

Adsorption News

Vol. 26, No. 2 (July 2012)

通巻No.101

目 次

- 巻頭言.....2
「吸着」材料・現象・プロセスのわかる人材の育成
大久保 達也
- 第26回日本吸着学会研究発表会のお知らせ.....3
- 第21回吸着シンポジウム(吸着夏の学校)開催のお知らせ...4
- 会長対談.....5
IAS会長Prof. Marco Mazottiに聞く 迫田 章義
- 研究ハイライト.....7
可動型配位錯体の合理的設計を目指した
分子シミュレーションモデリング 渡邊 哲
- ホットトピックス.....14
層間架橋体の新規合成手法の開発 石井 亮
- 第6回環太平洋吸着会議(PBAST-6)参加報告.....21
会議レポート 大久保 貴広
参加レポート 王 鋭 四戸 政博 平 成一
福島 知宏 真木 晶 吉田 博明
- 関連学会のお知らせ.....27
- 維持会員一覧.....31

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

「吸着」材料・現象・プロセスの わかる人材の育成

東京大学 大久保 達 也



吸着学会入会早々、2006年に巻頭言「吸着材料のこれからの展開に向けて」を書かせていただき、新規材料が開発されても、ラボスケールでの合成だけでは応用展開にはうまくつながらず、合成→応用→合成のフィードバックループをうまくまわす仕組みづくりの重要性を書かせていただいた。早いもので6年が経過したが、状況はあまり変わっていないように思われる。今回は人材育成の面で少し述べたいと思う。

私は1983年に化学工学科を卒業し、大学院に進学した。学部時代には単位操作、反応工学、プロセスシステム工学をたたき込まれた。平衡論で理論的な限界がわかり、そこに到達する時間は速度論で決まることを定量的に学んだ。一方で当時の大学の研究は、従来の化学工学から環境やエネルギー、バイオなどの分野に大きく展開をはじめていた。今や大御所と呼ばれる先生方が新進気鋭の助教授として、新規分野の開拓の先頭に立っていた。我々はこれらの先生方の背中を見ながら大学院時代を過ごした。その後縁があり、九州大学応用化学科で教授に昇進されたばかりの諸岡成治先生（当時、現在名誉教授）の研究室の助手に採用いただいた。諸岡先生は化学工学、とりわけ反応工学のエキスパートであったが、研究室が応用化学科の中の化学工学の講座だったこともあり、広い意味で「化学の工学」を志向した研究室を目指されていた。そのような環境下でプロの研究者としての第一歩を踏み出したのである。学生時代には装置は自ら作製するものと教えられてきたが、吸着剤や触媒などの材料は市販のものを利用することが通例であった。装置のみならず、材料も自らつくるという方針の研究室で研究をはじめた、そのときの研究スタイルが、その後の自らの研究に大きな影響を及ぼしている。

吸着はその典型であるが、物質・材料があり、その中で現象が進行し、これを大きな装置やシステムの中で有用に利用することで、様々な成果が得られる。物質や材料だけでも、装置やシステムだけでも駄目である。それらがうまく組み合わせることで初めて有益な

成果に結実するのである（企業で日々吸着に関わる仕事をされている方々からは、何を当たり前のことをという声が聞こえてきそうであるが）。

現在の私の研究は、かなり物質・材料寄りであるが、学生時代に化学工学を学び、大学院でマイクロ～メソ空間での拡散現象を研究し、加えて大学で化学工学全般を教えるために勉強をし直さねばならなかったため、いろいろなことを見るための素養だけは身につけることができたのではないかと考えている。

最近吸着を主に専門とする先生方とお話する機会が増えているが、国内外を問わず、「吸着」材料、現象、プロセスの研究者間の距離が少し遠くなってしまっているように感じる。吸着分野に限らず各分野の深化に伴い、起こりがちな課題である。一教員や一大学で担うことは困難であり、私の研究室でも理想からは遠い状況にあるが、幸い我が国の吸着分野には、関連する関係者が一堂に集まる場、「吸着学会」がある。低炭素社会の実現、省エネの益々の推進など、吸着の担う役割は益々大きくなっている。関連する大型のプロジェクトが立ち上がるのがいいきっかけになるのかも知れない。学生のみならず、次世代研究者の育成とも関連づけて、学会として戦略的に考えることが必要なのではないだろうか？

大久保達也

東京大学 教授

大学院工学系研究科化学システム工学専攻

総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座（兼務）

略歴 1983年 3月 東京大学工学部卒業

1988年 3月 東京大学大学院工学系研究科修了、工学博士

その後、九州大学助手、東京大学助手、Caltech研究員、東京大学講師、同助教授を経て

2006年 東京大学教授

専門：マイクロ及びメソポーラス材料の合成とその応用

第26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。今回は5年ぶりに関東地方での開催となります。TX開通により、都心からのアクセスも便利になった研究学園都市つくばでの研究発表会に多数の皆様のご参加をお願い申し上げます。

会 期：平成24年11月14日(水)、15日(木)

会 場：(独) 産業技術総合研究所 つくばセンター中央 共用講堂

(〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 中央第1)

交通アクセスの詳細につきましては、産総研ホームページをご参照ください。

(http://www.aist.go.jp/aist_j/guidemap/tsukuba/center/tsukuba_map_c.html)

宿 泊：各自で手配をお願いいたします。TXつくば駅周辺が便利です。

講演会場：(独) 産業技術総合研究所 つくばセンター中央第1 共用講堂

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、発表予定の方に別途ご連絡いたします。

発表申込：日本吸着学会のWebサイト(<http://www.j-ad.org>)よりお申込ください。

(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：gakkai26

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：A4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 Word2000-2010、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、学会ホームページから原稿のテンプレート(MS Word2003形式)をダウンロードできますのでご利用ください。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14日(水) (独) 産業技術総合研究所 つくばセンター中央内食堂

(詳細は学会会場にてご案内いたします。)

参加登録費：日本吸着学会・協賛学会会員：8,000円(官・学)、10,000円(産)、4,000円(学生)

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

上記は当日登録者の登録費です。参加登録費には要旨集代を含みます。下記要領で10月5日までに参加予約をして参加登録費を振り込まれる場合は、上記参加登録費から2,000円減額してください。

懇 親 会 費：一般8,000円、学生5,000円。ただし、10月5日までに参加登録と同時にWebサイトで予約後振り込みをしていただいた場合は2,000円割引いたします。

参加予約申込：日本吸着学会のWebサイト(<http://www.j-ad.org>)よりお申込ください。(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。)

銀 行 口 座：常陽銀行 つくば並木支店、普通預金、口座番号1394482

口座名義 第26回日本吸着学会研究発表会 実行委員長 遠藤 明

発表申込締切：平成24年9月3日(月)

要旨原稿締切：平成24年10月5日(金)

参加予約締切：平成24年10月5日(金)

実行委員会(問い合わせ・連絡先)：

〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1 中央第5-2

(独) 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 遠藤 明

E-mail: adsorption2012@gmail.com、TEL: 029-861-4653

第21回吸着シンポジウム(吸着夏の学校)開催のお知らせ

吸着分野の若手研究者の研究の活性化と交流を目的に、吸着シンポジウム(吸着夏の学校)を開催します。今回は一昨年の長野県黒姫高原から海辺に近い熱海に会場を移し、吸着分野の研究、技術について背景や基礎と最先端について認識を深め、熱いディスカッションを交わす会にしたいと考えています。当日は第一線でご活躍の講師陣による吸着関連の基礎講演と、若手研究者によるショートプレゼンテーション(若手発表;オーラル)を予定しています。

現在、講師陣について企画しています。また、若手発表および参加者を募集中です。学生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の研究者、技術者の方の参加をお待ちしています。(定員になり次第締め切ります。)

日 時 2012年8月24日(金)～25日(土)
場 所 静岡県熱海市 ホテル大野屋 (<http://www.hotel-ohnoya.co.jp/index.html>、TEL:0557-82-1121)
日 程 8月24日(金)

13時半頃 JR熱海駅集合、送迎バス(無料)にてホテル大野屋へ
14時半頃 講演者 京都大学 化学工学専攻 佐野 紀彰 准教授
15時半頃 講演者 京都大学 都市環境工学専攻 大下 和徹 准教授
16時半頃 若手発表(3件程度)

夕食(懇親会)

8月25日(土)

9時半頃 講演者 岡山大学 地球生命物質科学専攻 大久保貴広 准教授
10時半頃 若手発表(4件程度)

昼食後、送迎バス(無料)にてJR熱海駅へ(14時頃 解散予定)

参 加 費 学生(吸着学会会員・非会員不問) 5,000円
一般(吸着学会会員、維持会員企業の方) 15,000円
一般(非会員) 20,000円

定 員 40名

宿泊は男女別、他組織の方との相部屋となります。個室等の希望のある方はご相談ください。

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、実行委員長あてにE-mailでお申込みください。(E-mail: kanda@criepi.denken.or.jp)

参加者情報

1. 氏名
2. 所属(学生会員の方は研究室まで記載)
3. 学年(学生会員の方のみ)
4. ショートプレゼンテーション(若手発表)希望の有無(ある場合は、5、6も記入)
5. プレゼンテーション希望時間
6. 発表形式
7. 性別
8. 連絡先(E-mailアドレス、電話番号)
9. 学生会員 ・ 正会員 ・ 維持会員 ・ 非会員 の別
10. 20～30代 ・ 40代 ・ 50代以上 の別

参加申込締切 7月31日(火)

問い合わせ先 実行委員長 神田英輝 ((一財)電力中央研究所) E-mail: kanda@criepi.denken.or.jp

<実行委員長から>

若手の方々(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)によるショートプレゼンテーションを募集します。

通常の学会発表の場では難しい、研究で見出した自慢したいこと、行き当たっている問題など、自由に発表・議論してください。

産・学の違い、科学・実学の違いなど、様々な内容に柔軟に対応するため、初の試みとして、発表時間を自己申告制と致します。(最終的には実行委員の方で調整させていただきます)発表形式も、パワーポイントによる通常のスライド形式、ホワイトボード利用、配付資料利用など、形式は問いません。(ただし、準備の都合上、発表形式の事前連絡が必要です。)また、若手の方々が自由闊達に議論するため、申込者多数の場合は、若手の参加を優先致します。

会 長 対 談

IAS会長Prof. Marco Mazottiに聞く

日本吸着学会 会長
(東京大学生産技術研究所)
迫 田 章 義

IAS (International Adsorption Society、国際吸着学会) 会長のProf. Marco Mazotti (ETH Swiss Federal Institute of Technology Zurich) が来日された機会に、東京大学生産技術研究所にお招きして(2012年6月18日)、IASにおける最近の話題についてお話を聞く機会を持ちました。ここに、会員の皆さまにご紹介いたします。なお、対談当日の時点では正式決定されていない事項も多く含まれていることにご注意頂き、近日中の正式な発表はIASのウェブサイトをご覧頂きたく存じます。

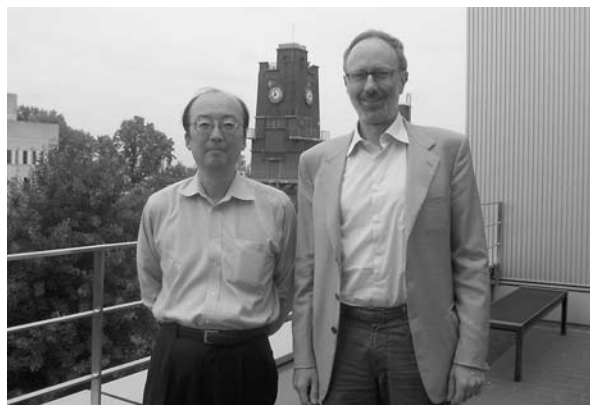
【迫田】

東京へようこそ。今日は短い時間ですが、最近IASで議論されていることなどをご紹介頂ければ幸いです。

【Mazotti】

日本吸着学会の会員の皆さまはよくご存じのことと思いますが、まず簡単にIASについて説明することから始めましょう。IASは吸着の基礎、そして吸着プロセスの学術的・技術的發展をめざしています。吸着の応用分野は一層広がりがつつあり、工業だけでなく環境なども重要です。したがって、学術の基礎分野だけでなく、様々な分野で多くの吸着に関わる人材が交流を続け、互いに協力する機会が拡大し、ネットワークがますます広がることを願っています。

IASには3年に一度FOA(International Conference on Fundamentals of Adsorption)を開催することと、雑誌"Adsorption"の発行という2つの重要な活動があります。これらの活動によってIASの持つ「国際的」かつ「分野横断的」な学会の特性が広く認知されることでしょう。もちろん、IASは本当の意味で国際的な学会で、FOAはヨーロッパ、アメリカ、アジアと順に開催され、まさに世界中から参加者が集まります。なので、FOAが3年毎に継続して開催されることは、



とても重要なことだと思います。そして、IASは今までもそうであったように、学術的に高質であるべきで、また、国際的でもあるべきです。これらを両立させて長く続けることは難しいことかもしれません。IASを適正に組織し運営できる人材が常に必要です。

"Adsorption"誌については、論文掲載までのスピードアップを図り、それによってインパクトファクターも上昇してきています。多くの吸着の研究者が、"Adsorption"誌にベストの研究を投稿することを強く願っています。

それでは、どのようにIASを発展させ続けるのかについて考えてみましょう。われわれは多くの学会で研究成果を発表する機会に恵まれています。では、どうすればIASにおける研究発表を特別なものと感じてもらい、また次回も参加してもらえるようになるでしょうか。これに関して高い意識を持って改善していけばIASは生き残るだけでなく、一層活発化するでしょう。ベテラン研究者は若い研究者にIASという居場所を与えるべきです。それによって若い研究者のIASへの参加が促進されるでしょう。もちろん、IASにはいくつかの伝統があり、これをさらに発展させることも重要です。例えば、FOAで恒例の"Japan Night"も然りです(笑)。

