

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月27日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22350094

研究課題名（和文）液相析出法による層状複水酸化物構造体の創製

研究課題名（英文）Fabrication of layered double hydroxide by the liquid phase deposition

研究代表者

水畑 穰 (MIZUHATA MINORU)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10283871

研究成果の概要(和文):本研究ではNi フッ化物錯体による加水分解平衡反応について検討し、Ni-Al 系層状複水酸化物(LDH)の合成条件の最適化を図り、さらに得られたLDHの陰イオン交換能に対する溶液pH及びNi/Al比依存性とその際の構造変化について検討した。各Niフルオロ錯体水溶液の可視吸収スペクトル測定結果から、アンモニア濃度増加に伴い、Niアンミン錯体に帰属される吸収帯が生じたことを見出した。このことからNiに配位したF<sup>-</sup>がNH<sub>3</sub>もしくはOH<sup>-</sup>に置換されたことが明らかとなった。また、各Niフルオロ錯体を用いてLPD反応を行い作製した試料のNi<sup>2+</sup>析出量及びXRD測定結果から、従来考えられていた[NiF<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>ではなく、化学的に不安定な錯体構造をとる[NiF<sub>6-x-y</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>x</sub>(OH)<sub>y</sub>]<sup>4-</sup>をLPD反応の出発物質として用いることにより、非常に効率の良いNi-Al複合系LDH合成を行うことが可能であることを明らかにした。さらに各pHのCl<sup>-</sup>溶液中における陰イオン交換率(OH<sup>-</sup>→Cl<sup>-</sup>)から、Cl<sup>-</sup>溶液が酸性である場合、非常に陰イオン交換率が高いことを見出した。これは、OH<sup>-</sup>-LDH層間中に存在するOH<sup>-</sup>とCl<sup>-</sup>溶液中のH<sup>+</sup>が中和反応を起こし、H<sub>2</sub>Oを生成した為Cl<sup>-</sup>がNi-AlLDH層間中に可逆的に取り込まれた。以上の結果よりLPD法による高効率なNi-AlLDH合成条件を確立した。

研究成果の概要(英文):The optimum coordination structure of nickel-fluoro complexes for the preparation of Ni-Al layered double hydroxide(LDH) by liquid phase deposition(LPDP) process and the diverse anion exchange properties of as-deposited Ni-Al on  $\gamma$ -alumina powder were quantitatively evaluated for the industrial application of new positive material for alkali secondary batteries. The  $[\text{NiF}_{6-x-y}(\text{NH}_3)_x(\text{OH})_y]^{4-}$  was more suitable than  $[\text{NiF}_6]^{4-}$  as the precursor of the deposition of Ni-Al LDH in the LPD reaction, and the improved LPD reaction achieved the synthesis of high purity and high crystallinity Ni-Al LDH. All anion-exchanged Ni-Al LDHs for OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>-forms kept the high crystallinity and showed the enlargement of interlayer distances. The tilting angle of the intercalated CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> anions was about 15°. Anion-exchange capacity remained constant at a minimum of 0.8 meq g<sup>-1</sup> in pH >10, increased as pH decreased, and reached a maximum of 8 meq g<sup>-1</sup> at pH 2. Anion-exchange of OH<sup>-</sup>-form of Ni-Al LDH was accelerated by the neutralization of hydroxide ions in interlayers, in addition, the anion-exchange capacity and the crystallinity of Ni-Al LDH could be controlled by the amount of doped aluminum ions.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2011年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：無機合成

1. 研究開始当初の背景

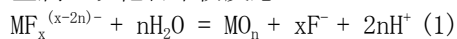
| 層状複水酸化物(Layered Double Hydroxide):

LDH)は主骨格を構成する金属および酸素イオンに対して異なる電荷を有する金属イオンを系内に共存させ、不足する電荷分を層間に挿入されるイオンによって補償を受けることによって層状化合物を構成する水酸化物である。

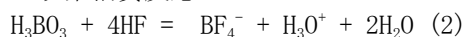
この層間内に各種化合物をゲスト成分として挿入脱離インターカレーションさせる現象については比較的最近になってから詳細が明らかとなってきたところであり、その新規な展開が期待されているところである。

