

【シリーズ そこが知りたい (2)】

Verified Synthesis of Zeolitic Materials (Synthesis Commission of IZA) の紹介

稲垣怜史*, 近江靖則**

*横浜国立大学大学院工学研究院, **広島大学大学院工学研究科物質化学システム専攻

1. はじめに

ゼオライトには、モルデナイト (**MOR**), クリノプチロライト (**HEU**) などのように天然に産出し、安価に入手でき、土壌改良資材として利用されているものと、Y型ゼオライト (**FAU**), ZSM-5 (**MFI**), β ゼオライト (***BEA**) などのように工業的に合成され (合成ゼオライト), 吸着剤や固体触媒として利用されているものがある。特に、合成ゼオライトは、アミンや四級アンモニウム塩を構造規定剤として原料に添加することで、天然ゼオライトにはない新しい結晶構造をもつゼオライトが次々に報告されている¹⁾。しかし、同一構造を有するゼオライトであっても、各研究者グループによって異なる合成方法が特許・論文が記載されているため、いざゼオライトを合成しようとしても、どの文献を参考にしてよいのか、迷ってしまうことがある。まして、初めて合成を行おうと考えている研究者に対し、ゼオライト合成へのハードルを高くしているのではないだろうか。例えば、どの文献を参考にすればよいのか、試薬は何を用いたらよいのか、道具は何をそろえればよいのかなど初歩的な疑問が生じるのではないだろうか。

ところで、International Zeolite Association (IZA, 国際ゼオライト学会) では、ゼオライト合成の専門家および構造解析の専門家を集め、IZA Synthesis Commission を設立した。このSynthesis Commission から、あまたあるゼオライト合成の論文から、確実に再現よくある特定のゼオライトを合成できる方法 (レシピ) を取り纏め、書誌「Verified Synthesis of Zeolitic Materials」²⁾として発刊した。この本は1998年に初版が、2001年に第二版が発行されており、オンラインでも書誌の内容と同様の情報を得ることができる³⁾。この書誌に掲載されているゼオライト合成の

レシピは、Synthesis Commission の構成メンバーおよび彼らに指名された世界各国のゼオライト研究者が再現よく合成できることを確認しており、表に示すような42種類のゼオライトのレシピ集が現在、公開されている。また、第三版では新たに38種類のゼオライトのレシピが追加掲載される予定である。

本稿では、主にゼオライトの初学者に向けて「ゼオライトを合成するにはどうすればよいか」という視点から、書誌「Verified Synthesis of Zeolitic Materials」の読み方を紹介する。本稿では、固体酸触媒として優れた性能を示し工業的にも多用されているゼオライトである「High-Alumina ZSM-5」を具体例として取り上げる。ゼオライトを合成してみたい方、なかなかゼオライトの合成に踏み込めない方にはぜひ一読いただきたい。

2. 「High-Alumina ZSM-5」の合成方法の紹介

さて、「High-Alumina ZSM-5」の結晶構造は**MFI**型に分類される。**MFI**型ゼオライトのレシピ集には、「High-Alumina ZSM-5」の他に、「Silicalite-1」⁴⁾「B-ZSM-5」⁵⁾「Fe-ZSM-5」⁶⁾「Ti-ZSM-5」⁷⁾「Ti,Al-ZSM-5」⁸⁾の合成法が記載されている。ここでは最も汎用と考えられる「High-Alumina ZSM-5」を例にしてレシピ集の読み方を紹介する。

Type Material: $\text{Na}_7[\text{Al}_7\text{Si}_{89}\text{O}_{192}]:\text{wH}_2\text{O}$

ここには最終的に得られる「High-Alumina ZSM-5」の組成式が表されている。**MFI**型ゼオライトはユニットセルあたり96個のTサイト (SiまたはAlが占有しうるサイト) があり、そのうち7個がAlで占有され、残り89個がSiで占められていることを表している。またAlの存在により生じる骨格の負電荷を補

