

平成 21 年 4 月 21 日現在

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18681010

研究課題名（和文）層間有機修飾無機化合物を用いた水系の新規汚染防御技術

研究課題名（英文）New technology for wastewater treatment using layered inorganic compounds modified with organic materials

研究代表者

亀田 知人（KAMEDA TOMOHITO）

東北大学・大学院環境科学研究科・助教

研究者番号：60333895

研究成果の概要：

本研究では、排水中の汚染物質の濃度を低くすることに重点を置く現行の排水処理方法を総括的に見直し、有害元素の水溶液からの除去プロセスの改善や新たな除去技術・汚染防御技術を確立するための基礎研究を行った。具体的には、層状複水酸化物の層間を有機物イオンで化学修飾することにより、水溶液から重金属イオン（カチオン）や有害有機物質（非イオン性）を捕捉できることを見出した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2007年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	17,700,000	5,310,000	23,010,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境負荷低減技術

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は、排水中の汚染物質の濃度を低くすることに重点を置く現行の排水処理方法を総括的に見直し、有害元素の水溶液からの除去プロセスの改善や新たな除去技術・汚染防御技術を確立するために必要な基礎研究を行うことである。

環境保護のための工業排水の高度処理および金属素材の高純度化を目指したプロセス排水中の重金属の除去については、これまでも多くの方法が考案、実施されてきてい

る。従来の手法は、除去対象重金属に対して共沈剤や沈殿生成剤を大過剰に投入することで溶液中に残留する有害元素の濃度の低下をはかることを基本とすることが多い。この結果、低濃度の有害元素で汚染された極めて大量のスラッジが生成し、その処理の問題が常に伴っている。最近では、スラッジの堆積最終処分場の確保が困難になり、スラッジを大気中に長時間曝しておく間に有害物の浸出、濃縮が起こる可能性もあり、プロセスの見直しが迫られている。ここで、スラ

ッジを大幅に減らす方法として、キレート樹脂等の吸着剤を用いる吸着法が考えられる。キレート樹脂に吸着した重金属は高濃度溶液として回収・再利用することができ、またキレート樹脂も再生し連続的に使用することができる。しかし、キレート樹脂は、その反応性の遅さ、非効率性から、高濃度の重金属を含む排水の処理には適さない。現在、キレート樹脂は、凝集沈殿法等により除去できなかった重金属を、排水基準値以下まで除去する仕上げ用として用いられている。この2段階の処理を1段階で行うことは、効率的に重金属含有排水を処理する上で非常に重要であると考えられる。この1段階プロセスは、キレート樹脂の機能を持ち、且つ、早急に排水基準値以下まで重金属を除去することができる吸着剤を開発し、応用することで達成されることが考えられる。

一方、ビスフェノール等の難分解性有害有機化学物質は、排水中に低濃度で存在する。この除去には、高度浄水処理（オゾン酸化→生物活性炭処理）が有効であることが知られているが、オゾン発生エネルギー効率は5%程度であるため、少量の有害有機物質を大量のエネルギーを消費して分解しており、非効率的にオゾン酸化が行われている。排水中の有害有機物質を濃縮後、オゾン酸化に供すれば、高度浄水処理に係る全体のコストを下げることができる。この濃縮は、有害有機物質の吸脱着が可能な吸着剤を開発し、応用することで実現できると考えられる。

