

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00589

研究課題名(和文)ヒ素メチル基転移酵素を使ったメチル化反応による無機ヒ素の無毒化に関する研究

研究課題名(英文) Study on detoxification of inorganic arsenic by methylation using arsenic methyltransferase

研究代表者

宮武 宗利 (MIYATAKE, Munetoshi)

宮崎大学・工学部・助教

研究者番号：40315354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、微生物の機能を利用した無機ヒ素のメチル化によるヒ素の無毒化をより効率的に進めることを目的として、組換え体大腸菌でヒ素メチル基転移酵素を発現させ、抽出した酵素を使って無機ヒ素のメチル化について検討した。さらに、酵素活性を維持しながら連続してメチル化を行えるように、酵素を固定化したマイクロカプセルを使って、無機ヒ素のメチル化を行った。その結果、無機ヒ素を毒性に低いメチル化有機ヒ素に変換することができた。今後、マイクロカプセルに酵素を固定化するときの調製条件を検討することにより、さらに酵素活性の残存率を上げることができ、メチル化有機ヒ素化合物の割合を増やすことができると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有毒な無機ヒ素の処理方法として、早急に実用化が求められているのが無機ヒ素のメチル化による無毒化処理法である。しかし、現在まで実用化に至っていない。その理由として、無機ヒ素のメチル化効率の低さとコストの高さが挙げられる。

本研究によって、直接ヒ素メチル基転移酵素を使ってメチル化反応を行うことで、メチル化有機ヒ素への変換効率を向上させることができる。さらに、無機ヒ素のメチル化反応が高効率で連続して行えることができれば、メチル化効率やコスト面からも有用な技術であることは明らかである。この技術を無毒化プロセスへ応用することで、無機ヒ素の無毒化処理法の実用化に繋がっていく。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to facilitate more efficient arsenic detoxification by methylation of inorganic arsenic utilizing microbial functions. Recombinant E.coli were transformed to express arsenic methyltransferase, and the methylation of inorganic arsenic was investigated using the enzyme extracted from those strains. To ensure continuous methylation while maintaining enzyme activity, the extracted enzyme was immobilized onto microcapsules to perform methylation of inorganic arsenic. As a result, it was possible to convert inorganic arsenic into methylated organic arsenic with low toxicity.

Future studies must focus on increasing the residual enzymatic activity and thus elevating the yield of organic arsenic compounds by optimizing the preparation conditions for enzyme immobilization onto microcapsules.

研究分野：生物工学

キーワード：ヒ素の無毒化 酵素の固定化

1. 研究開始当初の背景

ヒ素は自然界に広く存在する元素の1つであり、農業、工業、医療など幅広い分野で利用されてきた。しかし、ヒ素は高い毒性を持ち、摂取し続けることで癌や多臓器不全を引き起こすことが知られている。有毒な無機ヒ素の処理方法として、早急に実用化が求められているのが無機ヒ素のメチル化による無毒化処理法である。しかし、現在まで実用化に至っていない。その理由として、無機ヒ素のメチル化効率の低さ(トリメチルアルシンオキシド(TMAO)への変換効率の低さ)とコストの高さが挙げられる。

申請者は、無機ヒ素のメチル化反応において、大量に調製でき抽出も容易である微生物を利用した方法がコスト面から最も現実的であると考え、これまで宮崎県内をはじめとして各地の土壌、地下水、河川水、汚泥などから高活性ヒ素メチル化能を持つ微生物の分離を行ってきた。これまでに、無機ヒ素を効果的にメチル化有機ヒ素に変換できるヒ素メチル化細菌を数株土壌より分離することができた。これらの細菌はこれまでに例を見ない高効率なヒ素メチル化活性を示した。さらにアルセノベタイン産生を確認することができ、無毒化処理へ十分に応用が可能だと判断された[1~3]。現在、申請者はヒ素メチル化能を有する細菌を使用したヒ素の無毒化システムの構築を目指して研究を進めている。実際に、無毒化プロセスへ分離菌株を利用するためにはまだアルセノベタインへの変換効率が低い。そのため、分離菌株のアルセノベタインの産生機構を解明し変換効率の向上を目指して、研究を行ってきた。その結果、アルセノベタインの産生にはその前駆体である TMAO への無機ヒ素からのメチル化反応が最も重要であることが分かった。無機ヒ素のメチル化反応は菌体内でヒ素の解毒作用として働いていることから、無機ヒ素の細胞内への取り込みや排出、その他の代謝機構などがこの反応に深く影響している。特に、無機ヒ素から TMAO へメチル化反応が進む過程で産生するモノメチルアルソン酸(無機ヒ素にメチル基が1個付いた化合物)やジメチルアルシン酸(無機ヒ素にメチル基が2個付いた化合物)の状態で菌体外に排出されたりするため、TMAO までメチル化が効率的に進まない。さらに無毒化プロセスへ応用するために、固定化方法に PVA-冷凍法を用いて菌体を固定化しアルセノベタインへの連続変換を検討した。その結果、モノメチルアルソン酸やジメチルアルシン酸へのメチル化は確認できたが、TMAO への変換効率が低いためアルセノベタインへの産生は確認できなかった。

