

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K07306

研究課題名(和文)新規システインパースルフィド合成酵素の反応機構と機能解明

研究課題名(英文)Reaction mechanism of a novel cysteine persulfide synthase and its function

研究代表者

井田 智章 (Ida, Tomoaki)

東北大学・医学系研究科・助教

研究者番号：70570406

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：システインパースルフィド(CysSSH)の主要な産生酵素であるCARSの酵素反応論とその活性イオウ代謝制御機構を解明した。さらに、各種イオウ代謝関連遺伝子改変マウスを用いて、活性イオウ分子種の生体内生成動態を示した。つまり、CARSのCysSSH合成活性はKLIKモチーフ周辺のアミノ酸側鎖の微小環境に依存して変動することがわかった。また、CARSはシステインだけでなく、各種チオール基含有化合物に対する広い基質特異性を有し、古典的な Schiff 塩基を介さないこれまで知られていないユニークな反応機構により、各種パースルフィドを生成することで生体内の活性イオウ生合成に関与していることが見出された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、CARSによるCysSSH合成機構は不明であった。本研究により、CARSによる各種パースルフィド合成機構が明らかになった。これにより、CARSによるCysSSH合成活性は、これまで全く知られていないCARSのユニークな moonlighting function であり、その酵素反応論の解明はレドックス研究の進展に大きく貢献した。さらに、活性イオウ分子種の生理学的役割の解明に大きく貢献し、予防医学・創薬などのトランスレーショナルな展開が期待された。

研究成果の概要(英文)：The enzymatic kinetics of CARS, the major enzyme producing cysteine persulfide (CysSSH), and its regulation mechanism of reactive sulfur metabolism were elucidated. Furthermore, the in vivo production levels of reactive sulfur species were shown using various sulfur metabolism-related gene-modified mice. In short, the CysSSH synthesis activity of CARS was found to be dependent on the microenvironment of the amino acid side chains around its KLIK motif. We also found that CARS has broad substrate specificity not only for cysteine but also for various thiol-containing compounds. This enzymatic reaction mechanism is suggested to be a unique reaction mechanism not involving classical Schiff bases. These findings suggest that CARS is involved in redox regulation by producing various persulfides.

研究分野：生化学

キーワード：活性イオウ分子種 システインパースルフィド システインtRNA合成酵素 イオウメタボローム解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、レドックスシグナル分子: 8-ニトロ-cGMP の代謝制御を解析するなかで、システイン(CysSH)のチオール基に複数個のイオウ原子が付加したシステインパーサルフィド(CysSSH)に代表される活性イオウ分子の生体内生成を同定した(*PNAS*, 2014)。活性イオウ分子は、その高い抗酸化活性により、生体内レドックスバランスを制御し、酸化ストレスに起因する各種疾患に対して防御的機能を発揮している(*Thorax*, 2017; *Sci Rep*, 2017; *Cardiovasc Res*, 2019; *PNAS*, 2014, 2019)。さらに、新規 CysSSH 産生機構として、翻訳酵素である CysteinyI-tRNA synthetase(CARS)が、PLP(pyridoxal phosphate)依存的に CysSSH 合成酵素(CARS/cysteine persulfide synthase, CARS/CPERS)として機能することを明らかにした(*Nat Commun*, 2017)。この CARS/CPERS は、翻訳共役型のパーサルフィド合成系としてタンパク質ポリサルフィド化に関与している。

