

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06896

研究課題名(和文) ナノ・マイクロ粒子固定化モノリス状高速吸着フィルターの開発

研究課題名(英文) Development of monolithic high-speed adsorption filter immobilizing nano- or micro-particles

研究代表者

塩盛 弘一郎 (Shiomori, Koichiro)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：80235506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：粘度化合物の一つであるMg-Al系の層状複水酸化物(LDH)の微粒子をアクリルアミド水溶液に添加して、凍結状態で重合して凍結ゲルを調製した。凍結ゲルは、数10 $\mu$ mの大きな細孔を有し、壁内に数 $\mu$ mの球状微粒子が内包されていた。LDHを内包した凍結ゲルは、砒素とクロムを吸着したが、LDH粒子よりも吸着量は低下した。これは、アクリルアミドがLDHの細孔を閉塞させたか、LDHの結晶構造を壊したと考えられる。

酸化水酸化鉄ナノ粒子を内包した凍結ゲルのカラム吸着は、吸着量は約2倍と高くなった。また、酸化水酸化鉄は $-\text{FeOOH}$ であり、表面のXPSより、表面水酸基が砒素の吸着に関与している事が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ粒子や層状複水酸化物を吸着材に離礁する場合は、何らかの成形加工が必要であるが、凍結ゲルは、内部に貫通した大きな細孔を有しており、優れた通水性を示す。凍結ゲルの壁内に、ナノ粒子やLDHを凍結ゲルの壁内に固定化することで、粒子の凝集を防止し、長期間安定に構造を維持できる。さらに、ゲル壁は薄いために物質移動が問題とならない。ナノ粒子を内包した凍結ゲルは分離フィルターとして優れた特性を有していると期待される。この様な凍結ゲル複合材料の調製指針を確立し、有害金属の高速分離プロセスを構築出来れば、その応用範囲は広く、小さく処理量の多い除去フィルターを提供出来ると期待され、その意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：A white particles of Mg-Al-based layered double hydroxide (LDH), which is one of clay compounds, were added to prepare a polyacrylamide cryogel. The cryogel had large pores with several 10 $\mu$ m and spherical microparticles with several  $\mu$ m included in the wall. The cryogel containing LDH adsorbed arsenic and chromium ion from the aqueous solution, but the adsorption amount was lower than that of LDH particles. This is probably because acrylamide blocked the LDH pores or destroyed the LDH crystal structure.

The column adsorption of cryogel containing iron oxide hydroxide nanoparticles increased the adsorption amount by about 2 times. Moreover, iron oxide hydroxide was  $-\text{FeOOH}$ , and it was suggested from surface XPS that surface hydroxyl groups are involved in the adsorption of arsenic.

研究分野：反応分離工学・反応制御工学

キーワード：ヒ素吸着 凍結ゲル ナノ微粒子 酸化水酸化鉄 層状複水酸化物 カラム吸着 吸着機構 吸着速度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ナノ粒子は、高い表面活性と大きな表面積を有することから、種々の触媒および吸着材料として多くの研究が行われている。しかし、その高い表面活性により凝集が強く起こり、活性が低下し、実用化において問題となっている。凝集を防止する観点からナノ粒子表面の修飾・被覆や担体へのナノ粒子の担持・埋包が多く検討されている。一方で、ナノ粒子の調製方法の開発も盛んに行われており、逆ミセルなどの微小空間での調製や粒子形成過程を界面活性剤やポリマーなどの添加剤の吸着により制御する方法、ゲル中での粒子形成、ナノドット形成などが開発されている。

一方、高分子原料を溶解した水相を凍結状態で重合または架橋することにより生成した氷晶を鋳型とした多孔質の凍結ゲルが、生体系適合材料として細胞培養担体や分離媒体として応用されている[1, 2]。凍結ゲルは大きな連結した細孔により、高い透過流速を実現でき、高性能のフィルターとしても応用が検討されている。