そこで、TMAO への変換効率を向上させるため、菌体内でメチル化反応を触媒している *arsM* について、ヒ素メチル化細菌から抽出し、直接 *in vitro* でメチル化反応を実施することにした。しかし、*arsM* の生産性が低いためメチル化活性の高い溶液を調製することはできず、培養時でのメチル化反応より優れた結果は得られなかった[3]。

2. 研究目的

現在、申請者はヒ素メチル化細菌が保有する *arsM* の塩基配列を明らかにしている。そこで、本研究では直接 *in vitro* で *arsM* を使ってメチル化反応を実施するために、遺伝子組み換え技術を使って *arsM* を大腸菌で発現させる。それにより、容易にメチル化活性の高い *arsM* の溶液を調製することができる。これらにより調製した *arsM* を使って、高効率で無機ヒ素から TMAO に変換する条件を明らかにする。さらに、実用化への可能性を探るため、調製された *arsM* を直接、固定化担体に固定化し連続してメチル化反応を行えるかどうかを検証する。

3. 研究の方法

(1) 組換え体大腸菌の調製

Cellulomonas sp. K63 株と *Bordetella petrii* KC42 株から抽出した染色体 DNA を鋳型し、*arsM* の塩基配

列をもとに設計したプライマーを用いて、PCRにより *arsM* を含む DNA 断片を増幅した。得られた DNA 断片をベクター (pFLAG) に挿入し、*arsM* を持つ組み換えプラスミドを作製した。その際、SIGMA-ALDRICH 社が提供している FLAG タンパク質発現システムを使用した。FLAG システムでは FLAG ベクターにより、目的タンパク質に親水性ペプチド (Asp-Tyr-Lys-Asp-Asp-Asp-Asp-Lys) を融合して発現させるものであり、タンパク質の発現、検出、精製を容易にするものである。組み換えプラスミドを宿主大腸菌 DH5 α に形質転換し、*arsM* の発現を抗 FLAG モノクローナル抗体によるウエスタンブロッティングを用いて検出した。

(2) 培養方法

組換え体大腸菌 K63 株、KC42 株を LB 培地(トリプトン 10 g/L、酵母エキス 5 g/L、塩化ナトリウム 10 g/L) 25 g/L に、グルコース 4 g/L、アンピシリン(100 mg/mL) 0.05%(v/v)を加え、前培養では 37 $^{\circ}$ C、16 時間、振とう培養を行った。本培養では、前培養と同様の培地に IPTG(100 mmol/L) 0.5%(v/v)を加え、前培養液を 1.0%(v/v)接種し、37 $^{\circ}$ C、6 時間、振とう培養を行った。

(3) 粗酵素溶液の調整

超音波処理では、乾燥菌体に精製水を加えて懸濁し、超音波で菌体を破砕した。ホモジナイザー処理では、市販の BioMasher (ニッピ製)を使った。すりが付いたエッペンに乾燥菌体 5.0 mg と精製水 50 μ L を入れて、攪拌棒を 1 分間手で回転させて菌体を破砕した。両処理とも、遠心分離(14000 rpm、15 分間)を行い、上清を粗酵素溶液とした。