求核性の高い活性イオウ分子を定量的に解析するには、アルキル化剤により安定化し捕捉しなくてはならない。一方、研究代表者は、活性イオウ分子の本体であるパーサルフィドやポリサルフィド $[R-S_n-H(R'), n > 1]$ のアルカリ加水分解(生理的な pH でも起こる厄介な現象)をアルキル化剤が促進し、硫化水素(H_2S)をはじめとするアーティファク的なイオウ代謝物を生成することを見出した (*Nat Commun*, 2017; *Redox Biol*, 2019)。さらに、研究代表者は、hydroxyphenyl などの水酸基を有する化合物がポリサルフィドを安定化することを発見した。この特性をもとに、hydroxyphenyl 基を有する HPE-IAM (β -hydroxyphenyl-ethyl iodoacetamide) は、アルキル化剤であるが、ポリサルフィドの分解を最小限にし、捕捉することを明らかにした。これにより、HPE-IAM と各種質量分析装置 (LC-MS/MS, LC-Q-TOF-MS) を用いた特異的・定量的統合イオウオミックスを開発した(*Nat Commun*, 2017; *Redox Biol*, 2019)。最近、システインスルフィン酸($CysSO_2H$)およびスルホン酸($CysSO_3H$)に加えて、これまでに検出が困難とされてきた CysSSH の酸化体であるシステインパーチオスルフィン酸($CysSSO_2H$)やパーチオスルホン酸($CysSSO_3H$)などの測定法も確立した。このことで、低分子のみならずタンパク質中の殆ど全てのイオウ代謝物の網羅的・統合メタボロームの構築に成功した(*Sci Adv*, 2019)。本解析法を駆使して、最近では、thioredoxin/thioredoxin reductase 系が $CysSSO_2H$ や $CysSSO_3H$ の還元に関与することを明らかにし、システイン側鎖を可逆的に修復していることも報告している(*Sci Adv*, 2019)。研究代表者は、CARS/CPERS の CysSSH 合成の活性中心として PLP 結合サイト(K11K, KMSK モチーフのリジン残基)を同定した(*Nat Commun*, 2017)。しかしながら、CARS/CPERS による詳細な CysSSH 合成制御機構や活性イオウ分子、ポリサルフィド化タンパク質生成動態は不明な点が多く残っている。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らが開発した網羅的かつ特異的・定量的統合イオウオミックスと各種変異 CARS/CPERS 組換え体や多様なバイオリソースを用いて、CARS/CPERS による CysSSH 合成制御機構を解明し、活性イオウ分子種・ポリサルフィド化タンパク質生成動態とその機能を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 統合イオウオミックス解析

Hydroxyphenyl 基を有するアルキル化剤 HPE-IAM を用いて、ポリサルフィドの分解を最小限にしつつ、反応性の高い活性イオウ分子種を捕捉し、安定化した。これに各種濃度既知の安定同位体標識スタンダードを spike し、各種質量分析装置 (LC-MS/MS, LC-Q-TOF-MS) を用いた特異的・定量的統合イオウオミックス解析を実施した。

(2) 各種大腸菌由来遺伝子組換え CARS の調製

大腸菌 CARS の K11K/KMSK モチーフ周辺の保存されたアミノ酸配列をそれぞれ変異した組換え CARS/CPERS を遺伝子組換え技術により調製したプラスミドを大腸菌に形質添加した。この大腸菌を IPTG 処理により、目的のタンパク質を発現誘導し、Ni-アガロースによる精製、及び脱塩処理を行なった。精製した各種組換えタンパク質は SDS-PAGE により確認した。

(3) 大腸菌由来 CARS の各種パーサルフィド産生活性

上記(2)により得た組換え CARS に基質として、L-システイン、D-システイン、グルタチオン等処理し、生成される各種パーサルフィド体を統合イオウオミックス解析により、定量的に測定し

た。

4. 研究成果

(1) CARS/CPERS による CysSSH 合成制御機構の探索

CARS の KIIK, KMSK モチーフ周辺のアミノ酸配列が、原核生物から真核生物に至る殆ど全ての生物種に高度に保存されていることを見出した。そこで、CARS/CPERS の CysSSH 合成制御の分子機構を解明するため、KIIK/KMSK モチーフ周辺の保存されたアミノ酸配列をそれぞれ変異した組換え CARS/CPERS を調製し、イオウメタボロームを用いて、その CysSSH 合成活性や PLP 結合量を解析した。その結果、この周辺アミノ酸が、PLP 結合性を調整することで CysSSH 合成活性を制御していることを見出され、CARS/CPERS の CysSSH 合成活性が、KIIK モチーフ周辺のアミノ酸側鎖の微小環境に依存して変動することがわかった。すなわち、活性中心リジン残基の変異による CysSSH 活性低下に加えて、特に上流のアミノ酸残基の変異により、活性がむしろ増加する現象を認めた。そこで、KIIK モチーフ周辺の 71 番目のアスパラギン酸をイソロイシンに変異した D71I 変異体は、野生型と比較して、非常に高い CysSSH 合成活性を発揮することが見出された。