本研究においては、この層状複水酸化物の合成に対して金属フッ化物を用いるLPD法を適用する。従来、LPD法については、金属フッ化物の平衡反応として

金属フッ化物平衡反応



フッ素消費反応



あるいは



からなる反応が用いられている。このうち、フッ素消費反応としてアルミニウムを使用する場合は反応時に水素発生することから、比較的塩基性度の高い金属酸化物を合成する際に適合性が高いことを、見いだしている。本手法は他の合成法と異なり、常温常圧における金属水酸化物合成法であること、基板材料を選ばず、ガラス、セラミックス基板のみならず、導電材料として金属・半導体および炭素材料表面にも容易に担持することが可能であることから、結晶構造の最適化が特に求められる層状化合物の合成にとって最適な手法であると言える。

## 2. 研究の目的

本研究において明らかに使用とする点は次の通りである。

1. LDH合成を目的とした液相析出反応条件の最適化
2. LDH中のイオン交換能に関する反応条件および組成との相関
3. LDH中におけるイオン移動に関する知見とその機能発現

LDHの研究はこの数年、国内外で急速に注目を得るようになってきているが、これは、陰

イオン交換能を安定に発現する材料としての価値が見いだされるようになってきたためである。すなわち、多くの生体分子の機能発現が各種有機酸により行われているが、アニオン交換能を有する層状化合物が見いだされたことにより、多くの有機-無機ハイブリッド材料の基盤材料として期待されることとあり、これを目的とした①種々の前駆体を用いたLPD法の反応条件の最適化を図る。LDHに関する機能発現は世界的に見てもまだ緒についたばかりであり、合成方法を含めて不明な点が多い。しかしながら、合成に用いるLPD法が、常温常圧下において反応が進行するソフト溶液プロセスであることや陰イオン交換能を利用したイオン伝導体としての機能を賦与することに対する知見はこれまで例を見ない独自の着想であり、利用できる化合物も多岐にわたることから、今後の材料面における幅広い展開が期待される。

また、陰イオン交換能を有する金属酸化物に対する生体分子親和性について、有機-無機ハイブリッド材料への展開が期待されるが、この点についても、常温反応であるLPD法が適しているといえ、新たなソフト溶液プロセスとして新規な材料創製に対する展開が可能である。

## 3. 研究の方法

ニッケル水酸化物は遷移金属イオンが溶存する加水分解反応によって容易に沈殿することから、比較的マイルドな条件で合成することが可能である。しかしながら、他の化学的手法による合成の際には、沈殿反応や水熱合成などの反応速度が非常に速い反応を用いることから、結晶形成が非常に速く、また溶存するイオンを取り込みながら反応がすすむため、反応制御が容易ではない。

LPD法は、前述のように金属フッ化物平衡反応の溶液内平衡反応であり、その平衡はフッ素消費剤の濃度に依存する。従って、本反応におけるフッ素消費剤として用いるAlは反応を自ら制御しながら反応生成物の構成元素として組み込まれることになる。したがって、反応における組成制御はきわめて精密に行うことができることが予想される。

陰イオン交換能を賦与されたLDHは結晶型および構成材料の組成制御によって物性が左右される。目的とする層状複水酸化物の代表的な例であるAlNi系水酸化物は一般式として、 $(\text{Al}_x\text{Ni}_{1-x})\text{OH}_2 \cdot (\text{anion})_x$ として表されるが、この化学式の意味するところは、層間

に挿入されるイオン量は doped イオンである Al<sup>3+</sup> イオン量に依存するというものである。LDH の機能発現においては、研究目的に述べたように

①LDH 合成を目的とした液相析出反応条件の最適化 (精密に制御された前駆体組成を見出す)

②LDH 中のイオン交換能に関する反応条件および組成との相関

(合成された LDH のイオン交換能とその構造・組成との相関について検討する)

③LDH 中におけるイオン移動に関する知見とその機能発現

(精密に制御された組成における物性を利用する手法を確立する)

