

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26550063

研究課題名(和文)凍結ゲル内へのナノ粒子のin situ固定化による汚染物質除去フィルターの開発

研究課題名(英文)Development of pollutant removal filter by the in situ immobilization of nanoparticles in the cryogel

研究代表者

塩盛 弘一郎 (Shiomori, Koichiro)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：80235506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ヒ素除去フィルターの開発を目的として、アクリルアミドをゲル骨格物質として、凍結ゲル調製後に鉄イオンを含浸させてゲル中で酸化水酸化鉄微粒子を精製させる含浸担持法、および凍結ゲル調製時にあらかじめ沈殿法で調製した酸化水酸化鉄微粒子を添加する微粒子添加法により、酸化水酸化鉄微粒子を内包した多孔質凍結ゲルの調製方法を確立した。調製した凍結ゲルのヒ素吸着特性を明らかにし、吸着除去条件を確立した。酸化水酸化鉄はアモルファス状態であるほうが吸着量が高いことを明らかにした。さらに多孔質凍結ゲルをカラムに充填した連続吸着実験を行った。多孔質凍結ゲルはヒ素の吸着速度が高く、吸着量も多いことを実証した。

研究成果の概要(英文)：For developing arsenic removal adsorbent from water, the hybrid material of cryogels and iron hydroxide oxide(FeOOH) nano-particles, which have an affinity to arsenic, are successfully prepared using in situ particle formation and particle addition methods. The adsorption properties of arsenic(V) were investigated using the batch adsorption and the column flow adsorption systems. The adsorption amount of As(V) per weight of the FeOOH particles in the cryogel increased with a decrease in the FeOOH amount in the cryogel. The FeOOH particles entrapped in the cryogel wall prepared by the particle addition method was an amorphous in which that had higher adsorption capacity of As(V) than that having higher crystallinity by the in situ particle formation method. The arsenic adsorption rate to the cryogel was high enough to keep high adsorption amount of arsenic(V).

研究分野：工業物理化学・反応分離工学

キーワード：凍結ゲル 吸着剤 ヒ素 ナノ粒子 多孔質ゲル 有害金属除去

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、活性が低下することが多くの場合で観察され、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。ナノ粒子を利用する場合、高分散状態で高密度な状態を安定に維持できることが重要であると考えられる。

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鑄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。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。

酸化水酸化鉄は、水中の砒素の吸着剤として用いられている。しかし、酸化水酸化鉄は粉体であることから何らかの成形が必用であるが、高流速を維持し高表面積の壁を有する凍結ゲルに固定化することが有効であると考えられ、高性能なヒ素除去フィルターへの応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、非常に大きく連結した細孔を有する凍結ゲルの薄い壁内で酸化水酸化鉄およびプルシアンブルーのナノ粒子を *in situ* で調製し、これらのナノ粒子が高分散かつ高担持量で内包された多孔質フィルターを調製し、水中の砒素、硝酸態窒素および放射性セシウムなどの水中に微量で溶解している環境汚染物質を高速かつ高効率に除去できる環境浄化プロセスの開発を行う。ナノ粒子をゲル内で調製することにより粒子の粒径と分散性の制御が可能であり、ナノ粒子の機能を最大限に発現することが出来る。凍結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そこに高分散で固定化されたナノ粒子により高速で吸着を行うことが出来る。これらの成果により飛躍的に除去効率を高めた環境浄化フィルターを開発できる。

3. 研究の方法

ポリアクリルアミドの凍結ゲルを調製し、この多孔質ゲル内に塩化鉄を浸透させた後に、アルカリ溶液を浸透させゲル内で酸化水酸化鉄のナノ粒子を形成させた(含浸担持法、図1)。また一方、あらかじめ調製した酸化

水酸化鉄微粒子をアクリルアミド水溶液に添加し分散させた状態で凍結ゲルを調製した。ポリマー濃度や凍結温度などの凍結ゲル調製条件および酸化水酸化鉄微粒子調製の原料濃度や反応時間、反応温度などを変化させて、得られたナノ粒子の結晶状態と分散、凍結ゲルの形状等を明らかにした。さらにヒ素の吸着特性を明らかにし、カラムに充填した連続吸着も行った。

