

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02117

研究課題名（和文）コエンザイムQの合成経路の多様性

研究課題名（英文）Diversity of coenzyme Q biosynthetic pathways

研究代表者

川向 誠（KAWAMUKAI, MAKOTO）

島根大学・学術研究院農生命科学系・教授

研究者番号：70186138

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：コエンザイムQ（ユビキノン、CoQ）は幅広い生物において電子伝達系の必須成分としてエネルギー産生機能を果たしていると同時に、各種酵素の補酵素や抗酸化物質としての機能が注目されている。CoQはミトコンドリアにおいて電子伝達系のATP合成に必要な機能を果たしている物質でありながら、その生合成経路が完全解明されていない。むしろ、最近の研究から、当初考えられていた以上に、多数の酵素がCoQの合成経路に関与していることが少しずつ明らかになってきている。本研究では、CoQ10を生合成する分裂酵母を中心的な材料として、生合成の全容解明とその知見をヒトのCoQ10生合成の理解につなげる研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分裂酵母は、人と同じCoQ10を合成する酵母として、かつ遺伝学的な解析が容易な微生物として、CoQ10生産を考える上でも、生合成経路を理解する面においても重要な研究対象である。CoQ生合成の上流に位置する共通の初発化合物であるPHBは、Coq2タンパク質によって、イソプレニル鎖と縮合される際の基質となるが、PHBの合成経路に関しては、著しく知見が不足しており、チロシンから何段階を経て合成されるのかも解明されていない。今回の我々の発見において、CoQ生合成の上流合成経路に関わるCoq12を発見することができたことは、この成果が人を含めた他の生物でのCoQ生合成の理解に広がる意義を有する。

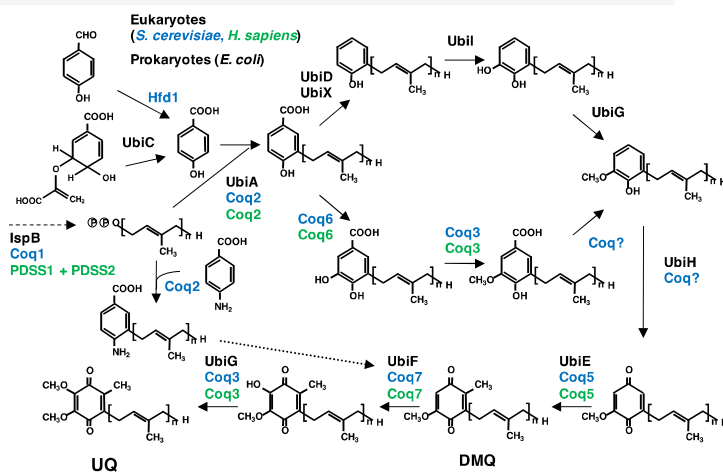
研究成果の概要（英文）：Coenzyme Q (ubiquinone, CoQ) plays a function as an essential component of the electron transport system in a wide range of organisms, and at the same time, it functions as a cofactor for various enzymes and an antioxidant. It gains an attracted attention as a food supplement. Although CoQ is a substance that plays an essential function in mitochondria for ATP synthesis in the electron transport system, its biosynthetic pathway has not been fully elucidated. Recent studies have gradually revealed that numerous enzymes are involved in the CoQ synthetic pathway, rather than we initially thought. In this study, fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*, which biosynthesizes CoQ10, was used to conduct research to elucidate the full scope of biosynthesis and to link the findings to an understanding of human CoQ biosynthesis.