申請者は、酸化水酸化鉄( $\text{FeOOH}$ )微粒子を吸着剤として凍結ゲルに複合化して水中の砒素除去に関する研究を行ってきた[3, 4]。 $\text{FeOOH}$ のナノサイズを保持したまま凍結ゲル内に固定化することによりヒ素の吸着量が非常に高まり高効率な分離プロセスを構築出来ることを報告している。一方、抽出剤をマイクロカプセル化・多孔質微粒子に含浸固定化することにより液体の抽出剤を固体化した簡便な分離プロセスを構築している[5]。これまで用いている  $\text{FeOOH}$  は、非常に多くのヒ素を吸着出来ることが明らかとなっているが、その吸着機構が明らかになっていない。一方、層状復水酸化物(LDH)は、原子レベルで層状の構造を有し、その層間に陰イオンを取り取り込む事が知られているが[6]、微細な粒子であり、吸着材料としての調製方法を確立する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、氷晶およびエマルション粒子を鋳型として大きく連結した細孔を有する多孔質ゲルを調製し、その壁内に層状復水酸化物および酸化水酸化鉄のナノ・マイクロ粒子を高分散かつ高担持量で内包させた多孔質フィルターを調製し、水中の砒素およびクロムなどの環境汚染物質を高速かつ高効率に除去できる環境浄化フィルターの開発を行う。ナノ・マイクロ粒子をゲル内に内包させることにより分散性と表面特性を保持し、これらの粒子の機能を最大限に発現することが出来る。多孔質ゲルの大きな細孔は汚染水を高速で流通させることが可能であり、ゲル壁の高い表面積と薄い壁内に高分散で固定化されたナノ・マイクロ粒子により高速で汚染物質を吸着することが出来る。

### 3. 研究の方法

#### (1) 層状復水酸化物(LDH)を内包した凍結ゲルの調製

塩化マグネシウム(II)六水和物、塩化アルミニウム(III)六水和物をモル比2.5:1で蒸留水に溶解した。硝酸アンモニウムを加え、 $\text{NaOH}$ 水溶液でpH11に調整しLHDを調製した[6]。この溶液を60°Cで4時間保った後に、氷冷しながらアクリルアミド(AA)を2.00wt%、 $\text{N,N}'$ -メチレンビスアクリルアミド(MBAA)を0.50wt%となるように加え溶解させた。ペルオキシ二硫酸アンモニウム(APS)を0.25wt%となるように加え溶解後、窒素を吹き込み攪拌した。 $\text{N,N,N}',\text{N}'$ -テトラメチルエチレンジアミンを0.06wt%となるように加え、-15℃の恒温槽に入れたシリンジへ溶液5mlを素早く移し、一晚凍結状態で重合させた。調製された凍結ゲルを温水で解凍し、蒸留水で洗浄した。凍結ゲルに内包されたLDHの量は、凍結ゲルをるつぽで燃焼後に残った灰分の質量より算出した。得られた凍結ゲルは凍結乾燥後、走査型電子顕微鏡(SEM)により観察し、エネルギー分散型X線分析(EDX)により元素分析を行った。調製したLDH粉末および凍結ゲル中のLDHの構造は、X線回折により確認した。

## (2) 酸化水酸化鉄(FeOOH)を内包した凍結ゲルの調製[4]

1.0M塩化鉄(Ⅲ)水溶液と1.0M炭酸ナトリウム水溶液を2:3で混合し、pH 11に調整し、生じた沈殿を回収し洗浄して脱気蒸留水50mlに分散させた。以後、前述の(1)と同じ方法でFeOOH内包凍結ゲルの調製、観察および内包量測定を行った。

## (3) LDHまたはFeOOHを内包した凍結ゲルによる砒素(V)およびクロム(VI)の吸着

LDHまたはFeOOH内包凍結ゲルの砒素(V)およびクロム(VI)の吸着特性は、回分法およびカラム流通法で測定した。回分法は、LDHまたはLDH内包凍結ゲルを、pHを調整したヒ素(V)またはクロム(VI)の水溶液に入れ、30分で吸着させて行った。吸着剤を分離し、水溶液中のヒ素(V)またはクロム(VI)の濃度はICP-AESで測定した。