Verified Synthesis of Zeolitic Materialsに掲載されているゼオライトの種類

FTC	通称名	FTC	通称名	FTC	通称名	FTC	通称名
—	SUZ-4	ABW	Li-A(BW)	AEI	AIPO4-18 SAPO-18 (DPEA method) SAPO-18 (TEA method)	AEL	AIPO4-11
AFI	AIPO4-5, SAPO-5 CoAPO-5, SSZ-24	AFO	SAPO-41	AFS	MAPO-46	ANA	Analcime
AST	AIPO4-16	ATN	MAPO-39	BEA	Beta [Ti,Al]-Beta	CAN	Cancrinite
CHA	Chabazite, SSZ-13 SAPO-34, SAPO-44	-CLO	Cloverite (GaPO4)	EAB	TMA-E	EDI	Barrer K-F Linde Type F
EMT	EMC-2	EUO	[Ga]-EU-1	FAU	Linde Type X Low Silica Type X (LSX) Linde Type Y EMC-1 (High-Silica FAU) [Ga]-Type Y, SAPO-37	GIS	Zeolite P
FER	ZSM-35	KFI	ZK-5 KFI High-Silica	LEV	[B]-Levyne	LTA	Linde Type A, ZK-4 Alpha, GaPO4
LTL	Linde Type L	MAZ	Mazzite	MER	Linde Type W	MFI	ZSM-5 (High-Alumina) Silicalite-1, [B]-ZSM-5 [Fe]-ZSM-5, [Ti]-ZSM-5 [Ti,Al]-ZSM-5
MOR	Mordenite	MTN	ZSM-39	MTT	ZSM-23	MTW	ZSM-12 [Ga]-ZSM-12
MWW	MCM-22	NAT	[Ga]-Natrolite	OFF	Linde Type T, Offretite [Ga]-Offretite	PAU	ECR-18 Paulingite (seeded)
PHI	Phillipsite Phillipsite (High-alumina)	RHO	Rho (High-Silica)	SOD	NaBr-sodalite	STT	SSZ-23
TON	ZSM-22	VFI	VPI-5 (DPA method) VPI-5 (TBA method)				

FTC: Framework Type Code

償するために、NaカチオンがAlと同数、ゼオライト内に取り込まれていることも示している。水分子はゼオライトのミクロ孔内に結晶水として取り込まれており、その数はゼオライトが置かれている環境、とりわけ温度と湿度によって変化しうるので、可変値wと表されている。

Batch composition: 3.25 Na₂O:Al₂O₃:30 SiO₂:958 H₂O (exclusive of seeding gel)

この項には、合成原料の混合物の組成が、原料中に含まれる金属の酸化物ベースでの「物質量比（モル比）」で表わされている。このようにモル比ベースで原料組成を表すのがゼオライト合成のレシピの慣例と

なっている。具体的には、Al₂O₃ (FW = 101.96) を1 mmol (0.102 g) 用いる際に、Na₂O (FW = 61.98) として3.25 mmol (0.201 g)、SiO₂ (FW = 60.08) として30 mmol (1.802 g)、H₂O (MW = 18.01) として958 mmol (17.25 g) をそれぞれ用いることになる。ただし後述するが、実際の試薬には、複数の金属成分が含まれていたり、水分が含まれていたりするので、試薬の採取量の計算には注意が必要である。

Source Materials

Distilled water

Sodium hydroxide (Merck, pure)

Tetrapropylammonium hydroxide (Fluka, 20 %

“High-Al ZSM-5” の合成レシピ (「Verified Synthesis of Zeolitic Materials」より出典)

MF1 High-Al ZSM-5 S(93), Al(7)

Contributed by Hans Lechert and Ralph Kleinwort

Verified by A. Palmqvist and by J. Brendle and H. Kessler

Type Material $\text{Na}_2[\text{Al}_7\text{Si}_8\text{O}_{42}] \cdot \text{wH}_2\text{O}$

Method H. Lechert, R. Kleinwort^a

Batch Composition 3.25 Na_2O : Al_2O_3 : 30 SiO_2 : 958 H_2O (exclusive of seeding gel)