(2) CARS/CPERS の基質特異性

CARS/CPERS の基質特異性を明らかにするため、遺伝子改変 CARS/CPERS 組換え体に各種含硫化合物を処理し、そのパースルフィド合成活性を解析した。その結果、CARS/CPERS は、L-CysSH の光学異性体である D-CysSH を基質に D-CysSSH を合成するだけでなく、グルタチオン(GSH)を基質にグルタチオンパースルフィド(GSSH)を合成することが示された。これまで、PLP を介したイオウ転移反応には、基質のアミノ基と PLP によるシッフ塩基(Schiff base)形成が必須であるとされている。一方、驚くべきことに、CARS/CPERS は、アミノ基が修飾された N-アセチルシステイン(NAC)を基質に、NAC パースルフィド(NAC-SSH)を合成することがわかった。つまり、CARS/CPERS による PLP 依存的 CysSSH 産生は、古典的なシッフ塩基を介さないこれまで知られていないユニークな反応機構であることが示唆された。

(3) CARS/CPERS の酵素反応論と各種イオウ代謝産物の同定

組換え CARS/CPERS の各基質におけるパースルフィド合成活性を速度論的解析により求めた。さらに、CARS/CPERS に各基質を処理し、そのパースルフィド合成に伴う関連代謝産物の生成を質量分析装置を用いて定量的に同定した結果、2 分子のシステインを基質に 1 分子の CysSSH と 1 分子のアラニンが生成されることを見出した。