カラム流通法は、LDH または FeOOH 内包凍結ゲルをシリンジへ充填し吸着カラムとし、pH 7に調整したヒ素(V)溶液を送液して行った。カラムを通過した溶液は分取し、溶液のヒ素(V)濃度をICP-AESで測定した。吸着後のFeOOH内包凍結ゲルを凍結乾燥して、X線光電子分光スペクトル(XPS)および赤外吸収スペクトル(FT-IR)の分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 層状復水酸化物(LDH)を内包した凍結ゲルの調製

調製したLDH内包凍結ゲルの外観および断面のSEM画像を図1に示す。凍結ゲルはLDHを内包することにより、透明感のある乳白色から白色へと変化した。断面には数10 $\mu\text{m}$ の大きな細孔が見られ、白色に見える数 $\mu\text{m}$ の多数の球形の粒子が観察された。EDX元素分析からアルミニウムとマグネシウムが検出され、XRDでもMg-Al-CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>型のLDHの回折パターンが観察され、LDHが内包されている事が確認された。

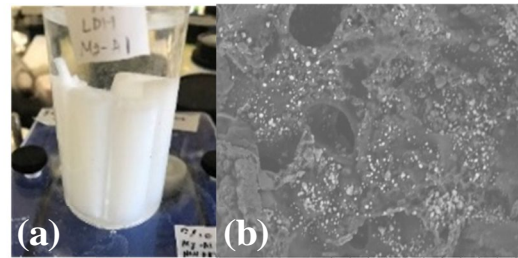


図1 調製したLDH内包凍結ゲルの外観(a)およびSEM画像(b)

### (2) 酸化水酸化鉄(FeOOH)を内包した凍結ゲルの調製

調製したFeOOH内包凍結ゲルの外観および断面のSEM画像を図2に示す。FeOOH内包凍結ゲルは、FeOOH粒子の色である赤褐色であった。断面には数10 $\mu\text{m}$ の大きな細孔と薄いゲル壁が観察された。ゲル壁表面にはFeOOHの微粒子は確認されなかった。EDX

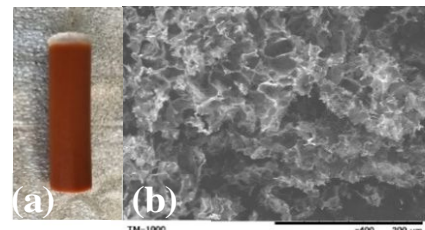


図2 調製したFeOOH内包凍結ゲルの外観(a)およびSEM画像(b)

元素分析から鉄が検出されたが、XRDでは明確なピークは観察されず、FeOOHはアモルファスであることが分かった。砒素(V)吸着後もアモルファス状態は維持され、内包されたFeOOHはナノ粒子でアモルファス状態が安定に保たれることが分かった。また、FeOOH内包凍結ゲルのFTIR測定より、内包されたFeOOHは $\gamma$ -FeOOHであることがわかった。

### (3) LDHまたはFeOOHを内包した凍結ゲルによる砒素(V)およびクロム(VI)の吸着

LDH内包凍結ゲルおよびLDH粉末の破碎したものと未破碎のものによる砒素(V)の回分吸着を種々の砒素(V)初濃度で行った場合の吸着等温線を図3に示す。破碎したLDHおよび未破碎のLDHのいずれも、砒素(V)初濃度が高いほど吸着量は大きくなり、ほぼ同じ吸着量に達した。破碎したLDHは未破碎LDHよりも吸着平衡における平衡濃度が低くなっており、吸着量のばらつきも少なかった。これは、破碎したLDHは粒子径が細かいため砒素(V)水溶液が内側まで浸透し、より早く吸着平衡に達したためと考えられる。LDH内包クライオゲルによる最大吸着量は、LDHのみの場合と比べて、約半分と低かった。LDH内包凍結ゲルの砒素(V)の吸着等温線

