

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24350110

研究課題名(和文) ソルボサーマル合成による新規アルミノシリケートの創出・制御と触媒応用に関する研究

研究課題名(英文) Development of novel aluminosilicate by using solvothermal reaction and its catalytic application

研究代表者

池田 拓史 (Takuji, Ikeda)

独立行政法人産業技術総合研究所・コンパクト化学システム研究センター・主任研究員

研究者番号：60371019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：FAU型ゼオライトとエタノール溶媒を用いたソルボサーマル反応により、カリウム(K)含有-LIT型ゼオライトの合成に初めて成功した。-LIT型ゼオライトは、イオン交換により変わった構造変化を起こすことが分かった。これは-LIT型構造の特徴である骨格に含まれる水素結合の消滅と、Kイオンのpore filling効果に起因する。またKイオンを含んだ-LIT型ゼオライトが炭素燃焼触媒として有効なことが分かった。更にソルボサーマル反応により新規な高Al含有層状ケイ酸塩の合成と、それを前駆体とする高Al含有メソ多孔体の調製にも成功した。高い親水性と耐水性を示し優れた酵素固定化能を有することを見いだした。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in synthesis of potassium (K) ion included -LIT type zeolite by the solvothermal reaction using a FAU-type zeolite and an ethanol solvent for the first time. In the -LIT type zeolite, the remarkable structural change by ion-exchange was found and its thermal stability was degraded considerably. These changes originate in a disappearance of the hydrogen bond contained in framework, which is the feature of -LIT type structure, and the pore-filling effect of K ion. Additionally, it was found that the -LIT zeolite containing K ions in nanopores is effective as a carbon combustion catalyst. Furthermore, the novel layered silicate Al-K-LDS including high aluminum content was synthesized by the solvothermal reaction using layered silicate RUB-18, and the mesoporous derivatives with low Si/Al ratio was also successfully prepared using Al-K-LDS. Obtained mesoporous derivatives showed high hydrophilic property, water resistance and high adsorption ability of enzyme (lysozyme).

研究分野：X線結晶構造解析

 キーワード：ソルボサーマル反応 アルミノシリケート ゼオライト 層状ケイ酸塩 炭素燃焼触媒 メソ多孔体
酵素固定化

1. 研究開始当初の背景

無機多孔体であるゼオライトは、吸着・分離、触媒、分子篩などの機能があり、石油製品製造を中心とする広範囲な産業分野で用いられる基幹材料である。ゼオライトの合成は、シリカ・アルミナ源に、アルカリ金属イオンや構造規定剤と呼ばれる有機カチオンを加え、多量の水中で反応させる水熱合成法が主流である。これとは別に、有機溶媒を用いたソルボサーマル合成の研究が近年活発になっている。非水溶媒を用いることで、結晶化速度を遅らせる代わりに、不純物である高密度シリカ相の生成を防ぎ、単結晶合成にも適することが分かってきた(Yang et al. *Microporous Mesoporous Mater.* **100**, 95 (2007)). しかし、非水溶媒中の前駆体構造や、結晶成長への影響は未だに不明瞭であり、従来研究ではソルボサーマル法による新規ゼオライト合成例は少ない。最近我々は、アルコール溶媒下で K-Al-Si 系のゼオライト原料から、有機添加物や希元素などを加えることなく、これまで合成例のない低シリカ-LIT 型ゼオライト(鉱物名:lithosite)を得ることに成功した。-LIT 型ゼオライトは、T(Si,Al)-O 結合からなる骨格構造内に水素結合を伴うシラノール基を含み、細孔内には K⁺カチオンを内包している(図1)。この様な骨格構造は、既知のゼオライトにはない大きな特徴である。