をサブテーマとした。

#### 4. 研究成果

①LDH 合成を目的とした液相析出反応条件の最適化

Ni-Al 系層状複水酸化物 (Ni-Al Layered Double Hydroxide; Ni-Al LDH) は図 1 に示されるように陰イオン交換能を有する層状無機化合物の一つであり、新規アルカリ二次電池正極材料として注目されている。

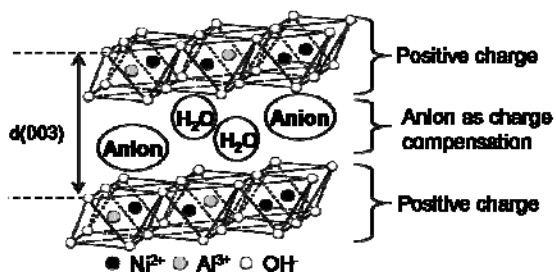


図 1. Ni-Al LDH 構造の概要図

Ni-Al LDH を表面積の大きなアルミナ粉体やカーボン粉体などの基材上に合成することにより、その応用性がさらに広まることが期待される。そこで、我々は基材上に容易に合成可能な液相析出法を Ni-Al LDH の新規合成法として確立させ、合成した Ni-Al LDH の陰イオン交換能に対する陰イオン種、溶液 pH 及び Ni/Al 比依存性に関する考察を行った。所定濃度に調製した Ni フルオロ水溶液中に Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>・9H<sub>2</sub>O 水溶液及び基材として Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉体を添加後、50°C にて振盪を行い 48 時間反応させた。反応後、遠心分離により回収し粉末試料を得た (以下、as-dep. LDH と示す)。as-dep. LDH を窒素雰囲気下、所定濃度の KOH

水溶液中にて 48 時間陰イオン交換処理を行った (以下、OH<sup>-</sup>-LDH と示す)。得られた OH<sup>-</sup>-LDH を、所定濃度の KCl 水溶液、ZnSO<sub>4</sub> 水溶液、CH<sub>3</sub>COONa 水溶液中にてそれぞれ 48 時間陰イオン交換処理を行った (以下、それぞれ Cl<sup>-</sup>-LDH, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-LDH 及び CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>-LDH と示す)。さらに陰イオン交換に関する平衡を検討するため、KCl に KOH または HCl を添加し pH=0.11-13.89 に調製した 1 mol L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> 溶液中 (100ml) により OH<sup>-</sup>-LDH に対する陰イオン交換処理を行った。

得られた as-dep. LDH の XRD 及び XPS 測定結果から、粒径の小さな基材であるアルミナ粉体上において非常に高結晶かつ高純度な Ni-Al LDH の析出が確認された。各陰イオン種に対し交換処理を行った試料の SEM-EDX 及び FT-IR 測定結果から、Ni-Al LDH 層間に目的陰イオンが取り込まれたことが示唆された。また、Fig. 2 に示した各陰イオン種に対して交換処理を行った試料の XRD 測定結果から、Ni-Al LDH の層状構造は保持し、取り込まれた陰イオン種のサイズに伴い層間距離は変化したことが確認された。

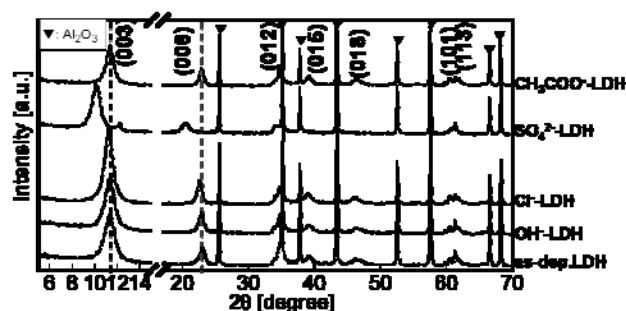


図 2. LPD 法により合成され、OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> および CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> の各アニオンに置換された Ni-Al LDH の X 線回折パターン。

これらの結果から、液相析出法を用いることにより、粒径の小さなアルミナ粉体上に Ni-Al LDH の合成が可能であり、他の合成法と同様に陰イオン交換能を有していることが明らかとなった。以上の結果から、液相析出法により合成した Ni-Al LDH の種々の陰イオン交換能及び陰イオン交換に伴う結晶構造への影響が明らかとなった。

