

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00611

研究課題名(和文) ゲル内での層状複水酸化物合成による新規アニオン吸着剤の開発

研究課題名(英文) Study of novel anionic adsorbents of layered double hydroxides synthesized inside polymer hydrogels

研究代表者

日比野 俊行 (Hibino, Toshiyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ長

研究者番号：70357846

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)：固液分離性の向上と1価の陰イオン、特に硝酸イオンへの選択性向上を目指して、高分子ヒドロゲル内で陰イオン交換体である層状複水酸化物(LDH)を合成した。LDHのアガロースゲル内での合成に成功し、組成を適切に調整すればゲル内合成LDHの複合体でも硝酸イオンへの選択性が高いものが得られた。さらに、アガロースゲル以外のゲルを用いた複合体やポーラスな基材を組み込んだ複合体の合成も可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Layered double hydroxides, which were anion exchangers, were synthesized inside polymer hydrogels in order to improve solid-liquid separation and selectivity for monovalent anions, especially nitrate anions. Those composites for whose preparation agarose gel was used were successfully obtained, and even the composites showed a high selectivity for nitrate when their compositions were adjusted properly. Moreover, it was demonstrated that it was possible to synthesize other composites whose polymer parts were other than agarose and more complexed one that contained porous material.

研究分野：化学

キーワード：層状複水酸化物 ハイドロタルサイト ハイブリッドゲル イオン交換 吸着

1. 研究開始当初の背景

環境白書によると、地下水の環境基準超過においては、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素が上位になっており、そのほか、砒素、フッ素なども挙がっている。また、土壤汚染対策法の基準を超える汚染が判明した事例での有害物質でも、フッ素、砒素が挙がっている。これらの規制物質は、硝酸イオン、フッ化物イオン、ヒ酸イオンなどと水環境のなかでは陰イオンとして存在する特徴を持つ物質であり、こうした有害陰イオンの除去は発生源での対策を含め様々な場面で重量な課題となっている。小規模サイトにおける対策では、吸着材を用いた除去が有効であり、無機の陰イオン交換体である層状複水酸化物 (LDH: Layered Double Hydroxide) は、合成が容易でイオン交換容量が大きいことから、有害陰イオンの除去用吸着剤として多くの検討がなされてきた。しかし、実用面においては、基本的には粉体で得られる LDH では固液分離性が悪く、カラムでの通液も悪い。また、LDH は、電荷密度の低い陰イオン、特に 1 価の陰イオンに対しての選択性が低いとみられてきた。

一方で、近年の報告では、それらのメカニズムが明確ではないものの、LDH は微結晶化すると 1 価陰イオンの選択性が相対的に向上する [たとえば、Kuroda Y. et al. (2013) Chem. Mater. Vol. 25, pp. 2291-2296.]、あるいは硝酸イオン (代表的な電荷密度の低い陰イオンで 1 価の陰イオン) に対して高い選択性を持つ LDH 組成があるという研究結果 [たとえば、Tezuka S. et al. (2003) Chem. Lett. Vol. 32, pp. 722-723.] が散見されるようになった。

2. 研究の目的

層状複水酸化物(LDH)は、構成金属において幅広い多様性が報告されているが、なかでも最も検討されている典型的な LDH の一般式は、 $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2][A^{n-}_{x/n} \cdot mH_2O]$ で示される。3 価金属が 2 価金属と置換することによって金属水酸化層が正に帯電し、層間には電荷を補償する陰イオンが存在する。そして、層間陰イオンは交換可能であるため、LDH は陰イオン交換体として機能する。この陰イオン交換能を利用して、LDH は陰イオン吸着剤として長く検討されてきているが、本研究では、以下 2 点の目的を持って LDH を用いた複合体吸着剤の検討を行う。(i) 選択性が低いとみられてきた 1 価陰イオン、特に硝酸イオンに対する選択性向上を目標とする。「1. 研究開始当初の背景」において述べた微粒子化と組成最適化の観点から選択性向上を目指し、かつ、そのメカニズムを解明する。このうち、微粒子化はゲル内という環境での LDH 合成による効果でもって検討を行う。(ii) 実用上に必要な固液分離性やカラムでの通液性の向上を目的とした成形検討を行う。(i) の微粒子化検討も兼ねて、成形は