研究分野：微生物工学

キーワード：コエンザイムQ ユビキノン 分裂酵母 ミトコンドリア 電子伝達系 抗酸化物質 補酵素 生合成

1. 研究開始当初の背景

コエンザイム Q (ユビキノン、CoQ) は幅広い生物において電子伝達系の必須成分としてエネルギー産生機能を果たしていると同時に、各種酵素の補酵素や抗酸化物質としての機能が注目されている。CoQ はキノン骨格部分とイソプレニル側鎖からなり、その側鎖長は生物種によって異なるが、10 単位を有する CoQ₁₀ は、1974 年から医薬品として使用され、2001 年からは食品サプリメントとして、幅広く市場に普及している。CoQ₁₀ はヒト自ら合成できることからビタミンではないが、その量は加齢とともに減少し、食品サプリメントとして補うと効果的である。最近の研究により、遺伝的な影響を受けて CoQ₁₀ の合成量が低下している患者は、ミトコンドリア脳筋症になり、リー症候群などの症状を示すということが報告されている。実際に、リー症候群の原因は、我々がその機能を明らかにした PDSS2 遺伝子の変異に起因している (Saiki *et al.*, FEBS J. 2005)。一方で、実際は真核生物の代表である酵母においても、CoQ 生合成が未だ完全解明されていないのが現状である。大腸菌は原核生物の代表として、基本的な CoQ 合成経路は明らかにされているが、酵母においては代謝経路の不明な点が残っており、いくつか重要な課題が残っている。酵母は、遺伝学的な解析、生化学的な解析、代謝物解析の全てが適用できることから優れた研究対象であり、そこで得られた知見がヒトや植物の機能解析に大きく貢献してきている。分裂酵母は CoQ₁₀ を合成する生物種であることから、人の CoQ₁₀ 生合成を理解する上でも、将来生産菌として使用する点においても他の真核生物よりも優位性がある。CoQ 生合成解析においても、まずは酵母での代謝経路を理解し、それを基にヒトの CoQ 生合成を理解することで研究が発展してきた。そのような背景から、CoQ₁₀ 生合成の未知の反応経路の解析を酵母を優先的に進めることが重要であり、本研究を推進する意義は高い。



2. 研究の目的

コエンザイム Q はミトコンドリアにおいて電子伝達系の ATP 合成に必要な機能を果たしている物質でありながら、その生合成経路が完全解明されていない。むしろ、最近の研究から、当初考えられていた以上に、多数の酵素が CoQ の合成経路に関与していることが少しずつ明らかになってきている (Kawamukai, Biosci. Biotechnol. Biochem. 2018)。分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* はヒトと同じ、側鎖のイソプレニル単位が 10 の CoQ₁₀ を生合成することから、CoQ 合成を解析する上で、モデル生物としての適した生物種である。本研究の目的は、CoQ₁₀

を生合成する分裂酵母を中心的な材料として、生合成の全容解明とその知見をヒトの生合成の理解につなげ、さらにその知見を CoQ₁₀ 合成の欠損に起因する遺伝病の理解に貢献させようとするのを大きな目的とするものである。

3．研究の方法

コエンザイム Q 生合成の全容解明に向けた研究を進めるため、分裂酵母の 3,400 種の破壊株ライブラリーを活用し、CoQ を合成できないあるいは顕著に合成能力が低下している株のスクリーニングを行ない、その中から新規の CoQ₁₀ 合成に関わる遺伝子破壊株の解析を進めた。CoQ₁₀ 生合成に関わる遺伝子の破壊株を用いて、CoQ₁₀ 合成に至るまでの前駆体の解析を LC-MS を用いて解析した。同時に分裂酵母内で、他の生物種で知られている遺伝子を発現させ機能的な相補性を検討した。

分裂酵母の遺伝学的、分生生物学的、生化学的な手法は、標準的な方法に従って進めた (Moreno *et al.*, Meth. Enzymol. 1991)。CoQ の分析は細胞の脂質成分を抽出し、最初に薄層クロマトグラフで分画を行い、次に HPLC によって前駆体の分離や CoQ の鎖長解析を行なった。中間体生成物の解析には、質量分析機、MALDI Synapt G2 HDMS(Waters) あるいは Xevo TQ MS(Waters)を使用した。