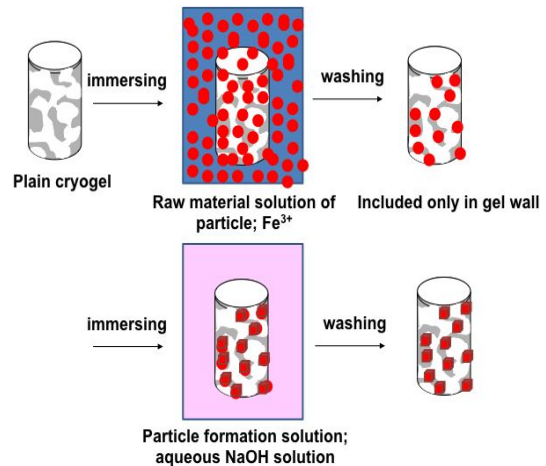


図1 凍結ゲルの壁内でのナノ粒子調製方法

(1) 含浸担持法による FeOOH 担持 PAA クライオゲルの調製方法

三角フラスコに、アクリルアミド (AAM-1 wt%), 及び無酸素蒸留水 50ml を混ぜ、マグネチックスターラーで攪拌しておく。その時、氷で冷却しつつパラフィルムでふたをして脱酸素状態を保つ。完全に溶けたら、ピスアクリルアミド (MBAAM-1 wt%) を加え溶解した。ペルオキシ二硫酸アンモニウム溶液 (APS-0.5 wt%) を脱酸素蒸留水 1ml で溶かし 1ml を取って加えた。さらに三角フラスコを氷で温度を 0-1 °C に保ちつつ、N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン (TEMED-0.12 wt%) を加え素早く混ぜた。その後すぐに、5ml ピペットで冷却恒温槽にセットしてある 6 ml シリンジに溶液を 5ml 入れ 1 晩凍結・重合を一晩行った。その後、シリンジを冷却恒温槽内から出し、温水に浸漬してゲルを解凍させ、蒸留水と同じ pH になるまで洗浄した。

洗浄したクライオゲルの余分な水分を絞り、サンプル管に 1.0M または 0.5M の FeCl₃ 溶液に浸漬し含浸させた。その後、そのクライオゲルをシリンジに入れ、細孔内の余分な FeCl₃ 溶液を絞り、Na₂CO₃ 水溶液または、NaOH 水溶液に浸漬した。その後、浮遊物が出なくなるまで蒸留水で洗浄した。

(2) 粒子添加法による FeOOH 担持 PAA クライオゲルの調製

1.0 mol/dm³ の FeCl₃ 水溶液と 1.0 mol/dm³ の Na₂CO₃ 水溶液を 2:3 で混合し、生成した沈殿を 3000 rpm、10 分間遠心分離して回収し、上清を除き蒸留水を加え洗浄と遠心分離を 2 回繰り返して、酸化水酸化鉄微粒子を得た。回

収した酸化水酸化鉄微粒子の入った遠沈管の重量を測定し、その後脱気蒸留水を入れて分散させ、三角フラスコ内に沈殿物と共に移した。空になった遠沈管の重量を測定し酸化水酸化鉄微粒子の重量を求めた。その中に、アクリルアミド (AAM-4 wt%) とビスアクリルアミド (MBAAM-1 wt%) を加え、氷冷しながらマグネティックスターラーで 1 時間半撈拌した。モノマー類が完全に溶解後、窒素封入を 3 分間行い、溶液中の酸素を除いた。その後、ペルオキシ二硫酸アンモニウム (APS-0.5 wt%) を 1 ml の脱気蒸留水で溶解してモノマー溶液に加え、再び 30 分間撈拌した。その後、氷で冷却ながら N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン (TEMED-0.12 wt%) を加え素早く混合し、-15 °C の冷却恒温槽にセットしておいた 6 mL シリンジに 5 mL ずつ分注し、凍結・重合を一晩行った。その後、シリンジを冷却恒温槽内から出し、温水に浸漬してゲルを解凍させ、蒸留水と同じ pH になるまで洗浄し FeOOH 担持 PAA クライオゲルを得た。また、アクリルアミド溶液を凍結させず、常温で重合および架橋させた FeOOH 担持 PAA ゲルの調製も行った。