をラングミュア型吸着等温式を用いて解析すると、最大吸着量  $q_m$  は 17.9 mg/g-LDH, 吸着平衡定数  $K$  は 0.579 l/g-LDH であった。吸着等温線の計算結果を図 4 に実線で示す。計算結果は実験結果とよく一致した。

LDH 内包凍結ゲルおよび破碎 LDH 粉末によるクロム(VI)の回分吸着を種々のクロム(VI)濃度で行った場合の吸着等温線を図 5 に示す。破碎 LDH 粉末は、クロム(V)濃度が高いほど吸着量は大きくなった。LDH 内包凍結ゲルもクロム(V)濃度が高いほど吸着量は高くなったが、LDF 粉末の 1/5 程度の吸着量であった。

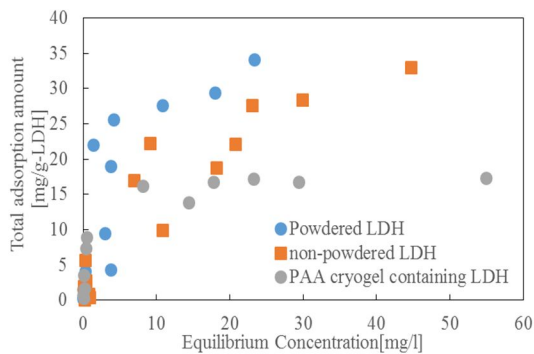


図 3 破碎した LDH, 未破碎 LDH および LDH 内包凍結ゲルの砒素(V)吸着等温線

LDH 凍結ゲルで砒素(V)およびクロム(VI)の吸着量が低くなったことは、クライオゲル調製時にアクリルアミドが LDH の層間を閉塞した、もしくは、アクリルアミドが層間に浸入し LDH の構造が変化して吸着量が低下したと考えられる。

LDH 内包凍結ゲルで砒素(V)のカラム連続吸着を行った結果を図 6 に示す。初濃度 44.5ppm の砒素(V)水溶液をカラムへと流入させると、すぐにカラム出口の砒素濃度が高くなりはじめた。このことから、この実験条件では吸着を開始した直後に溶液中の砒素(V)の一部は内包された LDH に吸着されずに、カラムから流出して行くことがわかる。これは、LDH の砒素(V)の吸着速度が遅いためと考えられる。C/Co=0.8 となる通液量を超えてからは出口濃度の増加が緩やかになり、100ml 流通させると出口濃度が初濃度と同じとなり最大吸着量に達した。破過曲線の図積分より、砒素(V)の総吸着量は 15.6 mg/g-LDH であった。この総吸着量を LDH 内包凍結ゲルの回分吸着による砒素(V)吸着等温線と比較すると、図 4 の平衡濃度 44.5 ppm における平衡吸着量とほぼ一致した。よって、LDH 内包凍結ゲルのカラム連続吸着における砒素(V)の吸着量は、回分吸着による吸着量と同じとなることがわかった。