次にイオン交換過程について検討した。図 3 に示すように、各 pH における Cl<sup>-</sup> 溶液に対する Ni-Al LDH の陰イオン交換率 (OH<sup>-</sup> → Cl<sup>-</sup>) から、Cl<sup>-</sup> 溶液中高いことが確認された。これは、OH<sup>-</sup>-LDH 層間中に存在する OH<sup>-</sup> と Cl<sup>-</sup> 溶液中に存在する H<sup>+</sup> が中和反応を起こし H<sub>2</sub>O を生成した為、陰イオンが Ni-Al LDH 層間中に容易に

取り込まれたと考えられる。

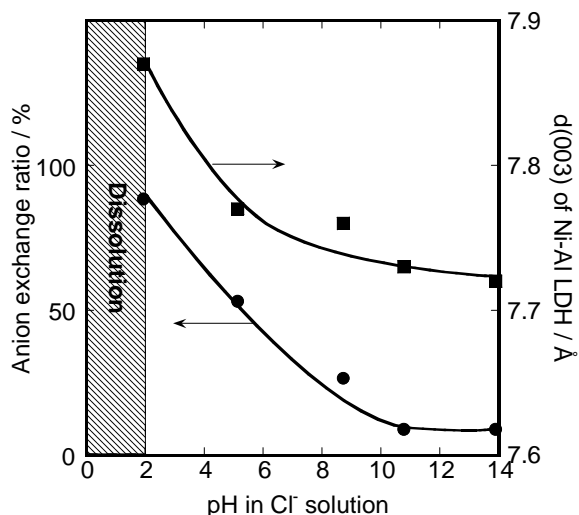


図3. Cl<sup>-</sup>型 Ni-Al LDH の d(003)値およびアニオン交換比に関する pH 依存性。Ni-Al LDH: 9.06 mmol g<sup>-1</sup>。

②LDH 中のイオン交換能に関する反応条件および組成との相関

Ni-Al 系層状複水酸化物(Layered Double Hydroxide; 以下 LDH)は陰イオン交換能を有する層状無機化合物の一つであり、アルカリ二次電池正極材料として注目されている。Bélékéらは Ni フルオロ錯体水溶液の加水分解平衡反応を利用した液相析出(LPD)法による Ni-Al LDH 合成を報告している。しかし、LDH生成時における F消費剤である Al イオンが Ni フルオロ錯体の錯体構造に与える影響については明確ではない。本研究では、Ni フルオロ錯体の配位子置換反応を考慮した錯体平衡反応について検討し、Ni-Al LDH の合成条件の最適化を図った。

30 mmol L<sup>-1</sup> の Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 水溶液に所定量の HF 水溶液を加え、Ni フルオロ錯体溶液を調製し、NH<sub>3</sub> 水溶液添加によって配位子交換を生じさせ、LPD 反応に資する Ni 錯体の最適化を図った。得られた錯体構造を HPLC による遊離フッ素濃度測定及び pH 測定により検討した。最適化した Ni フルオロ錯体水溶液中に Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O 水溶液及びガラス基板を懸下し 50° C にて 48 時間反応させた。反応後、洗浄乾燥し LDH 試料を得た。また基材に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉体を用いた場合は、遠心分離により回収した。得られた LDH 試料を窒素雰囲気下、6 mol L<sup>-1</sup> KOH 水溶液中にて 48 時間 OH<sup>-</sup>への交換を行った。得られた OH-LDH に対し、各種陰イオンとの交換を行うために、所定濃度の KCl, ZnSO<sub>4</sub> 及び CH<sub>3</sub>COONa の各水溶液中で陰イオン交換処理を 48 時間行った。さらに陰イオン