(3) 重量分析によるクライオゲルの FeOOH 含有量測定

調製した FeOOH 担持 PAA クライオゲルを凍結乾燥し、恒量にした磁性るつぽに細かく刻んで入れ重量を測定した。ゲルを入れたつぽをブンゼンバーナーで加熱し、クライオゲルが分解し、FeOOH 微粒子が Fe₂O₃ に変化するまで強熱した。デシケーター内で放冷後、生成した Fe₂O₃ の重量を測定し、次式を用いて FeOOH 重量に換算してクライオゲルの FeOOH 含有量を算出した。

$$W_{\text{Fe}} \square (W_{\text{m+Fe}_2\text{O}_3} - W_{\text{m}}) \times (2M_{\text{Fe}}/M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) \text{ [g]}$$

$$W_{\text{FeOOH}} \square \frac{W_{\text{Fe}} \times (M_{\text{FeOOH}}/M_{\text{Fe}})}{W_{\text{drygel}}} \text{ [g/g-drygel]}$$

$W_{\text{m+Fe}_2\text{O}_3}$: weight of the PAA Cryogel and melting pot after burning [g]

W_{m} : weight of melting pot [g]

M_{Fe} : atomic weight of Fe [g/mol]

$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$: formular weight of Fe₂O₃ [g/mol]

W_{Fe} : weight of Fe [g]

M_{FeOOH} : formular weight of FeOOH [g/mol]

W_{drygel} : weight of the PAA Cryogel after drying [g]

(4) FeOOH 担持 PAA クライオゲルの観察および分析

FeOOH 担持 PAA クライオゲルは、凍結乾燥後、走査型電子顕微鏡 (SEM, SU-3500, Hitachi) により観察した。クライオゲル中の鉄元素および吸着した砒素元素の分布は、SU-3500 のエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) のマッピングモードで分析した。クライオゲル壁内の FeOOH 粒子の定性分析は、クライオゲルを凍結乾燥後粉碎した試料を X 線回折装

置 (XRD, X'Pert PRO, PANalytical) を用いて、CuK α 線 (L=1.5405Å, 40 kV, 50 mA) を照射し、 $2\theta = 10^\circ$ から 70° の連続スキャンで測定して行った。

(5) As(V) の吸着

5-1 バッチ法による吸着

調製した FeOOH 担持 PAA クライオゲルをサンプル管に入れ、NaOH 水溶液で pH を調整した As(V) 水溶液を加え 48 時間振とうして吸着を行った。溶液とクライオゲルを分離し、水溶液中の As(V) の濃度を ICP-AES (ICPS-8100, Shimadzu) を用いて還元気化法により測定した。As(V) の吸着量は、物質収支より Eq. (2) を用いて算出した。また、100 mg/L 以上の As(V) 初濃度での吸着では、As(V) を吸着したクライオゲルに 100 mg/L の As(V) 水溶液を加えて吸着を繰り返す行い、吸着量を求めた。

$$q = \frac{(C_{\text{As, aq, ini}} - C_{\text{As, aq}}) \times V_{\text{aq}}}{W_{\text{drygel}}} \times \frac{1}{W_{\text{FeOOH}}} \text{ [mg/g]}$$

$C_{\text{As, aq, ini}}$: As conc. in feed solution [mg/L]

$C_{\text{As, aq}}$: As conc. in equilibrated solution [mg/L]

V_{aq} : Volume of As soln. [L]

W_{drygel} : weight of PAA gel after drying [g]

W_{FeOOH} : weight of FeOOH containing PAA gel after drying [g/g]

5-2 カラム法による連続吸着

調製した FeOOH 担持 PAA クライオゲルを凍結乾燥させたものを切り刻み、6 mL シリンジに詰め、マイクロチューブポンプとフラクシオンコレクターを接続した。pH を調整した As(V) 水溶液を SV 値が約 4 h⁻¹ になるようにポンプで流通させ、フラクシオンコレクターで 10 mL ずつ試験管に分注しながら初濃度に達するまで流通させた。吸着後の溶液を適宜希釈し、As(V) の濃度を ICP-AES で測定した。また、同様の実験を、凍結せずに重合させた PAA ゲルを用いて行った。