Source Materials

distilled water
sodium hydroxide (Merck, pure)
tetrapropylammonium hydroxide (Fluka, 20% solution)
silicic acid (Merck, technical grade, SiO_2 : 0.5 H_2O)
sodium aluminate (Roth, Al_2O_3 : 1.24 Na_2O : 0.57 H_2O)

Seeding Gel Preparation^b

(1) [710.3 g water + 13.8 g sodium hydroxide + 117.0 g TPA-OH solution], dissolve and mix thoroughly
(2) [(1) + 158.9 g silicic acid], add silica in portions under stirring. Shake the resulting mixture for one hour at ambient temperature. Age at 100 $^{\circ}\text{C}$ for 16 hours

Synthesis Gel Preparation (for ~87 g product)

(1) [867.8 g water + 8.8 g sodium hydroxide + 10.3 g sodium aluminate], dissolve and mix thoroughly
(2) [(1) + 113.1 g silicic acid], add silica in portions under stirring. Shake vigorously for one hour at ambient temperature
(3) [(2) + 50 g seeding gel], ^c shake for one hour

Crystallization

Vessel: 50 mL PTFE-lined stainless steel autoclaves
Temperature: 180 $^{\circ}\text{C}$ ^d
Time: 40 hours^e
Agitation: none

Product Recovery

(1) Recover product by filtration
(2) Wash thoroughly with distilled water
(3) Dry at 105 $^{\circ}\text{C}$ for 24 hours
(4) Pulverize dried product in an agate mortar^f

Product Characterization

XRD: fully crystalline MF1^{g,h}, competing phase: mordenite (at lower Si/Al ratios in the gel)
Elemental Analysis: Si/Al = 12 to 13.5^g
Crystal Size and Habit: 6 μm crystals

References

- [1] G. Bellussi, G. Perego, A. Carati, U. Gomaro, V. Fatore, in Innovation in Material Science, P. J. Grobet, W. J. Mortier (eds.), Elsevier, Amsterdam, 1988
- [2] H. Kaciek, A. Meyer, German Patent 3 402 842 Al
- [3] R. Kleinwort, PhD Thesis, University of Hamburg (1995)
- [4] A. Nastro, C. Cofella, R. Aiello, in Stud. Surf. Sci. Catal. Vol. 24, B. Drzaj, S. Hocevar, S. Pejovnik (eds.), Elsevier, Amsterdam, 1985, p 19
- [5] J. M. Berak, R. Moscowiz, in Stud. Surf. Sci. Catal., Vol. 24, B. Drzaj, S. Hocevar, S. Pejovnik (eds.), Elsevier, Amsterdam, 1985
- [6] W. Schwieger, K. H. Bergk, U. Haedcke, German Patent 2 83 1 26 (1990)
- [7] H. P. Rieck, German Patent OS 3 242 352 (1984)
- [8] P. Chu, F. J. Rosinski, European Patent Appl. 110650 (1983)

