007.7.20

12. 吉住 玲、寺島 浩行、須藤 雄気、本間 道夫「Cell-free synthesis of flagellar motor proteins, PomA, PomB and FliG, by wheat germ extract system」 第五回無細胞科学 松山国際シンポジウム, 2007.9.28
13. 本間 道夫「生体膜における超分子構造体であるべん毛モーターの分子構築」 第30回日本分子生物学会年会第80回日本生化学会大会合同大会, パシフィコ横浜ヨコハマグランドインターコンチネンタルホテル, 2007.12.11-15
14. 須藤 雄気、北出 祐也、古谷 祐詞、小嶋 勝、小嶋 誠司、神取 秀樹、本間 道夫「Na⁺駆動型べん毛モーターの固定子複合体, PomA/PomB の FTIR 解析」 第45回日本生物物理学会, パシフィコ横浜, 2007.12.21-23
15. 寺島 浩行、小嶋 誠司、本間 道夫「無細胞タンパク質合成を用いた膜への細菌べん毛モーター固定子タンパク質の再構成」 第45回日本生物物理学会, パシフィコ横浜, 2007.12.21-23
16. M. Homma "Bacterial flagellar motor assembly in membrane" ゴードン会議 (Sensory Transduction in Microorganisms Gordon Research Conference)" "Venturra, 米国 California" 2008.1.13-18
17. Nishiyama M., Sowa, Y., Kumazaki S., Kimura Y., Homma M., Ishijima A., Terazima M." Pressure-induced reversal in the rotational direction of the bacterial flagellar motor" 米国生物物理学会 第52回年会, 米国 Long Beach, CA, 2008.2.2-6
18. 本間 道夫「べん毛回転機構解明に何を今やったらいいのか考えよう！」 べん毛交流会, 京都関西セミナーハウス, 2008.3.3-5
19. 須藤 雄気、吉住 玲、小嶋 誠司、本間 道夫「べん毛モーターを駆動する固定子複合体中のイオン透過経路の推定」 第5回 21世紀大腸菌研究会, 静岡国民年金健康センター, 2008.7.28-29
20. 小嶋 誠司「Structure and function of the C-terminal periplasmic domain of MotB, a stator component of the bacterial flagellar motor from Salmonella」 The Fourth Workshop of the UK-Japan Bionanotechnology Collaboration, 神戸市神戸インスティテュート, 2008.9.16-18
21. 寺島 浩行、吉住 玲、小嶋 誠司、本間 道夫「細菌べん毛モーター固定子のナトリウム流入活性の測定の試み」 日本生物物理学会第46回年会, 福岡国際会議場, 2008.12.3-5
22. 小嶋 誠司、寺島 浩行、吉住 玲、本間 道夫「無細胞タンパク質合成系を用いたべん毛膜タンパク質の機能解析」 日本生物物理学会第46回年会, 福岡国際会議場, 2008.12.3-5
23. 小嶋 誠司「Structural insight into active flagellar formation through the periplasmic region of MotB」 BLAST X, メキシコ Camino Real Sumiya Hotel, 2009.1.18-23
24. 本間 道夫「Estimation of the ion flux pathway in stator units of the proton- and sodium-driven flagellar motors」 ゴードン会議, 米国 Ventura, CA, 2009.2.22-26
25. 本間 道夫「べん毛の局在決定化機構: 細胞の極ってどのようにしてわかるのだろうか?」 第82回日本細菌学会総会, 名古屋国際会議場, 2009.3.12-14
26. 小嶋 誠司「Dissecting sodium-driven flagellar motor of *Vibrio*: Assembly, Structure and Function」 第82回日本細菌学会総会, 名古屋国際会議場, 2009.3.12-14
27. 小嶋 誠司「Assembly and Function of the Sodium-driven Polar Flagellar Motor of *Vibrio alginolyticus*」 International Symposium Innovative Nanoscience of Supermolecular Motor Proteins Working in Biomembranes, 京都大学芝蘭会館(稲盛ホール), 2009.9.8-10
28. Hiroyuki Terashima, Seiji Kojima, Michio Homma「Analysis of the coupled ion binding site in the stator complex of Na⁺-driven flagellar motor」 International Symposium Innovative Nanoscience of Supermolecular Motor Proteins Working in Biomembranes, 京都大学芝蘭会館(稲盛ホール), 2009.9.8-10
29. 本間 道夫「超分子べん毛モーター膜タンパクの集合解離と回転」平成21年度生理学研究所研究会「作動中の膜機能分子の姿を捉える-静止画から動画へ-」自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター, 2009.9.3-4
30. Masaru Kojima, Masae Ohno, Masahiro Nakajima, Michio Homma, Kingo Takiguchi, Takao Kondo, and Toshio Fukuda「Nano Size Biological Clock Capsulated by Lipid Layer」 IEEE NANO 2009, Genoa Italy, 2009.7.26-30
31. 須藤 雄気、北出 祐也、古谷 祐詞、小嶋 勝、小嶋 誠司、本間 道夫、神取 秀樹「ATR-FTIRにより明らかとなったべん毛モーター回転トルク発生のために必要な固定子と Na⁺イオン結合の検出」日本生物物理学会第47回年会, アスティとくしま, 2009.10.30-11.1
32. 小川 遼、吉住 玲、小嶋 誠司、本間 道夫「ビブリオ菌べん毛モーターコンポーネントの FCS 解析に向けた FliF の大量発現と精製」 日本生物物理学会第47回年会アスティとくしま, 2009.10.30-11.1
33. 小池 雅文、寺島 浩行、小嶋 誠司、本間 道夫「*Vibrio alginolyticus* の Na⁺駆動型べん毛モーターCリング精製の試み」 第46回日本細菌学会中部支部総会, 名城大学薬学部, 2009.10.23-24
