

Vol.27

No.2

2010

目 次

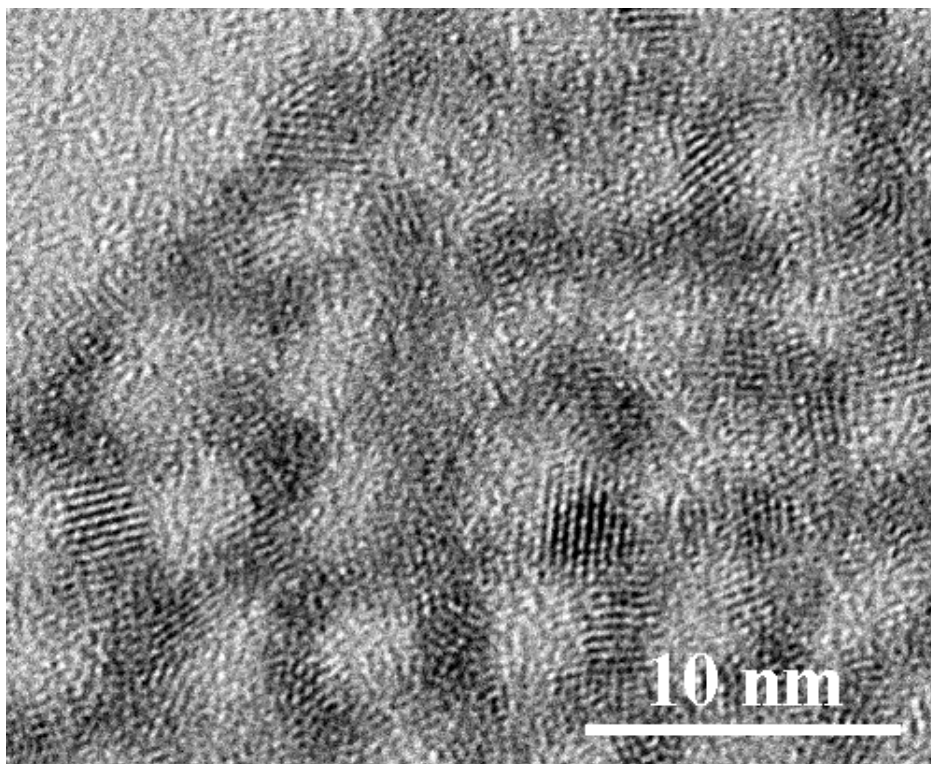
解 説 有機構造規定剤フリーゼオライト合成
～**RTH**型ゼオライトの合成を例に～
横井 俊之, 吉岡 真人, 今井 裕之, 辰巳 敬 ... 27

解 説 メソポーラスシリカ薄膜の巨視的配向
制御と光機能材料への展開 ... 宮田 浩克 ... 35

ゼオゼオ ゼオライト膜研究裏話
..... 水上 富士夫 ... 44

シリーズ そこが知りたい (3)
ゼオライトに関連する研究を行っている
研究機関リスト 会誌編集委員会 ... 48

お知らせ (59) 法人会員名簿 (63)



結晶性酸化スズメソ構造体薄膜の断面透過電子顕微鏡像
(撮影者：キヤノン（株） 渡邊壮俊)

写真説明はp.63

《 解 説 》

有機構造規定剤フリーゼオライト合成
～RTH型ゼオライトの合成を例に～

横井 俊之, 吉岡 真人, 今井 裕之, 辰巳 敬

東京工業大学資源化学研究所

合成コスト削減や合成プロセスのグリーン化といった観点から、有機構造規定剤を使用しないゼオライト合成に注目が集まっている。我々は有機構造規定剤を使用しない**RTH**型ゼオライトの合成に成功した。**RTH**型ゼオライトには、ホウケイ酸塩である**RUB-13**やアルミノケイ酸塩である**SSZ-50**がある。**RTH**型ゼオライトはそのユニークな細孔構造が故に低級アルコールから低級オレフィンを選択的に合成する触媒としての応用が期待されている。しかしながら、**RUB-13**や**SSZ-50**の合成には構造規定剤（**SDA**）として特殊な有機化合物が必要である。我々は合成コスト低減の観点から有機**SDA**に着目し、**RTH**型ゼオライトの合成条件の検討を行い、**SDA**の使用量の低減、より安価な代替**SDA**の利用が可能であることを見出した。さらに**RTH**型ゼオライトの**SDA**フリー合成に成功した。本稿では有機構造規定剤を使用しないゼオライト合成に関する研究動向について簡単に述べ、**RTH**型ゼオライトの**SDA**フリー合成に成功した経緯について詳細に解説する。

キーワード：**RTH**型ゼオライト，**SDA**フリー合成，メタロケイ酸塩

1. はじめに^{1, 2)}

ゼオライトの合成原料には、通常シリカ源（水ガラス、ケイ酸ナトリウム、コロイダルシリカ、ヒュームドシリカ、アルコキシドなど）とアルミナ源（水酸化アルミニウム、アルミン酸ナトリウム、アルコキシドなど）、鋳化剤（アルカリ金属の水酸化物、フッ化物）および水が含まれる。**Si**、**Al**はゼオライト骨格を構成する成分であり、鋳化剤はこれら金属成分を水中に溶解させる役割がある。また鋳化剤に含まれるカチオンは、最終的に骨格の負電荷を打ち消す役割を果たす。

Si/Al比の大きな高シリカゼオライトを合成する場合にはかさ高い有機化合物が加えられる。一般に

は有機アミンや第4級アンモニウム塩が用いられている。近年、Chevronのグループの先駆的な研究をはじめとして嵩高い有機分子のデザインによる、大細孔ゼオライトあるいは超大細孔ゼオライトの合成が盛んに行われている。このような有機化合物は、メソポーラスシリカを合成する際に用いられる界面活性剤と同義の「鋳型分子（template）」とよばれてきた。しかしながら、有機物の分子構造と生成する細孔の構造・サイズとは1：1の関係が必ずしも見られない。18-クラウン-6による**EMC-2**の合成など³⁾、狭義のテンプレート効果によるゼオライト合成の例は依然として限られている。このような理由から構造形成に利用される有機物に対してテンプレートではなく構造規定剤（structure-directing agent, **SDA**）という用語を使う例が多くなってきている。

分子設計した**SDA**の利用によりゼオライトの構造・組成が多様化した一方で、**SDA**はそれ自体がゼオライト合成の主要なコスト源であるのみならず、有機物を高温で焼成除去するためのエネルギーをも

受理日：2010年2月12日

〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

東京工業大学資源化学研究所

E-mail: ttatsumi@cat.res.titech.ac.jp

必要とする。さらに含窒素化合物の焼成により発生する NO_x の処理も必要である。こうした理由から工業的にゼオライトを用いるためには可能な限りSDAを用いないことが望ましい。

2. 有機構造規定剤を使用しないゼオライト合成

もともと無機イオンのみで合成できるA型(LTA), X型およびY型ゼオライト(FAU), モルデナイト(MOR)等以外にも, ZSM-5(MFI), フェリエライト(FER)のSDAフリーでの合成が報告されている。

有機SDAを用いないフェリエライト合成に関しては詳細な検討がなされている。まず, $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系から狭い範囲($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 17 \sim 18$)ではあるが純粋なフェリエライトが生成することが見出された⁴⁾。その後, (Na + K) 混合イオン系にすることで安定生成領域が広がり, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 12 \sim 23$ まで拡大できることが見出された⁵⁻⁷⁾。合成条件の一例は, 原料モル組成比「 $18 \text{ SiO}_2 : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 1.24 \text{ K}_2\text{O} : 1.21 \text{ Na}_2\text{O} : 280 \text{ H}_2\text{O}$ 」, 水熱処理条件「 180°C , 回転下, 6日間」である。(Na + K) 混合イオン系ではNaのみの場合に比べて低い結晶化温度および短い時間で結晶化が完了することが確認されている。さらに K^+ は Na^+ よりも優先的にゼオライト構造中に存在していることから, K^+ は構造規定剤として機能していると考えられている。なお, SiO_2 量を増やしていくと石英が生成し, 逆に SiO_2 量を減らしていくとHEU型が生成し, 最後は非晶質になる。一方, 有機SDAを添加する方法によるフェリエライトとしてはZSM-21, ZSM-35, ZSM-38が知られており, 有機SDAを用いない系に比べて $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比の高いものが合成されている。

一般にテトラプロピルアンモニウムカチオン(TPA^+)を用いて合成されるZSM-5についても, 狭い範囲であるが, 有機SDAを用いないで合成する手法が開発されている⁸⁾。合成条件の一例は, 原料モル組成比「 $40 \text{ SiO}_2 : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 4.5 \sim 6.0 \text{ Na}_2\text{O} : 1300 \text{ H}_2\text{O}$ 」, 水熱処理条件「 190°C , 静置下, 40 h」である⁸⁾。水熱処理温度を 170°C にすると結晶化に要する時間は100 h以上, 150°C の場合は200 h以上になる。なお, SiO_2 量を増やしていくと石英が生成し, 逆に SiO_2 量を減らしていくとMOR型が生成する。また, Na_2O 量を増やした場合もMOR型が生

成し, かつ生成物中の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比は減少する。

X型, Y型はフォージサイトであり, モルデナイト, フェリエライトと同様に天然にも存在するゼオライトであるので, SDAを用いないで合成できてもおかしくはない。注目すべきは, 最近, Xiaoらのグループにより, アルミノケイ酸塩であるECR-1⁹⁾, ZSM-34¹⁰⁾, Beta¹¹⁾について有機SDAを用いない合成が立て続けに報告されたことである。Xiaoらは種結晶を用いること, 合成ゲル組成がカギであると述べているが, 種結晶の組成, 添加量など, 詳細な合成条件についての記述はない。我々はこれまでにSDAフリーでの合成が報告されていないゼオライトでも, 種結晶を用い, なおかつ合成条件を検討することによりそれが達成できるのではないかと考えた。

3. RTH型ゼオライト¹²⁾

RTH型ゼオライトは1995年にS. Vortmannらによって報告されたRUB-13をType materialとする小細孔ゼオライトである¹³⁾。格子定数は $a = 9.762 \text{ \AA}$, $b = 20.530 \text{ \AA}$, $c = 9.996 \text{ \AA}$, $\beta = 96.897^\circ$ 。空間群は $C2/m$ の単斜晶系に属す。骨格密度は $16.1\text{T}/1000 \text{ \AA}^3$ である。Secondary Building Unitは4 (4員環) でComposite Building Unitは rth (4員環と5員環からなる構造体)。 a 軸方向に $3.8 \text{ \AA} \times 4.1 \text{ \AA}$ の円に近い細孔が通り, c 軸方向に $2.5 \text{ \AA} \times 5.6 \text{ \AA}$ の楕円の細孔が通る。この2種類の細孔がほぼ直交して2次元の細孔を形成する (図1)。Tサイトは4種類ある。合成にはSDAとして1,2,2,6,6-pentamethylpiperidine (PMP)とethylene-diamine (EDA)の両方を用いる。PMPは高価な試薬ではあるが, 市販されている。このRUB-13のほか, ITE型ゼオライトとの混相として得られるSSZ-36¹⁴⁾およびアルミノケイ酸塩のRTH型ゼオライトであるSSZ-50¹⁵⁾が報告されている。そのうち, SSZ-50は直接アルミノケイ酸塩が得られること, 比較的広い仕込み範囲で合成できることの2点からMTO (Methanol to Olefins)反応をはじめとした軽質炭化水素転換反応の触媒として応用可能な材料である。しかしながらSSZ-50の合成にはSDAとしてN-ethyl-N-methyl-5,7,7-trimethyl-2-azoniahicyclo-[4.1.1]octane hydroxideを用いる必要がある。この原料となるverbenoneが高価なうえ, 6段階, 総収率38%の反応を経なくてはならず, コストも時間

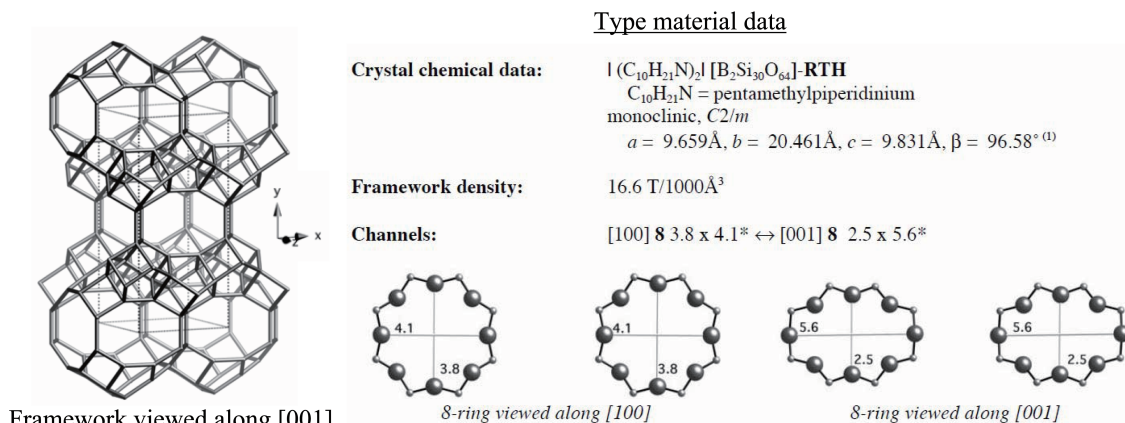


図1 RTH型ゼオライトの構造特性

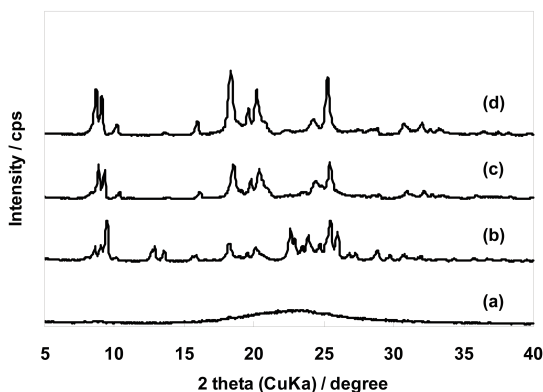


図2 仕込みAl量を変えて調製した [Al,B]-RUB-13 のXRDパターン

仕込みSi/Al = (a) 20, (b) 50, (c) 100, (d) 200.

もかかってしまう点が問題となる。なお、**ITE**型ゼオライトも小細孔ゼオライトの1種でSecondary Building UnitおよびComposite Building Unitが**RTH**型と同じである。これまでに**ITE**型ゼオライトは1,3,3,6,6-pentamethyl-6-azoniabicyclo-[3.2.1]octaneをSDAして合成される純シリカのITQ-3⁽⁶⁾が1997年に、1-azoniatricyclo[4.4.4.0]tetradecane hydroxideをSDAとして合成されるアルミノケイ酸塩のMu-14⁽⁷⁾が2000年に、それぞれ報告されている。こちらもSSZ-50と同様、SDAの合成にはコストと時間がかかることが問題となる。こうした背景から、SDAが容易に入手可能なRUB-13に関して、

合成条件の検討を行うこととした。

4. RTH型ゼオライトの合成条件の検討

4.1 既報の検証

まず、ホウケイ酸塩であるRUB-13（以後、[B]-RUB-13と表記）の合成条件の検討を行った。既報では、[B]-RTHはSi源としてtetramethyl orthosilicate (TMOS)を使用しており、 SiO_2 を1.0として H_3BO_3 を0.25～4.0、PMPを0.15～2.0、EDAを2.0、 H_2O をおよそ100加え、160℃で最短88日結晶化することで得られるとされている⁽¹³⁾。この条件は、高コストであるばかりでなく、結晶化に長時間を要しており、**RTH**型骨格へのヘテロ原子の導入や触媒・吸着分野での応用研究はもちろん、合成条件の検討など基礎的な研究の実施すら困難である。そこで結晶化時間を短縮することに取り組んだ。

まずSi源を検討した結果、TMOS以外にもtetraethyl orthosilicate (TEOS)や、より安価なヒュームドシリカでも**RTH**構造が形成することを確認した。次に結晶化時間を検討したところ、既報では温度160℃であったが、170℃にし20 rpm回転下で結晶化を行ったところ、[B]-RUB-13が7日間で結晶化することを確認した。また、水の量を検討した際、水の量をモル比25まで減らすとフェリエライトが生成したことから**RTH**構造を結晶化するには水の量が多いほうが有利であると考えた。ホウ素量としては、Si/B比が1.3から4の範囲において[B]-RUB-13が結晶化し、また仕込みSi/B比にかかわらず、得られた[B]-RUB-13の骨格組成はSi/B比20程

度で一定であった。この他種々の検討を行い、[B]-RUB-13の原料モル組成比は「1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0.5 PMP : 100 H₂O : 2 EDA」(Si源はヒュームドシリカ)、結晶化条件は「170℃, 20 rpmの回転下, 7日間」とし、更なる研究を進めた。