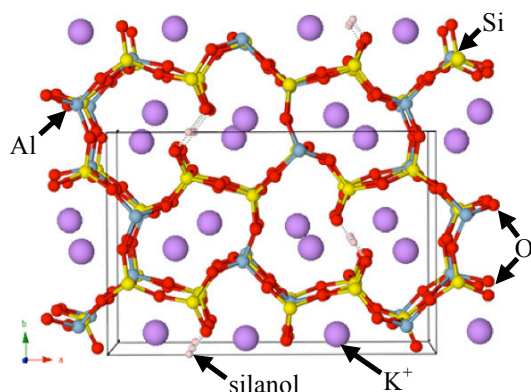


図1. -LIT 型ゼオライトの結晶構造

また合成過程の前駆体ゲルの赤外分光測定(IR)からは、骨格内に有機種が取り込まれていることが示唆された。更に、-LIT 型ゼオライトが炭素燃焼反応に対して高活性な触媒として機能することを見出した。ディーゼルエンジン車からの炭素を主成分とする particle matter (PM) の排出削減には diesel particulate filter が有効だが、PM を捕捉したフィルターの再生が課題となっており、低温(ディーゼル排ガス温度である 200~400℃)でPM を燃焼除去可能な触媒が望まれている。アルカリ金属イオンは炭素燃焼反応に高活性であることが知られているが、触媒担体にアルカリ金属を含浸担持した触媒ではアルカリ金属成分の水への溶出や揮発が問題となり、いかに固定化するが課題となっている。

以上から、ソルボサーマル法による新規アルミノシリケート探索とその触媒応用研究は、

実材料開発としての価値があり、また国内での研究例も少ないことから学術的に意義深いと考えられる。

2. 研究の目的

(1) 新規アルミノシリケートの探索

合成探索：ソルボサーマル反応の特徴を生かし、アルコール溶媒や前駆体であるゼオライトの構造、仕込み組成比、アルカリイオン種等が反映される特異構造の探索を行なう。合成条件の範囲を広げ、新規アルミノシリケート探索を行う。また遷移金属で骨格置換したメタロシリケートの創製も試みる。

ソルボサーマル反応機構の解明：-LIT 型ゼオライトの結晶化におけるアルミノシリケート骨格への有機溶媒の及ぼす影響について、前駆体ゲルや反応過程の中間体についてその場観察FT-IR分析で調べる。

-LIT 型ゼオライトの物性評価とポスト処理の検討：イオン交換能や吸着特性等の物理的・化学的性質を詳細に調べる。またポスト処理により構造変化を示すことから、構造解析によって詳細を明らかにし機構を解明する。

(2) 触媒反応

炭素燃焼反応：-LIT 型ゼオライトの炭素燃焼特性を明らかにする。この反応では炭素と固体触媒の接触が重要となるため、粒子径の影響を明らかにする。

遷移金属元素の骨格導入による触媒高機能化：ディーゼル排ガスには窒素酸化物(NO_x)が含まれており、それを酸化剤として利用することにより炭素燃焼温度の低温化とNO_xの除去が可能となることが報告されている。NO_xを酸化剤として利用するため、遷移金属元素であるコバルトをアルミノシリケート骨格に導入し、炭素燃焼温度の低温化を試みる。

3. 研究の方法

(1) ソルボサーマル合成

手法自体は、既存の水熱合成法と手順的に変わりはないが、ゼオライトもしくは層状ケイ酸塩を Si(Al)O₂ 前駆体として用いること、非水溶媒を用いることが本実験の特徴である。より具体的には、既知物質である FAU 型ゼオライト等を予め炭酸アンモニウムなどを用いて、脱アルカリシプロトン(H)型にする。次に、それとアルカリ金属イオンを EtOH または MeOH 溶媒に加え、耐圧容器であるオートクレーブを用い自己静圧下にて 200~250℃、反応時間 15~168 h の条件で反応させる。最後に沈殿物を、濾過・洗浄・乾燥して最終生成物を得る。

新規物質については①固体 NMR 分光法により、Si, Al, H, C 等の各核種の測定から局所構造情報を収集し、②元素分析や熱重量分析の結果を組み合わせ、③高分解能粉末 X 線回折法による非経験的構造解析から結晶構造を決定する。またガス吸着および水蒸気吸着測定から、生成物の比表面積、細孔径分布、表面親和性などを調べる。