界面活性剤処理では、乾燥菌体 5.0 mg に界面活性剤を含む溶菌溶液 CelLytic B2 \times (Sigma-Aldrich 製)を 200 μ L 加え、30 $^{\circ}$ C、5 分間、40 回/分で回転振とうを行った。その後、遠心分離(4 $^{\circ}$ C、14000 rpm、5 分間)を行い、上清を溶菌後溶液とした。分離した不溶性画分から残った本酵素を含むタンパク質を回収するために、1 \times Wash Buffer (Sigma-Aldrich 製)200 μ L を加えて攪拌し、遠心分離(4 $^{\circ}$ C、14000 rpm、5 分間)し、上清を溶菌後溶液に加える操作を 2 回行った。

(4) 精製酵素の調製

酵素のみを特異的に吸着する ANTI-FLAG M2 Agarose Affinity Gel (Sigma-Aldrich 製)を使って酵素の精製を行った。ゲルに溶菌後溶液 800 μ L を加えて攪拌し、3 $^{\circ}$ C、4 時間、40 回/分で回転振とうを行った。本酵素を溶出させるために、ゲルに Elution Buffer (pH 3.5) 100 μ L を加えて攪拌し、30 $^{\circ}$ C、5 分間、40 回/分で回転振とうを行った。振とう後、遠心分離(4 $^{\circ}$ C、5000 rpm、20 秒間)し、上清を 10 \times Wash Buffer 10 μ L が入ったエッペンに移し、溶出後溶液とした。

(5) マイクロカプセル(MC)への酵素の固定化

酵素溶液 1 mL と MacIlvain 緩衝液(pH 6.5) 16 mL を混合して内水相 17 mL とした。界面活性剤 818sx 0.55 g、ジビニルベンゼン 26.65 g、トルエン 2.84 g をドラフト内で一晩攪拌した。その後、塩化テレフタル酸 1.41 g、4-(ジメチルアミノ)安息香酸エチル 0.22 g、カンファーキノン 0.19 g を加え、有機相とした。界面活性剤 Q12s 3.15 g、蒸留水 410 mL を 80 $^{\circ}$ C で加熱しながら攪拌し、ポリビニルアルコール (PVA)9.0 g、Na₂CO₃1.04 g を加えて一晩攪拌した。その後、L-リシン 1.14 g を加え、外水相とした。

有機相に内水相 17 mL を加えて、ホモジナイザー処理(5 分間、3000 rpm)を行った。さらに、超音波処理を 3 分間行い、W/O エマルションを調製した。外水相に 500 rpm で攪拌しながら W/O エマルション

を加えて、5 分間攪拌し W/O/W エマルションを調製した。その後、W/O/W エマルションに LED ライトを照射しながら 250 rpm、6 時間攪拌を行い、MC を調製した。

(6) ヒ素のメチル化反応

酵素溶液を使ったヒ素のメチル化反応では、酵素溶液 0.10 mL、10.0 mg As/L As(III)溶液 0.05 mL、20 mmol/L S-アデノシルメチオニン(SAM)溶液 0.05 mL、70 mmol/L グルタチオン溶液(GSH) 0.05 mL に、pH 6.5 または 7.0 の 25 mmol/L リン酸緩衝溶液を加え全量を 0.50 mL として、35℃、2 時間反応し、反応溶液中のヒ素濃度を測定した。

MC を使ったヒ素のメチル化反応では、MC 2.0 g、10.0 mg As/L As(III)溶液 0.10 mL、20 mmol/L SAM 溶液 0.10 mL、70 mmol/L GSH 0.10 mL に、pH 6.5 または 7.0 の 25 mmol/L リン酸緩衝溶液を加え全量を 1.00 mL として、35℃、2 時間、40 回/分回転振とうを行った。その後、遠心分離(4℃、14000 rpm、5 分間)し、上清を回収した後、上清中のヒ素濃度を測定した。

(7) 分析方法

溶液に含まれるタンパク質の分子量を確認するために、SDS-PAGE を行った。各溶液のタンパク質を定量するために、280 nm における吸光度を測定した。ヒ素の定量分析は形態別に還元気化 超低温捕集原子吸光装置(Shimadzu ASA-2sp - Shimadzu AA6650)を用いて測定した。