## 2. 研究の目的

### (1) 天然のキレート剤及びベンゼンスルホン酸をインターカレートした層状複水酸化物による水溶液からの重金属及び芳香族有機化合物の除去

Mg-Al 系層状複水酸化物 (Mg-Al LDH) は、アニオン交換機能を有する層状無機化合物で、 $[Mg^{2+}_{1-x}Al^{3+}_x(OH)_2]^{x+}[(A^{n-})_{x/n} \cdot mH_2O]^{x-}$  ( $A^{n-}$  : n 価のアニオン,  $0.20 \leq x \leq 0.33$  ( $2.0 \leq Mg/Al$  モル比  $\leq 4.0$ )) の組成式で表される。近年、Mg-Al LDH は、種々のアニオンのインターカレーション（取り込み反応）による機能付与が可能な素材として注目を集めている。例えば、申請者はエチレンジアミン四酢酸イオン (edta イオン) をインターカレートした Mg-Al LDH (edta・Mg-Al LDH) は、水溶液から重金属イオンを捕捉することができることを見出した。これは、Mg-Al LDH の層間で、edta イオンと重金属イオンがキレート錯体を形成するためである。この原理は、金属錯体形成能を有する他のキレート剤をインターカレ-

トした Mg-Al LDH に対しても、適用できると考えられる。そこで本研究では、天然のキレート剤であるクエン酸 (citrate) イオンをインターカレートした Mg-Al LDH による水溶液からの  $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  の捕捉を検討した。

### (2) 有機スルホン酸修飾層状複水酸化物の合成

LDH は、様々な無機・有機アニオンをその層間に取り込む（インターカレート）機能を持つため、これを利用して新しい機能を持った複合材料の開発が期待される。有機アニオンで層間を修飾した有機修飾 LDH の場合には、層間修飾有機アニオンとの疎水性相互作用によって、排水から有害有機物質を捕集する応用例が考えられる。

申請者は、これまでに層間にドデシル硫酸イオンをインターカレートした LDH (DS-LDH) を使用することにより、水溶液から非イオン性有害有機化学物質である Bisphenol A を捕集し、それを有機溶媒中に濃縮できることを明らかにした。しかし、有機修飾 LDH の有害有機物質に対する吸着能が高いと、有機溶媒に有害有機物質を溶出させることが困難になり、吸着能が低ければ排水からの有害有機物質の捕集能力が劣ることになる。また、有機修飾 LDH のホスト層と層間の有機アニオンとの結びつきが弱ければ、水溶液中に有機アニオンが溶出する。従って、処理したい有害有機物質に適切で、かつ水溶液中で安定な有機修飾 LDH を開発することは、重要な課題である。以上のことを念頭に置き、本研究では、有機スルホン酸イオン (2-Naphthalene-sulfonic acid (2-NS<sup>-</sup>) 或いは 2,6-Naphthalene-di-sulfonic acid (2,6-NDS<sup>2-</sup>)) をインターカレートした Mg-Al 系 LDH (2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH) を共沈法により合成し、生成物の化学組成及び構造について詳細に検討した。また、生成物からの有機スルホン酸の水溶液への溶出の可能性を調べた。

### (3) 有機スルホン酸修飾 Mg-Al 系層状複水酸化物による水溶液からのプラスチック可塑剤の分離・回収

DS-LDH, 2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH により Bisphenol A (BPA) 及び Diethyl phthalate (DEP) の水溶液からの捕集及びエタノールによる有機アニオン-LDH からの有害有機物質の抽出について検討した。更に、DS-LDH 充填カラムを作成し、BPA 水溶液とエタノール溶液を交互に流すことにより、BPA の捕集及び抽出処理を連続的に行うことを検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 0.5 M citrate イオン含有溶液 250 ml を 30 °C、300 rpm で攪拌し、そこに Mg/Al モル比 3.0 の 0.375 M  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ -0.125 M  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  溶液を 10 ml/min で滴下し、さらに 1 h 攪拌した。攪拌中、溶液の pH が 10.5 で一定になるように、0.5 M NaOH 溶液を適宜滴下した。攪拌後、得られた懸濁粒子は、ろ別、水洗し、40 h 減圧乾燥して沈殿物を得た。沈殿物は XRD により同定した。沈殿物中の Mg 及び Al 含有量は、ICP-AES により決定した。有機酸イオンの定量は、HPLC により行った。