我々は酸触媒としての応用を視野に入れていたが、ホウ素の発現する酸性は非常に弱いうえ、容易に脱ホウ素が進行し、酸性が失われる。そこでPMPとEDAの存在下、合成ゲル中にホウ素とともにヘテロ金属源を導入しRTH型ゼオライトの合成を試みた。その結果、直接合成法により[Al,B]-, [Ga, B]-, [Fe,B]-RUB-13を合成することに成功した¹⁸⁾。例えば、[Al,B]-RUB-13の場合、仕込みSi/Al = 50の場合、FERとRTH構造の混合物であったが、高シリカな範囲(仕込みSi/Al = 100~200)では比較的広い範囲で結晶化が可能であった(図2)。

4.2 EDAおよびPMPの使用量の検討

既報の[B]-RUB-13の合成においては、PMP以外にEDAを添加しているが、EDAの役割は不明である。そこで、原料モル組成比を「1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0.5 PMP : 100 H₂O : 0 EDA」とし、PMPのみを用いて[B]-RUB-13の結晶化を試みた。なおEDAを加えないことによるpHの変動の影響をなくすため、NaOHを用いてpHを11.5に調節したところ、仕込みSi/B比1および2の場合に[B]-RUB-13が結晶化した¹⁹⁾。この事実からPMPがSDAとして[B]-RUB-13の結晶化に寄与していると考えた。なお、NaOHによるpHの調節を行わなかった場合には[B]-RUB-13の結晶化は起こらなかった。よって、[B]-RUB-13の結晶化には適度な塩基性が必要であるということがわかった。おそらくEDAの役割は塩基性の付与であると推察した。

次に、[B]-RUB-13の合成系に対して、原料モル組成比を「1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0~0.5 PMP : 100 H₂O : 2 EDA」、PMPの使用量を検討した。その結果、PMPの添加量につれてXRDのピーク強度が減少し、結晶性の低下が確認されたが、RTH型ゼオライトが結晶化することが分かった。驚くべきことにPMPを全く導入しない場合(PMP/Si = 0)でもRTH型ゼオライトが得られた¹⁹⁾。すなわち、非常に安価なEDAのみでRTH型ゼオライトの結晶化に成功した。この段階で、上記で述べた「PMPはSDAとしてRTH構造の形成に寄与している」とは

言えなくなった。

4.3 代替SDAの検討

[B]-RUB-13の合成系に対して、原料モル組成比を「1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0.25 SDA : 100 H₂O : 2 EDA」とし、代替SDAとして、*N*-methyl-piperidine (MP), hexamethyleneimine (HMI), piperidine (PI)を用いた。図3に合成したサンプルのXRDパターンを示す。PMPのほか、MPを用いてもRTH型ゼオライトが合成できた¹⁹⁾。一方、PI, HMIを用いた場合では得られたサンプルの結晶性は低く、アモルファス相物質が多く存在していた。SEM観察より代替SDAを用いて合成したサンプルの粒子形態を調べた。PMPを用いた場合、厚さ50~100 nm、長さ100~1000 nm程度の角材状の結晶が確認された。また、MP, HMIを代替SDAとした場合でもPMPを用いて合成した場合と同様の粒子形態が観測された。

興味深いことに、種々の有機SDA + EDAを用いて合成したas-synthesizedサンプルの固体¹³C-CP/MS NMRスペクトルはPMPを用いて合成した場合とMP, HMIを用いて合成した場合とでいずれも同じであった。またEDAのみで合成した場合も同様であった。このスペクトルはPMPのカチオンの分子構造に帰属できる。CHN測定からそれぞれの試料のC/N比は9前後、MS測定から分子量は156となりPMPカチオンの値と一致した。これらの結果から用

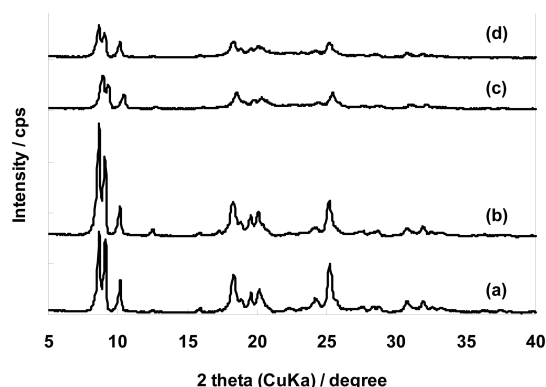


図3 様々な有機SDAを用いて調製した[B]-RUB-13のXRDパターン

原料モル組成比: 1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0.25 SDA : 100 H₂O : 2 EDA, SDA = (a) PMP, (b) MP, (c) PI, (d) HMI.

いた有機物についてはその初期構造にかかわらず結晶化過程でそれらがPMPカチオンへと構造変換していることが示唆されたが、詳細は検討中である¹⁹⁾。

これらの代替SDAのうちMPを用いて[Al,B]-RUB-13の合成を試みた。その結果、Si/Al比 = 259の試料に関しては結晶性の高い[Al,B]-RUB-13が得られたが、Si/Al比 = 171, 136とアルミニウム量の増加に伴い結晶性が低下し、非晶質の割合が増加した。Si/Al比で79から209までの比較的広い範囲で結晶化が可能であったPMPに比べると、MPを用いた場合では[Al,B]-RUB-13の結晶化が可能な組成が狭いことがわかった。

5. 有機SDAを使用しないRTH型ゼオライトの合成

PMPとEDAの両方がRTH型ゼオライトの結晶化には必要とされていたが、上述したようにPMP以外にもMPをはじめとした様々なアミンを用いることが可能であることを、さらにEDAのみでも結晶化が可能であることを見いだした。ひょっとするとSDAを使用せずともRTH型ゼオライトが結晶化するのではないかと考え、以下のステップでSDAフリー合成に取り組んだ。

5.1 NaOHの効果

SDAフリーでのRTH型ゼオライトの結晶化にあたって、鉱化剤であるナトリウム量がキーファクターとなると考え、NaOHの量を変化させて合成を試みた。NaOHを加えなかった場合、ホウ酸由来の酸により合成系が弱酸性であったこともあり、まったく結晶化せずアモルファスのままであった。しかしながら鉱化剤としてNaOHをSiに対して0.2当量加えたところ（ゲル組成1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0.2 NaOH : 100 H₂O）、大部分が非晶質であるものの、RTH構造特有の10度付近の2本のピークが確認され、一部がRTH型ゼオライトに結晶化したことを確認した。この合成系ではRTH構造を指向するファクターは一切含まれていない。なお、NaOHをSiに対して0.5加えると石英が生成した。

5.2 種結晶の効果

種結晶なしでもごく一部がRTH構造に結晶化するという事実を受け、種結晶を加えることでRTH型ゼオライトへの結晶化が促進されることを期待した。その結果、Siに対してNaOHを0.2当量加えた

合成系に2 wt%の種結晶を加えることで、大部分をRTH構造に結晶化することができた。用いた種結晶はPMP/EDAを使用する系で合成した[B]-RUB-13 (Si/B = 23)を焼成したものである。

5.3 水の量

4.1で述べたようにPMP/EDAを使用する[B]-RUB-13の合成系において、水の量が多いほうがRTH構造を結晶化しやすいとの知見に基づいて、Siに対する水の量を200とし、2 wt%の種結晶存在下、NaOH量の検討を行った。原料モル組成比は「1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : 0 ~ 1.0 NaOH : 200 H₂O」とした。図4にXRDパターンを示す。NaOH量を0.5以上にすると石英の生成が確認されたが、NaOHの量が0.2の場合、単相でRTH構造が得られた。以上より、有機構造規定剤を用いることなく、RTH型ゼオライトの結晶化に成功した。種結晶の添加、水およびNaOHの組成が重要であることが分かった。このように得られたRTH型ゼオライトを[B]-TTZ-1 (Tokyo Tech Zeolite)と名付けた²⁰⁾。

[B]-TTZ-1の粒子形態としては0.5 ~ 4 μm程度の粒子が観察され、SDAを用いた場合（0.5 ~ 10 μm）よりも若干小さいことがわかった（図5）。²⁹Si MAS NMRおよび¹¹B MAS NMRスペクトルはSDAを用いて合成した場合と同様のスペクトルを示した（図5）。

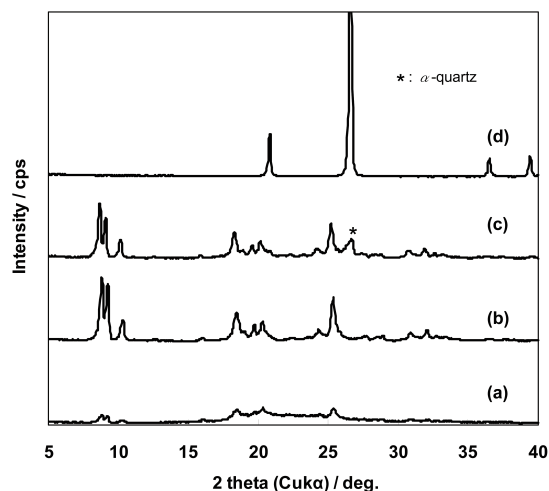


図4 Na量を変えて調製した[B]-TTZ-1

原料モル組成比：1 SiO₂ : 0.25 H₃BO₃ : x NaOH : 200 H₂O, x = (a) 0, (b) 0.2, (c) 0.5, (d) 1.0.

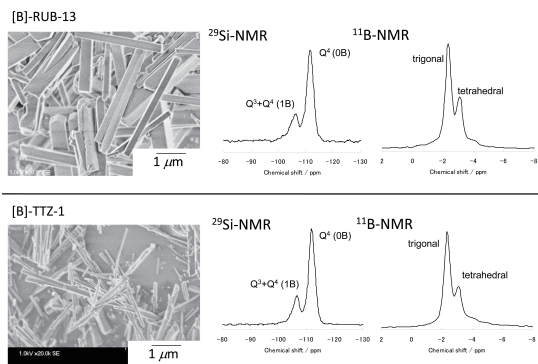


図5 [B]-RUB-13 と[B]-TTZ-1のSEM像, ^{29}Si MAS NMR および ^{11}B MAS NMR スペクトル

5.4 種結晶の役割

RTH 型ゼオライトのSDAフリー合成においては、最後に種結晶を加え、オープンにて結晶化を行う。種結晶を加え、24時間攪拌した後結晶化を試みた場合、ほぼ非晶質のみが確認された。通常、種結晶は系中に溶解し、核発生を促進するとされるが、本合成では比較的低いpHでも系中に完全溶解せず種結晶は分裂するものの結晶としての性質を残しており、核としてゼオライトの結晶化を助けている可能性がある。事実、種結晶を加えた後、長時間常温で攪拌してしまうと系のpHが低くても種結晶が溶解してしまう。そのため結晶性が著しく低下するのではないかと考えられる。種結晶の役割を明らかにするためには、種結晶の組成・合成方法・添加量など系統的に精査していくことが必要であり、現在検討中である。

6. ヘテロ原子含有**RTH**型ゼオライトの有機SDAフリー合成

RTH 型メタロケイ酸塩のSDAフリー合成にも取り組んだ。[B]-TTZ-1の合成ゲル中にアルミニウム源として硫酸アルミニウムを加えたところ、**RTH** 相に由来するピークがXRDから確認されたが、非晶質も多く存在しており、[Al,B]-TTZ-1の合成にはさらなる工夫が必要であることが分かった。

PMP/EDAを使用する系において、[Al,B]-RUB-13はAlの量が少ない高シリカナ条件で合成が容易であるという知見を得ていた。そこでSi/Al比は100

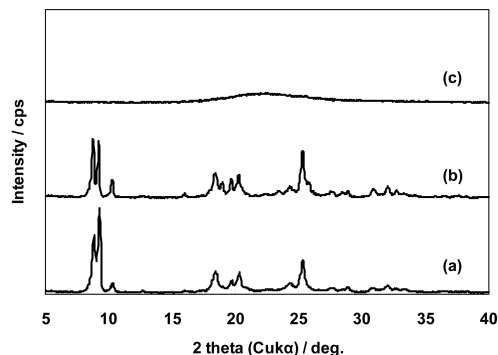


図6 [M,B]-TTZ-1のXRDパターン
M = (a) Al, (b) Ga, (c) Fe

および200に絞り、種結晶の量を5 wt%に増やして合成を試みた。その結果、両者で**RTH** 構造への完全な結晶化が起こった。種結晶の量がSDAフリー合成においては非常に大きな影響を与えていることが示唆された²⁰⁾。 ^{29}Si MAS NMR および ^{11}B MAS NMR スペクトルは[B]-RUB-13と同様であり、結晶化が問題なく起こっていることを確認した。 ^{27}Al MAS NMR スペクトルには、骨格内4配位のAlに由来するシャープなピークが存在し、骨格中にAlが導入されていることが確認できた。 $\text{NH}_3\text{-TPD}$ のプロファイルは350℃付近に化学吸着に由来するピークを示し、やや弱い酸性を発現していることを確認した。仕込みSi/Al = 100で調製した[Al,B]-TTZ-1の場合、生成物中のSi/Alは108、酸量は0.13 mmol/gであり、9割程度のAlが酸点として発現していることがわかった。

[Ga,B]-TTZ-1の合成を検討したところ、唯一、仕込みSi/Ga = 200のときのみ単相で**RTH** 構造が得られた。[Fe,B]-TTZ-1の合成にも取り組んだが、成功していない(図6)。

最後にSSZ-50タイプ、すなわちホウ素を含まない**RTH** 型アルミノケイ酸塩の合成に取り組んだ。上述のようにホウ素を含まない**RTH** 型アルミノケイ酸塩は、市販されていない複雑な構造の有機化合物をSDAとして合成されていたため、合成手法の改善が望まれていた。[Al]-TTZ-1の合成の際には、[B]-RUB-13を酸処理により脱ホウ素処理したもの(Si/B > 250)を種結晶として用いた。原料モル組成比は「1 SiO_2 : 0.0025 ~ 0.1 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 0.2 NaOH:

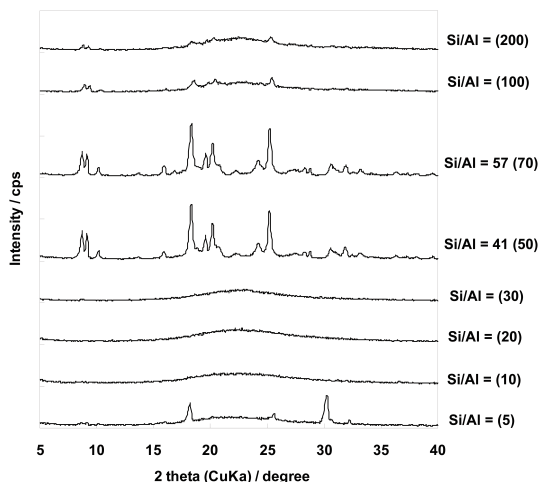


図7 Al量を変えて調製した[Al]-TTZ-1

原料モル組成比： 1 SiO_2 : 0.0025-0.1 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:
0.2 NaOH : 200 H_2O . Si/Al = 生成物(仕込み比)

200 H_2O , 種結晶5 wt%」とした。図7にXRDパターンを示す。その結果, Bフリーの条件下ではSi/Al = 41, 57と比較的アルミの多い組成で[Al]-TTZ-1が結晶化した²⁰⁾。AlとBの共存系では仕込みSi/Al = 100 ~ 200 とかなり高シリカ条件でのみ, [Al,B]-TTZ-1が得られた。Bが共存すると, **RTH**骨格中に優先的にBが取り込まれてしまい (B共存下では, 仕込みに関わらずSi/B = 20程度のBが導入される), 結果として骨格中への少量のAlしか導入されなかったものと考えられる。一方, [Al]-TTZ-1の系ではBが存在しないため**RTH**骨格中に多くのAlを取り込まなければ骨格構造を維持できない。その結果比較的Al量の多い場合に結晶化がおきたものと考えられる。PMPおよびEDAは**RTH**相に指向するだけでなく**MFI**相にも指向することが経験的にわかっている²¹⁾。そのためPMPとEDAを用いて[Al]-RUB-13を合成しようとしても**MFI**となってしまう。現時点で, 純粋な**RTH**型アルミノケイ酸塩はSSZ-50と[Al]-TTZ-1ということになる。

7. まとめ

RTH型ゼオライトの合成条件をSDAの観点から検討した。その結果, **RTH**型ゼオライトは, SDAとしてPMP以外にもMPをはじめとしたアミンを用いることが可能であること, およびEDA単独での

結晶化が可能であることを見出した。さらに, NaOH と種結晶を導入することによりSDAフリーでの**RTH**型ゼオライトの結晶化に成功した。SDAフリーで合成する際の重要な要素はNaの量と種結晶の添加である。様々な**RTH**型メタロケイ酸塩もSDAフリーで合成可能である。導入する金属の量や金属種を変化させることで幅広い酸強度及び酸量をもつ酸点を発現させることができ, 応用研究の進展が期待される。