4. 研究成果

(1) FeOOH 担持 PAA クライオゲルの形態

FeOOH 担持量の異なる PAA クライオゲルの外観を図 1 に示す。どちらも全体が茶褐色で均一に着色していることがわかる。また、沈殿物量の多い Cryogel A の方が、色が濃いことがわ

かる。続いて、Cryogel A の断面を図 2(a) に、含浸担持法で調製したクライ

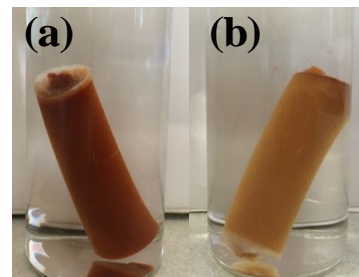


図 1 FeOOH 担持 PAA クライオゲルの外観
(a)Cryogel A, (b)Cryogel B

オゲルの断面を(b)に示す。断面の写真から、粒子添加法クライオゲルは、外観同様均一に着色していることがわかる。一方、含浸担持法クライオゲルは、中心が斑模様になっている。このことから、粒子添加法で調製することで、クライオゲル全体に粒子が均一に担持できることがわかった。

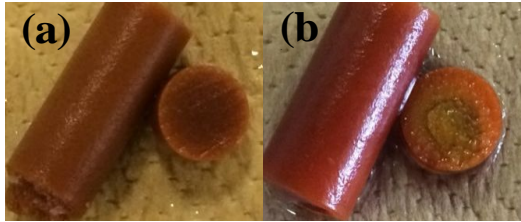


図2 FeOOH 担持 PAA クライオゲルの断面 (a)粒子加法, (b)含浸担持法

含浸担持法クライオゲルの SEM 観察を図 3(a)および(b)に、粒子添加法クライオゲルの SEM 観察を図 3(c)および(d)に示す。どちらも、ゲル全体に連結した大きな細孔を有する多孔質体であることがわかった。また、含浸担持法には大きさ $1.0\mu\text{m}$ 以下の微細な粒子の凝集が観察できるのに対し、粒子添加法には、細孔の表面に微粒子やそれらの凝集物は観察されなかった。よって、粒子添加法で調製することで、FeOOH 微粒子がクライオゲル壁内部にのみ担持されたことがわかった。As(V)吸着後の FeOOH 担持 PAA クライオゲルの鉄元素および吸着したヒ素元素を EDX マッピング分析した結果を図 4(a)および(b)にそれぞれ示す。鉄元素は、図 3(d)の細孔壁の部分と同じ形状に分布しており、細孔壁内に担持されていることがわかる。また、ヒ素元素の分布は、鉄元素と同じ位置に分布しており、As(V)はクライオゲル壁内に内包担持された

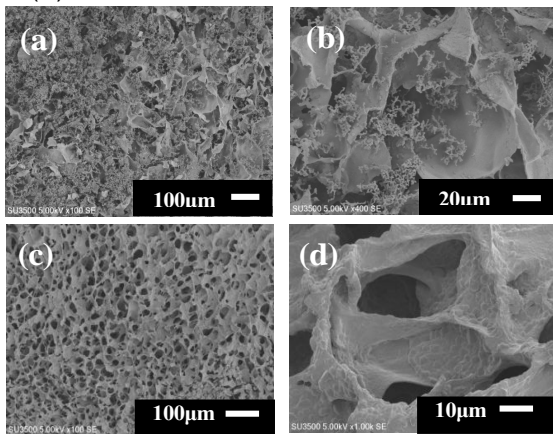


図3 FeOOH 担持 PAA クライオゲルの SEM 観察 (a,b) 含浸担持法, (c,d) 粒子添加法

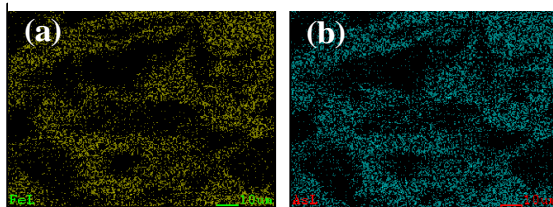


図4 図3(d)の EDX マッピング分析による鉄元素分布(c)およびヒ素元素分布(d)