1.0 mM  $\text{Cu}^{2+}$  又は  $\text{Cd}^{2+}$  溶液 500 ml に、Mg-Al LDH 中の citrate イオンと、溶液の重金属イオンのモル比が 1:1 となるように Mg-Al LDH を加え、30 °C、300 rpm で 2 h 攪拌した。攪拌中の溶液 pH は、0.1 M  $\text{HNO}_3$  により 5.0 に保つようにした。所定時間毎に、溶液を 5 ml 分取、0.45  $\mu\text{m}$  メンブランフィルターで固液分離して、ろ液の重金属イオンを ICP-AES で定量した。

(2) 各々の有機スルホン酸塩水溶液 250ml (2-NS-Na では EtOH 125ml を含む水溶液) を 300rpm, 30 °C で攪拌し、そこに  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  混合水溶液 250ml ( $[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Al}^{3+}] = 0.2\text{mol/l}$ ;  $[\text{Mg}^{2+}] / [\text{Al}^{3+}] = 3$ ) を 10ml/min で滴下した。また NaOH 水溶液 (0.5mol/l) を適宜滴下して、反応溶液の pH を  $10 \pm 0.2$  に保った。溶液中の有機スルホン酸イオン量は化学量論量の 0.5~2.0 倍モルに設定した。生成中は、反応溶液及び NaOH 溶液に常に  $\text{N}_2$  ガスを流し続け (40ml/min), 大気から混入する  $\text{CO}_2$  を減少させた。 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  混合溶液の滴下後、更に 1h 攪拌保持し、その後 1  $\mu\text{m}$  のろ紙でろ別、イオン交換水で洗浄し、40h 減圧乾燥 ( $3 \times 10^{-1}$  torr) して生成物を得た。生成物は、誘導結合発光分光分析 (ICP-AES) 又は蛍光 X 線分析 (XRF) により Mg 及び Al の定量、紫外分光光度計 (UV) により有機スルホン酸の定量を行い、粉末 X 線回折 (XRD) により相同定を行なった。溶液中の有機スルホン酸イオン量を化学量論量の 0.5, 1.0, 2.0 倍モルに設定して得られた生成物を、それぞれ 2-NS<sub>0.5</sub>-LDH (2,6-NDS<sub>0.5</sub>-LDH), 2-NS<sub>1.0</sub>-LDH (2,6-NDS<sub>1.0</sub>-LDH), 2-NS<sub>2.0</sub>-LDH (2,6-NDS<sub>2.0</sub>-LDH) とする。また、生成した 2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH 100mg をイオン交換水 20ml に投入して 180min. 振とう (温度 20 °C, 100rpm) した。その後ろ別し、ろ液中の有機スルホン酸量を UV にて測定した。

(3) 4. 研究成果に記載

### 4. 研究成果

(1) citrate イオンを含有した溶液と Mg-Al 溶液の攪拌により生成した沈殿物は、XRD により LDH 構造を有することを確認した。また、Mg/Al モル比が 3.1 であり LDH 構造の生成範囲内にあること、また citrate イオンを 21.4 wt% 含んでいることから、沈殿物は、citrate イオンを層間にインターカレートした Mg-Al LDH (citrate·Mg-Al LDH) であると考えられる。沈殿物は pH 10.5 で合成されたので、溶液中で citrate イオンは主に 3 価のアニオン (citrate<sup>3-</sup>) として存在していると考えられる。従って、Mg-Al LDH の層間は、最大 citrate/Al モル比 0.33 で、citrate<sup>3-</sup> をインターカレートすることができる。しかし、沈殿物の citrate/Al モル比は、その理論値よりも大きかった。従って、citrate<sup>3-</sup> は、Mg-Al LDH の層間にインターカレートしているのみならず、LDH 粒子表面にも吸着したと考えられる。