高分子ヒドロゲル内での LDH 合成でもって検討する。

3. 研究の方法

本研究では、特に断わりのない限り、LDH の作製は、上記一般式の $M^{2+} \cdot M^{3+}$ は Mg-Al の系で行った。

(1) 高分子ヒドロゲル内での LDH 合成条件の検討

本研究では、固液分離性向上と同時に、ゲル内という制約のある空間内での合成による LDH 微粒子化を目的に高分子ヒドロゲル内での LDH 合成を行った。また、LDH 組成最適化による 1 価陰イオン (特に硝酸イオン) に対する選択性向上の検討も基本的には、ゲル内合成での LDH に対して検討した。そこで、まず、高分子ヒドロゲル内での LDH 合成条件を検討した。LDH 合成においては、高濃度で原料液をすばやく混合することでも微結晶が図れるので、高分子ヒドロゲル内での LDH 合成でも比較的高濃度の原料溶液を用いた。個々の検討の詳細は以下の通りである。

アガロースゲルを用いたゲル内 LDH 合成条件検討

アガロース含有量 1wt% のアガロースゲルを作製した。アガロースを加熱して水に溶かしたあと、型に流し込む量を調整することによって、厚さ 3mm と 10mm にした。冷却してゲル化したあと、薄い刃を格子に組んだ治具で (3mm 間隔と 10mm 間隔) 切断して 1 辺 3mm と 10mm の立方体のゲルを用意した。これらのゲルを $MgCl_2 + AlCl_3$ 混合水溶液 (Mg:Al モル比=2:1) に 23-25h 浸したのち、一度、取り出して余分な液を落としてから、NaOH 水溶液に 23-25h 浸してアガロースゲル中で LDH を生成させた。上記 Mg+Al 混合溶液の Mg+Al 合計濃度が 1M と 2M の場合の検討を行い、それぞれ、1M と 2M の NaOH にて LDH を生成させた。使用した溶液量は、いずれも初めのアガロースゲル中に含まれる水の 3 倍の容積とした。LDH 生成後は、ゲル内の余分な塩を除去 (洗浄) するため、やはり同量の超純水に浸した。1 回当たり 2h 以上浸し、余分な水を落としてから新しい超純水に浸す操作で 7 回超純水を取り換えた。洗浄後は 110 °C で乾燥させた。この時、乾燥前後の重量から固形分を測定した。1 辺 10mm の立方体ゲルから作製した複合体は、外側約 1mm の厚さで切り取った外周部と、その残りの中心部に分けて固形分を測定した。1 辺 3mm の立方体ゲルから作製した複合体は、部位を分けずに測定した。化学分析では、乾燥サンプルを希硝酸に浸して LDH 成分を溶かしたのち、ICP-AES で Mg 及び Al 含有量を測定した。さらに、粉砕後、X 線回折 (XRD) 測定を行い、生成相の確認を行った。

ゲル内 LDH 合成物への後処理検討

溶液の拡散の影響による LDH 以外のゲル内での生成物（単一金属の水酸化物から成るアモルファス的な成分など）の生成や両性金属である Al の塩基での溶解などにより、仕込みの M^{2+}/M^{3+} モル比から生成物での M^{2+}/M^{3+} モル比がずれる場合が想定される。Rajamathi, M と Kamath, P. V. [Bull. Mater. Sci. (2000) Vol. 23, pp. 355-359] や Radha, A. V. と Kamath, P. V. [Bull. Mater. Sci. (2003) Vol. 26, pp. 661-666.] による、単一金属から成る水酸化物を、2 価または 3 価金属の塩の水溶液中で LDH に変換する処理に準じて、 M^{2+}/M^{3+} モル比の調整が可能かどうか検討した。本検討では、上記「アガロースゲルを用いたゲル内 LDH 合成条件検討」で仕込み比より Mg/Al モル比が大きくなった生成物を $AlCl_3$ 水溶液に浸して検討を行った。2M 溶液ベースで作製した 1 辺 3mm の立方体ゲル複合体を、洗浄後、乾燥させずに、はじめのアガロースゲルのときに含まれていた水の量の 3 倍体積の 1M $AlCl_3$ 水溶液に 20h 浸した。初めのアガロースゲル中に含まれる 7 倍の容積の超純水で 5 回洗浄後（1 回あたり 0.5-1.5h 浸す）、110 °C で乾燥させた。乾燥後、希硝酸に浸して金属水酸化物成分を溶かした後、ICP-AES で Mg 及び Al 含有量を測定した。