(2) 結晶化過程の構造変化の観察

温度可変な高温チャンバーを有する ATR ユニットの (図 2) を組みこんだ FT-IR を新規に立ち上げるとともに、結晶化過程の骨格形成時における有機種の影響を検討した。また固体 NMR 分析も併せて行った。

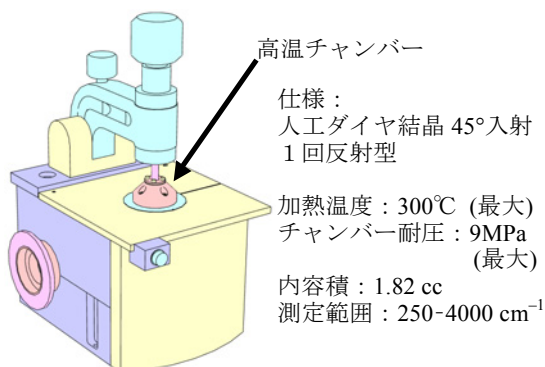


図 2. 作成した高温-耐圧 ATR ユニットの

(3) 炭素燃焼反応における触媒能評価

カーボンブラックを PM のモデル物質として用い、カーボンブラックと触媒の混合物を含酸素ガス気流下で加熱し、二酸化炭素および一酸化炭素の生成量をガスクロマトグラフおよび質量分析計で測定することにより触媒活性を評価した。反応温度での構造安定性を高温粉末 XRD を用いて評価した。

4. 研究成果

(1) **-LIT 型ゼオライトの合成と構造**: 仕込み組成比が $K:Si:Al = 2.0:2.8:1.0$ である出発原料をエタノール溶媒中で 200°C 、72 h 条件でのソルボサーマル反応させることにより **-LIT 型ゼオライト** の単相を得ることに成功した (発表論文⑨)。これをアンモニアイオン交換することで図 3 のような構造変化と熱的安定性の低下を観測した (発表論文⑧)。

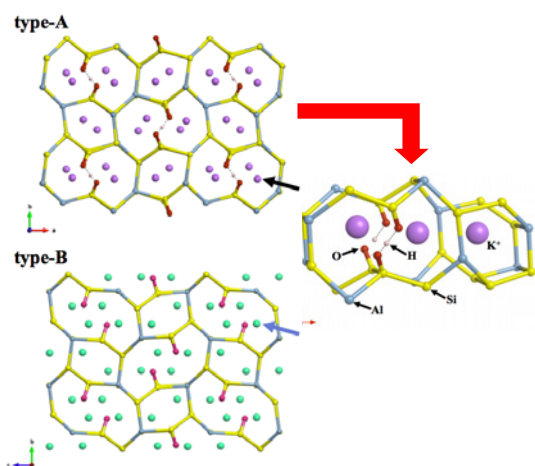


図 3. **-LIT 型** 構造には **type-A & B** の 2 つの安定相があり、 NH_3^+ イオン交換によって **type-A** から **type-B** に構造変化する。左図の矢印 (黒) は K^+ イオンを (青) は水分子又はアンモニア分子を指す。

これは、細孔内の K^+ イオンがアンモニアに変わると同時に、骨格にある $\text{SiO-H}\cdots\text{OSi}$ で表される水素結合が解裂し、 Si-OH HO-Si

に変化することが粉末 X 線構造解析および ^1H MAS-NMR 分析から明らかとなった。これにより、**10-ring** が変形すると同時に、**10-ring** をイオン又は分子がアクセス出来るようになる。 **type-B** の細孔中には多量の水分子が含まれている。また K^+ イオンがもたらす **pore filling** 効果が失われることが構造変化の最も大きな要因であると考えられる。更に出発原料に **Co** 源を加えることで、**Co** 骨格置換したゼオライト **[Co]-LIT** を調整することにも成功した。**Co** は骨格中に 4 配位で含まれていることが光学スペクトルから確認され、生成物は典型的なコバルトブルーを呈した。