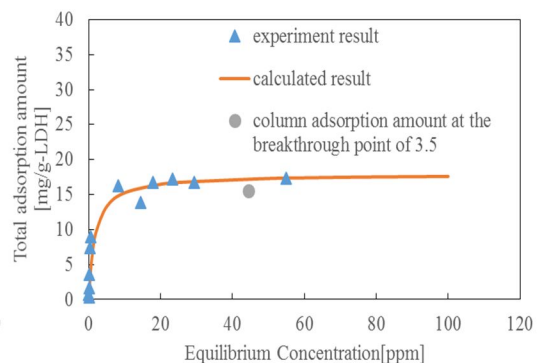


図 4 LDH 内包凍結ゲルの砒素(V)吸着等温線の実験結果および計算結果

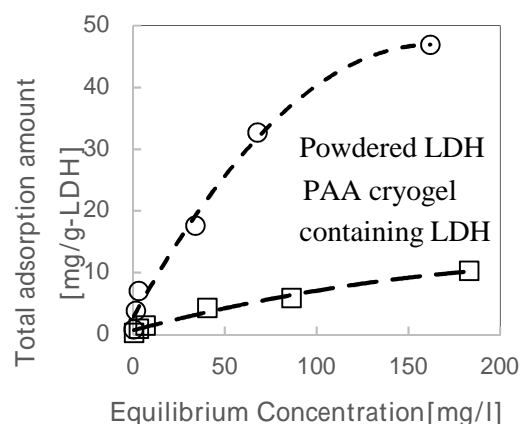


図 5 破碎 LDH 粉末および LDH 内包凍結ゲルのクロム(VI)吸着等温線

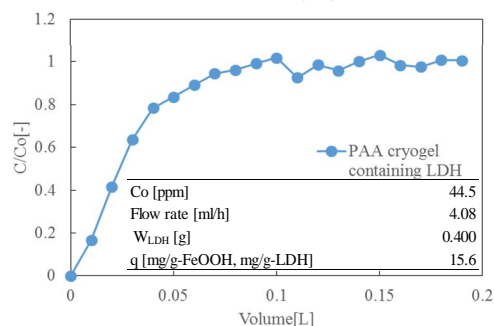


図 6 LDH 内包凍結ゲルによる砒素(V)のカラム連続吸着の破過曲線

FeOOH 微粒子内包凍結ゲルを用いたカラム連続吸着による破過曲線を図 7 に、吸着条件を表 1 に示す。破過曲線の図積分より砒素(V)の総吸着量を求めた。総吸着量は、砒素(V)の初濃度が高いほうが高くなった。カラム吸着の破過曲線の解析を行った結果、吸着に複数の過程が存在することが示唆された[7]。これは、FeOOH 内包凍結ゲルの砒素(V)の回分吸着で示唆された多段階の吸着過程[4]と対応していると考えられる。

カラム吸着の総吸着量と砒素(V)初濃度の関係より求めた砒素(V)の吸着等温線を、同じ条件での回分吸着での結果と合わせて図 8 に示す。この吸着等温線をラングミュアの吸着等温式を用いて解析すると、最大吸着量  $q_m$  は 125 mg/g-FeOOH、吸着平衡定数  $K$  は 0.0712 l/g-FeOOH となった。求めた最大吸着量および吸着平衡定数を用いて平衡濃度と吸着量を計算した結果を図 8 に実線で示す。カラム連続吸着の計算結果は、実験結果とほぼ一致した。

FeOOH 微粒子および砒素(V)のカラム連続吸着後の FeOOH 内包凍結ゲルを凍結乾燥させて X 線光電子分光スペクトル(XPS)による解析を行った。砒素吸着後の FeOOH 内包凍結ゲルには Fe3p のピークと共に As3d のピークが検出され、砒素が鉄原子と共に吸着されている事が確認された。さらに、FeOOH の水酸基に比べ、砒素(V)を吸着した FeOOH 内包凍結ゲルの O1s ピークは、形状が大きく変化しており、FeOOH 表面の水酸基と砒素(V)が相互作用して吸着されていると考えられる[7]。

#### <引用文献>

- 1 A. Damania, A. K. Teitia and A. Kumar, "Synthesis and Characterization of Cryogels", pp. 35-90, A. Kumar (eds) Supermacroporous Cryogels: Biomedical and Biotechnological Applications, CRC Press (2016)
- 2 Önnby, L., Pakade, V., Mattiasson, B., and Kirsebom, H. (2012). Polymer composite adsorbents using particles of molecularly imprinted polymers or aluminium oxide nanoparticles for treatment of arsenic contaminated waters, *Water Research*, Vol. **46**, 4111-4120.
- 3 K. Kurozumi, Y. Yano, S. Kiyoyama, A. Kumar and K. Shiomori, "Adsorption properties of arsenic(V) by polyacrylamide cryogel containing iron hydroxide oxide particles prepared by *in situ* method", *Resources Process.*, **62**,17-23 (2015)
- 4 黒住美沙, 矢野靖典, 清山史朗, クマールアショク, 塩盛 弘一郎, "粒子添加法による酸化水酸化鉄微粒子担持ポリアクリルアミドクライオゲルの調製とヒ素吸着特性", *科学・技術研究*, **5**, 23-28 (2016)
- 5 塩盛弘一郎, 清山史朗, 武井孝行, 吉田昌弘, "抽出剤内包マイクロカプセルによる分離技術", シンポジウムシリーズ 2 「分離技術のシーズとライセンス技術の実用化」, pp. 53-60, 分離技術会 (2018)
- 6 村山 憲弘, 田辺 満昭, 柴田 亮, 山本 秀樹, 芝田 隼次, "廃棄物由来の Mg/Al 系ハイドロタルサイトを用いた水溶液中の有害重金属イオンの除去", *化学工学論文集*, **31**, 285-290 (2005)
- 7 市側大稀, 塩盛 弘一郎, 大柴薫, "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", *科学・技術研究*, **8**, 23-29 (2019)