現在IASでは、新たに"IAS Awards"と"IAS Fellows"の設立を計画しています。これらは皆さんに喜んで受け入れられるものであると確信しています。次回のFOAで最初の賞を授与したいと考えています。(注：ここでは、まだ正式な発表ではありません。)"IAS Awards"は2種類を想定していて、ひとつは博士論文に対してです。例えば、ここ3年以内にPh.D.を修了した学生が対象になるでしょう。これによって優秀な博士論文が広く認知されることになります。もうひとつは、若手研究者のための賞になります。例えば、

35歳以下で吸着の分野で仕事をしている研究者や技術者が対象です。Ph.D.の学生への賞、そして若手研究者・技術者への賞を通して、若い人たちが吸着の分野に関わり続け、またIASにもこの先もずっと関わってってもらいたいと思っていますのです。

【迫田】

どのように審査を行うのでしょうか。特に若手研究者・技術者への賞については、指標が様々で、審査が難しいと思いますが。

【Mazotti】

企業の方への授賞も考えていますので、審査は吸着分野での投稿論文、さらには特許になるかと思います。例えば、投稿論文の実績はあまりなくとも、重要な特許を持っている人は対象となります。確かに若手の賞の審査は難しいですね。ノミネートされた方の成果を厳正に審査し、如何に優れているのか、そして将来性が如何にあるのかについて推薦者が説明をすることになると思います。あくまで賞は若手研究者にモチベーションを与えるものだと思っています。

それでは、ベテランについてはどうでしょう。ベテランの研究者にとって賞はそれほど魅力的なものではないと思います。そこで、IASに優秀なご意見番のようなものをつくろうと思っているのです。若手研究者に刺激を与えられるような方々です。このような目的で多くの学会はFellowを設けています。IASも、吸着の分野で学術的にも専門的にも大きな成果を残し、かつIASに大きな貢献をした方に、“IAS Fellows”をお願いしたいと考えているのです。IASでモデルとなる人材像を広く知ってほしいのです。

3つの受賞の話をしてきましたが、これらによってIASを活性化させたいと思っているのです。これらの賞を設立することによって、IASの会員であることをより魅力的に感じてもらえればと思っています。

【迫田】

素晴らしいアイデアだと思います。特に、博士学生と若手に与えられる賞は魅力的ですね。また、企業の研究者・技術者も対象になることは非常に良いことだと思います。日本吸着学会も若手を対象とした「奨励賞」というのを設けていますが、企業の研究者・技術者も受賞されやすいように、評価の対象を学術論文に限らず、特許や社内報などに広げたところでは。

“IAS Awards”と“IAS Fellows”については、正式に決まり次第、日本吸着学会の会員からも多くの方がノミネートされるように努力したいと思います。

研究ハイライト

可動型配位錯体の合理的設計を目指した 分子シミュレーションモデリング

Molecular Simulation and Modeling for
Tailored Design of Flexible Porous
Coordination Polymers

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻
Department of Chemical Engineering, Kyoto University

渡邊 哲、杉山隼人、田中秀樹、宮原 稔

Satoshi Watanabe, Hayato Sugiyama,
Hideki Tanaka, and Minoru T. Miyahara

1. はじめに

多孔性配位錯体 (Porous Coordination Polymer, 以下 PCP) と呼ばれる多孔体は、分子オーダーで細孔径、形状を精密に制御できることから新規吸着剤として注目を集め、盛んに研究が行われている¹⁻³⁾。中でも構造に柔軟性をもった PCP は、ゲート吸着と呼ばれる特異な吸着挙動を示すことが報告されている⁴⁾。ゲート吸着とは、低圧では吸着せず、ある圧力になると急激に分子を吸着する現象で、大きな吸着ヒステリシスを伴うステップ状の吸着等温線を描くことから、安定なガス貯蔵や分子センサへの応用が大いに期待される。この特異な吸着挙動は、錯体の骨格が変形し細孔形状が変化することによる細孔の開閉に起因すると考えられているものの、構造転移を伴う複雑な現象であるがゆえに、そのメカニズムは解明されていない。そのため、目的とする吸着材料に向けた構造設計の指針がなく、試行錯誤的な合成と吸着測定の繰り返しに留まっているのが現状である。

この問題に対するアプローチとして重要となるのは、分子シミュレーションに代表される分子論的ツールを用いた解析であろう⁵⁾。ホスト (多孔性錯体) とゲスト (吸着分子) の出会いはナノスケール・分子スケールの事象であるがゆえに、それらの間の相互作用エネルギーを始めとする分子物性に立った解析が現象の理解に不可欠となるためである。これまでに、構造転移前後の錯体骨格の安定性⁶⁾ および構造と吸着量の関係⁷⁾ を明らかにし、さらに吸着等温線を再現するなどの成果が報告されている⁸⁾。ところが、解析対象が、

ゲート吸着現象においてホストが示す細孔の開閉などの動的な挙動となると、それを直接シミュレートするのは困難である。それは、ホストである錯体骨格とゲスト吸着分子との間には、数桁にも及ぶ運動の時間スケールの大きな隔たりが存在するためである。興味深い試みとして、Grand canonical Monte Carlo (GCMC) 法によるゲスト分子の吸着シミュレーションと Molecular Dynamics (MD) 法によるホスト錯体の体積変動を組み合わせた Hybrid 手法が提案されているものの、出現確率の低い構造転移現象は表現できていない⁹⁾。一方で理論的なアプローチとして、熱力学的モデル¹⁰⁾ や錯体骨格に働く応力に基づいたモデル¹¹⁾ による解析が報告されているが、ゲート吸着現象の本質的な理解には至っていない。

そこでこの現状を打破すべく、我々が取り組んだのは分子シミュレーションと統計熱力学的解析手法を組み合わせた、ゲート吸着現象の自由エネルギー解析である。我々は、構造転移の直接表現に拘るのではなく、発想を全く変えることで、この解析手法にたどり着いた。本手法では、錯体構造を固定した分子吸着シミュレーションを、構造を徐々に変化させながら逐次行い、微小変位に伴う自由エネルギー差を計算することにより自由エネルギープロファイルを得る。すなわち、構造変化の経路に沿った自由エネルギープロファイルから最安定構造と吸着状態を決定することで、まずは平衡論的に現象を整理しようという試みである。本研究では、相互貫入ジャングルジム (JG) 型 PCP¹²⁾ を対象に、ゲート吸着現象の発現メカニズムの解明およびそれに基づく転移現象予測モデルの構築を目指した。以下では、その成果について紹介する^{13, 14)}。

2. シミュレーション方法

まず我々は、複雑な原子構造を有する PCP を、Lennard-Jones (LJ) 粒子のみで構成される構造モデルへと単純化する手法を提案し、JG 型 PCP の単純構造モデルを構築した^{15, 16)}。構造の単純化によって、JG 型という従来になかった新規な細孔形状が吸着挙動に与える本質的な影響のみを捉えようという狙いである。その結果、JG 型細孔は、細孔内流体の凝縮を促進する一方で¹⁵⁾、凝固は阻害するという性質を持つことを明らかにした¹⁶⁾。なお、この単純化モデルによる現象解析は、JG 型 PCP だけでなく、1 次元チャンネル型 PCP 内における高分子集団挙動の現象解明においても成果を挙げている¹⁷⁾。

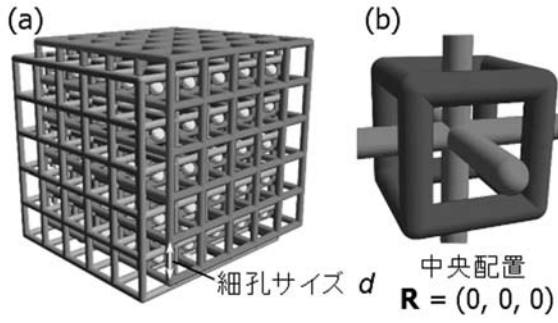


図1 シミュレーションセル

相互貫入JG構造は、図1 (a) に示すように2つのJG型構造を入れ子にして構築した。2つのJGの相対位置 $\mathbf{R} = (R_x^*, R_y^*, R_z^*)$ (ここで $R^* = R/\sigma_{ff}$) によって吸着容量など細孔の状態が変化する。図1 (b) に示すように、一方のJGの交点がもう一方のJGの中央に位置しているとき (中央配置、Middle Float Configuration; MF) には、分子を吸着するスペースは存在しないが、中央配置からずれることによって吸着スペースが生じることになる。ポテンシャルモデルとして、LJポテンシャルを線積分した11-5ポテンシャルを用い、それを重ねあわせることによって、相互貫入JG型細孔ポテンシャルを表現した。JGの柱はLJベンゼン ($\sigma_{ss} = 0.5349$ nm, $\varepsilon_{ss}/k_B = 412.3$ K; Boltzmann 定数) で構成され、その線密度は $1/\sigma_{ss}$ と設定した。流体分子にはメタンのLJパラメータ ($\sigma_{ff} = 0.381$ nm, $\varepsilon_{ff}/k_B = 148.1$ K) を用いた。1つのJG構造の柱の中心間距離 d を細孔サイズと定義し、 $d = 3.2\sigma_{ff}$ とした。ゲスト流体分子の吸着シミュレーションはGCMC法によって行い、全方向に周期境界条件を設定し、カットオフ距離は $5\sigma_{ff}$ とした。

自由エネルギーは熱力学的積分法^{18, 19)} を用いて求めた。JG間の相対位置が $\mathbf{R}_i$ から $\mathbf{R}_j$ まで変化するときの自由エネルギー差 $\Delta\Omega_{ij}$ は、以下の式に示すように、変位に要する力を積分することによって求められる。

$$\Delta\Omega_{ij} = \int_{\Omega_i}^{\Omega_j} \frac{\partial \Omega}{\partial \mathbf{R}} d\mathbf{R} = - \int_{\mathbf{R}_i}^{\mathbf{R}_j} \langle \mathbf{F}(\mathbf{R}) \rangle d\mathbf{R} \approx - \sum_{k=i}^j \langle \mathbf{F}(\mathbf{R}_k) \rangle \Delta \mathbf{R}$$

ここで、 $\langle \mathbf{F}(\mathbf{R}) \rangle$ は相対位置 $\mathbf{R}$ において、一つのJGが周囲から受ける力のアンサンブル平均で、JG間の直接相互作用力 $\mathbf{F}^{\text{dir}}$ と流体分子からの寄与 $\mathbf{F}^{\text{fd}}$ の和で表される。 $\mathbf{F}^{\text{dir}}$ は長さ L (シミュレーションセルのサイズ) の柱と長さ無限の柱間の相互作用ポテンシャル

の総和を数値微分することにより求めた。相互作用は、次式で表されるように、平行な柱間 W_{parallel} とねじれの位置にある柱間 W_{skew} の2種類から成る。

$$W_{\text{parallel}}(r) = \frac{3\pi\varepsilon_{ss}\rho_l^2\sigma_{ss}L}{2} \left\{ \frac{21}{32} \left(\frac{\sigma_{ss}}{r} \right)^{11} - \left(\frac{\sigma_{ss}}{r} \right)^5 \right\}$$

$$W_{\text{skew}}(r) = \frac{3\pi\varepsilon_{ss}\rho_l^2\sigma_{ss}}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left\{ \frac{21}{32} \left(\frac{\sigma_{ss}}{r} \right)^{10} \cos^9 \theta - \left(\frac{\sigma_{ss}}{r} \right)^4 \cos^3 \theta \right\} d\theta$$

ここで、 ρ_l は柱の線密度、 θ は有限柱から無限柱への垂線と、有限柱上の任意の点と無限柱の垂線の足を結んだ直線のなす角度である。流体分子がJGフレームワークへ及ぼす力 $\mathbf{F}^{\text{fd}}$ は、吸着した流体分子がそれぞれの柱に与える力の総和として求めた。流体分子-柱間の相互作用力はLJ11-5ポテンシャルを微分した次式で与えられる。

$$f_{\text{sf}}(r) = \frac{3\pi\varepsilon_{sf}\rho_l}{64} \left\{ 231 \left(\frac{\sigma_{sf}}{r} \right)^{12} - 160 \left(\frac{\sigma_{sf}}{r} \right)^6 \right\}$$

$\langle \mathbf{F}(\mathbf{R}_k) \rangle$ は、相対位置 $\mathbf{R}_k$ を固定したGCMCシミュレーションから計算し、一定の化学ポテンシャル条件下で $\mathbf{R}_k$ を $\Delta \mathbf{R}$ ずつ変化させながら同様のシミュレーションを逐次行うことで、自由エネルギープロファイル $\Delta\Omega(\mathbf{R})$ を求めた。シミュレーションの各Runは流体分子当たり80,000ステップ行い、 $\Delta R = 2 \times 10^{-3} \sigma_{ff}$ と設定した。この手順を、異なる化学ポテンシャルについても同様に行った。ここで、化学ポテンシャルと圧力との関係は次式より求められる。

$$\mu - \mu_s = k_B T \ln \left(\frac{p}{p_s} \right)$$

ここで p_s は飽和蒸気圧、 μ_s は p_s に対応する化学ポテンシャル、 T は温度である。温度は無次元温度 $T^* = k_B T / \varepsilon_{ff} = 1.0$ となる148.1 Kで行った。

3. 自由エネルギー解析と構造転移

まずは解析結果の代表例として、対角方向への変位に対する、中央配置を基準とした自由エネルギープロファイルを異なる圧力について計算したものを図2に示す。相対位置 $R/\sigma_{ff} = 0.0$ (中央配置) のときは分子が吸着するスペースが無く、いわばゲートが閉じた