SDAフリー合成の開発には, 既報の原料組成や水熱合成条件の検討が必要である。このような検討はゼオライトの結晶化機構, ならびに有機SDAの役割の解明につながるものと考えている。本成果は, 有機SDAの使用が前提となっていたゼオライトについてもSDAフリー合成ができる可能性を示唆するものである。研究レベルでは有望視されていたものの, 合成コストがネックとなり工業化が見送られていたゼオライトの実用化を可能にし, 結果として新たな化学プロセスが構築されることを期待している。

文 献

- 1) 富永博夫 編, ゼオライトの科学と応用, 講談社 (1987)
- 2) 小野嘉夫・八嶋 建明 編, ゼオライトの科学と工学, 講談社 (2000).
- 3) F. Delprato, L. Delmotte, J. L. Guth and L. Huve, *Zeolites*, **10**, 546 (1990).
- 4) 東洋曹達工業, 特開昭59-73423
- 5) 板橋慶治, 井川一成, 東曹研究報告, **29**, 153 (1985)
- 6) 東洋曹達工業, 特開昭60-141617
- 7) R. A. Rakoczy, M. Breuninger, M. Hunger, Y. Traa and J. Weitkamp, *Chem. Eng. Technol.*, **25**, 273 (2002).
- 8) V. P. Shiralkar and A. Clearfield, *Zeolites*, **9**, 363 (1989).
- 9) J. Song, L. Dai, Y. Ji and F.-S. Xiao, *Chem. Mater.*, **18**, 2775 (2006).
- 10) Z. Wu, J. Song, Y. Ji and F.-S. Xiao, *Chem. Mater.*, **20**, 357-359 (2008).
- 11) B. Xie, J. Song, L. Ren, J. Li and F.-S. Xiao, *Chem. Mater.*, **20**, 4533 (2008).
- 12) <http://www.iza-structure.org/databases/>
- 13) S. Vortmann, B. Marler, H. Gies and P. Daniels, *Microporous Mater.*, **4**, 111 (1995).
- 14) P. Wagner, Y. Nakagawa, G. S. Lee, M. E. Davis, S. Elomari, R. C. Medrud and S. I. Zones, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 263 (2000).
- 15) G. S. Lee and S. I. Zones, *J. Solid State Chem.*, **167**,

- 289 (2002).
- 16) M. A. Camblor, A. Corma, P. Lightfoot, L. A. Villaescusa and P. A. Wright, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **36**, 2659 (1997).
- 17) V. Valtchev, J.-L. Paillaud, T. Lefebvre, D. L. Nouen and H. Kessler, *Microporous Mesoporous Mater.*, **38**, 177 (2000).
- 18) 吉岡ら, 第102回触媒討論会 討論会A 予稿集, 3E14, p195 (2008).
- 19) 吉岡ら, (社)石油学会第58回研究発表会 講演要旨, B16, p82 (2009).
- 20) T. Yokoi, M. Yoshioka, H. Imai and T. Tatsumi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **48**, 9884 (2009).
- 21) Bourgogne *et al.*, US Patent 4,503,024 (1985)

Synthesis of **RTH**-type Zeolites without Using Organic Structure-Directing Agents

Toshiyuki Yokoi, Masato Yoshioka, Hiroyuki Imai, Takashi Tatsumi
Chemical Resources Laboratory, Tokyo Institute of Technology

Recently, 8-membered ring zeolites and zeotype materials have attracted much attention in the expectation of selective catalysis due to their small pores; e.g., they could be good catalysts with high selectivity for lower olefins in the methanol to olefins (MTO) reaction. We have possessed interests in the **RTH**-type zeolites because they have two-dimensional 8-membered ring channels and also cages that can accommodate reaction intermediates. However, since the discovery of this zeolite, intensive studies on the synthesis and application have not been done because the original synthesis method is based on the use of expensive and elaborated organic structure-directing agents (SDAs). Therefore, the preparation of various metallosilicates, the development of organic-SDAs-free synthesis route and their catalytic applications have been hardly achieved.

Here, we report the synthesis of metallosilicates with an **RTH**-topology by using the organic SDAs according to the original procedure with modifications. Furthermore, an organic-SDAs-free synthesis route to the **RTH**-type zeolites has been newly developed. The addition of the **RTH**-type zeolite as seeds into the mother gel was essential to the organic-SDAs-free synthesis.

Key words: **RTH**-type zeolite, SDA-free synthesis, metallosilicates

《 解 説 》

メソポーラスシリカ薄膜の巨視的
配向制御と光機能材料への展開

宮田 浩克

キヤノン株式会社 技術フロンティア研究センター

表面に異方性を有する基板を用いて、界面活性剤分子集合体を鋳型にして形成されるメソポーラスシリカ薄膜中の細孔構造を、膜全体にわたって配向制御することが可能である。ラビング処理を施したポリイミド膜を用い、反応条件を適切に制御することにより、シリンダー状細孔が一方に配列した細孔構造、及び球状細孔が六方最密充填した単結晶様の細孔構造を有するメソポーラスシリカ薄膜等を作り分けることが可能である。面内で高度に配向制御されたメソポーラスシリカ薄膜は、その細孔内に、適切な光機能性ゲスト材料を導入することによって、光学的な異方性を有する機能性複合体薄膜を作製することができる。このような複合体薄膜中においては、導入されたゲスト種の配向が3次的に高度に制御されるため、吸収や発光が高度な偏光依存性を示すだけでなく、導波路構造を形成して低閾値のレーザー発振を可能にするなど、光デバイスへの応用へも展開が可能である。

キーワード：メソポーラス、薄膜、配向、異方性、発光

1. はじめに

シリカという材料は、非常に優れた工業材料である。シリコンを半導体産業の主役としている大きな理由のひとつは、シリコンがシリカという安定な絶縁膜を形成することにある。シリカの吸収端は約170 nmで、紫外～可視の広い波長領域に渡って透明であり、レンズや表面コート材等、広く光学材料として用いられている。例えば、波長193 nmのArFエキシマレーザー光源の紫外光を用いたリソグラフィ装置用レンズに要求される、高い透過率と等方的高屈折率を併せ持つ材料は、シリカガラス以外あり得ない。非晶質シリカは、 SiO_4 四面体が頂点共有で連結された、フレキシブルな3次元網目構造を有し、ゾルーゲル法やCVD (Chemical Vapor Deposition) 法、スパッタリング、電子ビーム蒸着等、様々な方法で形成することが可能で、我々の身の回りのいたるところで用いられている。

メソポーラスシリカは、上記のような、優れた特性を有するシリカがマトリクスとなった、均一径メソ細孔を有する多孔体である^{1,2)}。形状を比較的自由に制御でき、特に薄膜化が可能である³⁻⁶⁾という特質が、触媒担体や吸着／分離材といった従来の多孔体の応用に加え、メソポーラスシリカの応用範囲をエレクトロニクスやオプティクスの分野にまで広げている。メソポーラスシリカ薄膜は、ゾルーゲル法、もしくは水熱合成法によって、基板上に簡単に形成することができ、プロセスの容易性と低コスト性が、この材料の産業応用の可能性を大きくしている。

メソポーラスシリカ薄膜の応用としては、反射防止膜、low-k 絶縁膜等、メソポーラスシリカの低密度という性質そのものを利用する場合と、細孔中に種々のゲスト種を有する複合体薄膜を、機能性薄膜として用いる場合とがある。後者として、メソポーラスシリカ膜に色素を担持した複合体を用いてレーザー発振を達成した例⁷⁾や、シリコン超微粒子を担持して発光性薄膜を作製した例⁸⁾がある。また、界面活性剤そのものに機能部位を組み込み、多孔質化プロセスを経ることなく、ミセル部位に共役高分子化合物を有する機能性複合体膜を作製した報告例も

受理日：2010年3月25日

〒146-8501 東京都大田区下丸子3-30-2

E-mail: miyata.hirokatsu@canon.co.jp

ある⁹⁾。

メソポーラスシリカの有する重要な性質として、細孔構造の高い規則性がある。多くの場合、メソ細孔は、孔径が均一だけでなく、その配列が高度に制御されている。従って、メソポーラスシリカ薄膜は、結晶より1桁大きな周期構造の、結晶様の微細構造を有する薄膜となる。メソポーラスシリカ膜の細孔構造は、基板界面と空気界面で規制力を受ける結果、殆どの場合、基板に対して配向性を有する。その結果、X線回折分析 (XRD) によってメソポーラスシリカ薄膜を評価すると、膜厚方向の構造周期に起因する明瞭な回折ピークが観測される。構造が基板に対する配向性を有しているため、面内方向での細孔構造が配向制御された場合、基板上のメソポーラスシリカ薄膜は、全面に渡って3次元方向で結晶の方が揃った、単結晶類似の細孔構造を有することになる。

これら3次元構造が制御された薄膜は、巨視的なその構造異方性を、機能、すなわち物性の巨視的な異方性に反映させることが可能である。ここで重要なことは、薄膜材料物性の異方性は、薄膜を形成している基板に対して制御する必要があるということである (図1)。デバイスを構成して、異方的物性を発現させる場合には、メソポーラスシリカ膜の構造を規定する座標が、アウトプットされる物性の異方性を規定する基板上の座標に対して、関連付けられていなければならない。例えば、液晶素子においては、液晶分子は基板に対して一定の方向に配向制御

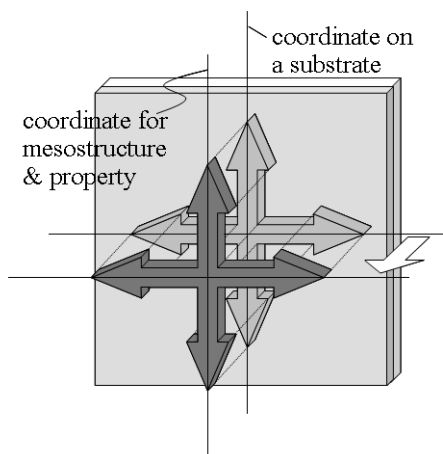


図1 基板上の座標と材料構造を規定する座標の一致

がなされ、その方向に対して偏光板等が組まれていく。材料座標系と基板座標系との相関づけは、ナノ構造材料のデバイス応用においては非常に重要な技術課題である。その上で、メソ細孔の配向制御性、すなわち、どれだけ厳密に配向制御するかということが問題となる。配向制御性の許容値は、目的とする物性によって異なるが、物性の異方性を、ナノ空間配列の異方性で達成するのであるから、配向方向の分布は狭いほど好ましいことになる。

前置きが長くなったが、我々は、上記のようなバックグラウンドにおいて、メソポーラスシリカ薄膜中のメソ細孔の面内精密配向制御と、配向制御されたメソ細孔中にゲスト種を導入して作製される複合体薄膜の異方的光学物性に関する研究とを行っている。ここでは、今までの我々の一連の研究について、紹介を行う。

2. メソポーラスシリカ薄膜中の細孔配向制御

メソポーラスシリカ薄膜中の面内細孔配向制御とは、図2に示すように、通常面内でランダムに配列するシリンダー状細孔を一方方向に配向制御する、若しくは、ドメイン構造を解消しケージ状細孔の配列を膜全面に渡って制御することを意味する。細孔の面内配向制御法は、磁場¹⁰⁾や反応溶液の流れ等^{11,12)}の外場を用いる方法と、異方性を有する基板上での配向制御の2つに大別される。これらは、液晶の配向制御と非常に類似しており、メソポーラスシリカ薄膜形成時の、界面活性剤分子集合体のリオトロピック液晶としての性質が重要な役割を果たしている。本稿では、前者の外場による配向制御に関しては記述を割愛し、後者の、我々の用いている異方性を有する基板を用いた配向制御にフォーカスして述べる。

2.1 異方性を有する基板を用いた細孔配向制御

メソポーラスシリカ薄膜中の、シリンダー状細孔の配向方向が、結晶性基板の構造を反映することは、水熱合成法による、マイカ⁵⁾、及びグラファイト劈開面⁶⁾へのメソポーラスシリカ薄膜形成に関する、初期のレポートに記述されている。しかし、これらの結晶は、面内で等価な3つの結晶軸があり、細孔の配向方向が1つには決定されていなかった。我々は、単結晶シリコン基板上での水熱合成によるメソポーラスシリカ薄膜形成を検討し、表面での原子配列の異方性の大きな(110)面上で形成される膜にお

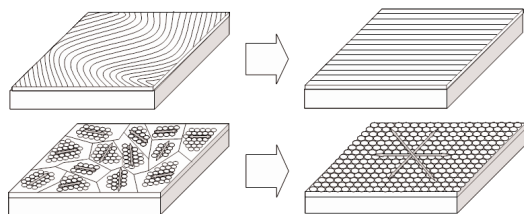


図2 メソポーラスシリカ薄膜中の面内細孔配向制御

いて、特異的に、シリンダー状細孔構造の面内配向方向が制御されることを見出した¹³⁾。ただし、最近の研究では、基板が3回対称性を有しているマイカの結晶劈開面であっても、ゾルゲル法でメソポーラスシリカ薄膜を作製した場合に関しては、非常に配向分布の狭い一軸配向制御が達成できることが報告されている¹⁴⁾。

ガラス基板のように、基板そのものが構造異方性を持たない場合には、構造異方性を有するコーティングを施すことによって、メソポーラスシリカ薄膜中の細孔の配向制御が可能である。我々は、液晶の配向制御に広く利用されている、ラビング処理を施したポリイミド膜（後述）¹⁵⁻¹⁹⁾、ポリイミドのラングミュアプロジェクト膜²⁰⁾を用いて、シリンダー状細孔の面内配向制御が可能であることを示した。また、光照射によって構造異方性を付与した高分子を用いて、細孔の配向制御を行った報告例もある^{21,22)}。これら異方性を有する高分子膜上での細孔配向制御メカニズムに関しては、図3に示すように、基板表面の配向性高分子鎖に対して界面活性剤が平行に吸着し、その結果基板表面においてミセルの方向が制御されるというモデルを提案している。これら、有機薄膜を用いる手法では、焼成によりテンプレート界面活性剤を除去する場合、メソポーラスシリカ膜を基板から剥離することなく高分子配向制御膜を除去し、基板上に直接、細孔の配向制御がなされたメソポーラスシリカ膜を得ることができる。さらに、シリコンやガラス等を基板として用いる場合には、基板表面とシリカ膜との間に結合が形成されるため、膜の密着性が増大する。

膜中の細孔配向分布を評価するために、我々は面内XRDによる分析を適用している^{15,16)}。この方法では、通常のBragg-Brentano配置の測定では得られない、基板に平行でない格子面に関する情報を得る

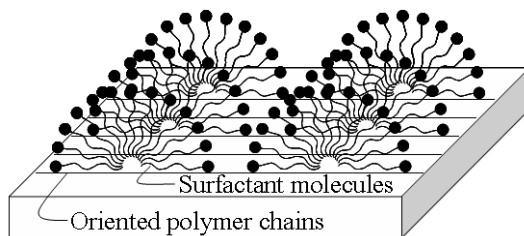


図3 基板表面でのミセルの配向に基づく配向性メソポーラスシリカ薄膜の形成モデル

ことができ、観測される回折ピーク強度の試料面内回転角度依存性を測定することで、面内での配向分布を定量的に評価することができる。

2.2 ラビング処理を施した高分子薄膜を用いた細孔配向制御¹⁵⁻¹⁹⁾

ラビング処理は、液晶素子における液晶配向手段として広く用いられている方法で、基板の上に高分子膜をコートし、回転する布を巻きつけたローラーをその高分子膜に接触させることで、異方性を付与するものである。ラビング処理では、高分子膜と布との物理的接触により形成される、ラビング方向に平行な微細溝が作り出す形状の異方性に加えて、摩擦によって、高分子膜を構成する分子鎖がラビング方向に再配列する、分子レベルの微視的異方性が期待できる。後者の効果は、ラビング処理される高分子化合物のガラス転移点等の性質に依存する。筆者らは、ラビング処理を施した種々の構造のポリイミドを用いて、メソポーラスシリカ膜作製を検討し、構造中にフレキシブルな部位を有するポリイミドが、配向制御性に優れたメソポーラスシリカ膜を与えることを見出した¹⁵⁾。

筆者らは、最初に、水熱合成による膜作製を試みた。反応条件を最適化することで、カチオン性界面活性剤（例えばcetyltrimethylammonium halide）でも¹⁵⁾、非イオン性界面活性剤（例えばpolyoxyethylene-10-cetyl ether = 商品名Brij56）でも¹⁶⁾、一軸配向性のシリンダー状細孔から構成される2次元ヘキサゴナル構造のメソポーラスシリカ連続膜を得ることができる。この場合に観測される面内XRDロックアップカーブを図4(A)に示す。このプロファイルは、シリンダー状細孔が、ラビング方向に垂直な方向に、約10度の分布を持って配向制御されていることを示す。界面活性剤の疎水基としてヘキサデシ