Notes

- According to Bellussi, [1] the ZSM-5 structure crystallizes in batches of the composition: NaAlO_2 $n[\text{Na}_m\text{H}_{4-n}\text{SiO}_3]$ pH_2O in the ranges $n = 20$ to 50, $m = 0.1$ to 0.2 and $p = 400$ to 500. For $m < 0.1$, generally amorphous products were observed. Above $m = 0.2$, mordenite crystallizes. For $n < 20$, ferrierite was found and above $n = 50$, zeolite Q. The Si/Al ratio in the product was nearly equal to the Si/Al in the batch. Compared to batches with template, those without template usually show a distinctly enhanced crystallization time. The enhancement is especially due to an increased induction period, leading to the conclusion that the crystallization should be carried out with the use of seeds. Another hope of the application of seeds is that the area of the formation of ZSM-5 in the crystallization field can be extended to higher m and lower n by suppressing the formation of mordenite which crystallizes preferably in that region.
- A quite active seeding agent is obtained by carefully aging a gel giving silicic acid. [2] For this gel, only a small amount of TPA-OH is necessary which does not influence the Si/Al ratio of the final product.
- Good results have been obtained using 1-10 wt% seeding gel in the mixture.
- Good results have been obtained at temperatures from 145 $^{\circ}\text{C}$ to 190 $^{\circ}\text{C}$. At 190 $^{\circ}\text{C}$, the crystallization is finished at about 10 hours.
- The crystallization kinetics have been checked by comparison of the crystallinity with an industrial sample by X-ray. [3]
- The final products were kept in a desiccator over saturated CaCl_2 solution for 24 hours before further characterization.
- The kinetic experiments showed that the described seeding gel led to a drastically reduced induction period of crystallization and to a considerable increase in the crystallinity of MF1. This shows that the area of MF1 crystallization can be extended into the range where mordenite or ferrierite has been found.
- Crystallinity of the products was determined by comparing the sum of the peak areas between 2 $\theta = 23.2^{\circ}$ and 24.5° with that of a well-crystallized industrial sample which was used as a standard throughout the experiments.
- For lower Si/Al ratios in the batch, mordenite could not be avoided. For higher Si/Al ratios in the batch, Si/Al of the products increased but remained slightly below Si/Al of the batch. Further information about the crystallization of MF1 in template-free systems can be found in references [4-8].

solution)

Silicic acid (Merck, technical grade, $\text{SiO}_2 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$)

Sodium aluminate (Roth, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.24 \text{Na}_2\text{O} \cdot 0.57 \text{H}_2\text{O}$)

まず大きな注意点としては、可能な限りレシピに挙げられている試薬を入手してゼオライトの合成を行うのが望ましい。ゼオライト合成では、原料中に含まれる金属イオンや陰イオンなどの不純物の影響で、ゼオライトが全く結晶化しない、目的としないゼオライトが生成する、といったことがよく起こる。このため、レシピに挙げられていない試薬を用いると、そこに含まれているかもしれない不純物の影響で目的とするゼオライトを得ることができなくなることもあるので注意が必要である。ただし入手が困難な場合には、できるだけ似た純度・組成の試薬で代用せざるを得ない。

実験室規模でのゼオライト合成には蒸留水を用いることが望ましい。前述のとおり、ゼオライト合成は不純物を嫌うので、溶媒である水はできる限り不純物を含まない蒸留水を用いる。蒸留水は自前で調製してもよいし、市販の蒸留水を用いてもかまわない。水道水は不純物を多く含むのでゼオライト合成の原料には適さない。水道水を活性炭およびイオン交換樹脂に通して得られるイオン交換水は蒸留水の代用となりうるが、イオン交換樹脂により、陽イオン・陰イオンの両方が取り除かれていることが望ましい。

水酸化ナトリウムは通常、固体ペレットとして入手できる。ゼオライトを構成する元素以外の金属イオンの原料への混入はできる限り避けるべきである。純度の低い水酸化ナトリウムには調製時に水酸化カリウムなどの他のアルカリ金属水酸化物が含まれているので、純度の高い試薬を用いることが望ましい。また水酸化ナトリウムは潮解性であるので、保存時には湿気に注意する必要がある。参考までに、他のゼオライトの合成レシピでは、濃度調整された水酸化ナトリウム水溶液を用いている場合もある。この水溶液を長期間保存する際には、空気中の二酸化炭素を吸収してpHが下がることがあるので、早めに使い切ることが望ましい。

テトラプロピルアンモニウム水酸化物（以下、TPAOH）は水溶液として市販されている。20% solutionとなっているのは、水溶液の重量パーセントを表している。つまりこの水溶液1 gには、0.2 gの

TPAOHが含まれており、0.8 gは水であるので、組成計算を行うときには注意が必要となる。この水溶液も水酸化ナトリウム水溶液同様、空気中の二酸化炭素を吸収してpHが下がることがあるので、早めに使い切ることが望ましい。