交換に関する平衡を検討するため、KCl に

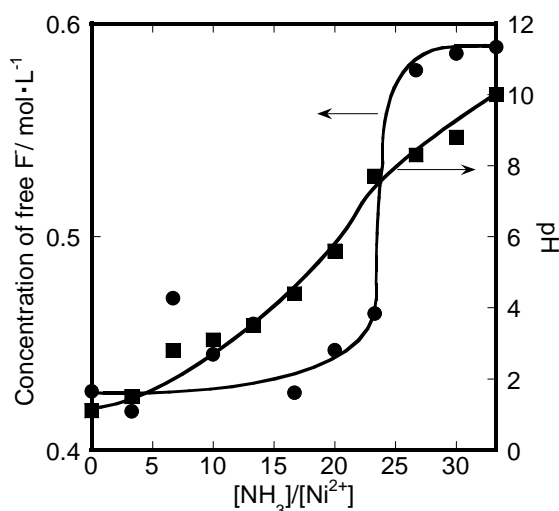


図3. ニッケルフルオロ錯体溶液中に NH<sub>3</sub> を添加した場合の HPLC 測定による F<sup>-</sup>濃度および pH の変化。[Ni<sup>2+</sup>]: 30 mmol L<sup>-1</sup>。

KOH または HCl を添加し pH = 0.11-13.89 に調製した 1 mol L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup>溶液中により OH<sup>-</sup>-LDH に対する陰イオン交換処理を行った。各 Ni フルオロ錯体水溶液の UV-vis 測定結果から、NH<sub>3</sub> 濃度増加に伴い、Ni アンミン錯体に帰属される吸収帯が生じた。図 4 に示した HPLC 測定による各 Ni フルオロ錯体水溶液中の遊離 F<sup>-</sup>濃度から、Ni フルオロ錯体水溶液中の NH<sub>3</sub> 濃度増加に伴い遊離フッ素濃度が上昇し、[NH<sub>3</sub>]/[Ni<sup>2+</sup>] = 23.3 以上となると急激に遊離フッ素濃度が上昇したことが確認された。これらは、Ni に配位した F<sup>-</sup>が NH<sub>3</sub> もしくは OH<sup>-</sup>に置換され [NiF<sub>6-x-y</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>x</sub>(OH)<sub>y</sub>]<sup>n+</sup>へと変化したことを示している。また図 4 に示す各 Ni フルオロ錯体を用いて LPD 反応を行い作製し

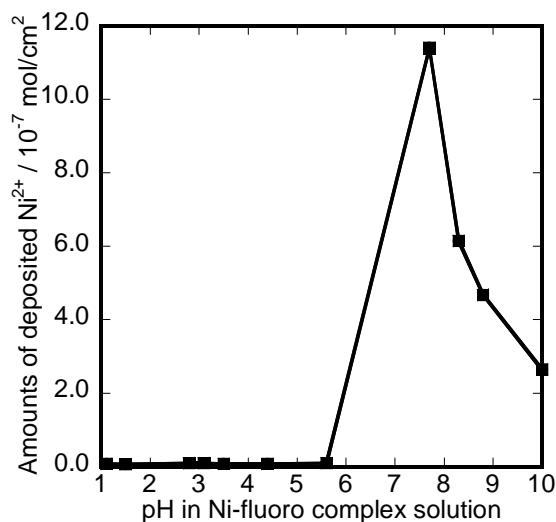


図4. Ni 錯体溶液の pH に帯する Ni 水酸化物の析出量の変化

た試料のNi<sup>2+</sup>析出量及びXRD測定結果から、従来考えられていた[NiF<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>ではなく、化学的に不安定な錯体構造をとる[NiF<sub>6-x-y</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>x</sub>(OH)<sub>y</sub>]<sup>n+</sup>をLPD反応の出発物質として用いることにより、非常に効率の良いNi-Al LDH合成を行うことが可能であることが明らかとなった。

