

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03204

研究課題名(和文) 鉄硫黄クラスター生合成マシナリーの反応過程における過渡的な中間状態の解明

研究課題名(英文) Analysis of intermediate states in the reaction process of iron-sulfur cluster biosynthesis machineries

研究代表者

高橋 康弘 (Takahashi, Yasuhiro)

埼玉大学・理工学研究科・名誉教授

研究者番号：10154874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄硫黄(Fe-S)クラスターの多様な生合成系について構造と機能の解析を進め、以下の要点を明らかにした。(1)クラスターの硫黄を供給するシステイン脱硫酵素の反応機構・阻害機構を明らかにした。(2)ISCマシナリーの中核成分IscUについて、Fe-Sクラスターの不安定な生合成中間体を保持した状態の構造を捉え、またHscA-HscBによってもたらされるコンフォメーション変化の意義を明らかにした。(3)SUFマシナリーのプロトタイプとして、偏性嫌気性のアーキアやバクテリアに分布するSufB\*2C2型を同定し、そのユニークな特性から生合成系の進化的変遷の道筋や要因を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、Fe-Sクラスター生合成システムの作動機構と多様性について、鍵となるいくつかのポイントを世界に先駆けて明らかにすることができた。独自に研究の方向性を見定めて、オリジナルのin vivo実験系とin vitroの生化学的ならびに構造解析を有機的に関連させつつ発展させた成果である。これらはFe-Sクラスター生合成の本質に迫る重要な知見であり、学術的な意義は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we analyzed the biosynthetic systems of iron-sulfur (Fe-S) clusters and clarified the following key points. (1) We clarified the reaction and inhibition mechanisms of cysteine desulfurase that supplies sulfur to the Fe-S clusters. (2) We captured the structure of IscU, a core component of the ISC machinery, in a state that retains the labile biosynthetic intermediate of the Fe-S cluster, and also clarified the significance of the conformational change of IscU induced by HscA-HscB. (3) We identified the SufB\*2C2 type, which is distributed in anaerobic archaea and bacteria, as a prototype of the SUF machinery, and clarified the path and factors of the evolutionary changes of the biosynthetic systems.

研究分野：生化学、分子生物学

キーワード：鉄硫黄クラスター 鉄硫黄タンパク質 生合成

## 1. 研究開始当初の背景

鉄硫黄 (Fe-S) タンパク質は、コファクターとして [2Fe-2S]、[4Fe-4S] などの Fe-S クラスターを持つタンパク質の総称である。夥しい種類の Fe-S タンパク質が知られており、光合成や呼吸などのエネルギー代謝 (電子伝達系) から、窒素や硫黄の同化反応、アミノ酸やヌクレオチドの生合成、DNA の修復、RNA の修飾、遺伝子発現の制御にいたるまで、生命活動の根幹を担っているものも多い。これら Fe-S タンパク質の機能を支えているのが、Fe-S クラスターの生合成系である。研究代表者 (高橋) は 2000 年前後に、世界に先駆けて 2 種類の Fe-S クラスター生合成系、ISC と SUF マシナリーを発見した。いずれも多成分から構成される複雑な酵素系であり、作動機構の詳細は明らかでない。分子レベルでの理解がなかなか進まない要因として、生合成マシナリーで新規に形成される Fe-S クラスターが非常に不安定なことが挙げられる。さらに、鉄イオンの非特異的な結合や Fe-S クラスターの非酵素的な形成が障害となり、*in vitro* の再構成系で *in vivo* の反応を忠実に再現することは未だに困難である。一方、*in vivo* では関連する遺伝子のほぼすべてが生育に必須なため遺伝学的なアプローチも限られていたが、近年、研究代表者 (高橋) は、大腸菌の代謝経路を改変することによって Fe-S クラスター生合成系の必須性を回避させることに成功した (文献①)。この実験系を用いることで、関連遺伝子群を自在に操作して、その影響を極めて簡便かつ正確に評価することができる。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は、鉄硫黄クラスター生合成システムの作動機構の解明であり、ポイントになるのは、Fe-S クラスターの生合成中間体の同定、ならびにそのアセンブリーを担う分子基盤の究明である。このため、ISC マシナリーでは IscU に、SUF マシナリーでは SufBC<sub>2</sub>D 複合体や SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 複合体に重点をおいて *in vivo* 機能解析と結晶構造解析・生化学的解析・分光学的解析を進めた。これら生理学から構造生物学にまたがる新たな切り口で、Fe-S クラスターの生合成反応を超分子マシナリーの作動機構として解き明かすことを目的とした。並行して、多様性に富む Fe-S クラスター生合成システムについて、進化的変遷の道筋や生存戦略との関連を解き明かすことを目指した。