4. 研究成果

(1) 組換え体大腸菌による *arsM* の発現

Cellulomonas sp. K63 株と *Bordetella petrii* KC42 株の *arsM* を持つ組換え体大腸菌 K63 株、KC42 株について、IPTG による *arsM* の発現誘導を行った。その結果、電気泳動 (PAGE) により、IPTG 無添加時に比べ IPTG を添加した方は、30 kDa 付近のバンドが濃くなっていた。これらのバンドの分子量は、各 *arsM* のアミノ酸配列から推定された分子量を一致していた。このことにより、組換え体大腸菌の *arsM* が IPTG によって発現誘導されたことが確認された。

(2) 粗酵素溶液を使ったヒ素のメチル化

超音波処理により粗酵素溶液を調整し、ヒ素のメチル化反応に及ぼす pH と温度の影響について検討した。その結果、K63 株では pH 7.0、35℃ で、KC42 株では pH 6.5、35℃ でメチル化有機ヒ素化合物(モノメチルアルソン酸(MMAA) +ジメチルアルシン酸(DMAA) +トリメチルヒ素化合物(TMAC))の割合が最も高く、K63 株は 32.9%、KC42 株は 35.9%であった。その時の TMAC の割合が K63 株は 8.3%、KC42 株は 10.9%であった。

ヒ素のメチル化反応における経時変化を調べた結果、反応開始後から 2 時間目まで無機ヒ素(iAs)が減少し、DMAA を主としたメチル化有機ヒ素化合物が生成したが、2 時間後からはほとんど変化が見られなかった。

(3) 酵素の精製

組み換え体大腸菌が産生した *arsM* を、抗 FLAG アフィニティーゲルを用いて精製した。精製条件を検討した結果、1 回の操作で回収できる酵素たんぱく質の量は少ないが、ゲルを再生し何度も操作を繰り返すことで回収量を上げることができた。精製操作を 10 回繰り返し行い、各回での溶出後溶液の 280

nm における吸光度を測定し、溶液中の全タンパク質を定量した。その結果から、回収量は精製操作 1 回につき KC42 株は 0.0300 mg、K63 株は 0.0250 mg 以上であった。10 回の精製操作で KC42 株では 0.3206 mg、K63 株では 0.2741 mg の酵素を回収できた。しかし、1 回の精製操作で回収できる酵素が少ないため、酵素の固定化には精製酵素を使わず粗酵素溶液を使用することにした。

(4) 精製酵素を使ったヒ素のメチル化

精製酵素 0.10 mg を使ってヒ素のメチル化反応を行い、反応溶液中のヒ素濃度を測定した結果を表 1 に示す。その結果、メチル化有機ヒ素化合物の割合は K63 株では 9.8%、KC42 株では 10.3%であった。その時の TMAC の割合は K63 株では 2.5%、KC42 株では 3.1%であった。

表 1 精製酵素溶液を使用したヒ素のメチル化

株	ヒ素化合物の割合(%)			
	iAs	MMAA	DMAA	TMAC
K63	90.2	0.7	6.6	2.5
KC42	89.6	1.0	6.2	3.1

(5) MC の調製

組換え体大腸菌からホモジナイザー処理で調整した粗酵素溶液を使って MC を調製した。まず、ホモジナイザー処理によって有機相に内水相(酵素溶液)が分散させ W/O エマルジョンを調製した。次に、外水相に W/O エマルジョンを加え W/O/W エマルジョンを調製した後、W/O/W エマルジョンに LED ライトを当て光重合反応により MC の調製がした。K63 株では 71.03 g、KC42 株では 91.77 g の MC を調製することができた。

(6) MC を使ったヒ素のメチル化

酵素を固定化した MC を使ってヒ素のメチル化反応を行った結果を表 2 に示す。その結果、メチル化有機ヒ素化合物の割合は K63 株では 12.6%、KC42 株では 5.7%であった。その時の TMAC の割合は K63 株で 5.3%、KC42 株で 0.9%であった。