電位-pH 図より、1.0 mM  $\text{Cu}^{2+}$  及び  $\text{Cd}^{2+}$  溶液から水酸化物が沈殿し始める pH は約 6 及び 8 であることから、Mg-Al LDH の中和剤としての作用による水酸化物の沈殿を防ぐために、本実験は pH 5.0 一定下で行った。 $\text{Cu}^{2+}$  又は  $\text{Cd}^{2+}$  溶液に、citrate·Mg-Al LDH を懸濁させた場合、時間の経過と共に各元素濃度は急激に低下し、10min 以降、 $\text{Cu}^{2+}$  では徐々に低下し、 $\text{Cd}^{2+}$  では徐々に上昇した。一方、層間に  $\text{CO}_3^{2-}$  がインターカレートした Mg-Al LDH では、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  濃度はほとんど低下しないことが知られている。従って、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  濃度の低下は、Mg-Al LDH 層間で citrate<sup>3-</sup> と  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  がキレート錯体 ( $\text{Cu}(\text{citrate})^-$ 、 $\text{Cd}(\text{citrate})^-$ ) を形成し、重金属イオンを捕捉したためと考えられる。また、LDH 粒子表面に吸着した citrate<sup>3-</sup> も、重金属イオンの捕捉に寄与した可能性がある。各時間において、 $\text{Cu}^{2+}$  の残留濃度は、 $\text{Cd}^{2+}$  よりも低かった。 $\text{Cu}(\text{citrate})^-$  及び  $\text{Cd}(\text{citrate})^-$  の錯体安定度定数は、各々、14.5 及び 7.5 であることが知られている。 $\text{Cu}(\text{citrate})^-$  の方が安定であることから、Mg-Al LDH 中の citrate<sup>3-</sup> が、 $\text{Cd}^{2+}$  よりも容易に  $\text{Cu}^{2+}$  と錯体を形成するものと考えられる。

以上、citrate·Mg-Al LDH が、edta·Mg-Al LDH と同様に、水溶液から重金属イオンを捕捉し、また錯体の安定度に起因する捕捉選択性を有することがわかった。

(2) 減圧乾燥した生成物の X 線回折図から、全ての場合において低角側にピークが現れ、層状化合物が生成したことが示唆された。生成物の Mg/Al モル比は、出発溶液の Mg/Al モル比とほぼ同じ 3 であった。出発溶液中の有機スルホン酸イオン量が、0.5 倍から 1.0 倍

モルに増加した時、生成物中のその量も増加し、1.0 倍モル以上で有機スルホン酸の量はほぼ一定となり、化学量論量に近くなった。以上のことから、すべての場合において2-NS<sup>-</sup> あるいは 2,6-NDS<sup>2-</sup>を層間アニオンとする有機修飾 LDH が生成したと考えられる。

イオン交換水への2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH からの有機スルホン酸溶出率について、2-NS<sub>1.0</sub>-LDH と 2-NS<sub>2.0</sub>-LDH、あるいは 2,6-NDS<sub>1.0</sub>-LDH と 2,6-NDS<sub>2.0</sub>-LDH の組成は、ほぼ同じであるが、2-NS<sub>2.0</sub>-LDH 及び 2,6-NDS<sub>2.0</sub>-LDH において、1.0mass%以上の有機スルホン酸の溶出が見られた。従って、この溶出した有機スルホン酸は、層間アニオンとしての2-NS<sup>-</sup> 及び 2,6-NDS<sup>2-</sup>ではなく 2-NS 及び 2,6-NDS の塩に由来するものと考えられる。これらの有機物は、層間アニオンとの疎水性相互作用により層間に存在していたと考えられる。すなわち、2-NS<sub>2.0</sub>-LDH と 2,6-NDS<sub>2.0</sub>-LDH は、有機スルホン酸を層間アニオン及び塩の形で持つと考えられる。