Silicic acid（ケイ酸）の市販品は水あめ状である。文献中の組成式はモル比で表わされており、 SiO_2 が1 molに対して、 H_2O が0.5 mol含まれていることを表す。文献中で用いているMerck社の試薬の入手が困難であれば、他の試薬会社のもので代用可能であるが、その試薬に含まれる不純物や組成には注意が必要である。

アルミン酸ナトリウムは通常、粉末状の固体である。文献中の組成式はモル比で表わされており、 Al_2O_3 、1 molに対して、 Na_2O として1.24 mol、 H_2O として0.57 mol含まれていることを意味する。文献中ではRoth社の試薬を用いているが、入手が困難と考えられるので他の試薬会社のもので代用してもよい。ただしケイ酸同様、その試薬の組成や含まれる不純物に注意する。

Seeding Gel Preparation

この項ではまず、「seeding gel」と呼ばれている原料混合物の調製法を述べている。文献中では比較的大きなスケールでの合成のレシピとなっているが、適宜スケールを調整しても構わない。ここでは文献に記載してある1/10スケールで紹介を進める。

(1) まず、プラスチック製ビーカーに蒸留水71.03 g 測りとった後に、ここに水酸化ナトリウム1.38 g とTPAOH水溶液11.70 gを加えて、水酸化ナトリウムが「完全に (thoroughly)」溶解するまで混合する。

ガラス製ビーカーを用いると、水酸化ナトリウムやTPAOHのアルカリ作用でガラスを構成する成分が溶出し、原料混合物に不純物が混ざることがあるので、プラスチックビーカーを用いるのが望ましい。また溶解しうる原料は基本的に完全に溶解したのを確認してから、次の操作に進んだ方がよい。均一なゲルが調製出来れば、スターラーの回転速度は得られる生成物の状態にはほとんど影響しない。なお、粘性が高いゲルの場合、回転速度および攪拌時間を調整し、均一なゲルを調製する必要がある。

(2) 次に、(1)の混合物をスターラーで攪拌している

ところに、ケイ酸15.89 gを加えた後、室温で1時間攪拌する。その後、100 °Cで16時間、熟成（エージング）する。

文献中には「shake」とあるが振り混ぜなくとも、スターラーでの攪拌を引き続き行い、1時間経過後に原料が均一に混合していればよい。続いて行う100 °Cでのエージングは、原料混合物中にゼオライトの素となるシリケート種が生成すると考えられているため、ゼオライト合成における重要な操作である。容器をビーカーのまま加熱を行うと水分が蒸発してしまうので、密閉可能で耐熱性をもつフタ付プラスチック容器（PFAまたはPTFEを推奨、PEやPCでは耐熱性が低い）に原料混合物を移し、100 °Cの予熱したオープンに入れておけばよい。100 °Cの加熱はオイルバスを用いてもよい。ZSM-5の合成では、エージング中に攪拌を行う必要は特にないのでオープンの方が簡便であるが、他のゼオライトの合成ではエージング中に攪拌を要する場合もあり、その時にはオイルバスとスターラーを組み合わせて用い、加熱しながら攪拌する。

文献には書かれていないが、16時間経過したら原料混合物をオープンから取り出して、自然放冷しておく。

Synthesis Gel Preparation

この項では、先に調製した「seeding gel」にさらに原料を添加して、結晶化する直前の原料混合物を調製する。

- (1) まず、プラスチック製ビーカーに蒸留水86.78 g 測りとり、そこに水酸化ナトリウム8.8 gとアルミン酸ナトリウム1.03 gを加えた後、水酸化ナトリウムとアルミン酸ナトリウムが「完全に (thoroughly)」溶解するまで混合する。
- (2) 次に、(1) の混合物をスターラーで攪拌しているところに、ケイ酸11.31 gを加えた後、室温で1時間攪拌する。