表 2 酵素を固定化した MC でのヒ素のメチル化

株	ヒ素化合物の割合(%)			
	iAs	MMAA	DMAA	TMAC
K63	87.4	3.1	4.2	5.3
KC42	94.3	1.6	3.2	0.9

また、固定化に使った粗酵素溶液 0.10 mL を使ってヒ素のメチル化反応を行ったときのメチル化有機ヒ素化合物の割合は、K63 株では 84.5%、KC42 株では 53.1%であった。今回調製した MC のうち各 2.0 g をヒ素のメチル化反応に使った。それらから算出されるメチル化有機ヒ素化合物の割合の理論値は、K63 株で 23.8%、K63 株で 11.6%であり、実際の結果と比較して今回調製した MC への固定化率は K63 株で 53.1%、KC42 株で 48.8%であった。MC に酵素を固定化するときの調製条件を検討することによって、さらに固定化率を上げることができると考えられる。

< 引用文献 >

1. 宮武宗利, 林 幸男, ヒ素メチル化細菌の増殖特性とヒ素代謝, 環境資源工学, 56 (4), 153-158 (2009).
2. 宮武宗利, 林 幸男, ヒ素除去装置の汚泥槽内の微生物によるヒ素のメチル化に関する研究, 環境資源工学, 58 (4), 141-145 (2011).
3. M. Miyatake, S. Hayashi, Characteristics of the Arsenic-Methylating Bacterium *Cellulomonas* sp. Strain K63, *Resources Processing*, 61 (3), 162-169 (2014).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 市側大稀, 塩盛弘一郎, 大榮薫	4. 巻 8
2. 論文標題 酸化水酸化鉄微粒子を内包したポリアクリルアミドクライオゲルによるヒ素(V)のカラム連続吸着特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 科学・技術研究	6. 最初と最後の頁 43-50
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 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 Koshiro Takase, Jun Hirose, Haruhiko Yokoi, Munetoshi Miyatake	4. 巻 1
2. 論文標題 Arsenic-methylation and arsenic-removal using Bordetella petrii strain KC42	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. The 5th International Arsenic Symposium in MIYAZAKI	6. 最初と最後の頁 38-41
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 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 Daiki ICHIKAWA, Koichiro SHIOMORI	4. 巻 1
2. 論文標題 Analysis of continuous adsorption of arsenic(V) from water with polyacrylamide cryogel column containing iron hydroxide oxide nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. The 5th International Arsenic Symposium in MIYAZAKI	6. 最初と最後の頁 34-35
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 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 Akiho KUWAHATA, Nov Irmawati INDA, Koichiro SHIOMORI	4. 巻 1
2. 論文標題 Extraction of Cu(II) with microcapsules of cross-linked gel of poly(vinyl alcohol)/alginate acid encapsulating dispersed droplets of phenolic oxime extractant	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. The 5th International Arsenic Symposium in MIYAZAKI	6. 最初と最後の頁 30-33
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 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 Koichiro Shiomori, Daiki Ichikawa, Misa Kurozumi, Yasunori Yano, Shiro Kiyoyama, Kentaro Sakai, Ashok Kumar	4. 巻 -
2. 論文標題 Adsorptive removal of arsenic(V) from water with polyacrylamide cryogel containing iron hydroxide oxide nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. The 5th International Symposium on Aqua Science and Water Resources	6. 最初と最後の頁 152-157
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 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 Nov Irmawati Inda, Masaya Fukumaru, Takashi Sana, Shiro Kiyoyama, Takayuki Takei, Masahiro Yoshida, Akira Nakajima, Koichiro Shiomori	4. 巻 25
2. 論文標題 A Kinetic Study of Copper(II) Extraction using LIX84-I Impregnated Polymeric Particles with Different Structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Solvent Extraction Research and Development, Japan	6. 最初と最後の頁 23-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.15261/serdj.25.23	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 M. Miyatake and S. Hayashi	4. 巻 63 (1)
2. 論文標題 1.Properties of arsenic-methylating and arsenic-removing bacterium Bordetella petrii strain KC42	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Resources Processing	6. 最初と最後の頁 12 - 17
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 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 M. Miyatake and S. Hayashi	4. 巻 63 (1)
2. 論文標題 2.Characteristics of arsenic-methylation and arsenic-removal by Bordetella petrii strain KC42	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Resources Processing	6. 最初と最後の頁 18 - 23