(2) **結晶化過程の考察**: ATR-FT-IR 測定より、**-LIT 型** ゼオライトの合成過程において、出発原料にエタノールと **KOH** が共存する環境では、 1400 cm^{-1} 付近に CH_2 種に由来するピークが観測された。別解釈として単距離 (約 0.247 nm) の $\text{O-H}\cdots\text{O}$ 結合の可能性についても考慮したが、加熱してそのような不安定な構造が形成されるかどうかは現状では疑わしく、今後高温 ^1H -NMR 測定を行い検証する必要がある。また 200°C 一定でのスペクトルの経時変化を調べたところ、3 時間経過時にこのピークが現れた (図 5)。 $1000\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$ の 2 つのピークは、骨格の **T-O-T** ($\text{T} = \text{Si, Al}$) 結合の非対称伸縮振動を示し、加熱によりそれらのスペクトル幅は徐々に広がった。これは加熱により構造の不規則性が増したことを示している (なお図中の 0h と 1h のスペクトルについては、サンプルとダイヤモンドプリズムとが密接しておらず反射率が大きく低下している)。また 910 cm^{-1} 付近に Si-OH に帰属されるピークが観測された。

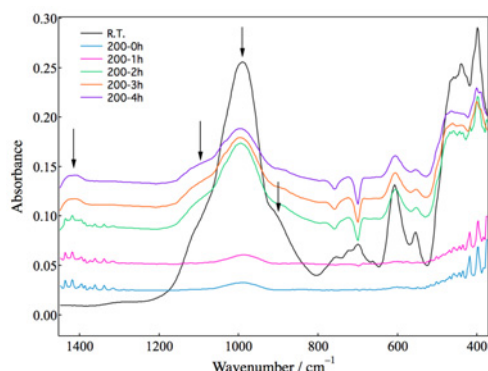


図 5. EtOH と KOH を含んだ出発原料の 200°C での IR スペクトルの時間変化。

1400 cm^{-1} 付近のピークは、**KOH** や **EtOH** だけでは現れないことから、2 つの共存下でのみ **FAU 型** ゼオライト前駆体が溶解し、 CH_2 種が新たに形成される骨格に取り込まれたと考えられる。一方、結晶化が完了した **-LIT 型** ゼオライトの IR スペクトルは、**KOH + EtOH** 処理のものと同様だが、 CH_2 種由来のピークは観測されなかった。このことから、反応中の中間体では、**-LIT 型** 骨格構造に固有の相対するシラノール基を反映して、 $\text{=Si-O-CH}_2\text{-O-Si=}$ の様な準安定構造が形

成されていると考えられる。最終的に CH_2 が脱離しプロトン(H)化したと考えられる。

(3) 炭素燃焼反応：細孔内に K^+ イオンを含む-LIT 型ゼオライトが、炭素燃焼触媒として有効なことを見いだした(発表論文⑦)。昇温酸化反応実験から、既存のカリウム含有アルミノシリケートに比べ低い温度(T_{max} : 723 K)で効率よく燃焼することを明らかにした(図4)。**-LIT** 型ゼオライトは、細孔内に $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ 水素結合を有することにより、(骨格のアルミニウムの数よりも多い) 多量の K^+ イオンを保持できるために、高い活性を示したと考えられる。**-LIT** 型ゼオライトは 940 Kまで加熱しても構造を維持しており、耐熱性に優れている。燃焼反応を繰り返し行っても活性が低下しないことを確認した。

また、[Co]-LIT を触媒に用いた炭素燃焼反応を検討した。[Co]-LIT の活性は、NO を添加しない条件では-LIT と同等であった。(反応に用いた[Co]-LIT (粒子径: 10 μm) と-LIT (4 μm) の粒子径は異なっており、粒子径が炭素燃焼温度に与える影響は小さいと考えられる。)しかし、[Co]-LIT を用いた場合、反応ガスに 1000 ppm の NO を添加すると、燃焼温度が 50 K 以上低下した。Co を含有させることで、実際の排ガス中に含まれる一酸化窒素を炭素の酸化剤として利用でき、炭素燃焼反応を低温化できることを明らかにした。

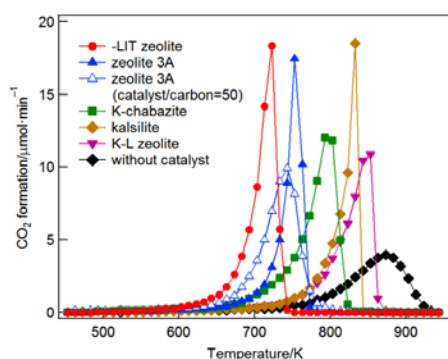


図4. 様々な K 含有アルミノシリケートを触媒としたときの炭素昇温酸化プロファイル. Weight ratio of catalyst to carbon: 10; initial amount of carbon: 0.018 g; reactant gas: 10% O_2 and 90% He; heating rate: 5 $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$.