「seeding gel preparation」の(1) および(2)の項で述べた注意点に留意して行う。

- (3) 続いて、(2) の混合物にseeding gelを5.0 g加えて、室温で1時間攪拌する。

seeding gelはよく攪拌して全体が均一になるようにしてから測りとり、(2) に少量ずつ加えていくことが望ましい。

Crystallization

Vessel: 50 mL PTFE-lined stainless steel autoclaves

Temperature: 180 °C

Time: 40 h

Agitation: none

ゼオライト合成の実験を始めるにあたって最大の難関は、オートクレーブを準備することである。

文献中では、1 kgに匹敵する原料混合物を内容積50 mlのオートクレーブに小分けにして仕込んでいる。このように文献では、原料混合物を小分けにして結晶化した場合でも、どのオートクレーブからもほぼ同様のゼオライトが得られることが再現されているが、はじめてゼオライト合成を行う際には、少量の原料を用いて原料混合物をすべて一つのオートクレーブに仕込んで結晶化した方が再現よくゼオライトを得ることができる。

結晶化は、180 °Cに予熱したオープンに原料混合物を入れたオートクレーブを入れて40時間静置しておく。今回紹介するHigh-Alumina ZSM-5は攪拌・静置を問わず結晶化可能であるが、他のゼオライトの結晶化では、攪拌 (agitation) を要する場合もある。それぞれの装置は比較的高価であるが、結晶化中に攪拌しなければ得られないゼオライトもあるので、装置の準備が必要になる場合もある (3. オートクレーブの紹介記事を参照)。

Product Recovery

- (1) Recover product by filtration
- (2) Wash thoroughly with distilled water
- (3) Dry at 105 °C for 24 hours
- (4) Pulverize dried product in an agate mortar

ここでは、結晶化後の混合物から、固体生成物であるゼオライトを回収する操作を述べている。結晶化後の混合物は、概ね粘性のある白色の懸濁液として得られる。長時間静置しておいた場合には、固相と液相が分離している様子が見られる場合もある。

- (1) 結晶化後の混合物を吸引ろ過して、固体生成物をろ紙上に集める。

ろ過にはガラス製または磁製のブフナーロートを用いるとよい。ろ紙は粗大な沈殿向けの定量ろ紙、とくに

No.5Cを推奨する。

(2) 蒸留水で固体生成物をすすいで、固体表面に残存しているアルカリ成分やTPAOHを洗い流す。

固体生成物を蒸留水で洗浄する操作は簡便のため、ロート上で行うことが多い。具体的にはロート内のろ紙の上に集めた固体生成物に蒸留水を注ぎ、葉さじなどで攪拌した後で吸引ろ過を行う。この操作を繰り返して、ロートの下から垂れてくるろ液にpH試験紙を当てて中性となったところで洗浄操作をやめればよい。洗浄後には通常、白色の固体生成物が得られる。

(3) 回収した固体生成物を蒸発皿に移し、105℃のオープンに入れて24時間乾燥する。

ろ過・洗浄後に回収した固体生成物は湿っているので、水分を蒸発させるためにオープン内で乾燥する。このとき、ビーカーのような細長い容器よりも、蒸発皿やシャーレのように平らな容器を使って、固体生成物を広く伸ばした方がよく乾燥する。

(4) 磁製乳鉢で乾燥した生成物をすり潰して粉末とする。

乾燥した固体は固まっていることもあるので、磁製乳鉢ですりつぶして粉末にする。乳鉢で触ると崩れる程度の堅さなので、数分間すり潰せば充分である。

文献中には記載されていないが、ここまでの過程で得られたゼオライトでは、ゼオライトのマイクロ孔内にTPAOHが含まれた状態であるので、焼成処理により除去する必要がある。これにはマッフル炉などのいわゆる焼成炉を用いて、焼成皿にZSM-5ゼオライトを載せて550～600℃で数時間焼成すればよい。焼成後も白色の粉末として得られ、茶色や灰色だった場合には、未燃炭素分が残存しているので、焼成温度を上げるなどの工夫をして再び焼成を行えばよい。ただしゼオライトの中には、あまり高い温度で焼成すると結晶構造が壊れてしまう場合もあるので、熱重量分析を行うなどにより、ゼオライトのマイクロ孔内にある有機物の燃焼温度を調べておき、最適な燃焼温度を検証してから焼成操作を行うことが望ましい。