状態である。 R/σ_{ff} を大きくすると吸着スペースは出来るが、JGフレームワーク同士の斥力相互作用により $\Delta\Omega$ が増加し不安定化する。十分低圧である相対圧 $p/p_s = 0.015$ では、ゲスト分子がほとんど吸着しないため、中央配置のとき最安定となった。圧力を上げていくと（図2、 $p/p_s = 0.037$ ）、吸着が進むため分子吸着による安定化の寄与が増加し、相対位置 $R/\sigma_{ff} = 0.25$ 付近に極小が現れた。この相対位置を以降は対角密着配置（Diagonal Contact Configuration; DC）と呼ぶ。対角密着配置にはゲスト分子の吸着スペースがあり、「ゲートが開いた」状態である。さらに圧力を上げていくと吸着による安定化が進み、 $p/p_s = 0.045$ で双安定、すなわち中央配置と対角密着配置が熱力学的平衡状態となった。それよりも高圧になると、両者の安定性は逆転し、中央配置よりも対角密着配置の自由エネルギーが小さくなり（図2、 $p/p_s = 0.068$ ）、対角密着配置が最安定となった。このように圧力に応じて自由エネルギープロファイルが変化し、2つの安定配置の安定性が変化することが分かる。ここで、 $\Delta\Omega$ が最小値となる最安定状態の吸着量を圧力変化に対してトレースすることで平衡状態の吸着等温線を描いたところ（図3、点線）、2つの安定状態の遷移を反映してステップ状の吸着量変化を示す等温線が得られた。すなわち、吸着スペースを作る際にフレームワークがずれることによる構造の不安定化と、ゲスト流体分子の吸着に起因する安定化という2つの自由エネルギー成分のバランスこそが、ゲート吸着を発現させる本質的因子であり、ゲート吸着は平衡論的に発現することを示す結果である。

さらに図2の特徴として挙げられるのは、2つの安定状態の間に存在するエネルギー障壁の存在である。

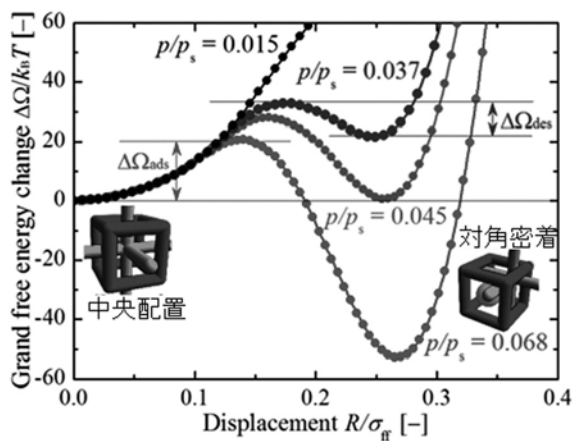


図2 自由エネルギープロファイル

例えば、 $p/p_s = 0.068$ において、中央配置から対角密着配置に構造転移するためには $\Delta\Omega_{ads}$ を乗り越えなければならない。脱着側でも同様にエネルギー障壁（ $\Delta\Omega_{des}$ ）が現れる。もしエネルギー障壁が十分に高く、系がその障壁を越えるエネルギーを持たなければ、平衡転移圧よりも高圧になっても準安定状態のままで留まり、最安定状態に構造転移することはできない。ここで、系が乗り越え得る障壁高さを設定することで、実験で得られるものと酷似した大きなヒステリシスを有する等温線が得られた（図3、実線）。閾値となる障壁高さは、系の熱揺らぎの程度によって決定されると考えられる。しかしながら、大正準系における構造転移現象の理論的基礎は未開拓であると考えられるため、設定には任意性が伴うが、ここでは仮に $10k_B T$ と設定した結果を図3に示している。閾値を大きく設定すると、障壁を越えやすくなるためヒステリシス幅は狭くなる。すなわち、安定状態の間に存在するエネルギー障壁こそが、ゲート吸着現象に特有のヒステリシスの要因であり、その幅は速度論的に決定されると考えられる。また、平衡転移圧は吸着側の圧力よりも、脱着圧に近くなっていることも興味深い。

4. 異なるタイプの構造転移

LJベンゼンで構成される柱を炭素柱（ $\sigma_{ss} = 0.340$ nm, $\epsilon_{ss}/k_B = 28.0$ K, 線密度 $1.96/\sigma_{ss}$ ）に置き換えて、同様の自由エネルギー解析を行ったところ構造転移の挙動が劇的に変化した。炭素柱はベンゼン柱とは異なり、どの圧力においても対角密着配置が最安定であるため、対角方向の自由エネルギー解析では構造転移現象が見られなかった。一方で、柱に沿って横断する方向（中央配置から $R = (1,0,0)$ に向かう方向）への構

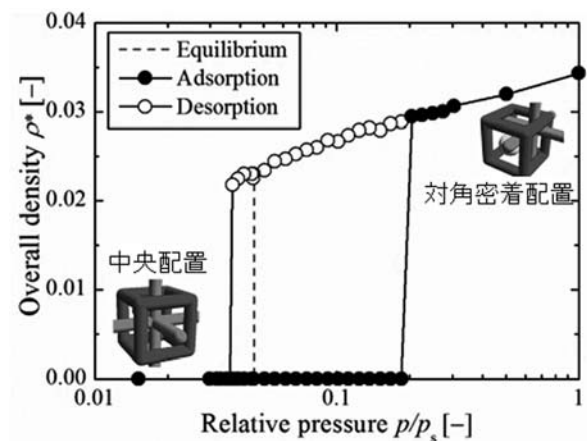


図3 吸着等温線（ベンゼン柱、 $d = 3.2\sigma_{ff}$ ）

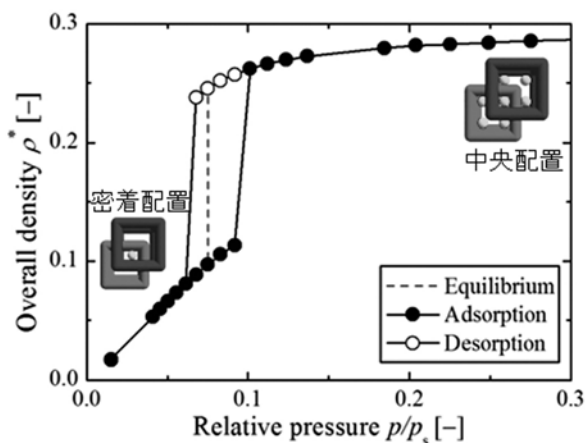


図4 吸着等温線（炭素柱， $d = 3.0\sigma_H$ ）

造転移経路において、図4に示すような、低圧から徐々に吸着量が増加し、ある圧力で構造転移するという吸着等温線が得られた。ステップ状の等温線が得られているという点では同様であるが、ベンゼン柱と決定的に異なるのは、構造転移の「向き」である。低圧での安定構造は密着配置であり、圧力の増加に伴い最安定構造が中央配置にスイッチしているが、この挙動はベンゼン柱の場合（図3）と方向が逆である。これは炭素柱の場合、柱が細いため、フレームワークのみの安定性を考えると、柱同士が近づいた密着配置の方が中央配置よりも安定となるためである。図5にJG骨格間の相互作用ポテンシャルを示すが、確かに、炭素柱（ $d = 3.0\sigma_H$ ）では密着配置でポテンシャルが最小となるのに対して、ベンゼン柱では中央配置が最小となっている。つまり、構造転移の向きはフレームワーク間の相互作用ポテンシャルによって決定される。一方で、構造転移が実際に生じるか否かは、ゲスト分子による

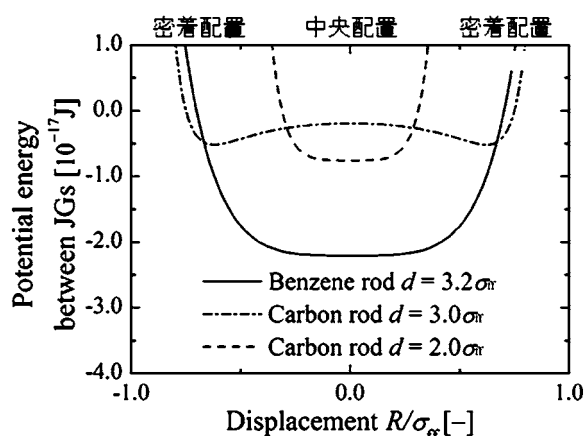


図5 種々の柱におけるJG間相互作用ポテンシャル

吸着安定化の程度に依存する。一例として炭素柱（ $d = 2.0\sigma_H$ ）を挙げると、図5に示すようにポテンシャルは中央配置に最小値を持つことから、中央配置から密着配置への構造転移が予想される。ところが、この細孔サイズでは、フレームワーク間の距離が近いいためJG構造が吸着スペースを作る際の立体斥力が極めて大きく、分子吸着による安定化エネルギーで補うことができないため、結果として構造転移は生じない。以上より、構造転移の向きは、柱の太さ σ_{ss} 、相互作用パラメータ ε_{ss} 、細孔サイズ d といった相互作用ポテンシャルに関わるホスト錯体の物性値から、そして転移の有無は分子サイズ σ_{sf} やホストとの親和性 ε_{sf} といったゲスト分子の特性より予測可能であると言える。

5. 3次元空間自由エネルギーマップ

前節までは、構造転移現象の本質を理解するために、転移経路を1方向に制限し検討を行ったが、ここではその制限を解除し、相互貫入型JG構造が取りうる相対配置をすべて考慮し自由エネルギープロファイルを計算した。図6に、ベンゼン柱（ $d = 3.2\sigma_H$ ）が構成する相互貫入JG空間において、4つの異なる R_z に対する R_x - R_y 平面の自由エネルギー曲面と等高線を示す。 $\mathbf{R} = (\pm 0.2, \pm 0.2, 0.0)$ に自由エネルギーの極小が存在することが分かる（図6a）。この配置を横密着配置（Side Contact Configuration; SC）と呼ぶ。図6(a)に示した4つの横密着配置と、図6(d)の $\mathbf{R} = (\pm 0.2, 0.0, 0.2)$ 、 $(0.0, \pm 0.2, 0.2)$ に存在する極小は全て等価であり、フレームワークの対称性に起因するものである。図6(c)での相対位置 $\mathbf{R} = (\pm 0.16, \pm 0.16, 0.16)$ に現れている極小は上述した対角密着配置である。図7に、ゲスト分子を含んだ2つの密着配置のスナップショットを示す。なお、図を見やすくするため、フレームワークは細く、ゲスト分子は大きく表示している。対角密着配置は立方体の空間あたり1つのゲスト分子が吸着でき（図7a）、横密着配置は立方体あたりに2つのゲスト分子が吸着できるスペースを有する（図7b）。得られた自由エネルギーマップを詳細に検討した結果、これらに中央配置を加えた3種類の他に安定配置は存在しないことが分かった。

これらの3つの安定配置がどのような経路で構造転移するのかを検討するため、相対圧に対する自由エネルギー変化をプロットしたものを図8(a)に示す。中央配置は吸着スペースが無く、吸着による安定化が得られないため、圧力に対して自由エネルギーは一定で

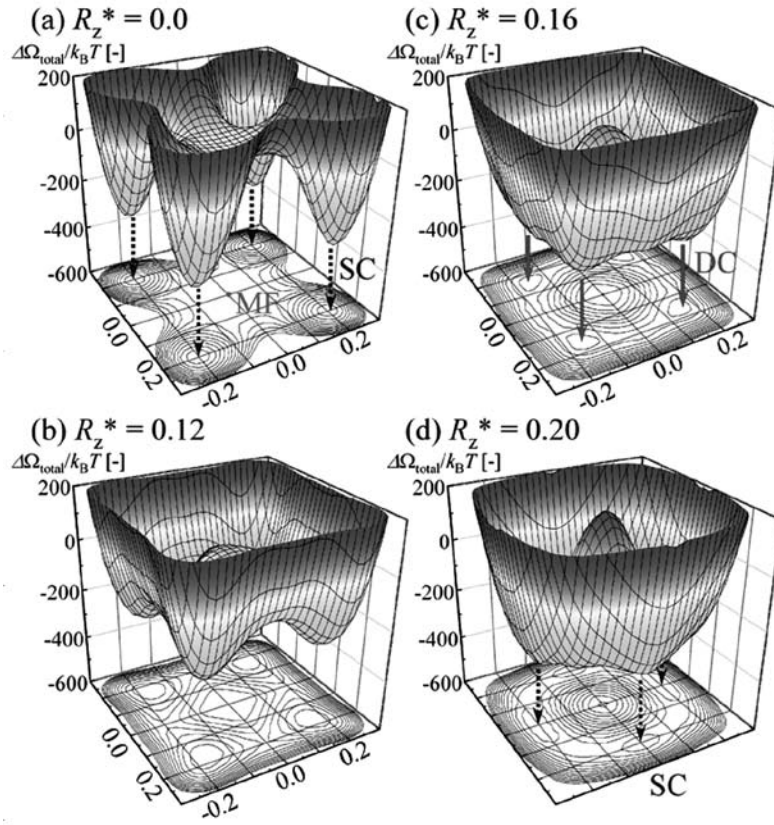


図6 $p/p_s = 0.30$ における自由エネルギー曲面と等高線

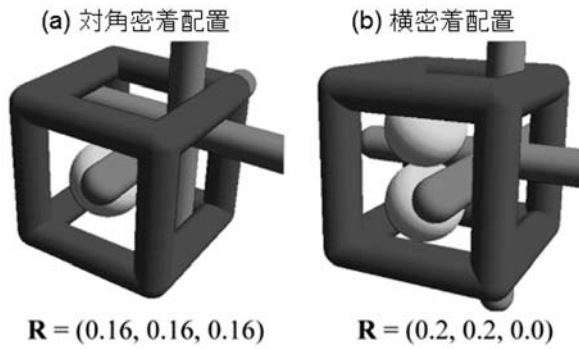


図7 2種の密着安定配置のスナップショット

変化しない。一方で吸着スペースを持つ対角密着配置と横密着配置は、低圧ではフレームワーク間の斥力相互作用によって不安定だが、高圧条件になるに従い吸着量が増加するため自由エネルギーは徐々に小さくなる。結果として、 $p/p_s = 0.01-0.045$ の低圧条件では中央配置が最安定であるが、 $p/p_s = 0.045$ で中央配置と対角密着配置は熱力学的に平衡となり、それ以上の圧力では対角密着配置が最安定状態をとる。さらに相対圧を上昇させると $p/p_s = 0.25$ で対角密着配置と横密着配置が平衡となり、以降は横密着配置が最安定となる。