(2) 1 価陰イオン（特に硝酸イオン）に対する選択性向上の検討

最近の報告で示された微粒子化と組成最適化の観点に立って新たな検討を行い、また、そのメカニズムの探求を行った。本研究では、固液分離性向上を目的に高分子ヒドロゲル内での LDH 合成を行うため、これによる微粒子化が期待できる。すなわち、ゲルを構成する高分子網目がサブミクロンレベルの空孔を形成するので、このような小空間による結晶成長阻害による LDH の微粒子化によって吸着挙動の変化が起こるか検討した。組成最適化については LDH の電荷密度を変化させる M^{2+}/M^{3+} 比の変化を検討した。メカニズム検討では、単純な金属水酸化物による効果も含めて検討を行った。個々の検討の詳細は以下の通りである。

ゲル内合成による効果

「(1) 高分子ヒドロゲル内での LDH 合成条件の検討 アガロースゲルを用いたゲル内 LDH 合成条件検討」に準じた方法で合成を行った。Mg+Al 混合溶液は Mg+Al 合計濃度が 2M で Mg/Al モル比が 3 の水溶液、沈殿剤は 2M のアンモニア水溶液という条件で 1 辺 3mm の立方体ゲルの複合体を作製し、洗浄（初めのアガロースゲル中に含まれる 7 倍の容積の超純水で 5 回）後、1g ずつのゲルに取り分けてから 110 °C で乾燥させてサンプルを得た。乾燥後は 0.088-0.091g となった。沈殿剤を NaOH 水溶液やトリス（ヒドロキ

シメチル）アミノメタン水溶液にしたり、生成物での Mg/Al 比が同じになるように仕込みでの Mg/Al 比を若干変化させた検討及び Mg, Al のほかに Ce を入れた検討も行った。比較サンプルとして、同じく仕込みでは Mg/Al モル比が 3 の Mg+Al 混合溶液を用いて、NaOH 水溶液の沈殿剤で共沈により合成した LDH 粉末を用意した。これらのサンプルの吸着性能を評価するため、ゲル複合体は 0.5 または 1.0g ずつのゲルからの乾燥物、粉体 LDH は 0.07g ずつに取り分けてから、30mM Na_2SO_4 , 30mM $NaNO_3$ あるいは 30mM Na_2SO_4 + 30mM $NaNO_3$ 水溶液を 10mL ずつ加えて、25 °C においた。24h 後、上澄みでの SO_4^{2-} , NO_3^- 濃度を測定して吸着量を測定した。吸着性能は単位重量当たりの吸着量で比較した。

LDH 組成（Mg/Al 比）変化による効果

LDH の組成変化、ここでは、Mg/Al 比変化による効果を検討した。まず、粉体 LDH 単独での検討を行った。共沈で合成したサンプルと共沈後に水熱育成（140 °C、24h）で結晶成長させた 2 種類のサンプルを作製した。また、Mg/Al モル比は仕込みで 2.5 から 6.5 まで変化させた。これらのサンプルに対して、硫酸イオン、硝酸イオン及びフッ化物イオンを単独あるいは混合して吸着させ、吸着特性を評価した。次に、ゲル内 LDH 合成における検討を行った。仕込みでの Mg/Al モル比を変化させて吸着特性を評価した。ゲル内 LDH 合成は、1 辺 3mm の立方体アガロースゲルを用い、沈殿剤としては NaOH 水溶液あるいはアンモニア水溶液を用いて合成した。洗浄（初めのアガロースゲル中に含まれる 7 倍の容積の超純水で 6 回）後は、真空乾燥（30-40 °C, 20hPa）を行って吸着検討用のサンプルとした。