表 1 カラム連続吸着条件

Run	Initial concentration [mg/l]	Flow rate [ml/h]	FeOOH content [mg]	total adsorption amount [mg/g-FeOOH]
1	86.2	4.54	0.205	125
2	50.8	4.03	0.297	126
3	20.5	3.97	0.205	124
4	17.7	3.69	0.205	68.3
5	8.21	12.1	0.259	41.3

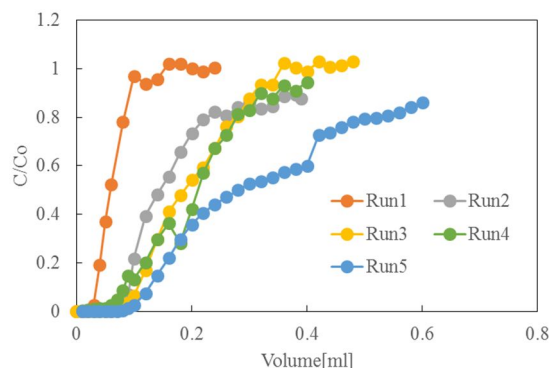


図 7 FeOOH 内包凍結ゲルによる砒素 (V) のカラム連続吸着の破過曲線

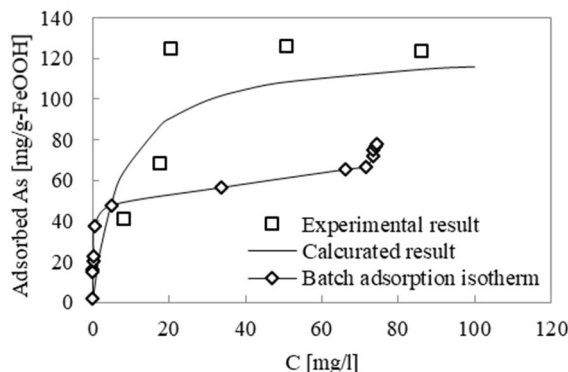


図 8 FeOOH 内包凍結ゲルによる砒素 (V) のカラム連続吸着と回分吸着によるヒ素(V)の吸着等温線

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 D. Munkhbat, T. Ganbold, A. Naranbaatar, K. Shiomori, O. Bayanjargal	4. 巻 20
2. 論文標題 Pb(II) adsorption of composite alginate beads containing mesoporous natural zeolite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nanoscience and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 5267 - 5275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1166/jnn.2020.18530	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 該当する
1. 著者名 塩盛弘一郎	4. 巻 74
2. 論文標題 クライオゲル複合材料によるヒ素の吸着除去	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本海水学会誌	6. 最初と最後の頁 15-19
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 無
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 S. Enkhzaya, K. Shiomori, B. Oyuntsetseg	4. 巻 -
2. 論文標題 Heavy metal removal from aqueous solution using Na2S treated sheep wool at different concentration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. International Symposium on Earth Science and Technology 2019	6. 最初と最後の頁 297-300
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 無
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 該当する
1. 著者名 S. Enkhzaya, K. Shiomori, B. Oyuntsetseg	4. 巻 -
2. 論文標題 Adsorption Properties of Au(III) and Cu(II) from Aqueous Solution Using Chemically Treated Sheep Wool	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. the 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering congress	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 該当する