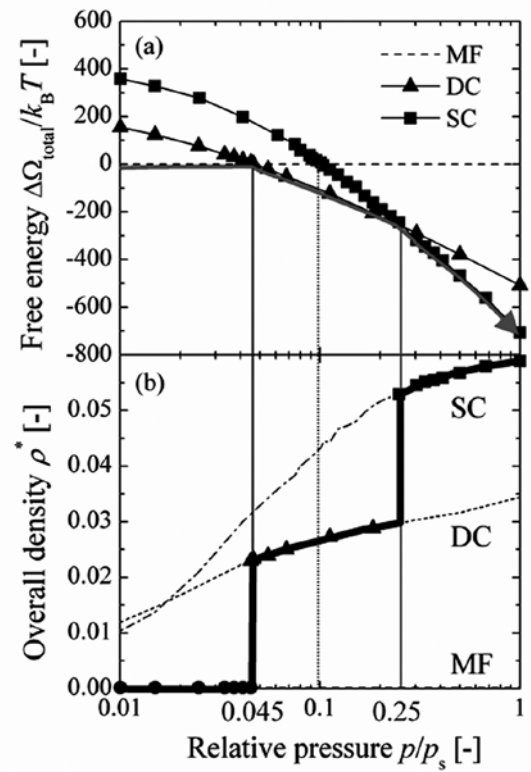


図8 (a) 3種の安定配置における自由エネルギー変化と (b) 平衡吸着等温線

従って構造転移は、中央配置→対角密着配置が最初に生じ、対角密着配置→横密着配置がその後に続くことになる。中央配置と横密着配置の平衡圧 ($p/p_s = 0.1$) では、中央配置はすでに対角密着配置に転移しているため、中央配置→横密着配置の転移は起こらない。自由エネルギーが最小となる配置の吸着量を相対圧に対してプロットすると、図 8 (b) に示すように二段階のステップを持つ吸着等温線になる。この計算結果は、1つのステップのみ観測されている等温線であっても、さらに高い圧力で2つ目の構造転移によるステップが観測される可能性を示唆していると言える。

6. まとめ

GCMC シミュレーションと熱力学的積分法を組み合わせた手法を用いて、相互貫入型 JG 錯体が見せるゲート吸着現象の自由エネルギー解析を行った。吸着分子が存在しない状態では、細孔が閉じた状態（中央配置）が最安定である。細孔が開く（密着配置）と、JG 錯体自体の不安定化により自由エネルギーが増加する一方で、開いた細孔空間への分子吸着によって自由エネルギーが減少する。この2つの自由エネルギーの和が系全体の自由エネルギーであって、圧力に応じてこの自由エネルギープロファイルは変化し、ある圧力以上では細孔が開いた状態が最安定に入れ替わった。すなわち構造の不安定化と吸着による安定化という2つの自由エネルギー成分のバランスこそが、ゲート効果を発現させる本質的因子であることを明らかにした。これは、ゲート吸着現象は平衡論的に発現し得ることを示す結果であるが、準安定状態から最安定状態へ構造転移するためには、両者の間に存在するエネルギー障壁を越えなければならない。エネルギー障壁が高いと、系はそれを乗り越えられず準安定状態に留まるため、ヒステリシスが生じることになる。つまり、ゲート吸着現象におけるヒステリシスの起源は、安定状態間のエネルギー障壁の存在であり、ヒステリシス幅は速度論的に決定されることを示した。以上のように、自由エネルギー解析は、JG 構造と吸着分子の時間スケールが全く異なることで生じる直接シミュレーションの困難を克服しており、ゲート吸着現象を検討する上で、斬新かつ有力な手法と言える。

さらに、我々は、統計熱力学に基づき大分配関数から導出した構造転移圧予測式を、Langmuir 吸着モデルによる吸着量推算式と組み合わせることによって、構造転移圧予測モデルを構築している²⁰⁾。詳細につい

てはここでは省くが、本提案モデル式は、一切の未知パラメータを含まず、構造転移圧の温度依存性と PCP の細孔径依存性を定量的に予測可能で、その予測値はシミュレーション結果と良好に一致した。本モデルを用いることで、新規に合成された PCP に対しても、その結晶構造さえ分かれば、構造転移圧の予測が原理的に可能である。本研究での機構解明やモデル提案は、シミュレーションだからこそ為し得たもので、実験だけでは見出し得ない PCP の合理的設計指針となるものと期待される。

【参考文献】

- 1) S. Kitagawa, R. Kitaura, and S. Noro, *Angew. Chem. Int. Ed.* **43**, 2334 (2004) .
- 2) J. L. C. Rowsell and O. M. Yaghi, *Microporous Mesoporous Mater.* **73**, 3 (2004).
- 3) G. Férey, *Chem. Soc. Rev.* **37**, 191 (2008).
- 4) S. Horike, S. Shimomura, and S. Kitagawa, *Nat. Chem.* **1**, 695 (2009).
- 5) F.-X. Coudert, A. Boutin, M. Jeffroy, C. Mellot-Draznieks, and A. H. Fuchs, *Chem. Phys. Chem.* **12**, 247 (2011).
- 6) A. M. Walker, B. Civalleri, B. Slater, C. Mellot-Draznieks, F. Cora, C. M. Zicovich-Wilson, G. Roman-Perez, J. M. Soler, and J. D. Gale, *Angew. Chem. Int. Ed.* **49**, 7501 (2010).
- 7) F. Salles, A. Ghoufi, G. Maurin, R. G. Bell, C. Mellot-Draznieks, and G. Férey, *Angew. Chem. Int. Ed.* **47**, 8487 (2008).
- 8) N. A. Ramsahye, M. G. S. Bourrelly, P. L. Llewellyn, T. Devic, C. Serre, T. Loiseau, and G. Férey, *Adsorption* **13**, 461 (2007).
- 9) A. Ghoufi and G. Maurin, *J. Phys. Chem. C* **114**, 6496 (2010).
- 10) F. -X. Coudert, M. Jeffroy, A. H. Fuchs, A. Boutin, and C. Mellot-Draznieks, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 14294 (2008).
- 11) A. V. Neimark, F. -X. Coudert, A. Boutin, and A. H. Fuchs, *J. Phys. Chem. Lett.* **1**, 445 (2010).
- 12) K. Seki, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **4**, 1968 (2002).
- 13) S. Watanabe, H. Sugiyama, H. Adachi, H. Tanaka, and M. T. Miyahara, *J. Chem. Phys.* **130**, 164707 (2009).
- 14) H. Sugiyama, S. Watanabe, H. Tanaka, and M. T.

- Miyahara, *Langmuir* **28**, 5093 (2012).
- 15) S. Watanabe, H. Sugiyama, and M. Miyahara, *Adsorption* **14**, 165 (2008).
- 16) S. Watanabe, H. Sugiyama, and M. Miyahara, *Langmuir* **24**, 802 (2008).
- 17) T. Uemura, N. Yanai, S. Watanabe, H. Tanaka, R. Numaguchi, M. T. Miyahara, Y. Ohta, M. Nagaoka, and S. Kitagawa, *Nat. Commun.* **1**, 83 (2010).
- 18) G. Ciccotti, M. Ferrario, J. T. Hynes, and R. Kapral, *Chem. Phys.* **129**, 241 (1989).
- 19) R. Evans, *J. Phys.: Condens. Matter* **2**, 8989 (1990).
- 20) H. Sugiyama, S. Watanabe, H. Tanaka, and M. T. Miyahara, in preparation.



渡邊 哲
京都大学大学院工学研究科化学工
学専攻
博士（工学）

2005年 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻博士
課程修了

同年 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 助
手

2007年 同助教、現在に至る

ホットトピックス

層間架橋体の新規合成手法の開発

Novel Synthesis of Organo-bridged Layered Materials

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
Research Center for Compact Chemical System, AIST

石 井 亮
Ryo Ishii

1. はじめに

層間架橋体は、層状化合物（主として層状ケイ酸塩）の層間の空隙を利用することにより得られる多孔性材料である。得られる空隙は1 nm程度のサイズであり、IUPAC分類のマイクロ細孔に属する。本材料は、同じマイクロ細孔を有するゼオライトとは異なる吸着性や触媒活性を付与することができる点で特徴がある。また、その合成手法がいわゆるビルディングブロック的なナノ構造体の作成に通じることから、近年、ゼオライトやメソポーラス材料の分野においても注目されている。本稿では、層間架橋体の最近の発展を踏まえ、筆者が手掛けている層間架橋体とその吸着性を利用したガスセンサへの適用について紹介したい。

2. 層間架橋体とは

層間架橋体の起源の一つは、層状ケイ酸塩の層間イオンを有機カチオンによりイオン交換した化合物である。たとえば、層状ケイ酸塩の一種であるモンモリロナイトの層間無機イオンを、テトラメチルアンモニウムカチオン（TMA カチオン）によりイオン交換すると、モンモリロナイトの比表面積は180 m²/g程度にまで増加する。これは、有機カチオンが層状ケイ酸塩の層間に取り込まれ、層間拡張により分子レベルの空隙が形成したためである（図1）。この際、有機カチオンは、層間空隙を維持するための支柱（pillar; ピラー）としての役割を果たす。有機カチオンにかぎらず、無機酸化物微粒子についても層間の支柱として利用可能であることが見出されており、得られる化合物を層間架橋体と呼んでいる。

層間架橋体の特色の一つは、その吸着性が層間を保

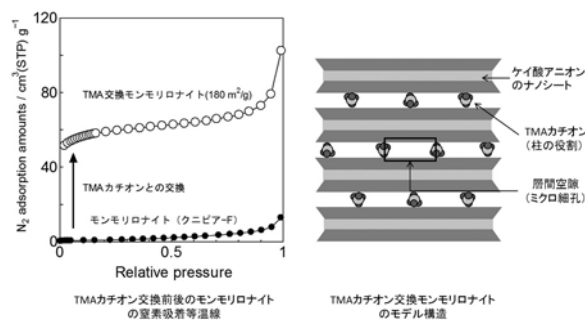


図1 多孔性オルガノピラードクレイの一例

持する支柱の性質に依存することである。上記のTMA カチオン交換モンモリロナイトを例にとると、親水性であったモンモリロナイトは、イオン交換後、炭化水素や芳香族化合物に対して高い吸着性を示すようになる。これは、有機カチオンがマイクロ細孔の‘表面’のような役割を果たすことにより、細孔の表面性状が有機親和的に変化したためと説明される。言い換えれば、層間架橋体は、層間に導入する支柱を選択することにより吸着性のある程度制御することができる。また、層間支柱としてアルミナやジルコニアなどの無機酸化物微粒子を用いれば、触媒能をもつ無機酸化物から構成されるマイクロ細孔が形成され、触媒としても利用可能である¹⁾。このように、有機親和性や触媒活性について比較的容易にその表面性状を変更することは、同じマイクロ細孔を有するゼオライトでは困難であり、層間架橋体の大きな特色といえる。

このように層間架橋体は、層間支柱に用いる物質により吸着材や触媒に適用が可能であるが、吸着という観点からは、有機カチオンを支柱に用いた層間架橋体（多孔性オルガノピラードクレイ）がより興味深い。上述したように多孔性オルガノピラードクレイは、低分子有機化合物に対する吸着性を有するが、その細孔構造から板状分子に対して吸着選択性を示す場合があることが知られている。Barrer は、多種の無極性有機分子についてTMA カチオン交換モンモリロナイトのガス吸着測定を行い、その吸着選択性について調べた²⁾。その結果、板状分子であるベンゼン分子が、線状の炭化水素分子より吸着しやすいことを示した（図2）。また、その選択性について系統的な検討を別途行い、板状分子と他の形状を持つ無極性分子との2成分ガスや2成分液体から板状分子が優先的に吸着することを報告している³⁾。加えて、この選択的な吸着は、水溶液からの吸着においても見られる⁴⁾。これらの理由は、生成したマイクロ細孔が層間空隙をベースとして

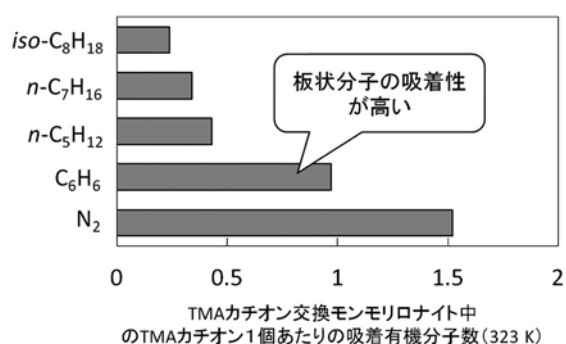


図2 TMA カチオン交換モンモリロナイトの無極性有機ガスの吸着性の比較

いるため、矩形型ないしは長方形の形状を持つためと考えられる。この板状分子に対する選択的な吸着が、同じマイクロ細孔材料であるゼオライトとは異なる特徴の一つとなっている。

多孔性オルガノピラードクレイの吸着性は、近年まで重要視されることはなく、したがって用途開発もほとんどなされてこなかった。しかしながら、板状分子である芳香族有機化合物を捕集する吸着材の潜在的な需要は高まっており、それらへの適用の可能性が出てきた。

吸着材として、例えば、VOC（揮発性有機化合物）の除去分離材や抗菌剤用吸着材、機能性芳香族化合物のカプセルなどへの適用が期待される。VOC除去に関して言えば、VOC排出に関する規制が強化されており、経済産業省及び新エネルギー技術開発機構（NEDO）の策定した技術戦略マップにおいても、ベンゼンやトルエン、キシレンなどのVOCの削減技術の開発が重要技術として挙げられている⁵⁾。その目的は、自然環境や居住環境の浄化であり、課題を解決するための部材産業分野の取り組みとして、当該VOC除去用フィルターやセンサの開発が必要であることを指摘している。多孔性オルガノピラードクレイなどの層間架橋体は、芳香族有機化合物を選択的に吸着可能であり、VOC除去用フィルターやセンシング部材への適用が考えられる。また、室内環境の浄化の観点からは、抗菌剤のカプセルへの適用も有望である^{6, 7)}。