4．研究成果

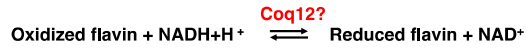
(1) 分裂酵母の CoQ₁₀ 合成を阻害する物質

分裂酵母 *S. pombe* が CoQ₁₀ の前駆物質として *p*-ヒドロキシ安息香酸 (PHB) だけではなく *p*-アミノ安息香酸 (PABA) も利用することを明らかにしている。続けて CoQ₁₀ の生産性に影響を与える化合物を探索したところ、5 µg/mL 以上の安息香酸 (Bz) 添加により CoQ 生合成が顕著に阻害されることを見出した (Nishida *et al.*, PLoS One. 2020)。この阻害は、Bz よりも 10 倍低濃度の PABA もしくは PHB の同時添加により抑圧された。また、PHB-ポリプレニル基転移酵素をコードする *coq2* の過剰発現株において Bz による CoQ 生合成の阻害が緩和された。さらに、ヒトの *COQ2* を過剰発現する *S. pombe* の *coq2* 破壊株においても Bz は CoQ₁₀ 生合成を阻害し、またこの菌株でも PABA が CoQ₁₀ の前駆物質として利用されることを見出した。このため、Bz は *Coq2* によって触媒される PHB や PABA へのプレニル化反応を阻害することが示唆された。加えて、*Coq4* のタンパク質の存在をウエスタンブロットティング法で解析したところ、Bz が CoQ 生合成複合体を不安定化させる効果があることを見出した。

(2) CoQ₁₀ 合成に関わる新規遺伝子 *coq11*, *coq12* の解析

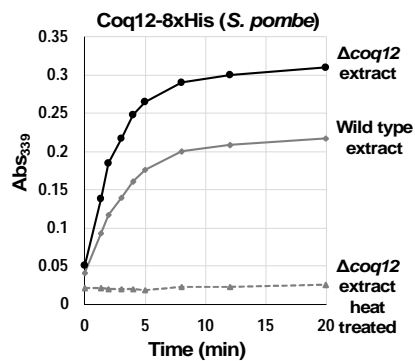
分裂酵母は、人と同じ種類の CoQ₁₀ を合成する酵母として、CoQ₁₀ 生産を考える上も、生合成経路を理解する基礎的な面においても重要な研究対象である。そこで、分裂酵母のミトコンドリに局在するタンパク質をコードする遺伝子の

破壊株、約 400 株の CoQ 量を測定したところ、既知の CoQ 合成に関わる遺伝子以外に、新たに生合成に関わる遺伝子を



発見した。それらの遺伝子を *coq11*, *coq12* と命名し解析を進めた。いずれの欠損株でも、少量の CoQ₁₀ を合成し完全には欠損にはならなかったことから、CoQ₁₀ 生合成複合体の必須因子ではないことがわかる。同時に、完全に CoQ 合成が不能になる新たな遺伝子欠損株は見いだせなかったことから、生育に必須となる遺伝子が CoQ 合成に関わる可能性が残っている。*coq11* 遺伝子破壊株では、最小培地での生育が良く、他の欠損株と表現型が異なっており、CoQ も低いレベルながら存在している。*coq12* 破壊株に上流の PHB やバニリン酸を添加することにより CoQ₁₀ の合成量が回復した。PHB は CoQ 生合成の上流に位置し、Coq2 タンパク質によって、イソプレニル鎖と縮合される際の基質となる。

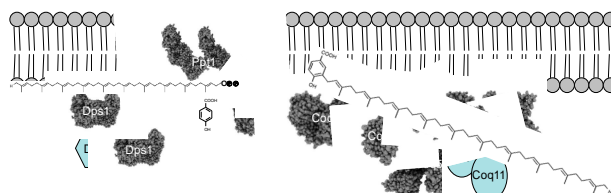
Coq12 タンパク質はフラビン還元酵素として推定されているドメインがあり、実際に Coq12 を精製し、かつ分裂酵母の細胞抽出液を添加した時に、NAD⁺ の還元活性を検出した。これらの結果から、Coq12 は PHB の上流の経路で働き、酸化還元反応に関わる酵素であると考えられた (Nishida *et al.*, J. Biol. Chem 2023)。