(4) **-LIT** ゼオライトの相変化：**-LIT** 型ゼオライトの水熱安定性を調べる過程で、水蒸気処理のみによって **MON** 型ゼオライト構造に相変化することを見いだした。**MON** 型構造も珍しいゼオライト構造で、天然鉱物以外ではこれまで1例しか報告例がなく、しかも組成が全く異なるゲルマノシリケートの有機テンプレートを用いての合成例のみである。触媒等の応用性に優れたアルミノシリケート組成の合成は、本結果が初めてとなる。

図5に、175°C-48 h のスチーム処理で得られた **MON** 型ゼオライトの XRD パターンを示す。スチーム処理は、オートクレーブ中に **-LIT** 型ゼオライト粉末を入れ、そこにテフロンチューブに入れた水を加え、水が直接粉

末に接しないようにした。**MON** 型は正方晶系で 8-ring の細孔径からなる 3次元細孔構造を有しており、天然物では細孔内に K, Na が含まれていることが知られている(Rouse et al., *Am. Mineral.*, **75**, 1415, (1990))。分析から $\text{Si}/\text{Al}\sim 3$, $\text{K}/\text{Al}\sim 1$ と見積もられ典型的なアルミノシリケートであることが分かった。

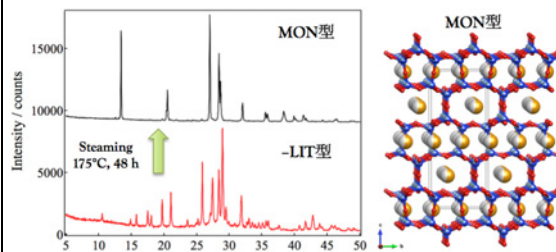


図5. **-LIT** 型をスチーム処理して得られた **MON** 型ゼオライトの XRD パターン(左)と、構造モデル(右)。モデル中で黄球は K^+ イオンを指す。

(5) 新規層状化合物とメソ多孔性派生体：既知の層状ケイ酸塩である ilerite をシリカ原に、Al-イソプロポキシドを Al 源に用いたゾルボサーマル反応から、ilerite と全く構造が異なるだけでなく高い Al 含有量を示す、新規な層状アルミノケイ酸塩 Al-K-LDS の合成に成功した(発表論文④)。各種分析から、回折パターンが示す構造そのものは K-LDS と呼ばれる既知層状ケイ酸塩と同形であったが、透過型電子顕微鏡による詳細な EDX 分析から、多量の Al 元素が結晶表面を密に覆っていることが明らかとなった(図6)。

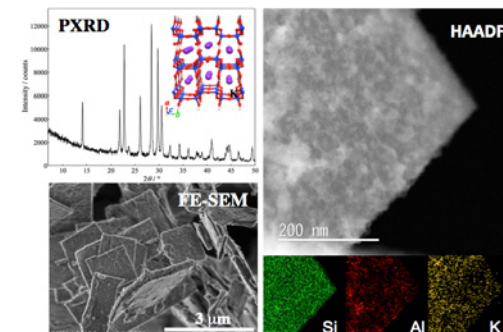


図6. Al-K-LDS の PXRD パターンと結晶構造モデル(左上)、板状のモルフォロジーを示す SEM 像(左下)、STEM 像とその EDX マッピング像(右)。