(4) 各種変異 CARS/CPERS 発現細胞・マウスにおける活性イオウ代謝物の生成動態解析

研究代表者らのグループにおいて、遺伝子改変技術 CRISPR/Cas9 システムを用いて、既に作成した CARS/CPERS 欠損培養細胞や CARS2 過剰発現細胞等のバイオリソースを利用して、生体内活性イオウ分子種の生成動態をイオウオミックス解析により網羅的に解析した。その結果、CARS/CPERS の PLP 結合サイトのリジンをアラニンに置換した変異マウス(AINK マウス)の各種活性イオウ分子種生成レベルの減少を見出した。一方で、研究協力者の琉球大学大学院医学研究科筒井正人教授は、システイン代謝関連酵素として知られる CSE(cystathionine γ -lyase)や CBS(cystathionine β -synthase), 3-MST(3-mercaptopyruvate sulfurtransferase)の三重欠損マウスを構築した。そこで、研究代表者は、本マウスから MEF 細胞の樹立に成功し、活性イオウ分子生成に及ぼす CARS2 及び CSE/CBS/3-MST の寄与率を解析した結果、活性イオウ分子生成は CARS2 にほぼ依存していることを見出された(*Antioxidants*, 2023)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Zainol Abidin Qamarul Hafiz, Ida Tomoaki, Morita Masanobu, Matsunaga Tetsuro, Nishimura Akira, Jung Minkyung, Hassan Naim, Takata Tsuyoshi, Ishii Isao, Kruger Warren, Wang Rui, Motohashi Hozumi, Tsutsui Masato, Akaike Takaaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Synthesis of Sulfides and Persulfides Is Not Impeded by Disruption of Three Canonical Enzymes in Sulfur Metabolism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Antioxidants	6. 最初と最後の頁 868 ~ 868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/antiox12040868	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 Shimizu Takayuki, Ida Tomoaki, Antelo Giuliano T, Ihara Yuta, Fakhoury Joseph N, Masuda Shinji, Giedroc David P, Akaike Takaaki, Capdevila Daiana A, Masuda Tatsuru	4. 巻 2
2. 論文標題 Polysulfide metabolizing enzymes influence SqrR-mediated sulfide-induced transcription by impacting intracellular polysulfide dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	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/pnasnexus/pgad048	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 Griffiths Kayleigh, Ida Tomoaki, Morita Masanobu, Lamb Reece J., Lee Jordan J., Frenneaux Michael P., Fukuto Jon M., Akaike Takaaki, Feelisch Martin, Madhani Melanie	4. 巻 60
2. 論文標題 Cysteine hydropersulfide reduces lipid peroxidation and protects against myocardial ischaemia-reperfusion injury - Are endogenous persulfides mediators of ischaemic preconditioning?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Redox Biology	6. 最初と最後の頁 102605 ~ 102605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.redox.2023.102605	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 Kasamatsu Shingo, Tsutsuki Hiroyasu, Ida Tomoaki, Sawa Tomohiro, Watanabe Yasuo, Akaike Takaaki, Ihara Hideshi	4. 巻 120
2. 論文標題 Regulation of nitric oxide/reactive oxygen species redox signaling by nNOS splicing variants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nitric Oxide	6. 最初と最後の頁 44 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.niox.2022.01.004	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 Kaneko Kotaro, Miyamoto Yoichi, Ida Tomoaki, Morita Masanobu, Yoshimura Kentaro, Nagasaki Kei, Toba Kazuki, Sugisaki Risa, Motohashi Hozumi, Akaike Takaaki, Chikazu Daichi, Kamiyo Ryutarō	4. 巻 71
2. 論文標題 8-Nitro-cGMP suppresses mineralization by mouse osteoblasts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition	6. 最初と最後の頁 191 ~ 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3164/jcbrn.21-129	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 Kurane Tomomi, Matsunaga Tetsuro, Ida Tomoaki, Sawada Kazuko, Nishimura Akira, Fukui Masayuki, Umemura Masayuki, Nakayama Masaaki, Ohara Naoya, Matsumoto Sohkiichi, Akaike Takaaki, Matsuzaki Goro, Takaesu Giichi	4. 巻 36
2. 論文標題 GRIM 19 is a target of mycobacterial Zn ²⁺ metalloprotease 1 and indispensable for NLRP3 inflammasome activation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The FASEB Journal	6. 最初と最後の頁 e22096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1096/fj.202101074RR	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 Takata Tsuyoshi, Jung Minkyung, Matsunaga Tetsuro, Ida Tomoaki, Morita Masanobu, Motohashi Hozumi, Shen Xingguo, Kevill Christopher G., Fukuto Jon M., Akaike Takaaki	4. 巻 116
2. 論文標題 Methods in sulfide and persulfide research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nitric Oxide	6. 最初と最後の頁 47 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.niox.2021.09.002	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 Erdelyi Katalin, Ditroi Tamas, Johansson Henrik J., Czikota Agnes, Balog Noemi, Silwal-Pandit Laxmi, Ida Tomoaki, Olasz Judit, Hajdu Dorottya, Matrai Zoltan, Csuka Orsolya, Uchida Koji, Tovari, Jozsef, Engebraten, Olav, Akaike Takaaki, Borresen Dale, Anne-Lise, Kasler Miklos, Lehtio Janne, Nagy Peter	4. 巻 118
2. 論文標題 Reprogrammed transsulfuration promotes basal-like breast tumor progression via realigning cellular cysteine persulfidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2100050118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2100050118	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 Marutani Eizo, Morita Masanobu, Hirai Shuichi, Kai Shinichi, Ida Tomoaki, Matsunaga Tetsuro, Flicker Daniel R., Corman Benjamin, Mori Naohiro, Atochin Dmitriy N., Ihara Hideshi, Olenchock Benjamin A, Kevil Christopher G., Xian Ming, Bloch Donald B., Akaike Takaaki, Hindle Allyson G., Motohashi Hozumi, Ichinose Fumito	4. 巻 12