## 3. 研究の方法

X 線結晶解析は藤城と和田が、EPR などの分光学的な解析は藤城が分担した。高橋は全体を総括すると共に、遺伝生化学の観点から以下の方法で研究を進めた。大腸菌では 2 種類の必須な Fe-S タンパク質 (IspG と IspH) がイソプレノイドの生合成経路 (MEP 経路) に関与しているが、この MEP 経路を Fe-S 酵素が関与しないメバロン酸経路に改変すると、Fe-S クラスター生合成系が機能しなくても、メバロン酸を含む培地であれば生育させることができる (文献①)。本研究では、この実験系を利用して関連する遺伝子群を自在に操作し、さまざまな変異株の Fe-S クラスター形成能を比較検討した。また、Fe-S クラスター生合成系を欠損させた大腸菌変異株 ( $\Delta$ isc  $\Delta$ suf) に異種生物由来の関連遺伝子を導入して、その相補能から *in vivo* 機能を評価した。さらに、生合成マシナリーの成分に対して系統的に部位特異変異を導入して機能残基や機能領域を洗い出し、機能不全となったものからはサプレッサー変異を同定した。これら *in vivo* の知見に基づいて、野生型と変異型タンパク質の生化学的性質を *in vitro* で比較するとともに、複合体の

構造解析にフィードバックさせることで実験的な検証を掘り下げ、構造と機能の研究を展開した。

#### 4. 研究成果

(1) 3種類の Fe-S クラスター生合成マシナリー (SUF、ISC、NIF) の作動機構は大きく異なるものの、いずれもシステイン脱硫酵素によって Fe-S クラスターの材料となる無機硫黄が供給されている。この脱硫酵素は、活性部位である PLP 周辺の部分構造の違いから、大きく2つのタイプ (タイプ I: IscS と NifS、タイプ II: SufS) に分類されているが、私たちはそれらの構造と反応機構について比較解析を進め、共通点と相違点、多様性と進化的な側面、ならびに阻害機構の詳細などを明らかにした。すなわち、(i) 好熱菌由来の NifS の結晶構造を解析することで、I 型酵素における触媒ループの構造を初めて捉えた (文献②)。また、(ii) 反応中間体の X 線結晶構造解析に成功し、I 型の NifS と II 型の SufS では共通の反応中間体を形成すること、一方、触媒ループの構造変化は両者で大きく異なることを明らかにした (文献②、③)。 (iii) シクロセリンは、結核の治療などに用いられる抗生物質であり、D-体と L-体の2つの異なる光学異性体が知られている。これら2つの異なるシクロセリン光学異性体が、SufS に対して異なる機構で阻害作用を示すことを明らかにし、病原性微生物による感染症治療において SufS を標的とする新たな創薬の可能性を示した (文献④)。

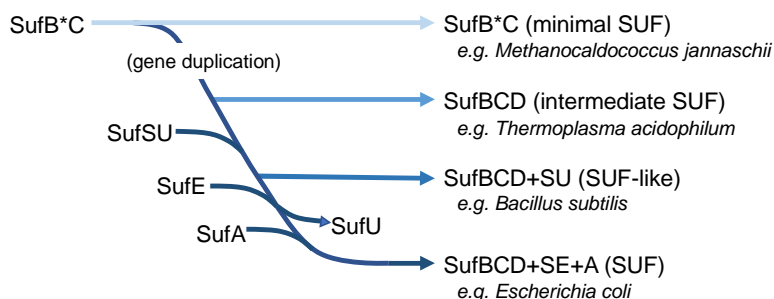
(2) ISC マシナリーにおいて、IscU は Fe-S クラスターの組み立てを担う中核成分であり、HscA-HscB は IscU と特異的に結合する Hsp70 シャペロンとコシャペロンである。これらはどれもマシナリーの機能に必須だが、私たちは、HscA-HscB の必須機能をバイパスする二次的な変異を IscU 内に複数見出した。それらサブレッサー変異型の IscU タンパク質を生化学的に解析したところ、その多くが二次構造レベルで大きく変化した変性状態にあること、また、金属イオンを結合すると native なコンフォメーションに復帰することを見出した。さらに、IscU は、クラスターを組み立ててそれを他のタンパク質に移行させるという反応の過程の中で、structured 型と denatured 型の2つのコンフォメーションを遷移する必要があることを実証した。これらの知見に基づいて、HscA-HscB は IscU の構造を denatured 型に変化させることで、Fe-S クラスターを不可逆的に放出させる役割があることを明確に示した (文献⑤)。

(3) IscU の Fe-S クラスターは非常に不安定であるため解析が進んでいなかったが、好熱性古細菌 *Methanotheroxillum thermoacetophila* IscU の Fe-S クラスターは、例外的に安定性が高いこと、さらに、H106A というアミノ酸置換を導入するとクラスターの安定性が向上することを見出した。このタンパク質の X 線結晶構造解析に成功し、二量体の会合面に2つの [2Fe-2S] クラスターを集積した、独特な構造を世界に先駆けて決定した。また、溶液中でこの二量体に還元剤を加えると、2つの [2Fe-2S] から [4Fe-4S] へのクラスター変換が起こることを、EPR を用いた分光学的な解析で実証した。これらの知見に基づいて、IscU では、1分子あたりひとつの [2Fe-2S] クラスターを組み立てた後で、2分子が会合して二量体となり、その会合面で2つの [2Fe-2S] クラスターが2電子を受け取って融合することで [4Fe-4S] クラスターに変換される、というユニークな反応メカニズムを提唱した (文献⑥)。さらに、IscU の D40A/H106A 二重変異型が、野生型とは異なる非対称な二量体を形成し、その二量体を架橋する形で1つの [2Fe-2S] クラスターを持つことを明らかにすることで、IscU は Fe-S クラスターの配位様式や二量体の会合様式において、並外れた柔軟性を有することを示した。これらの知見に基づいて、クラスターの組み立て

と変換を担う IscU の分子基盤を明らかにすることができた。

(4) 通常、SUF マシナリーは6種類の成分から構成されており、そのうち SufB、SufC、SufD が SufBC<sub>2</sub>D 複合体を形成し、その複合体で Fe-S クラスタ中間体が新規に形成される。一方、偏性嫌気性のアーキアやバクテリアの中には SufB\* と SufC の二成分のみで構成されるタイプが分布している。私たちはその一つ、メタン生成古細菌 *Methanocaldococcus jannaschii* (*Mj*) 由来の SufB\*C について結晶構造を決定し、SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 複合体を形成すること、また、その分子構築は大腸菌 SufBC<sub>2</sub>D 複合体のものと同様であることを明らかにした。さらに、*Mj* *sufB\*<sub>2</sub>-sufC* 遺伝子を、大腸菌の Fe-S クラスタ生合成系を欠損させた変異株で発現させたところ、嫌気かつ Na<sub>2</sub>S を添加した培養条件でのみ変異株の表現型を相補することを見出した。また、別の古細菌 *Methanotherix thermoacetophila* や *Archaeoglobus fulgidus* 由来の *sufB\*C* についても、同じ条件で相補能を確認した。これらの知見に基づいて、SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 複合体は、嫌気条件下で遊離の S<sup>2-</sup> (HS<sup>-</sup>) を硫黄源として Fe-S クラスタを組み立てる生合成系であり、SUF マシナリーのプロトタイプであることを明確に示した(文献⑦)。