1. 著者名 市川大希、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 23-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11425/sst.8.23	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. BYAMBAA, E. DOLGOR, K. SHIOMORI, Y. SUZUKI	4. 巻 -
2. 論文標題 Removal of heavy metals from wastewater by precipitation and foam separation using lime and casein	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 106-108
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 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 該当する

1. 著者名 Y. YANO, H. YOKOTA, S. TOMOMATSU, K. SHIOMORI, S. TSUSHIMA, S. UDDIN, Md. J. A. ZAMAN, M. M. HUSSAINZAMAN	4. 巻 -
2. 論文標題 Arsenic removal performance of multi-GSF for arsenic-contaminated groundwater in Bangladesh	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 82-85
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 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 該当する

1. 著者名 A. KUWAHATA, N. I. INDA, K. SHIOMORI	4. 巻 -
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 44-45
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 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 該当する

1. 著者名 D. ICHIKAWA, K. SHIOMORI	4. 巻 -
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 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 E. SOLOGO, K. SHIOMORI, B. OYUNTSETSEG	4. 巻 -
2. 論文標題 A study on the heavy metal adsorption of Mongolian livestock biomass	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 22-25
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 無
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 該当する

1. 著者名 Shiomori Koichiro, Enkhzaya Solongo, Oyuntsetse Bolormaa	4. 巻 10
2. 論文標題 Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Adsorption using Livestock Biomass of Mongolia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Science and Technology	6. 最初と最後の頁 107 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3923/jest.2017.107.119	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 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 Proceedings of 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 無
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 該当する



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) 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 該当する