(3) 生合成中間体の解析

分裂酵母の生合成には、*dps1*, *dlp1*, *coq2-coq9* 遺伝子に関わることをこれまでに明らかにしているが、それぞれの遺伝子欠損株での中間体の蓄積を詳細に解析した。CoQ の生合成に関する知見は大腸菌と酵母の変異株の解析から進展してきているが、類似点と相違点があり、脱炭酸反応が酵母では明確にはなっていない。分裂酵母の各種 CoQ 合成欠損株 (*dps1*, *dlp1*, *coq2-coq7*) において、人の相同遺伝子 (*PDSS1*, *PDSS2*, *COQ2*, *COQ3*, *COQ4*, *COQ5*, *COQ6*, *COQ7*) を発現させたところ、ほぼ同等の機能を有していることを証明してきたが、*COQ8* や *COQ9* 遺伝子は機能的な保存性が低いことがわかっている。特に *COQ9* は *S. pombe* の近縁種である *S. japonicus* からの相同遺伝子でも相補性が弱く、生物に特有の性質を有している。Coq7 と Coq9 が強く結合しているという報告もあり、そのことが相補性に影響していると考えている。*S. pombe* の *coq6* 欠損株は、直前の前駆体の蓄積と反応がさらに進行した化合物 Hydroxy phenol-10 を検出している。Coq6 は初期の水酸化に関わることから、前駆体の検出は可能であるが、*coq4* 欠損株での前駆体の同定には成功していない。

それぞれの欠損株で、必ずしも途中の化合物の蓄積が見られないことが CoQ 生合成の解析を困難にしている。



4) トキソプラズマの CoQ 合成酵素

米国ジョージア大学の Moreno 教授らのグループとの共同研究で、トキソプラズマの CoQ 合成酵素の解析を進めた。プレニルニリン酸合成酵素は、アリルジホスフェートとイソペンテニルニリン酸との反応を触媒し、CoQ 生合成に使われる長鎖ポリプレニルニリン酸などの化合物を形成する。免疫不全患者や胎児に重篤な疾患を引き起こす日和見病原体であるトキソプラズマにおいて、CoQ 合成に必要なポリプレニルニリン酸合成酵素(TgCoq)は、ヘプタプレニルニリン酸を生成する。TgCoq1 はミトコンドリアに局在し、*T. gondii* の増殖に必須である。TgCoq1 遺伝子の相同遺伝子、あるいは *Trypanosoma cruzi* 由来のソラネシルニリン酸合成酵素(TcSPPS)によって、*T. gondii* TgCoq1 変異体の増殖欠損が相補されることを証明した。ビスホスホネート (BPH-1218) が低ナノモル濃度で *T. gondii* の生育を阻害する一方、TgCoq1 酵素の過剰発現はビスホスホネートによる生育阻害を劇的に減少させることを見出した。変異体の成長障害と BPH-1218 による成長阻害の両方が、CoQ₆ の添加によって抑制された。従って、TgCoq1 は、トキソプラズマ症の化学療法を改善するために利用できる潜在的な薬物標的であることが分かった(Melissa *et al.*, mBIO 2022)。