^{27}Al -NMR では 4 配位と 6 配位の Al 核がほぼ 1:1 で観測され、内部標準試料を用いた X 線回折による定量分析から、アモルファス成分が約 12.6 wt% も含まれていることが分かった。これらの結果から、Al 元素は結晶表面にアモルファスアルミナとして存在していると推測された。これは通常の水熱反応では為し得ない複合化がゾルボサーマル反応で達成されたことを意味する。従来よりカネマイトなどの層状ケイ酸塩を界面活性剤と反応させることでメソポーラスシリカが合成出来ることが多数報告されている。本研究にこれを適用し、Al-K-LDS に界面活性剤($\text{C}_{16}\text{TMACl}$, $\text{C}_{22}\text{TMACl}$)を加え 70°C で加温し反応させたところ、高 Al 含有の 2 つのメソ多孔体($\text{C}_{16}\text{-meso}$, $\text{C}_{22}\text{-meso}$)の調製に成功した(図7, 8)。

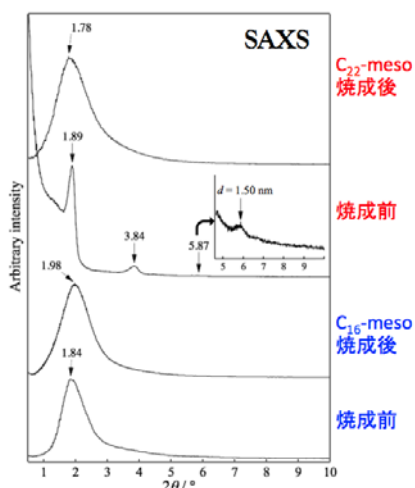


図7. Al-K-LDSをC₁₆TMACI及びC₂₂TMACIと反応させて得たメソ多孔体のSAXSパターン。C₂₂TMACIを用いた場合にはラメラ構造を形成し、両者とも焼成後は細孔構造の規則性はない。

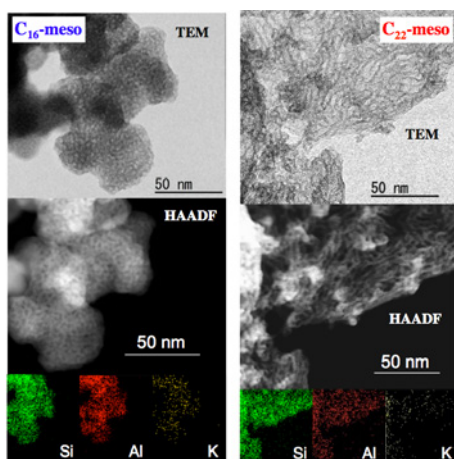


図8. C₁₆-meso、C₂₂-mesoのTEM像、STEM像およびEDXマッピング像。メソ孔の形状はC₁₆-mesoでは泡状、C₂₂-mesoではワーム状である。どちらもAl分布は均一で、K元素も僅かに残存している。

細孔構造の規則性はないが、界面活性剤の大きさに比例し、それぞれ3.5および4.9 nmの細孔径を有する。メソ孔の形状はC₁₆-mesoで泡状、C₂₂-mesoでワーム状であった。最大の特徴は非常に低いSi/Al~2の低シリカ組成で且つ均一なAl分布を持つことである。これを反映して、既存のメソポーラスシリカに比べ、高い親水性と耐水性を示すだけでなく、優れた酵素固定化能を有することが新たに分かった。リゾチームを使った吸着実験では、低いリゾチーム濃度の水溶液において高い吸着効率を示し、総吸着量も高い値を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- ① T. Ikeda, T. Nakano and Y. Nozue, Crystal structures of heavily Na-loaded low silica X (LSX) zeolites in insulating and metallic states, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 118 巻, 2014, 23202–23211. DOI: 10.1016/j.micromeso.2014.02.037