ル基を用いた場合、得られた膜中での細孔の配向分布は、親水部が異なってもほぼ同じであり、このことは、細孔の配向は、界面活性剤とポリイミド膜の疎水相互作用によって決定されることを示唆していると考えられる。また、界面活性剤種と濃度を適切に選択することにより、同じ基板表面に、3次元ヘキサゴナル構造の球状細孔の面内配列が基板全体に渡って制御された、単結晶様の細孔構造を有するメソポーラスシリカ膜を形成することも可能である^{17,18)}。この場合には、面内XRD ロッキングカーブには、図4(B)に示すように、60度間隔で6本の鋭い回折ピークが観測される。球状細孔の膜面内配向は、膜形成初期段階において形成された、1方向に配向制御されたシリンダー状ミセルが、シリカ壁の縮合に伴って球状ミセルへと変化することによって達成できると考えられている。

ラビング処理ポリイミド膜の配向制御能は非常に高く、構造形成への速度論的要因が大きいゾルゲルプロセスによっても、配向性メソポーラスシリカ膜を作製することができる。ディップコート法によって作製した一軸配向性のメソポーラスシリカ膜中での面内細孔配向制御性は極めて高く、水熱合成法で作製した膜よりもはるかに狭い細孔配向分布を有する(図4(C))¹⁹⁾。これには、膜形成時の温度が大きく影響していると考えている。ディップコートの際の基板の引上げ方向は、細孔の配向制御にほとんど影響を及ぼさない。透過電子顕微鏡(TEM)で解析した結果、ゾルゲル法で作製した膜では、構造の膜厚方向の収縮が大きく、細孔の断面がほぼ矩形にまで変形してしまっていることがわかった。

3. 配向性メソポーラスシリカ薄膜の細孔へのゲスト種導入と異方的光学物性の発現

以上述べたように、筆者らは、面内での細孔の配列方向が基板全体にわたって制御された、メソポーラスシリカ薄膜の作製を達成した。この細孔内に、適切な機能性ゲスト種を導入した場合、そのゲスト種の機能を巨視的なスケールで制御することが可能である。特に、筆者らが興味を持っているのが、一方向に配向制御された2次元ヘキサゴナル構造のメソポーラスシリカ膜を用いて発現される、面内での物性の異方性である。これは、下記の3つの要件が満たされた場合に、初めて達成される。

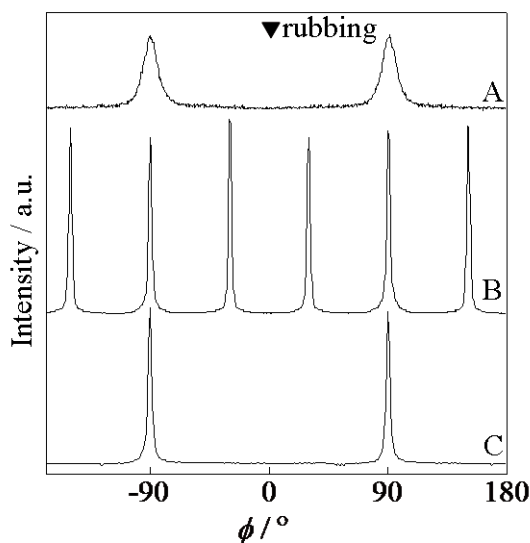


図4 ラビング処理ポリイミドをコートした基板上的配向性メソポーラスシリカ薄膜の面内XRD ロッキングカーブ(界面活性剤=Brij56) ; A: 水熱合成2次元ヘキサゴナル構造, B: 水熱合成単結晶性3次元ヘキサゴナル構造, C: ゾルゲル2次元ヘキサゴナル構造

- 導入するゲスト種が異方性を有している。
- ゲスト種が、シリンダー状メソ細孔中で、異方性を持って配置されている。
- シリンダー状メソ細孔が巨視的スケールで配向制御されている。

このことを考えて、適切なゲスト種を選択する必要がある。筆者らは、これらを満たすゲスト種である、比較的構造異方性の高い色素、半導体高分子、及び金属ナノワイヤを、配向性メソポーラスシリカ薄膜の細孔内に導入し、得られた複合体薄膜の光学的異方性について検討を行った。以下、その詳細を述べる。

3.1 シアニン色素を導入した複合体薄膜の吸収の異方性²³⁾

石英ガラス上に、ラビング処理を施したポリイミド膜を形成した基板を用い、Brij56をテンプレートに用いて、一軸配向性2次元ヘキサゴナル構造のメソポーラスシリカ薄膜を作製した。この膜をローダミン6G(図5(A))、及びシアニン色素1,1'-diethyl-2,2'-cyanine(図5(B))の溶液に浸漬し、細孔中に色素を吸着させた。色素の吸着は短時間で完了し、このことは、水熱合成で作製したメソポーラスシリ

カ薄膜の細孔壁は不完全で、細孔間に連結部が多数存在していることを示唆している。

得られたこれら2種類の複合体薄膜について、可視吸収スペクトルの偏光依存性の測定を行った結果、ローダミン6Gを吸着させた薄膜では、吸収強度の偏光依存性がほとんど観測されなかった一方で、シアニン色素を吸着させた薄膜の場合には、偏光方向が細孔の配向方向に平行な場合に吸収が最大となる、明瞭な面内の異方性を示した。この差異は、2つの色素の形状の差によって説明できる。ローダミン6Gは、形状異方性が小さく、その結果、上記bの条件が満たされず、異方性物性の発現に繋がらず、一方、シアニン色素は、細長い分子形状を有しているために、分子サイズが細孔の径よりも小さいにもかかわらず、シリンダー状細孔内で異方性をもって吸着され、その結果、a-cの条件が満たされ、光学物性の異方性発現が達成されたと考えられる。また、当然のことながら、細孔の面内での配向が制御されていない、2次元ヘキサゴナル構造膜の細孔内に、上記シアニン色素を担持させた場合には、巨視的には吸収の偏光依存性を持たない、等方的な膜となる。

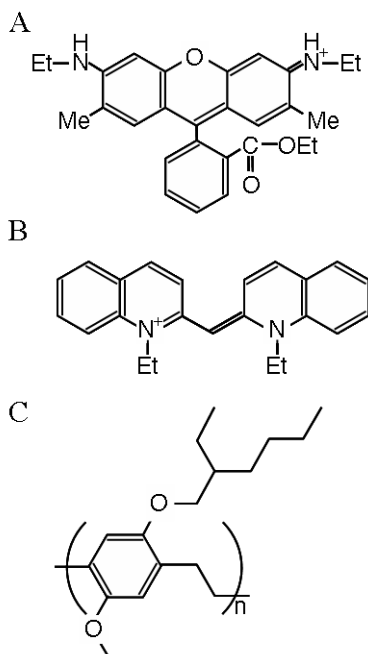


図5 細孔内に導入したゲスト種の化学構造: A: ローダミン6G, B: シアニン色素1,1'-diethyl-2,2'-cyanine, C: MEH-PPV.

これは、cの要件が満たされないからである。

3.2 発光性半導体高分子を導入した複合体薄膜の光学的性質^{24,25)}

上述したように、配向性メソポーラスシリカをマトリクスにして形成される複合体薄膜の光学的異方性は、ゲスト種の形状に大きく依存する。そこで筆者らは、よりアスペクト比の大きな機能性ゲスト種として、半導体高分子化合物に着目した。MEH-PPV (poly[2-methoxy-5-(2-ethyl-hexyloxy)-1,4-phenylene vinylene]) (図5(C))は、強い発光を示す有機EL材料であり、細孔内において、分子レベルで配向制御された場合に、高い光学的な異方性を期待することができる。

まず、問題になったのは、シリンダー状細孔への、高分子化合物の導入である。2次元ヘキサゴナル構造のメソポーラスシリカの細孔は、基板に平行に配向しているために、理想的な構造の場合には、細孔開口部は、膜端面以外には存在しない。しかし、筆者らは、高分解能走査型電子顕微鏡を用いた観察により、水熱合成法で作製したメソポーラスシリカは、構造の不連続性が大きく、膜表面にも開口部を有するという知見を得ており²⁶⁾、この欠陥を利用すれば、導入は可能であると考えた。そして、細孔壁を疎水化した膜の上に、MEH-PPVの溶液を塗布し、加熱することで、均一に高分子を細孔内に導入できるこ

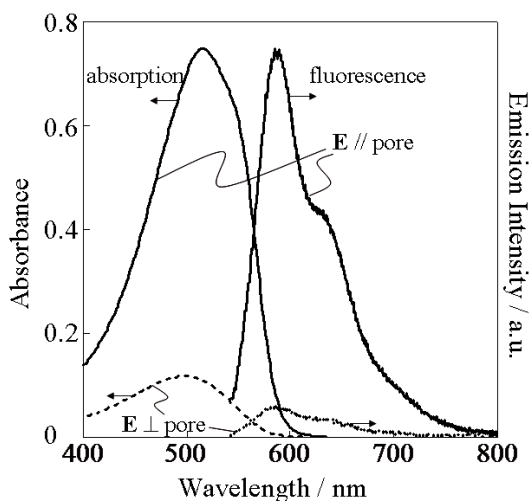


図6 MEH-PPV / 配向性メソポーラスシリカ薄膜の吸収スペクトル、及び蛍光スペクトルの偏光依存性。Eは光の電場ベクトル

とを見出した。興味深いことに、疎水化したメソポーラスシリカ膜を、MEH-PPVの溶液中に浸漬した状態で加熱しても、高分子の良好な導入は達成できない。

複合化後のMEH-PPV/メソポーラスシリカ複合体薄膜は、均一な赤色を示した。この膜の偏光吸収スペクトルを測定した結果、細孔方向と平行な偏光で測定した場合に吸収は強く、二色比6以上の高い異方性が確認された(図6)。このことは、配向性細孔内において、MEH-PPV分子鎖が、細孔に沿って直線的に存在していることを示している。吸収ピーク位置は、細孔と平行な偏光で測定した場合の方が、垂直な偏光で測定した場合よりも、約18 nm長波長側にあり、細孔方向に共役鎖が伸びていることが確認された。

この、巨視スケールで配向制御された共役鎖は、広面積からの偏光発光を可能にする。作製した複合体薄膜を、細孔に対して平行な偏光で励起し、複合体薄膜からの蛍光の細孔方向に平行、及び垂直な偏光成分を観測した(図6)。その結果、この複合体薄膜からの発光は、ほぼ完全に細孔配向方向と平行に偏光していることが明らかとなり²⁴⁾、その2色比は、吸収の場合よりも大きかった。本複合体薄膜を、細孔の配向方向に垂直な偏光で励起した場合であっても、膜からの発光は、細孔の配向方向、すなわち、共役鎖の配向方向に強く偏光している。このことは、複合体膜中においては、完全に配向制御されていない高分子鎖も存在しているが、発光は、細孔内で配向している高分子鎖から選択的に起こることを示しており、微視的スケールでのエネルギー移動を示唆するものである。

石英ガラス基板上に作製した、この複合体薄膜を、基板と同じ屈折率を有するグリセリンに浸漬することで、半導体高分子を含むメソポーラスシリカ薄膜の高屈折率部を、低屈折率材料でサンドイッチした対称導波路を構成し、発光を膜内に閉じ込めることが可能になる。この場合、膜を表面から励起した際に放出される発光は、膜の端面からのみ観測されることになる。ここで特筆すべきは、この構成にすることで、発光方向と偏光方向を同時に制御できるということである。すなわち、発光は共役鎖の配向方向に垂直な方向にしか起こらない(高分子鎖の配向方向には光が出ない)ために、矩形の基板上の膜で

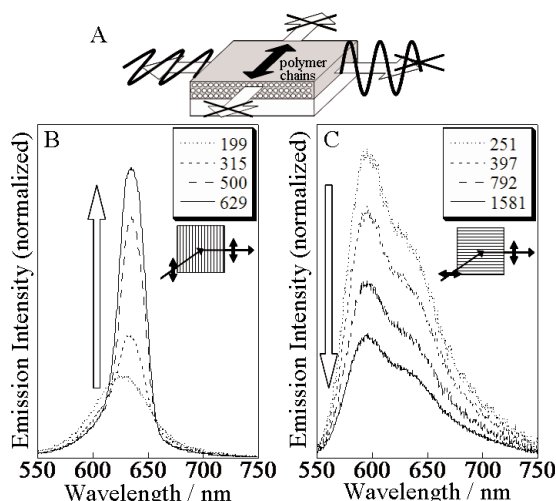


図7 MEH-PPV / 配向性メソポーラスシリカ薄膜をコアとした導波路からの異方性偏光発光。A: 模式図, B, C: 端面からの発光スペクトルの励起光強度依存性。B: 細孔に平行な電場で励起し細孔に平行な偏光成分を観測した場合, C: 細孔に平行な電場で励起し細孔に垂直な偏光成分を観測した場合。図中の数字は励起光強度: 単位 = nJ cm^{-2}

あれば、発光は4つの端面のうち、2つからのみ観測され、その光は、共役鎖の配向方向に強く偏光しているということである(図7(A))。

高分子鎖の配向方向に偏光した励起光を用いて、励起光強度の増大に伴う膜端面から放出される光のスペクトルの変化を観測すると、発光の偏光方向による明瞭な差異が観測される。高分子の配向方向に平行な偏光成分を測定した場合、励起光の増大と共に発光スペクトルは狭線化していき、ほぼ単一波長の発光が達成される。励起光強度で規格化した発光強度は、励起光強度増大に伴って増大していく(図7(B))。これは、発光方向に沿った発光部の距離が長く、十分なゲインが得られるために、共振器なしで、レーザー発振と同じ誘導放出に基づく、Amplified Spontaneous Emission (ASE) が達成されたことによる。これに反して、高分子の配向方向に垂直な偏光成分を測定した場合には、励起光強度で規格化した発光強度は、励起光強度増大に伴って減少し、スペクトルの狭線化も起こらない(図7(C))。配向方向に平行な偏光成分においてスペクトルの狭線化の起こる励起光強度の閾値は、同じ濃度の

MEH-PPVを含むポリスチレン膜の約1/20と著しく低く、この低い閾値は、発光に起因する共役鎖の3次元的な配向を、広い範囲で完全に制御したことによって達成されたものである²⁵⁾。

観測された低閾値ASEには、本複合体薄膜のもう一つの構造が関与している。それは、膜厚方向での屈折率の分布である。この複合体を作製する場合、MEH-PPVは、細孔表面から導入した。この場合には、細孔内への導入には拡散が大きく影響することになる。従って、膜内でのMEH-PPVの濃度は、膜表面から基板界面に向かって小さくなる。この導入量の分布を反映して、膜には、厚さ方向の自発的な屈折率勾配が生まれる。この構造は、導波路中への効率的な光の閉じ込めに寄与し、今回観測された低閾値ASEの一因となっていると考えられる。

3.3 白金を導入した配向性メソポーラスシリカ薄膜の光学的性質²⁷⁾

シリンダー状の細孔内に金属を充填すると、必然的にナノワイヤが形成される。メソポーラスシリカの金属レプリカを作製する研究例は多く、いくつかの手法が提案されている。メソポーラスシリカ薄膜のレプリカを作製する場合には、導電性基板上に膜を形成し、基板を電極に用いた電解めっきプロセスにより、高い充填率で金属を細孔内に導入することができる。筆者らは、ITO (indium tin oxide) 透明電極を形成したガラス基板上に、ラビング処理を施したポリイミド膜を形成し、この上に、界面活性剤とシリカ源を含む前駆体溶液をディップコートし、界面活性剤とポリイミドを焼成で除去することによって、ITO上の配向性メソポーラスシリカ膜を得た。これを電極に用いて、白金のめっきを行った結果、白金は均一に細孔中に導入され、明確な色の変化が認められた。配向性細孔構造を示唆する膜のテクスチャは、白金導入後も確認されており、白金は膜表面に形成されたのではなく、細孔内に導入されたと考えられた。白金導入により細孔構造は全く影響されず、面内の細孔の配向は完全に保持されていることが、XRDによって確認された。シリカ細孔壁をアルカリで溶解した後も、白金ナノワイヤの配列規則性は保持されており、これは、ゾルゲル法で作製したメソポーラスシリカ膜でも、シリンダー状細孔は、連結部位を有しており、その連結孔を介して、白金の導入が行われたことを示唆している。

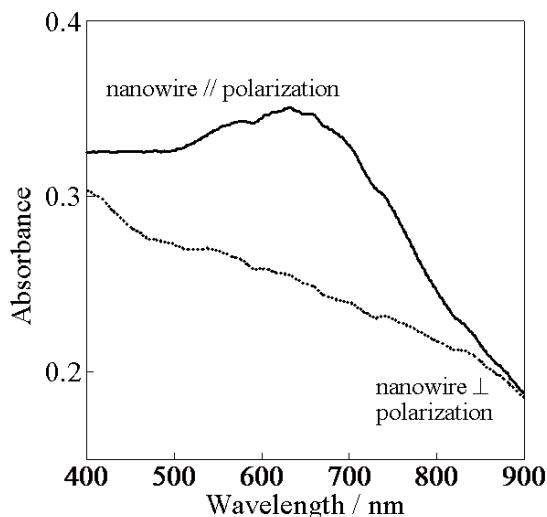


図8 白金を導入した一軸配向性2次元ヘキサゴナル構造メソポーラスシリカ薄膜の吸収異方性

高分解能透過電子顕微鏡によって、作製した白金ナノワイヤを観察すると、隣接する数本のナノワイヤに渡って同一の結晶格子像が確認されることが、この裏付けとなっている。

個々の金属ナノワイヤは、その形状異方性により、表面プラズモン吸収の異方性を示す。つまり前出のaの要件を満たす材料である。これが、配向性の2次元ヘキサゴナル構造膜中の細孔内に形成された場合には、b, cの要件も満たされるので、異方的な光学物性を示すことになる。この白金を導入した配向性メソポーラスシリカ薄膜を、偏光で観察すると、偏光方向が細孔の配向方向、すなわちナノワイヤの長軸方向に平行な場合には、大きな吸収を反映して、膜は暗く観察される一方で、細孔配向方向に垂直な偏光の場合には、ナノワイヤによる吸収が小さいために、膜は明るく観察される(図8)。

