

令和元年6月24日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04218

研究課題名(和文) 混合テンプレート水熱転換法による機能性ゼオライトの自在設計・合成法の確立

研究課題名(英文) Establishment of universal design and synthesis method of functional zeolite by interzeolite conversion using a dual-template method

研究代表者

佐野 庸治 (Sano, Tsuneji)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：80251974

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：出発原料として高Si/Al比のFAUゼオライトとAl原料を組み合わせた新規な手法によるCHAゼオライト合成において、高Si/Al比のFAUゼオライトは本水熱合成条件下では瞬時に分解し、ゼオライトの形成に適した化学種を形成することが明らかとなった。またアンモニウムカチオンとホスホニウムカチオンの2種類の構造規定剤(OSDA)を併用したゼオライト水熱転換により、ゼオライトの効率的なリン修飾が進行し、耐熱性が著しく向上することを見出した。本リン修飾8員環ゼオライト(CHA, AEI及びAFX)を窒素酸化物のアンモニア選択還元(NH<sub>3</sub>-SCR)触媒の調製に応用し高性能なdeNO<sub>x</sub>触媒の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機能性材料ゼオライトを触媒として利用していく際の最大の課題は、構造・組成の安定性に影響する脱アルミニウムをいかに抑制できるかである。deNO<sub>x</sub>触媒として期待されている小細孔CHA及びAEIゼオライトにおいてホスホニウムカチオンをOSDA及びリン修飾剤とする合成法により、実用化の点からまだ十分と言えるレベルではないが、耐熱/耐水熱安定性を向上できることを明らかにした。ゼオライト合成に関する研究は世界で活発に行われ、筆者らのゼオライト水熱転換法を含む合成技術に関する新たな発見が続いており、高耐久性ゼオライトの設計・合成が近い将来可能になると期待している。

研究成果の概要(英文)：We investigated syntheses of small-pore zeolites such as CHA, AEI and AFX by a mixture of FAU zeolite with high Si/Al ratio and Al source as starting materials. It was found from ESI-MS analysis that a rapid decomposition of high silica FAU zeolite occurred, giving locally ordered aluminosilicate speceoes (nanoparts) that assembl and evolve into another type of zeolite. Phosphorus-modified small-pore zeolites (CHA, AEI, and LEV) were also prepared by hydrothermal conversion of FAU zeolites with a mixture of an N-OSDA and P-OSDA. These P-modified zeolites exhibit a good catalytic activity and durability in the NH<sub>3</sub>-SCR process.

研究分野：ゼオライト化学

キーワード：ゼオライト 水熱転換 有機構造規定剤 アンモニウムカチオン ホスホニウムカチオン NH<sub>3</sub>-SCR

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般に新規ゼオライトの多くは、複雑な分子構造の有機分子を設計し、それを構造規定剤 (structure-directing agent, SDA) として用いることにより合成されている。2019年3月現在でその構造は245種類にも達している。構造規定剤である有機カチオンのアルキル鎖の近傍には疎水的水和による安定な水分子のネットワークが形成され、周囲に存在する安定なアルミノシリケート種と疎水的相互作用によりある規則性を持った有機カチオン-アルミノシリケート複合体が生成する。このナノパーツが有機的に結合していくことにより核形成・結晶成長が進行していると考えられている。しかし、分子構造の異なる構造規定剤から同一の結晶構造のゼオライトが合成されたり、特定の構造規定剤から様々な結晶構造のゼオライトが得られるなど、有機分子の役割については未だ不明な部分が多い。つまり、構造規定剤となる有機分子を設計しても、有機合成化学のように所望の結晶構造を有するゼオライトを自在に設計・合成することができず、未だゼオライト合成は試行錯誤的に行われているのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究では、本申請者の無機多孔質材料のこれまでの独自の研究成果を踏まえ、ゼオライト水熱転換過程で生成しているナノパーツの構造解析を NMR、ラマン分光、質量分析等により行うとともに、アンモニウムカチオンとホスホニウムカチオンの2種類の構造規定剤を同時に用いて(混合テンプレート法) それらナノパーツの自由な組み合わせによる高性能なゼオライトの自在設計・合成法の確立を目的とする。すなわち、既存のゼオライトから得られる構造ナノユニットをナノパーツとして用いた全く新しい概念の高耐久性小細孔ゼオライトを合成する。ゼオライト結晶の細孔内に導入されたホスホニウムカチオンを熱分解/酸化することにより、効率的なリン修飾を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 出発原料には脱 Al 処理で得られた高 Si/Al 比 FAU ゼオライト (Si/Al = 93) と水酸化アルミニウム (Al(OH)<sub>3</sub>) を用い、出発ゲル全体の Si/Al 比 5-60 と変化させてゼオライトの合成を行った。