3. 層間架橋体の問題と解決方法

前節では、多孔性オルガノピラードクレイが、板状分子に対する選択的な吸着材として利用できることを示した。他方、この多孔性オルガノピラードクレイを吸着材として高性能化しようとするに困難に遭遇する

場合がある。例えば、吸着容量を向上させる場合、層間を拡げることによって空隙の容量を増やすことが考えられるが、有機カチオンを用いる場合は困難な場合が多い。具体的には、層間を拡げるためにより大きなカチオンを用いる場合があるが、多くの場合それらは嵩高く、それ自身が層間を占有してしまい、かえって比表面積が低下する。例えば、TMA カチオン交換モンモリロナイトの比表面積は180 m²/gであるが、より分子体積の大きいテトラプロピルアンモニウムイオンにより交換したモンモリロナイトは、その比表面積が10分の1まで低下し、ほとんど多孔性を示さない。また、細孔の表面性状を変えるため、別種の有機カチオンを用いる場合においても、これらのカチオンはTMA カチオンと比べて分子体積が大きい場合がほとんどであり、そのような場合においても多孔性が低下するという問題がある。以上から、多孔性オルガノピラードクレイの吸着材としての高性能化のためには、従来とは異なる設計指針と合成のアプローチが必要になる。

筆者は、新しい多孔性オルガノピラードクレイ合成のための出発物質として、層状ポリケイ酸塩に着目した。層状ポリケイ酸塩は、シリカナノシートから構成される層状化合物である。そのシリカシートは、シリカの最小単位であるSiO₄ユニットの組み合わせにより複数の構造を持ち、多くの類縁化合物が存在する。また、この化合物は、シラノール基（-Si-OH）がナノシート表面に周期的に存在しており、かつ、層間に対して配向しているのが特徴である。

層状ポリケイ酸塩は、メソポーラスシリカや新規ゼオライト合成のための出発物質として注目されている。それらの例として、メソポーラスシリカについて言えば、kanemiteを用いたFSM型メソポーラスシリカの合成が有名である。また、ゼオライトについては、層状ポリケイ酸塩の一種であるPLS-1を用いた新規なゼオライトCDS-1の合成が知られている⁸⁾。本合成は、PLS-1のナノシートの表面のシラノール基を用い、それらを脱水縮合することによって上下のシリカナノシートを結合させ、2次元構造から3次元構造に転換させるものである（図3）。CDS-1の成功は、ナノシートを利用して新規ゼオライトを合成した点で、従来のゼオライト合成とは一線を画しており意義深い。現在までに同様の合成ルートを用いたゼオライトについて数多くの報告がなされている⁹⁻¹⁵⁾。

一方で、これらのゼオライトは、層間にシロキサン

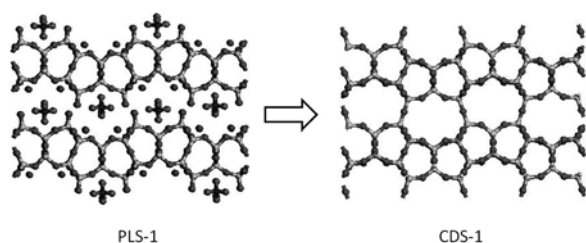


図3 PLS-1からCDS-1への合成のイメージ図（参考文献8記載のstructural parametersから筆者が作成）

の支柱を有する層間架橋体と考えることもできる。このような層間架橋体の吸着性は、シロキサン支柱に依存して疎水的であり、従来から知られていたMFI型ゼオライトと変わるところはない。また、縮合により得られる層間の細孔は、結晶構造によりほとんど一義的に決まり、細孔サイズの制御は難しい。そのため、吸着剤としての利用を考えるとある程度用途が限定されてしまうという側面がある。そこで筆者は、シラノール基同士を縮合させず、層間に支柱となる分子を固定化するための基点として利用できれば、新規な層間架橋体を創製できるのではないかと考えた。そのような考え方に基づき、層状ポリケイ酸塩を出発物質とした新規な層間架橋体の創製を試みた。

4. 新たな層間架橋体の合成

上記に述べたように、層状ポリケイ酸のシラノール基同士を縮合することにより層間を架橋すれば細孔が形成される。その際、例えば、縮合するシラノール基の間に有機部位を挿入することができれば、その層間に有機部位を支柱に有するマイクロ細孔が形成する。筆者は、有機部位導入を実現するための柱の成分として、図のようなシラン化合物に注目した（図4）。この化合物（Bis (triethoxysilyl) biphenyl, 以下、BESB分子）は、ビフェニレン部位の両端にエトキシシリル基を有しており、これらシリル基とシラノール基が反応してシロキサン結合を形成すれば、層間にビフェニレン部

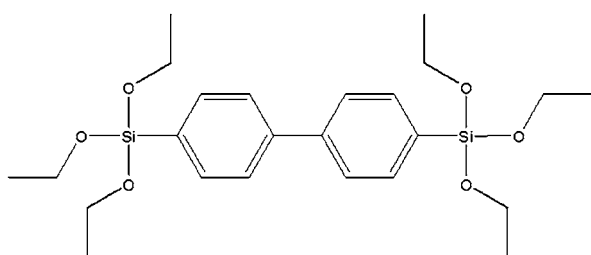


図4 BESB分子のモデル構造

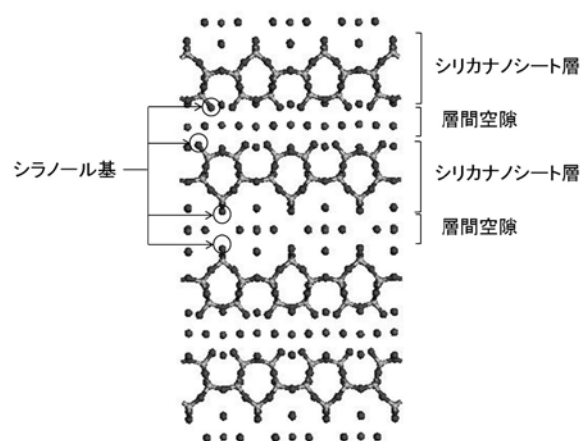


図5 ileriteの構造

位を架橋することができる。また、ビフェニレン部位は、有機カチオンなど比べて嵩が大きいので、層間に空隙が残り、マイクロ細孔が形成すると期待される。

また、実際の合成においては、層状ポリケイ酸として ilerite (layered octosilicate もしくは RUB-18 と呼ばれる) を用いた。ilerite の結晶構造は Gies らによって明らかにされている¹⁶⁾。その結晶構造によれば（図5）、層間中のシラノール基は、一列に配列しており、かつ上下のシラノール基が向き合っている。これらのシラノール基の位置は、BESB 分子を架橋するのに好適な配置をとっている。

層状ポリケイ酸として ilerite、柱分子として BESB 分子を用いて新たな架橋体の合成を行った。合成は次のようにして行った。まず、ilerite の層間のナトリウムイオンをプロトンとイオン交換し、さらにアルキルアミンと反応させた。アルキルアミンとプロトンとの反応により ilerite の層間には有機化され、BESB 分子が層間に入りやすくなる。得られた化合物を BESB 分子のヘキサン溶液中で攪拌し、BESB 分子を ilerite の層間に挿入した。遠心分離後、得られた固形分を塩酸エタノール溶液中に分散させ、層間のアルキルアミンを除去した（得られた化合物を以下、BESB-ilerite と呼ぶ）。

BESB-ilerite の構造について以下に説明するが、その解析の詳細は既報を参照されたい^{17, 18)}。X 線回折測定によれば、BESB-ilerite の底面反射のピークは、 $2\theta = 5.5^\circ$ に観測される（図6(a)）。これは、層間距離に換算すると、1.61 nm と計算される。Ilerite のナノシートの厚みが 0.74 nm であることから、層間には幅 0.87 nm と空隙が存在していることを示している。また、窒素吸着測定によれば、プロトン化した ilerite

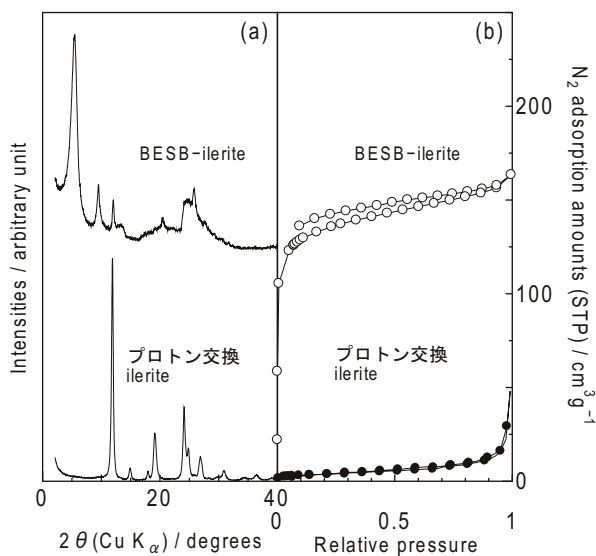


図6 BESB-ileriteとプロトン交換ileriteのX線回折パターンと窒素吸着等温線の比較：(a) X線回折パターン、(b) 窒素吸着等温線

はほとんど細孔を持たないのに対し（BET比表面積 $26 \text{ m}^2/\text{g}$ ）、BESB-ileriteの等温線はI型の吸着等温線に変化していた（図6 (b)）。そのBET比表面積は、 $508 \text{ m}^2/\text{g}$ であった。また、その細孔径は、スリット細孔モデルを仮定すると 0.94 nm と見積もられた。以上のことから、BESB分子が層間に挿入され層間にマイクロ細孔が形成したことを確認できた。同程度の層間距離を有する従来のオルガノピラードクレイの比表面積が $20 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下であることを考えると、今回の方法が層間空隙を生成する上で如何に効果的であることが分かる。

BESB分子が層間に挿入されて層間空隙が形成したことは確認されたが、それでは、BESB分子はどのような構造をとっているのだろうか。BESB分子の分子長は約 1.2 nm であるが、X線回折測定から得られた層間幅は、 0.87 nm と分子長より短い。このことは、BESB分子はナノシート平面に対して傾いた形で層間に存在していることを意味している。また、BESB分子は、シート面に対して斜めに配向を保ちながら、シラノールのチャンネルに沿って配列していると考えられる（図7）。加えて、蛍光分光測定等から、層間のBESB分子同士は近接に存在していることが分かっており、結果的に、マイクロ細孔は、BESB分子の間に生成した空隙に由来していると考えられる。

さらに、BESB分子がileriteの層間を架橋しているかについて検討を行った。 ^{29}Si 固体NMRの分析から、BESB分子のエトキシシリル基がileriteのシラノール

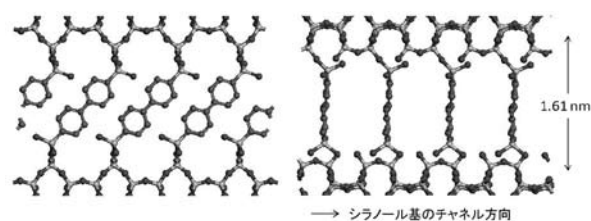


図7 BESB-ileriteの層間モデル図

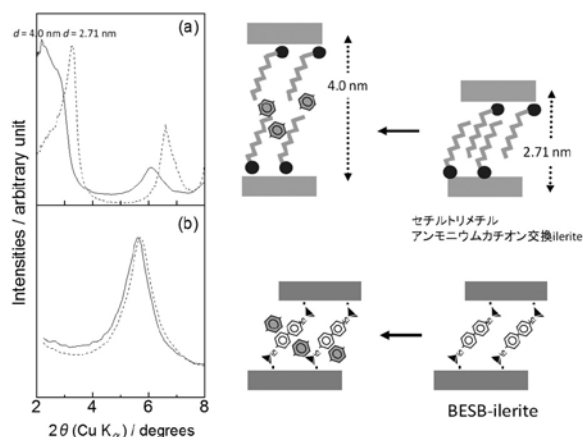


図8 *p*-ニトロアニリン吸着前後のX線回折パターンの比較：(a) セチルトリメチルアンモニウムカチオン交換ilerite（点線：吸着前、実線：吸着後）、(b) BESB-ilerite（点線：吸着前、実線：吸着後）

基と結合していることが分かった。ただし、BESB分子1個あたり生成したシロキサン結合の数は1.3個であり（完全に結合すると2個）、BESB分子は完全にileriteの層間を架橋していないことが示唆された。そこで、色素（*p*-nitroaniline）の吸着実験により架橋の有無について間接的に調べた。吸着前後におけるBESB-ileriteの層間距離の変化は 0.1 nm 以下であり、ほとんど変化しなかった（図8）。それに対して、層間が架橋されていないオルガノピラードクレイ（セチルトリメチルアンモニウムカチオン交換型ilerite）の層間距離は、吸着前後で 1.3 nm も増加した。これは、色素の層間への吸着により層間が膨潤したためである。このことから、BESB分子はileriteの層間を架橋していると結論した。さらなる分析から、BESB分子は隣接した分子と部分的に結合しつつ、ileriteと結合していると推測している。

次に、BESB-ileriteのトルエン吸着等温線測定を行った（図9）。比較試料として、活性炭とベータ型ゼオライトを合わせて示した。表面性状が反映される低相対圧（ $p/p_0 < 10^{-2}$ ）でのBESB-ileriteのトルエン吸着性は、シリカ系材料であるベータ型ゼオライトよ