3. オートクレーブの紹介

オートクレーブは、攪拌式、回転式、静置式に大別される。ゼオライトによっては、攪拌または、回転させる必要があり、その場合には攪拌羽根付きのオートクレーブを用いるか、もしくは小型のオートクレーブを回転させることで内容物を攪拌するオープンを用い

る必要がある。下記に、日本のゼオライト研究者が用いているオートクレーブ製造会社および輸入代理店のいくつかを50音順で紹介する。

※ 耐圧硝子工業株式会社

耐熱温度：260℃（テフロンシール）／300℃（メタルシール）、耐圧：20 MPa、容量：120～500 ml
方式：攪拌、静置

〒113-0021 東京都文京区本駒込3-27-9

TEL. 03-3827-8211（代）、FAX. 03-3827-8218

URL: <http://www.taiatsu.co.jp/>

※ ナックオートクレーブ株式会社

耐熱温度：300℃、耐圧：30 MPa、容量：100 mL～数十L

方式：静置、回転、攪拌（電磁攪拌）いずれも可能

〒146-0092 東京都大田区下丸子4-10-4

TEL. 03-3758-7171、FAX. 03-3758-7100

URL: <http://www.nac-autoclave.co.jp/>

※ 株式会社ヒロ

耐熱温度：210℃、耐圧：3 MPa、容量：50, 100, 150, 200, 300 mL

方式：回転、静置

〒231-0013 神奈川県横浜市中区住吉町5-64-1

TEL. 045-350-3436、FAX. 045-350-3438

URL: <http://www.hiro-company.co.jp/>

※ ユニダックス株式会社

※ Parr社製 高温加圧酸分解容器 販売代理店

耐熱温度：250℃、耐圧：1800 psi（約12.4 MPa）、容量：23, 45, 125 ml

方式：静置

〒180-8611 東京都武蔵野市境南町5-1-21

TEL. 0422-31-4250、FAX. 0422-33-1621

URL: <http://www.unidux.co.jp/>

<http://www.parrinst.com/>

4. 最後に

紙面の都合上、今回はレシピ集のNotesの欄についてはとくに触れなかったが、この欄にも合成のポイントとなることが多く記載されているので必要に応じて目を通されることをお勧めしたい。また、合成に使用

するオートクレーブは、今後、合成しようとするゼオライトの合成条件（特に、温度および攪拌の有無）を考慮され、入手していただきたい。

文 献

1) A. W. Burton, S. I. Zones, and S. Elomari, *Current*

Opinion Colloid Inter. Sci., **10**, 211 (2005); C. S. Cundy and P. A. Cox, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **82**, 1 (2005); C. S. Cundy and P. A. Cox, *Chem. Rev.*, **103**, 663 (2003).など

2) H. Robson ed., "Verified Syntheses of Zeolitic Materials, 2nd Revised Edition", Elsevier, Amsterdam (2001).

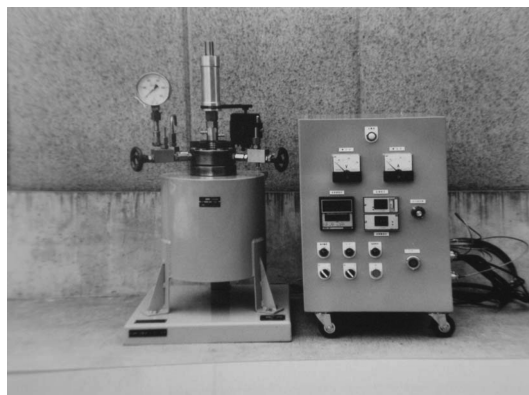
3) <http://www.iza-online.org/synthesis/default.htm>



耐圧硝子工業株式会社のオートクレーブ



株式会社ヒロのオートクレーブと回転式水熱合成装置



ナックオートクレーブ株式会社のオートクレーブ



Parr 社製オートクレーブ（輸入代理店：ユニダックス）