- ② T. Kodaira, T. Ikeda, Adsorption abilities of AFI and MOR type microporous crystals: Selective adsorption of tellurium to their aluminosilicate regions, *Dalton Trans*, 査読有, 43 巻, 2014, 13979–13987. DOI: 10.1016/j.micromeso.2014.02.037
- ③ T. Yamada, T. Ikeda, R. Stoffel, V. Deringer, R. Dronskowski and Hisanori Yamane, Synthesis, Crystal Structure, and High-Temperature Phase Transition of the Novel Plumbide Na₂MgPb, *Inorg. Chem.*, 査読有, 53 巻, 2014, 5253–5259. DOI: 10.1021/ic500466w
- ④ T. Ikeda, T. Nagase, N. Hiyoshi, S. Matsuura, C. Abe and M. Chiba, Solvothermal synthesis and characterization of a layered silicate including a large quantity of Al atom and its mesoporous derivatives, 査読有, *Microporous Mesoporous Mater.*, 191 巻, 2014, 38–47. DOI: 10.1016/j.micromeso.2014.02.037
- ⑤ T. Nagase, T. Ikeda, N. Hiyoshi, C. Abe and T. Hanaoka, Structural Change of –LIT Zeolite Related to Cation-Exchange Treatments under Aqueous and Non-aqueous conditions, *Microporous Mesoporous Mater.*, 査読有, 190 巻, 2014, 92–98. DOI: 10.1016/j.micromeso.2014.01.028
- ⑥ T. Ikeda, C. Ideta, K. Yamamoto, Synthesis and crystal structure of new strontium-containing layered silicate AES-18 obtained by mechanochemical reaction, 査読有, *Z. Kristallogr.*, 228 巻, 2013, 173–179. DOI: 10.1524/zkri.2013.1591
- ⑦ N. Hiyoshi, T. Ikeda and T. Nagase, Carbon combustion over synthetic potassium aluminosilicate with –LIT structure, 査読有, *Chem. Lett.*, 42 巻, 2013, 118–120. DOI: 10.1246/cl.2013.118
- ⑧ T. Ikeda, T. Nagase, N. Hiyoshi and Y. Oumi, Crystal structure, characterization and thermal stability of NH₄⁺-exchanged –LIT-type zeolite, *Microporous Mesoporous Mater.*, 査読有, 163 巻, 2012, 42–50. DOI: 10.1016/j.micromeso.2012.06.008
- ⑨ T. Nagase, T. Ikeda, C. Abe, Y. Hasegawa, Y. Kiyozumi and T. Hanaoka, Solvothermal synthesis of –LIT-type aluminosilicate zeolite, *Cryst. Growth Des.*, 査読有, 12 巻, 2012, 1752–1761. DOI: 10.1021/cg201138f

〔学会発表〕(計19件)