X 線回折図に示される d 値は LDH のホスト層の面間隔を示しており、ホスト層の厚さ 4.8 Å を引いたものが層間隙となる。2-NS<sub>0.5</sub>-LDH では、d=8.9Å のピークが現れたことから、層間隙は約 4.1 Å である。2-NS は、ナフタレン環平面の厚さ方向の距離が約 4 Å、長径が約 11 Å であることから、2-NS<sub>0.5</sub>-LDH ホスト層に対し、ナフタレン環が平行にインターカレートしたと推察される。一方、2-NS<sub>1.0</sub>-LDH では、d=18.6 Å (層間隙 13.8 Å) にピークが現れた。このピークは、2-NS が LDH 層間で、ホスト層に対しナフタレン環が傾斜あるいは垂直の状態、インターカレートしたことを示唆している。d=8.9 Å にもピークが観測されることから、2-NS<sub>1.0</sub>-LDH 層間の 2-NS はホスト層に対し、様々な角度でインターカレートしていると考えられる。また、出発溶液中の 2-NS-量が増加するにつれてピークは鋭くなった。溶液 2-NS<sup>-</sup>濃度が高くなると、層間で 2-NS<sup>-</sup>がより規則的に配列し、LDH の層間隔が一定になることがわかった。これは、溶液 2-NS<sup>-</sup>濃度が高くなったことにより有機物同士の疎水性相互作用が向上し、LDH 層間への 2-NS<sup>-</sup>のインターカレーションに何らかの影響を及ぼしたためと考えられる。一方、2,6-NDS-LDH では、生成物中の 2,6-NDS<sup>2-</sup>量が増加するにつれて、d=8.9 Å のピークはブロードになった。さらには、より低角側に新たにブロードなピークが現れた。このことは、2,6-NDS<sup>2-</sup>が層間に不規則的に存在し、層間隔が一定にならなかったことを示している。このような 2-NS-LDH と 2,6-NDS-LDH の層構造の違いは、ホスト層の

正電荷と 2-NS<sup>-</sup> あるいは 2,6-NDS<sup>2-</sup>との静電気引力の違い、さらには、2-NS 同士あるいは 2,6-NDS 同士の疎水性相互作用の違いに起因すると思われる。2-NS-LDH では、2-NS<sup>-</sup>のスルホン酸基は電子吸引力であり、スルホン酸基と隣接したナフタレン環の一方のベンゼン環の電子不足を引き起こす。そのため、もう一方のスルホン酸基と隣接していない電子豊富なベンゼン環との  $\pi$ - $\pi$ スタッキング相互作用が生じることにより、層間に 2-NS<sup>-</sup>が規則的に配列したと考えられる。一方、2,6-NDS-LDH では 2,6-NDS<sup>2-</sup>のナフタレン環の両端にスルホン酸基が存在しナフタレン環全体で電子不足が生じるため、2,6-NDS<sup>2-</sup>同士の  $\pi$ - $\pi$ スタッキング相互作用が生じなかったために、層間隔が一定しなかったことが考えられる。また、2-NS<sup>-</sup>に比べ電荷密度が高いため、2,6-NDS<sup>2-</sup>がホスト層に対して垂直にインターカレートしようとする、ホスト層の正電荷に対して 2,6-NDS<sup>2-</sup>の負電荷が過剰になるため、傾斜した形でインターカレートして、電荷を補償していると考えられる。

(3)

#### ①有機アニオン-LDHによる非イオン性有害有機物質の捕集(phase1)

生成した有機アニオン-LDH 100mg を、100mg/l の BPA 又は DEP 水溶液 20ml に加え 20°C で振とうした。有機アニオン-LDH では 10min. で急激に BPA 及び DEP の残留濃度が低下し、60min. 以上でほぼ一定となった。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-LDH (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>をインターカレートした Mg-Al LDH) では BPA を除去できなかったことから、有機アニオン-LDH では、層間の有機アニオンとの疎水性相互作用により、溶液から BPA 及び DEP を除去できることが示された。2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH において、BPA 捕集能は高かった。2-NS-LDH 及び 2,6-NDS-LDH のナフタレン環はスルホン酸基の影響により電子不足の状態であり、一方 BPA のベンゼン環は水酸基の影響により電子過剰であるため、 $\pi$ - $\pi$ スタッキング相互作用が働くためと考えられる。そのため、エステル基の影響により分子内ベンゼン環が電子不足の DEP は、2 個のスルホン酸基を持ち強く電子不足なナフタレン環を持つ 2,6-NDS-LDH に、残留濃度 50mg/l までしか捕集されなかった。