<引用文献>

1. Ikuhisa Nishida, Yuki Ohmori, Ryota Yanai, Shogo Nishihara, Yasuhiro Matsuo, Tomohiro Kaino, Makoto Kawamukai. Identification of novel coenzyme Q10 biosynthetic proteins Coq11 and Coq12 in *Schizosaccharomyces pombe*. The Journal of Biological Chemistry 299:104797 (Jun, 2023)
2. Melissa A. Sleda, Zhu-Hong Li, Ranjan Behera, Baihetiya Baierna, Catherine Li, Jomkwan Jumpathong, Makoto Kawamukai, Eric Oldfield and Silvia N. J. Moreno. The *Toxoplasma gondii* long prenyl diphosphate synthase is important for the synthesis of ubiquinone and can be inhibited by specific bisphosphonates. mBIO 13:e0196622 (Oct., 2022)
3. 川向 誠 CoQ 生合成と欠損症、ビタミンバイオフア 2 クター総合事典、朝倉書店 (2021 年 7 月)
4. Keisuke Tomita, Yoko Yashiroda, Yasuhiro Matsuo, Jeff Piotrowski, Sheena Li, Reika Okamoto, Mami Yoshimura, Hiromi Kimura, Yumi Kawamura, Makoto Kawamukai, Charles Boone, Minoru Yoshida, Hideaki Nojiri, and Kazunori Okada. Genome-wide screening of genes associated with Momilactone B sensitivity in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. G3 11(8): jkab156 (Aug., 2021)
5. Ikuhisa Nishida, Ryota Yanai, Yasuhiro Matsuo, Tomohiro Kaino, and Makoto Kawamukai. Benzoic acid inhibits Coenzyme Q biosynthesis in *Schizosaccharomyces pombe*. PLoS One 15(11): e0242616 (Nov., 2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kawamukai Makoto	4. 巻 88
2. 論文標題 Regulation of sexual differentiation initiation in <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 475 ~ 492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/bbb/zbae019	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 Ohshima Tomohito, Jiajun Zhang, Fukamachi Takuki, Ohno Yuko, Senoo Hiroko, Matsuo Yasuhiro, Kawamukai Makoto	4. 巻 18
2. 論文標題 A dominant negative 14-3-3 mutant in <i>Schizosaccharomyces pombe</i> distinguishes the binding proteins involved in sexual differentiation and check point	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0291524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0291524	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 Hossain Imrul M., Mazumder Nirmal, Kaino Tomohiro, Kawamukai Makoto, Noothalapati Hemanth, Yamamoto Tatsuyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Direct Visualization of Structurally Similar Polysaccharides in Single Yeast Cells <i>in Vivo</i> by Multivariate Analysis Assisted Raman Microspectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 5249 ~ 5256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c00632	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 Nishida Ikuhisa, Ohmori Yuki, Yanai Ryota, Nishihara Shogo, Matsuo Yasuhiro, Kaino Tomohiro, Hirata Dai, Kawamukai Makoto	4. 巻 299
2. 論文標題 Identification of novel coenzyme Q10 biosynthetic proteins Coq11 and Coq12 in <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 104797 ~ 104797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbc.2023.104797	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 Takenaka Kouhei, Nishioka Shiho, Nishida Yuki, Kawamukai Makoto, Matsuo Yasuhiro	4. 巻 69
2. 論文標題 Tfs1, transcription elongation factor TFIIIS, has an impact on chromosome segregation affected by pka1 deletion in Schizosaccharomyces pombe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Current Genetics	6. 最初と最後の頁 115 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00294-023-01268-0	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 Kawase Yuka, Tanabe Takuma, Kawamukai Makoto, Yoshida Masa-aki	4. 巻 11
2. 論文標題 Whole-Genome Sequencing of <i>Pseudoalteromonas</i> sp. Strain KAN5, an Agar-Degrading Bacterium Isolated from the Gut of an Alga-Eating Fish	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microbiology Resource Announcements	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mra.00398-22	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 Sleda Melissa A., Li Zhu-Hong, Behera Ranjan, Baierna Baihetiya, Li Catherine, Jumpathong Jomkwan, Malwal Satish R., Kawamukai Makoto, Oldfield Eric, Moreno Silvia N. J.	4. 巻 13
2. 論文標題 The Heptaprenyl Diphosphate Synthase (Coq1) Is the Target of a Lipophilic Bisphosphonate That Protects Mice against Toxoplasma gondii Infection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 mBio	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mbio.01966-22	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 Matsuo Yasuhiro, Marcus Stevan, Kawamukai Makoto	4. 巻 68
2. 論文標題 Synergistic roles of the phospholipase B homolog Plb1 and the cAMP-dependent protein kinase Pka1 in the hypertonic stress response of Schizosaccharomyces pombe	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Genetics	6. 最初と最後の頁 661 ~ 674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00294-022-01253-z	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 Yoshida Masa-aki, Tanabe Takuma, Akiyoshi Hideo, Kawamukai Makoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Gut microbiota analysis of Blenniidae fishes including an algae-eating fish and clear boundary formation among isolated <i>Vibrio</i> strains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-08511-7	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 Inamura Shin-ich, Tanabe Takuma, Kawamukai Makoto, Matsuo Yasuhiro	4. 巻 67
2. 論文標題 Expression of Mug14 is regulated by the transcription factor Rst2 through the cAMP-dependent protein kinase pathway in <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Genetics	6. 最初と最後の頁 807 ~ 821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00294-021-01194-z	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 Tomita Keisuke, Yashiroda Yoko, Matsuo Yasuhiro, Piotrowski Jeff S, Li Sheena C, Okamoto Reika, Yoshimura Mami, Kimura Hiromi, Kawamura Yumi, Kawamukai Makoto, Boone Charles, Yoshida Minoru, Nojiri Hideaki, Okada Kazunori	4. 巻 11
2. 論文標題 Genome-wide screening of genes associated with momilactone B sensitivity in the fission yeast <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 G3 Genes Genomes Genetics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/g3journal/jkab156	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