### ③LDH中におけるイオン移動に関する知見とその機能発現

本手法によって調製した正極を水素吸蔵合金から成る負極と組み合わせ、Ni-Al系LDHをNiMH電池を構成し、LDHの物性に与える影響について検討を行った。

親水化処理を施したカーボン上に液相析出法により合成したNi-Al系LDH(Ni<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>(OH)<sub>2</sub>(anion)<sub>x</sub>, x = 0-0.48)を合成した。LDH含有量(LDH/LDH+C)は60-85wt%であった。LPD法における反応溶液はNi(II)濃度:12 mM, Al(III)濃度:1.2mM, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>濃度100mMとした。得られたLDH/C電極をNiメッシュ上に展開後、セパレータを介して2枚の水素吸蔵合金で挟み、Hg/Hg0参照電極とともに6M KOH水溶液に含浸し、セルを構成した。このセルを対象に充放電特性およびその前後の状態についてXRD, XPSにより検討を行った。Ni<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>(OH)<sub>2</sub>(OH)<sub>x</sub>:x = 0-0.48の組成を有する正極(LDH含有率0.876)を有するセルにおける充放電曲線をFig.6に示した。  
・-Ni(OH)<sub>2</sub> → ・-NiOOHの酸化に対応する充放電が認められ、その容量は390 mAh g<sup>-1</sup>に達した。この容量は300回の充放電を経てもほぼ一定の値を示し、良好な可逆性を示した。XRDおよびXPSの結果から、この充放電過程において、・-Ni(OH)<sub>2</sub>型の層状複水酸化物(LDH)の構造に変化は認められなかった。充電時におけるオキシ水酸化物の構造については菱面体構造を有する・-NiOOHと同様のピークが認められ、・-NiOOHはほとんど形成されていないことが認められた。一方、この容量はAl量に依存し、Alが含まれていない・-Ni(OH)<sub>2</sub>での充放電においては、・-NiOOHのみが生成することが明らかとなった。充放電後の正極についてサイクリックボルタモグラムの行ったところ、Fig.7のように、・-Ni(OH)<sub>2</sub>, ・-NiOOHの酸化(440 mV vs Hg/Hg0)および還元(300mV vs Hg/Hg0)に対応する電位が生じており、LDHの構造の変化はほとんど生じないことが示唆された。

## 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4件)

- ① Hideshi Maki, Yuki, Mori, Yuzo Okumura, Minoru Mizuhata, Anion-Exchange Properties of Nickel-Aluminum Layered Double Hydroxide Prepared by Liquid Phase Deposition, Materials Chemistry and Physics, 査読有, 印刷中  
DOI:10.1016/j.matchemphys.2013.05.043
- ② Alexis Bienvenu Béléké, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, Minoru Mizuhata, Effects of the composition on the properties of nickel-aluminum layered double hydroxide/carbon (Ni-Al LDH/C) composite fabricated by liquid phase deposition (LPD), Journal of Power Sources, 査読有, Vol.225, 2013, pp.215-220  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.10.048
- ③ 出来成人, 水畑 穰, 水溶液からの酸化物ナノ構造材料の合成、表面技術、査読有、62巻、2012、75-81
- ④ Alexis B. Beleke, Minoru Mizuhata, Electrochemical properties of nickel-aluminum layered double hydroxide/carbon composite fabricated by liquid phase deposition, Journal of Power Sources, 査読有, Vol.195, Issue 22, 2010, pp.7669-7676  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2010.05.068

[学会発表] (計21件)

- ① 牧 秀志, 奥村雄三, 水畑 穰, 液相析出法による金属酸化物薄膜形成に帯する溶存イオン平衡挙動の寄与, 電気化学会第80回大会, 2013年3月29日~2013年3月31日, 仙台
- ② 奥村雄三, 牧 秀志, 水畑 穰, 液相析出法による酸化物合成過程における溶存イオン反応平衡, 第51回セラミックス基礎科学討論会, 2013年1月09日~2013年1月11日, 仙台
- ③ 生田紘隆, 牧 秀志, 水畑 穰, 液相析出法における3d遷移金属酸化物薄膜の合成条件最適化, 第51回セラミックス基礎科学討論会, 2013年01月09日~2013年01月11日, 仙台
- ④ 生田紘隆, 牧秀志, 水畑 穰, 液相析出法による3d遷移金属酸化物薄膜合成の最適化, 平成24年度 第3回 関西電気化学研究会, 2012年12月01日, 京都