(5) *M. jannaschii* の SufB\* と SufC に対して系統的な変異導入解析を行ったところ、大腸菌 (*Ec*) SufBC<sub>2</sub>D との類似性が明白になった。すなわち、*Mj* SufC では *Ec* SufC と同様に ATPase 活性を担う Walker A/B モチーフが必須であった。また、*Mj* SufB\* と *Ec* SufB の間で保存されている Cys 残基と Glu 残基、および *Mj* SufB\* と *Ec* SufD の間で保存されている His 残基も機能に必須であり、これらを足場として、Fe-S クラスタを組み立てていることが示唆された。これら Cys、Glu、His 残基は、*Ec* SufBC<sub>2</sub>D 複合体では SufB-SufD の非対称な会合面に、*Mj* SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 複合体では SufB\*-SufB\* の対称的な会合面に位置している。そこで、*Mj* *sufB\** 遺伝子を2コピー用意して、そのひとつでは *Ec* SufB に似せて His を Ala に置換し、他方では *Ec* SufD に似せて Cys と Glu をいずれも Ala に置換することで、対称→非対称の可能性を検討した。それら2種類の変異型 *Mj* *sufB\** 遺伝子を組み合わせただけでは機能することができなかったが、リバータントの解析から、さらに1アミノ酸の置換が *Mj* SufB\*-SufB\* の会合面に加わると、非対称でも機能できるようになることが明らかになった。すなわち、SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 型は SufB\*<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 型に変換可能であることを示し、SufB\* の遺伝子重複によって SufB と SufD が生じたという進化的な道筋を実験的に再現することができた(文献⑦)。以前に発表した知見(文献⑧)と統合すると、Fe-S クラスタの生合成系は生物進化の極めて初期の段階で出現したのち、地球上における酸素の出現、活性酸素種の増加、S<sup>2-</sup> の枯渇、といった種々の環境要因に対応する形で複雑な変遷が駆動されてきたものと推定される。



<引用文献>

Tanaka N, Kanazawa M, Tonosaki K, Yokoyama N, Kuzuyama T and Takahashi Y (2016) "Novel features of the ISC machinery revealed by characterization of *Escherichia coli* mutants that survive without iron-sulfur clusters" *Mol. Microbiol.* 99(50): 835-848.

Nakamura R, Hikita M, Ogawa S, Takahashi Y, Fujishiro T. (2020) "Snapshots of PLP-substrate and PLP-product external aldimines as intermediates in two types of cysteine desulfurase enzymes." *FEBS J.* 287(6):1138-1154.

Fujishiro T, Nakamura R, Kunichika K, Takahashi Y (2022) "Structural diversity of cysteine desulfurases involved in iron-sulfur cluster biosynthesis" *Biophys. Physicobiol.* 19, e190001.

Nakamura R, Ogawa S, Takahashi Y, Fujishiro T (2022) "Cycloserine enantiomers inhibit PLP-dependent cysteine desulfurase SufS via distinct mechanisms" *FEBS J.* 289(19): 5947-5970.

Sato S, Matsushima Y, Kanazawa M, Tanaka N, Fujishiro T, Kunichika K, Nakamura R, Tomioka H, Wada K, Takahashi Y (2021) "Evidence for dynamic *in vivo* interconversion of the conformational states of IscU during iron-sulfur cluster biosynthesis." *Mol. Microbiol.* 115:807-818. .

Kunichika K, Nakamura R, Fujishiro T, Takahashi Y (2021) "The structure of the dimeric state of IscU harboring two adjacent [2Fe-2S] clusters provides mechanistic insights into cluster conversion to [4Fe-4S]." *Biochemistry.* 60(20):1569-1572.

Murata M, Murakami T, Yuda E, Mukai N, Zheng X, Kurachi N, Mori S, Ogawa S, Kunichika K, Fujishiro T, Wada K, and Takahashi Y (2024) " The minimal SUF system can substitute for the canonical iron-sulfur cluster biosynthesis systems by using inorganic sulfide as the sulfur source" *bioRxiv.* doi: 10.1101/2024.03.20.586028

Yokoyama N, Nonaka C, Ohashi Y, Shioda M, Terahata T, Chen W, Sakamoto K, Maruyama C, Saito T, Yuda E, Tanaka N, Fujishiro T, Kuzuyama T, Asai K, Takahashi Y. (2018) "Distinct roles for U-type proteins in iron-sulfur cluster biosynthesis revealed by genetic analysis of the *Bacillus subtilis* *sufCDSUB* operon." *Mol. Microbiol.* 107(6):688-703.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Murata Maya, Murakami Taichi, Yuda Eiki, Mukai Nanami, Zheng Xintong, Kurachi Natsumi, Mori Sachiko, Ogawa Shoko, Kunichika Kouhei, Fujishiro Takashi, Wada Kei, Takahashi Yasuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 The minimal SUF system can substitute for the canonical iron-sulfur cluster biosynthesis systems by using inorganic sulfide as the sulfur source	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 bioRxiv	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） 10.1101/2024.03.20.586028	査読の有無 無
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 Nakamura Ryosuke, Ogawa Shoko, Takahashi Yasuhiro, Fujishiro Takashi	4. 巻 289
2. 論文標題 Cycloserine enantiomers inhibit PLP dependent cysteine desulfurase SufS via distinct mechanisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The FEBS Journal	6. 最初と最後の頁 5947 ~ 5970
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/febs.16455	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 Shinjyo Yu, Midorikawa Naoya, Matsumoto Takashi, Sugaya Yuki, Ozawa Yoshiki, Oana Ayumi, Horie Chiaki, Yoshikawa Hirofumi, Takahashi Yasuhiro, Hasegawa Toshio, Asai Kei	4. 巻 68
2. 論文標題 Analysis of cell death in Bacillus subtilis caused by sesquiterpenes from Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 62 ~ 70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2323/jgam.2021.09.005	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 Kunichika Kouhei, Nakamura Ryosuke, Fujishiro Takashi, Takahashi Yasuhiro	4. 巻 60
2. 論文標題 The Structure of the Dimeric State of IscU Harboring Two Adjacent [2Fe-2S] Clusters Provides Mechanistic Insights into Cluster Conversion to [4Fe-4S]	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1569 ~ 1572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.biochem.1c00112	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 Fujishiro Takashi, Nakamura Ryosuke, Kunichika Kouhei, Takahashi Yasuhiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Structural diversity of cysteine desulfurases involved in iron-sulfur cluster biosynthesis.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 e190001-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/ biophysico.bppb-v19.0001	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 Sato Sakiko, Matsushima Yumeka, Kanazawa Miaki, Tanaka Naoyuki, Fujishiro Takashi, Kunichika Kouhei, Nakamura Ryosuke, Tomioka Hiroaki, Wada Kei, Takahashi Yasuhiro	4. 巻 115
2. 論文標題 Evidence for dynamic in vivo interconversion of the conformational states of IscU during iron-sulfur cluster biosynthesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecular Microbiology	6. 最初と最後の頁 807 ~ 818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/mmi.14646	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 Nakamura Ryosuke, Hikita Masahide, Ogawa Shoko, Takahashi Yasuhiro, Fujishiro Takashi	4. 巻 287
2. 論文標題 Snapshots of PLP substrate and PLP product external aldimines as intermediates in two types of cysteine desulfurase enzymes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The FEBS Journal	6. 最初と最後の頁 1138 ~ 1154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/febs.15081	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 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 和田 啓、三島 正規、永江 峰幸、杉島 正一、総田 紀子、元山 祐美子、北河 康隆、海野 昌喜
2. 発表標題 [4Fe-4S]フェレドキシンの高精度結晶構造解析と理論計算に基づいた機能解析
3. 学会等名 第96回日本生化学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kouhei Kunichika, Ryosuke Nakamura, Takashi Fujishiro, Yasuhiro Takahashi
2. 発表標題 Structural insights into biosynthesis of a [4Fe-4S] cluster via coupling of two adjacent [2Fe-2S] clusters in the IscU enzyme.
3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横 千智、室賀 直来、寺畑 拓也、島田 侑希乃、國近 航平、中村 亮裕、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生合成に関わるSUF、SUF-like、ISC系の硫黄供給システムの酸化ストレス耐性の比較
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上 太一、村田 真耶、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 メタン生成古細菌のSufB2C2複合体は鉄硫黄クラスター生合成系SUFマシナリーのプロトタイプである
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大塚 穂乃、中村 亮裕、小川 翔子、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 2つの異なるタイプのシステインデスルフラゼと基質類似分子との反応
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Kei Wada, Yoshikazu Tanaka, Yasuhiro Takahashi
2. 発表標題 Structural and functional analyses of E. coli SufBCD complex involved in iron-sulfur clusters biogenesis.
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田 啓、田中 良和、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生合成を担う SUFマシナリーの構造機能解析
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kei Wada, Yoshikazu Tanaka, Yasuhiro Takahashi
2. 発表標題 Molecular mechanism of the SUF system involved in the iron-sulfur cluster biogenesis.
3. 学会等名 10th Asian Biological Inorganic Chemistry (AsBIC10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouhei Kunichika, Ryosuke Nakamura, Takashi Fujishiro, Yasuhiro Takahashi
2. 発表標題 Structural basis for biosynthesis of a [4Fe-4S] cluster from two [2Fe-2S] clusters on the IscU enzyme in ISC machinery
3. 学会等名 10th Asian Biological Inorganic Chemistry (AsBIC10) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 亮裕、小川 翔子、小松 茉里佳、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 PLP 依存型酵素システインデスルフラゼ SufS に対する抗生物質シクロセリンの鏡像異性体間で異なる阻害反応機構
3. 学会等名 第47回生体分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國近 航平、中村 亮裕、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生成足場タンパク質 IscU における [2Fe-2S] から [4Fe-4S] へのクラスター変換の構造基盤
3. 学会等名 第21回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横 千智、室賀 直来、寺畑 拓也、島田 侑希乃、國近 航平、中村 亮祐、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生成に關与する SufEおよび SufUの硫黄輸送状態の比較
3. 学会等名 第94回日本生化学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相羽 花菜、野上 和希、飴野 佑美子、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 枯草菌における鉄硫黄クラスター生成系の補助的因子群の解析
3. 学会等名 第93回日本生化学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國近 航平、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生合成足場タンパク質 1scUの[2Fe-2S]クラスター集積型二量体構造とその意義
3. 学会等名 第93回日本生化学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川 翔子、中村 亮裕、小松 菜里佳、引田 理英、藤城 貴史、高橋 康弘
2. 発表標題 鉄硫黄クラスター生合成マシナリーのシステイン脱硫酵素のシクロセリンによる阻害機構の解明
3. 学会等名 第93回日本生化学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

分子統御研究室ホームページ <a href="http://park.saitama-u.ac.jp/~tougyo/Home.html">http://park.saitama-u.ac.jp/~tougyo/Home.html</a>
--

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	藤城 貴史  (Fujishiro Takashi)  (20740450)	埼玉大学・理工学研究科・准教授    (12401)	

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	和田 啓  (Wada Kei)  (80379304)	宮崎大学・医学部・教授    (17601)	

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