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 川向 誠
2. 発表標題 cAMPとCoQ10に惹かれて
3. 学会等名 日本農芸化学会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西原昇瑚 西田郁久 柳井良太 松尾安浩 戒能智宏 川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母のミトコンドリア局在型NAD(H) kinase Pos5はCoQ合成に關与する
3. 学会等名 日本農芸化学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母を基盤とした増殖制御機構とCoQ10生合成の研究
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国西日本合同大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川向 誠
2. 発表標題 コエンザイムQ10の新機能、生合成と生産
3. 学会等名 第24回酵母合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川向 誠
2. 発表標題 cAMPからCoQ10まで
3. 学会等名 第40回イーストワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Makoto Kawamukai
2. 発表標題 Biosynthesis and bioproduction of Coenzyme Q in yeasts
3. 学会等名 Cold Spring Harbor Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西田 郁久、大森 夕貴、柳井 良太、西野 耕平、西原 昇瑚、松尾 安浩、戒能 智宏、平田 大、川向 誠
2. 発表標題 S. pombeのCoQ10生合成に関するCoq11及びCoq12の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石神 夏萌、檜原 拓之、戒能 智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母S. japonicusのCoQ生合成酵素遺伝子Sjcoq3 ~ Sjcoq9の機能性の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上西倫太郎、堀知葉、松本早代、戒能智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母S. pombeのcoq6およびcoq7破壊株へのキノン骨格類縁体添加によるCoQ合成への影響
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石神 夏萌、楢原 拓之、戒能 智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母 <i>S. japonicus</i> のCoQ生成のキノン骨格修飾に関する遺伝子の相補性の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高塚こまち、松浦啓太、柳井良太、西原昇瑚、戒能智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母の Pph 複合体が、CoQ 合成に関わる 4-ヒドロキシ安息香酸(4-HB)合成経路に及ぼす影響
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高塚 こまち、角 陽香、松浦 啓太、柳井 良太、西原 昇瑚、戒能 智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母の転写因子の高発現とキノン骨格基質の添加によるCoQ生成への影響の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2022大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西原 昇瑚、西田郁久、柳井 良太、松尾安浩、戒能 智宏、川向 誠
2. 発表標題 NADHキナーゼPps5は分裂酵母と出芽酵母のCoQ生成に関与する
3. 学会等名 第18回日本コエンザイムQ協会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原 昇瑚、西田郁久、柳井 良太、松尾安浩、戒能 智宏、川向 誠
2. 発表標題 分裂酵母 <i>S. pombe</i> および出芽酵母 <i>S. cerevisiae</i> の NADH キナーゼ Pos5 と CoQ 生合成との関連性の解析
3. 学会等名 第31回イソプレノイド研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 川向 誠	4. 発行年 2022年
2. 出版社 生物工学会誌	5. 総ページ数 2
3. 書名 AMP化に関わるFicドメインタンパク質	

1. 著者名 川向誠	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 2
3. 書名 ビタミン・バイオファクター総合事典 分担「コエンザイムQの生合成と欠損症」	

〔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
研究分担者	西田 郁久 (Nishida Ikuhisa) (20784531)	新潟大学・日本酒学センター・特任助教 (13101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	中澤 昌美 (Nakazawa Masami) (90343417)	大阪公立大学・大学院農学研究科 ・講師 (24405)	
研究分担者	戒能 智宏 (Kaino Tomohiro) (90541706)	島根大学・学術研究院農生命科学系・准教授 (15201)	

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			
米国	ジョージア大学			