#### ②エタノールによる有機アニオン-LDHからの非イオン性有害有機物質の抽出(phase2)

BPA 又は DEP を捕集した有機アニオン-LDH 100mg を、エタノール 5ml に加え 20°C で 5min. 振とうすることにより、有機アニオン-LDH からの BPA 及び DEP のエタノールへの抽出を試みた。すべての場合において、70%以上の高い

抽出率を示し、水溶液中初期濃度 100 mg/l よりも高濃度でエタノール中に濃縮できることがわかった。また、抽出後の各々の有機アニオン-LDH の X 線回折図及び FT-IR スペクトルより、水処理への応用前後で有機アニオン-LDH は変化しないことがわかった。

#### ③抽出後の有機アニオン-LDHによる非イオン性有害有機物質の再捕集(phase1)

抽出後、再生した有機アニオン-LDH を用いて、再度 phase1 の実験を行った。いずれの場合も BPA 及び DEP を再度捕集することができた。しかし、phase2 の抽出率が低い場合、有機アニオン-LDH の捕集能は低かった。これは、有機アニオン-LDH 中に BPA 及び DEP が多量に残留するためと考えられる。

#### ④DS-LDH充填カラムによるBPAの捕集及び抽出(Phase3)

グラジエントポンプを利用し流通条件に従って、イオン交換水、エタノール及び BPA 溶液を、カラム (DS-LDH 充填量 0.5g, カラム容量  $\phi 4.6 \times 48\text{mm}$ ) に合計流量が 1.5ml/min. となるように流通させた。また、カラム流通後の吸光度 (280nm) を測定することにより BPA 存在量を確認した。BPA が流通しているとき、カラム無しでは、BPA の流通に従い吸光度が測定された。しかし、DS-LDH 充填カラムを通過させた場合、吸光度は 0 のままであり、BPA の存在が確認されなかったため、カラム内の DS-LDH に捕集されていることが示唆された。また、エタノールを流通させるとカラム無しでは、吸光度が確認されなかったが、カラムを通過させた時は、強い吸光度が確認された。これは、エタノール流通により、カラム内 DS-LDH に捕集された BPA が抽出されたことを示している。以上より、DS-LDH を充填したカラムに BPA 溶液とエタノールを交互に流通させることで、BPA の捕集と抽出を連続的に進めることがわかった。

#### 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 10 件)

1) “Hybrid inorganic/organic composites of Mg-Al layered double hydroxides intercalated with citrate, malate, and tartrate prepared by co-precipitation”, Tomohito Kameda, Hidenori Takeuchi, Toshiaki Yoshioka, Materials Research Bulletin, **44**, 840-845 (2009). 査読有

2) “Preparation and Characterization of Mg-Al Layered Double Hydroxides Intercalated with Benzenesulfonate and

Benzenedisulfonate”, Tomohito Kameda, Takashi Yamazaki, Toshiaki Yoshioka, Microporous and Mesoporous Materials, **114**, 410-415 (2008). 査読有

3) “Uptake of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution Using Mg-Al Layered Double Hydroxides Intercalated with Citrate, Malate, and Tartrate”, Tomohito Kameda, Hidenori Takeuchi, Toshiaki Yoshioka, Separation and Purification Technology, **62**, 330-336 (2008). 査読有

4) “Effects of pH and Concentration on the Ability of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{NO}_3^-$  to Intercalate into a Hydrotalcite-Like Compound During Its Synthesis”, Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka, Fumiko Yabuuchi, Miho Uchida, Akitsugu Okuwaki, Bulletin of Materials Science, **31**, 625-629 (2008). 査読有