炭酸イオン混入対策

LDH を吸着剤として使用する場合、LDH に対して選択性が高いとされる炭酸イオンが入ると、実質、その分だけ吸着能力が下がる。炭酸イオン混入は、空気中の CO_2 が水を介して LDH に接することで起こると考えられる。合成過程や乾燥過程で混入した炭酸イオンに対しての脱炭酸処理を Iyi ら [Appl. Clay Sci. (2011) Vol. 54, pp. 132-137] による方法に準じて行った。1M 塩酸水溶液をエチルアルコールで 0.05M まで希釈した溶液 1.5mL を、乾燥させたゲル内合成 LDH の複合体 0.022 g に加えて約 24h おき、脱炭酸処理を試みた。処理後は水洗して 110 °C で乾燥させた。これら処理サンプルに対して吸着実験を行い、吸着能力の変化を検討した。また、サンプル合成時の炭酸イオン混入対策として、乾燥方法の差も検討した。ゲル複合体の乾燥を真空乾燥と風乾で行い、吸着能力の比較により、炭酸イオン混入の程度を評価した。

(3) 固液分離向上を目的とした様々な複合体の検討

上述のように、本研究では高分子ヒドロゲル内で LDH を作製した。高分子ヒドロゲルはポリマーの網目の中に水が保持された構造を持っており、溶質のような小さな分子やイオンは容易にゲル内を移動できる。また、一度乾燥させても、再び被処理水に浸せば、用いたゲル高分子により復水の程度は異なるが、膨潤によってできたポリマーの網目由来の隙間が、小さな分子やイオンの移動を可能にすることが期待でき、実際、アガロースを用いた検討では、吸着挙動に特に支障はみられなかった。LDH 粒子は、ゲルまたは乾燥させたゲル内に固定され、微粒となって被処理水内に懸濁することはなかったため、固液分離性の格段の向上が達せられた。そこで、アガロースゲル以外的高分子ヒドロゲルでも、同様な複合体の作製が可能であるか、さらには耐久性などに相違があるかなどを検討した。アガロースゲル以外のゲルとしては、

-カラギーナンゲルとアルギン酸ゲルを用いた。-カラギーナンゲルは、1wt%では柔らかすぎたので 2wt%のゲルを作製した。アガロースでの調整と同様に、-カラギーナンを加熱して水に溶かし、型の中で冷却してゲルを作製した。ゲルに固化したあとは、1辺 3mm の立方体に切断し、水中に保存した。この保存中に、-カラギーナンゲル固形分は最低で 0.85%程度まで減少してしまっていたようだったが、アガロースゲルのときと同様な方法でゲル中での LDH 合成を行って複合体を作製した。条件は Mg/Al=3 と 4、Mg+Al=2M、沈殿剤は 2M NaOH 水溶液で、合成後の乾燥は真空乾燥と 110 乾燥で行った。アルギン酸ゲルは 1wt%のアルギン酸水溶液 50g をガラススポイトで 0.15M CaCl₂ 水溶液 250mL に滴下してゲル化させて得た。直径約 3mm の球状のゲルとなった。ゲル重量 7 倍の水に 3 回浸して余分な塩を取り除いた。複合体合成に使用するまでは水中に保存した。ゲルの固形分は 1.2-1.5%程度であった。-カラギーナンゲルと同じく、アガロースゲルでの検討に準じてゲル内での LDH 合成を行った。これらのサンプルは乾燥後、吸着能力を評価した。さらに、カラムへの設置に適した構造体作製の自由度を広げるため、成形のバリエーションを増やす検討も行った。ゲル複合物を細かくしてから成形したり、物理ゲルであればゲル前駆体の状態（液状状態）で、ポラスな基材に含浸させて成形し、その中で LDH 合成することも試みた。具体的には、アガロースゲルでのゲル内 LDH 合成物を細かく刻んでからテフロンピーカーに入れて真空乾燥させて成形体にしたサンプルの作製のほかに、ポリウレタンのシートにアガロース溶液を含浸後、冷却してアガロースゲルを固め、このポリウレタン中にアガロースゲルが入った複体内で LDH を合成し、複式複合体サンプルを作製した。これらのサンプルも真

空乾燥後、吸着能力を評価した。

4. 研究成果

(1) 高分子ヒドロゲル内での LDH 合成条件の検討

アガロースゲルを用いたゲル内 LDH 合成条件検討

ゲル内での LDH 合成が可能であるかどうかの確認とゲル内における LDH の生成の均一性を検討した。まず、乾燥させた複合体合成物を粉碎してからの XRD 測定結果であるが、いずれも LDH 単相であった（図 1）。

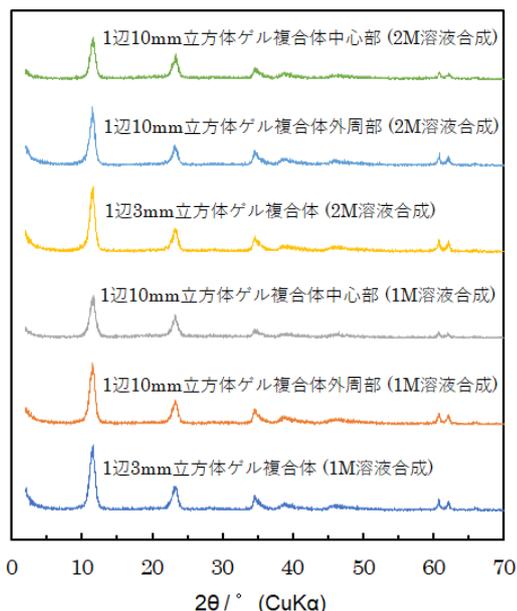


図 1 ゲル複合体乾燥物の X 線回折分析結果

次に、固形分の測定検討であるが、1 辺 10mm の立方体のゲル複合体で、外周部と中心部に分けて固形分を測った結果、LDH はゲルの表面近くでより多く生成していることが明らかになった（表 1）。一方、1 辺 3mm の立方体のゲル複合体を、等量ずつ取り分けて固形分のばらつきを測った。この場合、取り分けたサンプル間でのばらつきは小さかった。

表 1 固形分測定結果

サンプル	固形分 (%)				平均
	測定値(サンプル数 4)				
1 辺 10mm 立方体ゲル複合体中心部 (1M 溶液合成)	4.26	3.78	4.37	3.93	4.09
1 辺 10mm 立方体ゲル複合体外周部 (1M 溶液合成)	7.94	7.36	7.75	7.59	7.66
1 辺 3mm 立方体ゲル複合体 (1M 溶液合成)	6.55	6.57	6.56	6.53	6.55
1 辺 10mm 立方体ゲル複合体中心部 (2M 溶液合成)	5.61	5.00	6.02	5.90	5.63
1 辺 10mm 立方体ゲル複合体外周部 (2M 溶液合成)	14.22	14.29	14.75	13.99	14.31
1 辺 3mm 立方体ゲル複合体 (2M 溶液合成)	11.54	11.62	11.51	11.74	11.60

以上より、以後のゲル複合体検討は、1辺3mmの立方体のゲル複合体を作製して行うこととした。

ゲル内 LDH 合成物への後処理検討

上記「アガロースゲルを用いたゲル内 LDH 合成条件検討」で、2M ベースの溶液を使用して作製した 1 辺 3mm の立方体のゲル複合体の Mg/Al モル比は 2.25 で、仕込み比の 2 よりやや大きかった。そこで、改めて同じサンプルを作製し、乾燥させずに AlCl₃ 水溶液に浸して Mg/Al 比の調整が可能か検討を行った。その結果、得られた生成物での Mg/Al 比は 1.27 と通常 LDH 構造を取りうると思われる下限の Mg/Al=2 を下回ってしまった。AlCl₃ 水溶液は pH が低いので、Mg 成分が溶解してしまったものと思われる。本方法は、Mg/Al 比の調整には有効ではなかったため、以後は後処理で複合体中の LDH 組成を調整することは行わないことにした。