34. 本間 道夫「Structure and Function of Sodium-driven Polar Flagellar Motor of

- Vibrio alginolyticus」 VIBRIO-2009,ブラジル・リオデジャネイロ, 2009.11.4-6
35. 寺島 浩行、小嶋 誠司、本間 道夫
「Analysis of the Na⁺ binding site in the stator complex of bacterial flagellar motor」第32回日本分子生物学会年会パシフィコ横浜, 2009.12.9-12
36. 寺島 浩行「The essential Asp residue of the ion binding site in the stator protein, PomB, can be replaced into the partner stator protein, PomA in bacterial flagellar motor.」ゴードン会議, ベンチュラビーチマリ奥特 (米国), 2010.1.24-29
37. 本間 道夫「Ion flux pathway of stator complex in sodium-driven flagellar motor」ゴードン会議, ベンチュラビーチマリ奥特 (米国), 2010.1.24-29
38. 小嶋 誠司「Cell-free synthesis of the torque generating bacterial flagellar motor proteins」Pep Con-2010, 北京市, 2010.3.21-23
39. 本間 道夫、西岡 典子、小嶋 勝、小嶋 誠司「Characterization of peritrichous suppressor mutant of *Vibrio delta-flhFG* strain and trails to map it」ゴードン会議, 米国 Colby-Sawyer College, 2010.6.27-7.2
40. 野々山 菜摘、小嶋 誠司、本間 道夫
「Mutations of rotor protein FliG lose the assembly of stator complex in the flagellar motor of *Vibrio alginolyticus*」第48回日本生物物理学会年会, 東北大学川内キャンパス, 2010.9.20-22
41. 寺内 堯史、寺島 浩行、小嶋 誠司、本間 道夫「Role of PomB-F22 close to the Na⁺ binding site of PomB-D24 in transmembrane segments of *Vibrio* flagellar motor」第48回日本生物物理学会年会, 東北大学川内キャンパス, 2010.9.20-22
42. Li Na、小嶋 誠司、本間 道夫「Growth defect caused by the in-frame deletion mutant of PomB, a Na⁺-driven stator component, in *Vibrio alginolyticus*」第48回日本生物物理学会年会, 東北大学川内キャンパス, 2010.9.20-22
43. 本間 道夫「ナトリウム駆動べん毛モーターのエネルギー変換装置における動的機能制御」日本生体エネルギー研究会第36回討論会, 大阪大学, 2010.11.18-20
44. 李 娜、小嶋 誠司、本間 道夫「Na⁺駆動型極べん毛モーター固定子タンパク質 PomB のペリプラズム側リンカー領域の役割」BMB2010(第33回日本分子生物学会年会・第84回日本生化学会大会合同大会), 神戸ポートアイランド, 2010.12.7-10
45. 吉住 玲、郷原 瑞樹、小嶋 誠司、須藤 雄気、本間 道夫「海洋性細菌 *Vibrio alginolyticus* べん毛モータータンパク質 PomA 欠失変異体の性質」BMB2010(第33回日本分子生物学会年会・第85回日本生化学会大会合同大会), 神戸ポートアイランド, 2010.12.7-10
46. Seiji Kojima, Natsumi Nonoyama, Norihiro Takekawa, Hajime Fukuoka and Michio Homma「INTERACTION BETWEEN THE ROTOR PROTEIN FliG AND STATOR IS ESSENTIAL FOR THE FUNCTIONAL MOTOR ASSEMBLY OF NA⁺-DRIVEN FLAGELLA IN VIBRIO ALGINOLYTICUS」BLAST XI, Astor Crown Plaza Hotel, 米国 New Orleans, LA, 2011.1.16-21
47. Mizuki Gohara, Rei Abe-Yoshizumi, Yoshikazu Hattori, Chojiro Kojima, and Michio Homma「ATTEMPT TO INVESTIGATE DYNAMIC CONFORMATIONAL CHANGES IN FLIG USING SOLUTION NMR SPECTROSCOPY」BLAST XI, Astor Crown Plaza Hotel, 米国 New Orleans, LA, 2011.1.16-21
48. Li Na, Seiji Kojima and Michio Homma「CHARACTERIZATION OF THE PERIPLASMIC REGION OF POMB, A SODIUM-DRIVEN STATOR COMPONENT IN VIBRIO ALGINOLYTICUS」BLAST XI, Astor Crown Plaza Hotel, 米国 New Orleans, LA, 2011.1.16-21
6. 研究組織
- (1)研究代表者
本間 道夫 (HOMMA MICHIO)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 50209342
- (2)研究分担者
小嶋 誠司 (KOJIMA SEIJI)
名古屋大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 70420362
- (2006~2008 年度)
滝口 金吾 (KOJIMA SEIJI)
名古屋大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 20262842
- (2006~2009 年度)
柿沼 喜己 (KAKINUMA YOHIMI)
愛媛大学・農学部・教授
研究者番号: 80134394
- (2010 年度)
村田 武士 (MURATA TAKESHI)
千葉大学・大学院理学研究科・特任准教授
研究者番号: 80415322
- (3)連携研究者
(2009~2010 年度)
滝口 金吾 (KOJIMA SEIJI)
名古屋大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 20262842