- ① 長瀬多加子, 池田拓史, 日吉範人, 合成モンテゾマイト型アルミノシリケートの結晶化機構, 2015/03/27, 日本化学会

- 第 95 春季年会, 日本大学, 船橋市
- ② 池田 拓史, 中野 岳仁, 野末 泰夫, 金属及び絶縁体状態にある Na クラスタを内包したゼオライト LSX の結晶構造解析, 2015/03/24, 第 70 回日本物理学会年次大会, 早稲田大学, 東京都
- ③ 池田 拓史, 中岡 琢磨, 山本 勝俊, 日吉 範人, 松浦 俊一, 小平 哲也, 両親媒性ハイブリッド多孔体 KCS-2 の結晶構造解析, 2014/11/27, 第 30 回ゼオライト研究発表会, タワーホール船堀, 東京都
- ④ 高橋 翔太, 酒向 祐斗, 池田 拓史, 宮本 学, 上宮 成之, 近江 靖則, 新規層状ケイ酸塩の合成, 2014/11/27, 第 30 回ゼオライト研究発表会, タワーホール船堀, 東京都
- ⑤ 稲垣 怜史, 池田 拓史, 日吉 範人, 西田 祐二, トゥアン シャヒラー, 高野 美育, 坪井 靖之, 川村 出, 内藤 晶, 窪田 好浩, Pr³⁺常磁性を活用した ²⁷Al MAS NMR 測定による Al-YNU-3 の四配位 Al の構造解析, 2014/11/27, 第 30 回ゼオライト研究発表会, タワーホール船堀, 東京都
- ⑥ 池田 拓史, 日吉 範人, 稲垣 怜史, 西田 祐二, 窪田 好浩, Pr³⁺を内包した MSE 型 Al-YNU-3 の粉末 X 線回折 & HAADF-STEM による結晶構造解析, 2014/11/27, 第 30 回ゼオライト研究発表会, タワーホール船堀, 東京都
- ⑦ 小平 哲也, 池田 拓史, SAPO-5 における酸点の量とその結晶内分布, 2014/11/26, 第 30 回ゼオライト研究発表会, タワーホール船堀, 東京都
- ⑧ S. Takahashi, M. Miyamoto, N. Uemiya, T. Ikeda, Y. Oumi, Synthesis and characteristic of novel layered silicate SSA-1, 2014/09/09, FEZA 2014 - 6th International FEZA Conference, Leipzig, Germany
- ⑨ 池田 拓史, 機能性ナノポーラス物質の合成と精密構造解析, 産業技術総合研究所コンパクト化学システム研究センター成果報告会, 2013/10/11, TPK ガーデンシティ仙台, 仙台市
- ⑩ 長瀬 多加子, 池田 拓史, 日吉 範人, 阿部 千枝, 花岡 隆昌, ソルボサーマル合成による新規ゼオライトの合成技術の開発とその応用, 産総研オープンラボ 2013, 2013/10/31-11/1, 産総研, つくば市
- ⑪ 池田 拓史, 粉末 X 線回折と固体 NMR を用いた材料の構造解析, 固体 NMR セミナー, 2014/02/2, 横浜国大, 横浜市
- ⑫ 池田 拓史, 長瀬 多加子, 日吉 範人, 松浦 俊一, ソルボサーマル反応を用いた高 Al 含有層状シリケートの合成とキャラクタリゼーション, 第 29 回ゼオライト研究発表会, 2013/11/28, 東北大学, 仙台市
- ⑬ 長瀬 多加子, 池田 拓史, 阿部 千枝, 日吉 範人, 高シリカゼオライト及びポリシリケートを出発源としたソルボサーマル合成, 第 29 回ゼオライト研究発表会,

- 2013/11/28, 東北大学, 仙台市
- ⑭ 長谷川 泰久, 阿部 千枝, 池田 拓史, 長瀬 多加子, 佐野 庸治, 高シリカ型ゼオライト膜の合成とその脱水特性, 第 29 回ゼオライト研究発表会, 2013/11/27, 東北大学, 仙台市
- ⑮ 池田 拓史, 新規な無機ミクロ多孔体材料の開発を目指して ~合成戦略と構造解析~, 東北大学多元物質科学研究所 第 2 回新機能無機物質探索研究センターシンポジウム, 2013/2/26, 東北大学, 仙台市 (招待講演)
- ⑯ 長瀬 多加子, 池田 拓史, 日吉 範人, 阿部 千枝, 花岡 隆昌, 合成-LIT 型ゼオライトのイオン交換特性と構造変化, 第 28 回ゼオライト研究発表会, 2012/11/29, タワーホール船堀, 東京都
- ⑰ 池田 拓史, 長瀬 多加子, 日吉 範人, 近江 靖則, 合成-LIT 型ゼオライトのイオン交換特性と構造変化, 平成 24 年度日本結晶学会年会, 2012/10/25, 東北大学, 仙台市
- ⑱ T. Nagase, T. Ikeda, N. Hiyoshi, Cation-exchange Properties of the Synthetic -LIT type Zeolite, 15th International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2012), 2012/07/29, アステールプラザ, 広島市
- ⑲ T. Ikeda, T. Nagase, N. Hiyoshi, Y. Oumi, A remarkable structural change of synthetic -LIT zeolite by the ammonia ion exchange, 15th International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2012), 2012/07/29, アステールプラザ, 広島市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 拓史 (IKEDA, Takuji)
産業技術総合研究所・コンパクト化学システム研究センター・主任研究員
研究者番号: 60371019

(2) 研究分担者

長瀬 多加子 (NAGASE, Takako)
産業技術総合研究所・コンパクト化学システム研究センター・主任研究員
研究者番号: 30357628

(3) 研究分担者

日吉 範人 (HIYOSHI, Norihito)
産業技術総合研究所・コンパクト化学システム研究センター・主任研究員
研究者番号: 50415377