- ⑤ 水畑 穰, 長谷川敬士, 松本聡, 牧秀志, メソ細孔多孔体をテンプレートとする液相析出法におけるフッ素消費剤の寄与, 日本セラミックス協会第25回秋季シンポジウム, 2012年09月19日~2012年09月21日, 名古屋
- ⑥ 水畑 穰, 電池材料におけるナノファブリケーション, 化学工学会関西支部 環境&資源エネルギー研究会第8回研究会(招待講演), 2012年08月17日, 大阪
- ⑦ 生田紘隆, 牧 秀志, 水畑 穰, 液相析出法による3d遷移金属酸化物薄膜の合成, 第62回マテリアルズ・テーラリング研究会, 2012年08月09日~2012年08月11日, 軽井沢
- ⑧ 長谷川 敬士, 松本 聡, 水畑 穰, 固相をフッ素消費剤とする液相析出法によるシリカ多孔体の表面修飾, 日本化学会第92春季年会, 2012年3月26日, 東京
- ⑨ 水畑 穰, 生田宏隆, 液相析出反応におけるフッ素消費剤の機能に対する金属フッ化物錯体平衡依存性, 日本化学会第92春季年会, 2012年3月26日, 東京
- ⑩ 森 裕輝, 水畑 穰, 液相析出法により合成したNi-Al系層状複水酸化物とそのアニオン交換能, セラミックス基礎科学討論会第50回記念大会, 2012年1月13日, 東京
- ⑪ 水畑 穰, 生田宏隆, 液相析出法による金属酸化物析出過程におけるフッ素消費剤の寄与(2), セラミックス基礎科学討論会第50回記念大会, 2012年1月13日, 東京
- ⑫ 水畑 穰, 長谷川敬士, 液相析出法による金属酸化物ナノ粒子分散Nafion膜の保水性の向上, 第60回高分子討論会, 2011年9月28日, 岡山
- ⑬ 中江太一, 水畑 穰, FeOOH合成における液相析出法に対する磁場効果, 第6回日本磁気科学会年次大会, 2011年9月27日, 東京
- ⑭ 水畑 穰, 池田彩香, 森 裕輝, 半導体基板上の液相析出法の初期過程核成長に対する溶液組成の影響, 電気化学会2011年秋季大会, 2011年9月15日, 新潟
- ⑮ Minoru Mizuhata, Yuki Mori, Alexis Bienvenu Beleke, Electrochemical and ion-exchange properties of Ni-Al Layered Double Hydroxide fabricated by the Liquid Phase Deposition Method, 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2011年9月11日, Niigata
- ⑯ 水畑 穰, 森 裕輝, 生田紘隆, 液相析出法による金属酸化物析出過程におけるフッ素消費剤の寄与, セラミックス協会第24回秋季シンポジウム, 2011年9月7日, 札幌
- ⑰ 水畑 穰, Alexis Bienvenu Beleke, 森 裕輝, ソフト溶液プロセスによる層状複水酸化物の合成及びアニオン交換容量の検討, ナノ学会「ナノ構造・物性」第3回研究会, 2011年3月18日~2011年3月19日, 神戸
- ⑱ 森 裕輝, Alexis Bienvenu Beleke, 水畑 穰, 液相析出法を用いたNi-Al系層状複水酸化物の合成とアニオン交換性, 平成22年度第3回関西電気化学研究会, 2010年12月11日, 池田
- ⑲ Alexis B Beleke, Minoru Mizuhata, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, Performance of Ni-MH secondary batteries using Ni-Al layered double hydroxide/carbon composite for cathode material, 第51回電池討論会, 2010年11月11日, 名古屋
- ⑳ 水畑 穰, 電池材料に対する液相析出(LPD)法の適用, 平成22年度化学系学協会東北大会, 2010年9月26日, 盛岡
- ㉑ 水畑 穰, ソフト溶液プロセスによるナノ材料創製と電極材料への展開, 電気化学会電解技術委員会第81回委員会および第11回R&D研究懇談会, 2010年5月25日, 芦屋

〔図書〕(計2件)

- ① 出来成人・水畑 穰, フッ素化学入門 2010基礎と応用の最前線, 総 537p., 三共出版 2010

〔その他〕

ホームページ等  
<http://cx2.scitec.kobe-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水畑 穰 (MIZUHATA MINORU)  
 神戸大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 10283871

(2) 連携研究者

綾部 いつ子 (AYABE ITSUKO)  
 神戸大学・大学院工学研究科・助手  
 研究者番号: 20167969