2. 論文標題 Sulfide catabolism ameliorates hypoxic brain injury	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-23363-x	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 Kasamatsu Shingo, Ida Tomoaki, Koga Taisei, Asada Kosho, Motohashi Hozumi, Ihara Hideshi, Akaike Takaaki	4. 巻 34
2. 論文標題 High-Precision Sulfur Metabolomics Innovated by a New Specific Probe for Trapping Reactive Sulfur Species	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Antioxidants and Redox Signaling	6. 最初と最後の頁 1407 ~ 1419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ars.2020.8073	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 Honda Kazufumi, Hishiki Takako, Yamamoto Sohei, Yamamoto Takehiro, Miura Nami, Kubo Akiko, Itoh Mai, Chen Wei-Yu, Takano Masashi, Yoshikawa Tomoyuki, Kasamatsu Takahiro, Sonoda Shinichiro, Yoshizawa Hirotooshi, Nakamura Seigo, Itai Yuichiro, Shiota Megumi, Koike Daisuke, Ida Tomoaki, Akaike Takaaki, Suematsu Makoto	4. 巻 41
2. 論文標題 On-tissue polysulfide visualization by surface-enhanced Raman spectroscopy benefits patients with ovarian cancer to predict post-operative chemosensitivity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Redox Biology	6. 最初と最後の頁 101926 ~ 101926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.redox.2021.101926	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 Nagy Peter, Doka Eva, Ida Tomoaki, Akaike Takaaki	4. 巻 33
2. 論文標題 Measuring Reactive Sulfur Species and Thiol Oxidation States: Challenges and Cautions in Relation to Alkylation-Based Protocols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Antioxidants & Redox Signaling	6. 最初と最後の頁 1174 ~ 1189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ars.2020.8077	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 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tawarayama Hiroshi, Suzuki Noriyuki, Inoue-Yanagimachi Maki, Himori Noriko, Tsuda Satoru, Sato Kota, Ida Tomoaki, Akaike Takaaki, Kunikata Hiroshi, Nakazawa Toru	4. 巻 30
2. 論文標題 Glutathione Trisulfide Prevents Lipopolysaccharide-induced Inflammatory Gene Expression in Retinal Pigment Epithelial Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ocular Immunology and Inflammation	6. 最初と最後の頁 789 ~ 800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09273948.2020.1833224	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 Tsutsuki Hiroyasu, Kasamatsu Shingo, Kuniieda Kohei, Ida Tomoaki, Sawa Tomohiro, Sasakawa Nobuyuki, Akaike Takaaki, Ihara Hideshi	4. 巻 526
2. 論文標題 8-Nitro-cGMP modulates exocytosis in adrenal chromaffin cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 225 ~ 230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.03.045	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 井田智章、ジョンミンキョン、西村 明、松永哲郎、守田匡伸、高田 剛、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 細菌におけるアミノアシル-tRNA合成酵素によるシステインパーサルフィド合成機構の発見
3. 学会等名 第95回日本細菌学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井田智章、赤池孝章
2. 発表標題 呼気オミックスと病原体モニタリング
3. 学会等名 第95回日本細菌学会総会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井田智章、守田匡伸、松永哲郎、Jung Minkyung、高田 剛、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 システインパースルフィド合成酵素の酵素反応機構とその機能解析
3. 学会等名 第74回日本酸化ストレス学会 第21回日本NO学会 合同学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田智章、松永哲郎、高田 剛、守田匡伸、Jung Minkyung、澤 智裕、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 超硫黄代謝物解析と呼気オミックスへの展開
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 井田智章、松永哲郎、高田 剛、守田匡伸、Jung Minkyung、澤 智裕、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 超硫黄分子による生体防御と超硫黄オミックス開発
3. 学会等名 第33回日本生体防御学会学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田智章、松永哲郎、高田 剛、守田匡伸、Jung Minkyung、澤 智裕、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 超硫黄オミックスの開発に向けた基盤研究
3. 学会等名 生理研研究会2021 生命を支える硫黄生物学の最前線
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田智章、ジョンミンキョン、松永哲郎、守田匡伸、高田 剛、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 アミノアシル-tRNA合成酵素による超硫黄分子合成機構の解明
3. 学会等名 第21回分子予防環境医学研究会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田智章、松永哲郎、守田匡伸、高田 剛、本橋ほづみ、住本英樹、赤池孝章
2. 発表標題 NADPH oxidaseによる活性硫黄代謝リモデリングと感染防御機構
3. 学会等名 第93回日本細菌学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井田智章、西村 明、守田匡伸、Jung Minkyung、松永哲郎、居原 秀、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 新規システインパースルフィド合成酵素の同定と酵素反応機構の解明
3. 学会等名 第73回日本酸化ストレス学会 第20回日本NO学会 合同学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井田智章、高田 剛、守田匡伸、松永哲郎、Jung Minkyung、澤 智裕、杉浦久敏、本橋ほづみ、赤池孝章
2. 発表標題 新型コロナウイルスオミックス解析システムの開発
3. 学会等名 第31回日本生体防御学会学術総会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学大学院医学系研究科環境医学分野HP http://www.toxicosci.med.tohoku.ac.jp/index.html
--

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		
米国	Massachusetts General Hospital		
ハンガリー	National Institute of Oncology		