(2) 1価陰イオン(特に硝酸イオン)に対する選択性向上の検討

ゲル内合成による効果

合成時の仕込み Mg/Al モル比が 3 の場合での、ゲル複合体(アンモニア水溶液沈殿剤)と従来法で作製した LDH 粉末では、硫酸イオン、硝酸イオンあるいは硫酸イオンと硝酸イオンの混合吸着において、両者はほぼ同等の性能を示した。ただ、ゲル複合体は吸着に寄与しないアガロース成分があるので、若干性能がよかったともいえる。しかし、1価陰イオン(特に硝酸イオン)に対する選択性の向上はみられず、吸着量自体も大幅な向上があったとはいえなかった。ゲル内 LDH 合成では、沈殿剤として、アンモニア水溶液のほか、NaOH やトリス(ヒドロキシメチル)アミノメタン水溶液(これは 70-80 に加熱した)を用いた検討も行ったが、生成物での Mg/Al 比を調整するために、仕込みでの Mg/Al 比を 3 から 2 あるいは 4 にしたりしたものがあつたり、生成物中の Mg/Al 比が結局は、まちまちであったりしたため、単純な比較はできないが、総じて従来法で作製した LDH 粉末並みか、それ以下の吸着能力であり、ゲル内生成に起因した陰イオン選択性の変化は特にはみられなかった。ゲル内 LDH 合成で、一部、Ce を LDH に入れる検討も行ったが、吸着能力自体の向上や硝酸イオン選択性向上はやはり見られなかった。

LDH 組成(Mg/Al 比)変化による効果

上記「ゲル内合成による効果」の結果から、ゲル内合成に起因した 1 価陰イオン、特に硝酸イオンに対する選択性向上はみられなかったため、組成変化、ここでは Mg/Al 比の変化による効果を検討した。まず、粉体 LDH を用いた検討を行った。硫酸イオンと硝酸イオンの混合吸着検討では、Mg/Al モル比が低いときは硫酸イオンに対する選択性

が高いが、Mg/Al 比が高くなると硝酸イオンに対する選択性が高くなることが確認された。特に結晶性を上げると差が顕著になることが分かった。また硝酸イオンと同じく 1 価の陰イオンであるフッ化物イオンの吸着傾向は硫酸イオンと似ていた。従って、Mg/Al 比が高くなると選択性が高くなるのは硝酸イオンに特有の傾向であることが分かった。Mg(OH)₂ や Al(OH)₃ の単一金属から成る水酸化物での吸着挙動をメカニズム検証の参考にするため検討したが、これらが硝酸イオン選択性に与える効果はないといえる結果であった。次に、ゲル内で合成した LDH でも同様に Mg/Al 比を変化させて硫酸イオンと硝酸イオンの混合吸着検討を行ったところ、粉体 LDH と同様の選択性の変化が、NaOH 水溶液を沈殿剤として合成した際にはみられた。ゲル内での LDH 合成にアンモニア水溶液を用いた場合は、生成物における Mg/Al 比が、仕込み比を振っても変化が小さく(Mg/Al 仕込みモル比 2-5 のとき、生成物での Mg/Al モル比は 1.85-2.76)、そのために陰イオン選択性の変化が NaOH 水溶液沈殿剤のときほどは明瞭ではなかった。

炭酸イオン混入対策

空気中の CO₂ 由来の LDH への炭酸イオン混入は、炭酸イオンが LDH では他の陰イオンと交換しづらいため、炭酸イオン混入は実質的に吸着能力低下となる。合成や乾燥過程で混入したゲル中合成 LDH 内の炭酸イオンに対して、HCl 入りエチルアルコールで脱炭酸処理を試みた。処理前に比べて、吸着能力は総じてある程度高くなったが、大きな改善はみられなかった。これとは別に、乾燥方法による炭酸イオン混入の差を、真空乾燥と風乾で比較した。風乾でのサンプルは著しく吸着能力が低下していることが多かった。従って、以上の結果から、ゲル複合体は、後から脱炭酸処理するよりは、サンプル合成において、速やかに乾燥させて保管するほうが炭酸イオン混入対策では有効であることが示唆された。