(2) アンモニウムカチオンとホスホニウムカチオンの2種類の構造規定剤を同時に用いる混合テンプレート法によるゼオライト水熱転換を行った。

### 4. 研究成果

(1) アモルファス原料と Si/Al 比の異なる出発 FAU ゼオライトの組み合わせによる CHA ゼオライト合成

出発原料に脱 Al 処理で得られた高 Si/Al 比 FAU ゼオライト (Si/Al = 93) と水酸化アルミニウム (Al(OH)<sub>3</sub>) (HSY+Al) を用い、出発ゲル全体の Si/Al 比 5-60 と変化させて CHA ゼオライトの合成を行った。なお、有機構造規定剤 (OSDA) としてトリメチルアダマンチルアンモニウム水酸化物 (TMAdaOH) を用いた。XRD 測定より、Si/Al 比の異なるいずれの出発ゲルから得られた固体生成物の XRD パターンには不純物に由来する回折パターンは観察されず、CHA ゼオライトに由来する回折パターンのみが同程度の回折強度で観察された。また、Si/Al 比 5-60 の出発ゲルから得られた CHA ゼオライトの Si/Al 比は 6.5-53 であり、出発ゲルの Si/Al 比を調整することで CHA ゼオライトの Si/Al 比を容易に制御できることが明らかとなった。Fig. 1 の SEM 写真から分かるように、出発ゲルの Si/Al 比によって CHA ゼオライト結晶形態に変化は観察されず、約 70 nm 程度のキューブ状の結晶形態であった。HSY+Al の

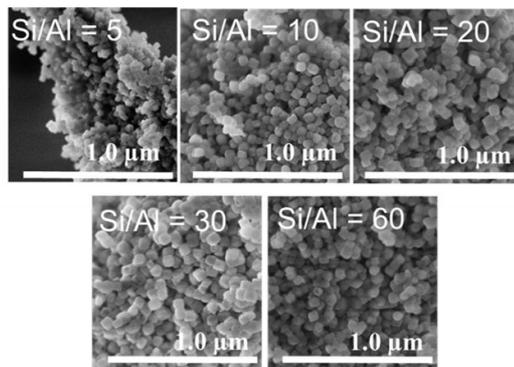


Fig.1 SEM images of CHA zeolites obtained

有用性を調査するため、様々なシリカアルミナ原料を用いて CHA ゼオライトの合成を行った。ヒュームドシリカと水酸化アルミニウムを用いるアモルファス原料 (Amor.) からの合成、Si/Al 比 2.8 の FAU ゼオライトとヒュームドシリカをからの合成 (LSY+Si) および FAU ゼオライトのみ (HSY) をシリカアルミナ源とするゼオライト水熱転換。どのシリカアルミナ原料を用いた場合でも出発ゲルの Si/Al 比が 20 付近の条件では CHA ゼオライトが得られた。しかし、出発ゲルの Si/Al 比を上昇させると HSY を用いた場合でのみ、不純物相が観察された。一方、出発ゲルの Si/Al 比 5, 10 と低い場合には、Amor. と LSY+Si を用いると ANA ゼオライトのような Si/Al 比が低いゼオライトが形成されてしまい、CHA ゼオライトを単相で得ることはできなかった。また、HSY を用いた場合も出発の FAU ゼオライトが溶け残ってしまい、CHA ゼオライトは単相で得られなかった。しかし HSY+Al を用いた場合、すべての条件で CHA ゼオライトが合成出来た。これは高 Si/Al 比の FAU ゼオライトが瞬時に分解することで系中に生じるゼオライトの形成に適した化学種が Al 原料と効果的に反応できるため、不純物相の形成等が抑制されるためであると考えられる。このことは、HSY+Al は CHA ゼオライトの形成に適している出発原料であることを

示している。

### (2) 混合テンプレート法を用いた高耐久性小細孔ゼオライトの合成

8員環細孔(*ca.* 4)を有する小細孔径ゼオライト(CHA, LEV, AEI および AFX)は、NH<sub>3</sub>-SCR 触媒への応用が期待されており、その耐熱性/耐水熱性の向上を目指して骨格構造の高シリカ化やリン酸などを用いた種々の後処理が行われている。しかし、細孔径の小さなゼオライトでは、細孔内へのリン修飾剤の拡散が制限されるため、後処理によるリン修飾は必ずしも期待通りの効果を示さない。ゼオライト水熱転換法ではこれらの小細孔ゼオライトは、ホスホニウムカチオンとアンモニウムカチオンを併用した2成分混合系でも合成できる。Fig. 2にはTMAdaとTEPカチオンを用いたリン修飾CHAゼオライト合成の概念図を示す。ゼオライト細孔内に取り込まれたTMAdaカチオンは焼成により完全に除去される。一方、TEPカチオンは熱分解/酸化によりリン酸化合物種を生成し、これによりゼオライト骨格がリン修飾される。そこでこれらのリン修飾CHAゼオライトの耐熱性を評価するため、各温度1時間熱処理を行った後のXRDピーク強度から相対結晶化度を算出した。Fig. 3には各種リン修飾小細孔ゼオライトの耐熱性試験結果をまとめて示す。リン未修飾ゼオライトは焼成温度の増加に伴い相対結晶化度は減少し、900~1050 °Cで結晶構造は完全に崩壊した。一方

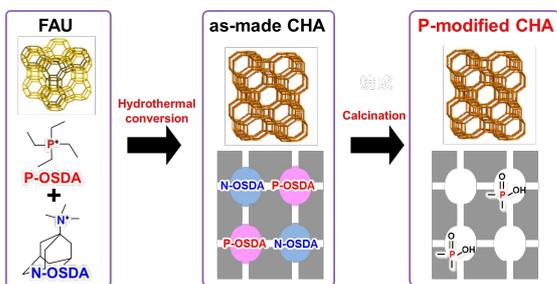


Fig. 2 Synthesis of phosphorus modified small pore zeolite by the dual-template method with a mixture of N-OSDA and P-OSDA.

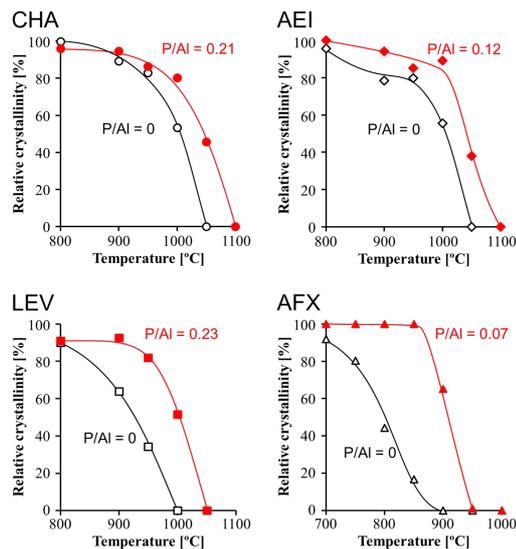


Fig. 3 Relative crystallinity of P-modified small pore zeolites with different P/AI ratios after calcination at various temperatures for 1 h.

リン修飾ゼオライトでは、いずれもリン修飾度 (P/AI 比)の増加とともに耐熱性は著しく向上した。なお、リン修飾の効果はゼオライト骨格構造に依存した。リン未修飾ゼオライトをリン酸水素アンモニウム含浸によりリン修飾しても耐熱性の向上は見られなかったことから、リン含有 OSDA を用いたゼオライト合成は、小細孔径ゼオライトの耐熱性を向上できる有効な手段である。この耐熱性の向上は、TEP カチオンが分解する過程で、ゼオライト骨格中の架橋水酸基と反応し、P-O-Al 結合が生成し脱アルミニウムが抑制されたためと推論している。

### (3) NH<sub>3</sub>-SCR 触媒への応用

得られたリン修飾小細孔ゼオライトの NH<sub>3</sub>-SCR 触媒への応用を検討した。Cu 担持ゼオライト (CHA, AEI, LEV)触媒は、硝酸銅水溶液を用いて含浸法により調製した(1.5 wt%)。反応は、固定床流通式反応装置を用いて Cu 担持ゼオライト触媒 0.8 g、混合ガス組成を 200 ppm NO, 200 ppm NH<sub>3</sub>, 10% O<sub>2</sub>, 3% H<sub>2</sub>O, バランス N<sub>2</sub> と定め、GHSV= 60,000 h<sup>-1</sup>、反応温度 500-150

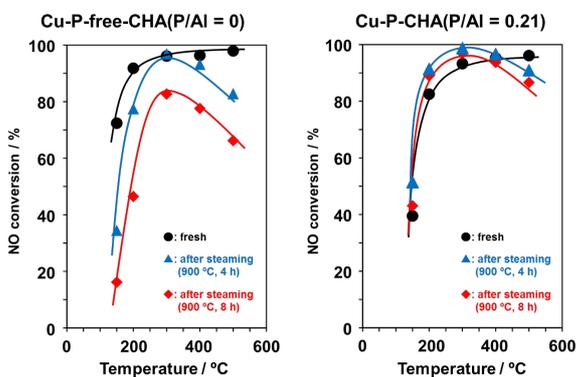


Fig. 4 Relationship between reaction temperature and NO conversion for Cu-P-free CHA and Cu-P-CHA catalysts before and after hydrothermal treatment at 900 °C.

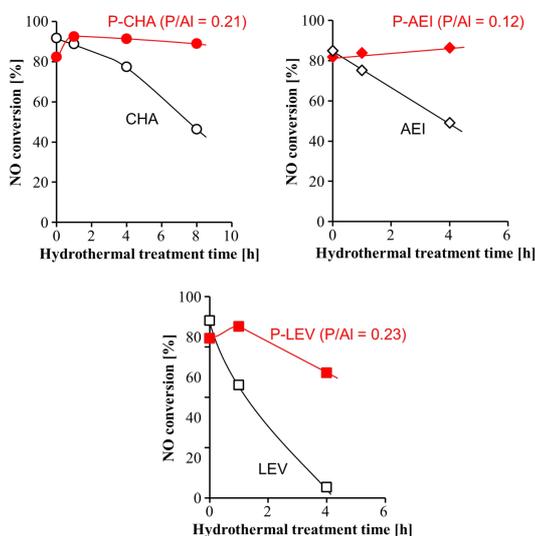


Fig. 5 NO conversion over Cu-loaded small pore zeolite catalysts at 200 °C plotted against hydrothermal treatment time at 900 °C

°C の条件で行った。触媒の耐水熱安定性の調査のため、10%水蒸気を含む空気流通下 900°C で 1, 4 及び 8 時間処理した後の触媒についても活性を評価した。Fig. 4 には CHA 触媒における NO 転換率の温度依存性を示す。水熱処理を行わない場合、リン修飾にかかわらず、NO 転換率は 200 から急激に増加し、それ以降の温度では 80%以上の高い値を維持した。また、水熱処理を行っても、リン修飾 CHA 触媒は 200 以上の反応温度で NO 転換率 80%以上を維持しており、NH<sub>3</sub>-SCR 触媒として優れた活性ならびに耐久性を持つことが確認できた。Fig. 5 には Cu 担持ゼオライト(CHA, AEI, LEV)触媒の反応温度 200 °C での NO 転換率を水熱処理時間に対してプロットした結果を示す。図から明らかなように、いずれのリン未修飾ゼオライト触媒では水熱処理時間の増加とともに NO 転換率は著しく低下した。CHA 触媒では 900 °C・8 h 水熱処理後の NO 転換率は 50%程度であった。一方、同条件での水熱処理後も LEV を除くリン修飾ゼオライト(CHA, AEI)触媒では活性の低下は全く起こらず、NO 転換率は 80 %以上を維持し、本触媒が高い耐水熱性を有していることが明らかとなった。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 21 件)

Zeolite hydrothermal conversion in the presence of various cyclic alkylammonium cations and synthesis of nanosized BEA and MFI zeolites, T. Tanigawa, N. Tsunoji, M. Sadakane, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 277, 115-123 (2019) 査読有

DOI:10.1016/j.micromeso.2018.10.019

Comparative study between high-silica faujasites (FAU) from organic-free system and the commercial zeolite Y, S. Ferdov, K. Tsuchiya, N. Tsunoji, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 276, 154-159 (2019) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2018.09.036

Facile synthesis of highly crystalline EMT zeolite by hydrothermal conversion of FAU zeolite in the presence of 1,1'-(1,4-butanediyl)bis(1-azonia-4-azabicyclo[2,2,2]octane)dihydroxide, K. Matsuda, K. Tsuchiya, N. Tsunoji, M. Sadakane, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 274, 299-303 (2019) 査読有

DOI:10.1016/j.micromeso.2018.08.036

Stepwise Gel Preparation for High-Quality CHA Zeolite Synthesis: A Common Tool for Synthesis Diversification, Y. Joichi, D. Shimono, N. Tsunoji, Y. Takamitsu, M. Sadakane, T. Sano, *Cryst. Growth Des.*, 18, 5652-5662 (2018) 査読有 DOI:10.1021/acs.cgd.8bo00963

Synthesis of phosphorus-modified AFX zeolite using a dual-template method with tetraethylphosphonium hydroxide as phosphorus modification agent, E. Mitani, Y. Yamasaki, N. Tsunoji, M. Sadakane, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 267, 192-197 (2018) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2018.03.033

A Collective Case Screening of the Zeolites made in Japan for High Performance NH<sub>3</sub>-SCR of NO<sub>x</sub>, V. Subramaniam, T. Onishi, Y. Shimada, Y. Kubota, T. Masuda, Y. Nakasaka, M. Matsukata, K. Itabashi, T. Okubo, T. Sano, N. Tsunoji, T. Yokoi, M. Ogura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 91, 355-361 (2018) 査読有 DOI:10.1246/bcsj.20170352

An isomorphously substituted Fe-BEA zeolite with high Fe content: facile synthesis and characterization, Y. Naraki, K. Ariga, H. Oka, H. Kurashige, T. Sano, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 18, 11-19 (2018) 査読有 DOI:10.1166/jnn.2017.14584

リン修飾小細孔ゼオライトの合成と NH<sub>3</sub>-SCR 触媒特性、津野地直、佐野庸治、ゼオライト、35, 92-100 (2018) 査読有

進化するゼオライト合成、佐野庸治、津野地直、触媒、60, 240-246 (2018) 査読有

ZTS-1 and ZTS-2: Novel intergrowth zeolites with AFX/CHA structure, Y. Naraki, K. Ariga, K. Nakamura, K. Okushita, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 254, 160-169 (2017) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2017.04.004

Thermally stable nanosized LEV zeolite synthesized by hydrothermal conversion of FAU zeolite in the presence of N,N-dimethylpiperidinium cation, N. Funase, T. Tanigawa, Y. Yamasaki, N. Tsunoji, M. Sadakane, T. Sano, *J. Mater. Chem. A*, 5, 19245-19254(2017) 査読有 DOI:10.1039/c7ta04988a

Incorporation of various heterometal atoms in CHA zeolites by hydrothermal conversion of FAU zeolite and their performance for selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with ammonia, T. Takata, N. Tsunoji, Y. Takamitsu, M. Sadakane, T. Sano, *Microporous Mesoporous Mater.*, 246, 89-101 (2017) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2017.03.018

Mesoporous MCM-48 immobilized with amine propyl triethoxy silane: A potential catalyst for transesterification of triacetin, M. Bandyopadhyay, N. Tsunoji, T. Sano, *Catal. Lett.*, 147, 1040-1050 (2017) 査読有 DOI:10.1007/s10562-017-1997-5

Production of light olefins from methanol and ethanol using ZSM-5 type zeolite catalysts, T. Sano, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 60, 263-276 (2017) 査読有 DOI:doi.org/10.1627/jpi.60.263

Synthesis of Fe-based BEA zeolites in fluoride media and their catalytic performance in the NH<sub>3</sub>-SCR of NO<sub>x</sub>, Y. Naraki, K. Ariga, T. Sano, *Adv. Porous Mater.*, 4, 125-133 (2016) 査読有 DOI:10.1166/apm.2016.1110

Fe species in isomorphously substituted Fe-based BEA zeolites for low-temperature selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub>, Y.Naraki, K.Ariga, H.Oka, H.Kurashige, T.Sano, Adv. Porous Mater., 4, 91-101 (2016) 査読有 DOI:10.1166/apm.2016.1103

Hydrothermal conversion of titanated FAU to AEI zeolite and its enhanced catalytic performance for NO<sub>x</sub> reduction, N.Funase, T.Takata, N.Tsunoji, Y.Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, Adv. Porous Mater., 4, 62-72 (2016) 査読有 DOI:10.1166/apm.2016.1101

Development of ZSM-5-type zeolite catalysts containing alkaline earth metals for conversion of methanol to light olefins, H.Okado, T.Sano, H.Takaya, Adv. Porous Mater., 4, 9-23 (2016) 査読有 DOI:10.1166/apm.2016.1100

Nanosized CHA zeolites with high thermal and hydrothermal stability derived from the hydrothermal conversion of FAU zeolite, T.Takata, N.Tsunoji, Y.Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, Microporous Mesoporous Mater., 225, 524-533 (2016) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2016.01.045

One-pot synthesis of phosphorus-modified AEI zeolites derived from the dual-template method as a durable catalyst with enhanced thermal/hydrothermal stability for selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> by NH<sub>3</sub>, Y. Kakiuchi, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, Y. Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, Chem. Lett., 45, 122-124 (2016) 査読有 DOI:10.1246/cl.150997

② Synthesis of phosphorus-modified small-pore zeolites utilizing tetraalkyl phosphonium cations as both structure-directing and phosphorous modification agents, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, Y.Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, Microporous Mesoporous Mater., 223, 129-139 (2016) 査読有 DOI:10.1016/j.micromeso.2015.10.038

〔学会発表〕(計 9 件)

Control of Si/Al ratio and crystal size of CHA zeolite by combining dealuminated FAU zeolite with different Si/Al ratio and additional Si or Al source, T.Tanigawa, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, International Symposium on Zeolites and Microporous Materials, Yokohama (2018)

Facile synthesis of highly crystalline EMT zeolite by hydrothermal conversion of FAU zeolite in the presence of 1,1'-(1,4-butanediyl) bis(1-azonia-4-azabicyclo [2,2,2]octane) dihydroxide, K.Matsuda, K.Tsuchiya, N.Funase, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, International Symposium on Zeolites and Microporous Materials, Yokohama (2018)

Synthesis of phosphorus-modified AFX zeolite by the dual-template method with tetraethylphosphonium hydroxide as phosphorus modification agent, E.Mitani, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, International Symposium on Zeolites and Microporous Materials, Yokohama (2018)