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 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13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 前田倫太郎, 高瀬幸士朗, 宮武宗利, 清山史朗, 武井孝行, 吉田昌弘, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 in situ可視光重合と界面縮重合の組み合わせによる β -グルコシダーゼ内包多孔質マイクロカプセルの調製と酵素活性
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichiro Shiomori, Daiki Ichikawa, Syogo Ichikawa, Solongo Enkhzaya, Shiro Kiyoyama, Kaoru Ohe
2. 発表標題 Arsenic removal by cryogels containing arsenic-adsorptive fine particles
3. 学会等名 The 18th PBC Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koshiro Takase, Jun Hirose, Haruhiko Yokoi, Munetoshi Miyatake
2. 発表標題 Arsenic-methylation and arsenic-removal using <i>Bordetella petrii</i> strain KC42
3. 学会等名 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki - Environmental Impact and Health Hazards - (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki ICHIKAWA, Koichiro SHIOMORI
2. 発表標題 Analysis of continuous adsorption of arsenic(V) from water with polyacrylamide cryogel column containing iron hydroxide oxide nanoparticles
3. 学会等名 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki - Environmental Impact and Health Hazards - (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiho KUWAHATA, Nov Irmawati INDA, Koichiro SHIOMORI
2. 発表標題 Extraction of Cu(II) with microcapsules of cross-linked gel of poly(vinyl alcohol)/alginate acid encapsulating dispersed droplets of phenolic oxime extractant
3. 学会等名 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki - Environmental Impact and Health Hazards - (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Yano, Hiroshi Yokota, Kouichiro Shiomori, Shigeki Tomomatsu, Sachie Tsushima, Shamim Uddin, Md.Joynul Abedin Zaman, Miah M. Hussainuzzaman
2. 発表標題 Arsenic Removal Performance of Multi-GSF for Arsenic-Contaminated Groundwater in Bangladesh
3. 学会等名 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki - Environmental Impact and Health Hazards - (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市側 大稀, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 酸化水酸化鉄微粒子を内包したポリアクリルアミドクライオゲルを充填したカラムによるヒ素(V)の連続吸着特性
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichiro Shiomori, Daiki Ichikawa, Misa Kurozumi, Yasunori Yano, Shiro Kiyoyama, Kentaro Sakai, Ashok Kumar
2. 発表標題 Adsorptive removal of arsenic(V) from water with polyacrylamide cryogel containing iron hydroxide oxide nanoparticles
3. 学会等名 The 5th International Symposium & Exhibition on Aqua Science and Water Resources (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daiki Ichikawa, Shiro Kiyoyama, Koichiro Shiomori
2. 発表標題 Column adsorption of As(V) with polyacrylamide cryogel containing iron hydroxide oxide nanoparticles
3. 学会等名 The 21st International Solvent Extraction Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nov Irmawati Inda, Masaya Fukumaru, Shiro Kiyoyama, Koichiro Shiomori
2. 発表標題 Utilization of Various Types of Microcapsules Containing LIX84-I for Cu(II) Extraction from Aqueous Solution
3. 学会等名 The 21st International Solvent Extraction Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塩盛弘一郎, ドルゴルマー ムンフバト, バヤンジャルガル オチロホヤグ
2. 発表標題 モンゴル産ゼオライトの化学修飾によるヒ素および重金属の吸着除去
3. 学会等名 第23回ヒ素シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大串 渉, 清山 史朗, 武井 孝之, 吉田 昌弘, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 LIX84-I含浸連結球状多孔質微粒子による金属イオンの抽出特性および抽出速度
3. 学会等名 第20回化学工学会学生発表会(東広島大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 乗畑 明穂, 清山 史朗, 武井 孝之, 吉田 昌弘, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 LIX84-I内包PVA/アルギン酸架橋ゲルマイクロカプセルの調製およびCu()の抽出特性
3. 学会等名 第20回化学工学会学生発表会(東広島大会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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	塩盛 弘一郎 (SHIOMORI Koichiro) (80235506)	宮崎大学・工学部・教授 (17601)	