1. 著者名 Yui HIRAMURE, Keishi SUGA, Hiroshi UMAKOSHI, Jin MATSUMOTO, Koichiro SHIOMORI	4. 巻 25
2. 論文標題 Preparation and Characterization of Poly-N-isopropylacrylamide Cryogels containing Liposomes and Their Adsorption Properties of Tryptophan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Solvent Extraction Research and Development, Japan	6. 最初と最後の頁 37-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15261/serdj.25.37	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31件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 合谷 直敏, 松根 英樹, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 ジビニルベンゼンを用いた疎水性クライオゲルの調製
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川 公貴, 松根 英樹, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 高度処理浄水場からの使用済みオゾン酸化活性炭の吸着特性
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 乗畑 明穂, 清山 史朗, 武井 孝行, 吉田 昌弘, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 オキシム系抽出剤を分散内包した架橋ゲルマイクロカプセルによるCu(II)の抽出特性におよぼす調製条件の影響
3. 学会等名 化学工学会姫路大会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Solongo Enkhzaya, Koichiro Shiomori, Bolormaa Oyuntsetseg
2. 発表標題 Effect of Chemical Treatment on Adsorption Properties of Wool Fibres for Au(III) and Cu(II)
3. 学会等名 2019 Japan / Taiwan / Korea Chemical Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiho Kuwahata, Shiro Kiyoyama, Takayuki Takei, Masahiro Yoshida, Koichiro Shiomori
2. 発表標題 Effect of Extraction of Cu(II) with Microcapsules of Cross-Linked Gel of poly(vinyl alcohol)/Alginate Encapsulating of Extractant
3. 学会等名 2019 Japan / Taiwan / Korea Chemical Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大串 渉, 真隆志, 武井孝之, 清山史朗, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 ヒドロキシオキシム系抽出剤含浸多孔質ポリマー微粒子によるCu(II)の抽出速度への抽出条件の影響に基づく抽出速度解析
3. 学会等名 第38回溶媒抽出討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Solongo Enkhzaya, Koichiro Shiomori, Bolormaa Oyuntsetseg
2. 発表標題 Adsorption Properties of Au(III) and Cu(II) from Aqueous Solution Using Chemically Treated Sheep Wool
3. 学会等名 the 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering congress (国際学会)
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 Pacific Basin Consortium for Environment and Health International Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大串渉, 清山史郎, 武井孝行, 吉田昌弘, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 ヒドロキシオキシム系抽出剤を含浸した連結球状多孔質ポリマー微粒子による銅イオンの抽出速度解析
3. 学会等名 分離技術会 年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 エンフザヤー ソロンゴ, 塩盛弘一郎, オユンツェツェグ ボロルマー
2. 発表標題 モンゴル産家畜バイオマスの化学処理による重金属類の吸着
3. 学会等名 第24回ヒ素シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩盛弘一郎
2. 発表標題 クлайオゲル複合材料によるヒ素の吸着除去
3. 学会等名 2018年度 日本海水学会西日本支部秋季講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴畑明穂, 清山史朗, 武井孝行, 吉田 昌弘, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 抽出剤内包架橋ゲルマイクロカプセルのCu(II)抽出特性におよぼす調製条件の影響
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 大串 渉, 清山史朗, 武井孝行, 吉田 昌弘, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 ヒドロキシオキシム抽出剤含浸多孔質ポリマー微粒子によるCu(II)の抽出速度解析
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 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лай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 Enkhzaya Solongo, Shiomori Koichiro, Oyuntsetseg Bolormaa
2. 発表標題 Au(III) adsorption from aqueous solution using Mongolian sheep wool
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 高瀬 隼, 菅 恵嗣, 馬越 大, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 多孔質ポリマー微粒子に含浸担持されたリン脂質層によるアミノ酸のキラル選択吸着特性
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 田代開夢, 武井孝行, 吉田 昌弘, 塩盛弘一郎, 清山史朗
2. 発表標題 抽出剤固定化イオン液体ゲルによる金属イオンの抽出,
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 徳田圭太郎, 清山史朗, 武井孝行, 吉田 昌弘, 塩盛弘一郎
2. 発表標題 固体微粒子温度応答性内包マイクロカプセルの調製と特性制御
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 M. BYAMBAA, E. DOLGOR, K. SHIOMORI, Y. SUZUKI
2 . 発表標題 Removal of heavy metals from wastewater by precipitation and foam separation using lime and casein
3 . 学会等名 The 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. YANO, H. YOKOTA, S. TOMOMATSU, K. SHIOMORI, S. TSUSHIMA, S. UDDIN, Md. J. A. ZAMAN, M. M. HUSSAINZAMAN
2 . 発表標題 Arsenic removal performance of multi-GSF for arsenic-contaminated groundwater in Bangladesh
3 . 学会等名 The 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. KUWAHATA, N. I. INDA, K. 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 The 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D. ICHIKAWA, K. 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 The 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 E. SOLONGO, K. SHIOMORI, B. OYUNTSETSEG
2. 発表標題 A study on the heavy metal adsorption of Mongolian livestock biomass
3. 学会等名 The 5th International Arsenic Symposium in Miyazaki (国際学会)
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 Resource (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 K. Shiomori, Y. Hiramure, K. Suga, H. Umakoshi, J. Matsumoto
2. 発表標題 Chiral selectively adsorption of tryptophan with poly-N-isopropylacrylamide cryogel containing liposomes
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, パヤンジャルガル 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 桑畑明穂, 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



1. 発表者名 高瀬 準, 菅 恵嗣, 馬越 大, 塩盛 弘一郎
2. 発表標題 リン脂質を含浸担持した多孔質微粒子によるトリプトファンのキラル選択吸着
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〕

<p>研究者詳細・塩盛 弘一郎  <a href="https://srhumb.miyazaki-u.ac.jp/html/47_ja.html#item_kihon">https://srhumb.miyazaki-u.ac.jp/html/47_ja.html#item_kihon</a></p>
--

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
研究協力者	清山 史朗  (Kiyoyama Shiro)  (90300665)	都城工業高等専門学校・物質工学科・教授    (57601)	
研究協力者	馬越 大  (Umakoshi Hiroshi)  (20311772)	大阪大学・基礎工学研究科・教授    (14401)	