Rational Synthesis of Small-pore Zeolite through Multi-Step Hydrogel Preparation; A Common Technical Tool for High-Quality Zeolite Synthesis, D.Shimono, Y.Jyoichi, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, International Symposium on Zeolites and Microporous Materials, Yokohama (2018)

Formation of FER zeolite nanosheets by enhanced anisotropic crystal growth, N.Tsunoji, K.Enokawa, Y.Yamasaki, M.Sadakane, T.Sano, Workshop Advances in Zeolite Chemistry and Catalysis, Cesky Krumlov, Czech Republic (2018)

Improvement of thermal stability of AFX/CHA intergrowth zeolite by phosphorus modification, K.Tsuchiya, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, Workshop Advances in Zeolite Chemistry and Catalysis, Cesky Krumlov, Czech Republic (2018)

Phosphorus-modified small pore zeolite with enhanced thermal/hydrothermal stability and its high catalytic performance of selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub>, N.Tsunoji, M.Sadakane, T.Sano, The 3rd Euro-Asia Zeolite Conference, Bali (2017)

Facile synthesis of phosphorus-modified small pore zeolites with tetraalkylphosphonium cations and their NH<sub>3</sub>-SCR catalytic performance, Y.Kakiuchi, Y.Yamasaki, N.Tsunoji, Y.Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, 7th International FEZA Conference, Sofia, Bulgaria (2017)

Synthesis and characterization of titanated AEI zeolite by hydrothermal conversion of titanated FAU zeolite, N.Funase, N.Tsunoji, Y.Takamitsu, M.Sadakane, T.Sano, 7th International FEZA Conference, Sofia, Bulgaria (2017)

〔図書〕(計 1 件)

佐野庸治、シーエムシー出版、触媒劣化 原因、対策と長寿命触媒開発、2018、pp.187-195

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称：リンを含有し、連晶構造を有する小細孔オライト及びその製造方法  
発明者：佐野庸治、定金正洋、津野地直、高光泰之

権利者：広島大学、東ソー株式会社  
種類：特許  
番号：特願 2018-029368 号  
出願年月日：平成 30 年  
国内外の別： 国内

名称：リンを含有する G M E 型ゼオライトおよびその製造方法  
発明者：佐野庸治、定金正洋、津野地直、高光泰之  
権利者：広島大学、東ソー株式会社  
種類：特許  
番号：特願 2017-213835 号  
出願年月日：平成 29 年  
国内外の別： 国内

名称：リンを含有する A F X 型ゼオライトおよびその製造方法  
発明者：佐野庸治、定金正洋、津野地直、高光泰之  
権利者：広島大学、東ソー株式会社  
種類：特許  
番号：特願 2017-34667 号  
出願年月日：平成 29 年  
国内外の別： 国内

#### 取得状況（計 2 件）

名称：M E I 型ゼオライトの製造方法、およびリンを含有する M E I 型ゼオライト  
発明者：佐野庸治、定金正洋、高光泰之  
権利者：広島大学、東ソー株式会社  
種類：特許  
番号：特許第 6338493 号  
登録年月日：平成 30 年  
国内外の別： 国内

名称：結晶性アルミノシリケート及びその製造方法  
発明者：佐野庸治、定金正洋、高光泰之  
権利者：広島大学、東ソー株式会社  
種類：特許  
番号：特許第 6278561 号  
登録年月日：平成 30 年  
国内外の別： 国内

〔その他〕

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/catalche/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：定金 正洋  
ローマ字氏名：( S A D A K A N E , m a s a h i r o )  
所属研究機関名：広島大学  
部局名：大学院工学研究科  
職名：准教授  
研究者番号： 10342792

研究分担者氏名：津野地 直  
ローマ字氏名：( T S U N O J I , n a o )  
所属研究機関名：広島大学  
部局名：大学院工学研究科  
職名：助教  
研究者番号：40758166