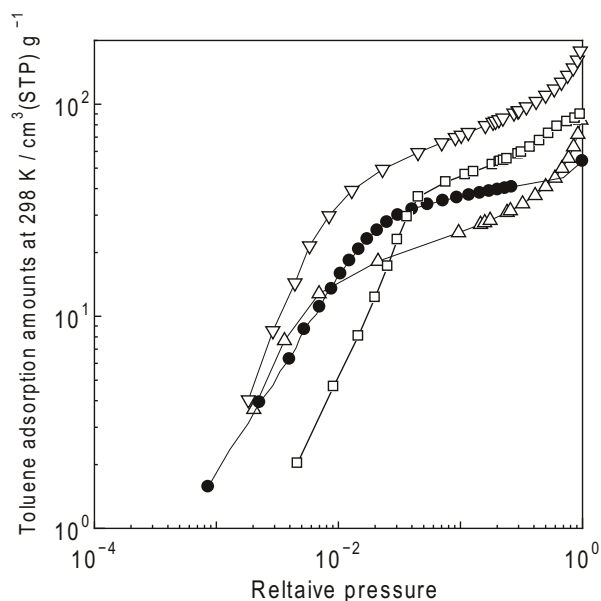


図9 BESB-ilerite 及びベータ型ゼオライト、活性炭のトルエン吸着等温線の比較：●：BESB-ilerite、□：ベータ型ゼオライト、△：活性炭 (TIMREX HSAG300 C21)、▽：活性炭 (ENSACO 350)

り高く、活性炭の吸着性とほぼ同程度であることが分かった。BESB-ilerite の高いトルエン吸着性は、TMA カチオン交換モンモリロナイトとは異なり、必ずしも形状選択性に由来するものではないと思われるが、ピフェニレン部位が細孔表面を構成していることが高いトルエン吸着性に結びついたと考えている。

以上まとめると、筆者は、層状ポリケイ酸 ilerite と BESB 分子を用い、ピフェニレン部位を層間支柱に有する新規架橋体を合成できた。本手法は、多孔性の改善及び表面性状制御を可能とする新規な手法であり、従来の多孔性オルガノピラードクレイを拡張する手法であると言える。

5. 新規架橋体の吸着とガスセンサへの応用

最後に、BESB-ilerite の応用について、現在行っている研究についてお話したい。上述したように、芳香族有機化合物吸着材は、VOC 除去用フィルターやガスセンサへの適用が期待できる。そこで、BESB-ilerite のガスセンサへの適用について検討を行った。

吸着材をセンサデバイスとするガスセンサとして、水晶振動子式ガスセンサがある。このガスセンサは、ある一定の発振周波数で振動している水晶振動子の表面に物質が吸着すると、その質量に比例して振動数が変化することを利用している¹⁹⁾。この現象を利用し、水晶振動子の表面に特定ガス分子のみを吸着させるこ

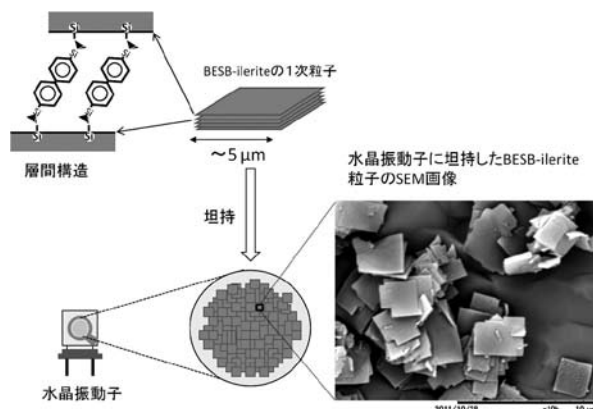


図10 BESB-ilerite 粒子の水晶振動子への担持の模式図と SEM 画像

とができれば、当該ガスの吸着量ないしはガス濃度の測定を行うことができる。この際、特定分子の吸着を促進するために吸着材を水晶振動子表面に担持することが行われている²⁰⁻²²⁾。ここでは、BESB-ilerite を吸着材として水晶振動子に担持し、トルエンガスに対する周波数応答性について調べた。

吸着材と水晶振動子とが共振するためには、吸着材が水晶振動子と良好に結合していることが重要である。SEM 写真からわかるように (図10)、BESB-ilerite の粒子形態は板状であり、粒子の「平面」を介して水晶振動子表面と接触しているため水晶振動子の固有振動数と共振しやすい。

BESB-ilerite を担持した水晶振動子を濃度 200 ppm のトルエンガスに暴露し、その際の周波数の応答を調べた (図11)。比較のために、標準的に用いられるポリスチレンを担持した水晶振動子の挙動も示した。両水晶振動子は、トルエンガスに暴露した後、共振周波数が減少した。さらに、トルエンガスの暴露停止後、元のベースラインに回復した。吸着前後の周波数差が感度に相当するが、BESB-ilerite はポリスチレンより周波数差が大きく、感度が高いことが分かった。また、BESB-ilerite は、トルエンガスの暴露前後の周波数の時間変化に特徴的な挙動が見られた。BESB-ilerite の場合、トルエンガスの暴露とほぼ同時に周波数が減少し、かつ暴露停止後すぐに元のベースラインに回復した。それに対して、ポリスチレンは、暴露後の周波数の減少が遅く、またトルエン暴露停止後の回復も遅かった。この差は、トルエンガス分子の吸着と脱着速度を反映した結果であり、ポリスチレンの内部へのトルエンガス分子の吸着と脱着が遅いことを反映している。この挙動は、トルエンの濃度が高くなるとより顕

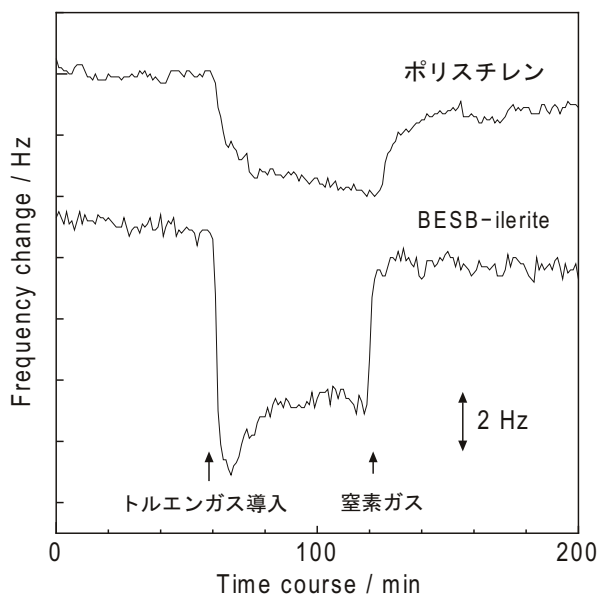


図11 トルエンガス (200 ppm) に暴露した際のポリスチレン及びBESB-ilerite担持水晶振動子の周波数応答

著となる。BESB-ileriteは、細孔を有するためにトルエン分子の吸着と脱着が速やかに起こり、図のように早い応答を示したものと思われる。対象ガスに対する早い応答性は、ガスセンサの性能に必要不可欠であり、本材料はそれを満たしていると言える。現在、繰り返し応答性についても検討を行っているが、ポリスチレンを上回る良好な結果が得られている。

トルエンガスや芳香族有機化合物VOCガス用のガスセンサについては、特にモニタリング用の簡易センサが求められている。本材料を用いた水晶振動子ガスセンサは、その性能をみたまものであり、現在検討を進めている。

6. おわりに

以上、層状ポリケイ酸を用いた新規層間架橋体について解説した。当該新規架橋体を得るための手法は、細孔設計の自由度を高め、吸着材の機能向上を図る上で効果的な手法である。BESB-ileriteの報告以降、有機部位を層間に有する新規架橋体が他のグループから相次いで報告されており²³⁻²⁸⁾、本手法のさらなる発展が期待される。多孔性オルガノピラードクレイを初めとする層間架橋体は、比較的古いタイプに属する吸着材であり、現在は顧みられることは少ない。しかしながら、多孔性材料の合成技術の発展に伴い、新しい可能性が出てきたことを感じ取っていただければ幸いである。

【参考文献】

- 1) A. Gil, L. M. Gandía, and M. A. Vicente, *Catal. Rev. Sci. Eng.* **42** (1 & 2) 145 (2000).
- 2) R. M. Barrer and D. M. MacLeod, *Trans. Faraday Soc.* **51**, 1290 (1955).
- 3) R. M. Barrer, *Clays Clay Miner.* **37**, 385 (1989).
- 4) J-F. Lee, M. M. Mortland, S. A. Boyd, and C. T. Chiou, *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1.* **85**, 2953 (1989).
- 5) NEDOホームページより、技術戦略マップ2009 部材分野、<http://www.nedo.go.jp/content/100109951.pdf>.
- 6) R. Ishii, Y. Imai, M. Wada, T. Ebina, T. Hananoka, and F. Mizukami, *Appl. Clay Sci.* **33**, 99 (2006).
- 7) 石井 亮、花岡隆昌、水上富士夫、*機能紙研究会誌***44**, 55 (2005).
- 8) T. Ikeda, Y. Akiyama, Y. Oumi, A. Kawai, and F. Mizukami, *Angew. Chem. Int. Ed.* **43**, 4892 (2004).
- 9) R. Millini, L. C. Carluccio, A. Carati, G. Bellussi, C. Perego, G. Cruciani, and S. Zanardi, *Micropor. Mesopor. Mater.* **74**, 59 (2004).
- 10) D. L. Dorset and G. J. Kennedy, *J. Phys. Chem. B* **109**, 13891 (2005).
- 11) B. Marler, N. Stroter, and H. Gies, *Micropor. Mesopor. Mater.* **83**, 201 (2005).
- 12) Y. Oumi, T. Takeoka, T. Ikeda, T. Yokoyama, and T. Sano, *New J. Chem.* **31**, 593 (2007).
- 13) J. F. Ruan, P. Wu, B. Slater, Z. L. Zhao, L. L. Wu, and O. Terasaki, *Chem. Mater.* **21**, 2904 (2009).
- 14) T. Ikeda, S. Kayamori, Y. Oumi and F. Mizukami, *J. Phys. Chem. C* **114**, 3466 (2010).
- 15) T. Moteki, W. Chaikittisilp, Y. Sakamoto, A. Shimojima, and T. Okubo, *Chem. Mater.* **23**, 3564 (2011).
- 16) S. Vortmann, J. Rius, S. Siegmann, and H. Gies, *J. Phys. Chem. B* **101**, 1292 (1997).
- 17) R. Ishii and Y. Shinohara, *J. Mater. Chem.* **15**, 551 (2005).
- 18) R. Ishii, T. Ikeda, T. Itoh, T. Ebina, T. Yokoyama, T. Hanaoka, and F. Mizukami, *J. Mater. Chem.* **16**, 4035 (2006).
- 19) G. Z. Sauerbrey, *Phys.* **155**, 2 06 (1959).

- 20) S. Mintova, B. Schoeman, V. Valtchev, J. Sterte, S. Mo, and T. Bein, *Adv. Mater.* **9**, 585 (1997).
- 21) I. Sasaki, H. Tsuchiya, M. Nishioka, M. Sadakata, and T. Okubo, *Sens. Actuators B* **86**, 26 (2002).
- 22) E. Biemmi and T. Bein, *Langmuir* **24**, 11196 (2008).
- 23) D. Mochizuki, S. Kowata, K. Kuroda, *Chem. Mater.* **18**, 5223 (2006).
- 24) S. Inagaki, T. Yokoi, Y. Kubota, and T. Tatsumi, *Chem. Commun.* **48**, 5188 (2007).
- 25) U. Diaz, Á. Cantín, and A. Corma, *Chem. Mater.* **19**, 3686 (2007).
- 26) A. Corma, U. Díaz, T. García, G. Sastre, and A. Velty, *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 15011 (2010).
- 27) H. Gies, U. Müller, B. Yilmaz, T. Tatsumi, B. Xie, F-S. Xiao, X. Bao, W. Zhang, and D. De Vos, *Chem. Mater.* **23**, 2545 (2011).
- 28) H. Gies, U. Müller, B. Yilmaz, M. Feyen, T. Tatsumi, H. Imai, H. Zhang, B. Xie, F-S Xiao, X. Bao, W. Zhang, T. De Baerdemaeker, and D. De Vos, *Chem. Mater.* **24**, 1536 (2012).



石井 亮
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
ナノポーラス材料チーム
主任研究員
博士（理学）

1996年 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 博士
後期課程修了
1996年 通産省工業技術院 四国工業技術研究所
研究員
2000～2001年 英国ブリストル大学 物理学科
客員研究員
2001年～ 独立行政法人産業技術総合研究所
主任研究員

The 6th Pacific Basin Conference of Adsorption Science and Technology (PBAST-6) 参加報告

会議レポート

岡山大学大学院自然科学研究科
大久保 貴 広

第6回目となるPBASTが平成24年5月20日（日）から23日（水）の4日間の日程で、台湾（台北市）の国立台湾大学病院国際コンベンションセンターで開催された。大会事務局の情報によると、28ヶ国から250名以上の参加者が集い、約230件の発表（Keynote 3件、Invite 47件を含む）に関して活発な議論が行われた。初日のレセプションと最終日午後のエクスカーションを除くと正味2日半という短い時間ではあったが、各参加者とも密度の高い議論を交わすことができたのではないかと思います。

私事となり申し訳ないが、PBASTは私にとって思えば深い学会である。本会は1997年に第1回となる会議が千葉県木更津市で開催された。当時、卒研生として研究室に配属されてから2か月にも満たない筆者であったが、右往左往しながら先輩の指示に従って会議のお手伝いをさせてもらった。特に、当時の筆者には英会話の実践経験が全くなかったので、成田空港から会場まで海外からの来客者を案内する際、知っている単語を並べて、冷や汗をかきながら案内をさせてもらった記憶が鮮明に残っている。その後、2003年に韓国で開催された第3回目の会議に（発表者としては初めて）参加させてもらったものの、その後は予定が合わず、9年ぶりに参加をさせてもらった。

さて、本会議では吸着に関係する基礎から応用に至る幅広いトピックスについて議論されており、日本からは3日間で32件の発表が行われた（4名の先生方（迫田章義先生、金子克美先生、宮原稔先生、山本修一先生）による招待講演を含む）。セッション毎の全発表件数と、その中で日本人発表者が占める件数と割合を表にまとめた。基礎研究に関して、日本人による発表件数とその割合が大きな数値となっている一方で、環境関連分野に関する割合が極端に低いことがわかる。本会議は台湾および中国から多くの発表者が集っていたことから、これらの国の状況が色濃く反映されていると思われる。

5月21日の8時30分から開会式が行われ、chairを務めたAnthony S. T. Chiang 教授ら関係者からの挨拶からスタートした。開会式に引き続き、Ralph T.



学会会場となった国立台湾大学病院国際コンベンションセンター

セッション毎の発表件数とそれぞれの発表に占める日本人発表者の割合
（カッコ内はそれぞれに占める口頭発表の件数と割合を示す）

	全 体	日 本	全体に占める 日本人発表者の割合 (%)
Energy Applications	24(12)	2(1)	8.3(8.3)
Bio and Other Novel Processes	23(15)	4(2)	17.4(13.3)
Enviromental Application	62(35)	3(1)	4.9(2.9)
Measuremetns and Instrumentation	13(7)	1(1)	7.7(14.3)
Chemisorption	14(4)	0(0)	0(0)
Fundamentals	40(28)	15(9)	37.5(32.1)
Novel Adsorbents	52(31)	7(3)	13.5(9.7)



参加者の集合写真



開会式で挨拶するChiang教授

Yang教授による基調講演（タイトル：Clean Energy by Adsorption）が行われた。3日間とも9時から基調講演が行われ、2日目はAlois Jungbauer教授（タイトル：Adsorption of Proteins on Hydrophobic Surfaces）、3日目はCary T. Chiou教授（タイトル：Soil Contamination Levels versus Soil Contamination Intensities of Organic Contaminants）が行った。基調講演の後は一般セッションとなり、各セッションに分かれて活発な議論が展開された。筆者は自らの研究との関連で専らFundamentalsのセッションに参加し、kinetic Monte Carloシミュレーションによる吸着相の解析（Do教授）、細孔内で形成される高圧相に関する理論解析（Gubbins教授）など、新たな展開の可能性を強く印象付ける発表の数々に耳を傾けていた。

5月22日の夜にはバンケットが盛大に行われ、各国からの参加者間で親交を深めた。バンケットの席で3年後のPBASTに関する情報もアナウンスされ、2015年5月31日から6月3日の4日間、香港で開催されるとのことである。

参加レポート

PBAST6 参加報告書

千葉大学大学院工学研究科

王 鋭

この度、私は修士2年の学生として2012年5月20日から4日間台湾で行われた第6回Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology（PBAST-6）に参加させていただきました。中国山東省出身の私は留学先の日本から台湾に行くチャンスが巡ってくるとは思いませんでした。国際学会に参加する緊張感と台湾に行く興奮とが相まって、今回のPBAST-6を非常に楽しみにしていました。

会場である台湾大学付属病院国際会議センターは台北駅に近く、交通の便が非常に良いと感じました。初日に受付手続を済ませ、吸着分野において著名な先生方による基調講演を聞くことができ、非常に有意義でした。とても広く綺麗な会場で多くの国の学会参加者が英語でスムーズに交流している様子を見て、改めて自分が国際学会に参加していると実感し、緊張感はさらに高まりました。私の発表は三日目でしたので、最初の二日間は同じ研究室の先生や同僚の発表を聞いたり、あるいはポスター会場にて興味を持った研究内容のポスターを見たりして過ごしました。

私は5月22日の午後、“Environmental Applications”のセッションで、“Surface Properties and Water Vapor Adsorption-Desorption Characteristics of Bamboo-Based Activated Carbon”というタイトルで

発表しました。私にとって初めての国際学会であったため、発表の前には非常に緊張し、発表直前まで発表練習をしていました。発表自体は終始落ち着いて行うことができました。しかし、質疑応答に関しては私の英語が未熟であったこともあり、質問に対して適切な回答ができず、慌てる場面がありました。このことが大きな反省点です。また、吸着の分野で著名な先生に今後の研究の展望について聞かれましたが、緊張しすぎてうまく答えられなかったことも反省点です。しかし、セッション終了後、質問を頂いた先生にその内容を聞きなおしたことで、最後に有意義なアドバイスをいただくことができました。このような貴重な経験を活かして、これからは研究および英語によるプレゼンテーションに対し更なる向上を目指していきたいと考えています。

学会が終了した後、台北市内を観光しました。淡水、九風などの観光地や有名な夜市を回りました。途中で道に迷い、台湾の人に道を尋ねるなどのトラブルもありましたが、美しい景色とおいしい料理を満喫し、学会以外でも非常に有意義な時間を過ごすことができました。

最後になりますが、研究の指導をしてくださいました町田教授、天野助教、いろいろとアドバイスをくださった木更津高専の相川教授、および今回のPBAST-6の参加費用を援助していただいた日本吸着学会ならびに関係者の皆様に心から御礼を申し上げます。

PBAST-6に参加して

千葉大学大学院理学研究科

四 戸 政 博

2012年5月20日から23日まで、台湾で行われた環太平洋太平吸着国際会議PBAST-6に参加いたしました。私の発表は21日のポスターセッションで、セッション中のディスカッションはもちろんのこと、他参加者の発表にもとても刺激を受けた4日間でした。以前国内学会に参加したこともあり、今回も今後の研究の糧になると確信して望んだわけですが、いざ国際学会に参加してみると研究だけではなく今後の人生にも影響を与える貴重な経験ができたと感じています。

他者のプレゼンテーションでは、世界中の著名な研

究者によるプレゼンテーションが間近に聞けました。全て英語と言うこともあり、完璧に理解できたとは言いがたいものですが、随所に「なるほど」「この考えは持ったこと無かった」と思わせる、大変有意義な時間でした。質疑応答の場面では、各国の研究者同士によるハイレベルなディスカッションで、私では気付かないような切り口からのするどい質問と実のある回答がなされていました。経験と知識の至らなさを私は実感しました。また、外国の研究者のエネルギッシュなプレゼンテーションにギャップを感じました。研究の質ももちろんですが、とても自信に満ち、聞いている側を飽きさせない”伝える”ための発表だったと思います。私も幾度か学会にて研究発表を行ってきましたが、それらは自己満足で終わってしまったような発表だったため、見返してみてもとても反省していると同時に、もっと研究内容の伝え方を工夫しなければと感じています。

自身のポスターセッションでは、発表者の少ないBio-applicationのテーマと言うこともあり、閲覧者も少ないだろうと高をくくっていましたが、思いのほか食いつかれてしまい、英語でのディスカッションを多くせざるを得ませんでした。（もちろん望んでいたことではありますが。）いざディスカッションをしてみると、壁が大きいと感じました。聞き取れても考えていることがうまく伝えられない、はたまたうまく聞き取れもしないということもありました。しっかり取組んでいたことも伝えられなければ意味がないと感じ、大変歯がゆい思いをしました。そして研究内容に関しても今まで考えられなかった鋭い指摘をされてしまいました。まだまだ研究が甘いなど痛感した次第です。ただ、自身の思いをもって言いたいことを伝えられたときの感動と、自信の研究に関するお褒めの言葉を頂いた時の感動は一生忘れられない経験になりました。こんな経験ができたことは幸せなことだと実感しています。

今回の国際会議では月並みではありますが、今後の研究活動に繋がる多くの知見が得られ、そして何よりも国際人として活躍する上で必要なコミュニケーション力とその積極性（の基礎）を身につけられたと思います。研究に関する知識、語学力など幅の広い教養を身につけなければならないと感じ、大変モチベーションが上がりました。これを今後の糧にして研究活動に邁進していきたいと思っています。

最後になりましたが、今までの研究指導と貴重な機会を与えてくださいました、加納教授、大場助教に感

謝いたしますと共に、PBAST-6でディスカッションしてくださいました研究者各位、そして、参加登録料を援助してくださいましたカルゴンカーボンジャパン様にお礼を申し上げたいと思います。本当にありがとうございました。

PBAST-6参加報告

千葉大学大学院理学研究科
平 成 一

2012年5月20日-23日にかけて台湾、台北にて開催されたThe 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6)に参加し、ポスター発表を行いました。今回の国際学会は私にとって初めての経験であったため、不安と期待を胸に臨んだ学会となりました。

滞在期間中の台湾の天気は雨との予報でしたので心配していましたが、4日間とも晴天に見舞われ、滞在中は快適に過ごすことができました。気温は日本よりも少し暑く、多少の蒸し暑さは感じましたが、思ったよりも過ごしやすい気候でした。台湾の方々は親日的であるということを聞いていましたが、全くその通りでホテルや観光地などでは、気軽に日本語で話しかけてくださり、親切な方々ばかりでした。ただ、こちらが英語で話しかけると中国語で返答が返ってきたり、また、こちらが中国語で話しかけると日本語で返ってきたりと、どの言語を用いて話せばいいのか戸惑ってしまうことも多々ありました。

さて、私の発表は学会2日目の午後からでしたので、自分の発表までは英語に慣れるために口頭発表の講演を聴きましたが、外国の方々が話す英語のスピードや発音の違いを感じ、自分が知っている英単語でも思うように聞き取ることが出来ませんでした。スクリーンを見ながら発表内容を理解していくことが精一杯で、自分の英語力のなさを非常に痛感しました。

ポスター発表では、様々な外国の方々に興味をもってくださいました。発表自体はある程度、英語で説明することができたのですが、質疑応答では外国の方々の英語を聞き取ることができず、多少困惑してしまうことが何度かありました。質問内容を何度も聞き返すことで対処したのですが、相手の話していることを理解することができないもどかしさを感じ、もう少し英

語を勉強しておけばよかったと非常に後悔しました。しかし、私の隣でポスター発表されていた台湾の方が、私の研究内容に大変関心を持っていただき、私のポスターの写真を撮りたいとおっしゃっていただいたことや、オーストラリアの方に私の論文をぜひ欲しいとおっしゃっていただいたことに感動し、大変うれしく思いました。

今回の国際学会では、満足のいく発表ができたとは言い難いですが、国際学会に参加をすることで、自分の研究が海外の方々にも関心を持っていただき、評価されていると思うと、一歩世界へ前進できたような気がしました。また、研究を通して海外の方々と交流できたことや、日本の他大学の学生の方々とともに食事や観光をすることで知り合うことができたことは、大変貴重な体験であったと思います。

今回の国際学会でご指摘頂いたことや、他の研究発表から学んだことを踏まえ、これからの自分の研究に活かしていきたいと思います。特に、私は英語力の重要性を非常に感じたので、これから英語を勉強し、海外の方々とも滞りなく話せる英語力を身に付けていきたいと思います。

最後になりますが、研究発表においてお世話になりました加納先生、大場先生、PBAST-6 参加に当たりご支援をいただきました日本吸着学会、カルボンカーボンジャパン様に厚く御礼申し上げます。

PBAST-6に参加して

京都大学大学院工学研究科
福 島 知 宏

台湾の台北にて開かれたThe 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6 5/19-23)に参加させていただきました。日本国内の吸着学会に参加したことすらなく、国際学会でかつ「吸着のプロ」の方々の前で発表を迎えるということで楽しみ半分、緊張半分といった形で学会準備を直前まで行っていました。所属研究室の学生の参加者は私一人だけで、どのような雰囲気かも分からず不安の中、単身台北に向かいました。

いざ台湾に着くとそこは不思議な国でした。町中では日本語が飛び交い、タクシーの中では美空ひばりを聞きながら涙を流す運転手など、ここは果たして本当

に海外なのだろうかという疑問を抱いたものです。また台湾は治安も大変良く、小籠包などに代表されるような料理も非常においしいため、この国に移住できるのではないかと感じてしまったほどです。

さてまじめな話に移ります。本学会では普段参加している錯体化学討論会などでは聞けない、吸着関係の議論が多くなされており（当然なのですが）、非常に興味深かったです。私は特に他の学会では絶対に聞く機会がないだろう Fundamental のセッションやプロセス設計関連の会場に多く出入りするようになっていました。細孔内相転移や分子拡散などの話題は、発表者も実際多くどのようなトピックがこれからの本流を作り得るのだろうかに興味深く聞いていました。また今回の発表者の中に以前から気になっていた論文の著者を発見し、発表後にディスカッションをお願いしたところ快く応じてくださり、私の研究にも役立つアドバイスをいただき非常に良い経験になりました。また私の発表は学会二日目にポスターで行いましたが、様々な方々に来ていただき、今後の研究の糧となるよい機会をいただきました。今回学んだことを今後につなげていく努力を続けていきたいと思えます。

最後になりましたが、このような機会を与えていただいた北川進教授、堀毛悟史先生、ならびにカルゴンカーボンジャパン賞基金、日本吸着学会、PBAST-6 学会関係者の方々にお世話になりました。この場を借りて感謝申し上げます。ありがとうございました。

PBAST-6に参加して

京都大学大学院工学研究科
真 木 晶

2012年5月20日から23日にかけて台湾の台北で開催されたPBAST-6に参加し、研究発表を行いました。私にとっては初めての国際学会であり、英語で上手くコミュニケーションをとれるのかという不安も多少ありましたが、すべての議論が英語で交わされるという普段あまり経験できない空間に短期間ですが身を置くことを非常に楽しみにしていました。また、海外で開催される国際学会ということで研究発表の内容以外にも、開催地である台北という町にも大きな関心を寄せていました。

会場は台北駅近くに立地しており、私の宿泊先から

は台北駅前の繁華街を通り徒歩20分ほどかけて通う形でした。そういったわけで私は期間中毎日この繁華街を歩いて通っていたのですが、この繁華街では朝早くから、そのいたるところで様々な台湾料理の屋台が店を出しており、それらの屋台で朝食を食べるのが毎朝の楽しみでした。屋台で売られている台湾料理はどれも安くおいしく、味付けも日本人好みに思えました。台湾で食べた料理は基本的にどれもおいしかったのですが、ひとつだけ、臭豆腐という、書いて字のごとく強烈なおいを放つ豆腐だけは口に合いませんでした。また、繁華街を抜けて会場に至るまでの間で驚かされたのは、道路を縦横無尽に行き交うスクーターの数です。朝の通勤時間には信号待ちのときに、これからレースでも始まるのかという程大量のスクーターが道路を占領しており、交通面での日本との文化の違いを感じました。

会場では複数の部屋で並列して様々なオーラルの発表が行われていましたが、当然すべて英語であり、その研究発表や議論の内容を聞き取るのには苦勞しました。特に、質疑応答で議論しているときには熱くなつて早口になっていることが多く、正直細かいところは良く聞き取れないことが多々ありました。このような状況下でもオーラルの発表者の場合には限られた時間で簡潔に質問に答える必要があるため、より洗練された英語力が必要なのだと思います。その点、私が研究発表を行ったポスターセッションでは、拙い英語であっても身振り手振りを交えながらじっくりと時間をかけて議論できるため、比較的コミュニケーションが取り易かったと思います。中には、細かな内容の話をするときに、親切に紙に図を書きながら熱心に質問して下さる方もおり非常に助かりました。今回のポスター発表で感じたことは、自分の研究に熱心に耳を傾けてくれる人がいて、それに対してしっかりと答えようとする気概さえあれば英語が未熟でも伝わるのだということです。ただ議論する相手に迷惑をかけていることは間違いないので、今後はもっと上手く英語で研究発表や議論ができるように励んでいきたいと思えます。

最後になりましたが、このような貴重な研究発表の機会を与えてくださった宮原先生と、PBAST-6 参加登録費の援助をしていただいた日本吸着学会およびその関係者の方々に心から御礼申し上げます。

PBAST-6参加報告

千葉大学大学院工学研究科
吉 田 博 明

この度、台湾の台北で開催されましたThe 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6、会期：5月20日～23日)に参加し、研究発表を行いました。開催期間中は一時雨が降ることがありましたが、概ね天気が良く暖かかったので過ごしやすい印象を受けました。空港到着後、バスでホテルまで向かう際、バイクの数が非常に多く活気のある台湾の交通事情を目にし、日本との文化の違いを真っ先に感じました。

会場となった台北国際会議センターは台北駅からも近く、交通の便が非常に良い場所でした。参加手続きを済ませ、基調講演が行われる広いホールに入った際、外国人の方々が多くいるのを見て、改めて自分が国際学会に参加していることを実感しました。基調講演では様々な国の幅広い分野の吸着に関する著名な諸先生方の発表を聞くことができ、吸着に関する知見が深まりました。また、セッションごとの発表で世界中の吸着に関する最新の研究発表を聞くことができたことは、非常に貴重な経験となりました。英語があまり得意ではない私は、他の研究発表における質疑応答で交わされている内容を十分に理解しきれない事も幾度かあり、改めて実力不足を実感しました。しかしながら、自分の研究内容に近い発表を聞くことで研究についての英語の適切な表現方法やスライドの表現テクニックを学ぶことができたので、得るものも多かったと感じています。

私は二日目の午前中のセッションでの発表でしたが、同セッションでは自分以外の発表者は全て教授や助教の方で、皆さんが流暢に英語を話していました。そのため、自分の発表前にその方々の研究成果を聞いている間は、このような高いレベルの発表がされている場所で自分のような学生が発表して良いものかと大変恐縮していました。しかし、発表を聞いているうちに、恥をかくなら学生の時にたくさんかいておいた方が良く、著名な先生方に研究内容を聞いていただけるだけでも光栄だと思うようになり、開き直って発表に挑むことができました。私にとって国際学会での口頭発表は初めての経験でしたので非常に緊張しましたが、国内の学会とは全く異なる雰囲気を感じることができま

した。今回、台北でのPBAST-6に参加し、自らの研究活動に関して貴重な経験が出来たことはもちろん、台湾の街並みの中を散策し、異文化に触れるという機会が得られ、非常に充実した時間を過ごすことが出来ました。

最後になりますが、研究指導してくださった町田教授、天野助教、相川教授および今回のPBAST-6の参加登録料を援助して頂いた日本吸着学会ならびに関係者の皆様に心から御礼を申し上げます。

関連学会のお知らせ

第28回ゼオライト研究発表会

- 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）
- 日 時：**2012年11月29日（木）～11月30日（金）
- 会 場：**タワーホール船堀
（〒134-0091 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
- 講演の種類：**1）特別講演（討論を含めて60分）2件
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2日（月）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。
* Web申込が利用できない場合には、7月10日までに問い合わせ先までご連絡ください。
- 講演申込締切：**8月8日（水）
- 予稿原稿締切：**10月26日（金）（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：**11月29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31回溶媒抽出討論会

- 主 催：**日本溶媒抽出学会
- 協 賛：**日本吸着学会 ほか
- 期 日：**2012年11月16日（金）・17日（土）

会 場：石川県文教会館（金沢市尾山町10番5号、<http://www.bunkyo.or.jp/>）
金沢駅から香林坊方面行きバスにて「南町」下車、徒歩2分。小松空港から金沢市内経由バスにて「香林坊」下車、所要約50分（「香林坊」から徒歩10分）。

討論会HP：<http://www.solventextraction.gr.jp/symposium/>

講演申込締切：2012年9月21日（金）

講演要旨締切：2012年10月15日（月）

発表形式：口頭（発表12分、質疑3分）およびポスター

講演申込方法：討論会HPからお申込ください

必要事項：(1)講演分類（口頭発表、ポスター発表）、(2)講演題目（日本語・英語）、(3)100字程度の講演概要、(4)講演キーワード、(5)発表者氏名、所属等。なお、口頭発表希望でも発表件数に応じて、ポスター発表に変更させて頂く場合があります。

口頭発表様式：プロジェクター（講演者はRGBケーブルに接続可能なノートPCを持参して発表してください）

参加登録費：予約：本学会員・協賛学会員5,000円、学生1,000円（予約外および非会員は1,000円増）

懇親会：11月16日（金）の講演終了後に開催、会場：KKRホテル金沢（金沢市大手町2番32号）、会費：予約7,000円、当日および非会員8,000円

参加予約申込締切：2012年10月15日（月）（討論会HPからお申込ください）
※ 締切日を過ぎた場合は、当日会場にてお支払いください

問 合 先：〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学理工研究域物質化学系 分析化学研究室
永谷広久 E-mail：sse2012@se.kanazawa-u.ac.jp 電話：076-264-5692、FAX：076-264-6059

第39回炭素材料学会年会

主 催：炭素材料学会

共 催：（順不同、予定）応用物理学会、日本化学会、日本セラミックス協会、日本学術振興会炭素第117委員会

協 賛：（順不同、予定）エネルギー・資源学会、環境資源工学会、化学工学会、高分子学会、資源・素材学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エネルギー学会、日本吸着学会、日本金属学会、日本結晶学会、日本結晶成長学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本生化学会、日本生物工学会、日本生物物理学会、日本トライボロジー学会、日本熱測定学会、日本農芸化学会、日本バイオマテリアル学会、日本表面科学会、日本ファインセラミックス協会、日本複合材料学会、日本水資源学会、バイオメカニズム学会、プラズマ・核融合学会、電気化学会、情報処理学会、日本バイオインフォマティクス学会、石油学会、触媒学会、繊維学会、日本分析化学会、日本薬学会、炭素繊維協会、日本化学繊維協会、紙パルプ技術協会、日本ゴム協会、光化学協会、有機合成化学協会、ナノファイバー学会、ニューダイヤモンドフォーラム、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会

後 援：炭素協会

会 期：2012年11月28日（水）～30日（金）

会 場：長野市生涯学習センター TOiGO
URL：http://www.city.nagano.nagano.jp/soshiki/154/
〒380-0834 長野県長野市大字鶴賀問御所町1271-3
JR長野駅（善光寺口）から徒歩約10分、長野電鉄市役所前駅から徒歩約5分
http://www.toigo.co.jp/access/
TEL：026-233-8080、FAX：026-233-8081

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	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	3,500円
	非会員	15,000円
	学生非会員	6,500円

懇 親 会：2012年11月29日（木）夕刻

会 場：ホテルメトロポリタン長野 URL: http://www.metro-n.co.jp/
〒380-0824 長野県長野市南石堂町1346番地 JR長野駅（善光寺口）徒歩1分
TEL：026-291-7000、FAX：026-291-7007

会 費：一般 7,000円、学生 3,000円

- 問 合 せ 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合せはこちら）
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合せはこちら）
〒169-0075 東京都新宿区高田馬場4-4-19 ㈱国際文献印刷社内
FAX：03-3368-2827、E-mail：tanso-desk@bunken.co.jp
3. 炭素材料学会年会準備委員会（※その他の年会全般に関するお問合せはこちら）
〒381-8550 長野県長野市徳間716 長野工業高等専門学校 押田京一
TEL：026-295-7092、FAX：026-295-7092
E-mail：oshida@nagano-nct.ac.jp

ナノカーボン特別セッション

炭素材料関連分野の方々に炭素材料学会年会に参加いただくため、今年はナノカーボン特別セッションを設けます。このセッションでは共催、協賛学会会員であれば、炭素材料学会員以外でも講演することができます。多数のご参加をお願いいたします。

講演申込について

ナノカーボン（特別セッション）を除いて、講演者は炭素材料学会の会員であることが必要です。現在非会員の方は8月20日までに入会し、その後に講演申込みを行ってください（学会入会に関する問合せ先は、上記問合せ先1. 学会事務局まで）。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みください。本年もホームページからの申込み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。ポスター賞の対象を学生の方に限定しております。お申込みされるとき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/conf2012/>

- ・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20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）。

ただし、今年度はナノカーボンの特別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。共催・協賛学会会員の方は、特別セッションのみ申込可能です。

- ・炭素材料学会会員の方は、講演申込の際、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。

＜分野選択のリスト＞

A：炭素化・黒鉛化

B：多孔質炭素・触媒・吸着剤

C：ナノカーボン（特別セッション）

D：電気化学（二次電池関連）

E：電気化学（キャパシタ関連）

F：燃料電池・太陽電池

G：工業材料：炭素繊維・摺動材

H：エコカーボン・バイオカーボン

I：複合材料・ダイヤモンド

J：カーボンアロイ・層間化合物

K：その他

- ・**講演申込の締切りは8月24日（金）24時です。締切りの延長は行いません。**

- ・講演申込受理後、受理通知をメールにてご返信します。届かない場合は上記問合せ先 2. の年会ヘルプデスク（tanso-desk@bunken.co.jp）までお問合せください。

- ・9月中旬に、年会のプログラム概要をホームページに掲載しますので、お申込みをいただきました方は確認をお願いいたします。学会誌「炭素」255号の会告に年会のプログラムを掲載します。

- ・講演要旨の投稿はWeb投稿システムを利用して行っていただきます。炭素材料学会年会サイトから講演要旨テンプレート（A4判1枚）をダウンロードし、原稿を作成のうえ、同サイトからご投稿ください。

- ・原稿投稿締切りは10月11日（木）15時です。以降の受付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」254号に綴じ込みの、共催・協賛学協会会員・非会員の方は、登録完了通知内記載の口座宛に、郵便局備付の払込票を利用し、参加費をお支払いください。

（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、入金確認がきちんと行われな可能性もあります。必ず年会参加登録をウェブ上で行った後に、参加費をお支払いください。）郵便振替票内の該当する「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ご記入いただき、お近くの郵便局にて参加費をお支払いください。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12日（月）までにお振込みとさせていただきます。11月13日（火）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いください。なお、クレジットカードでの決済の場合、申込登録は11月16日（金）まで受付可能です。

発表について

- ・口頭発表は、討論10分を含め20分です。各自PCをご持参ください。
- ・発表形態（口頭発表・ポスター発表の区別）は、プログラム編成に際して変更をお願いする場合があります。

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24年7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)
(株)キャタラー	協和化学工業(株)
クラレケミカル(株)	栗田工業(株)
興研(株)	(株)重松製作所
システムエンジニアサービス(株)	水ing(株)
スペクトリス(株)マルバーン事業部	(株)西部技研
大陽日酸(株)	谷口商会(株)
千代田化工建設(株)	月島環境エンジニアリング(株)
帝人ファーマ(株)	東京ガス(株)
東ソー(株)	東洋紡績(株)
日本エンバイロケミカルズ(株)	日本たばこ産業(株)
日本ベル(株)	富士シリシア化学(株)
フタムラ化学(株)	三菱重工業(株)
三菱樹脂(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)

編集局より

2012年4月にお届けしたAdsorption News26号1巻の中で、以下の箇所に誤りがございました。訂正してお詫び申し上げます。

17ページ「**発表申込**」および18ページ「**参加予約申込**」の文章中
(誤) Internet Explore ➡ (正) Internet Explorer

編 集 委 員

委員長 黒田 泰重（岡山大学）

委 員 遠藤 明（産業技術総合研究所）

大久保貴広（岡山大学）

神田 英輝（電力中央研究所）

清田 佳美（東洋大学）

田中 秀樹（京都大学）

宮部 寛志（富山大学）

三輪 聡志（栗田工業株式会社）

向井 紳（北海道大学）

（五十音順）

Adsorption News Vol. 26 No. 2 (2012) 通巻 No. 101 2012年7月20日発行

事務局 〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学理工研究域 機械工学系 内

Tel : 076-264-6472 Fax : 076-264-6496 E-mail: jsad@se.kanazawa-u.ac.jp

編 集 大久保 貴広（岡山大学）

Tel & Fax: 086-251-7843 E-mail : ohkubo@cc.okayama-u.ac.jp

ホームページ <http://www.j-ad.org/>

印 刷 〒700-0942 岡山市南区豊成3-18-7 広和印刷株式会社

Tel : 086-264-5888 Fax : 086-262-1525

General Secretary

THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)

School of Mechanical Engineering, College of Science and Engineering,

Kanazawa University

Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, JAPAN

Tel : +81-76-264-6472 Fax : +81-76-264-6496

E-mail : jsad@se.kanazawa-u.ac.jp

Editorial Chairman

Professor Yasushige KURODA

Faculty of Science, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku,

Okayama 700-8530 JAPAN

Tel & Fax : +81-86-251-7844 E-mail : kuroda@cc.okayama-u.ac.jp

Editor

Takahiro OHKUBO, Okayama University

Tel & Fax : +81-86-251-7843 E-mail : ohkubo@cc.okayama-u.ac.jp

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