金属ナノワイヤの異方的光学物性は、ナノワイヤの材質に加え、径、アスペクト比にも依存するため、配向性メソポーラスシリカ薄膜の構造を変化させ、導入する金属種を変化させることにより、物性を変化させることが可能である。この技術を用いた、新規な光学素子の開発が期待される。

4. まとめと今後の展望

筆者らは、以上述べたような研究を通して、細孔

の配向方向が面内で制御されたメソポーラスシリカ薄膜を宿主材料に用い、適切なゲスト種との複合化を行うことによって、巨視的なスケールでの光学的異方性を有する、種々の機能性複合体薄膜が得られることを、示してきた。この研究は、今後、細孔中に導入するゲスト種をさらに拡張することにより、光学材料以外への応用展開が期待される。また、現在は、構造異方性を用いた異方の物性の発現は、一軸配向性のシリンダー状細孔の場合にのみ達成されているが、今後、単結晶性細孔構造を有する薄膜に関しても、構造異方性を物性異方性につなげる研究が望まれる。

ここで述べた、物性の異方性発現は、メソ細孔が一方に配列していることを利用している。しかし、メソポーラスシリカ薄膜の大きな魅力である、細孔の配列規則性、すなわち周期構造を応用した例は、筆者の知る限りにおいては未だ無い。結晶の周期構造を用いてエレクトロニクスが発展し、波長以下の規則構造で電磁波を制御するフォトニック結晶が注目を集めているが、メソスケールの美しい周期構造を生かした有用な応用の提案が望まれる。

謝 辞

本研究は、キヤノン(株)と早稲田大学、及びカリフォルニア大学ロスアンゼルス(UCLA)との共同研究として行われたものであり、早稲田大学 黒田 一幸教授、鈴木 崇志博士(現旭化成)、福岡 歩博士(現パナソニック電工)、UCLA Tolbert教授、Schwartz教授、Martin博士、Craig博士、Molenkamp氏、キヤノン(株)野間 敬氏、渡辺 壮俊氏、川島康裕博士、伊東 美紀氏のご協力に対し、誌面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) T. Yanagisawa, T. Shimizu, K. Kuroda, C. Kato, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **63**, 988 (1990).
- 2) C. T. Kresge, M. E. Leonowicz, W. J. Roth, J. C. Vartuli, J. S. Beck, *Nature*, **359**, 710 (1992).
- 3) M. Ogawa, *Chem. Commun.*, **1996**, 1149.
- 4) Y. Lu, R. Ganguli, C. A. Drewien, M. T. Anderson, C. J. Brinker, W. Gong, Y. Guo, H. Soye, B. Dunn, M. H. Huang, M. H., J. I. Zink, *Nature*, **389**, 364 (1997).
- 5) H. Yang, A. Kuperman, N. Coombs, S. Mamiché-Afara, G. A. Ozin, *Nature*, **379**, 703 (1996).
- 6) I. A. Aksay, M. Trau, S. Manne, I. Honma, N. Yao, L. Zhou, P. Fenter, P. M. Eisenberger, S. M. Gruner, *Science*, **273**, 892 (1996).
- 7) P. Yang, G. Wernsberger, H. C. Huang, S. R. Cordero, M. D. McGehee, B. Scott, T. Deng, G. M. Whitesides, B. F. Chmelka, S. K. Buratto, G. D. Stucky, *Science*, **287**, 465 (2000).
- 8) Ö. Dag, G. A. Ozin, H. Yang, C. Reber, G. Bussièr, *Adv. Mater.*, **11**, 474 (1999).
- 9) Y. Lu, Y. Yang, A. Sellinger, L. Mengcheng, H. Jinman, F. Hongyou, R. Haddad, G. Lopez, A. R. Burns, D. Y. Sasaki, J. Shelnutt, C. J. Brinker, *Nature*, **410**, 913 (2001).
- 10) Y. Yamauchi, M. Sawada, T. Noma, H. Ito, S. Furumi, Y. Sakka, K. Kuroda, *J. Mater. Chem.*, **15**, 1137 (2005).
- 11) H. Hillhouse, T. Okubo, J. W. van Egmond, M. Tsapatsis, *Chem. Mater.*, **9**, 1505 (1997).
- 12) M. Trau, N. Yao, E. Kim, Y. Xia, G. M. Whitesides, I. A. Aksay, *Nature*, **390**, 674 (1997).
- 13) H. Miyata, K. Kuroda, *J. Am. Chem. Soc.*, **121**, 7618 (1999).
- 14) T. Suzuki, Y. Kanno, Y. Morioka, K. Kuroda, *Chem. Commun.*, **2008**, 3284.
- 15) H. Miyata, K. Kuroda, *Chem. Mater.*, **12**, 49 (2000).
- 16) H. Miyata, T. Noma, M. Watanabe, K. Kuroda, *Chem. Mater.*, **14**, 766 (2002).
- 17) H. Miyata, T. Suzuki, A. Fukuoka, T. Sawada, M. Watanabe, T. Noma, K. Takada, T. Mukaide, K. Kuroda, *Nat. Mater.*, **3**, 651 (2004).
- 18) T. Suzuki, H. Miyata, M. Watanabe, K. Kuroda, *Chem. Mater.*, **18**, 4888 (2006).
- 19) H. Miyata, Y. Kawashima, M. Itoh, M. Watanabe, *Chem. Mater.*, **17**, 5323 (2005).
- 20) H. Miyata, K. Kuroda, *Adv. Mater.*, **11**, 1448 (1999).
- 21) Y. Kawashima, M. Nakagawa, K. Ichimura, T. Seki, *J. Mater. Chem.*, **14**, 328 (2004).
- 22) H. Fukumoto, S. Nagano, N. Kawatsuki, T. Seki, *Adv. Mater.*, **17**, 1035 (2005).
- 23) A. Fukuoka, H. Miyata, K. Kuroda, *Chem. Commun.*, **2002**, 284.
- 24) W. C. Molenkamp, M. Watanabe, H. Miyata, S. H. Tolbert, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 4476 (2004).
- 25) I. B. Martini, I. M. Craig, W. C. Molenkamp, H. Miyata, S. H. Tolbert, B. J. Schwartz, *Nat. Nanotechnol.*, **2**, 647 (2007).
- 26) H. Miyata, K. Kuroda, *Adv. Mater.*, **11**, 857 (1999).
- 27) T. Suzuki, H. Miyata, T. Noma, K. Kuroda, *J. Phys. Chem. C*, **112**, 1831 (2008).

Silica Films with Controlled In-plane Mesoporous Structures for Nanocomposite Materials with Optical Functionalities

Hirokatsu Miyata

Frontier Research Center, Canon Inc.

Fine control of porous structures of mesoporous silica films, prepared through self-assembly of surfactant molecules, is achieved using substrates with surface structural anisotropy. Mesoporous silica films consisting of uniaxially aligned cylindrical pores as well as those with single-crystalline porous structures consisting of hexagonally close-packed spherical pores can be prepared on a rubbing-treated polyimide film by optimizing the preparation conditions. These silica films with controlled in-plane mesoporous structures provide nanocomposite films with optical anisotropy by incorporating proper guest species with optical functionalities. In these nanocomposite films, three-dimensionally controlled orientation of the guest species leads to highly anisotropic optical properties. These films can be applied to optical devices such as low power-consuming lasers using improved optical properties originating from molecular-scale control of materials.

Key Words: mesoporous, film, orientation, anisotropy, emission

《 ゼオゼオ 》

ゼオライト膜研究裏話

水上 富士夫

産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門

この欄に何か書くことを頼まれ引き受けはしたのですが、何を書いたらよいのか、どうしたらよいのか、さっぱりわからないので、安易で誠に申し訳ないのですが、3月31日付けで産業技術総合研究所を退職したこともあり、私のゼオライト膜研究を振り返り、それにまつわる裏話を二つほど書かせていただきたいと思います。

私が、ゼオライト研究に関わるようになったのは、今から20年程前で、40代の中盤に差し掛かる（昭和から平成に移る）頃からでした。当時、勤務していた化学技術研究所（化技研）機能表面化学部内で研究員の配置換えがあり、入所以来ゼオライト研究に従事していた佐野さん（現在、広島大学大学院工学研究科教授）が、私が課長をしていた分子認識材料課所属となったためです。まずは、彼のゼオライト研究プロジェクトの事務的な支援で、間接的に関わるようになりました。その後しばらくして、別の部から清住さんが移ってきて、グループにおけるゼオライト研究の比重も高くなり、これにつれ、私のゼオライトへの関わりも必然的に深く濃くなりました。こんなわけですので、当時、若い二人の部下が私のゼオライトの先生でした。化技研から物質研（物質工学工業技術研究所）に変わったとき（平成5年）に、佐野さんが北陸先端科学技術大学院大学に

転出されました。これにより、グループのゼオライト研究における私の責任も非常に大きくなってしまいましたので、積極的にゼオライト研究に関与し種々テーマを出すようになりました。テーマの案出には、それまでに関わってきたゾル・ゲル法による金属酸化物合成の研究をはじめ、ウェルナー型金属錯体合成、ウィルキンソン型金属錯体触媒反応、有機自動酸化反応、アルキル化、水素化、酸化および水和等の固体触媒反応など種々の分野で働かざるを得なかったことが大いに役立ちました。前置きはこれくらいにして、まずは、本題の裏話に移りたいと思います。

ご承知のように現在、工業的にも学術的にもゼオライト膜に関する研究が盛んに行われています。ご承知の方も多いかと思いますが、実は、ゼオライト膜を世界で初めて実証したのは佐野さんです（下記総説参照：*Stud. Surf. Sci. Catal.*, **125**, 1 (1999); 表面, **37**, 537 (1999)）。オランダのデルフト工科大のグループではありません。ゼオライト膜実物の合成作製はもちろん、その分離への応用と有効性の証明についても、共に、彼が最初でした。ですから、私たちのグループはゼオライト膜研究の世界の草分けのグループの一つと言えます。でも、私たちのグループではゼオライト膜研究をやろうと決めて、始めたわけではありませんでした。たまたまです。きっかけは微小重力環境下での固体触媒合成でした。昭和の終わりか平成の初めか、確かではありませんが、その頃、オーストラリアで何かの多国間協議があり、それに出席した我が国の当時の通商産業大臣がドイツの大臣と話し合い微小重力環境下での科学技術研究協力を行うことになりました。試験検体を収納するカプセルはドイツのものを使い、ロケット・衛星にはソ連のソユーズを使うことを決めただけで、微

受理日：2010年5月7日

〒305-8565 つくば市東1-1-1 中央第5

産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門

(産総研招聘研究員, 日大客員教授, 宇都宮大客員教授, 川研ファインケミカル 顧問, 船井電機新応用技術研究所 技術顧問)

E-mail: f-mizukami@aist.go.jp

小重力環境下での科学技術研究協力の内容には一切言及なしの約束でした。そして、この約束を持ち込まれた通商産業省では、先ず論じられたことは、どんな研究をやるかではなく、どこ予算を使って約束を果たすかでした。役人と研究者の考えることは、研究開発という面では同じでも考える内容はかなり違います。どうも、特別会計の石油関連予算（石油特会）に余裕がありそうだ、石油特会を使うのであれば、石油精製をはじめとする、いわゆる石油業界が喜ぶ研究テーマでなければならない、それは固体触媒であり、中でも特に石油精製に必須のゼオライトであろう、ゼオライト研究者は我が省傘下の研究所にいるのか、いるのならその者に微小重力環境下でのゼオライト合成をドイツとの協力協定のテーマとしてやらせようということで、当時の化技研機能表面化学部長の高谷さんを通して佐野さんに白羽の矢が立ち、私たちのグループがそのテーマに関わることになりました。その当時、私は微小重力環境がゼオライト合成に効くわけがないと言っていましたし、佐野さん自身もそう思っていたのですが、本省の怖い親分達の言うことには逆えられませんので、微小重力環境下でのゼオライト合成を心ならずもやらざるを得なくなりました。微小重力いわゆる無重力環境下でのゼオライト合成となりますと、合成溶液をカプセルに詰め、それを搭載したロケットを打ち上げ、回収して終わるわけですが、打ち上げまでの待ち時間中、無重力に至る前の打ち上げ中、回収中に、合成反応が進行しては、当然、駄目なわけですが、その合成反応が無重力環境下に入ってから始まり、回収前の無重力環境下での飛行中に終わってしまっていると言う確証が必要となります。このために、地上においても種々の比較検証実験を行いました。この地上での比較検証実験で、希薄で透明なゼオライト合成溶液を用いると、反応容器であるオートクレーブの内張りテフロン表面（内壁）に、非常にもろいものでしたが、プレート状のゼオライト多結晶膜ができやすいことを認めました。これが発端となって、強固な支持体を用いる等、膜強度を高める研究を行い、分離膜へと展開することになったわけです。ちなみに、無重力環境下でのゼオライト合成の結果はどうであったかと言いますと、予想通り効果はありませんでした。当然ですが、フランスからも、同じく、効果なしの報告が雑誌に発

表されました。世界中で、同じように、無駄なことをやっていたものです。しかも、悪いことに、私たちの場合は、あろうことか、仕上げの実験となるはずの最後のカプセルの打ち上げが失敗して、ロケットがアフリカのジャングルに墜落するというおまけまで付いてしまいました。莫大な費用を使っていたので（一試験検体当たりの打ち上げ費用は約1500万円で、ゼオライト合成用には二検体、固体触媒の調製・合成用に数検体が割り当てられていました）、このプロジェクトに関わった本省の方々は大変だったらしいのですが、間もなく、私たちのゼオライト膜研究が国内外の学会で反響を呼び、それで大いに救われたようです。彼らは、後日、評判のゼオライト膜研究は無重力環境下でのあのプロジェクトがあったからこそ（すなわち、当該プロジェクトがゼオライト膜を生んだ）、と言えなかったら、どうなっていただろう、背筋が寒くなる空恐ろしい事態だったと言っていましたから。

当時は、仕分け事業・作業のない、比較的悠長なそんな時代でしたから、私たちも工業的な研究をしても、ガツガツせず商売気もほとんどありませんでした。したがって、初めてやったと言うことが担保されれば、それでよいということで、論文中心で、特許はまあ一応出しておくか、当たれば儲けものと言う程度でした。そのため、ゼオライト膜も特許は出すには出しましたが、もっとも膜形成が容易なMFI型ゼオライト膜が主体で、それも疎水性のシリカライト膜でアルコールの選択透過を示したに過ぎませんでした。アルミの入ったゼオライト膜を用いれば、逆に、水が先に出てくると言うことを話し合っていながら、当たり前だし当然だと言うことで、実験もしませんでしたし、特許請求範囲を広げて書くようなこともしませんでした。今思い出しますと、惜しかったな、失敗したかなとは思わないではないですが、商売気があまりなかったのが、致し方なかったのだと思います。似たケースはこの他にも何回もありましたし、このようなことは私たちに限らず公的機関の研究者には多いのではないかと思います。

次の裏話をしたいと思います。これは16、17年前のことだと思います。誰しも、多結晶体のプロセスングに関われば、結晶を揃え配向させたいと考えるでしょう。私たちもそう思いました。ゼオライト膜を構成する微結晶の大きさを揃え配向させるこ

とができれば、分離性能や触媒性能の著しい向上ばかりか、新たに透明性も期待できオプトエレクトロニクスへの道が拓けると考えられるからです。配向膜を作る常套手段は平滑な基板面の利用で、一般には、基板上に生成するものと格子定数の似た結晶面が使われますが、私たちは液面を利用することにしました。当時、科技厅で永山プロジェクトが進行しており、そこでは水銀面を使って高分子微粒子のほぼ無欠陥の二次元結晶を作ることに成功していたからです。これを知って以来、清住さんに盛んに水銀面上でのゼオライト合成をお願いしたのですが、なかなか試してくれませんでした。MFI等のゼオライト合成には、結晶化調整剤として有機アミンを使うのが常套であり、これがゼオライトの合成反応中に、水銀と反応して、ひょっとしたらあの水俣病の元凶の有機水銀を生ずるのでは、と懸念したためです。水銀はアルカリ性条件下では、安定だからと何度も説明・説得し、圧力をかけるので（正にバワハラというところでしょう）、しょうがない一度だけやってやるかと言うことで、シリカライト合成を試してくれたのですが、反応後のオートクレーブを開いてびっくりしました。何も無いと、彼は叫んだのですが、よく見ると透明のゼオライト膜が水銀面に浮かんでいました。水銀に接していた面は、ピカピカツヤツヤで水を弾き、オールシリカのMFIは疎水性を正にビジュアルに証明していました。清住さんといえば喜色満面で、以後は、私はそこまで丁寧に精製しなくても、と言ったのですが、彼は水銀を蒸留精製までして、ゼオライト膜合成を繰り返す有様で、著しく躊躇し腫れ物に触るようにしていたのをまるで忘れてしまったかのような働き振りでした。