(3) 固液分離向上を目的とした様々な複合体の検討

-カラギーナンゲルとアルギン酸ゲルを用いた検討では、アガロースゲルを用いた検討と同様に、ゲル内で LDH が合成でき、陰イオン吸着能力も確認された。Mg/Al 仕込みモル比を 3 と 4 にして合成したが、この Mg/Al 比の違うサンプル間では、真空乾燥でも 110 乾燥でも、やはりアガロースゲルを用いた検討同様に、硫酸イオンと硝酸イオンの選択性が変化することも確認できた。

図 2 に合成したゲル複合体の真空乾燥後の様子を示す(仕込み Mg/Al モル比=3)。LDH を内部で生成させない場合のゲルのみで真空乾燥させた場合は、アガロースゲル、-カラギーナンゲルとアルギン酸ゲルは、いず

れも白色半透明であるが、LDH を内部で合成させてから真空乾燥すると黄色あるいはオレンジ色を呈した(図 2a-c)。仕込み Mg/Al モル比=3 のサンプルと比較すると 110 乾燥では、褐色から黒色になり、アガロースゲル複合体に比べて陰イオン性高分子ゲル複合体の方が 110 乾燥では色は濃くなっていたので、耐熱性は陰イオン性高分子より電荷のないアガロースゲルのほうがわずかだが優れているようであった。

図 2d にポリウレタンのシートにアガロース溶液を含浸させ、アガロースゲルが固まった後、その中で LDH を合成した複合体の真空乾燥サンプルを示す。使用したポリウレタンが黄色であったため、乾燥による変色はよく分からなかったが、陰イオン吸着の点では、ポリウレタンを入れないアガロースゲル複合体とほぼ同じ吸着能力を示し、この複合体でも硫酸イオンと硝酸イオンの吸着は確認できた。また、アガロースゲルでのゲル内 LDH 合成物を細かく刻んでからの成形体でも同様の吸着性能が確認できた。

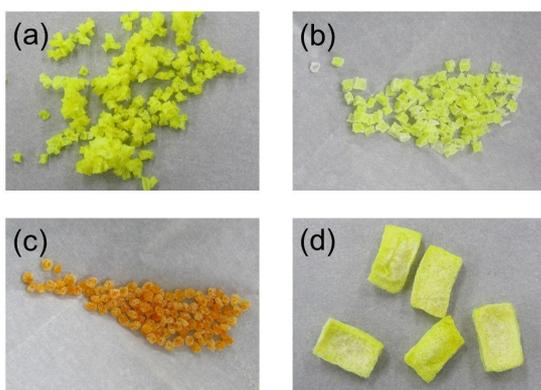


図 2 様々な真空乾燥させたゲル内 LDH 合成複合体(仕込み Mg/Al=3, 真空乾燥) :

- (a)アガロースゲル-LDH 複合体,
- (b) -カラギーナンゲル-LDH 複合体,
- (c)アルギン酸ゲル-LDH 複合体,
- (d)ポリウレタン-アガロースゲル-LDH 複合体

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 1 件)

Toshiyuki Hibino, Anion Selectivity of Layered Double Hydroxides: Effects of Crystallinity and Charge Density、European Journal of Inorganic Chemistry、査読有、巻番号なし、2018、722-730、DOI: 10.1002/ejic.201701067

〔学会発表〕(計 3 件)

日比野俊行、層状複水酸化物 - アガロースゲル複合体の吸着剤としての応用、第 60 回粘土科学討論会、2016 年

日比野俊行、層状複水酸化物の応用検討 剥離検討から吸着剤検討、第 61 回粘土科学討論会・粘土科学若手の会(招待講演)、2017 年

日比野俊行、層状複水酸化物 - ゲル複合体を用いた陰イオン吸着剤の開発、第 61 回粘土科学討論会、2017 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 層状複水酸化物 - ゲル複合体の製造方法

発明者: 日比野俊行

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2016-138568

出願年月日: 2016 年 7 月 13 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.aist.go.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

日比野俊行 (Hibino Toshiyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・

環境管理研究部門・水環境技術グループ・

研究グループ長

研究者番号: 70357846

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし