

Adsorption News

Vol. 30, No. 2 (August 2016)

通巻 No.117

目 次

○巻頭言	2
吸着科学を基に次を目指す	金子 克美
○ホットトピックス	3
シリカ系ナノ多孔性材料の新規合成とその細孔解析	Watcharop Chaikittisilp
Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の透過分離特性	瀬下 雅博
○第 12 回国際吸着会議 (FOA 12) 特集	17
会議総括	加納 博文
会議レポート	遠藤 明 田中 秀樹 山崎 誠志 近藤 篤 瓜田 幸幾
参加レポート	山谷 達也 野村 啓太 吉元 政嗣
○会告	32
第 30 回日本吸着学会研究発表会のお知らせ	
第 26 回吸着シンポジウム (吸着夏の学校) 開催のお知らせ	
○関連学会のお知らせ	36
○維持会員一覧	43

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

吸着科学を基に次を目指す

信州大学・エネルギー・環境材料科学研究所

金子克美



我々人類は有限系の地球に生きているが、文明社会の方向は絶えず『成長』にある。資源・エネルギー・食糧は無限ではないので、我々の社会原理に『有限のなかでの無限の挑戦指標』を導入しないと、社会を構成する人々に大きな活力を期待しながらの、地球上での長期的生存は成り立たない。科学は有限をあたかも無限に近付ける力も秘めているし、科学的創造への絶えざる挑戦こそが科学者の使命であり、科学者にとっての喜びである。この意味で科学と科学者のこれからを論ずることは、人類の在り方の典型的な一例を示すことになる。吸着科学は全科学のなかではほんの小さな分野にすぎない。しかし、その役割は極めて大きく、アプローチ次第で偉大な寄与を成し得る分野であり、取り組む研究者の個のレベルからも挑戦性と意義の高い良質の研究分野となりうる。

学問としての吸着は1960年代までに大枠はできている。そこでは多くの吸着材について吸着等温線と吸着速度式が綿密に検討された。一見すると既に何も研究することはないようである。しかし、それらには実体がない。たとえ統計力学を適用しようと、現象論的なレベルであり、物質系としての構造論的な実体がない。1980年代の後半頃から、モデル細孔体の登場に合わせて、統計力学と計算機科学がハイブリッドした分子シミュレーションが吸着科学に導入されるようになった。これは吸着の実像を描くことに大きな役割を果たしてきた。しかし、分子シミュレーションにしても、吸着における重要な物理因子の抽出と実験との綿密な対比なくしては、吸着の構造論レベルでの理解になりえない。私自身はこの辺りの段階から吸着科学の研究に加わった。そこで目指したのが、吸着現象の構造論的理解を進めることであった。幸い多くの優れた学生達が私の思うところを推進し、友人達も後押しをしてくれたために、ある程度理解を得た。当然ながら未知の領域・未開拓領域が吸着領域にはまだふんだんにある。それら未開拓で本質的な課題を更に見出し、解決へとチャレンジする必要がある。どうしたらそれら課題に出会えるのか。

課題探索には二つの道がある。一つは過去の文献を探り、そこから将来性ある課題を引き出す、もうひとつは、大事と思える課題に体当たりして重要要素に出会い、可能な限り独自の研究を推進する。前者はオーソドックスであり、後者は時として無に帰する。研究

者の知見が不十分で既に多くの研究がある場合が多いからである。私は後者の道を歩むことを好んだ。しかし、不十分な知識による多くの失敗もあり、研究してくれた学生達に迷惑をかけた。何故、後者を好んだかという、より挑戦的であり、意欲が湧いたからである。“継ぎ足す”より“最初的一步”のほうが果たすべきことが多いと思えたからである。さて、後者型ルートを取る時に、一定程度“安全”な課題選定法がある。基礎的観点から、応用に近いところを見てみることである。

応用に近いところは、企業の方々が関心を持ち調査していることがある。そのような時は企業の方々との交流が大変役立つ。また見通しが甘い場合でも、次につなげることができる可能性が高い。その一つの例が国境のない流動性資源である大気と海洋にある。それらから有用資源を濃縮する技術は相当程度確立している。しかし、例えば、空気分離にしても、現技術をはるかに凌駕する画期的な技術の創出は可能ではないかと私は勝手に考えている。今のようにナノスケールでの物質マニピュレーションができる時代に、優れてはいるが従来型の技術だけで良いとは思えない。あるいはppmレベルの対象物質を容易に高濃度にもってくることはできないか。これらの研究は上首尾にゆけば、省エネルギーを始めとして人類生存に大いに役立つであろう。そんなことを考える時、企業で真剣に取り組んでいる方々の見識は極めて貴重な示唆を与えてくれる。

さて、私は2010年3月に千葉大学を退職後、2010年4月から2014年3月までJSTの地域卓越プロジェクト（信州大学）の特別特任教授として、その後、環境・エネルギー材料科学研究所（信州大学）で研究専任教授として研究を推進している。多くの皆さんのご支援もあり、従来からの研究継続というよりは、吸着科学と固体科学をベースにした、新たなナノマテリアルズ科学の研究を進めている。漸く信州大での独自の成果が出てきて楽しみも多い。

金子克美

信州大学 環境・エネルギー材料科学研究所
特別特任教授（2014年4月より）

略歴 1969年 横浜国立大学工学部卒業

1971年 東京大学理学系大学院修士課程修了

ホットピックス

シリカ系ナノ多孔性材料の新規合成とその細孔解析

Novel synthesis of silica-based nanoporous materials and their pore analysis

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻
Department of Chemical System Engineering,
The University of Tokyo
チャイキッティスイン ワッチャロッパ
Watcharop CHAIKITTISILP

1. はじめに

ナノ多孔性材料は、高比表面積や大細孔容量などの特徴を有し、触媒、吸着材、低誘電率・低屈折率材料など幅広い応用が期待されている。中でも、ゼオライトやメソポーラスシリカをはじめとするシリカを基本構成要素とする多孔体は、細孔径分布が狭く、工業的に広く用いられる重要な材料である¹⁾。

ゼオライトは結晶性多孔質材料であり、結晶内の空間に由来するマイクロ細孔を持つ。他方、メソポーラスシリカは規則的なメソ細孔が典型的で、壁面は通常非晶質である。材料性能の向上やより広範な応用を実現するために、これらシリカ系多孔性材料の細孔径を想定する応用に合わせて設計し、緻密に制御して合成するという合理的なスキーム開発が望まれる。ところが、一般に大細孔径（1 nm 程度）のゼオライトは合成が難しく、1.3–2 nm 程度のマイクロ孔とメソ孔の境界領域は、ゼオライトでもメソポーラスシリカでも到達が困難である。さらに、10 nm 以上の細孔径は緻密な制御が難しいのが現状である。

本稿では、シリカ系ナノ多孔性材料のマイクロからメソ、マクロまでの細孔制御が可能な合成法について解説する。第2節では、部分構造体の集積によるボトムアップ・アプローチでマイクロ孔を持つ有機シリカの合成を述べる。続いて第3節では、マイクロメソ境界領域の細孔径を実現するための、有機分子と無機骨格の相互作用の制御によるアプローチを紹介する。最後に第4節では、ハードテンプレート法によるメソマクロ孔の中空間制御について紹介し、さらに従来メソマクロ領域の細孔解析を複雑化するものであったヒステリシスを利用する、ヒステリシススキャン測定

結果を報告する。

2. かご型シルセスキオキサンを構造単位としたマイクロ孔を持つ有機シリカの合成

ゼオライトの結晶ネットワーク構造をつぶさに観察すると、4配位原子が n 個含まれる n 員環や、4員環が2つ結合した二重4員環（ $d4r$ ）などの共通する部分構造が頻繁に現れることが分かる。このような部分構造を予め用意しておき、レゴのようにつなぎ合わせることで、新しい結晶構造を持つ材料を設計的に合成するという試みは、直感的かつ美しいアプローチと言える²⁾。例えば、ACO型構造を持つゼオライトは、 $d4r$ 部分構造の連結によって成る結晶であると言え、調製した $d4r$ を自己組織化させてACOへと結晶化させるといった戦略が考えられる。ところが、このようなアプローチをゼオライト合成で実現することは困難である。その本質的な理由の1つは、ゼオライトを構成する主な相互作用がSi-O結合のみであるという点にある。 $d4r$ を構成する結合もそれを連結させる結合も、共にSi-O結合であるため、 $d4r$ を連結し得るような可逆反応条件では、必然的に $d4r$ の開裂、無秩序な再結合が起こってしまい、予め調製した前駆体が破壊されてしまうのである。

一方、有機配位子と金属イオンから構成される、多孔性配位高分子（PCP）、金属-有機構造体（MOF）と呼ばれる多孔性材料は、このような設計的合成を実現している^{3), 4)}。その成功の秘訣の1つは、デザインされた有機配位子が、有機配位子-金属イオンの相互作用の起き得る条件で破壊されない点にある。金属イオンと官能基との間の配位結合は比較的弱い相互作用であり、共有結合に影響を与え得ない比較的弱い条件下で自己組織化反応が進行するのである。ところが、この配位結合の弱さ故、PCPやMOFは高温条件や水熱条件で構造を維持できず、多くの実用的な応用に適さないとされる。

シリカ系材料特有の安定性を保ちつつ、設計的要素を導入するため、我々は $d4r$ を元にした構造設計に立ち返った⁵⁾。 $d4r$ の頂点に有機官能基又はHが結合した構造は、かご型シルセスキオキサンと呼ばれ、容易に合成することが可能である。かご型シルセスキオキサン同士を、Si-O結合以外の相互作用で連結するために、我々はNi(0)を触媒とするYamamoto反応に注目した⁶⁾。このハロゲン化したベンゼン環同士を結合させるカップリング反応は有機溶媒中の比較的

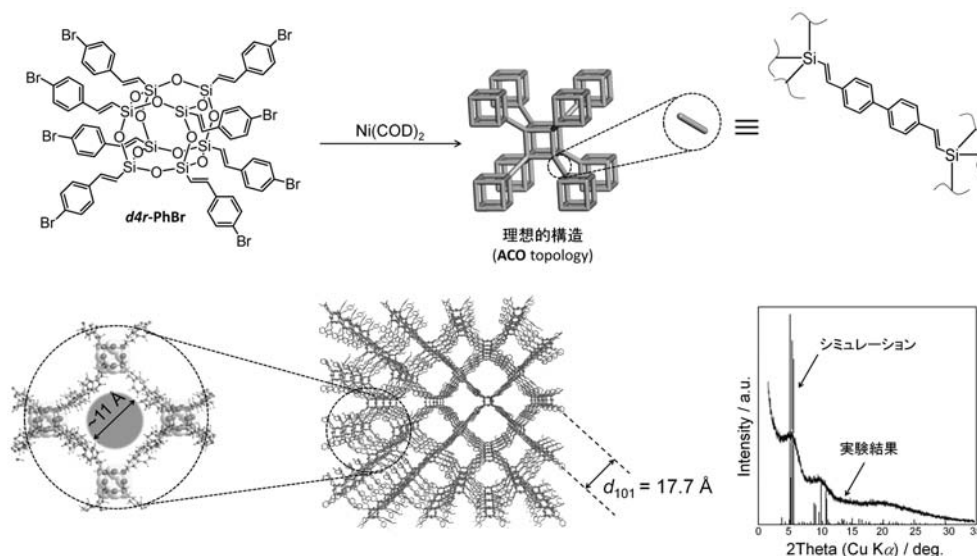


図1 かご型シルセスキオキサンを構造単位としたマイクロ孔を持つ有機シリカの合成

温な条件で進行するため、*d4r* の Si-O 結合への影響が小さいと考えられる。ACO 型ゼオライトの結合方向を参考に、図1のような剛直な官能基を *d4r* に修飾した。このようにデザインした前駆体 *d4r*-PhBr を Yamamoto 反応によって重合させ、得られたサンプルをエネルギー分散型蛍光 X 線、核磁気共鳴により分析したところ、カップリング反応が完了しており、*d4r* を形成する Si-O 結合が約 94 % が残存した、有機-無機ハイブリッドポリマーが合成されていることがわかった。粉末 X 線回折によって分析したところ、結晶性ではないものの、一定の周期的構造が存在することがわかった。3つのピークの面間隔 d はそれぞれ、17.6、8.9、4.3 Å であり、ACO 型トポロジー上に連結した理想的な結晶構造モデルのシミュレーションパターンと照合したところ、驚くべきことに対応関係がみられた。結晶モデルから算出した d_{101} の面間隔は 17.7 Å であり、実験値とよく一致する。おそらく、検出された回折ピークは、有機官能基の連結によって周期的に配列した *d4r* によるものであろう。

透過型電子顕微鏡によりハイブリッドポリマーを観察したところ、比較的均一なマイクロ孔が存在することが確認できた。その細孔構造を調べるために、窒素吸脱着実験を行うと、低相対圧領域で急激に吸着量が増加し、高相対圧領域で吸着量が小さくなるという、マイクロ孔を持った材料に特有の等温線が得られた。等温線から算出された BET 比表面積は、 $1045 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 、全細孔容積は $1.01 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ であり、ハイブリッドポリマーが大細孔容量を有する高比表面積多孔体であるこ

とがわかった。Nonlocal density functional theory 法 (NL-DFT 法) による細孔径分布は2つのピークを示し、それぞれ、7.0、11.6 Å であった。特に支配的な後者の細孔径は、ACO 型に連結したポリマーネットワークに由来すると思われる。X 線回折のシミュレーションに用いた結晶モデルを用いると、対応する理想的な細孔径は [100] 方向に結晶を貫く 10.5 Å であり、実験値と符合する。よりマイナーな 7.0 Å 付近の細孔は、[111] 方向のより小さなチャンネルに帰属されると思われる。より小さなプローブ分子として水素を用いたところ、77 K、760 Torr における吸着量は 0.82 wt%、吸着熱は 7.2 kJ mol^{-1} であった。

以上の結果から、設計通り、ACO 型のトポロジーを有する多孔性有機-無機ハイブリッドポリマーが得られたことがわかった。リンカー官能基による、Yamamoto 反応を介した高分子化により合成されたポリマーは、大半の *d4r* ユニットの構造内に保存しており、構造の周期性、均一な細孔径分布、そして熱安定性など、マクロな特性を発現している。本研究のもたらしたインパクトのあるアイディアは、後に続く様々な研究に活かされ、その1つであるフリーデルクラフツ反応を用いた *d4r* ユニットの連結の例では、BET 比表面積が $2500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 、細孔容積が $3.2 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ と、これまでの常識を超える材料の合成に成功している⁷⁾。

3. ベンゼン環をコアとするアニオン性構造規定剤を用いたマイクロ・メソ境界領域の細孔径を有する多孔性シリカの合成

前節では、C-C 結合の生成時に Si-O 結合が影響を受けにくい、という 2 つの異なる相互作用の独立性、すなわち直交性を利用したマイクロ多孔性合成法を紹介した。本節では、3 つの異なる相互作用の直交性を用いて、マイクロ・メソ境界領域の細孔径を制御した例について述べる。

一般的に、結晶性のゼオライトは 1.3 nm 以下の直径を有するマイクロ細孔を持ち、壁面がアモルファスのメソポーラスシリカは 2 から 50 nm 程度のメソ細孔を持つ。この 2 つの材料の細孔径の境界となる、1.3 – 2 nm を細孔径に持つシリカ材料は非常に珍しく^{8)–10)}、そのような材料が気体分子を吸着する際の物理的振る舞いには大きな関心が寄せられている。1.3 – 2 nm 程度の細孔径を持つシリカ材料の合成は、ゼオライトの細孔径の拡大、あるいはメソポーラスシリカの細孔径の縮小により達成可能と思われる。

ゼオライトやメソポーラスシリカの細孔径を制御し得る合成パラメータとして、最も直感的なものが、有機構造規定剤の選定である¹¹⁾。有機構造規定剤とは、無機合成の際に系に加えられる有機分子である。合成後に得られる生成物は、無機物の空隙に有機構造規定剤が入り込んだ、有機–無機複合体であり、これに焼成等の処理を施すことで、無機多孔性材料を得ることができる。有機分子の形状や性質が、得られる多孔性材料の細孔構造を決定するため、有機構造規定剤の設計を通じて無機多孔性材料の設計を行うことが可能であり、様々な分子がこれまで試されてきた。適切な有機構造規定剤を用いて細孔径の範囲を拡張することは、ゼオライト合成分野、メソポーラスシリカ合成分野共通の目標の 1 つだが、いずれも容易ではない。

1.3 nm 以上の細孔径を持つようなゼオライトは、必然的に密度が低くなる。密度が小さいゼオライト結晶構造は、エネルギー的に不安定になってしまうことが示されている¹²⁾。一方、メソポーラスシリカ合成における有機構造規定剤は、通常両親媒性分子であり、その自己組織化構造がシリカの細孔構造に直結する。よって、メソポーラスシリカの一次元細孔の径は、両親媒性分子の自己組織化した円柱状クラスターの直径と相関がある¹³⁾。とすれば、両親媒性分子の炭素鎖長を短くすることで、より小さな細孔径を有する多孔質シリカが得られるのではないだろうか？都合の悪いことに、炭素鎖長を短くし過ぎてしまうと、両親媒性分子の自己組織化の様式が大きく変化し、一次元細孔が形成されないのである。

マイクロ・メソ境界領域の細孔径を有する多孔質材料を合成するために、本研究は、共有結合・静電相互作用・ π - π 相互作用という 3 つの相互作用を用いた¹⁴⁾。これら 3 つの相互作用を利用することで、有機構造規定剤同士、有機構造規定剤と無機種、そして無機種間の相互作用を制御するのである。このコンセプトに基づいて設計した有機構造規定剤が、ベンゼン環をコアとするアニオン分子 BC_n である (図 2)。ベンゼン環を有するため、同一分子間で π - π 相互作用を起こし、円柱状の分子クラスターを形成すると考えた。また、3 つの炭素鎖に結合したカルボキシル基は、水中で電離し、負に帯電するという設計である。このアニオン性の官能基は、他の化学種と静電相互作用すると見込まれる。静電相互作用の相手として、横井、Che、辰巳らの提案した APS を採用した¹⁵⁾。APS は分子内にアミノ基を有し、水中でのプロトンネーションを経て正に帯電するため、アニオニックな BC_n と静電相互作用する。さらに、APS と TEOS が Si 源となり、縮合反応を経てシリカ壁面を形成するのである。この系に

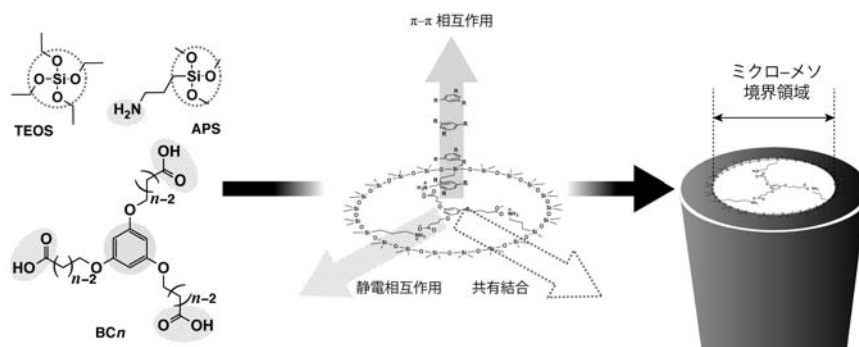


図 2 複数の相互作用を用いたナノ多孔性シリカの合成

において細孔のサイズを決定するのは、BC n とAPSの分子サイズである。密度汎関数法による分子モデリングから、 n を4–6とすることで、細孔孔が1.5–2.5 nm となるように設計した。

中性付近の水溶媒中でBC n ($n = 4, 5, 6$)、APS、TEOSを混合し、加熱することでシリカを得ることができた。固体核磁気共鳴及び紫外・可視分光法による分析から、狙い通り3種類の分子が共有結合・静電相互作用・ π - π 相互作用を起こしていることを確認した。

粉末X線回折による分析から、BC4、BC5、BC6、いずれにおいても面間隔3 nmの周期性を持つ固体が得られることがわかった。この周期性は焼成後も観測され、X線回折ピークがむしろ強まったことから、焼成処理によってサンプルから有機物が取り除かれ、多孔質シリカとなったことが示唆される。焼成後サンプルの透過型電子顕微鏡による像には細孔が見られ、BC6の場合、2 nm程度の細孔径であった。細孔には規則性があるが、壁面はアモルファスという、メソポーラスシリカに近い構造になっていると思われる。

さらに、焼成済みの各サンプルを用いて、窒素吸脱着等温線を測定した(図3)。BC4から合成したサンプルでは、 $P/P_0 < 0.05$ という比較的低い相対圧において、ミクロ孔特有の急激な吸着量の増加を示した。一方、BC5及びBC6によるサンプルは、相対圧が0.15になるまで急激な吸着量増加が続く。このような等温線の振る舞いは、ナノ細孔が、ミクロ孔とメソ孔の境界領域にあることを示している。NL-DFT法による細孔孔分布の計算値は、BC n とAPSの分子サイズと一致しており、設計の妥当性を支持している。BC4による細孔径分布の中心は1.7 nmであり、BC

5とBC6では、2.2 nm程度であった。

近年、細孔径分布を精度良く評価するプローブとしてアルゴン分子が用いられている。アルゴン吸着等温線から評価した細孔径分布は、窒素吸脱着等温線からのものと類似していたが、0.1から0.2 nm程度、細孔径分布をより大きく評価した。細孔径分布を正しく評価するために、細孔構造の解析が今後必要になることだろう。

BET比表面積、ミクロ孔容量、全細孔容積は、BC n の炭素鎖が長くなるほど増加する傾向にあった。BC6のBET比表面積は、 $1230 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ と非常に大きな値で、ミクロ孔容量は $0.22 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ であった。いずれも、同種の材料としては最大級の値である。

焼成処理では、BC n とAPSに由来する全ての有機物を除去することになるが、BC n のみを取り除くことができれば、シリカの壁面にアミノ基が修飾された構造を作ることができ、有用であると考えられる。そこで、酢酸アンモニウムのエタノール溶液を用いた抽出処理をBC6によるサンプルに対して施した。アミノ基を維持しつつ、BC6のみを取り除くことができたことを、固体核磁気共鳴及び紫外可視分光法により確認した。抽出処理後のサンプルのBET比表面積は $730 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ であり、ミクロ孔容積は $0.06 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ 、全細孔容積は $0.35 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ であった。細孔特性の減少は、BC6の抽出が不完全であることを示唆しており、さらなる検討が望まれる。

以上、本研究では、ベンゼン環をコアとする新規アニオン性有機分子を使用し、高比表面積のナノ多孔性シリカの合成を行った。細孔径はミクロ孔–メソ孔の境界領域にあり、BET比表面積は、ナノ多孔性シリカとしては最大級のものである。細孔径はアニオン性有機分子の炭素鎖長の調整によりミクロ–メソ境界領域からメソ孔領域にまで制御可能である。合成過程では、3種類の相互作用が独立かつ複合的に働いており、APSのBC n との静電相互作用、BC n 同士の π - π 相互作用により有機部の分子集合体が形作られ、TEOSとAPSによるシリカの縮合反応によって壁面が生成すると思われる。このような、複数の化学的相互作用を直交的に使用するアプローチは、前節で述べた $d4r$ ユニットの連結法にも通じ、多孔性シリカの精密な構造制御や、複雑な機能の付与に、極めて有効なものであると言えよう。

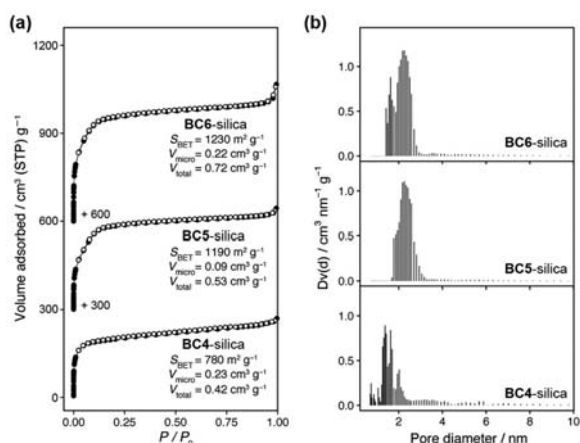


図3 (a)窒素吸脱着等温線 (b)NL-DFT 細孔径分布

4. シリカナノ粒子をハードテンプレートとして用いた中空メソポーラス有機シリカナノ粒子の合成とヒステリシススキャン測定による細孔解析

第2節のマイクロ細孔、第3節のミクロメソ領域の細孔は、典型的なガス吸着実験によって細孔構造の情報を得ることが出来たが、メソマクロ領域の細孔の解析には、より発展的な手法が重要になる。本節では、我々が開発した中空有機シリカナノ粒子のメソマクロ領域の細孔を、ヒステリシススキャン測定によって解析した結果を報告する。

有機基で架橋されたアルコキシシラン($\text{R}'\text{O}$)₃Si-R-Si(OR)₃の加水分解と縮重合により、有機基Rを3次元シリカネットワーク中に均一かつ高密度に導入した有機シリカを合成することができる¹⁶⁾。無機構造の熱的安定性や機械的強度と有機物の多様な性質を併せ持ち、それぞれ単独では得られない新たな特性が生み出されることから高機能性材料として注目を集めている。このような有機シリカのメソ構造の制御は、1999年に規則的な構造をもったメソポーラス有機シリカが報告されて以来^{17)–19)}、多種の応用への利用が期待され盛んに研究が行われてきた。メソポーラス有機シリカの形態制御は材料の機能向上や特性改善のために重要な要素であり、なかでも粒径100 nm以下の多孔質シリカナノ粒子は触媒、ドラッグデリバリー等の応用に有用である。

さらに、粒子にメソマクロ領域の中空孔を導入することで、中空部に多量の物質を保持出来ること等の特長から、反応場やドラッグデリバリーキャリアとしてより優れた材料になることが期待されている。一般に中空粒子の合成は、球形鑄型の周りにシリカのシェルを形成した後、鑄型を除去するという手法で行われる。中空メソポーラス有機ナノシリカ粒子の合成では、界面活性剤やブロックコポリマーなどのミセルを鑄型とするソフトテンプレート方法が用いられてきた^{20), 21)}。

しかし、この手法ではミセル径が中空径に反映されるため、粒径の小さな中空粒子の合成には適する一方、粒径30 nm以上の粒子の合成が困難である。さらに、ミセルを除去する際に粒子が凝集してしまうといった課題も存在し、触媒や吸着材など単分散性の高い粒子を任意の粒径で合成することが不可欠な分野において応用への障害となっていた。ナノ粒子等のハードテンプレートを用いた手法はこれらの課題を解決できる可能性を持っているが、酸化鉄ナノ粒子²²⁾、やポリマーラテックス球²³⁾などを用いた場合、鑄型粒子を特に小さな粒径範囲において合成することが困難であり、制御可能な粒径範囲および単分散性は限定的であった。すなわち中空メソポーラス有機シリカナノ粒子合成に適切な鑄型の選定ははまだ課題であったと言える。

近年、我々は、中空メソポーラス有機シリカナノ粒子の鑄型として無機シリカナノ粒子（以下単にシリカナノ粒子と表記）を用いることで中空径のメソマクロ領域における広範囲制御が可能となる合成手法を開発した²⁴⁾。鑄型となるシリカナノ粒子分散液に架橋型有機シランを添加し、油（架橋型有機シラン）–水（シリカナノ粒子分散液および加水分解を触媒する塩基）二相系で反応を進めることで、鑄型となるシリカナノ粒子表面に微粒子状に有機シリカシェルが形成されることを見出した（図4）。シリカは有機シリカに比べ塩基性水溶液中での溶解度が極端に大きいため、水酸化ナトリウム水溶液を投入し粒子分散液のpHを上げることで単分散性を保ったまま鑄型シリカナノ粒子を除去することが出来る。さらに、シリカナノ粒子は、10 nm程度からマイクロメートルオーダーまで単分散な粒子を任意の粒径で合成することが可能である。そのため、鑄型として用いるシリカナノ粒子の粒径を変えることにより、任意の粒径の中空有機シリカナノ粒子を合成することが可能となった²⁵⁾。

これらの特長を持つことに加えて、合成される中空

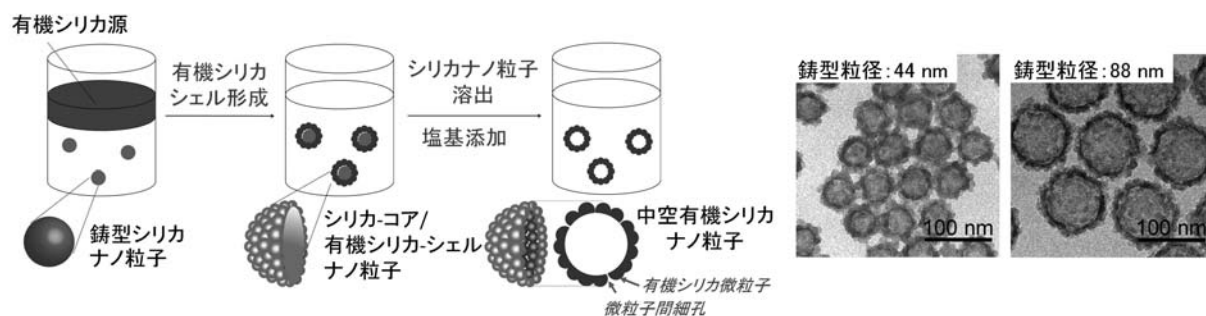


図4 シリカナノ粒子を鑄型として用いた中空メソポーラス有機シリカナノ粒子の合成スキーム(左)と透過型電子顕微鏡像の例(右)

粒子は有機シリカの微粒子が集合してシェルを形成する、という特殊な構造を持っている（図4）。シェルを形成するこれらの有機シリカ微粒子同士の間に空隙が存在することによって、無機シリカハードテンプレートを溶出して中空化する事が可能であり、さらに中空化後に外部から中空内へ吸着質がアクセスをすることが出来る。

さらに我々は、この新規なハードテンプレート手法で合成に成功した中空メソポーラス有機シリカナノ粒子が、その特徴的な形態により H5 型のヒステリシスループを示すことを見出し、ヒステリシススキャン測定手法を用いることで、その複雑な細孔構造について情報を得ることに成功した。以降、これらの吸着特性、細孔解析について紹介する²⁵⁾。

吸脱着等温線にみられるヒステリシスは試料の細孔解析を複雑にするものであるが、正しく解釈することが出来れば細孔構造やネットワークについて多くの情報を与える可能性を秘めている。2015 年の IUPAC Technical Report によれば、ヒステリシスループは H1 型～H5 型に分類され、それぞれが吸着材の構造に関連付けられている²⁶⁾。H5 型のヒステリシスは 2015 年に改定された分類により新しく定義されたヒステリシス型であり、外部への開孔が細くなった細孔（cage-like pore）と外部に十分な開孔を持つ細孔（open pore）が混在した吸着材に対して見られる。open pore からの脱着後に cage-like pore からの脱着が起こることから、二段階のステップを持った脱着等温線がみられることが特徴である。階層型ゼオライトや一部細くなったシリンダー状メソ孔をもつ 2D ヘキサゴナル構造メソポーラスシリカ（plugged hexagonal templated silica）などにおいてこの H5 型ヒステリシスがみられることが報告されている^{27), 28)}。

図4右の透過型電子顕微鏡像に示す中空メソポーラス有機シリカナノ粒子（鋳型粒径：88 nm）についてアルゴン吸脱着測定（87 K）を行ったところ、図5(a)左上（Seg. 1）に示すような2段階の脱着等温線がみられ、H5 型に特徴的なヒステリシスループを示すことが分かった。

さらに細孔構造、吸着特性について知見を得るため、我々はヒステリシススキャン測定という手法を用いて同じ中空型有機シリカナノ粒子の細孔解析を行った。ヒステリシススキャン測定とは、ヒステリシスが起きる範囲で一定の相対圧まで吸着測定を行った後、ヒステリシスが閉じる相対圧まで脱着測定を行うことを異

なる相対圧に対して繰り返す測定法である。ヒステリシスループの形状は、細孔内における凝縮－蒸発の過程を反映しているものであるが、異なる細孔形状を有する吸着質においても同様の形状を示すことがあり得る。このヒステリシススキャン測定を行うことで、ヒステリシスループの形だけでは判断できない細孔特性に関する情報を得ることができる^{29), 30)}。

図5(a)にヒステリシススキャン測定の結果を示す。Seg. 1 に示す等温線（最大相対圧 0.997）で見られた H5 型のヒステリシスは、最大相対圧 0.98 まで吸着測定を行った Seg. 2 でも観察された。一方で、最大相対圧を 0.97 とした Seg. 3、0.96 とした Seg. 4 では H5 型のヒステリシスが観察されず、H1 型ヒステリシスに近い形の 1 段階での脱着がみられた。

この結果は、相対圧 0.98 以上まで吸着測定を行った場合のみ、cage-like pore と open pore 双方において凝縮が起こり、H5 型ヒステリシスが現れたことを示唆している。吸着質のアクセスが容易である open pore が先に充填されると考えられることから、Seg. 3

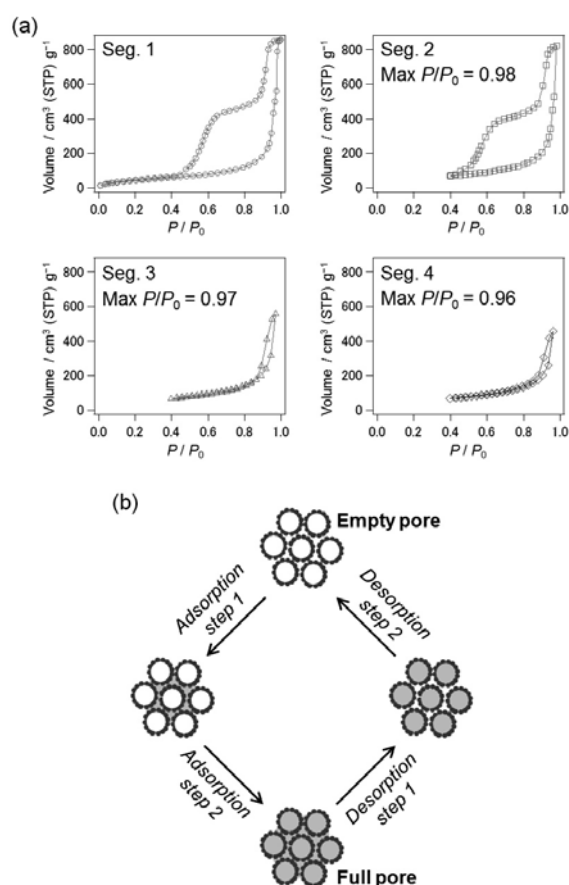


図5 (a)中空有機シリカナノ粒子のヒステリシススキャン曲線（アルゴン吸脱着、87 K） (b)吸脱着過程の模式図

と Seg. 4 では open pore のみで凝縮がおこっており、
相対圧 0.98 以上 (Seg. 1 と Seg. 2) で cage-like pore
における凝縮が始まり H5 型ヒステリシスを示すよう
になったと考えられる。Seg. 1 と Seg. 2 の脱着等温
線を比較したときに、1 段目の脱着量がほぼ等しく、
2 段目の脱着量は Seg. 2 の方が小さくなっている。
このことは、1 段目の脱着は、先に充填され両セグメ
ントで等しく満たされている open pore からの脱着で
あり、2 段目の脱着は、より高い相対圧で充填され
Seg. 2 では Seg. 1 よりも充填率が小さい cage-like
pore からの脱着であることを示唆している。

ここで、シリカハードテンプレートを除去する前の
中空構造を持っていないコアシェル型粒子の吸着測定
を同様に行ったところ、1 段目の脱着のみが観察され
H5 型のヒステリシスは見られなかった。また、同様
にヒステリシススキャンを行ってもヒステリシスの形
に変化はなかった。

これらのことから、中空有機シリカナノ粒子の吸脱
着測定において、先に充填され脱着等温線の 1 段目の
脱着が起こる open pore は中空粒子同士の粒子間隙で
あり、高い相対圧から充填され脱着等温線の 2 段目の
脱着が起こる cage-like pore は有機シリカ微粒子シェ
ルに囲まれた中空内部であると考えられる (図 5(b))。

詳細について本稿では割愛するが、図 5 に示すそれ
ぞれのヒステリシススキャン曲線に対して NL-DFT
法を用いて細孔径分布を行うことで、中空有機シリカ
ナノ粒子同士の粒子間隙 (open pore)、中空孔 (cage-
like pore)、さらに、open pore と cage-like pore をつ
なぐネック細孔の径が解析できることが明らかになっ
た。前述の通り、今回我々が報告している中空有機シ
リカナノ粒子においては有機シリカ微粒子の集合体が
シェルを形成し中空構造を形成しているため、ネック
孔径はシェルを形成する有機シリカ微粒子同士の間隙
を示すと考えている。各セグメント間の細孔径分布の
比較と、それぞれのセグメントで起こっている現象
(cage-like pore の充填の有無) を対応させて考察す
ることで、細孔解析を適切に行うことが可能になった。

細孔内のヒステリシス挙動を示す複雑な多孔質材料
の細孔解析に関しては、いまだに多くの課題が存在す
るが、本稿ではヒステリシススキャン測定によって、
吸脱着の過程を識別することができること、複雑な多
孔質材料の構造についての補助的な情報が得られるこ
とを示した。今後これらの測定手法の発展によって、
新たに今まで未知であった細孔構造の解明につなげて

いくことが出来ると期待している。

5. おわりに

本稿では、シリカ系多孔性材料のミクロ孔、ミクロ
ーメソ孔境界領域、メソ孔、マクロ孔までの広い範囲
の細孔制御に関する最近の研究を紹介した。いずれの
細孔径でも、化学者の想像力に基づく設計と、スケール
に合わせた合成の一工夫が鍵となる。今回扱った材料
は精密な構造解析ができるほどの結晶性がないため、
ガス吸着法による様々な分析が必須である。ヒステリ
シススキャンのような新たな解析法の発明をユーザー
として歓迎するとともに、それを様々な細孔径・細孔
構造を有する新材料によって検証することで、吸着分
野の知見に貢献して行きたいと考えている。

謝辞

本稿で紹介させて頂いた研究結果は東京大学の久
保達也教授、下嶋敦准教授 (現在早稲田大学) との共
同研究の成果です。また、一部の実験や原稿の準備に、
小池夏萌氏、村岡恒輝氏からご協力頂きました。本稿
4 節で示したヒステリシススキャン測定の解釈につい
て、Matthias Thommes 博士 (Quantachrome Instruments)、
佐藤純博士 (カンタククローム・インスツルメンツ・
ジャパン合同会社) に多大なご助言を頂いたことを感
謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) M. E. Davis, *Nature* **417**, 813 (2002).
- 2) R. E. Morris, *J. Mater. Chem.* **15**, 931 (2005).
- 3) S. Horike, S. Shimomura, and S. Kitagawa, *Nature Chem.* **1**, 695 (2009).
- 4) H. Furukawa, K. E. Cordova, M. O'Keeffe, and O. M. Yaghi, *Science* **341**, 1230444 (2013).
- 5) W. Chaikittisilp, A. Sugawara, A. Shimojima, and T. Okubo, *Chem. Eur. J.* **16**, 6006 (2010).
- 6) W. Chaikittisilp, A. Sugawara, A. Shimojima, and T. Okubo, *Chem. Mater.* **22**, 4841 (2010).
- 7) W. Chaikittisilp, M. Kubo, T. Moteki, A. Sugawara-Narutaki, A. Shimojima, and T. Okubo, *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 13832 (2011).
- 8) J. Jiang, J. L. Jorda, J. Yu, L. A. Baumes, E. Mugnaioli, M. J. Diaz-Cabanas, U. Kolb, and A. Corma, *Science* **333**, 1131 (2011).
- 9) J. Sun, C. Bonneau, Á. Cantin, A. Corma, M. J. Diaz

- Cabañas, M. Moliner, D. Zhang, M. Li, and X. Zou, *Nature* **458**, 1154 (2009).
- 10) L. Zhang, Q. Yang, H. Yang, J. Liu, H. Xin, B. Mezari, P. C. M. M. Magusin, H. C. L. Abbenhuis, R. A. van Santen, and C. Li, *J. Mater. Chem.* **18**, 450 (2008).
 - 11) M. Moliner, F. Rey, and A. Corma, *Angew. Chem. Int. Ed.* **52**, 13880 (2013).
 - 12) J. Jiang, J. Yu, and A. Corma, *Angew. Chem. Int. Ed.* **49**, 3120 (2010).
 - 13) J. S. Beck, J. C. Vartuli, W. J. Roth, M. E. Leonowicz, C. T. Kresge, K. D. Schmitt, C. T-W. Chu, D. H. Olson, E. W. Sheppard, S. B. McCullen, J. B. Higgins, and J. L. Schlenker, *J. Am. Chem. Soc.* **114**, 10834 (1992).
 - 14) K. Muraoka, W. Chaikittisilp, Y. Yanaba, T. Yoshikawa, and T. Okubo, *Chem. Commun.* **51**, 10718 (2015).
 - 15) S. Che, A. E. Garcia-Bennett, T. Yokoi, K. Sakamoto, H. Kunieda, O. Terasaki, and T. Tatsumi, *Nature Mater.* **2**, 801 (2003).
 - 16) F. Hoffmann, M. Cornelius, J. Morell, and M. Fröba, *Angew. Chem. Int. Ed.* **45**, 3216 (2006).
 - 17) S. Inagaki, S. Guan, Y. Fukushima, T. Ohsuna, and O. Terasaki, *J. Am. Chem. Soc.* **121**, 9611 (1999).
 - 18) B. J. Melde, B. T. Holland, C. F. Blanford, and A. Stein, *Chem. Mater.* **11**, 3302 (1999).
 - 19) T. Asefa, M. J. MacLachlan, N. Coombs, and G. A. Ozin, *Nature* **402**, 867 (1999).
 - 20) H. Djojoputro, X. F. Zhou, S. Z. Qiao, L. Z. Wang, C. Z. Yu, and G. Q. Lu, *J. Am. Chem. Soc.* **128**, 6320 (2006).
 - 21) J. Liu, Q. Yang, L. Zhang, H. Yang, J. Gao, and C. Li, *Chem. Mater.* **20**, 4268 (2008).
 - 22) J. Y. Shi, C. A. Wang, Z. J. Li, Q. Wang, Y. Zhang, and W. Wang, *Chem. Eur. J.* **17**, 6206 (2011).
 - 23) W. Guo, J. Wang, S.-J. Lee, F. Dong, S. S. Park, and C.-S. Ha, *Chem. Eur. J.* **16**, 8641 (2010).
 - 24) N. Koike, T. Ikuno, T. Okubo, and A. Shimojima, *Chem. Commun.* **49**, 4998 (2013).
 - 25) N. Koike, W. Chaikittisilp, A. Shimojima, and T. Okubo, submitted.
 - 26) M. Thommes, K. Kaneko, A. V. Neimark, J. P. Olivier, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol, and K.

- S. W. Sing, *Pure Appl. Chem.* **87**, 1051 (2015).
- 27) J. Garcia-Martinez, C. Xiao, K. Cychosz, K. Li, W. Wan, X. Zou, and M. Thommes, *Chem. Cat. Chem.* **6**, 3110 (2014).
 - 28) P. Van Der Voort, P. I. Ravikovitch, K. P. De Jong, M. Benjelloun, E. Van Bavel, H. Janssen, V. Neimark, B. M. Weckhuysen, and E. F. Vansant, *J. Phys. Chem. B* **106**, 5873 (2002).
 - 29) K. A. Cychosz, X. Guo, W. Fan, R. Cimino, G. Y. Gor, M. Tsapatsis, A. V. Neimark, and M. Thommes, *Langmuir* **28**, 12647 (2012).
 - 30) R. Cimino, K. A. Cychosz, M. Thommes, and A. V. Neimark, *Colloids Surf. A* **437**, 76 (2013).



チャイキッティスイン ワッチャ
ロップ
(Watcharop CHAIKITTISILP)
東京大学 大学院工学系研究科
化学システム工学専攻
助教
博士 (工学)

- 2010 年 4 月 東京大学大学院 工学系研究科
化学システム工学専攻 博士課程 修了
- 2010 年 5 月 ジョージア工科大学 (米国)
化学及び生物分子工学科 博士研究員
- 2012 年 1 月 物質・材料研究機構
国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
NIMS ポスドク研究員
- 2013 年 4 月 東京大学大学院 工学系研究科
化学システム工学専攻
特任研究員 (主任研究員)
- 2013 年 12 月 東京大学大学院 工学系研究科
化学システム工学専攻 助教
- 専門 : 化学工学、材料化学

ホットピックス

Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の透過分離特性

Permeation performance of MFI-type zeolite membranes having different Si/Al ratio in their frameworks

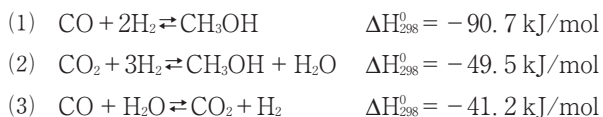
早稲田大学先進理工学部応用化学科
Department of Applied Chemistry, Waseda University

瀬下 雅博
Masahiro Seshimo

1. はじめに

蒸留などの分離技術にかわる省エネルギー化技術として、無機系分離膜を用いた膜分離技術が注目を集めている。無機系分離膜は、パラジウム膜^{1,2)}などに代表される金属膜、シリカ膜³⁻⁵⁾、カーボン膜^{6,7)}、ゼオライト膜⁸⁾があげられる。なかでもゼオライト膜は結晶構造に由来する均一な細孔を有していること、さらには特異的な吸着性能を有しており、他の無機系分離膜にはない特徴を有している。その均一な細孔を利用した異性体分離、および特異的な吸着性能を利用した吸着分離が可能である。

メタノールはホルムアルデヒドや酢酸などの原料となり、重要な中間体のひとつである。MeOH は、Cu/ZnO を触媒として用いて、その動作温度付近である 473–573 K にて合成される。その反応式は下記の通りである。



メタノールが生成する反応は高圧有利であるため、一般的には 50–100 atm で行われる。しかしながら、平衡反応であるため熱力学的平衡制約を強く受け、また(3)式の水性ガスシフト反応により反応ガス組成が影響を受ける。これにより、反応サイクルにおけるメタノール収率は低いことが課題である。その解決策のひとつとして膜反応器があげられる。反応系より膜を介してメタノールや水を取り除くことにより、メタノール生成側に反応をシフトさせることができ、メタノール

収率の向上が期待される。メタノールおよび水を分離する膜として高分子膜 (Nafion) を用いたメタノール/水素および水/水素混合系での透過分離性能の検討がなされている^{8,9)}。しかしながら、高温域における透過分離性能については報告されていない。そのため、耐熱性に優れると期待される無機系分離膜を用いた検討がなされた。無機系分離膜としてゼオライト膜が用いられ、A 型 (LTA)¹⁰⁾、FAU 型¹¹⁾、ZSM-5 (MFI)¹²⁾ が検討されている。なかでも ZSM-5 膜はメタノール/水素および水/水素混合系においてメタノールおよび水を選択的に透過し、メタノール/水素混合系では高温域においても同様の傾向を示した。さらに MFI 型ゼオライトは a 軸方向に 0.55 x 0.51 nm のジグザグ細孔、b 軸方向に 0.56 x 0.53 nm のストレート細孔を有している。この細孔サイズはシクロ環やベンゼン環の大きさに近く、C₆ 炭化水素異性体分離に適用が期待される^{13,14)}。

そこで本研究では、MFI 構造を有するゼオライト膜に着目し、その骨格構造中の Si/Al が MeOH 分離および C₆ 炭化水素異性体分離において膜の透過分離特性に及ぼす影響を、透過分離試験と吸着特性評価の両面から検討を行った。

2. 実験方法

2.1 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の合成

MFI 型ゼオライト膜は、種結晶を用いた水熱合成法により合成した。支持体には平均細孔径が 150 nm、外径 10 mm、内径 6.6 mm、長さ 3 cm の管状の多孔質 α -アルミナ基材 (Noritake Co., Ltd.) を用いた。支持体上に Dip Coating 法により種結晶を担持し、オートクレーブを用いて水熱条件下にて膜を合成した。膜は、Low-Silica Zeolite 膜 (LSZ, Si/Al = 18)、High-Silica Zeolite 膜 (HSZ, Si/Al = 180–400)、Pure-Silica Zeolite 膜 (PSZ, Si/Al = ∞) の 3 種類を合成した。それぞれの合成条件は、下記の通りである。HSZ 膜の合成条件は、構造規定剤として Tetrapropylammonium hydroxide (TPAOH) を用いた PSZ (Silicalite-1) 膜の合成ゲルに少量の Al 源と鉍化剤を加えることで合成した。

<LSZ 膜>

Gel composition; 8Na₂O : 36SiO₂ : 0.15Al₂O₃ : 1200H₂O

Synthesis period; 12 h

Synthesis temperature; 453 K

<HSZ 膜>

Gel composition; $0.0938\text{Na}_2\text{O} : 2\text{SiO}_2 : 0.0625\text{Al}_2\text{O}_3 :$

$3\text{TPAOH} : 200\text{EtOH} : 1650\text{H}_2\text{O}$

Synthesis period; 6 h

Synthesis temperature; 453 K

<PSZ 膜>

Gel composition; $25\text{SiO}_2 : 3\text{TPAOH} : 200\text{EtOH} : 1650\text{H}_2\text{O}$

Synthesis period; 7 days

Synthesis temperature; 373 K

得られた膜のキャラクタリゼーションは、X-ray diffraction (XRD, Ultima IV, Rigaku Co.) および Scanning electron microscope (SEM, S-4800, Hitachi High-technologies Co.) を用いた。

それぞれの膜の透過分離特性評価は、MeOH/CO₂ および H₂O/CO₂ の二成分混合透過分離試験を行った。透過試験は、膜温度 473 K、供給分圧を MeOH/CO₂ = 10/91 kPa、H₂O/CO₂ = 10/91 kPa にて行った。また、C₆ 異性体透過分離試験も合わせて行った。C₆ 異性体は、*n*-hexane (*n*-Hex)、2,2-dimethylbutane (2,2-DMB) の 2 種類を用いた。また得られた膜の緻密性を評価するために非凝縮性ガスとして He、凝縮性ガスとして *n*-hexane を用いて Nanopermporometry 試験^{15, 16)}を行った。測定温度は 333 K とした。

2.2 膜の吸着特性評価

非破壊での膜の窒素吸着試験は、定容法の吸着試験装置 (BELSORP-max, Microtrac BEL, Co.) を改良した装置¹⁷⁾を用いて測定を行った。前処理として、623 K にて 48 h の真空処理を行った。

また膜に対する H₂O、*n*-hexane、Benzene の吸着量を測定するために adsorption-desorption 法¹⁸⁾を用いた。装置の概略図を Fig. 1 に示す。膜を前処理とし

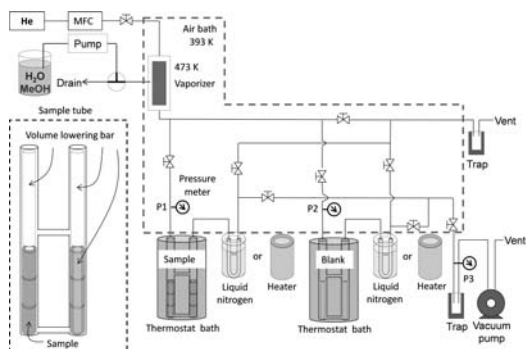


Fig. 1 Adsorption-desorption 法を用いた膜に対する吸着測定装置の概略図

て真空処理を施した後、試料ガスを、He ガスをキャリアとして所定の分圧、温度で 2 h 吸着させた。その後、サンプル管内をパージし、膜に吸着した成分を脱着させるために真空ポンプで減圧しながら昇温した。膜から脱着した成分は Cold trap にて捕集し、その液量から吸着量を算出した。

3. 結果および考察

3.1 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の MeOH/CO₂ および H₂O/CO₂ 透過分離特性および吸着特性

得られた MFI 型ゼオライト膜に対して XRD 測定を行った結果、MFI に由来するピークが確認できた。また、膜の表面と断面の SEM 観察を行った結果、全ての膜は表面がゼオライト結晶で覆われていることがわかり、膜厚は 1.7 μm (LSZ)、5.0 μm (HSZ)、4.0 μm (PSZ) であった。また得られた膜の Nanopermporometry 試験の結果を Fig. 2 に示す。Nanopermporometry 試験では、凝集性ガスの分圧を制御することで特定の径以下の細孔を毛管凝縮により閉塞され、非凝縮性ガスの透過量が減少することを利用して、膜の欠陥を測定することができる。Fig. 2 より、いずれの膜も *n*-Hex の相対圧が 7×10^{-3} 以上 (Kelvin 式で MFI 細孔径である 0.55 nm に相当) の領域において非凝縮性ガスである He の透過度が定量限界である $10^{-9} \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ まで減少した。このことから、いずれの膜も MFI 型ゼオライトの構造に由来する細孔径以上の貫通孔が少ない、比較的緻密な膜であるといえる。

Si/Al の異なる膜を用いた MeOH/CO₂ および H₂O/CO₂ 二成分混合透過分離試験の結果を Fig. 3 に示す。

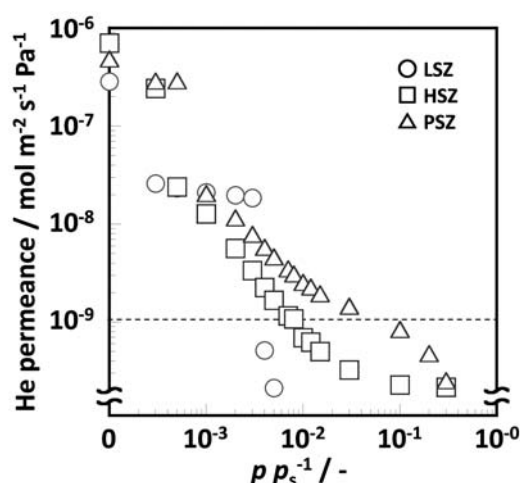


Fig. 2 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜を用いた Nanopermporometry 試験結果

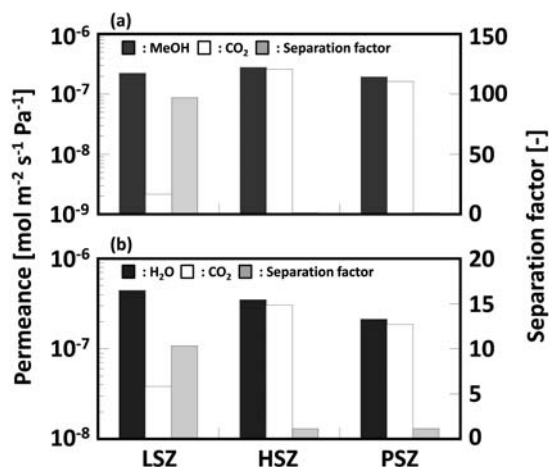


Fig. 3 Si/Alの異なるMFI型ゼオライト膜の473 Kにおける(a)MeOH/CO₂および(b)H₂O/CO₂二成分混合透過分離試験結果

Fig. 3(a)より、MeOH/CO₂二成分混合系ではLSZ膜はMeOHを選択的に透過し、MeOH/CO₂分離係数は97程度となった。MeOHおよびCO₂の動的分子径は、それぞれ0.38および0.33 nmであり、MFI構造に由来する細孔径(0.55 nm)よりも小さく膜を透過することができる。このことから、分子ふるい作用による分離ではなく、MeOHが選択的に膜に吸着することで分離を行っているものと考えられる。Na型ZSM-5(MFI)膜を用いたMeOH/H₂二成分混合系ではMeOHがゼオライト骨格構造内のNa⁺に吸着し、H₂の透過を阻害することがわかっている¹²⁾。MeOH/CO₂二成分混合系においても同様に、MeOHがNa⁺に選択的に吸着することでCO₂の透過を阻害していると考えられる。一方でHSZおよびPSZ膜のMeOHとCO₂の透過度は同程度の値を示し、MeOHの選択的な吸着によるCO₂の阻害効果は見られなかった。それぞれ膜のSi/Alからunit cellあたりのNa⁺の量を算出すると、5.1 (LSZ)、0.24~0.53 (HSZ)、0 (PSZ) u.c.⁻¹となる。このことから、unit cellあたり0.24~0.53程度のNa⁺量ではCO₂の透過を阻害することができないことが示された。またFig. 3(b)より、H₂O/CO₂二成分混合系においてもMeOH/CO₂二成分混合系と同様に、LSZ膜はH₂Oが選択的に透過し、HSZおよびPSZ膜ではH₂O、CO₂ともに同程度の透過度を示した。MeOH同様、LSZ膜に対してH₂Oが選択的に膜に吸着することでCO₂の透過を阻害していると考えられる。

LSZおよびPSZ膜へのH₂OおよびMeOHの吸着量をAdsorption-desorption法にて測定した結果を

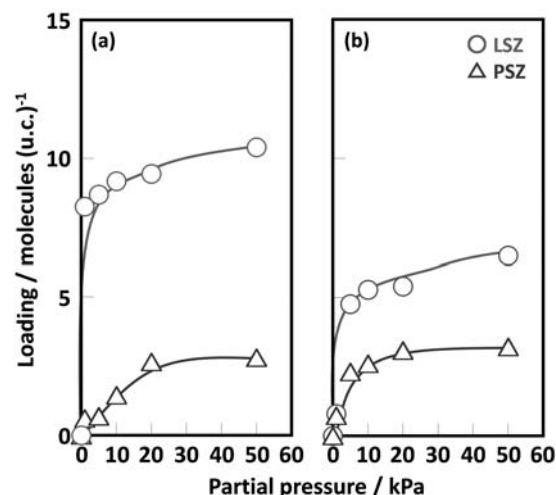


Fig. 4 Adsorption-desorption法を用いたSi/Alの異なるMFI型ゼオライト膜に対する(a)H₂Oおよび(b)MeOHの吸着等温線

Fig. 4に示す。Fig. 4(a)より、unit cellあたりのH₂O吸着量はLSZ膜の方がPSZ膜よりも大きくなった。骨格構造中にAlを多く含む方が、H₂Oの吸着量が多いことがわかった。またFig. 4(b)より、MeOHも同様の傾向を示した。MeOH/CO₂およびH₂O/CO₂混合系では、LSZ膜のみがMeOHおよびH₂Oを選択的に透過することができたのは、MeOHおよびH₂Oの選択的な吸着によるものであると考えられ、透過分離試験の結果(Fig. 3)と矛盾していない。

3.2 Si/Alの異なるMFI型ゼオライト膜のC6異性体透過特性および吸着特性

それぞれの膜に対する*n*-Hex/2,2-DMB二成分混合系透過分離試験を行った結果をFig. 5に示す。膜温度は373 Kおよび573 Kとした。*n*-Hexおよび2,2-DMBのCritical dimensionは、それぞれ0.39 x 0.43 x 0.91 nm、0.59 x 0.62 x 0.67 nmである¹⁹⁾。したがって、MFI細孔よりも大きな2,2-DMBは膜を透過することができない。Fig. 5より、2,2-DMBの透過度はいずれの場合においても十分に小さく、すべて膜は緻密であると考えられ、Nanopermporometry試験(Fig. 2)とも矛盾しない。一方で*n*-Hexの透過度は、HSZ膜およびPSZ膜では温度によらず同程度の値を示しているが、LSZ膜の*n*-Hex透過度は373-573 Kの温度域において温度上昇に伴い透過度が増加する傾向を示した。

それぞれの膜における*n*-Hex透過の温度依存性を行った結果をFig. 6に示す。膜温度は373-653 Kと

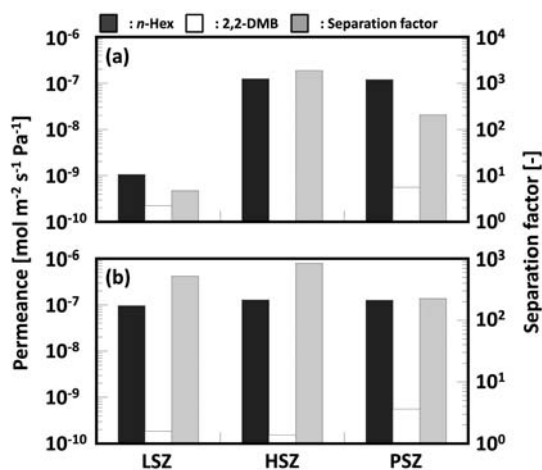


Fig. 5 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の(a)373 K および(b)573 K における *n*-Hex/2,2-DMB 二成分混合透過分離試験

した。Ar をキャリアガスとし、*n*-Hex 供給分圧を 10 kPa と設定した。LSZ 膜では、膜温度 573 K までは温度上昇に伴い透過度が上昇し、653 K では減少した。一方で、HSZ および PSZ 膜では 573 K までほぼ一定の値を示し、653 K で減少する傾向を示した。分子の膜透過は拡散と吸着で考えることができる。373–573 K の温度域において、温度上昇に伴い透過度が上昇する傾向を示した LSZ 膜では *n*-Hex は活性拡散的に透過していることが考えられ、一方で温度上昇によらずほぼ一定の値を示した HSZ および PSZ 膜は Knudsen 拡散あるいは表面拡散的に透過していることが考えられる。

ゼオライト膜は多結晶体で構成され、ゼオライト結晶に由来する均一な細孔のほかにも結晶間空隙などの非ゼオライト細孔や結晶同士の接合のミスマッチによる細孔狭窄などの孔を有している。そのため、非破壊で膜構造を評価することは極めて重要であり、我々は定量的に評価することのできる N_2 吸着を用いたゼオライト膜構造評価手法を検討してきた¹⁷⁾。その手法を用いて、合成した Si/Al の異なる膜について非破壊で N_2 吸着を行った結果を Fig. 7 に示す。高相対圧側での吸着等温線の立ち上がりは多孔質 α -アルミナ基材に由来するものである。Saito-Foley 法^{20,21)}より、MFI 細孔である 0.55 nm に相当する相対圧は 1×10^{-4} であると算出できる。それぞれの膜の 0.55 nm までの N_2 吸着量は 68 (LSZ)、60 (HSZ)、70 (PSZ) cm^3 (STP) g^{-1} であり、ミクロ細孔の容積に大きな違いはないことがわかった。したがって、Fig. 6 に示した LSZ 膜とその他の膜との *n*-Hex 透過度の違いは、ミクロ細

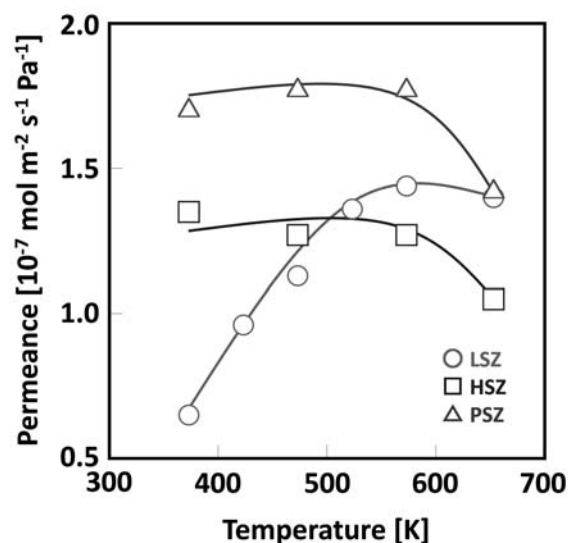


Fig. 6 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の *n*-Hex 透過性能の温度依存性

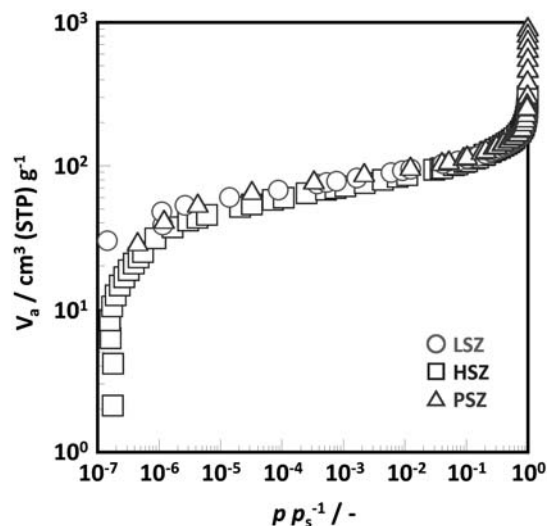


Fig. 7 Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜に対する窒素吸着等温線 (77 K)

孔に由来するものではない可能性が考えられる。LSZ 膜と PSZ 膜への *n*-Hex の吸着量の測定を Adsorption-desorption 法にて測定した結果を Fig. 8 に示す。Fig. 8 より、吸着に基づく透過機構である H_2O および $MeOH$ の時とは異なり、*n*-Hex の場合では吸着量は PSZ 膜の方が LSZ 膜よりも若干では大きくなった。このことから、PSZ 膜の方が *n*-Hex に対する相互作用が強かったためではないかと考えられる。以上の結果より、分子ふるい作用により分離していると考えられる C_6 異性体透過分離においても Si/Al の違いによる透過分離性能の違いがみられることがわかった。

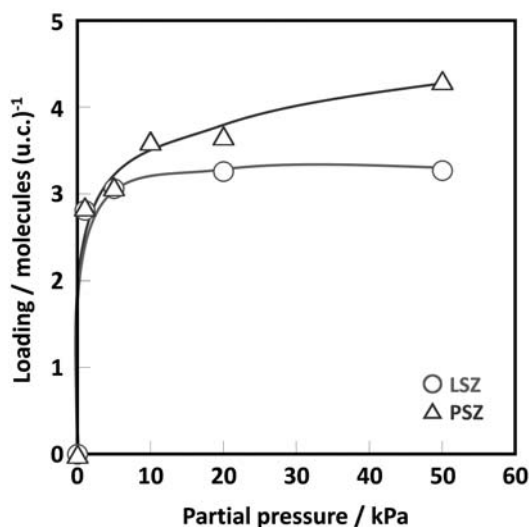


Fig. 8 Adsorption-desorption 法を用いた Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜に対する *n*-Hex の吸着量測定結果

4. まとめ

Si/Al の異なる 3 種類の MFI 型ゼオライト膜 (Low-Silica Zeolite, High-Silica Zeolite, Pure-Silica Zeolite) を合成し、その透過分離特性を比較した。MeOH/CO₂ および H₂O/CO₂ 混合系透過分離では、Low-Silica Zeolite 膜のみが MeOH および H₂O を選択的に透過することができた。一方で High-Silica Zeolite 膜および Pure-Silica Zeolite 膜では十分な透過選択性を示さなかった。これは、MeOH および H₂O が Low-Silica Zeolite 膜中に存在する Na⁺ に選択的に吸着することによって、CO₂ の透過を阻害していると考えられ、High-Silica Zeolite 膜では Na⁺ 量が Low-Silica Zeolite 膜より少ないために十分な CO₂ 阻害効果が得られず Pure-Silica Zeolite 膜と同程度の分離係数を示したものと考えられる。これは Adsorption-desorption 法による膜への吸着測定結果と矛盾しない。吸着に基づく MeOH/CO₂ および H₂O/CO₂ 透過分離ではゼオライト骨格構造中の Si/Al により影響を受けるものであると結論付けることができる。

n-hexane/2,2-dimethylbutane 混合系透過分離では、膜を透過することのできない 2,2-dimethylbutane の透過度はいずれの膜も同程度の値を示した。一方で *n*-hexane の透過度は、High-Silica Zeolite 膜および Pure-Silica Zeolite 膜では 373–573 K の温度域で温度によらず一定の値を示したのに対し、Low-Silica Zeolite 膜では温度上昇に伴い透過度が増加する活性拡散的な傾向を示した。それぞれの膜の非破壊での窒素吸着試験結果から、いずれの膜も 0.55 nm までのマイクロ孔容

積は同程度の値を示したことから、*n*-hexane の透過度の違いはマイクロ細孔容積の違いによるものではないと考えられる。また Adsorption-desorption 法による *n*-hexane の吸着量を測定したところ、MeOH および H₂O の時とは異なり Pure-Silica Zeolite 膜の方が Low-Silica Zeolite 膜よりも若干大きな値を示した。これらの結果より、分子ふるい作用に基づく分離であると考えられる *n*-hexane/2,2-dimethylbutane 混合系透過分離においても Si/Al の違いが透過分離に影響を及ぼすことが示唆された。

【参考文献】

- 1) M. Allemand, M. H. Martin, D. Reyter, L. Roué, D. Guay, C. Andrei, G. Botton, *Electrochem. Acta* **56**, 7397 (2011).
- 2) M. Seshimo, M. Ozawa, M. Sone, M. Sakurai, H. Kameyama, *J. Membr. Sci.* **324**, 181 (2008).
- 3) J. C. Diniz da Costa, G. Q. Lu, V. Rudolph, Y. S. Lin, *J. Membr. Sci.* **198**, 9 (2002).
- 4) M. Kanezashi, T. Shioda, T. Gunji, T. Tsuru, *AIChE J.* **58**, 1733 (2012).
- 5) M. Seshimo, K. Akamatsu, S. Furuta, S. Nakao, *Sep. Purif. Technol.* **140**, 1 (2015).
- 6) M. Yoshimune, K. Haraya, *Sep. Purif. Technol.* **75**, 193 (2010).
- 7) A. K. Itta, H. H. Tseng, M. Y. Wey, *J. Membr. Sci.* **372**, 387 (2011).
- 8) R. P. W. J. Struis, S. Stucki, M. Wiedorn, *J. Membr. Sci.* **113**, 93 (1996).
- 9) R. P. W. J. Struis, S. Stucki, *Appl. Catal. A* **216**, 117 (2001).
- 10) F. Gaullucci, L. Paturzo, A. Basile, *Chem. Eng. Proc.* **43**, 1029 (2000).
- 11) K. Sato, K. Sugimoto, Y. Sekine, M. Takada, M. Matsukata, T. Nakane, *Micropor. Mesopor. Mater.* **101**, 312 (2007).
- 12) K. Sawamura, T. Izumi, K. Kawasaki, S. Daikohara, T. Ohsuna, M. Takada, Y. Sekine, E. Kikuchi, M. Matsukata, *Chem-Asian J.* **4**, 1070 (2009).
- 13) T. Matsufuji, N. Nishiyama, M. Matsukata, K. Ueyama, *J. Membr. Sci.* **178**, 25 (2000).
- 14) T. Matsufuji, K. Watanabe, N. Nishiyama, Y. Egashira, M. Matsukata, K. Ueyama, *Ind. Eng. Chem. Res.* **39**, 2434 (2000).

- 15) F. P. Cuperus, D. Bargeman, C. A. Smolders, J. Membr. Sci. **71**, 57 (1992).
 - 16) T. Tsuru, Y. Tanaka, H. Kondo, F. Hirano, T. Yoshioka, M. Asaeda, Sep. Purif. Technol. **32**, 23 (2003).
 - 17) 瀬下雅博, 酒井求, 松方正彦, 膜, **41**, 30 (2016).
 - 18) M. Nomura, T. Yamaguchi, S. Nakao, J. Membr. Sci. **144**, 161 (1998).
 - 19) B. L. Wu, G. R. Landolt, A. W. Chester, Stud. Surf. Sci. Catal. **28**, 547 (1986).
 - 20) A. Saito, H. C. Foley, AIChE J. **137**, 429 (1991).
 - 21) A. Saito, H. C. Foley, Microporous Matel. **3**, 531 (1995).
-



瀬下 雅博
早稲田大学 先進理工学部
応用化学科
博士 (工学)

2010 年 3 月 東京農工大学 工学府 応用化学専攻
システム化学工学専修 博士後期課程
修了

同年 4 月 工学院大学 工学部 環境エネルギー化
学科
エネルギーシステム工学研究室 ポスド
ク

2013 年 早稲田大学 先進理工学部 応用化学科
助教

第 12 回国際吸着会議(FOA 12)特集

会議総括

概況と総括

千葉大学大学院理学研究科

加 納 博 文

【はじめに開催地について】

フリードリッヒスハーヘンと発音するの？ ドイツの何処にあるの？ どうやって行くの？ というのが FOA 12 の開催地が決まった際の、第一印象であった。ウィキペディアによると、フリードリッヒスハーヘン市はスイス国境のボーデン湖に面した人口約 6 万の都市のようである。

筆者にとっては、ドイツでの学会参加は 2 回目であり、前回は COPS IX が開催されたドレスデンであったので、今回訪れたフリードリッヒスハーヘンは、ドレスデンとも違う南ドイツの土地であった。

5 月 30 日朝、本会議の開会セレモニーがあったが、その際来賓として、フリードリッヒスハーヘン市の市長である Andreas Brand 氏の挨拶があり、同市が約 200 年の歴史があり、市内には 2 つの世界遺産があるという紹介があった。ことのほか、工業都市であることが強調されていた。多くの人が、ツェッペリン卿が開発した飛行船をご存知かと思うが、開発されたのはこの地フリードリッヒスハーヘンであり、この地は航空機産業と軍需産業で発展した都市であることが説明された。

【準備と運営】

個人的には、Science Committee メンバーへの誘いが 2014 年 7 月にありメンバーに加わった。それから半年後には First Circular が出て詳細がわかってきた。発表締切が 2015 年の 10 月中旬で、慌ただしく自分の発表を申し込んだが、それが終わると査読に追われる日々を送ることになった。何とか 11 月末までにその任務を終えることができた。通常は、翌年の 5 月の学会であれば、せいぜい 2 月に具体的な行動を開始するのだが、今回の開始は早かった。11 月にお会いした某先生から「FOA 12 のホテルも航空券も、もう予約したよ」と聞いて、「僕も決めてしまおう」という気

になったからだ。それからすぐに FOA 12 への参加に向けた行動を開始し、12 月初めに航空券とホテルを予約した。しかしその段階でもフリードリッヒスハーヘンがどんな特徴のある場所なのか、知ろうという努力はしなかった。しかしながらよくよく考えると、学会参加登録費は事前登録費で 1230 € である。日本円で 15 万円以上するのである。しかも、宿泊費は別途必要であった。これは高すぎる。宿泊費を入れると 20 万円以上になる。日本で行った FOA 7 や FOA 10 での 2 倍になる。ただ、前回のボルチモアから参加費は高額になり、今回もそれに準じた形になったようである。参加者にとっては大変な負担であり、これが常態化してしまうのは、学会の質に影響を与える可能性も出てくる。吸着科学では優れた研究者がいて、以前までは FOA に参加していたスペインのメンバーたちの顔が今回見られなかった。参加費の問題でないかもしれないが大変残念であった。

日本吸着学会での FOA 12 に関する事前準備は、日本での種々の会議等で FOA 12 の宣伝活動を行い、同年の理事会・評議会、総会において、Japan Night の開催、会議参加補助の予算を決め、日本吸着学会からの参加を促した。しかしながら、結局日本からの参加者は全部で 31 名であった。これまで FOA には、吸着学会員も、学会員以外も、多くの日本人が参加してきた。イタリア・シシリア島では、日本から多数の参加者があったが、昨今吸着学会会員の減少があり、吸着の科学技術分野での興味が薄れてきているためだろうか、このように日本からの参加者は少なめであった。しかしながら、欧州や米国などからは多く参加があったようで、全体では 32 の国から 315 名（そのうち学生 92 名）の参加があり、口頭発表 147 件、ポスター発表 172 件と、例年並みの盛況な会議となった。

【レセプションとオープニング】

会議は、ボーデン湖に面した Graf Zeppelin Haus というイベントホールで行われた。5 月 29 日の夕方からレジストレーションデスクが開き、17 時半からは Evening Lecture として、ドイツ Bochum 大学の H. Maier 教授による「Important for the War : Chemists during the “Third Reich”」という講演がなされた。あいにく筆者は、当日の 18 時半過ぎに会場に到着した

ため、聴講することはできなかった。その後のレセプションには何とか間に合い、数年ぶりの知人に会い、軽食と地元のワインを楽しみつつも、長旅の疲れもあり、翌日の会議に備え、早めにホテルに戻った。

翌5月30日からはいよいよ会議本番となり、最初に FOA 12 の実行委員長であるマックスプランク研究所の Andreas Seidel-Morgenstern 氏による開会の挨拶で始まり、参加数や発表などの説明がなされた。続いて上述した通り、フリードリッヒスハーヘン市の市長である Andreas Brand 氏の挨拶があった。

【Keynote Lectures】

その後、9時からKeynote Lectureがあった。会議中Keynote Lectureは全部で3件あり、5月30日は米国マサチューセツ大学のP. Monson氏の「Adsorption in mesoporous materials: thermodynamics, dynamics and hysteresis」と題して講演があり、メソ細孔体でみられる吸着ヒステシス現象について、動的平均場理論や平均場密度汎関数理論を用いた最近の研究成果について、講演があった。5月31日のKeynote Lectureは韓国 KAIST の R. Ryoo 氏の「New generations of nanoporous materials」、6月2日には、ポーランド Rzeszow 工科大学の D. Antos 氏による「Forced modulation of operating conditions in chromatographic separation: potential and pitfalls」と題した講演があり、新しいテンプレートカーボンの大量合成に関する話題や、クロマトグラフの操作条件に関する話があった。

【Plenary Lectures】

また、最終日を除き連日3つずつのPlenary Lectureがあった。5月30日はフランス CNRS, Chimie Paris Tech, Paris の A. Fuchs 氏の代役で、F. Coudert 氏が「Mechanical impact of adsorption in compliant nanoporous materials」と題して、続いて京都大学の田中秀樹氏が「Computational study of gate adsorption behavior on metal-organic frameworks with the aid of X-ray structural analysis」と題して、それぞれ柔軟な構造をもつ細孔体の理論やシミュレーションと実験についての最近の研究成果について講演がなされた。午後からは米国 NIST の D. Siderius 氏から「The NIST /ARPA-E Database of Novel and Emerging Adsorbent Materials: An Online Infrastructure for Cataloging and Curating Adsorbent Materials, Data, and Properties」という講演があり、284の吸着ガスと4657

の吸着材の吸着等温線データを備えるなど、NIST が取り組んできたデータベースについての紹介があった。

5月31日はLinde社のM. Stegmaier氏による「Nonideal gas simulation of pressure swing adsorption processes」、スイスETHチューリッヒのM. Mazzotti氏による「Optimal design and operation of temperature swing adsorption cycles for CO₂ capture」およびイギリスBath大学のT. Mays氏による「Convergence of Theory and Simulations in the Analysis of Experimental Adsorption Isotherms in Nanoporous Carbons」と題したプロセスや実用的観点からの内容についての講演がなされた。

6月1日は午後エクスカージョンであったので、午前中に3つあった。中国科学院の陶有勝氏による「Revisiting Highly Nanoporous Carbons: Pore Structures and Capacitance Uptakes」では、ミクロポーラスカーボンの電気二重層キャパシタ性能に及ぼすポロシティの影響について講演があった。韓国延世大学のC. H. Lee氏により「CO₂ sorption behaviors of clay minerals and clay mineral/brine systems under subcritical to supercritical conditions: Contribution of the adsorption study to geological CO₂ sequestration」と題して、海底、地底でCO₂貯留の関連で、粘土鉱物や灌水が共存する粘土鉱物へのCO₂固定についての講演があり、さらにドイツDuisburg-Essen大学のD. Bathenによる「From Global Societal Challenges to Research Projects in Adsorption Technology」という題目で、吸着科学と技術分野における研究の進め方が提案された。

【Tutorials】

今回の新しい試みとして、Tutorialが設けられた。ある分野の専門家による当該分野のレビュー講演である。5月31日には、ドイツドレスデン工科大学のS. Kaskel氏による「Porous Materials Zoology: A dive into the world of COFs, CTFs, KITs, MAFs, MOFs, PIZOFs, ZIFs…」が、6月1日には米国ラトガース大学のA. Neimark氏による「Recent advances in statistical thermodynamics and molecular simulation of adsorption」が、6月2日にはカナダ・アルバータ大学のA. Rajendran氏とシンガポール国立大学のS. Farooq氏による「Adsorption processes」の講演があり、基礎的な内容を知らない人にとっては大変ためになる講演であったと思う。

【ポスターセッション】

ポスターセッションはFOAの討論の場の中でも重要なものであることはいうまでもないが、今回も172件と多くの発表があり、5月30日と5月31日の夕方、2日間にわたって行われた。若い学生ばかりだけでなく、吸着分野の偉い先生もポスター発表しており、優れた発表も多かった。ポスター賞が設けられ、日本からは京都大学大学院生の平出翔太郎さんが「Computational study of double gate adsorption on layer-structured metal-organic framework」と題した発表で見事受賞されました。

【ジャパンナイト】

ジャパンナイトは海外で開催されるFOAで恒例となった。海外からの参加者で、多くの人が日本のお酒や食べ物に興味を持っている。今回も、Japanese Nightと題した催しが5月30日のポスターセッション後、19時から（Nightと言いながら、まだまだ太陽は高く、明るい中で）開催された。これを催すには、日本から日本酒、焼酎、梅酒などある程度の量が必要であった。いつものように、FOA参加の日本吸着学会会員の方にお酒とつまみ類を手分けして持ち寄ることになった。筆者も相当分を割り当てられたが、お酒類は重いし、つまみ類は嵩張るし、運ぶのには結構苦労した。他の方々にもそのように苦労して運んでもらったおかげで、お酒類（4合瓶）25本程度、多種多様なつまみ類が用意できた。吸着学会会員の手により、会場のテーブルにそれら酒類とつまみが盛られると、これぞJapanese Nightという雰囲気となり、徐々に外国人参加者も酒類を楽しみ、つまみ類にも手を伸ばし、賞味していたようだ。前回のボルチモアではホテルへのお酒の持ち込みができず、日本のお酒類を提供できなかったが、今回は本来の日本のおもてなしができ、ジャパンナイトは大成功だった。

【エクスカーショ】

FOAで恒例のエクスカーションは、6月1日の午後に催された。フリードリッヒスハーヘンから東方面に、バスで2時間ほどかけて、Neuschwanstein（ノイシュバンシュタイン）城に出かけた。筆者は全く知らなかったのであるが、Neuschwanstein城はドイツのロマンチック街道と呼ばれるドイツ観光のハイライトの一つであり、多くの日本人が訪れるところのよう

である。バスの駐車場で入場時刻が指定されたチケットをもらい、そこから20分ほど歩いて城の入り口まで上がり、指定の時刻になったらグループで入城した。日本でも、戦国時代、敵陣に攻められないように建てられた難攻不落な城もあれば、豪華な邸宅代わり建てられた平城もあるように、異なる性質のお城がある。Neuschwanstein城は周りから近づきがたい場所には立っているが、建物は豪華絢爛な邸宅といえる。その主は、バイエルン王であるルートヴィヒ2世であった。ウィキペディアには、「ルートヴィヒ2世は、神話に魅了され長じては建築と音楽に破滅的浪費を繰り返した「狂王」の異名で知られる。」とある。そのおかげで、城のなかの絢爛たる品々や絵画を見ることができるのである。兎にも角にも、その時代の豊かさが伺えるお城であった。



エクスカーショで訪れた Neuschwanstein 城

【バンケット】

FOAで恒例のもうひとつの催し物といえば、バンケットである。全員がテーブル席に座り、最初は静かに食べたり、飲んだり、普通の着席のバンケット風景である。前にはステージがあり、音楽バンドによる軽快なリズムとメロディが流れた中で、しばし、食事とお酒、そしておしゃべりを楽しんだ。

しばらくすると、博士論文賞とシニア科学者賞の受賞者の発表があった。博士論文賞は、ベルギー Vrije Universiteit Brussel の J. Cousin-Saint Remi 氏が、シ

ニア科学者賞は、英国インペリアルカレッジの Ronny Pini 氏がそれぞれ受賞した。この2名は、最終日に受賞者講演が用意されていた。

その後しばし歓談が続き、アップテンポの音楽が鳴り響く中で、とうとうダンスが始まった。今回は、なぜかラテン系の音楽で皆がダンスに興じました。時間も忘れるくらい、楽しい時間を過ごしたが、まだ明日のセッションがあるのだ。バスに乗り込んで、会場にたどり着いたら、11時近くであった。

【最終日】

6月3日最終日は、Matthias Thommes 氏の Tutorial の後、バンケットで発表のあった博士論文賞とシニア科学者賞の受賞者による講演があり、その後、最後の5件は Industrial Session の講演で、ドイツ Clariant Produkte 社の S. Reitmeier 氏による「BTX aromatics from alternative feedstocks – challenges for separation processes and beyond」、スイス IBM Research の P. Ruch 氏による「Materials and system design for adsorption heat pumps to efficiently utilize waste heat and renewable energy」、コーヒーブレイク後に、ドイツ Linde 社の P. Keil 氏による「Optimization of O_2 -VPSA plants by combining high performance adsorbents, advanced processes and customized equipment design」、米国 Zeochem LLC 社の P. Purcell 氏による「New shaped 3A adsorbent for hydrocarbon dehydration applications」、日本 JFE スチール 社 Shigaki 氏による「Development of Large-scale CO_2 -PSA System for Recovery of CO_2 from Blast Furnace Gas」、最後にドイツ Ludwigshafen 社の P. Sa Gommers 氏による「Adsorption processes development: today and tomorrow」という実用的観点からの講演があった。

講演後は、実行委員長の Andreas Seidel-Morgenstern 氏による閉会の挨拶があり、その中で FOA 12 の開催に従事したスタッフの紹介とねぎらいの言葉が掛けられ、会場内から大きな拍手が送られた。

【次回 FOA 13 について】

閉会セレモニーの中では、次回 FOA 13 の実行委員長であるオーストラリア・メルボルン大学の Paul A. Webley 氏より、開催地ケアンズの紹介があり、マリンスポーツが盛んなグレートバリアリーフや、山岳地方の豊かな自然についての紹介があった。この時、日

本化学会会長でもある IAS 会長の宮原先生より、FOA 13 のプレミーティングを日本で開催する予定であることが告知され、欧州や北米からオーストラリアに行く途中に、日本での会議に参加するようにとの呼びかけがあった。このように、3年後、オーストラリア及び日本での再会を確認しあった。

【おわりに】

筆者は、当時の工業技術院四国工業技術研究所で26年くらい前から吸着分野の研究に携わるようになり、2001年に千葉大に移ってから、長崎の FOA 7 では実行委員に加わり、米国セドナの FOA 8、イタリア・シシリー島の FOA 9、淡路島の FOA 10、米国ボルチモアの FOA 11 と今回の FOA 12 に参加してきた。どれも思い出深い国際会議である。自分自身もこの場で多くのことを学んできている。FOA は吸着に関わる研究者・技術者の重要なコミュニティであり、今後も引き続けられることと確信しているが、日本だけでなく、世界の主要諸国においても、当該分野で世代交代を行っている最中であることは間違いなさそうである。今回 FOA に参加しドイツから帰国して、首尾よく日本吸着学会が世代交代を進め、うまく FOA に繋げていければといいなと、強く感じた。若い方々を中心に多くの方に、3年後のプレミーティングと、ケアンズでの FOA 13 を楽しんでもらいたいと切に期待する。

会議レポート

Fundamentals+α

産業技術総合研究所

遠 藤 明

みなさんよくご存知のことと思うが、FOA (International Conference on the Fundamentals of Adsorption) は3年に一回開催される国際吸着学会 (IAS) 主催の国際会議で、今回の開催地はドイツの Friedrichshafen (フリードリッヒスハーフェン) であった。私自身は前回の FOA 11 (Baltimore) には参加できなかったもので、FOA 10 (淡路) 以来の6年ぶり5回目の FOA 参加となった。実は3月のポスター発表申し込み締め切り時まで参加するかどうか決めかねていた (Oral の申し込みに間に合わなかったのと、参加費が高いことが主な理由) のであるが、開催地も開催時期もとても良かった事に加え、研究発表の聴講や多くの研究者との議論・会話を通じて、たくさんのやる気とアイデアを頂くことができ、実り多き学会出張となった。やはり多少無理をしてでも、どっぴり吸着につかれる1週間というのは何にも代えがたい貴重な時間であると改めて感じた。

さて、前置きはこのくらいにして本題に入るが、会議全体の概要・雰囲気などは、加納先生のレポートに詳しい報告があると思われるので、以下では私が担当となった「Fundamentals」セッションの概要を中心にご紹介させていただく。学会の開催期間は5月29日 (Registration, Evening Lecture と Welcome Reception のみ) ~ 6月3日までの6日間であったが、実質的には5月30日にスタートし、その中で「Fundamentals」は「I~VII」の7つのセッションに分けて行われた。パラレルセッションの中で最も多い合計30件の口頭発表と、26件のポスター発表が行われたが、他のセッション (Molecular Modeling, Characterisation, Materials などや、Application 関連のセッション) でも当然ながら基礎的な発表も数多く見られた。対象とする吸着材としては、予想通り MOF が一番多かったが、活性炭やゼオライト、メソポーラス材料などに関する報告も多く、全体としてよくバランスがとれていた印象である。また、対象とする吸着系としては CO₂ の吸着分離に関する研究が多く、この分野の関心の高さを伺わせた。Conference Dinner で発表されたポスター賞

も、MOF や CO₂ 吸着を対象とするものが目立っていた。Materials のセッションが他にあることもあり、新材料の合成やキャラクタリゼーションに関する発表は Fundamentals ではほとんど見られなかったが、新しい測定方法や機械的刺激を利用した新現象など、興味深い発表も多かった。

以下、最近の日本吸着学会の研究発表会と比較を通じて、Fundamentals の研究発表を聴講して感じたこと (私見を多く含む点のご容赦を) をまとめてみたい。Keynote および Plenary Lecture と 7 つの Fundamentals セッションをすべて聞き終えて感じたのは、日本の研究発表会と比較して「液相吸着」「吸着速度」「多成分吸着」に関する研究発表が多いな、ということであった。プログラムを見直して数えてみたところ、Fundamentals セッションの口頭発表30件中、液相吸着を取り扱ったものは、L1・1 (タンパク質吸着に関する Poisson-Boltzmann 方程式による解析と応用)、L1・5 (非等温系での液相クロマトグラフィーの解析)、L1・12 (液相での相分離が存在する場合のクロマトグラフィーの解析)、L1・22 (ナノ多孔質基板表面へのポリマー吸着)、L1・28 (コロイド系における粒子表面へのリガンド吸着) と5件あった。

多成分系吸着については、L1・11 (MOF への多成分吸着・CO₂/N₂/CH₄ 混合系)、L1・14 (ZSM-5 への CO₂/CH₄/H₂O 吸着)、L1・24 (小細孔径 MOF による高選択性 CO₄ 吸着、CO₂/N₂ 二成分系)、L1・27 (分子ふるいカーボンへの CO₂/CH₄ 吸着とプロセスデザイン) など、4件の発表があった。いずれも多成分吸着系での実験とシミュレーションを組み合わせた研究である。

吸着速度を取り扱った研究については、口頭発表30件中3分の1を超える11件もあり、ここでの個別の記載は割愛するが、興味深い研究発表が多かった。多成分系の吸着と併せて、当学会の研究発表会ではあまり多くみられないとかねてより感じていたことであり、こういった研究が日本の発表会でももっと多く行われるべきではないかと思っている。というのも、単成分吸着データを用いての議論は、初期の材料スクリーニングではある程度有効であるものの、実際の分離系での性能を評価するためには十分でない (あるいは正しいプロセス性能予測を与えない) ことが多い。従って、単に平衡吸着量や Working Capacity で議論するのではなく、速度論も含めて議論することが必要となる。願わくば、多成分系、それもできれば実環境

(温度、圧力)に近い条件での吸着実験により多くの研究者が取り組み、測定法も含めて多成分吸着での平衡および速度データを蓄積し、解析法も進化させていくこと、そしてプロセスオペレーションの観点からも材料の評価を進めることが、今後の吸着分野のさらなる発展には必要なことではないだろうか、と改めて感じた。本年1月のAdsorptionNews (Vol. 29, No. 4)の巻頭言で児玉先生が書かれていたことを思い出した次第である。ここで述べたことは、FundamentalsでなくApplicationなどのカテゴリーに属することとを感じる方も多いかもしれないが、Fundamentalsのセッションでもこういったことを強く感じさせられる学会であったのは事実である。

もう一つ、今回の学会での新しい企画について紹介したい。今回のFOAでは通常のセッションに加え、火曜日～金曜日まで毎朝早く(7時45分～、最終日のみ8時15分～)Tutorial Lectureが行われた。これはFOAでは初めての企画のようで、Prof. S. Kaskel (Technische Universität Dresden)によるMOFについての講義「Porous Materials Zoology: A dive into the world of COFs, CTFs, KITs, MAFs, MOFs, PIZOFs, ZIFs…」、Prof. A. Neimark (Rutgers University)による統計熱力学と分子シミュレーションについての講義「Recent advances in statistical thermodynamics and molecular simulation of adsorption」、Prof. A. Rajendran (University of Alberta)とProf. S. Farooq (National University of Singapore)による吸着プロセスについての講義「Adsorption processes」、Dr. M. Thommes (Quantachrome Corp.)によるナノ多孔体のキャラクター化に関する講義「Structural characterization of nanoporous materials by physical adsorption」の4件が行われた。どの講義も基礎的事項から最先端の情報までを適度にやさしく紹介されていて、がんばって早起きをして参加して良かった!と思わせるラインナップ・講義内容であった。さらに親切なことに、FOA参加者は講演スライドのPDFファイルをダウンロードできるようになっており、メモをとるよりも講義の内容に集中できた。朝早かった事を除けば、大変ありがたい役に立つ企画であり、今後のFOAでも是非継続して欲しいと願っている。

研究発表ではないが、日本吸着学会主催の大事なイベント「Japan Night」についても少しばかり報告したい。今回のJapan Nightは2日目(5月30日)の夜、ポスターセッションの後にスケジュールされてい

た。4月から学会事務局を仰せつかった関係で、Japan Nightの準備もお手伝いすることになった。仲井副会長がDECHEMAと交渉してくださり、「会場への酒類・おつまみの持ち込み可(ただし有料)」のお墨付きをいただいたので、各先生方にスーツケースの中にお酒を2本くらい、スナック類を少々忍ばせてくることをお願いした。皆さんにご協力いただいたおかげで、日本酒21本、焼酎2本、梅酒2本の合計26本、日本全国からバラエティーにあふれたものが集まり、テーブルに並べてみるとなかなか壮観であった。日本酒は冷やして提供できればなおよかったのであるが、会場の都合で常温となってしまうやや残念ではあったものの、2時間の間にほとんど売り切れになり大変好評であったと思う。お酒を配っていてよく聞かれたのは、「もっと強いお酒はないのか?」「この中で一番うまいのはどれ?」「あなたのおすすめはどれ?」の3つ。外国の方の好みを図りかねる部分もあり、また20本以上のなかからオススメは?といわれても困ったところもあるが、集まったお酒の配分(日本酒:焼酎:梅酒)もちょうど良かったのではないと思う。最後になりましたが、ご協力いただいた関係各位にこの場をお借りして改めて御礼申し上げます。

Molecular modeling セッションレポート

京都大学工学研究科

田 中 秀 樹

Molecular modelingのセッションでは、合計12件の口頭発表があった。本レポートではその内の6件について、その概略を報告する。

“A Density Functional Theory Computational Study of Alkali Cation-Exchanged sod-ZMOF for CO₂, N₂, and CH₄ Adsorption,” J. Shang et al. (Australia)

本研究は、SOD型ゼオライトと幾何学的に等しいフレームワーク構造を持つsod-ZMOFの分子篩特性について、DFT法により検討したものである。sod-ZMOFのas-synthesized compoundの化学組成は、[In-(4,6-PmDC)₂Na_{0.36}K_{1.28}](NO₃)_{0.64}(H₂O)_{2.1}(4,6-PmDC=4,6-pyrimidicarboxylate)である。Cs⁺によってイオン交換すると、ソーダライト型ケージの6員環(細孔入口)近傍のサイトを占めるようになるが、6員環面を挟んで両側にCs⁺が分布するために、複雑なポテン

シャル場が形成される。6員環面に対する垂線に沿って吸着分子の binding energy を DFT によって計算したところ、6員環近傍において global minimum および global maximum が生じ、両者のエネルギー差（エネルギー障壁） ΔE_a は、 $\Delta E_a(\text{CH}_4) < \Delta E_a(\text{N}_2) < \Delta E_a(\text{CO}_2)$ の順となることが明らかとされた。この ΔE_a の大小関係は、 Cs^+ の正電荷と吸着分子との相互作用によるものであり、速度論的にはこの順序にて、吸着分子の拡散が遅くなる（ CO_2 が最も遅くなる）ことが期待される。ただし、より厳密には、binding energy では無く、自由エネルギーによって議論する必要があり、また、フレームワークの柔軟性も吸着分子の拡散挙動に大きく寄与することが予想されることから、今後のさらなる研究の進展が望まれる。

“Understanding Gas Separation Selectivity in IRMOF-8 by a Combination of Molecular Simulation and Experiment,” R. S. Pillai et al. (Portugal)

本研究は、実験により見出された、IRMOF-8の $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_4$ 選択性の発現メカニズムを、分子シミュレーション [グランドカノニカルモンテカルロ (GCMC) 法] によって明らかとしたものである。IRMOF-8には、ジャングルジム型のフレームワーク構造を持つもの (IRMOF-8-NONINT)、および二つのジャングルジム型フレームワークが相互貫入したもの (IRMOF-8-INT) が存在するが、まず、実験と GCMC 法による吸着等温線の比較から、実験に用いられた IRMOF-8 サンプルの大部分が IRMOF-8-INT であったことが確認された。そして、 $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_4$ 選択性の発現が、IRMOF-8-INT のフレームワークと吸着分子とのわずかなファンデルワールス相互作用の差異 ($\text{C}_2\text{H}_6 > \text{C}_2\text{H}_4$) によって生じるものであり、相互貫入型 MOF が小分子の分離に適していることが示された。尚、IRMOF-8 フレームワークの force field としては、DREIDING が最適であり、UFF や OPLS-AA では吸着量が過大に評価されてしまうことが報告された。

“An Accurate and Transferrable Molecular Model to Predict Adsorption in Metal Organic Frameworks with Open Metal Sites,” C. Campbell et al. (UK)

CuBTC のように Open metal site (OMS) を持つ MOF は、オレフィンの π 電子と特異的な相互作用をすることが知られており、M. Jorge らは、DFT 計算によって $\text{C}=\text{C}$ 結合上の中点と、CuBTC の OMS との間に働くべきポテンシャル関数 (Morse ポテンシャル + power law) を決定することで、GCMC 法による

オレフィン吸着等温線の計算を可能としている (OMS 法)。本研究は、OMS を持つ各種 MOF に対する OMS 法の適用可能性 (C_2H_6 吸着) を調べたものであり、PCN-16、NOTT-100、UMCM-150 などの MOF では、実験による吸着等温線と良好な一致が得られることが報告された。但し、MOF-505 は例外であって、吸着分子の拡散が遅いために実験による吸着量が過少評価されている可能性が指摘された。

“Molecular Scale Analysis of Water Sorption in Cement Mesopores,” P. A. Bonnaud et al. (Japan)

セメントの成分である Calcium-Silicate-Hydrate (CSH) は、水の吸/脱着によって特異な膨潤/収縮挙動を示すことが知られている。例えば、メソ多孔性シリカの Vyor は、水の毛管凝縮によって膨潤するが、その蒸発時には一旦、収縮をした後、膨潤に転じるといった体積変化のヒステリシスが観測される。一方、CSH では、同じく水の毛管凝縮によって膨潤するが、その蒸発過程では、単調な収縮挙動のみを示す。本研究は、この CSH への水吸着挙動を GCMC 法によって検討したものである。Calcium-Silicate 壁からなるスリット型細孔 (細孔径: 0.98 nm、1.48 nm、1.98 nm、2.48 nm) を仮定し、水吸着等温線を計算したところ、細孔径 1.98 nm 以上では吸着ヒステリシスが生じ、それより小さな細孔ではリバーシブルとなることが示された。そして、4つの水吸着等温線を足し合わせることで、実験による水吸着等温線を再現することが試みられたが、広い相対圧範囲にわたって生じるヒステリシスを再現するには到っていない。その理由としては、4つのスリット型細孔モデルでは、CSH の幅広い細孔径分布をカバーできないこと、また、rigid な細孔モデルを仮定しており、そもそもの水吸着に伴う細孔径の変化を考慮していないことなどが考えられる。さらには、GCMC 法では直接的に熱力学的に安定な気-液相転移点を決定できないという問題もあり、多くの課題が残されている。

“Flexibility, Defects and Disorder in Soft Porous Crystals: Molecular Insight from Computational Chemistry,” A. Boutin et al. (France)

Flexible MOFs あるいは Soft Porous Crystals と呼ばれるソフトな多孔性固体の外部刺激 (温度、圧力、吸着) に対する応答性について、計算科学による研究を精力的に行っている F.-X. Coudert らのグループによる研究報告である (発表は F.-X. Coudert)。本発表では数多くの研究報告についての概略が紹介された。

① MIL-53 (Al) と同様なワインラック構造を持つ CAU-13 ([Al (OH) (trans-CDC)] H₂O, CDC=1,4-cyclohexanedicarboxylate) について DFT 計算を行ったところ、機械的応力の印加によって large pore form から narrow pore form へと構造転移することが分かった。このことは、MIL-53 (Al) と同様に、ガス吸着によって、CAU-13 がいわゆる breathing 挙動を発現すべきことを示唆するものである。②同じくワインラック構造を持つ ZAG-4 (Zn[HO₃PC₄H₅PO₃H] 2 H₂O) の DFT 計算を行うことにより、X線回折測定によって観測された negative linear compressibility を理論的に実証すると同時に、機械的応力の印加によって、-PO₃H 基のプロトンが吸着水へと移動し、H₃O⁺が生じるべきことを初めて明らかとした。③ Zeolitic imidazolate frameworks (ZIFs) の各種の実在構造および仮想構造について分子動力学シミュレーションを行い、その熱的・機械的安定性の評価を行ったところ、仮想構造の多くは不安定であって、実験的にその存在が確認されていないという事実を裏付ける結果が得られた。しかし、その内のいくつかはゲスト分子の存在によって安定に存在し得ることが示された。

以上の①-③は、ab initio 計算が MOF の物性予測やスクリーニングに有用であることを示す、極めて重要な研究報告であると言える。

“Quasi-Wall Effect by Adsorbed Nitrogen in Nanowindows of Graphene,” K. Kaneko et al. (Japan)

本発表では、単層カーボンナノホーン (SWNH) を部分酸化によって開口させ、77 K における N₂ および 87 K における Ar 吸着等温線を測定すると、低相対圧領域に見られる吸着ヒステリシスに差異が生じることが報告された。これは、両者における速度論的な吸着挙動が異なることを示唆するものである。そこで、グラフェンシートに分子サイズの開口部を設けた nanowindow model を構築し、分子動力学シミュレーションを実施したところ、monolayer 形成時において、Ar 吸着では nanowindow 周辺に分子が存在しないのに対し、N₂ 吸着では、nanowindow およびその周辺を覆うように分子が吸着されるという興味深い現象が見出された。この特異な現象が、上述の実験における吸着特性の差異の一因となっているものと考えられる。

今回の FOA 12 では、各日の早朝に Tutorials が開催 (計 4 回) され、各分野における第一人者 (Prof. Kaskel, Prof. Neimark, Prof. Rajendran/Prof. Farooq, Dr. Thommes) がそれぞれ 1 時間の講演を行った。Prof.

Neimark による Tutorials は、「Recent advances in statistical thermodynamics and molecular simulation of adsorption」であったが、その冒頭、「molecular simulation」および「adsorption」をキーワードとして検索すると、最近では、年間 1000 件以上の論文がヒットすることが紹介された。上述の molecular modeling のセッションにおける研究発表からも明らかのように、今や、吸着分野において、分子シミュレーションが極めて有用なツールとなっていることが示唆される。本 Tutorials では、まず、メソ細孔への毛管凝縮における熱力学、および Gauge cell 法に代表される新規シミュレーション手法が紹介され、最近の本分野における重要な研究者として、Prof. Miyahara ら (毛管凝縮挙動の速度論的検討) や、Dr. Siderius ら (Transition-matrix Monte Carlo 法：気-液平衡転移点を極めて容易に決定する新規手法開発) が紹介された。また、新規 MOF の予測・スクリーニングにおいて分子シミュレーションが果たすべき役割と重要性が指摘された (Prof. Sholl らおよび Prof. Snurr らによる研究)。さらに、ソフト MOF の外部刺激に対する応答性の研究においても、分子シミュレーションは重要な役割を果たしつつあり、本分野における代表的な研究者として、上述の Prof. Coudert らの他、Dr. Ravikovitch、Prof. Miyahara らが紹介された。

Environmental Applications セッションレポート

静岡理工科大学
山崎 誠志

今回の FOA12 は、スイス、オーストリア、ドイツの国境が接しているボーデン湖の畔にある Friedrichshafen という地で開催された。現地には、羽田空港から Frankfurt 経由で Bodensee (Friedrichshafen) 空港に会議前日の土曜日の 23 時頃に到着した。翌日曜日は、夕方から Evening Lecture があるので、朝から街を散策すると、ヨーロッパによくある旧市街はなく、近代的なこじんまりとした街並みでした。我々が到着した Bodensee 空港は、飛行船 Zeppelin 号の基地が今でもあり、空を見上げると遊覧飛行している飛行船を見かけることもあり、日本では味わうことのできない光景が印象的でした。

本題の会議レポートを書くにあたり、FOA 11 のレ

ポートを見ると、全体概要の中で宮原先生が、『日本を出る際に見た「今週はずっと雨」との予報がはずれたのは幸いで…』との記述を見て、今回も日本で確認した天気は、期間中ずっと雨、しかも雷雨の予報であることを思い出した。ドイツに着いた翌日の日曜日の午後にバケツ、いやタライをひっくり返したような土砂降りの雨が降り、期間中どうなることかと心配したが、その後は、夜中に強い雨が降る程度で、思いのほか困ることはなかった。しかし、淡路でも大雨に降られた記憶があり、FOA と雨の相関性が高い印象を持ったのは私だけでしょうか。

さて、そろそろ本題の Environmental Application セッションのレポートを書くことにする。このセッションは、3日目(5/31)の夕方に4件と、4日目の午前中最後のセッションで4件の計8件の口頭発表があった。また、27件のポスター発表があり、注目すべきは約半数にあたる13件がCO₂吸着に関する発表で、世界的にCO₂吸着に関心が高いことを示している。本レポートでは、ポスター発表よりは、口頭発表を中心に述べて行きたい。口頭発表の数が少ないので、以下にタイトルと発表者を列記する。

L 6.1 Electric Swing Adsorption for selective CO₂ capture from flue gases. Carlos A. Grande, SINTEF Materials and Chemistry, Forskningsveien 1,0373. Oslo, Norway.

L 6.2 Structured MOFs Adsorbents for CO₂ Capture Applications. Fateme Rezaei, Chemical and Biochemical Engineering Department, Missouri University of Science and Technology, Rolla, USA.

L 6.3 VSA Process for Carbon Capture and Concentration—What are the limits? Maninder Khurana, Shamsuzzaman Farooq, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, National University of Singapore, Singapore 117585

L 6.4 Molecular insight into CO₂ “Trapdoor” Adsorption in zeolite Rho. Daniela Kohen, Carleton College, Northfield US. FX Coudert, Chimie Paris Tech—CNRS, Paris France.

L 6.5 Toxic Gas Sensing on Nanoporous Carbons. Teresa J. Bandosz^{1,2}, Nikolina A. Travlou^{1,2}, Mykola Seredych¹, Enrique Rodriguez—Castellon³, ¹Department of Chemistry, The City College of New York, ²Graduate Center of CUNY 160 Convent Ave, New York, NY, 10031, USA, ³Departamento de Química

Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, 29071 Málaga, Spain.

L 6.6 Adsorption of Metal Hydroxide Thin Films for Water Treatment Technologies. Ren Yi¹, Chiam Sing Yang¹, Liu Junyi², Li Fong Yau Sam², ¹Institute of Materials Research and Engineering, A*STAR, Singapore, ²National University of Singapore, Singapore.

L 6.7 Electric Swing Adsorption Cycle for CO₂ Removal from Flue Gases of Power Plants. Marija Jecmenica Ducic¹, Ivana Djukic¹, Menka Petkovska¹, Javier Rodriguez², Gerardo Sanchis², Benedikt Schuerer³, Davide Bonalumi⁴, Giampaolo Manzolini⁴, Carlos Grande⁵, ¹Nikola Nikacevic, Department of Chemical Engineering, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia, ²Process Systems Enterprise Limited, London, UK, ³Linde AG, Engineering Division, Pullach, Germany, ⁴Department of Energy, Politecnico di Milano, Milano, Italy, ⁵SINTEF, Oslo, Norway

L 6.8 New PSA Cycle for Removing and Concentrating Metabolic CO₂ Produced during Closed-Loop Human Space Exploration Missions. Armin D. Ebner, Hanife Erden and James A. Ritter, Department of Chemical Engineering, University of South Carolina, Columbia, SC 29208 USA.

これらの発表の中で、「Electric Swing Adsorption」に関する2件(L 6.1とL 6.7)の発表があった。発表を聞くまでは、「どのような電気刺激を与えるのか？」と疑問を持っていたが、ただ単に電気炉の制御を電氣的に行っているだけで、「これはTSAでしょ」と技術的には何ら斬新さが無い発表でがっかりした。筆者は、ゼオライトを専門としているため、L 6.4のRho沸石に関する発表に注目した。余談ながら、Y大学のC. Lee先生とホテルが同じで、毎朝、雑談する機会があり、最近はゼオライトに関する研究が少なくなっていることを危惧しているようであった。話は戻って、発表タイトルの中に『Trapdoor』というキーワードが入っており、MOFのようなゲート効果がゼオライトでも見つかったのかと思い、ワクワクしながら発表を聞いた。Rho沸石は、酸素8員環のウィンドウを持つケージが3次元に並んだ細孔構造を取り、ウィンドウ部分にカチオンが存在している。発表では、CO₂分子の吸着にともない、ウィンドウを塞いでいるカチオンがドアのように動くことをシミュレーションした内容であった。シミュレーションでは、カチオン

が動くことが可能であることを明らかにしている。しかし、モレキュラーシーブ 3 A ~ 5 A のように、ウィンドウのカチオンが易々とは動かないことが知られている。実際の吸着において、Trapdoor としてどのように働かせるのが期待できる発表であった。L 6. 8 では、13 X ゼオライトを吸着剤とした新規の PSA サイクルにより、ゼオライト 5 A を採用している ISS のシステムと同等の回収率を実現できることを発表した。このシステムの場合、宇宙船キャビン内の空気から 4. 2 kg/day の CO₂ 回収が可能とのことである。現在、会長が率先して『吸着』という現象を一般の方々へ認知・浸透させようと取り組んでいる。この発表にあるように、宇宙開発において『吸着』技術が必要であることは、一般の方へアピールする一つの話題になるであろう。

Adsorbent Materials セッションレポート

東京農工大学
近 藤 篤

ドイツのボーデン湖のほとりにあるフリードリヒスハーフェンで開催された今回の FOA 12 では炭素材料やゼオライト、シリカ材料や Metal-organic framework (MOF) 等の様々な材料を用いた研究発表がなされ、活発なディスカッションが行われた。炭素材料やゼオライトの発表においては、応用を見据えた視点からメソ細孔の付与やコントロール、その効果が及ぼす機能特性についての研究があった。また、MOF においてはメカニズムの検討や応用探索に向けた取り組みが多く見られ、新物質についての報告は限られていた。Material という観点において著者の興味を引かれた研究発表が多数見られたが、その中からいくつか選択して以下に紹介させていただく。

Reversible Highly Nanoporous Carbons: Pore Structures and Capacitance Uptakes (Plenary Lecture 7)
Y. Tao, K. Annamalia, H. Muramatsu, K. Oshida, M. Endo and K. Kaneko (Japan)

中国科学院 (Chinese Academy of Sciences) の Tao 先生によって行われた Plenary Lecture では、電極材料向け炭素材料の細孔構造とキャパシタンスとの関係を検討するために活性炭繊維やカーボンアエロゲル、

カーボンキセロゲル等の様々な炭素材料が用いられた。細孔構造と電気化学特性との関係が示され、メソ細孔の重要性が述べられていた。また、graphene を carbon nanohorn でピラーリングすることで、メソ細孔をもつ炭素複合体の創製に成功していた。この新規材料の評価においても、ミクロ細孔性炭素材料にメソ細孔を付与することで電極材料としての機能 capacitance が大幅に向上することが示されていた。

Effective Porous Structures of Carbon Electrodes for Improving EDL Capacitance (Session: Energy Applications II)

K. Urita, K. Fujita, K. Horio, Y. Konishi, M. Yoshida and I. Moriguchi (Japan)

長崎大学の瓜田先生によってなされた発表においては、細孔性炭素のミクロメソ細孔構造と電極材料特性の関係が詳細に検討されていた。炭素材料の細孔構造と電極材料の特性の関係を評価している点では先の Tao 先生の研究と類似しているが、本研究では TEM で観察された情報を利用して炭素材料のモデルを構築しており、より現実的な材料評価がなされていると感じた。さらに、単に細孔径のみならず、細孔の network 構造の効果が示されており、電極材料設計における重要な情報を含むと感じた。

Ordered Microporous Carbons of fully Graphenic Framework from Zeolite Templates (Session: Adsorbent Materials I)

K. Kim, T. Lee, Y. Kwon, R. and Ryoo (Korea)

Mesoporous Materials with Microporous Zeolite Framework for Adsorption Studies (Session: Adsorbent Materials V)

R. Ryoo and J. Changbum (Korea)

韓国の Ryoo 先生のグループによる新たな zeolite 材料の発表があった。例えば、L 2. 19 において分子構造が制御された界面活性剤を用いることで二次元構造をもつゼオライトナノシートの合成がなされていた。更に、このナノシートを用いてシリカ剤でピラーリングすることにより、メソ細孔が付与された 3 次元多孔体が創製されていた。また、ゼオライトナノシートを利用したナノスポンジと呼ばれる材料や、ゼオライトを鋳型とした細孔性カーボン等も示されており、新しく興味深い材料の報告が見られた。細孔性固体材料を鋳型としたハードテンプレートは規則的な構造を付与

できる手法として以前から注目されているが、現在 MOF などを中心に新たな細孔構造をもつ材料が次々と報告されているため、それらを鋳型とした新たな構造的特徴を有する細孔性材料合成は今後の更なる展開が期待できる。

From Design to Application: HKUST-1 Coated 3 D Substrates for Use in Thermally-Driven Heat Transformation (Session: Energy Applications II)

S. Ernst, F. Jeremias, H. Bart and S. Henninger (Germany)

3 次元骨格構造をもち、オープンメタルサイトを有する MOF を利用したヒートポンプの検討があった。MOF を用いる一つの理由は、MOF の細孔構造を分子レベルで制御できるためであり、それにより効率的な吸着／脱着ができるようになる。今回の発表においてはヒートポンプに適した液体の選択やそれに対する MOF の安定性等に留まっていたが、適切な MOF と吸着質の適切な組み合わせ、作動条件検討等、更なる研究により大きく進展すると期待できる。

Characterization of the MIL-125(Ti) Structure with High-Performance Liquid Chromatography Revealing Cis/Trans Selectivity (Session: Adsorbent Materials VI)

S. Van der Perre, B. Bueken, D. de Vos, G. Baron and J. Denayer (Belgium)

ベルギーの Denayer 先生によって MOF を液体クロマトグラフィーのカラム剤として利用した研究発表がなされた。MOF の精密な細孔設計によって、物理化学的に性質の類似した分子の分離を検討したものであった。例えば、2 つの官能基を有するシクロヘキサン誘導体の cis/trans-立体異性体の分離を検討しており、それらの分離がある MOF を用いることで実現できることを示していた。医薬品等においてキラルな分子分離は極めて重要であり、多様な材料を構築できる MOF を用いた分離技術の発展が期待される。

Energy Applications セッション

長崎大学大学院工学研究科

瓜 田 幸 幾

今回の FOA に出かける前に天気のことを全く気に

しておらず雨など頭になかったのだが、乗り継ぎのフランクフルトで雷雨に見舞われた。私が出かけると当然のように天候が崩れるので当然と言えば当然なのだが、やはり会期中に豪雨というのは避けたいものだ。フランクフルトから飛行機で 40 分程度で開催地である Friedrichshafen に到着したが、雨が収まっていたのは幸運であった。自他共に認める雨男ではあるが傘をもっておらず、ホテルまで傘も差さずに重いトランクを運ぶのは勘弁だなあとフランクフルトを発つときには思っていたので…。会期中は時折豪雨に見舞われたが、移動時は小雨程度におさまってくれたのは幸いであった。さて、この度は編集委員として Energy Application のセッションに関する会議レポートの執筆を行うことになったが、後述するように Energy という名のタイトルではあるが、自身の研究とは少々分野の異なる内容が大半（全てと言っても過言ではない）であり、しっかりと理解できないところもあるかと…。また、セッションの総括というよりは感想に近い点をあらかじめご了承下さい。

それでは、本題である Energy Applications のセッションの報告に移る。本セッションは、口頭が 8 件（1 件のキャンセルがあり実際は 7 件）、ポスターが 9 件の全部で 17 件（内 1 件はキャンセル）の発表がありました。この発表件数は、10 セッションある中で Industrial、Biotechnology Applications のセッションに次いで 3 番目に少ない発表件数であり、口頭・ポスター合わせて 50 件近い発表のあった材料セッションからもう少しエネルギー分野に発表者が移行しないものかなと感じた。実際のエネルギー分野の発表の内訳をみると、

口頭発表

熱エネルギー：2 件

分離・回収：2 件（内 1 件はキャンセル）

水素生成（シフト反応）：1 件

吸着材料（メタン吸着）：1 件

蓄電材料：1 件 [*筆者]

ポスター発表

分離・回収：3 件

MOF（水吸着、プロトン伝導）：2 件

水素貯蔵：1 件

バイオ燃料：1 件

熱エネルギー：1 件

蓄電材料：1 件 [*筆者の研究室]

となっている。また、Tao 教授（中国科学院 福建物

質構造研究所)のPlenary Lectureにおいても水系及び4級アンモニウム電解液における種々のカーボン材料の電気二重層キャパシタ(EDLC)特性のご講演があった。私の研究分野である蓄電材料関係はTao教授のPlenary lectureを含めて3件あるが、エネルギーセッションの口頭は自身の発表であり、ポスターは研究室の学生の発表であるため、FOA 12全体でみても他研究室による蓄電デバイス関係の発表は1件のみとなった。国内における電気化学関連の研究発表会では、電極の細孔構造に関わる発表が数件行われており、このような研究者をいかに吸着学会へ参画させるかを考える必要があるのではと感じた。一方で、Energyセッション以外のセッションにおいて当方の研究につながる可能性がある内容の発表が行われていた。例えば、Molecular ModelingセッションにおけるTallarek教授(フィリップ大学マールブルク)の発表[L. 9. 5: A new view on surface diffusion from molecular dynamics simulations of solute mobility at chromatographic interfaces]は、固体表面における液体の移動度をMD法によって計算しており、例えばEDLCの電極細孔内における電解液に対して応用することで、EDLC特性を向上させる電極材料を設計する上で有用な知見を与えると期待できる。また、材料セッションにおいても観点を変えると蓄電デバイス材料として扱える可能性がある材料がいくつかあり、皮肉にも担当セッション外のセッションの方が自身の研究へつながる大変興味深い発表がなされていた。

話が自身の研究分野に偏ってしまったが、Energyセッションに目を向けてみると、やはり分離・回収に関する報告が多くを占めていたように感じた。FOA 11のプログラムを拝見すると分離対象がいくつかあったが、今大会では1/4件(キャンセル除く)がバイオ燃料に関する報告であった。その中で、Tezel教授(オタワ大学)の発表[L. 4. 7: Impact of activated carbon adsorbent on the performance of silicon membranes for butanol pervaporation separation for improving biobutanol production]では、多孔体の利用による分離効率の向上が報告されていた。FOA 11ではEnergyセッションとSeparationセッションが分かれていたが、今回は1つのセッションとなっており、縮小傾向にあるのかと危惧している。先にも記述致しました通り、蓄電材料系の研究においても吸着技術による材料評価は非常に重要であり、まずはそのような分野の研究者を日本吸着学会へ引き込むことが私

の使命かと感じた次第である。

最後に、FOA 12のスナップショットを掲載します。学会の雰囲気が少しでも伝われば幸いです。

全体写真は下記のURL内からダウンロードができます。

<http://dechema.de/en/foa 2016. html>



口頭発表の会場の様子



ポスター発表の様子



Japan Night の様子



Japan Night の様子



休憩、昼食、Japan Night、ポスター発表の会場



Banquetの様子（宮原会長と Prof. Manson）



Excursion における夕食風景



Banquetの様子



Banquetの様子



Banquetの様子



Banquetの様子
(Conference chair の Prof. Seidel Morgenstern))



Banquetの様子（ポスター賞受賞）

学生レポート

FOA 12 を振り返って

大阪大学大学院理学研究科
山 谷 達 也

5月29日から6月3日の五日間、ドイツのFriedrichshafenにて開催されましたFOA 12にこの度参加致しました。この学会に参加しないかと上田先生からお声をかけて頂いたのが去年の吸着学会が終了した時期だと記憶しております。そのときFOA 12について知っていたことは国際的にも最大規模の吸着に関する学会だということと、会場はドイツの風光明媚な場所で催されるということでした。私は風光明媚の意味を辞書で調べて、「自然豊かで景色がきれいなところなのか、いいなあ。」くらいとしか思っておりませんでした。それからしばらくして二月ごろ、FOA 12の参加締め切りが迫り、国際学会に参加する最後のチャンスだと思い参加することを決めました。

それから現時点までの研究内容をまとめポスターの作成に取り掛かったのですが、ポスターはもちろん説明用の原稿も英語で作る必要がありいつも以上に苦労した準備期間でした。原稿は自分の考えた英語なのですが、海外の場で間違ったことは言えないとプレッシャーを感じ、辞書や論文を何度も参照しました。

そんなこんなで何とか完成させ、いよいよ学会前日、初の海外に向け日本の空港を立ちました。ドイツまでの約12時間の空の旅は睡眠を取ったりプリンアウトしたポスターを見ながら原稿を確認したりであっという間でした。

まずはFrankfurtに到着し、Friedrichshafen行きの飛行機が出るまで時間が少しあったので空港のカフェでホットチョコレートを飲みながらゆっくりしました。そこからまた飛行機で一時間ほどの移動で到着しました。上田先生が事前に仰っていた通り、現地は湖が綺麗でなかなか場所でした。

その日の午後に参加登録を済ませるため会場に向かい、手続きのあとwelcome partyに参加しました。頑張っ海外の方と話しかけようとしたのですが勇気が出せず結局話せなかったことを後悔しました。

自分のポスター発表は学会初日だったのですが、発表が始まるまでは上手くいくだろうか、相手の言うことにちゃんと答えられるだろうかという不安な気持ちでいっぱいでした。国内国外問わず多くの方が来てくださりましたが、案の定英語の聞き取りが上手くできず何度も聞き返すことになり質問者の方に煩わしい思

いをさせてしまいました。

しかしポスターを見に来てくださった方は全てそんな自分の拙い英語に対して嫌な顔一つすることなく笑顔で質問し直してくれ、自分もそれに対して何とか返答することができポスター発表は自分の中では満足のいく形で終えることができました。

その日の晩にJapan nightがあり参加者の方に持ってきた日本酒を振る舞いました。その時点ではポスター発表のおかげで海外の方と話すことに抵抗もなくなり積極的に話しかけることができました。感想を聞いたところ海外の方には梅酒や甘口のお酒が人気でした。

二日目からは肩の荷が下り学会の発表に集中することができました。気になった発表に関しては事前に予稿集をプリントアウトして発表前に目を通して聴講に臨みました。その中には自分のポスター発表に足を運んでくれた方もおり、質問内容がその方の研究内容に直結するものでなるほどと思いました。

三日目のexcursionと四日目のdinnerも非常に有意義な時間を過ごせました。ノイシュヴァンシュタイン城をバックに写真を撮ろうとしている方に声をかけて写真を撮ったことがきっかけで仲良くなりましたし、またdinnerも偶然一緒の席になったアメリカの方と色々な話をして盛り上がりました。(アメリカの方の英語は聞き取りやすかったです。)

今回国際学会に参加して感じたことは、他の日本の学生の方の英語力の差と、海外の方の研究に対する姿勢について日本との違いでした。ポスター発表では皆ワインやスナックを片手に研究内容について議論しており、日本ではあまり馴染みのない景色でした。しかし彼らと話しているうちに研究に対する姿勢というのが肌で感じられてきました。研究に対して変な抵抗や隔たりがなく、それこそ研究内容の議論を酒の肴にできるくらい身近に感じているということです。

今回このような機会を設けて下さり、自らが忙しい中わずかな時間を見つけては指導して下さいた上田先生に心から感謝申し上げます。また費用の面で多大な援助をして下さった日本吸着学会様にも重ねてお礼申し上げます。今回の経験を忘れることなく、残りの学生生活、自身の研究活動に打ち込んで参ります。

FOA 12 参加レポート

東北大学工学研究科
野 村 啓 太

今回のFOAはドイツの南端にある都市、フリードリヒスハーフェン(Friedrichshafen)にて開催され

ました。非常に治安の良い街のようで、私がホテルでチェックインした時には自由に出入りできるようにと、ホテルの裏口の鍵をさらっと渡されました。街の中の雰囲気も確かに穏やかで、ジョギングや釣りを楽しむ人たちが散見されました。

さて、本題の FOA 参加についてですが、今回は私にとって 2 度目の海外国際会議参加でありました。1 度目は韓国でのポスター発表で、今回はそこからステップアップして口頭での研究発表を行いました。自身の英語の拙さを自覚していた私は、発表が始まる直前、緊張でゲロを吐きそうな状態となっていました。そのような体たらくで上手に発表できるはずも無く、非常に四苦八苦しながらの発表となってしまったのを覚えています。しかし発表の後には Gennady Y. Gor 氏を始め数人の方から声をかけて頂き、自身の研究についての意義深い意見を頂けたこと、また近い研究を行っている方々との人脈ができたことは大きな収穫であったように思います。

思えば、FOA では参加者同士のコミュニケーションを取りやすくするための工夫が随所になされていました。長めにとられた休憩時間や皆が気軽に使えるラウンジバーなど。その中でも特に印象的であったのが Japan night という企画です。日本人の参加者が、日本から伝統的な飲み物や食べ物を持ち寄って、世界の人々に味わってもらおうという企画です。私もいくつか品を持っていきました。提供者側としての立場からか（それともお酒で気が大きくなっていたのか）、海外の人に対して非常に声をかけやすかったです。精米歩合の高い高級なお酒が好きな人から、梅酒のような甘いお酒が好きな人まで反応は様々。そこは日本とあまり変わらないのだなと思いながら、楽しいお酒が飲めました。

加えて、学会を通して日本国内の諸先生方、修士・博士課程の方々とも交流を深めることができましたことも、今後の私の財産となるように思います。

最後になりましたが、今回の FOA 12 参加登録費を援助してくださり、貴重な研究発表の機会を与えてくださった日本吸着学会に心からお礼申し上げます。

FOA 12 に参加して

信州大学大学院総合工学系研究科
吉 元 政 嗣

ドイツのフリードリヒスハーフェンで開催された FOA 12 に参加し研究発表を行いました。初めての国際学会参加ということで、英語でディスカッションで

きるのかという不安を持ちつつドイツに行きました。ドイツに着くと会話はもちろん英語を使うことになり、最初は単語を聞き取ることで精一杯でしたが、慣れてくると会話を聞き取ることができ簡単な会話はできるようになりました。

フリードリヒスハーフェンに着くと街の人の和やかな雰囲気もあってか英語で発表するという不安はなくなっていました。到着した次の日の午前中はコンスタンツなどの近隣を観光しました。日曜日に訪れたこともあってお店は開いていませんでしたが、綺麗な街並みを見ることができたので良かったと思います。滞在していた期間の天気は雨が多かったです。特に、Zeppelin museum を訪れていた時のゲリラ豪雨は館内で雨漏りが起こり良くも悪くもいい思い出になりました…。

学会が始まり口頭発表を聞くと、普段自分ではあまり勉強しない分野のこともたくさんあり新鮮な気持ちで聞くことができました。それと同時に専門外の勉強を怠っていたなという反省の気持ちもあり、帰国後は聞いた発表をきっかけに勉強しようと思いました。私自身は初日の午後にポスター発表を行いました。いざ、自分の発表を行うとなり、海外の方を前にすると緊張し英語で発表出来るのかという不安でいっぱいになりました。初めのうちは自分の考えをうまく伝えることができませんでした。後半になるに従い緊張がほぐれてきて、なんとか自分の伝えたい事と聞きに下さった方の話は聞き取ることができ、ディスカッションが出来たのではないかと手ごたえを得ることができました。ポスター発表終了後は余裕をもって学会に参加できたと思います。D.Stoeckel さんの発表に興味を持ちました。発表後に彼女のもとを訪ね発表の中で疑問に思ったことを質問しました。その時彼女は私の質問に丁寧に答えてくれとても有意義な時間を過ごすことができました。

学会中の催しは楽しみました。楽しむことができたものの海外の方と談笑し楽しくコミュニケーションを取ることができたからだと思います。次に機会があるときもこの経験を基に積極的にコミュニケーションを取っていきたいと思います。

今回の学会を振り返ってみると、海外の方とも研究やそれ以外のことも話すことができ、何より国内の学生とも知り合うことができました。今後も多くの学会に参加し、交流を深め有意義な議論を行っていきたいと思っています。

最後になりましたがこのような貴重な体験を得ることができたのは、研究を指導していただいた飯山先生および尾関先生ならびに FOA 12 の参加を支援してくださったカルゴン カーボン ジャパン基金およびに日本吸着学会にこの場をお借りして御礼申し上げます。

会 告

第 30 回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

日本吸着学会研究発表会は、吸着の基礎科学から応用技術にわたる最新の研究成果が討論される 1 年に一度の大会です。多数の皆様のご参加をお願い申し上げます。

主 催：日本吸着学会

共 催：長崎大学

会 期：平成 28 年 11 月 10 日(木)、11 日(金)

会 場：長崎大学文教キャンパス（〒852-8521 長崎市文教町 1-14）

交通アクセス（<http://www.nagasaki-u.ac.jp/ja/access/bunkyo/index.html>）の詳細につきましては、ホームページをご参照ください。

宿 泊：各自で手配をお願いいたします。JR 長崎駅周辺が便利です。

*観光時期と重なります。早めにご手配くださいますようお願い申し上げます。

講演会場：長崎大学中部講堂（口頭発表及びポスター発表）

発表要領：口頭発表：講演 12 分、質疑 7 分、交代 1 分。プロジェクター (Power Point) での発表をお願いします。

ポスター発表：発表時間 1 時間 30 分。ポスターサイズは、横 90 cm 程度、縦 120 cm 程度。

発表申込：日本吸着学会の Web サイト（http://www.j-ad.org/annual_meeting/）よりお申込下さい。

（ただし、Mac 版 Internet Explorer には対応しておりません。）

申し込みサイトへのアクセスにはユーザー名とパスワードの入力が必要です。以下に従って入力してください。

ユーザー名：jsad

パスワード：gakkai 30

発表形式（口頭・ポスター）についてはご希望に添えない場合がありますので予めご了承ください。

要旨集原稿：A 4 版 1 ページに、講演題目、1 行あけて所属（略称）、氏名（発表者に○）、1 行あけて要旨を 1 行あたり 45 字、1 段送りで記載し、最下行に連絡先（TEL、FAX、E-mail）を記入してください。原稿は E-mail の添付書類（MS Word 2000-2010、あるいは PDF 形式）として、下記実行委員会宛てお送りください。なお、学会ホームページに原稿のテンプレート（MS Word 2003 形式）を用意しますのでご利用ください（http://www.j-ad.org/annual_meeting/abst_template_2016.doc）。参照できない場合には下記連絡先までお問い合わせください。

懇 親 会：11 月 10 日(木) 長崎大学生協学生食堂 2 F（詳細は学会会場にてご案内いたします。）

参加登録費：・予約登録（9 月 30 日締切）

日本吸着学会・協賛学会会員：5,000 円（官・学）、7,000 円（産）、1,500 円（学生）

非会員：8,000 円（官・学）、10,000 円（産）、2,000 円（学生）

但し、維持会員企業からの参加者については、予約登録に限り 3 名までの参加登録費を無料に致しますので、奮ってご参加をお願いします。

（web 登録時に、参加種別として「維持会員」を選択してください。）

・当日登録（10 月 1 日以降）

日本吸着学会・協賛学会会員：7,000 円（官・学）、9,000 円（産）、3,000 円（学生）

非会員：10,000 円（官・学）、12,000 円（産）、4,000 円（学生）

（要旨集のみ購入の場合は 1 冊 3,000 円）

懇親会費：・予約参加（9月30日締切）
一般6,000円、学生3,000円
・当日参加（10月1日以降）
一般8,000円、学生5,000円

なお、懇親会費につきましては、維持会員企業からの参加者につきましても、一般の懇親会費を頂戴致しますのでご注意願います。

参加予約申込：日本吸着学会のWebサイト(<http://www.j-ad.org/registration/registration.html>)よりお申込下さい。
(ただし、Mac版Internet Explorerには対応しておりません。)お申し込み後は速やかに予約参加登録費と予約懇親会費を下記銀行口座にお振込みください。(振り込み手数料は各自ご負担ください。)

振込先：ゆうちょ銀行【記号番号】17680-25828731
【口座名義人】森口 勇（モリグチ イサム）
【ゆうちょ銀行以外からお振込みの場合】
ゆうちょ銀行【店名】：七六八（ナナロクハチ）【店番】：768
【普通預金】2582873【口座名義人】森口 勇（モリグチ イサム）

発表申込締切：平成28年9月2日(金)

要旨原稿締切：平成28年9月30日(金)

参加予約締切：平成28年9月30日(金)

実行委員会（問い合わせ・連絡先）：

〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14
長崎大学大学院工学研究科 森口 勇
E-mail：ads30ngk@gmail.com、TEL/FAX：095-819-2669

詳細はホームページ(<http://www.j-ad.org/>)でご案内する予定です。最新の情報はホームページにてご確認ください。

熊本地震で被災された学生の参加登録料免除に関して

この度、2016年4月の熊本地震におきまして被災されました皆様に心よりお見舞い申し上げますとともに被災地域の一日も早い復興をお祈り申し上げます。

日本吸着学会では、ご自身あるいはご家族が被災された学生に対する経済支援として、第30回日本吸着学会研究発表会への参加登録料を免除する措置を執らせて頂きます。該当する学生は、参加登録料免除申請書に必要事項を記載の上、メールもしくは郵送にて下記宛までご送付下さい。

申請書送付先：

[メール]

件名に「参加登録料免除申請書」とご記載下さい。

E-mail：ads30ngk@gmail.com

[郵送]

〒852-8521
長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科
森口 勇 宛

問い合わせ先：

第30回日本吸着学会研究発表会 実行委員会

E-mail：ads30ngk@gmail.com

第 30 回日本吸着学会研究発表会
実行委員長・森口 勇 殿

学生参加登録料免除申請書

平成 28 年熊本地震にて被災し、下記事由により、経済的困難があるため、
第 30 回日本吸着学会研究発表会の参加登録費の免除を申請します。

平成 28 年 月 日

署名（直筆）： _____

所属： _____

学年： _____

指導教員名： _____

住 所： _____

TEL： _____

e-mail： _____

免除が必要な事由	
----------	--

第 26 回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催のお知らせ

吸着分野で活躍する若手研究者の活性化と相互の交流を目的として、吸着シンポジウム（吸着夏の学校）を 1 泊 2 日の合宿形式で開催します。第一線でご活躍の講師陣により、吸着関連の基礎技術から最新の研究成果、現行の技術やその展望、また吸着技術に期待される役割等々についてご講演頂きます。また、若手有志による研究発表も予定しております。1 日目の夜には懇親会も予定しておりますので、大いにディスカッションを交わし、参加者相互のつながりを強めていただきたいと考えております。大学生・大学院生・ポスドクを含む大学、研究機関、企業の研究者、技術者の方々の申込をお待ちしております。

会期：2016 年 9 月 12 日(月)－9 月 13 日(火) 1 泊 2 日の合宿形式

会場：新日本空調株式会社 茅野研究所（長野県茅野市）

招待講演：

基礎技術講習 金子 克美 先生（信州大学）

「表面性固体の界面科学」

基礎技術講習 松方 正彦 先生（早稲田大学）

「ゼオライトをはじめとしたミクロ多孔体を用いた膜分離プロセスの基礎と応用」

基礎技術講習 中村 章寛 先生（太陽日酸株式会社）

「PSA/TSA などの吸着分離プロセスとその産業応用」

特別講演 瀬戸山 亨 先生（三菱化学株式会社）

「20 世紀の材料が出来なかったこと、21 世紀にはできそうなこと？教科書記述を疑おう！吸着に関わる機能革新」

研究トピック講演 武脇 隆彦 先生（三菱化学株式会社）

「CHA 型ゼオライト水蒸気吸着材」

研究トピック講演 大橋 雅史 先生（東京ガス株式会社）

「家庭用燃料電池システム“エネファーム”向け脱硫器開発」

参加費（宿泊費・食費を含む）

学生（吸着学会員・非会員不問） 5,000 円

一般（吸着学会員・維持会員企業の方） 15,000 円

一般（非会員） 20,000 円

定員：40 名

宿泊は、基本的に男女別の相部屋です。個室等をご希望の場合はご相談下さい。

若手研究発表

若手（大学院生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の主に 20～30 代の方々）によるオーラルプレゼンテーションを募集します。学会ではありませんので、既に学会等で発表されている内容を含んでいても構いません。また、研究成果だけでなく、現在行きあたっている問題や解釈が難しい結果など、自由に発表・議論していただいて結構です。発表時間はディスカッションを含めて 20～30 分程度を予定しています。なお、発表者につきましては参加者からの発表希望をもとに実行委員長が決定いたしますのでご了承下さい。

参加申込方法

下記の参加者情報をご記入の上、件名を『吸着シンポジウム参加申込』として、第 26 回吸着シンポジウム実行委員宛に E-mail でお申込下さい。

参加者情報

1. 氏名（ふりがな）
2. 所属（学生の方は研究室名まで記入）
3. 学年（学生のみ）
4. 発表希望（若手発表）の有無
5. 性別
6. 連絡先（E-mail アドレス、電話番号）
7. 学生・正会員・維持会員・非会員（該当するものを残してください）
8. 年齢 20～30 代・40 代・50 代以上（該当するものを残してください）

申込先

第 26 回吸着シンポジウム実行委員

E-mail：adsorptionsummer26@gmail.com

参加申込締切：7 月 31 日(日)

問い合わせ先：実行委員長 近藤 篤（東京農工大）

E-mail：kondoa@cc.tuat.ac.jp

*最新の情報はホームページ（<https://web.tuat.ac.jp/~summer-adsorption26/>）にてご確認ください。

関連学会のお知らせ

炭素材料学会第12回スキルアップセミナー 「電気化学エネルギーデバイスに関わるポーラスカーボン ～キャパシタ・レドックスフロー電池・バイオ燃料電池・空気電池用電極～」

ポーラスカーボン（多孔質炭素）電極は、多様な細孔構造・結晶構造・表面化学構造を有しており、その特性を生かして様々な応用がなされてきました。現在、最も盛んに研究開発が進められているのが、キャパシタや電池などの蓄電デバイス用の電極材としての用途です。電気化学的な蓄電デバイスは、小型携帯電子機器の電源として長く使われてきているだけでなく、近年では電気自動車用電源、再生可能エネルギーの蓄電源としても利用されており、今後もエネルギー資源の有効活用・ユビキタス社会の実現に向けて、大きな期待が寄せられています。このようにポーラスカーボン電極は、蓄電デバイスのキーマテリアルの一つであるにもかかわらず、その重要性が増すとともに製法・構造・用途がますます多様化・複雑化しているため、今後の研究開発の方向性や将来性を理解するうえで、やや混沌として難解な分野になってきている現状にあります。そこで、本セミナーでは電気化学エネルギーデバイス用ポーラスカーボン電極における第一線の研究者をお招きして、皆様のスキルアップを目的とした講演会を企画いたしました。本材料の「今」を1日で修得なさりたい方にお薦めの内容となっておりますので、関連分野に関わりや興味のある方々のご参加をお待ちしております。

日 時：平成28年9月2日(金) 10:00～16:40

場 所：日本教育会館8階第三会議室 <http://www.jec.or.jp/koutuu/index.html>

主 催：炭素材料学会

協 賛（予定）：電気化学会・電気化学会電池技術委員会・電気化学会キャパシタ技術委員会・日本吸着学会・応用物理学会・日本セラミックス協会・大阪科学技術センター

定 員：80名

参加費：正会員（協賛学協会含）・賛助会員 25,000円、学生会員（協賛学協会含） 5,000円、非会員 35,000円、学生非会員 10,000円（消費税およびテキスト代を含む）

プログラム

1. 10:00～10:50

電気化学エネルギーデバイス用ポーラスカーボン電極～電気化学キャパシタを中心に～
（群馬大学）白石壮志

2. 10:55～11:45

ポーラスカーボン電極のナトリウムイオンキャパシタへの応用
（産業技術総合研究所）加登裕也

3. 13:00～13:50

グラフェン系多孔体電極
（東北大学）西原洋知

4. 13:55～14:45

燃料電池／レドックスフロー用ポーラスカーボン電極
（大阪市立工業研究所）丸山 純

5. 14:50～15:40

金属空気二次電池のためのポーラスカーボン電極
（京都大学）宮崎晃平

6. 15:45～16:35

ポーラスカーボン電極を用いたプリンタブルバイオ燃料電池によるエネルギーハーベスティングと自己駆動型ウェアラブルセンサへの応用 （東京理科大学）四反田 功

申込方法：郵便振替での支払を希望される方は、学会 HP から8月18日(木)までにお申込みください。

クレジットカードでの決済の場合、申込登録は、8月30日(火)まで受け付け可能です。

セミナー申込：<https://iap-jp.org/jec/workshop33/top/login>

登録完了後、郵便振替票付請求書をお送りさせていただきます。参加費は8月26日(金)までにご納入ください(払込期日厳守)。当日の申込みも会場にて受付けております。

セミナー HP：http://www.tanso.org/contents/event/seminar/skillup_sm12.html

参加申込に関するお問い合わせはこちら

炭素材料学会スキルアップセミナーヘルプデスク

E-mail：tanso-desk@bunken.co.jp

FAX：03-5227-8632

第43回 炭素材料学会年会

主催：炭素材料学会

共催：(順不同、予定) 日本化学会、日本学術振興会炭素材料第117委員会

協賛：(順不同、予定) エネルギー・資源学会、応用物理学会、大阪科学技術センター、等

後援：炭素協会

会期：2016年12月7日(水)～12月9日(金)

会場：千葉大学 けやき会館

要旨集発行日：2016年12月7日(事前配布は行いません)

参加費(要旨集代込)：

事前受付

炭素材料学会正会員・賛助会員・共催・協賛学協会会員 7,000円

炭素材料学会学生会員・協賛学協会学生会員 3,000円

非会員 14,000円

学生非会員 6,000円

当日受付

炭素材料学会正会員・賛助会員・共催・協賛学協会会員 8,000円

炭素材料学会学生会員・協賛学協会学生会員 3,500円

非会員 15,000円

学生非会員 6,500円

※年会会期中は要旨集のみの販売は行っておりません。(年会に参加登録された方の追加購入は可能です。)

懇親会：2016年12月8日(木) 17:30～19:30

会場：千葉大学生協食堂 URL：<http://www.univcoop.jp/chiba-u/>

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学西千葉キャンパス構内、TEL：043-251-1111(代表)

会費：事前受付 一般6,000円、学生2,500円

当日受付 一般7,000円、学生3,000円

問合先：

1. 炭素材料学会事務局(※学会への入会、会員登録情報の更新に関するお問い合わせはこちら)

TEL：03-5389-6359 E-mail：tanso-post@bunken.co.jp

2. 炭素材料学会ヘルプデスク(※年会参加・発表登録に関するお問い合わせはこちら)

〒162-0801 東京都新宿区山吹町358-5 アカデミーセンター

FAX：03-3368-2827 E-mail：tanso-desk@bunken.co.jp

特別講演

12月8日(木) 16:00～17:00

北野大、人文学部表現学科東京図書館長、淑徳大学教授 工学博士

「化学物質管理の動向——規制から自主管理へ」

「炭素材料における吸着と表面科学」特別セッション

・今年の特別セッションのテーマは「炭素材料における吸着と表面科学」です。このセッションでは、共催、協賛学会会員であれば、炭素材料学会の会員以外でも講演することができます。申込時に分野Aを選択下さい。

インターナショナルセッション

・英語での発表は全てインターナショナルセッションになります。本セッションは招待講演と一般講演で構成されます。発表要件は、発表および要旨の言語が英語です。

講演申込みについて

講演者は炭素材料学会の会員であることが必要です。(非会員で講演発表を希望される方は8月10日までに本学会入会手続きをいただいた方に限り、発表資格を得ることとなります。(期日厳守。学会入会に関する問い合わせ先は、上記問合せ先1. 学会事務局まで)ただし、「炭素材料における吸着と表面科学」特別セッションおよびインターナショナルセッションで講演される方のみ共催、協賛学会会員でも可とします。

炭素材料学会年会サイト(下記URL)にアクセスし、受付システムからお申込ください。本年もホームページからの申込とさせていただきます。なお、タイトルや講演概要に上付きや下付きなどの指定がある場合、登録システム内にて告知されているタグをご参照いただき、案内に従ってタグ指定を行ってください。また、ポスター賞の対象を学生の方に限定しております。お申込される時にはチェック項目を設けますので、ご指定ください。

炭素材料学会年会サイト：<http://www.tanso.org/contents/event/conf2016/>

- ・複数演題の申込および発表が可能です。
- ・講演申し込みの際、下記の分野別リストの中から第一希望、第二希望をお選びください。

- ・講演申し込みの締切りは8月22日(月)24時です。締切の延長は行いません。
- ・原稿投稿締切りは10月11日(火)15時です。以降の受け付けは一切行いませんので厳守願います。

年会事前登録について

年会当日の受付時の混雑を避けるため、事前登録を行っております。年会HPから、大会参加登録をウェブ受付で行った後、炭素材料学会正会員・賛助会員の方は学会誌「炭素」274号に綴じ込みの郵便払込票を利用し「参加登録」区分に「○」を付け、会員番号、ご氏名などの必要事項を御記入頂き、参加費をお支払いください。

共催・協賛学会会員・非会員の方は、登録完了通知内記載の口座宛に、SAで始まる受付番号とご氏名をご入力いただき、郵便局備付の払込票を利用し参加費をお支払ください。

(ご注意：年会参加の登録をウェブ上で行わず大会参加費のみを支払われた場合、入金確認がきちんに行われな可能性がります。必ず年会参加登録をウェブ上で行った後に、参加費をお支払ください。)お1人様で1枚の支払取扱票をご利用ください。事前登録は入金確認の都合上、11月10日(木)までにお振込みとさせていただきます。11月11日(金)以降のお振込みは、受付いたしません。当日会場にて参加費をお支払下さい。なお、クレジットカードでの決済の場合、申込登録は11月17日(木)まで受付可能です。

炭素材料学会 10 月セミナー 「1 日で学ぶ炭素材料の分析方法 ー入門編ー」

炭素材料にかかわる科学と技術においては、炭素材料の発見や開発過程を経て、さまざまな科学および技術的展開を遂げてきました。活性炭、カーボンブラック、カーボンファイバーなどの馴染み深い材料から主に研究用途のナノカーボン類に至る多彩な材料が多岐にわたる分野で用いられています。近年炭素材料は燃料電池やリチウムイオンバッテリー、キャパシタなど人類の将来に関わるエネルギー・環境問題に対応することができるキーマテリアルとして多大な注目を集めてきました。本セミナーでは、炭素材料を正しく理解して応用開発をめざすための分析の基礎知識を1日で学べる基礎講座ー入門編ーを企画いたしました。炭素材料に興味をもたれる方々、かかわっている方々の分析基礎知識を修得・確認する場として是非ご利用ください。

事前質問は、10月6日(木)まで学会HPから受け付けます。事後質問は10月18日(火)まで、同様に学会HPから受け付けますが、質問内容によっては回答できない場合もありますので、ご了解ください。なお、質問内容に関する秘密保持はできかねますので内容についてご注意ください。

皆様のご参加をお待ちしております。

日 時：2016 年 10 月 14 日(金) 9：45～17：00

場 所：日本教育会館 707 会議室（〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋 2 - 6 - 2）

TEL：03-3230-2831、URL：http://www.jec.or.jp/

主 催：炭素材料学会

協 賛（予定）：日本化学会、電気化学会、応用物理学会、日本セラミックス協会、日本表面科学会、日本吸着学会、大阪科学技術センター

定 員：100 名

参加費：正会員（協賛学協会含）・賛助会員 25,000 円、学生会員（協賛学協会含）5,000 円、非会員 35,000 円、学生非会員 10,000 円（消費税及びテキスト代を含む）

プログラム

1. 9：45～10：45

炭素細孔の構造評価 ―ガス吸着測定と解析のポイント― （千葉大学）大場友則

- 1) 吸着測定について
- 2) 吸着等温線の理解
- 3) BET 解析
- 4) 細孔構造解析
- 5) 事前質問への回答

質問タイム

2. 11：00～12：00

炭素材料のラマン分光 （信州大学）藤森利彦

- 1) ラマン分光の基礎
- 2) 特殊なラマン分光測定
- 3) ナノカーボンのモルフォロジーとラマンスペクトル
- 4) 光吸収とラマン分光 ―共鳴ラマン効果―
- 5) ラマン分光による炭素材料の欠陥評価と注意点面構造の評価法
- 6) 事前質問への回答

質問タイム

3. 13：15～14：15

炭素材料の透過電子顕微鏡（TEM）による観察・分析 （産業技術総合研究所）吉澤徳子

- 1) TEM の原理
- 2) 炭素材料の観察・分析法の基礎
- 3) ナノカーボン類の TEM 観察及び分析
- 4) 試料作製方法
- 5) 事前質問への回答

質問タイム

4. 14：30～15：30

X線回折法による炭素の構造解析 （大阪ガス㈱）藤本宏之

- 1) 炭素の基本構造と構造パラメータ
- 2) 学振法
- 3) Diamond 法
- 4) Hirsch 法
- 5) 黒鉛化度
- 6) 事前質問への回答

質問タイム

5. 15：45～16：45

走査プローブ顕微鏡（SPM）測定の基礎とグラファイト・グラフェンへの応用 （法政大学）高井和之

- 1) 走査プローブ顕微鏡の原理
- 2) 走査プローブ顕微鏡測定の実験技術

- 3) グラファイトの構造・電子状態の評価
- 4) グラフェンの構造・電子状態の評価
- 5) 課題と展望
- 6) 事前質問への回答

質問タイム

申込方法：郵便振替での支払を希望される方は、学会 HP から 9 月 29 日(木)までにお申し込みください。クレジットカードでの決済の場合、申込登録は、10 月 11 日(火)まで受付可能です。

セミナー申込：<http://www.tanso.org/contents/event/seminar/Octseminar16.html>

登録完了後、郵便振替票付請求書をお送りさせていただきます。参加費は 10 月 7 日(金)までにご納入ください（払込期日厳守）。当日の申込も会場にて受け付けております。

■参加申込に関するお問い合わせはこちら

炭素材料学会 10 月セミナーヘルプデスク

E-mail：tanso-desk@bunken.co.jp

FAX：03-3368-2827

■日本教育会館へのアクセス

<http://www.jec.or.jp/koutuu/index.html>

第 24 回ゼオライト夏の学校

主催：一般社団法人 日本ゼオライト学会

共催：なし

後援：なし

協賛：日本化学会、石油学会、触媒学会（予定）、吸着学会（予定）

会期：2016 年 8 月 30 日～9 月 1 日

会場：（会場名および郵便番号、住所、URL アドレス）、大学セミナーハウス（旧・八王子セミナーハウス）
（〒192-0372 東京都八王子市下柚木 1987-1）

<https://iush.jp/>

参加費：本会学会会員（協賛学会含む）40,000 円

学生 25,000 円

一般（非会員） 50,000 円

プログラム：

講師（敬称略）・演題（仮題）：

《ゼオライト多孔体の基礎》

「ゼオライト合成の基礎知識」

窪田好浩（横浜国大）

「ガスおよび蒸気吸着によるナノ多孔質材料の細孔特性評価」

遠藤明（産総研）

「XAFS による多孔体の構造解析 – Y 型ゼオライト包摂化合物を例に –」

奥村 和（工学院大）

「ゼオライト触媒による反応を反応工学に基づき解析・考察する」

多湖輝興（東工大）

《最近のトピックス》

「実用化に向けたゼオライト膜の基礎から最前線」

野村幹弘（芝浦工大）

「天然ガスを原料とする化学プロセス・触媒の開発動向」

本田一規（日揮）

※講義の順序は上記の並びと変わる可能性があります。

参加申込み方法：

電子メールにて以下の情報を下記連絡先にご連絡下さい。

①氏名、②性別、③年齢あるいは学年、④所属（大学の方は研究室まで）、⑤連絡先（住所、電話番号）、⑥メールアドレス、⑦ポスター発表の意向

参加費支払い方法：

当日、現金にて支払い

申込み先：（郵便番号、住所、電話、FAX、E-mail など）

稲垣 怜史（横浜国立大学）

E-mail：sinagaki@ynu.ac.jp（@を@に直して送信してください）

TEL：045-339-3691

世話人：稲垣 怜史（横浜国立大学）・

原 雅寛（三菱化学科学技術研究センター）

学会 HP（リンク先）：

<http://www.jaz-online.org/event/sympo.html>

第 35 回溶媒抽出討論会のお知らせ

主催：日本溶媒抽出学会

後援：国立研究開発法人産業技術総合研究所

日時：平成 28 年 11 月 28 日(月)～29 日(火)

場所：産業技術総合研究所つくばセンターつくば中央 共用講堂

〒305-8561 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 1

http://www.aist.go.jp/aist_j/guidemap/tsukuba/tsukuba_map_main.html

参加費：予約 会員・協賛学会員 6,000 円、学生 1,000 円、会員外 7,000 円

当日 会員・協賛学会員 7,000 円、学生 2,000 円、会員外 8,000 円

要旨集のみ 6,000 円

情報交換会：日時 平成 28 年 11 月 28 日(月)

オークラフロンティアホテルつくば（茨城県つくば市吾妻 1 丁目 1364-1）

発表及び参加受付：近日中に開始

発表形式：口頭またはポスター

その他：詳細は追ってお知らせします。

問い合わせ先：産業技術総合研究所 環境管理研究部門

田中幹也（mky-tanaka アットマーク aist.go.jp）

第 3 回海水・生活・化学連携シンポジウム

本行事は学術交流及び、東日本大震災の風化防止を目的としたシンポジウムです。第 1 回（2014 年）を岩手県一関市および陸前高田市で、第 2 回（2015 年）を宮城県石巻市で開催してきました。その開催の様子は、若手会ホームページ（<http://www.swsj.org/wakatekai/index.html>）に掲載されています通りです。本年度は福島県郡山市で開催することとなりました。是非とも多くの方に本シンポジウムの趣旨をご理解頂き、ご参加を賜りますようお願い申し上げます。なお、本シンポジウムで生じた余剰金は全て東北復興支援のために寄附させていただきます。

主催：日本海水学会若手会

協賛：日本吸着学会 化学工学会反応工学部会反好会 近畿化学協会 化学工学会材料・界面部会晶析技術分科会
日本海水学会西日本支部 分離技術会 ほか（予定）

日時：2016 年 10 月 13 日(木)～14 日(金)

場所：日本大学工学部

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1

◆JR 東北新幹線・東北本線を利用する場合

郡山駅より福島交通（徳定行き）－約 20 分→「日本大学」下車

◆福島空港を利用する場合

福島空港よりリムジンバス－約 40 分→「郡山駅」下車、

郡山駅より福島交通（徳定行き）－約 20 分→「日本大学」下車

内容：（時間が多少変更になる場合があります。最新情報は若手会ホームページでご確認下さい）

10 月 13 日(木)

13：00 開会

13：10 講演 最終埋立処分場の排水系をめぐる環境工学－産学連携での挑戦と課題－

福島工業高等専門学校 車田 研一 氏

13：50 講演 震災経験と復興に向けたその後の取り組み

株式会社クレハ 大田原 健太郎 氏

14：30 ポスター発表

16：30 講演 震災に対峙して、自分の命を守る大切さ

元福島県相馬市消防団第 3 分団分団長・相馬市議会議員 立谷 耕一 氏

17：10 終了

18：00 交流会

10 月 14 日(金)

8：30 集合

9：00 福島県農業総合センター（郡山市）の視察

施設見学、農林水産物の放射性物質のモニタリング検査分析室の見学

10：00 移動

11：00 星の村天文台（田村市）の見学「望遠鏡の復旧と被災地の想い」

震災で破損した大型望遠鏡の復旧に関する説明と天文台視察

12：00 移動

13：00 頃 郡山駅解散

発表申込方法：ポスターによる研究発表を広く募集いたします。日本海水学会若手会ホームページから発表申込書および要旨のフォーマットをダウンロードして、ホームページ（推奨）またはメールにて下記お問い合わせ先までご提出ください。発表の申し込みは 2016 年 8 月 29 日(月)まで、要旨の提出は 2016 年 9 月 5 日(月)までをお願いいたします。

参加費：講演会：3,000 円（主催・共催・協賛団体会員）、4,000 円（非会員）（注 1）

交流会：4,000 円（主催・共催・協賛団体会員）、5,000 円（非会員）

見学会：3,000 円（主催・共催・協賛団体会員）、4,000 円（非会員）

注 1：本務地が福島県内の方は講演会参加費を無料とさせていただきます。また、学生の方は講演会参加費を 1,000 円とさせていただきます。

参加申込方法：2016 年 9 月 5 日(月)までに、ホームページ（推奨）またはメールにて下記お問い合わせ先までご提出ください。

参加費の振込：（受付簡素化のため、事前振込をお願いいたします）

2016 年 9 月 13 日(火)までに下記までお振り込みください（振込手数料は申込者負担でお願いいたします）。

【ゆうちょ銀行もしくは郵便局で手続きする場合はこちら】

記号・番号：10290-94752031 日本海水学会若手会

【ゆうちょ銀行以外の金融機関から、お手続きする場合はこちら】

ゆうちょ銀行 店番 028 普通 口座番号 9475203 日本海水学会若手会

申込・問合せ先：〒770-8506 徳島市南常三島町 2 - 1

徳島大学大学院 理工学研究部 理工学部門

海水・生活・化学連携シンポジウム 実行委員長 倉科昌

Tel：088-656-7418、E-mail：kurashina.masashi@tokushima-u.ac.jp

維持会員一覧

維持会員として、以下の企業各社にご協力を頂いております。

(平成 28 年 4 月現在、50 音順)

(株)アドール	エア・ウォーター(株)
大阪ガス(株)	大阪ガスケミカル(株)
オルガノ(株)	カルゴンカーボンジャパン(株)
カンタクローム・インスツルメンツ・ジャパン合同会社	(株)キャタラー
クラレケミカル(株)	栗田工業(株)
興研(株)	JFE スチール(株)
(株)重松製作所	システムエンジニアサービス(株)
水 ing (株)	(株)西部技研
大陽日酸(株)	谷口商会(株)
月島環境エンジニアリング(株)	帝人ファーマ(株)
東ソー(株)	東洋紡(株)
日本たばこ産業(株)	富士シリシア化学(株)
フタムラ化学(株)	マイクロトラック・ベル(株)
マイクロメリティックスジャパン合同会社	三菱重工業(株)
ミドリ安全(株)	ユニオン昭和(株)
ローム・アンド・ハース・ジャパン(株)	

編 集 委 員

委員長 森口 勇 (長崎大学)

委 員 瓜田 幸幾 (長崎大学)

大場 友則 (千葉大学)

岡 伸樹 (三菱重工業株式会社)

近藤 篤 (東京農工大学)

田中 秀樹 (京都大学)

三輪 聡志 (栗田工業株式会社)

森貞真太郎 (佐賀大学)

山崎 誠志 (静岡理工科大学)

(五十音順)

Adsorption News Vol.30 No.2 (2016) 通巻 No.117 2016 年 8 月 5 日発行

事務局 〒305-8565 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 中央第 5

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 化学プロセス研究部門内

Tel : 029-861-4653 Fax : 029-861-4660 E-mail : info@j-ad.org

編 集 瓜田 幸幾 (長崎大学)

Tel&Fax : 095-819-2668 E-mail : urita@nagasaki-u.ac.jp

日本吸着学会ホームページ <http://www.j-ad.org/>

印 刷 〒850-0875 長崎県長崎市栄町 6 - 23 株式会社昭和堂

Tel : 095-821-1234 Fax : 095-823-8740

General Secretary

THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Research Institute for Chemical Process Technology,

Central 5, 1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

Tel : +81-29-861-4653 Fax : +81-29-861-4660 E-mail: info@j-ad.org

Editorial Chairman

Professor Isamu MORIGUCHI

Graduate School of Engineering, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi,

Nagasaki 852-8521, JAPAN

Tel & Fax : +81-95-819-2669 E-mail : mrgch@nagasaki-u.ac.jp

Editor

Koki URITA, Nagasaki University

Tel & Fax : +81-95-819-2668 E-mail : urita@nagasaki-u.ac.jp

Home Page of JSAd: <http://www.j-ad.org/>