この透明な自立ゼオライト膜ではMFI結晶は、通常のように典型的な六角棺状をしていましたが、よく見られるインターグロスなどが無く形がきれいで、大きさがそろっており、それまでにテフロン基板上で得られたMFI結晶の形状すなわち大きさが大小さまざまな不揃いで多くのインターグロスがあるものとは、比べ物にならないくらいに見事でした。その上、c軸配向とくに水銀面に接していた面は完全にc軸配向で、直鎖状分子と分岐鎖状分子とを見事なまでに篩い分けする正に分子篩膜でした。これは非常に面白い、と言うことで、ネイチャーに投稿したところ、一人のレフリーは即OKでしたが、もう一人の

レフリーには、どうしてそうなるのか結晶成長のメカニズムが明確に示されていないとの理由で却下されました。この透明ゼオライト膜は、誰しも美しくて面白いと思うらしく、ヨーロッパで何度となく講演・紹介しましたが、その度に、ネイチャーに載ったはずなのになぜ投稿しなかったのかとよく聞かれました。外国の友人たちが言うには、一度ぐらい返ってきたからといって、簡単にアッサリ諦めず、もう少しあの手この手で粘ってみるべきだったとのことでした。なぜきれいな多結晶膜が得られるのかよくわかりませんが、多分、水銀面が液面であることから、液面特有の表面張力波がゼオライト核生成・結晶成長に大きく関わった結果ではないかと想像しています。テフロンなどの固体基板ですと、結晶成長の元となる核が固体基板表面ならびに合成液中の両方で発生し、液中の核は重力で基板表面にすぐ落下着床し、成長すると考えますと、核の発生時の時間差によって、大小さまざまな結晶ができるため、膜構成結晶も不揃いとなるのではないかと考えられます。これに対して、水銀面は液面ですのでわずかに揺らぎ表面張力波を発生しています。この表面張力波で液中でのゼオライトの核発生が促進されると同時に、生じた核は表面張力波のために直ぐには水銀面に着床できず、水銀面より少し浮かんだところで、成長・溶解を繰り返しながら、ある一定の大きさになったところで、言い換えれば、ゼオライト粒子が水銀面の発生する表面張力波に打ち勝つ重力を持つ大きさに育ったところで、水銀面に着床し、着床した粒子が、溶液中の新たな核発生に優先して成長すると同時に、水銀面の揺らぎで密に詰められるために、緻密できれいなゼオライト膜ができるのではないかと考えましたが、これを証明することは当時の私たちのグループでは不可能でした。そこで、ネイチャーを諦め別の雑誌に再投稿したわけです。水銀面上でのゼオライト膜生成・成長は、今もこの考えでほぼ当たっているのではないかと考えていますが、証明となると、今でも相変わらず至難でしょう。

水銀以外の液面の利用は、当然考えましたし、行いました。水より、比重が大きく沸点が高ければ、そしてゼオライト合成液の強アルカリ性下でも安定であれば、原理的には水銀の代わりに使えるはずですから。しかし、これら三つの条件を満たすものは、化学便覧をはじめ色々調べたのですが見つかりま

せんでした。比重と沸点は満たすということで、フッ化炭化水素やウッド合金などを試してみたのですが、やはり予想通り、フッ化炭化水素はアルカリでフッ素がはずれ分解しましたし、ウッド合金もアルカリで溶解・腐食が起こる上、ゼオライト骨格中にウッド合金を構成する成分が入るなどして、きれいなゼオライト膜は得られませんでした。ビギナーズラックと言うか、往々にして、最初にやった実験が最もよいと言うことはよくある事で、この場合もわかりでした。水銀を使うとなると、どうしても腰が引けますが、あえて使うとすれば、揃った種結晶作りにはよいのかな、と考えております。しかし、最近、種結晶作りも進歩していますので、たとえよくても水銀面を使う必要もないでしょう。多分、今と比べて安全面が緩かった16, 17年も前だったから興味本位で、こんな実験ができたのかもしれない。

ところで、話は戻りますが、佐野さんが私たちのグループに入るようになったとき、私はシメタと思いました。理由は二つありました。一つは、実は、彼の入所以来自分のグループに引き入れようと狙っていたからです。上からの指示で、何の摩擦・抵抗もなしに来てくれるわけですから、当然、大歓迎です。もう一つは、ゾル・ゲル法では有機分子を鋳型に容易にミクロ孔を作ることはできるのですが、成型などで直ぐ潰れるので、性能面では結晶性のものには絶対に勝てないと感じていましたし、また、C1ブームが去り所内のゼオライト研究が下降中であったことも非常に気になっていたからです。言い換えれば、所内にゼオライト研究を看板にそれを強力に推し進めるグループがあってしかるべきだと思い始めていたからです。それに、ゼオライト合成も金属

アルコキシドからの酸化物合成も、共にゾル・ゲル法で、発生が古いか新しいかだけの違いと認識していましたので、佐野さんの合流以来、彼のゼオライト合成と私のゾル・ゲル法を何とか結び付けたい、絶対に結びつくはずだとの強い思いがありました。彼はと言えば、当時はいつも、グループに入れてもらったのにゾル・ゲル研究に注力しなくて申し訳ない、と言っていました…。この結び付けようとの思いが、佐野さんが大学に転出したしばらく後に、ようやく実りました。固相ゼオライト合成並びにそれによるバインダレスのゼオライトディスク膜作製や、カネマイト等層状シリケートのゼオライトへの変換などです。これらについては、上述のようなゼオライト膜でないうに、紙面の都合もありますので、詳細は割愛させていただきますが、このような思い・背景があったからこそ、その後の、前田さん（東京農工大学准教授）の日本で最初となった新規のマイクロポラス結晶無機有機複合ゼオライト (AlMepO) の合成、さらには池田さんによる層状シリケート PLS からの耐熱性のきわめて高い新規ゼオライト CDO 合成が生まれたのだと思います。

最後に一言述べさせていただきますと、多分、今のように事業仕分けに代表される評価・効率主義がはびこるような時代では、選択と集中と言えば聞こえはよいですが、余裕もなくリスクも侵さなくなりますので、上述のような研究はやりづらい、少なくとも私たちのグループでは困難であったと思います。よそ見る余裕をもち、面白いことに貪欲に邁進できることが新規構造のゼオライト合成に、またゼオライトからなる新材料設計に必要なのではないのでしょうか。若い方々に大いに期待いたします。

[シリーズ そここが知りたい (3)]

ゼオライトに関連する研究を行っている研究機関リスト

会誌編集委員会

シリーズ「そここが知りたい」の第3弾として、ゼオライトに関係する研究機関リストをお送りいたします。この情報は、昨年末より、大学・公的研究機関に所属する正会員の方々を対象にアンケートを実施し、その内容をまとめたものです。約120名の方からご回答いただきました。この場を借りてアンケートにご協力いただいた会員の皆様方に御礼申し上げます。紙面の都合もあり、きめ細かい情報を掲載することはできませんでしたが、ゼオライトに関する情報収集をする際の一助になれば幸いです。

尚、本情報は、アンケート時にご承諾いただいた方についてのみ、後日学会HPにも掲載させていただく予定です。そちらもあわせてご活用いただけると幸いです。

北海道大学

<大学院工学研究科 有機プロセス工学専攻 化学工学講座 化学システム工学研究室>

<http://cp1-ms.eng.hokudai.ac.jp/default.htm>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕吸着, 膜, 触媒
増田 隆夫 教授

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕吸着, 膜, 触媒
多湖 輝興 准教授

<大学院工学研究科 有機プロセス工学専攻 化学工学講座 材料化学工学研究室>

<http://mde-cp.eng.hokudai.ac.jp/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 吸着, その他
向井 紳 教授 smukai@eng.hokudai.ac.jp

<触媒化学研究センター 物質変換化学研究部門>

<http://www.cat.hokudai.ac.jp/fukuoka/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 修飾
福岡 淳 教授 fukuoka@cat.hokudai.ac.jp

<触媒化学研究センター 触媒物質化学研究部門>

<http://www.cat.hokudai.ac.jp/ueda/>

〔対象物質〕粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒
竹口 竜弥 教授 takeguch@cat.hokudai.ac.jp

<大学院地球環境科学研究院 物質機能科学部門 機能材料化学分野 神谷研究室>

<http://www.ees.hokudai.ac.jp/ems/stuff/okuhara/>

〔対象物質〕その他, ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 吸着, イオン交換
神谷 裕一 准教授 kamiya@ees.hokudai.ac.jp

北海道教育大学

＜教育学部函館校 理科教育講座＞

<http://www.chem.hak.hokkyodai.ac.jp/catal/index3.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 吸着, その他

松橋 博美 教授

matsuhas@hak.hokkyodai.ac.jp

室蘭工業大学

＜大学院工学研究科 環境触媒化学研究室＞

<http://www.muroran-it.ac.jp/~kanda/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒

神田 康晴 助教

kanda@mmm.muroran-it.ac.jp

秋田大学

＜大学院工学資源学研究科 環境物質工学専攻 中田研究室＞

<http://ac3.as.akita-u.ac.jp>

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕構造, 合成, 触媒

中田 真一 教授

snakata@ipc.akita-u.ac.jp

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕構造, 触媒

加藤 純雄 准教授

s_kato@ipc.akita-u.ac.jp

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 触媒, 分析

小笠原正剛 助教

＜工学資源学部 環境応用化学科 反応プロセス工学研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物, その他 〔研究分野〕合成, イオン交換, 応用

和嶋 隆昌 助教

wajima@gipc.akita-u.ac.jp

石巻専修大学

＜理工学部 基礎理学科 無機材料化学研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物, MOF 〔研究分野〕吸着, 触媒, 構造

山崎 達也 教授

t_ymzk@isenshu-u.ac.jp

東北大学

＜大学院工学研究科附属エネルギー安全科学国際研究センター 久保研究室＞

<http://www.kubo.rift.mech.tohoku.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕理論, 触媒, 吸着

久保 百司 教授

momoji@rift.mech.tohoku.ac.jp

＜大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻・核エネルギーフロンティア環境工学分野＞

<http://michiru.qse.tohoku.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕イオン交換, 膜, 吸着

三村 均 教授

hitoshi.mimura@qse.tohoku.ac.jp

＜未来科学技術共同研究センター/大学院工学研究科 宮本研究室＞

<http://www.aki.che.tohoku.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕理論, 触媒

宮本 明 教授

miyamoto@aki.che.tohoku.ac.jp

＜大学院工学研究科 化学システム工学講座＞

<http://www.aki.che.tohoku.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物, MOF 〔研究分野〕膜, 吸着, 理論

高羽 洋充 准教授

takaba@aki.che.tohoku.ac.jp

＜多元物質科学研究所 高分子・ハイブリッド材料研究センター ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野＞

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/kyotani/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕合成, 修飾, その他

京谷 隆 教授

〔対象物質〕メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕合成, 修飾, その他

干川 康人 助教

＜金属材料研究所 ランダム構造物質学研究部門＞

<http://www.xraylab.imr.tohoku.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, その他 〔研究分野〕鉱物学, 構造, 合成

杉山 和正 教授

北陸先端科学技術大学院大学

＜マテリアルサイエンス研究科 機能素材合成講座＞

<http://www.jaist.ac.jp/~ebitani/conj.htm>

〔対象物質〕粘土・層状化合物, メソ多孔物質, ゼオライト 〔研究分野〕触媒, 合成, イオン交換

海老谷幸喜 教授

ebitani@jaist.ac.jp

群馬大学

＜大学院工学研究科 応用化学・生物化学専攻 触媒化学研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

岩本 伸司 准教授

埼玉大学

＜大学院理工学研究科 三浦・黒川研究室＞

<http://www.apc.saitama-u.ac.jp/bukka/index.htm>

〔対象物質〕粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒

三浦 弘 教授

hmiura@mail.saitama-u.ac.jp

東京大学

＜大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 大久保・下嶋研究室＞

<http://www.zeolite.t.u-tokyo.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, MOF 〔研究分野〕合成, 膜, 触媒

大久保達也 教授

okubo@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, MOF 〔研究分野〕合成, 吸着, 触媒

菅原 彩絵 助教

ayae@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕合成, 構造, 吸着

上村 佳大 特別研究員

kami_127@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

＜大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 堂免・久保田研究室＞

<http://www.domen.t.u-tokyo.ac.jp>

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 触媒

堂免 一成 教授

domen@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

＜大学院総合文化研究科 尾中研究室＞

<http://maildb.s.c.u-tokyo.ac.jp/~onaka/>

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 合成, 構造

尾中 篤 教授

conaka@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 合成, 構造

増井 洋一 助教

cmasui@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

<生産技術研究所 小倉研究室>

<http://www.ogulab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, 吸着

小倉 賢 准教授 oguram@iis.u-tokyo.ac.jp

東京農工大学

<大学院工学府応用化学専攻物質応用化学専修 前田研究室>

<http://www.tuat.ac.jp/~k-maeda/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, MOF 〔研究分野〕合成, 構造, 吸着

前田 和之 准教授 k-maeda@cc.tuat.ac.jp

<大学院生物システム応用科学府 物質機能システム学講座 超分子機能システム分野 中戸研究室>

<http://www.tuat.ac.jp/~issc/>

〔対象物質〕粘土・層状化合物 〔研究分野〕イオン交換, 修飾, 分析

中戸 晃之 准教授 tnakat@cc.tuat.ac.jp

東京工業大学

<大学院理工学研究科 応用化学専攻 和田研究室>

<http://www.apc.titech.ac.jp/~kotsuka/index.htm>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, その他, 膜

和田 雄二 教授 yuji-w@apc.titech.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 修飾, 触媒

望月 大 助教 daim@apc.titech.ac.jp

<大学院理工学研究科 応用化学専攻 分子機能設計講座 無機合成化学分野 岡本研究室>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 触媒, 吸着

岡本 昌樹 准教授 mokamoto@apc.titech.ac.jp

<大学院理工学研究科 化学専攻 小松研究室>

<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~komatsu/index.htm>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 吸着, イオン交換

小松 隆之 教授 komatsu@chem.titech.ac.jp

<大学院総合理工学研究科 化学環境学専攻 馬場研究室>

<http://www.chemenv.titech.ac.jp/lab/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

馬場 俊秀 教授 tbaba@chemenv.titech.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

本倉 健 講師 motokura@chemenv.titech.ac.jp

<資源化学研究所 辰巳・野村研究室>

<http://www.res.titech.ac.jp/~shokubai/tatsumi/top.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

辰巳 敬 教授 ttatsumi@cat.res.titech.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

野村 淳子 准教授 jnomura@res.titech.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

横井 俊之 助教 yokoi.t.ab@m.titech.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

今井 裕之 助教 imai.h.ac@m.titech.ac.jp

<資源化学研究所 有機資源部門>

http://www.res.titech.ac.jp/~organic/top_page.htm

〔対象物質〕メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, イオン交換, 修飾

岩本 正和 教授 iwamoto@res.titech.ac.jp

<応用セラミックス研究所 セラミックス機能部門 原研究室>

<http://www.msl.titech.ac.jp/~hara/>

〔対象物質〕メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕触媒, 合成, 修飾

中島 清隆 助教 nakajima.k.ae@m.titech.ac.jp

日本大学

<大学院総合科学研究科 環境科学専攻>

<http://www.nihon-u.ac.jp/arish>

〔対象物質〕ゼオライト, 固体酸および塩基物質 〔研究分野〕触媒, 合成, 超臨界状態

八嶋 建明 教授

(日本大学生産工学部応用分子化学科 日秋俊彦教授との共同研究)

東京工科大学

<応用生物学部 化粧品材料化学研究室>

<http://shibata-lab.org/>

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕応用, 合成, その他

柴田 雅史 准教授 mshibata@bs.teu.ac.jp

早稲田大学

<理工学術院先進理工学研究科 応用化学専攻 黒田研究室>

http://www.waseda.jp/sem-kuroda_lab/

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物, ゼオライト 〔研究分野〕合成, 修飾, 膜

黒田 一幸 教授 kuroda@waseda.jp

<先進理工学研究科 触媒化学研究室>

<http://www.waseda-applchem.jp/lab/lab013.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕合成, 膜, 触媒

松方 正彦 教授 mmatsu@waseda.jp

<大学院創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻>

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物, その他 〔研究分野〕触媒, 修飾, 合成

小川 誠 教授 waseda.ogawa@gmail.com

帝京科学大学

<生命環境学部 自然環境学科 釘田研究室>

<http://www.ntu.ac.jp/gakubu/seimei/kankyo/lab2/kugita/index.html>

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト 〔研究分野〕触媒, 修飾, 分析

釘田 強志 教授 kugita@ntu.ac.jp

芝浦工業大学

<応用化学科 分離システム工学研究室>

<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~Lscathy/>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕膜, 吸着

野村 幹弘 准教授 Lscathy@shibaura-it.ac.jp

成蹊大学

<理工学部 物質生命理工学科 環境材料化学研究室>

<http://satokawalab.com>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 吸着, 触媒

里川 重夫 教授 satokawa@st.seikei.ac.jp

<理工学部 物質生命理工学科 光システム計測研究室>

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 構造, 触媒

本郷 照久 助教

横浜国立大学

<大学院工学研究院 機能の創生部門 窪田研究室>

http://www.chem.ynu.ac.jp/lab/kubota_lab/

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕合成, 修飾, 触媒

窪田 好浩 教授 kubota@ynu.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕合成, 触媒, 修飾

稲垣 怜史 助教

<大学院工学研究院 機能の創生部門/大学院工学府 機能発現工学専攻>

<http://www.msd.ynu.ac.jp/lab/yoshitake-lab/>

〔対象物質〕メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 吸着, 触媒

吉武 英昭 准教授 yos@ynu.ac.jp

<大学院環境情報研究院 目黒多々見研究室>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕合成, イオン交換, 構造

脇原 徹 助教 wakihara@ynu.ac.jp

横浜国立大学

<大学院生命ナノシステム科学研究科 物質計測科学部門 本多研究室>

<http://honda.sci.yokohama-cu.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, その他 〔研究分野〕構造, 吸着, その他

本多 尚 准教授 hhonda@yokohama-cu.ac.jp

防衛大学校

<応用化学科 燃料化学研究室>

<http://www.nda.ac.jp/cc/chem/>

〔対象物質〕ゼオライト, その他 〔研究分野〕構造, 吸着, 分析

横森 慶信 教授 yokomori@nda.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕構造, 合成, 触媒

西 宏二 准教授 knishi@nda.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕構造, 合成, 鉱物学

神谷奈津美 助教 natsumi@nda.ac.jp

千葉科学大学

<危機管理学部 動物・環境システム学科 環境科学コース>

〔対象物質〕粘土・層状化合物, メソ多孔物質 〔研究分野〕鉱物学, 合成, 分析

坂本 尚史 教授

沼津工業高等専門学校

＜物質工学科 物理化学講座 稲津研究室＞

<http://www.busitu.numazu-ct.ac.jp/chemhome/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 吸着, イオン交換
稲津 晃司 准教授 kinazu@numazu-ct.ac.jp

＜物質工学科 無機化学研究室＞

<http://www.busitu.numazu-ct.ac.jp/ookawa/>

〔対象物質〕粘土・層状化合物, ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕合成, 理論, 触媒
大川 政志 准教授 mokawa@numazu-ct.ac.jp

静岡理科大学

＜理工学部 物質生命科学科 界面物理化学研究室＞

<http://www.sist.ac.jp/ms/staff/yamazaki/yamazaki.htm>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕合成, 吸着, 分析
山崎 誠志 准教授 yamazaki@ms.sist.ac.jp

豊橋技術科学大学

＜工学部 環境・生命工学系 松本研究室＞

<http://www.tutms.tut.ac.jp/~kawauchi/jp/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, MOF 〔研究分野〕修飾, 吸着, 理論
松本 明彦 教授 aki@tutms.tut.ac.jp

名古屋大学

＜大学院工学研究科 物質制御工学専攻 無機材料設計講座 固体材料学グループ＞

<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/06-BS-6/satsumaken/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 分析, 理論
薩摩 篤 教授 satsuma@apchem.nagoya-u.ac.jp

富山大学

＜大学院理工学研究部工学系環境応用化学 触媒・エネルギー材料工学講座＞

<http://www3.u-toyama.ac.jp/tsubaki>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 膜, 修飾
椿 範立 教授 tsubaki@eng.u-toyama.ac.jp

長岡工業高等専門学校

＜物質工学科 加藤研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕合成, 構造, その他
加藤 正直 教授

岐阜大学

＜工学部 機能材料工学科 材料物性工学講座 大矢研究室＞

<http://mast.gifu-u.ac.jp/~mc2/>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 膜, その他
伴 隆幸 准教授 ban@gifu-u.ac.jp

<工学部 機能材料工学科 材料創成第2講座>

http://mast.gifu-u.ac.jp/~ms2/flame_j.htm

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒, 合成, その他

小村 賢一 准教授 kkomura@gifu-u.ac.jp

<工学部機能材料工学科 材料プロセス工学講座 上宮研究室>

<http://apchem.gifu-u.ac.jp/~zairyo2/index2.html>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒, 膜, 吸着

宮本 学 助教

<生命科学総合研究支援センター 機器分析分野>

<http://www1.gifu-u.ac.jp/~lsrc/dia/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕合成, 吸着, 理論

近江 靖則 准教授 oumi@gifu-u.ac.jp

京都大学

<大学院工学研究科分子工学専攻応用反応化学講座 触媒反応化学分野>

http://www.moleng.kyoto-u.ac.jp/~moleng_04/

〔対象物質〕粘土・層状化合物, メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒

穴戸 哲也 准教授 shishido@moleng.kyoto-u.ac.jp

<大学院工学研究科 触媒科学講座 触媒機能化学分野>

<http://www.ehcc.kyoto-u.ac.jp/eh41/home/>

〔対象物質〕メソ多孔物質, MOF, その他 〔研究分野〕触媒, その他

和田 健司 講師

大阪大学

<大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 山下研究室>

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp1/MSP1-HomeJ.htm>

〔対象物質〕メソ多孔物質, ゼオライト, MOF 〔研究分野〕触媒, 膜, 修飾

山下 弘巳 教授 yamashita@mat.eng.osaka-u.ac.jp

<大学院理学研究科 物理学専攻 ナノ構造物性研究室>

<http://www-nano.phys.sci.osaka-u.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕分析, 吸着, その他

野末 泰夫 教授

<大学院基礎工学研究科 化学工学領域 反応システム学グループ>

[http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/ueyamalabo/ueyamalabo\(J\).html](http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/ueyamalabo/ueyamalabo(J).html)

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕膜, 吸着, 触媒

西山 憲和 准教授 nisiyama@cheng.es.osaka-u.ac.jp

大阪府立大学

<大学院工学研究科 マテリアル工学分野 生体材料分野>

<http://biomat.mtr.osakafu-u.ac.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, イオン交換, その他

中平 敦 教授 nakahira@mtr.osakafu-u.ac.jp

<ナノ科学材料研究センター 阪本研究室>

http://www.nanosq.21c.osakafu-u.ac.jp/ttsl_lab/y_sakamoto/index.html

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕構造, 分析, その他

阪本 康弘 講師 y-sakamoto@21c.osakafu-u.ac.jp

関西大学

＜環境都市工学部 エネルギー・環境工学科 分離システム工学研究室＞

<http://www.cheng.kansai-u.ac.jp/Bunri/>

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，その他 〔研究分野〕構造，膜，吸着

田中 俊輔 助教 shun_tnk@ipcku.kansai-u.ac.jp

岡山理科大学

＜自然科学研究所 地球科学研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕鉱物学，地質学，分析

西戸 裕嗣 教授 nishido@rins.ous.ac.jp

広島大学

＜大学院工学研究科 物質化学システム専攻 環境触媒化学研究室＞

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

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成，修飾，触媒

佐野 庸治 教授 tsano@hiroshima-u.ac.jp

〔対象物質〕メソ多孔物質，ゼオライト，その他 〔研究分野〕合成，構造，触媒

定金 正洋 准教授 sadakane09@hiroshima-u.ac.jp

鳥取大学

＜工学研究科 化学・生物応用工学専攻 応用化学講座 丹羽研究室＞

http://www.chem.tottori-u.ac.jp/~niwa/index_j.htm

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒，修飾，分析

丹羽 幹 教授 mikiniwa@chem.tottori-u.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕触媒，分析

片田 直伸 准教授 katada@chem.tottori-u.ac.jp

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質 〔研究分野〕触媒，分析，修飾

奥村 和 助教 okmr@chem.tottori-u.ac.jp

島根大学

＜総合理工学部物質科学科 高機能触媒研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，MOF 〔研究分野〕触媒

久保田岳志 准教授

徳島大学

＜大学院ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門 レーザーナノサイエンス研究室＞

<http://www.eco.tokushima-u.ac.jp/w3/ecoA-1/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕吸着，分析，触媒

橋本 修一 教授 hashi@eco.tokushima-u.ac.jp

＜大学院ソシオテクノサイエンス研究部 先進物質材料部門 化学プロセス工学講座 C-2研究室＞

<http://www.chem.tokushima-u.ac.jp/C2/>

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質 〔研究分野〕吸着，触媒，イオン交換

加藤 雅裕 准教授 katoh@chem.tokushima-u.ac.jp

＜大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部 基盤科学研究部門 物理化学研究室＞

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，粘土・層状化合物 〔研究分野〕触媒，分析

山本 孝 准教授 t-yamamo@ias.tokushima-u.ac.jp

愛媛大学

＜大学院理工学研究科 物質生命工学専攻 応用化学コース 無機材料化学分野＞

<http://www.chime-u.ac.jp/~achem/solid/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕吸着, 触媒, 分析

八尋 秀典 教授

hyahiro@eng.chime-u.ac.jp

＜大学院理工学研究科 環境機能科学専攻 無機化学研究室＞

<http://chem.sci.chime-u.ac.jp/~inorg1/>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕触媒, 吸着, 合成

高橋 亮治 教授

rtaka@chem.sci.chime-u.ac.jp

北九州市立大学

＜国際環境工学部 エネルギー循環化学科 山本勝俊研究室＞

<http://www.7b.biglobe.ne.jp/~zeolite/labo/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, 粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成, 触媒, 構造

山本 勝俊 准教授

katz@env.kitakyu-u.ac.jp

九州国際大学

＜経済学部 経営学科 岡本(地学)研究室＞

<http://www.kiu.ac.jp/faculty/econ/business/member-1/okamoto.html>

〔対象物質〕ゼオライト, 粘土・層状化合物, メソ多孔物質 〔研究分野〕鉱物学, 地質学, 分析

岡本 真琴 准教授

okamoto@econ.kiu.ac.jp

国立科学博物館

＜理工学研究部 理化学グループ＞

http://www.kahaku.go.jp/research/department/sci_engineer/index.html

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕触媒, 吸着, その他

若林 文高 研究主幹

f-waka@kahaku.go.jp

財団法人 電力中央研究所

＜原子力技術研究所 次世代サイクル領域＞

<http://criepi.denken.or.jp/jp/nuclear/sector/s2.html>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕イオン交換, 吸着, 応用

魚住 浩一 主任研究員

財団法人 ファインセラミックスセンター

＜ナノ構造研究所 微構造・界面解析部＞

http://www.jfcc.or.jp/37_nanotech/index.html

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質 〔研究分野〕構造, 膜, 理論

佐々木優吉 部長

sasaki@jfcc.or.jp

財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)

＜化学研究グループ 無機材料チーム＞

<http://www.rite.or.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト, メソ多孔物質, その他 〔研究分野〕吸着, 膜, その他

余語 克則 主任研究員

yogo@rite.or.jp

北海道立工業試験場

<http://www.hokkaido-iri.go.jp/>

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，粘土鉱物 〔研究分野〕イオン交換，吸着，応用（農業関連）

尾谷 賢 場長

otani@hokkaido-iri.go.jp

執行 達弘 材料技術部 セラミックス技術科研究員 shigyo@hokkaido-iri.go.jp

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>

<http://unit.aist.go.jp/tohoku/>

〔対象物質〕ゼオライト，粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成，構造，分析，膜

清住 嘉道 ナノポーラス材料チーム 主任研究員

kiyozumi-y@aist.go.jp

池田 卓史 ナノポーラス材料チーム 主任研究員

<環境管理技術研究部門>

<http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/ci/>

〔対象物質〕メソ多孔物質 〔研究分野〕合成，吸着，応用

小菅 勝典 吸着分解研究グループ 主任研究員

k.kosuge@aist.go.jp

久保 史織 吸着分解研究グループ 研究員

kubo-shiori@aist.go.jp

菅澤 正己 励起化学研究グループ 主任研究員

m-sugasawa@aist.go.jp

<環境化学技術研究部門>

<http://unit.aist.go.jp/isc/ci/index.html>

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，粘土・層状化合物 〔研究分野〕合成，吸着，応用

遠藤 明 化学システムグループ グループ長

endo-akira@aist.go.jp

川合 章子 化学システムグループ 主任研究員

akiko-kawai@aist.go.jp

井川 信彰 化学システムグループ 特別研究員

n-ikawa@aist.go.jp

<ナノシステム研究部門>

http://unit.aist.go.jp/nri/index_j.html

〔対象物質〕ゼオライト，メソ多孔物質，粘土・層状化合物

〔研究分野〕合成，膜，触媒，構造，物性測定，応用

水上富士夫 ナノシステム研究部門 招聘研究員

f-mizukami@aist.go.jp

小平 哲也 ナノ科学計測グループ 主任研究員

kodaira-t@aist.go.jp

<先進製造プロセス研究部門>

<http://unit.aist.go.jp/amri/>

〔対象物質〕メソ多孔物質，層状化合物，その他 〔研究分野〕合成，吸着，触媒，応用

木村 辰雄 テーラードリキッド集積研究グループ 研究員

<新燃料自動車技術研究センター>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕修飾，触媒

鈴木 邦夫 排出ガス浄化チーム 主任研究員

<エネルギー技術研究部門>

<http://unit.aist.go.jp/energy/index.htm>

〔対象物質〕ゼオライト 〔研究分野〕触媒

稲葉 仁 BTL 触媒グループ 研究員

mg.inaba@aist.go.jp

お知らせ

第26回ゼオライト研究発表会

「第26回ゼオライト研究発表会」は、一昨年度と同じ東京都江戸川区の「タワーホール船堀」で開催いたします。ゼオライト、メソ多孔体、およびそれら類縁化合物に関連した研究成果の発表を期待します。例年充実した研究発表と活発な討論の場になっておりますので、奮ってご参加ください。

主 催：ゼオライト学会

協 賛：化学工学会，触媒学会，石油学会，日本イオン交換学会，日本エネルギー学会，日本化学会，日本吸着学会，日本セラミックス協会，日本地質学会，日本粘土学会，日本膜学会，有機合成化学協会（予定，順不同）

会 期：2010年12月2日（木）～12月3日（金）

会 場：タワーホール船堀（東京都江戸川区船堀4-1-1，TEL. 03-5676-2211，<http://www.towerhall.jp/>）

テーマ：ゼオライト，メソ多孔体，およびその類縁化合物に関連した研究の基礎から応用まで

***最寄駅は都営新宿線船堀駅ですが，JR 総武線新小岩駅，錦糸町駅，東京メトロ東西線葛西駅，西葛西駅よりバスの便もあります。**

講演の種類：

- 1) 特別講演（討論を含めて60分）2件予定
- 2) 総合研究発表（成果がある程度まとまっている研究を総合したもの。したがって，既発表の研究成果であっても，それらをまとめた内容であればよい。討論を含めて30分）
- 3) 一般研究発表（未発表の研究成果の発表。討論を含めて20分）

発表使用機器：液晶プロジェクター利用の発表のみ。PCは各自ご用意下さい。対応が難しい場合には，申し込み時に御相談ください。

講演申込：総合研究発表及び一般研究発表を募集いたします。7月1日（木）よりゼオライト学会のホームページ（<http://www.jaz-online.org/>）上の講演申込フォームに従いお申し込みください。記入事項はつぎのとおりです。(1) 講演題目，(2)

発表者氏名（講演者に○印），(3) 所属機関，(4) 講演の種類（総合研究発表，一般研究発表の区別），(5) 研究分野（プログラム編成の参考にするため，次の分野からひとつを選んでください：鉱物学，地質学，構造，合成，イオン交換，修飾，吸着，触媒，応用（農業，洗剤など），その他），(6) 連絡先（郵便番号，住所，氏名，電話番号，fax 番号，e-mail アドレス）

申込をされた方には申込完了通知をメールでお送りします。完了通知の到着をもって受付完了いたします。通知が未着の場合には，問い合わせ先までご連絡ください。

*** Web 申込が利用できない場合には，7月16日（金）までに問い合わせ先までご連絡ください。**

講演申込締切：7月26日（月）

予稿原稿締切：11月1日（月）（9月中旬に執筆要領をお送りします。）

予稿送付先：zeolite@apc.titech.ac.jp

登録費：会員（主催ならびに協賛等の学協会の個人会員，およびゼオライト学会団体会員の法人に所属する人を含む）5,000円，学生2,000円，非会員10,000円（予稿集代を含む。当日申し受けます。）

懇親会：12月2日（木）講演終了後，同館内にて。参加費5,000円（学生3,000円）の予定

問い合わせ先：

里川重夫（成蹊大学理工学部）

TEL. 0422-37-3757, FAX. 0422-37-3871, E-mail: satokawa@st.seikei.ac.jp

第18回ゼオライト夏の学校

本年で18回目となるゼオライト夏の学校を，今年は2泊3日で，下記の通り企画致しました。鶴飼などで有名な長良川温泉で開催します。講義はゼオライトなどの規則性多孔体に関して基礎から応用まで初学者にわかりやすくお話しして頂く予定です。ポスター発表も企画致しましたので，多数の参加をお待ちしております。（学会ホームページ：<http://www.jaz-online.org/>）。

主 催：ゼオライト学会

会 期：2010年9月2日（木）午後～4日（土）午

前 (2泊3日)

会場：長良川スポーツプラザ

〒502-0817 岐阜県岐阜市長良福光青襖2070-7

<http://www.gifu-sportsplaza.jp/>

岐阜バス「市内ループ線」JR 岐阜駅10 番乗り場
又は名鉄岐阜駅4 番乗り場より乗車、「メモリアル
センター北」で下車、北へ徒歩5 分)

講義：

＜ゼオライト・多孔体の基礎＞

「ゼオライト合成の現状」(横浜国大) 窪田 好浩

「ガス吸着法を用いたゼオライト及びメソ多孔体の
特性化」(豊橋技科大) 松本 明彦

「透過型電子顕微鏡法を用いたナノ空間材料の微
細構造解析」(JFCC) 佐々木 優吉

＜最近のトピックス＞

「層状物質への相転移を始めとする $\text{AlPO}_4\text{-5}$ の特
異な性質とその利用」(産総研) 小平 哲也

「MOF の合成と吸着／分離」(岐阜大) 植村 一広
ポスター発表：20 件程度

参加募集人数：40 名程度 (学生並びに企業の若手研
究者の方を対象)

参加費：一般 40,000 円, 学生 20,000 円。当日会場
にてお支払い下さい。

申込締切：2010 年7 月31 日 (土)

申込方法：E-mail にて、下記申込先 (以下の情報を
記入) にご連絡下さい。研究室などでまとめてお
申込み頂いても結構です。(1) 氏名, (2) 性別,
(3) 年齢, (4) 所属 (大学の方は研究室名まで),
(5) 連絡先 (住所, 電話番号), (6) メールアド
レス, (7) ポスター発表の希望, (8) 滞在日程
(宿泊数, 到着予定時刻など)

申込先：産業技術総合研究所中部センター 木村 辰
雄, TEL. 052-736-7235, E-mail: t-kimura@asit.
go.jp

世話人：小村 賢一 (岐阜大), 木村 辰雄 (産総研中
部)

会場：ホテル花月園 (神奈川県箱根町仙石原1244,
<http://hotel.kagetsuen.net/>)

触媒サマーセミナーは昭和45 年から毎年夏に箱根
で行われており、今年は第41 回を迎えます。今回は
「規則性多孔体と触媒」というテーマのもと、各分
野で先端のご研究を行われている先生方をお招きし、
ご講演と歓談を通して懇親を深めたいと思います。

本セミナーは、ゆったりとしたスケジュールで行
われます。通常の講演とはひと味違うリラクセス
した雰囲気の中で、自由な意見交換がなされる場と
して定着しております。箱根高原のさわやかな環境
の中、懇親の場としてぜひ活用してください。ご家族
の参加も歓迎いたします。

プログラム：

第1日目 8月4日 (水)

「ゼオライト表面での低級アルケンおよびアルコ
ールの挙動」(東工大) 野村 淳子

「固体酸触媒基礎編：アルカンの分解機構」(大
学評価・学位授与機構) 小野 嘉夫

第2日目 8月5日 (木)

「ゼオライト触媒を用いたエタノールからの低級
オレフィン合成」(産総研) 藤谷 忠博

「ゼオライト上酸点の特徴的な挙動」(ウベテク
ニカルセンターアジア・宇部興産) 後口 隆

「マイクロ波を利用した触媒反応」(東工大) 和
田 雄二

「ゼオライトおよびメソポーラスシリカ合成の進
展と新たな利用」(東大) 大久保 達也

第3日目 8月6日 (金)

「メソ多孔体の合成と特異なナノ空間反応場の設
計」(豊田中央研究所) 稲垣 伸二

「メソポーラスシリカの量産化とナノ空間材料と
しての実用化」(太陽化学) 南部 宏暢

※プログラム順は都合により変更させていただく
場合もございますのでご了承ください。

参加定員：70 名

参加費：

＜2泊3日の場合＞

学生；触媒学会員35,000 円, 非会員45,000 円

一般；触媒学会員50,000 円, 非会員65,000 円

同伴者；23,000 円

＜1泊2日の場合＞

学生；触媒学会員23,500 円, 非会員33,500 円

第41 回触媒サマーセミナー

主催：触媒学会 (東日本地区)

会期：2010 年8 月4 日 (水) ～6 日 (金)

一般；触媒学会員38,500円，非会員53,500円
 同伴者；11,500円

申込方法と申込先：以下の事項をご記入の上，7月1日（木）までにE-mailまたはFAXでお申し込みください。氏名，年齢，性別，所属，連絡先（住所・電話・FAX・E-mail），参加資格（一般・学生），会員区分（正会員・学生会員・団体会員・非会員），喫煙・禁煙の希望，ご家族同伴の有無（有の場合は，大人，子供別の人数）

E-mail: sinagaki@ynu.ac.jp（稲垣怜史），FAX. 045-339-3941（窪田研究室 触媒サマーセミナー）

参加費の振込先：三井住友銀行 国分寺支店（店番号836），普通口座，口座番号：2121775，口座名：サマーセミナー ダイヒョウ クボタ ヨシヒロ

問合先：

- (1) 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5，横浜国立大学大学院工学研究院 機能の創生部門 窪田 好浩，TEL/FAX. 045-339-3926，E-mail: kubota@ynu.ac.jp
- (2) 〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1，成蹊大学理工学部物質生命理工学科 里川 重夫，TEL. 0422-37-3749，FAX. 0422-37-3871，E-mail: satokawa@st.seikei.ac.jp
- (3) 〒227-8502 横浜市青葉区鴨志田町1000，（株）三菱化学科学技術研究センター R&D部門 合成技術研究所 仮屋 伸子，TEL/FAX. 045-963-3170，E-mail: 7802456@cc.m-kagaku.co.jp

第54回粘土科学討論会

主 催：日本粘土学会

共 催：ゼオライト学会ほか

会 期：2010年9月6日（月）～8日（水）

会 場：名古屋大学 IB 電子情報館

〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

講 演：

A. Asian Clay

B. 一般講演：口頭発表，ポスター発表，提案型セッション

C. 会長講演：岡田 清（東京工業大学）

D. 特別講演：片山 新太（名古屋大学）

E. シンポジウム

一般講演の申込：Webにて講演申込と講演要旨原稿を同時に行います。ただし，Webからの申し込みを利用できない場合，下記問い合わせ先へご連絡ください。なお，発表者の内1名は本学会会員であることが必要です。

日本粘土学会HP アドレス：

<http://www.soc.nii.ac.jp/cssj2/index.html>

申込期間：2010年6月15日（火）14：00 ～ 6月29日（火）14：00

Web申込後に確認の返信をしますので，返信が届かない場合はご連絡ください。

参加登録料（講演要旨集を含む）：会員（共催学会員を含む）6,000円，学生会員 4,000円，非会員 10,000円

懇親会：2010年9月7日（火）18：30～

名古屋大学 東山グリーンサロン

会費：一般 7,000円，学生 3,000円

懇親会参加申込書を参照の上，メール・FAXまたは官製はがきにて，下記申込先にご送付願います。

見学会：見学会は開催いたしませんのでご了承ください。

問合せ，申込先：

〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

名古屋大学エコトピア科学研究所

第54回粘土科学討論会実行委員会 鈴木 憲司

TEL/FAX. 052-789-5537，E-mail: k-suzuki@esi.nagoya-u.ac.jp

または

〒690-8504 島根県松江市西川津町1060

第54回粘土科学討論会実行委員会 笹井 亮

TEL/FAX. 0852-32-6399，E-mail: rsasai@riko.nagoya-u.ac.jp

第29回無機高分子シンポジウム グリーンテクノロジーの最新の進歩 —材料からデバイスまで—

地球上の二酸化炭素の排出量を削減し，安定した

低炭素社会を構築することは、現在を生きる我々に課せられた大きな使命であり、現代社会のあらゆる分野で「創エネルギー」「蓄エネルギー」「省エネルギー」を実現し、環境・エネルギーの諸問題を解決するグリーンテクノロジーが切望されています。グリーンテクノロジーの開発には、新しい特性を持った材料の提供が不可欠で、無機高分子や有機-無機ハイブリッドなどの次世代機能材料が重要なキーマテリアルとなってきています。そこで本シンポジウムでは、グリーンテクノロジーに必要な材料の合成からグリーンデバイスの開発まで、産業界・学界の第一線で活躍の研究者にご講演をお願いいたしました。また、意見交換の場としてご利用いただけるようコーヒープレイクの時間も設けさせていただきました。皆様のご参加をお待ち申し上げております。

主 催：高分子学会 無機高分子研究会

協 賛：ゼオライト学会ほか

日 時：2010年6月25日（金）10:30～17:00

会 場：早稲田大学55N号館1階大会議室（新宿区大久保3-4-1）

講 演：

1. 「グリーンデバイス：MEMS から BEANS へ」（慶應大理工）三木 則尚
2. 「大面積色素増感太陽電池の開発状況」（フジクラ）松井 浩志
3. 「メソポーラスシリカ：マイクロ・ナノ反応場から省エネ空調システムへの応用まで」（産総研）遠藤 明
4. 「地球温暖化を防止する高分子系CO₂分離膜」（地球環境産業技術研究機構）風間 伸吾
5. 「低燃費タイヤを取り巻く規制と技術動向ーシラ

ンカップリング剤CABRUSー」（ダイソー）市野 智之

6. 「グリーンデバイスとしてのLEDの用途と、それに適応したLED封止材」（ダイセル化学工業）奥村 浩一

※プログラムは予告なく変更になる場合がございます。予めご了承下さい。

参加要領：

- 1) 定員 100 名
 - 2) 参加費（税込）企業 13,650 円、大学・官公庁 5,250 円、学生 2,100 円、名誉会員・終身会員・フェロー・ゴールド会員・シルバー会員 2,100 円、無機高分子研究会メンバー（a）企業 10,500 円（b）大学・官公庁 4,200 円
 - 3) 申込方法 高分子学会学会申込サイト <http://www.spsj.or.jp/entry/> からお申込いただくか、下記申込用紙にご記入いただき、FAX または郵便にてご送付の上、参加費を6月末までにご送金ください。申込受付後、参加証と請求書（希望者のみ）を順次送付いたします。
 - 4) 振込先 銀行振込＜三菱東京UFJ 銀行銀座支店 普通預金1126232（社）高分子学会＞
郵便振替＜00110-6-111688（社）高分子学会＞
振込手数料は申込者にてご負担くださいますようお願いいたします。銀行・郵便振替の領収書をもって本会からの領収書とさせていただきます。
- 申込先：**高分子学会 第29回無機高分子シンポジウム係、〒104-0042 東京都中央区入船3-10-9 新富町ビル6F、TEL. 03-5540-3771, FAX. 03-5540-3737

ゼオライト学会法人会員名簿

(平成22年5月現在, 五十音順)

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. 旭化成ケミカルズ (株) | 19. 帝人 (株) |
| 2. 出光興産 (株) | 20. 東京ガス (株) |
| 3. イビデン (株) | 21. 東ソー (株) |
| 4. エア・ウォーター (株) | 22. (株) 豊田中央研究所 |
| 5. エヌ・イー ケムキャット (株) | 23. 日揮 (株) |
| 6. 花王 (株) 素材開発研究所 | 24. 日揮触媒化成 (株) |
| 7. コスモ石油 (株) 中央研究所 | 25. 日揮ユニバーサル (株) 研究所 |
| 8. JFE スチール (株) | 26. 日本ガイシ (株) |
| 9. シスメックス (株) | 27. 日本化学工業 (株) |
| 10. (株) ジャパンエナジー 精製技術センター | 28. 日本ケッチェン (株) |
| 11. 昭和電工 (株) 研究開発センター | 29. 日本ベル (株) |
| 12. 新東北化学工業 (株) | 30. 富士化学 (株) |
| 13. 新日本石油 (株) | 31. 水澤化学工業 (株) |
| 14. ズードケミー触媒 (株) | 32. 三井化学 (株) |
| 15. 住友化学 (株) | 33. 三菱化学 (株) |
| 16. 太陽化学 (株) | 34. 三菱樹脂 (株) |
| 17. 太陽日酸 (株) | 35. 三菱レイヨン (株) |
| 18. 千代田化工建設 (株) | 36. ユニオン昭和 (株) |

表紙裏写真の説明

結晶性酸化スズメソ構造体薄膜の断面透過電子顕微鏡像
(撮影者: キヤノン (株) 渡邊杜俊)

非イオン性界面活性剤Brij56をテンプレートに用い、ゾルーゲル法で基板上に作製された、酸化スズメソ構造体薄膜の高分解能断面透過電子顕微鏡像。Cassiteriteに由来するフリンジが明瞭に観察され、フレームワークが数ナノメートルの粒径の微結晶から構成されていることがわかる。

編集後記

本学会は一つの材料（物質群）を対象として、様々な分野の研究開発、運用等に関わる会員が所属していることに特徴があります。分野はもちろん、習熟度の異なる会員の方々全てが、一つでも有益情報を見つけて頂けるよう始めた企画「シリーズ そこが知りたい」。第3弾の今回は、大学・公的研究機関に所属する正会員の方々の研究内容のキーワードをまとめました。今後の研究開発等で情報収集する際にお役立ていただければ幸いです。

現編集委員長（当時は幹事）のお誘いを受けて、本誌編集委員会に加えていただいてから5期目を迎え、今となつては最近の本誌の表裏を最もよく知る一人となつてしまいました。自身の教育研究と直接関係のない仕事に対する時間と気持ちの余裕もない中、最新の動向を簡単に知ることができる上に、専門に関わらず自分が知りたいと思う分野を俯瞰する総説・解説を企画できる特権があるために続けて参りました。ただこれらの特権を十数名の編集委員に限定する必要はありません。「この分野の総説・解説が読みたい。」「この先生の解説記事を読みたい。」など、本誌に関わるどのようなことでも結構ですので、会員皆様のご意見、ご希望を広く伺いたいと存じます。また本誌がこれからも皆様のお手元において頂けるよう微力ながらお手伝いをさせていただきます。

(K. N.)

ゼオライト／ZEORAITO (Zeolite) 編集委員

委員長

里川重夫（成蹊大）

Editor-in-Chief

Shigeo Satokawa (*Seikei University, Musashino*)

幹事

西 宏二（防衛大）

Managing Editor

Koji Nishi (*National Defense Academy, Yokosuka*)

伊藤宏行（エヌ・イー ケムキャット）

Hiroyuki Itoh (*N. E. CHEMCAT Corp., Numazu*)

稲垣怜史（横浜国大）

Satoshi Inagaki (*Yokohama National University, Yokohama*)

牛尾 賢（日揮触媒化成）

Masaru Ushio (*JGC Catal. Chem. Ltd., Kawasaki*)

遠藤 明（産総研）

Akira Endo (*AIST, Tsukuba*)

近江靖則（岐阜大）

Yasunori Oumi (*Gifu University, Gifu*)

小川 宏（東ソー）

Hiroshi Ogawa (*TOSOH Corp., Shunan*)

杉田修一（ユニオン昭和）

Shuichi Sugita (*UNION SHOWA K.K., Tokyo*)

富田俊弘（日本ガイシ）

Toshihiro Tomita (*NGK Insulators, Ltd., Nagoya*)

中戸晃之（東京農工大）

Teruyuki Nakato

(*Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei*)

西山憲和（阪大）

Norikazu Nishiyama (*Osaka Univ., Toyonaka*)

望月 大（東工大）

Dai Mochizuki (*Tokyo Institute of Technology, Tokyo*)

山崎淳司（早稲田大）

Atsushi Yamazaki (*Waseda University, Tokyo*)

山本 純（住友化学）

Jun Yamamoto (*Sumitomo Chemical Co., Ltd., Sodegaura*)

涌井顕一（出光興産）

Kenichi Wakui (*Idemitsu Kosan Co., Ltd., Ichihara*)

ゼオライト／ZEORAITO (Zeolite)

Vol.27, No.2 平成22年6月10日発行

発 行 ゼオライト学会

〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-6-7 宮沢ビル601

Tel. 03-5821-7120 Fax. 03-5821-7439

e-mail: sec@zeo-japan.com

(連絡はFax またはe-mail にてお願いいたします。)

URL <http://www.jaz-online.org>

印 刷 有限会社 オフィス・ソフィエル