FeOOH 微粒子によって吸着されていると考えられる。

(2) FeOOH 担持 PAA クライオゲルによる As(V)吸着平衡

2.1 As(V)吸着におよぼす pH の影響

吸着する As(V)の初濃度を变化させた場合の FeOOH 担持 PAA クライオゲルの As(V)吸着量におよぼす pH の影響を図 5 に示す。初濃度が 40 ppm の場合の As(V)の吸着量は、10 ppm に比べ pH の変化に大きく影響した。また、いずれも As(V)吸着量は pH 11, 12 で大きく減少した。鉄酸化物表面の等電点は pH6-7 にあることが多く、As(V)は pH3-6 では H_2AsO_4^- 、pH8-11 では HASO_4^{2-} の化学種が多く存在する。よって、pH が高くなるに従い FeOOH の表面が負に帯電し、 H_2AsO_4^- および HASO_4^{2-} との静電反発により吸着量が減少したと考えられる。一方、pH4 から pH10 での吸着では、As(V)の初濃度に関係なく、吸着前後で溶液の pH が大きく変化した。これらのことから、As(V)の吸着は静電的な相互作用による吸着だけでなく、FeOOH の表面官能基と H_2AsO_4^- および HASO_4^{2-} との錯体形成による化学吸着の可能性が考えられる。

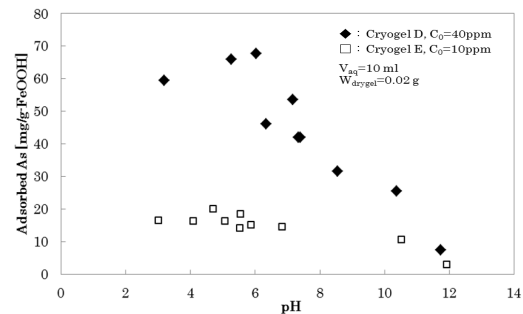


図5 FeOOH 担持 PAA クライオゲルによるヒ素吸着におよぼす pH の影響

2.2 As(V)吸着におよぼす調製法の影響

粒子添加法(Cryogel A)、含浸担持法で調製したクライオゲルおよび FeOOH 沈殿物の As(V)の吸着等温線を図 6 に示す。水相の As(V)濃度は低濃度から吸着量が高く、濃度が高くなるに従い吸着量は緩やかに増加し、さらに高濃度で吸着量が一段と増加する、BET 型の吸着等温線となった。これは、鉄酸化物との沈殿形成による As(V)除去の等温線と類似しており、FeOOH 表面での沈殿形成も

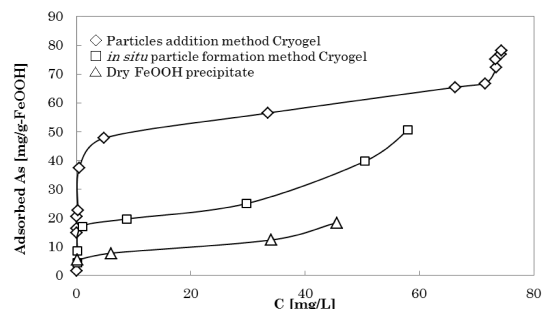


図6 粒子添加法と含浸担持法による FeOOH 担持 PAA クライオゲルおよび FeOOH 沈殿物による As(V)の吸着等温線

示唆される。粒子添加法クライオゲルは、含浸担持法クライオゲルおよび FeOOH 沈殿物よりも As(V) 吸着量が高いことがわかった。

調製方法による As(V) の吸着特性の違いを明らかにするため、粒子添加法および含浸担持法で調製したクライオゲル及び FeOOH 沈殿物の XRD 測定を行った(図 7)。含浸担持法クライオゲルおよび FeOOH 沈殿物には比較的鋭い回折ピークが観察された。これらのピークは FeOOH と同定され、クライオゲル壁内に FeOOH の結晶が形成されていることが確認できた。一方、粒子添加法クライオゲルの場合は、ピークが不明瞭で幅が広いことから、担持されている FeOOH 微粒子はアモルファス状態であると考えられる。粒子添加法クライオゲルの As(V) の吸着量が大きくなったのは、アモルファス状態が要因として考えられる。また、アモルファス状態の FeOOH 微粒子は再溶解も起こりやすいことが予想され、鉄イオンと As(V) との共沈殿の形成も示唆される。粒子添加法クライオゲルの As(V) 吸着前後で XRD 測定を行った。吸着後、鋭いピークが観察されたが、これらは吸着実験の緩衝溶液に含まれる NaNO_3 に由来するピークであった。他には明瞭なピークは観察されず、ピーク形状にも吸着前後で大きな変化はなかったことから、As(V) の吸着により FeOOH 微粒子の結晶状態の変化は見られず、アモルファス状態が保たれることがわかった。

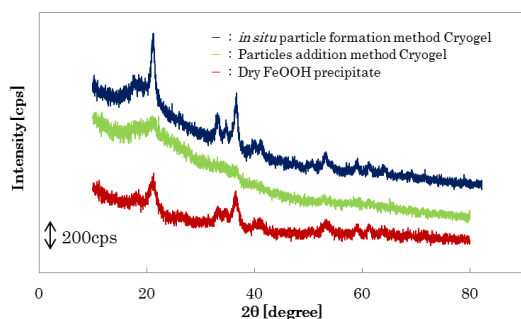


図 7 粒子添加法と含浸担持法による FeOOH 担持 PAA クライオゲルおよび FeOOH 沈殿物の X 線回折

2.3 FeOOH 担持量の As(V) 吸着への影響

FeOOH 含有量の異なるクライオゲルを用いて As(V) 吸着を行った。FeOOH 含有量にかかわらず、クライオゲルの乾燥重量 1.0 g 当たりの As(V) 吸着量 (q_{drygel}) は、ほぼ同じであった。FeOOH 1.0 g 当たりに換算すると、FeOOH 含有量の少ないクライオゲルの方が As(V) 吸着量が高いという結果となった。この結果は、クライオゲル壁内の FeOOH 微粒子の内包状態により吸着特性が異なることを示唆している。FeOOH 微粒子の調製時の FeCl_3 水溶液と Na_2CO_3 水溶液の濃度と体積比は同じであり、ほぼ同じ粒径の FeOOH 微粒子が調製されていると考えられる。一方、クライオゲル調製時のモノマー溶液に加えた FeOOH 微粒子の量は変わっており、FeOOH 微粒子の量が少ない場合、ゲル内で均一に分散され、FeOOH 微粒子

の凝集が少ないため表面積が大きくなり、 q_{FeOOH} が高くなったと推測できる。

2.4 FeOOH 担持クライオゲルのカラム連続 As(V) 吸着

カラムに詰めた Cryogel A および Gel F に 10 ppm (pH 7) の As(V) 水溶液を流通させ、その結果から得られた破過曲線を図 8 に示す。Cryogel A は、As(V) を 600 mL 流したところで、出口濃度が初濃度と同じ濃度になった(破過点)。それに対し Gel F は、580 mL 流したところで破過点に達した。Cryogel A は、600 mL 流した時点で、吸着量が約 53.5 mg/g-FeOOH であった。この吸着量を図 6 の粒子添加法 (Cryogel A) の吸着等温線のグラフと比較すると、平衡濃度 10 mg/L における平衡吸着量とほぼ同じであり、連続吸着でも平衡吸着量とほぼ同じ吸着量であることがわかった。これらの結果は、クライオゲルに内包された FeOOH 微粒子による As(V) の吸着速度が早く、吸着等温線の低濃度での高い吸着量に対応していると考えられる。また、破過曲線が吸着等温線と同様に、一様に増加せず段階的に高くなったことから、As(V) の FeOOH 微粒子への吸着が多段階で進行していることを示唆される。一方 Gel F は、580 mL 流した時点で吸着量が約 47.1 mg/g-FeOOH で、クライオゲルよりも低い結果となった。この結果から、ゲルの吸着能力は、クライオゲルとほぼ同量の FeOOH 微粒子を含有していても、吸着量・吸着速度ともに劣り、クライオゲルの方が As(V) 吸着剤に適していることがわかった。

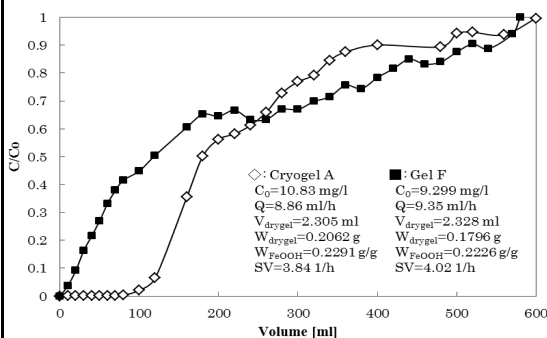


図 8 粒子添加法 FeOOH 担持 PAA クライオゲルによる As(V) のカラム連続吸着の破過曲線

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

- (1) 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, 査読有, 5 (1), 印刷中(2016).
- (2) K. Shiomori, S. Shiiba, T. Sana, S. Kiyoyama, Effect of Diethanolamine on

Extraction Properties of Reverse Micelles with Sodium Bis(2-ethylhexyl) Sulfosuccinate, Solvent Extraction Research and Development, Japan, 査読有, 23(1), 75-85 (2016).

- (3) S. Nishino, H. Yoshizawa, K. Shiomori, Protein-benign Microencapsulation with a Water/Oil Microemulsion formed by a Biodegradable Polymer Surfactant, International Journal of Engineering and Science Applications, 査読有, 2(1), 1-5 (2015).
- (4) 小松俊一, 清山史朗, 武井孝行, 吉田昌弘, 塩盛弘一郎, 2-エチルヘキシルホスホン酸-モノ-2-エチルヘキシルを内包したポリビニルアルコール/アルギン酸架橋ゲルマイクロカプセルによるCo()抽出平衡, 環境資源工学, 査読有, 62(2), 56-62 (2015).
- (5) M. Kurozumi, Y. Yano, S. Kiyoyama, A. Kumar, K. Shiomori, Adsorption Properties of Arsenic(V) by Polyacrylamide Cryogel containing Iron Hydroxide Oxide Particles Prepared by in situ Method, Resources Processing, 査読有, 62(1), 17-23 (2015).
- (6) S. Nishino, H. Yoshizawa, K. Shiomori, A Protein Extraction System with a Water/Oil Microemulsion formed by a Biodegradable Polymer Surfactant, Solvent Extraction Research and Development, Japan, 査読有, 21(1), 47-54 (2014).

〔学会発表〕(計6件)

- (1) M. Kurozumi, Y. Yano, S. Kiyoyama, A. Kumar, K. Shiomori, Adsorption Properties of Arsenic with Polyacrylamide Cryogel containing Iron Hydroxide Oxide Nanoparticles, International Symposium on Environment and Resource Recycling Technology 2016, 2016年3月4日, 宮崎大学 (宮崎県・宮崎市).
- (2) M. Kurozumi, Y. Yano, S. Kiyoyama, A. Kumar, K. Shiomori, Adsorption Properties of Arsenic with Polyacrylamide Cryogel containing Iron Hydroxide Oxide Particles Prepared by Particle Addition Method, 2015 Taiwan/Korea/ Japan Joint Meeting on Chemical Engineering, 2015年11月6日, E-Da Royal Hotel, 台湾.
- (3) M. Kurozumi, K. Shiomori, Adsorption Properties of Arsenic by Polyacrylamide Cryogel containing Iron Hydroxide Oxide Particles Prepared by Particles Addition Method, 4th International Arsenic Symposium in MIYAZAKI 2015, 2015年10月10日, 宮崎大学 (宮崎県・宮崎市).
- (4) 黒住美沙, 塩盛弘一郎, 清山史朗, 酸化水酸化鉄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剤特性, 第20回ヒ素シンポジウム, 2014年12月6日, 千

葉科学大学 (千葉県・銚子市).

- (5) 黒住美沙, 清山史朗, 塩盛弘一郎, in situ 微粒子調製による鉄酸化物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剤特性, 化学工学会 第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学 (福岡県・福岡市).
- (6) K. Shiomori, M. Kurozumi, S. Kiyoyama, A. Kumar, Development of Arsenic Adsorbent using Cryogel containing Ferrous Hydroxide Particles, The 12th Korea/Japan International Symposium on and Resources Recycling and Materials Science, 2014年4月18日, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, Korea.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計0件)
取得状況 (計0件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.chem.miyazaki-u.ac.jp/~shiomori/index.html>

<https://srhumbd.miyazaki-u.ac.jp/webopen/search?method=view&id=47>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
塩盛 弘一郎 (Shiomori Koichiro)
宮崎大学・工学教育研究部・准教授
研究者番号: 80235506