5) “Uptake of Bisphenol A from Aqueous Solution by Mg-Al-Layered Double Hydroxides Intercalated with 2-Naphthalene Sulfonate and 2,6-Naphthalene Disulfonate”, Tomohito Kameda, Masami Saito, Yoshiaki Umetsu, Materials Transactions, **48**, 2225-2229 (2007). 査読有

6) “Removal of Tetrafluoroborate Ion from Aqueous Solution Using Magnesium-Aluminum Oxide Produced by the Thermal Decomposition of a Hydrotalcite-Like Compound”, Toshiaki Yoshioka, Tomohito Kameda, Motoya Miyahara, Miho Uchida, Tadaaki Mizoguchi, Akitsugu Okuwaki, Chemosphere, **69**, 832-835 (2007). 査読有

7) “Uptake of Fluoride and Borate Ions from Aqueous Solution by Magnesium-Aluminum Oxide”, Toshiaki Yoshioka, Tomohito Kameda, Motoya Miyahara, Miho Uchida, Tadaaki Mizoguchi, Akitsugu Okuwaki, Fresenius Environmental Bulletin, **16**, 928-933 (2007). 査読有

8) “Preparation of a Hydrotalcite-Like Compound Using Calcined Dolomite and Polyaluminum Chloride”, Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka, Fumiko Yabuuchi, Miho Uchida, Akitsugu Okuwaki, Journal of Materials Science, **42**, 2194-2197 (2007). 査読有

9) “Treatment of Hydrochloric Acid with Magnesium-Aluminum Oxide at Ambient Temperatures”, Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka, Tatsunosuke Hoshi, Miho Uchida, Akitsugu Okuwaki, Separation and Purification Technology, **51**, 272-276

(2006). 査読有

10) “Preparation and Characterisation of Mg-Al Layered Double Hydroxides Intercalated with 2-Naphthalene Sulphonate and 2,6-Naphthalene Disulphonate”, Tomohito Kameda, Masami Saito, Yoshiaki Umetsu, Materials Transactions, **47**, 923-930 (2006). 査読有

[学会発表] (計7件)

1) “天然のキレート剤で修飾した層状複水酸化物による水溶液からの重金属イオン捕捉”, 竹内秀範, 亀田知人, 吉岡敏明, 無機マテリアル学会第117回学術講演会, 那覇 [2008.11.14]

2) “層状複水酸化物の層間における芳香族有機化合物間の相互作用”, 山崎貴司, 亀田知人, 吉岡敏明, 無機マテリアル学会第117回学術講演会, 那覇 [2008.11.14]

3) “芳香族スルホン酸類をインターカレートした層状複水酸化物による水溶液中の芳香族有機化合物の選択的捕集”, 山崎貴司, 亀田知人, 吉岡敏明, 資源・素材学会 2008 秋季大会, 仙台 [2008.10.8]

4) “有機酸修飾層状複水酸化物の合成とその重金属イオン捕捉特性”, 竹内秀範, 亀田知人, 吉岡敏明, 資源・素材学会 2008 秋季大会, 仙台 [2008.10.8]

5) “有機酸で修飾したMg-Al系層状複水酸化物の合成と銅およびカドミウムイオン捕捉への応用”, 竹内秀範, 亀田知人, 吉岡敏明, 資源・素材学会 2007 秋季大会, 名古屋 [2007.9.25]

6) “ベンゼンスルホン酸をインターカレートしたMg-Al系層状複水酸化物の合成とその特性”, 山崎貴司, 亀田知人, 吉岡敏明, 資源・素材学会 2007 秋季大会, 名古屋 [2007.9.25]

7) “天然のキレート剤及びベンゼンスルホン酸をインターカレートした層状複水酸化物による水溶液からの重金属及び芳香族有機化合物の除去”, 亀田知人, 竹内秀範, 山崎貴司, 吉岡敏明, 資源・素材学会 2007 春季大会, 東京 [2007.3.29]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

亀田 知人 (KAMEDA TOMOHITO)

東北大学・大学院環境科学研究科・助教

研究者番号 : 60333895

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :