ISSN 0917-9917
CODEN ADNWEM

Adsorption News

Vol. 39, No. 3（October 2025）　通巻 No.154

目　　次

○巻頭言…… 2
学会の存在意義　田中　秀樹

○日本吸着学会研究発表会のお知らせ…… 4

○日本吸着学会研究発表会プログラム…… 5

○ホットトピックス……13
炭素表面の酸素含有官能基：空気分離の隠れた主役
瓜田　幸機

○第 15回国際吸着会議（FOA15）特集 ……19
会議総括　川尻喜章
会議レポート　二村竜佑、能登原展穂、近藤篤、
大坂侑吾、大久保貴広、藤木淳平、瓜田幸機、松鷹宏、
上田貴洋、山根康之

○国際交流スカラーシップ報告……38

○関連学会のお知らせ……45

○維持会員一覧……47

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻　頭　言

学会の存在意義

信州大学アクア・リジェネレーション機構　田中　秀樹



2021年の理事就任にあたり、上と同じ題目（と同じ写真）にて巻頭言（AN, Vol. 35, No. 4）を執筆させて頂いてから、はや3年半が経ちました。その巻頭言においては、多くの学会において掲げられている「存在意義」が、大別すると以下の5つであること ― ①研究者間の討論の場の提供、②研究知見の蓄積とその普及、③産学連携の推進、④ピアレビューによる論文審査と成果の公開、⑤国際共同におけるインタフェイスとしての役割 ― そして、それらに対する私の考えを、僭越ながら述べさせて頂きました。

「①研究者間の討論の場の提供」については、第35回日本吸着学会研究発表会（信州大学工学部キャンパス・2022年）の開催を担当させて頂いたことで、わずかながらも本学会に貢献できたことに安堵しておりましたが、2028年開催予定の16th Fundamentals of Adsorption（FOA-16）を日本に招致するための活動にも携わらせて頂くこととなりました。そして、上述の①および⑤に貢献すべく努めさせていただき、幸いにもInternational Adsorption Society(IAS)に、FOA-16の日本開催を認められることとなりました。本稿ではその招致活動の顛末をご報告させて頂くと同時に、FOA-15への参加を通じて感じたことを述べさせて頂きます。

まず、2022年にFOA招致委員会（敬称略：飯山 拓、川尻 喜章、田中 秀樹、仲井 和之、西原 洋知、松田 亮太郎、渡邉 哲）が設置され、FOA-14（コロラド、2022年）などの国際学会におけるロビー活動や、FOA-16の開催候補地・施設についての意見交換を行いました。そして、数か所の国際会議場、ホテルの現地見学を行った結果、パシフィコ横浜（横浜市）を開催候補地とすることに決定致しました。FOA-16のホスト国として立候補するためには、Expressions of Interest（EOI：招致理由・Chair・会場・開催日時・実行委員案など記載）をIASに提出する必要があり、これを2024年4月に提出しましたが、このEOI提出にあたり、微力ながら、私がFOA-16のchair（名古屋大学川尻先生との共同chair）を務めることを、関係各位にお認め頂きました。その後、6月に招致提案書をIASに提出するよう連絡があり、パシフィコ横浜、横浜市観光協会MICE振興部、日本政府観光局（JNTO）MICEプロモーション部の皆様にも多大なご協力を頂きつつ、全57ページからなる提案書を作成・提出したのが2024年10月でした。さらに、12月になって、20分のビデオプレゼンテーションを提出するよう要請があり、これを2025年1月1日に提出しました。そして、3月3日、ついに日本での開催を認める旨の通知を受け取ることができました（日本を含め3か国が立候補：IAS理事による投票により決定）。FOA-10が淡路島（chair：宮原稔先生）にて開催されて以来、18年ぶりの日本開催となります。

その後、FOA-15のchairであるJosé Paulo MotaおよびAlexandre Ferreiraより祝福のメールを頂き、FOA-15のバンケットにて、FOA-16開催をアナウンスすることをご提案頂きました。そこで、日本コンベンションサービス、パシフィコ横浜、横浜市観光協会MICE振興部のご協力のもと、FOA-16のプロモーションビデオを製作しました（IASのYouTubeチャンネルにて公開：https://www.youtube.com/@InternationalAdsorptionSociety）。そして、バンケットにて、FOA-16の日本開催を川尻先生と共にアナウンスし（5月23日零時を過ぎていたように思います）、無事、プロモーションビデオも上映することができました。参加者の皆様には、日本での開催を温かく歓迎して頂いていたように思います。

さて、バンケットの開宴前には、ウェルカムドリンクが参加者に振舞われ、会場内[ボルサ宮殿（旧ポルト商工会議所）]を見学する時間がありました。その際、Marco Mazzottiより、「FOA-16が日本での開催になるという“うわさ”を聞いたが（もちろん、IAS関係者から正確なお話を聞かれていたはずです）、もしそ

れが本当なのだとしたら、是非、頑張って欲しい」と激励して頂きました。さらに、「ウクライナやパレスチナなどでの紛争によって世界情勢が混沌としているなか、世界中の科学者がこのような国際会議に集うことは、きっと意味がある」との言葉があり、深く啓発される思いを抱きました。今の私達にできることは、FOA-16を成功裏に終えるため、粛々と準備を進めることだけではありますが、「学会の存在意義」を改めて考えさせられることとなりました。

今回のFOA-15では、アメリカの政治情勢を反映した事象も多く見られました。例えば、研究機関に対する予算削減により、アメリカの多くの研究者・学生がFOA-15への参加を取りやめる事態となったようです。また、口頭発表などでは、「カナダはまだ51番目の州にはなっていない」、「本研究では多様性を取り入れることを志向した。アメリカでは受け入れられないかもしれないが」、「この（アメリカの）研究所は、幸いまだ閉鎖されずに存在している」といった発言も聞かれました。最近では、アメリカエネルギー省が、温室効果ガスが気候変動に及ぼす効果を矮小化する報告書を公表し、これに対してアメリカの多数の研究者からなるチームが「科学的に信用できない」との意見書を提出したとのニュースに接しました。このような政治と科学界の問題は、対岸の火事ではなく、2004年から始まった国立大学への運営費交付金の削減は極めて深刻な問題となっていますし、先のコロナ禍では、医学者・科学者が政治の前面に引きずり出される事態となりました。本学会においては、引き続きその「存在意義」を国内外に継続的に示すことに努めつつ、「いざ」という時には、客観的意見を発信する覚悟を備えておくことも必要なのかもしれません。

さいごに、この度のFOA-16招致活動にあたり、児玉前会長、上田会長、FOA招致委員会をはじめとする多くの皆様のご協力を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。なお、FOA招致委員会は、FOA実行委員会となり、その体制を拡充するための準備を進めています。ぜひ、皆様のお力添えを賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

氏名　田中　秀樹

所属　信州大学アクア・リジェネレーション機構　教授

略歴　2002年 3月　千葉大学大学院自然科学研究科
博士（理学）

2002年 4月　千葉大学 VBL 講師

2003年 4月　科学技術振興事業団 博士研究員

2004年 1月　千葉大学大学院自然科学研究科
助手

2006年 4月　京都大学大学院工学研究科　助手
（2007年 4月　助教に職名変更）

2011年 7月　京都大学大学院工学研究科　講師

2016年 4月　京都大学大学院工学研究科
准教授

2019年 4月　信州大学先鋭領域研究融合研究群
先鋭材料研究所　教授（特定雇用）

2024年 1月　信州大学学術研究院総合人間科学系
教授

2024年 6月　現職

第 38回日本吸着学会研究発表会

主　　催：日本吸着学会

共　　催：大分大学理工学部

協賛（依頼中を含む）：（公社）化学工学会、（公社）環境科学会、（公社）高分子学会、（一社）資源・素材学会、（一社）触媒学会、炭素材料学会、日本イオン交換学会、（公社）日本化学会、日本キチン・キトサン学会、日本原子力学会、（公社）日本生物工学会、（一社）日本ゼオライト学会、日本熱測定学会、（公社）日本表面真空学会、（公社）日本分析化学会、日本膜学会、（公社）日本水環境学会、（公社）日本薬学会、日本溶媒抽出学会、（一社）廃棄物資源循環学会、分離技術会（五十音順）

会　　期：2025年 11月 12日㈬、13日㈭

会　　場：J:COM ホルトホール大分（大分県大分市金池南一丁目 5番 1号）大分駅前
交通アクセス（https://www.horutohall-oita.jp/access/）

宿　　泊：各自でご手配をお願いします。
※大分市 MICEの援助を受けての開催を予定しております。可能でしたら、大分市内のホテルをご利用くださいますようお願い致します。会場に近い大分駅周辺のホテルが便利です。

発 表 方 式：口頭発表（対面）、ポスター発表（対面）

口 頭 発 表：講演 12分、質疑 7分、交代 1分。HDMIでの接続予定。

ポスター発表：1時間 30分を予定。

懇　親　会：2025年 11月 12日㈬ 19時～ 21時
レンブラントホテル大分（大分県大分市田室町 9-20）
交通アクセス（https://rembrandt-group.com/oita/oita_info/access_o）
参加費：10,000円

参 加 登 録：Webサイトよりお申込みください。10月 31日㈮までに、参加登録費をお振込み下さいますようお願い申し上げます。なお、参加登録は 10月 31日㈮をもって終了とし、研究発表会および懇親会のどちらにおいても当日参加の設定はございません。予約参加登録期間中にお申し込みください。

そ　の　他：Web サイト（https://www.j-ad.org/annual-meeting/）に詳細を掲載致しますので、ご参照下さい。なお、上記の研究発表会の実施要領は予定であり、変更となる場合があります。変更がありました場合は、Webサイトやメールにより告知いたします。

実行委員会（問合せ・連絡先）：〒 870-1192 大分県大分市大字旦野原 700番地
大分大学　理工学部
近藤　篤
E-mail：adsorption2025@oita-u.ac.jp

第 38回　日本吸着学会研究発表会プログラム

全体スケジュール

第 1日目　令和 7年 11月 12日(水)

時　間	講演種別等	座　長
9：30	受付開始	
10：00–11：00	口頭発表 1-01～ 1-03	大久保貴広（岡山大学）
11：00–11：30	招待講演　1-A01 奨励賞受賞講演	渡邉　　哲（京都大学）
11：30–12：10	口頭発表 1-04～ 1-05	稲垣　怜史（横浜国立大学）
12：10–13：00	昼食（理事・評議員会）	
13：00–14：30	ポスター発表	
14：30–15：50	口頭発表 1-06～ 1-09	簾　　智仁（東京大学）
15：50–16：10	休憩	
16：10–17：30	口頭発表 1-10～ 1-13	大場　友則（千葉大学）
17：30–17：35	休憩	
17：35–18：30	日本吸着学会総会 学会賞授与式	
19：00–21：00	懇親会	

第 2日目　令和 7年 11月 13日(木)

時　間	講演種別等	座　長
9：30–10：50	口頭発表 2-14～ 2-17	髙橋　　顕（産総研）
10：50–12：10	口頭発表 2-18～ 2-21	二村　竜祐（信州大学）
12：10–13：10	昼食（運営委員会、Adsorption News編集委員会、 標準化委員会）	
13：10–14：30	口頭発表 2-22～ 2-25	平出翔太郎（京都大学）
14：30–14：50	休憩	
14：50–15：50	口頭発表 2-26～ 2-28	大竹　研一（京都大学）
15：50–16：50	口頭発表 2-29～ 2-31	能登原展穂（長崎大学）

1日目　令和 7年 11月 12日㈬

9：30　　受付開始

10：00－ 11：00　口頭発表

[座長　大久保 貴広（岡山大学）]

1-01　カーボンナノ空間中の分子・イオンダイナミクスの解明

（千葉大院理）蓮見 駿介、西川 結菜、鈴木 佑香、大川 晃、○大場 友則

1-02　水物理吸着によるナノ溶液の形成と物性解明

（信大理、大阪大）○横山 赳、松田 優花、上田 貴洋、二村 竜祐、飯山 拓

1-03　X線散乱を用いた二相分離液体の細孔内分子混合状態の解明

（信大院総医理工、信大院総理工、信大理）○椿原 樹、佐藤 きり、二村 竜祐、飯山 拓

11：00－ 11：30

[座長　渡邊 哲（京都大学）]

1A-1　招待講演　奨励賞受賞講演

金属－有機構造体の薬物キャリアとしての応用に向けた検討

（大阪公立大学）○大崎 修司

11：30－ 12：10　口頭発表

[座長　稲垣 怜史（横浜国立大学）]

1-04　生物由来化合物から合成した有機ピラー化粘土の吸着特性

（VISTEC、山形大、Jiangnan University、信大）Wasusate Soontornchaiyakul、

高田 健司、金子 達雄、○小川 誠

1-05　グラフェンーメソポーラスシリカサンドイッチ型複合体及び酵素固定化への応用

（産総研、千葉工大工）○王 正明、川上 晴生、松浦 俊一、小泉 慶一郎、

高橋 伊久磨、佐藤 由也、吉澤 徳子

12：10－ 13：00　昼食（理事・評議員会）

13：00－ 14：30　ポスター発表

14：30－ 15：50　口頭発表

[座長　簾 智仁（東京大学）]

1-06　ガス吸着下における GMEゼオライト骨格外カチオンの状態解析

（関西大エネ環、関西大 ORDIST、関西大院理工、横浜国大）

○樋口 雄斗、安田 知弘、稲垣 怜史、田中 俊輔

1-07　ゼオライト細孔内における中鎖炭化水素の拡散係数測定

（北大院工、北大院総化）○中坂 佑太、藤原 亘、永石 新太郎、向井 紳

1-08　酸素 12員環ミクロ孔をもつ純シリカゼオライトのプロパン・プロピレンの吸着挙動

（横浜国大）○稲垣 怜史、角田 健悟、内山 健、窪田 好浩

1-09　粘土鉱物層間に担持したオキソ鉄（III）二核錯体の構造とその光触媒活性
（NIMS、横浜国大、信大工）Hamza El-Hosainy、Mohamed Ezz-Elregal、
高野 伸一郎、井出 裕介、○岡田 友彦

15：50－ 16：10　休憩

16：10－ 17：30　口頭発表
[座長　大場 友則（千葉大学)]

1-10　酸化グラフェンを基材とする細孔体の創製とその吸着能評価
（岡山大院）李 昭、豊田 萌人、○大久保 貴広

1-11　グラフェンシールによる活性炭への高圧メタンの常圧貯蔵
（信大 ARG、信大工、長崎大工、アリカンテ大）王 書文、田中 秀樹、○金子 克美、古瀬 あゆみ、
大塚 隼人、林 卓哉、瓜田 幸幾、能登原 展穂、森口 勇、Juan P. Marco-Lozar、Joaquín Silvestre-Albero

1-12　ガラス基板上ヘリウム及び水素薄膜の誘電異常と超伝導量子ビットの特性改善
（慶應大理工）○白濱 圭也、岡村 公平、永合 祐輔

1-13　酸化物半導体におけるドーパント局所構造の理解
（東京大）○簾 智仁、山田 直臣、清水 亮太、三浦 弓恵、一杉 太郎

17：30－ 17：35　休憩

17：35－ 18：30　日本吸着学会総会、学会賞授与式

19：00－ 21：00　懇親会

● 2日目　令和 7年 11月 13日㈭

9：30－ 10：50　口頭発表
[座長　髙橋 顕（産総研)]

2-14　高密度水素貯蔵を指向した酢酸セルロース由来多孔質カーボンペレットの作製と吸着特性評価
（理研、東北大多元研、CUHK、アツミテック、東北大 AIMR）
○松鷹 宏、樫福 亜矢、折井 孝彰、宮島 大吾、内山 直樹、和田 智之、西原 洋知

2-15　新規 GCMCカーネルとベイズ推定による高精度細孔径分布評価
（京大院工、信大 ARG、マイクロトラック・ベル）○布施 成彬、平出 翔太郎、山本 康平、田中 秀樹、
仲井 和之、渡邉 哲

2-16　細孔径 1 nmを境にドラスティックに変化する細孔内水の微視的・巨視的特性
（信大理、信大院医理工、信大院理工）○二村 竜祐、杉山 泰啓、表山 知加、飯山 拓

2-17　EDLC電極における Mgイオンの脱溶媒和を促進するカーボン細孔構造の解明
（長崎大院）○能登原 展穂、高濱 聡汰、瓜田 幸幾、森口 勇

10：50－12：10　口頭発表

［座長　二村 竜祐（信州大学）］

2-18　CO_2吸着剤の加速劣化試験と吸着特性
（産総研）○ Lundin Sean-Thomas B.、池田 歩、河野 雄樹、牧野 貴至、遠藤 明

2-19　マイクロポーラス材料へのヘリウム吸着等温線評価
（マイクロトラック・ベル）○重岡 俊裕、森 翔吾、中村 薫、仲井 和之

2-20　Ar 吸着法と陽電子寿命分光法によるカーボン系ナノ細孔体のウルトラミクロ細孔構造解析
（信大院総理工、信大 ARG、信大工）○久保 圭、大塚 隼人、古瀬 あゆみ、佐伯 大輔、林 卓哉、酒井 俊郎、金子 克美

2-21　金属置換イオン交換樹脂による尿素吸着
（産総研）○髙橋 顕

12：10－13：10　昼食（運営委員会、Adsorption News編集委員会、標準化委員会）

13：10－14：30　口頭発表

［座長　平出 翔太郎（京都大学）］

2-22　LiCl添加した MIL-101(Cr)の N_2/O_2吸着特性
（日本特殊陶業、名大院工、名大未来）○和田口 暢基、日下 心平、土方 優、井口 弘章、小塚 久司、松田 亮太郎

2-23　フレキシブル多孔性配位高分子の局所的なダイナミクスを利用した分離特性開発
（京大 iCeMS）○大竹 研一、坂本 裕俊、北川 進

2-24　細孔径の微調整が可能なカテナン多孔性結晶
（広島大 WPI-SKCM）○佐藤 弘志、Bohan Cheng

2-25　プルシアンブルー類似体による多様な環境下でのメタノール選択吸着機能
（産総研）○首藤 雄大、川本 徹、高橋 顕

14：30－14：50　休憩

14：50－15：50　口頭発表

［座長　大竹 研一（京都大学）］

2-26　機械学習を用いた PSAプロセスの高速多目的最適化と吸着剤設計指針の確立
（京大院工）○平出 翔太郎、齋藤 遼太郎、渡邉 哲

2-27　ELM-11を用いた低温 PSAプロセスによる CO_2分離回収
（群大院理工、名大院工、日本製鉄、名大未来）
○藤木 淳平、平野 直央樹、上代 洋、Frantisek Miksik、矢嶌 智之、川尻 喜章

2-28　Superstructure-based techno-economic optimization of temperature swing adsorption process for CO_2 capture using fin-coated adsorber beds
（名大、三菱ケミカル、金沢大）○ Sagar Saren、濱田 亮、William Nguyen、大西 良治、引間 脩、田畑 賢治、児玉 昭雄、矢嶌 智之、川尻 喜章

15：50－16：50　口頭発表

［座長　能登原 展穂（長崎大学）］

2-29　グラフェン -ゼオライト間の 2次元ナノチャネルによる高速 N_2/O_2分離
（信大工、信大 ARG）○大塚 隼人、久保 圭、古瀬 あゆみ、佐伯 大輔、金子 克美

2-30　Nanoconfinement-Driven Shift from Ring to Short-Chain Sulfur in Carbon Pores
（信大 ARG、信大工、信大理、Morgan Advanced Materials）○ Wang Shuwen、田中 秀樹、金子 克美、古瀬 あゆみ、大塚 隼人、二村 竜祐、飯山 拓、Vallejos-Burgos Fernando

2-31　フェロセン内包単層カーボンナノチューブロープの捻りによる 2層カーボンナノチューブの生成
（諏訪東京理科大、信大 ARG）○内海 重宜、笠原 碩人、菊嶋 洸大、丸 湧生、金子 克美

16：50－17：00　閉会

ポスター発表

P-01　イオン液体が充填された GOナノチャネルで起こる CO_2の選択的透過
（信大院総理工、信大理）○和田 茉美、飯山 拓、二村 竜祐

P-02　クエン酸カリウムを出発物質とする炭酸カリウム -炭素コンポジットを用いた大気からの二酸化炭素直接回収
（千葉大理、千葉大院理）○河田 素直、加納 博文

P-03　KOH含浸活性炭を用いた大気中 CO_2吸蔵材料の調製と性能評価
（千葉大理、大阪ガスケミカル、千葉大院理）○松本 康利、天羽 國顕、関 建司、加納 博文

P-04　効率的な CO_2分離回収を目的とした疎水性ポリアミン担持固体吸収材の開発
（奈良先端大、RITE）○近藤 みほ、木下 朋大、久貝 潤一郎、Firoz Alam Chowdhury、余語 克則

P-05　Direct Air Capture向けモノリス構造吸着材の幾何形状最適化
（日本ガイシ、群大理工、名大院工）◯丸田 大翔、中野 誠也、藤木 淳平、川尻 喜章

P-06　ELM－ 11の CO_2吸着に及ぼす NO_2ガスの効果
（千葉大院融合、日本製鉄）○駱 シャオ、張 博、片岡 洋人、上代 洋、加納 博文

P-07　シクロデキストリン系金属有機構造体のドラッグキャリアとしての評価
（関西大院理工、関西大エネ環）○山口 蒼太、樋口 雄斗、田中 俊輔

P-08　金属有機構造体 aluminum formateの 粒径制御と CO_2吸着特性
（関西大院理工）○李 毅華、許斐 紀洋、樋口 雄斗、田中 俊輔

P-09　水晶振動子マイクロバランス法を用いたゲート型吸着挙動の速度解析
（京大院工）○森脇 真人、平出 翔太郎、渡邉 哲

P-10　自由エネルギー解析による ZIF-8の開口部が有する分子分離機構の解明
（信大院総医理工、阪大院理、阪大理、信大理）○三原 龍太、上田 貴洋、山田 雄太、藤井 浩太、二村 竜祐、飯山 拓

P-11　MIL-53(Al) への低級不飽和炭化水素の吸着・脱離等温線の解析
（石巻専修大理工）菊池 尚子、○山崎 達也

P-12　構造柔軟な配位高分子 ELM-11におけるエタノール吸収について
（千葉大院融理工、日本製鉄）○猪股 海斗、上代 洋、加納 博文

P-13　MIL-100(Fe)のオープンメタルサイトの原子団が及ぼす吸着への影響

（大分大理工）○黒川 花蓮、近藤 篤

P-14 異なる含窒素有機配位子を含む Al-MOFの CO_2吸着特性評価
（大分大理工、日本製鉄）○今井 遥陽、井手渕 玲、上代 洋、近藤 篤

P-15 メタノール処理による ELM-11の吸着特性変化
（大分大理工、大分大院工、日本製鉄）○須内 貴大、中西 航、上代 洋、近藤 篤

P-16 ELM-12の新たなガス吸着挙動の発現："Flexible"から "Rigid"への制御
（東農工大院工、大分大理工）○森口 史章、近藤 篤、前田 和之

P-17 結晶表面のアルキル鎖修飾による三次元 MOFの吸着速度制御
（名大院工）○和田 悠希、薄葉 純一、Pirillo Jenny、Qu Liyuan、日下 心平、土方 優、井口 弘章、松田 亮太郎

P-18 ポルフィリン部位を有するナノポーラス金属錯体における異種分子同時吸着とアミン酸化反応
（名大院工）○日下 心平、井口 弘章、松田 亮太郎

P-19 柔軟な中員環配位子を組み込んだ MOFの構造と物性
（名大未来、名大院工）○薄葉 純一、土方 優、高原 哲平、日下 心平、松田 亮太郎

P-20 アゾベンゼン部位を有する柔軟性カゴメ型 Zn(II)-MOFの合成と外部刺激によるゲート型ガス吸着の制御
（名大院工）○塩田 幸誠、薄葉 純一、Pirillo Jenny、Qu Liyuan、日下 心平、土方 優、井口 弘章、松田亮太郎

P-21 ビスエチニルアントラセン部位を有するナノポーラス金属錯体による酸素の化学吸着
（名大院工）○梅村 凌我、薄葉 純一、Pirillo Jenny、Qu Liyuan、日下 心平、土方 優、井口 弘章、松田 亮太郎

P-22 異なる粒径を有するカゴメ型ナノポーラス Cu(II)錯体の合成と吸着熱
（名大院工）○小川 倫太朗、薄葉 純一、Pirillo Jenny、Qu Liyuan、日下 心平、土方 優、井口 弘章、松田 亮太郎

P-23 層状骨格を有する柔軟性 Cu(II)-MOFにおける吸着熱の実測定とガス種依存性
（名大院工）○服部 友菜、薄葉 純一、Pirillo Jenny、Qu Liyuan、日下 心平、土方 優、井口 弘章、松田 亮太郎

P-24 ガスフロー型固体 NMR装置の開発と多孔性材料への利用の検討
（金沢大理工、金沢大ナノマリ）○栗原 拓也、成田 和葵、水野 元博

P-25 Efficient Removal of 2-Methylisoborneol from Water Using Activated Carbon–Calcium Alginate Adsorbent
（埼玉大院理工）○ Iresha Lakmali Balasooriya、Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna、Weiqian Wang

P-26 ZnO鋳型法によるメソポーラスカーボン合成における urea添加の影響
（関西大院理工、関西大エネ環、パナソニック）○門林 健太、樋口 雄斗、田中 俊輔、桑原 涼、及川 一摩

P-27 単層カーボンナノチューブの力学駆動により誘発される化学反応
（諏訪東京理科大院、信大）○笠原 碩人、内海 重宜、金子 克美

P-28 単層カーボンナノチューブロープの機械的エネルギー貯蔵能に及ぼす多環芳香族炭化水素吸着の効果
（諏訪東京理科大院）○大藪 治太、内海 重宜

P-29 Adsorption and Structural Characterization of Alkali, Alkaline-Earth, and Heavy Metals on Activated Carbons
（信大院理工）○ Luan Moura、椿原 樹、佐藤 きり、二村 竜祐、飯山 拓

P-30 フッ素化活性炭素繊維における CO_2および CH_4の吸着特性
（信大院総理工）○穂苅 日向子、服部 義之

P-31 官能基修飾による活性炭 -水吸着状態変化の検討
（信大院総医理工、信大理）○岩月 倫、二村 竜祐、飯山 拓

P-32 分子篩炭素による金属イオンの速度分離

（大阪ガスケミカル、長崎大院工、長崎大院総生産）○石田 俊、山根 康之、能登原 展穂、森口 勇、瓜田 幸幾

P-33　全固体電池の高容量化に向けた炭素細孔内への電解質導入法の確立
（長崎大院総生産）○中村 亮智、能登原 展穂、瓜田 幸幾、森口 勇

P-34　ハードカーボン負極に吸蔵されたNa、Liの低温NMRによる状態解析
（北陸先端大、物材機構）○藤野 研哉、豊田 泰弘、安東 映香、端 健二郎、大木 忍、後藤 和馬

P-35　SHAP値による染料吸着除去率の予測精度向上
（大阪技術研）○永廣 卓哉、中橋 明子

P-36　温度スイング吸着 TSAによる水蒸気共存下 CO_2の分離濃縮に関する研究
（金沢大院自然、金沢大新学術、金沢大理工、東邦ガス）○石森 大貴、藤原 翔、大坂 侑吾、辻口 拓也、児玉 昭雄、増田 宗一郎、津田 基貴

P-37　熱伝導加熱型 CO_2-TSAにおける還流操作の導入効果
（金沢大理工、金沢大新学術、名大、三菱ケミカル）○岩井 研斗、HEAK VANNAK、藤原 翔、大坂 侑吾、辻口 拓也、児玉 昭雄、川尻 喜章、大西 良治、引間 脩

P-38　熱伝導加熱型 CO_2-TSAの効率化に向けた吸着材モジュールの検討
（金沢大院自然、金沢大新学術、金沢大理工、名大、三菱ケミカル）
○遠本 航太郎、藤原 翔、大坂 侑吾、辻口 拓也、児玉 昭雄、川尻 喜章、大西 良治、引間 脩

P-39　分子ふるい炭の CO_2濃縮回収 TSAプロセスへの展開
（金沢大院自然、金沢大新学術、金沢大理工）○細川 虎太郎、藤原 翔、大坂 侑吾、辻口 拓也、児玉 昭雄

P-40　容量法を用いた温度スイング操作下での CMS吸脱着速度評価
（金沢大院自然、金沢大理工、金沢大新学術）○坂本 大樹、大坂 侑吾、藤原 翔、辻口 拓也、児玉 昭雄

P-41　速度分離型 TSAプロセスにおける酸素濃度向上のための操作条件解析
（金沢大理工、金沢大新学術）○會田 晃大、大坂 侑吾、藤原 翔、辻口 拓也、児玉 昭雄

P-42　迅速加熱／脱着促進を目的としたDAC用アルミ積層ハニカム吸着材の有効性検証
（金沢大新学術、金沢大理工）○江口 友佳子、藤原 翔、大坂 侑吾、辻口 拓也、児玉 昭雄

P-43　RITE炭素回収技術評価センターの開設と実ガスを用いた吸着性能評価
（RITE）○瀬下 雅博、加藤 剛、後藤 和也、余語 克則

P-44　プルシアンブルー類似体を用いた電気化学吸着・脱離による海水からのカリウム回収
（産総研）○山口 匡訓、富山 健男、杉山 泰、首藤 雄大、髙橋 顕、川本 徹、田中 寿

P-45　ナノ粒子積層膜への吸着現象を活用した無極性液体の蒸気検出
（産総研）○加納 伸也、平間 宏忠、古川 慈之

P-46　界面活性剤が金属粒子担持アドミセルのヘキサクロロベンゼン脱塩素化処理にもたらす影響
（名大院工）○岡 佳汰、松宮 弘明

P-47　ガドリニウム造影剤除去技術の開発
（QST高崎、群大理工、東京都立大）○瀬古 典明、保科 宏行、小須田 愛良、楚山 翔、福士 政広、井上 一雅

P-48　高比表面積を有する細孔性窒化ホウ素の創製および細孔形成メカニズムの解明
（岡山大院環境）○紙上 晴樹、大久保 貴広

P-49　ナノ空間中に置かれた水和塩が示す特異な水吸収過程
（信大院理、信大理）○小畑 侑世、二村 竜祐、飯山 拓

P-50　水に混和する有機溶媒の液相吸着メカニズムの解明

（信大院総理工、信大院総医理工、信大理）○佐藤 きり、椿原 樹、二村 竜祐、飯山 拓

P-51　疎水性空間への水 -エタノール混合系の吸着機構検討
（信大院総理工、信大院総医理工、信大理）○岩瀬 正弥、岩月 倫、二村 竜祐、飯山 拓

P-52　光異性化分子による吸着特性の動的制御
（信大院総理工、信大理、日産自動車）○太田 駿哉、曽根 和樹、市川 靖、伊倉 亜美、三浦 進、二村 竜祐、飯山 拓

P-53　X線散乱測定による擬容量キャパシタで起こるレドックス反応の可視化
（信大院理、琉球大理、琉球大院理、信大理）○石坂 明稀、木村 遼、滝本 大祐、中宗根 魁哉、飯山 拓、二村 竜祐

P-54　極低温における He吸着密度の特異な温度依存性
（信大院理工、高砂熱学工業、JAXA、信大 ARG）○齋藤 龍馬、津村 柊吾、川上 理亮、大熊 隼人、坂井 篤、田中 秀樹

P-55　ナノ空間におけるシクロヘキサン環反転のエントロピー寄与の解明
（大阪大院理）○髙木 正義、上田 貴洋

P-56　フッ素樹脂の比表面積に及ぼす表面親・疎水性の影響
（大阪技術研）○道志 智

P-57　荷電透過膜の非定常イオン輸送解析モデルによる移動物性に関する考察
（東洋大自然、明大院理工）○清田 佳美、古谷 英二

P-58　ゲート開閉型吸着挙動を示す GME型ゼオライトの CO_2動的吸着特性
（関西大院理工、関西大エネ環、日本特殊陶業）○飯島 偉央、髙橋 翔太、樋口 雄斗、田中 俊輔

P-59　ZnXおよび ZnY, NiY, FeYへの光照射下での CO_2吸着挙動の検討
（静岡理工科大）○伊賀 圭吾、山﨑 誠志

P-60　ゼオライトにおけるコアシェル構造が CO_2・H_2O吸着挙動に与える影響
（奈良先端大、RITE）○アリ サラモハメドサイド、瀬下 雅博、木下 朋大、久貝 潤一郎、余語 克則

P-61　Effect of sort of graphene oxide on preparation of graphene-wrapped zeolite
（信大 ARG、岡山大）○ Hernandez Diego、大塚 隼人、仁科 裕太、金子 克美

P-62　放射線加工技術を活用した繊維状金属吸着材の開発
（QST高崎、モノベエンジニアリング、倉敷繊維加工）○保科 宏行、瀬古 典明、大道 正明、物部 長順、物部 長智、内村 泰造、中野 正憲、細江 達也

P-63　鉄電析ポーラスシリコンの磁気応答に対する表面処理と細孔構造の効果
（千葉大院融理工、千葉大院理）○小笹 躍登、加納 博文

P-64　表面を疎水化処理したスルホ基修飾シリカゲルによる高湿度環境下での MEMS型ガスセンサのシロキサン耐久性向上
（大阪公大院工、フィガロ技研、新コスモス電機）○天井 悠人、須摩淵 浩基、小川 智広、井澤 邦之、境 浩司、渡邉 衛央、谷口 卓史、三橋 弘和、竹内 雅人

P-65　Agクラスターの Ni(100)表面における原子スケール解離・拡散挙動の解析
（大阪公大院工）○水原 葵、福田 常男、梅澤 憲司

ホットトピックス

炭素表面の酸素含有官能基：空気分離の隠れた主役

Oxygen-Containing Functional Groups on Carbon Surfaces: The Hidden Key to Air Separation

長崎大学大学院総合生産科学研究科
Graduate School of Integrated Science and Technology, Nagasaki University
瓜田　幸幾
KOKI Urita

1. はじめに

地球温暖化やエネルギー問題の深刻化を受け、持続可能な社会の実現に向けた取り組みが不可欠となっている。産業部門におけるエネルギー効率の改善は、その中でも特に重要な課題であり、燃焼プロセスの最適化は、燃料消費量の削減と温室効果ガス排出抑制に直結する。現行の燃料装置のほとんどは燃料の種類に関係なく、燃焼用空気の酸素濃度21％の制限の下で設計・運転がされている。この燃焼用空気に酸素濃度を30％まで高めた酸素富化空気を用いることで、燃料消費量を約30％削減できると報告されている[1)]。カーボンフリー燃料やバイオマス燃料などは、低発熱量や性状のばらつきのために燃焼が不安定になりやすい燃料であるが、酸素富化空気の利用による安定した燃焼によって、より効率的な燃焼装置の運用が可能になる。また、排ガス中のCO_2濃度を高め、CO_2回収・再利用プロセスのエネルギー効率を向上させる効果も期待されている[2), 3)]。しかし、高効率な空気分離技術の開発は依然として課題が残されている。酸素濃度30％程度の酸素富化空気を大量に製造する場合、圧力スイング吸着（PSA：Pressure Swing Adsorption）法が広く利用されているが、余分な電力消費を生じ、燃焼装置全体の省エネルギー化が困難である。近年、温度スイング吸着（TSA：Temperature Swing Adsorption）法が注目を集めている。TSA法は、燃焼排熱による省エネルギー化が期待できるが、吸着剤の性能向上、特に水分の影響を受けにくい材料の開発が不可欠である。

ゼオライトは規則的な細孔構造を有する吸着材である。例えば、FAU骨格を有するNaXゼオライトは、均一な細孔サイズ（約13 Å）を有しており、この均一性と親水性表面が分子の選択的な吸着・分離において重要な役割を果たしている。ただし、NaXは、CO_2の回収や空気分離において有力な吸着材であるが、水蒸気を含む環境下では、水分の優先吸着により性能が低下するため、前段で水分除去が必要となる。一方、多孔質炭素は、細孔壁が非極性であるため本質的に疎水性を示し、空気分離において乾燥空気を準備する必要がないという利点がある。ここで「疎水性」という表現は、炭素材料の細孔壁に対して用いており、表面全体を指すものではない。例えば、グラファイトやグラファイト化したカーボンブラック（GCB：Graphitized Carbon Black）のように、平坦なベーサル面を表面に持つ1次粒子（図1a）の場合には、「疎水性表面」という表現も妥当である。しかし、黒鉛化が進んでいないカーボンブラック（CB）や活性炭（AC：Activated Carbon）など（図1b）では、炭素六角網面の端（エッジ面）が粒子表面に露出しており、酸素含有官能基（OCFGs：Oxygen-Containing Functional Groups）が少なからず表面に存在し、部分的に極性を持つ領域がある。そのために、活性炭粒子の外表面はゼオライトと比較して相対的に疎水性であると表現するのが適切なように思う。

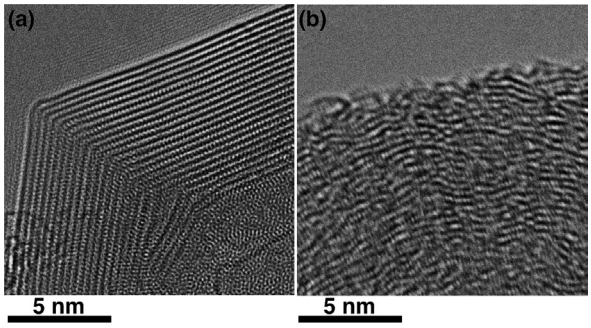


図1　炭素粒子の表面
（a）黒鉛化カーボンブラック、（b）カーボンブラック

分子ふるい炭素（CMS：Carbon Molecular Sieves）は、細孔入口サイズを分離・回収対象の分子サイズに合わせて精密に調整することで、高効率なガス分離を実現する炭素材料である。CMSの分離性能の鍵となる細孔入口サイズの制御は、化学気相成長法（CVD：Chemical Vapor Deposition）が用いられ、細孔入口にアモルファス炭素を堆積することで分子選択性が付与される[4)]。CMSの分子選択性は、堆積された炭素が分子の進入に対するエネルギー障壁として機能することによって発現する。このエネルギー障壁は、分子の

動的な分離を可能にし、特定の分子のみを選択的に吸着する効果をもたらす。また、膜厚が厚くなるほど分子の進入が妨げられ、吸着速度が低下する傾向があることも報告されている[5), 6)]。

筆者らのグループは、CMSの分離効率が細孔入口の狭窄部の膜厚に依存することから、堆積炭素の代替としてOCFGsを細孔入口に導入することで、分子分離ゲートとして機能させる可能性を検討した。本稿では、炭素表面に存在するOCFGsに着目し、空気分離におけるその機能に関する筆者らのグループの研究成果について紹介する[7)]。

2. 炭素材料の表面[8)]

図1（b）に示すように、炭素材料の表面にエッジ面が露出している場合、カルボキシル基（-COOH）、ラクトン基、フェノール基（-OH）、カルボニル基（-C＝O）、キノン基などのOCFGsや、水素で終端された構造が存在する。これらの官能基は、炭素材料の表面化学に多様性をもたらし、吸着特性や反応性に大きく影響を与える。炭素材料の表面官能基の制御には、熱処理が広く利用されており、OCFGs量の削減や、処理雰囲気により官能基の種類を変化させることが可能である。一方、熱処理は炭素骨格構造にも変化を生じさせるため、処理後の試料に対しては官能基評価に加えて細孔構造の評価も行うことが望ましい。ここでは、昇温脱離法（TPD：Temperature Programmed Desorption）による官能基評価を通じて、熱処理雰囲気が炭素構造に与える影響を考察する[9)]。

図2は、CBを800℃または1000℃で、真空、水素、不活性ガス雰囲気下で熱処理した際の脱離ガス種の割合（図2a-e）および脱離ガス量（図2f）を示している。脱離ガス量は、比較対象として、GCBも併せて示している。熱処理後の試料のキャラクタリゼーションは大気曝露後に行われることが多いことから、各雰囲気で熱処理したCBについても、TPD評価は大気曝露後に実施している。ただし、大気曝露の影響も検討するため、不活性ガス雰囲気下で熱処理したCBについては、大気曝露後（図2b）および非曝露状態（図2c）の両条件に対してTPD評価を行った。

脱離量の比較（図2f）より、エッジ面を多く有するCB（図1b）は、ベーサル面が表面に露出しているGCB（図1a）と比較して、多くの表面官能基を持つことがわかる。不活性ガス雰囲気下で熱処理されたCBにおいて、大気非曝露のCBはOCFGsの存在割合

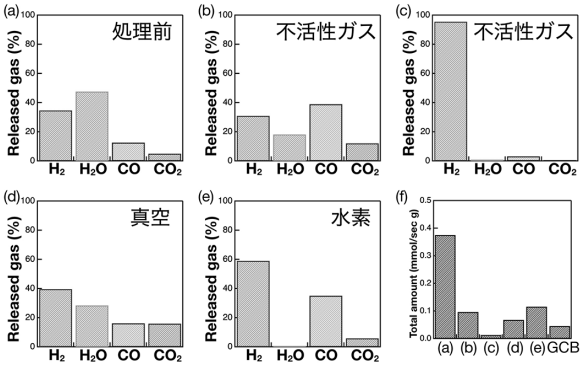


図2　CBから脱離したガスの割合　（a）加熱処理前、不活性ガス流通加熱し、（b）大気曝露後、（c）大気非曝露、（d）真空加熱後、（e）水素流通加熱後、（f）CB、CBの熱処理後試料及びGCBからの脱離量

が極めて小さい（図2c）。すなわち、OCFGsの終端は大気曝露により進行しているといえる。真空下で熱処理されたCBは、大気曝露後において最も効果的にOCFGsが除去されている（図2d）。官能基の脱離時にCB表面への雰囲気分子の衝突が無く、脱離後の炭素-炭素間において結合が進行することにより、大気曝露時にOCFGsの終端サイトが減少したためと考えている。水素雰囲気下で熱処理されたCBは、炭素-炭素間の結合に加えて一部に水素が終端し、残ったエッジ部に大気暴露によるOCFGの終端が起こったと考えられる（図2d）。このように加熱処理は、官能基の脱離に加えて炭素骨格構造を変形させている。細孔構造を保持したままエッジ面の終端状態を変えるためには、以下に示す電気化学的手法の活用が有効である。

3. 電気化学酸化(ECO: Electrochemical Oxidation)法

電気化学酸化法（ECO）は、炭素材料の表面にOCFGsを導入するための手法として、近年注目を集めている。この方法は、外部から電圧印加もしくは電流を流すことで、炭素表面に酸化反応を誘導するものである。化学酸化法や加熱酸化法と比較して、反応の進行度や官能基の種類を精密に制御でき、炭素骨格構造への影響を抑えることもできるという利点がある[10)]。ECOによる炭素材料の酸化は主に二つの反応経路が提案されている[11)]。一つは、炭素電極に電圧が印加されることで炭素表面から電子が失われる「直接酸化」であり、電解液と反応して炭素表面にカルボキシル基やフェノール基、キノン基などが形成される。もう一つは、電解液中で生成された酸化剤が炭素表面に作用する「間接酸化」である。間接酸化では、電解質の種類によって酸化の進行度や官能基の種類が大きく変化する。

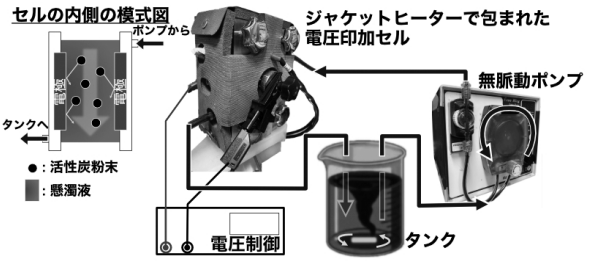


図３　F-ECOの概略図

従来のECOプロセスは、バインダーと混合した炭素電極を酸性またはアルカリ性の水溶液に浸し、電圧を印加させるというバッチ方式で行われてきた。しかし、バッチ式は、粉末状の多孔質炭素を成型して集電体に固定して電極として利用する必要がある。そのため、吸着用途など、処理後に粉末や成型体として自由に取り扱うことが求められる場合や工業的なスケール展開には、バッチ式によるECOは適していないと考えられる。筆者らのグループは、Volkerらが提案した電気化学フローキャパシタ[12]という新しい概念を応用し、フロー型の電気化学酸化（F-ECO：Flow-type Electrochemical Oxidation）による炭素材料へのOCFGsの付加を行った（図3）。F-ECOは、炭素材料を粉末のまま電解液中に懸濁させ、ECOセルへ循環させることで、炭素表面を処理する手法である。ECO後の試料回収が容易であり、処理後は炭素粉末で回収できるために、材料の自由度が高く、吸着剤としての実用化に向けたプロセス設計において大きな利点を持つといえる。ここで、粉末状の炭素材料を分散させた懸濁液を用いるフロー式プロセスを実施する際には、送液ポンプの選定に注意が必要である。ポンプの動作に脈動が生じる場合、流路内に粉末密度の高い部分が局所的に形成される可能性がある。このような状態になると、目詰まりを引き起こし、送液が困難になることがある。安定した懸濁液の循環を維持するためには、粉末の均一な分散状態を保ち、長時間の連続運転においても安定処理が可能な無脈動ポンプの利用が有効である。

F-ECOプロセスでは、pH、電圧、処理時間、温度など複数の因子が炭素材料の酸化状態やCMSの吸着性能に影響を与える。これらの因子をすべての組み合わせで検討すると、実験候補数は16,128通りにもなり、現実的な実験設計としては非効率である。筆者らはCMS創製の条件最適化を実験計画法により行った。

4. 実験計画法（DOE：Desing of Experiments）

実験計画法（DOE）は、限られた実験回数で効率的かつ体系的にデータを収集し、説明変数（実験条件）と目的変数（実験結果）の関係を明らかにするための統計的手法である[13]。特に、複数の説明変数が同時に結果に影響を与えるような複雑な系において、最適な条件を見つけるために有効である。筆者らはD最適基準（D-optimality, "D"はDeterminantの"D"）法、ガウス過程回帰（GPR：Gaussian Process Regression）、ベイズ最適化（Bayesian Optimization）を組み合わせて（図4）、効率良く分離性能の高いCMSの創製条件を探索した。

D最適基準法は、説明変数と目的変数の関係を高精度に推定できる統計モデルを構築するために、最も情報量の高い実験条件を選定する手法である。ここで、「情報量の高い実験条件」とは、選ばれた条件が説明変数の影響を広くかつ均等にカバーしており、モデルの構築に必要なデータの多様性と独立性が確保されている状態を意味する。例えば、酸性溶液を利用するECO条件において、pH（説明変数）の値を全て1に固定した場合、得られる吸着性能（目的変数）からはpHの影響を評価できない。これは、説明変数の変化がないため、モデルがその説明変数の効果を識別できないことを意味する。一方、pHの値が1～7の範囲でバランスよく含まれていれば、pHの変化に伴う目的変数の違いを捉えることが可能となり、pHの影響を統計的に推定可能となる。このような条件設定は、説明変数の効果に関する情報を豊富に含んでおり、「情報量の高い実験条件」といえる。D最適基準法の重要な特徴は、説明変数間の相関係数を最小化する点にある。例えば、pHと温度が常に同じ方向に変化する（相

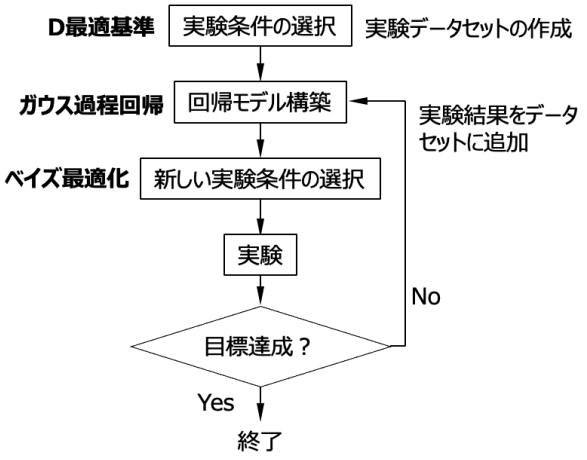


図４　実験計画法のフローチャート

関係数＝1、説明変数間に強い相関が存在する場合）条件設定は、どちらの説明変数が応答に影響しているのかを区別することが困難になる。つまり、統計モデルが説明変数の影響を識別できず、推定されたパラメータの信頼性が低下する原因となるため、相関係数を最小化することは（相関係数＝0、説明変数が独立）、説明変数の主効果を明確にする上で極めて重要である。

D最適基準法を用いて選定された10通りの条件でECO処理を実施し、得られたCMSについて、酸素の吸着時定数（$t_{0.5}[O_2]$）、酸素選択性係数（DSC［O_2］：Dynamic Selection Coefficient of O_2）、有効酸素吸着容量（EAA［O_2］：Effective Adsorbed Amount）を評価した。ここで、吸着時定数（$t_{0.5}$）は酸素分圧20 kPa、窒素分圧80 kPaにおける平衡吸着量半分の時間を指す。DSC［O_2］は窒素の吸着時定数（$t_{0.5}[N_2]$）を酸素の吸着時定数（$t_{0.5}[O_2]$）で除した値、EAA［O_2］は、酸素分圧20 kPaにおける25℃と80℃での吸着量の差、すなわち、TSAにおいて回収される量を示す。

ここで用いた統計モデルであるGPRは説明変数と目的変数の関係が非線形の場合にも対応可能な回帰手法であり、少ないデータでも高精度な予測が可能である点が特徴である。相関の精度は、実験から得られた目的変数とGPRモデルによって予測された目的変数の相関について、二乗平均平方根誤差（RMSE: Root-Mean-Squared Error）により確認した。モデル化に成功した（RMSE値の低いモデル）GPRを用いたベイズ最適化法により、DSC［O_2］を最大化し、かつ、$t_{0.5}$［O_2］を最小化するための実験候補を導き出した。ベイズ最適化法では、獲得関数（Acquisition Function）が最大になる点（最も有望な条件）を探索し、その条件を次の実験候補として提案する。獲得関数には以下のようなものがある。

・期待改善度（EI：Expected Improvement）：現在の最良値よりも改善できる期待値（改善が見込める説明変数を優先して選択）

・改善確率量（PI：Probability of Improvement）：現在の最良値より改善する確率（改善の可能性が高い説明変数を選択）

・信頼下限/上限（LCB/UCB：Lower/Upper Confidence Bound）：予測値に標準偏差を加えたもしくは引いたもの（良い結果が出る可能性が高い説明変数もしくは悪い結果が出る可能性が低い説明変数を選択）

4. OCFGsによるCMSの分離性能

ECO処理を施したCMS前駆体のACは、ミクログラファイト構造を有しており、曲率の高い表面およびエッジ部が多数存在する。このような構造により、ECO処理によってOCFGsはACへ容易に導入された。OCFGsの導入割合（O/C比）は、X線光電子分光法（XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy）を用いて評価した。ECO処理後の試料では、C 1sスペクトルにおいて286.8 eV（C-OHおよびC-O-C）、289.1 eV（C＝O）、290.0 eV（COO^-）のOCFGsに関わるサブピークが顕著に増加し、O/C比は未処理ACの2.4倍に達した。また、O 1sスペクトルより、531.4 eV（C＝O）、532.5 eV（C-OH）、533.8 eV（C-O-C）のうち、カルボニル基の存在比が減少していることが確認された。

ACのEAA［O_2］は0.45 mmol/gであったが、DOEにより最適化された条件で作製したCMS（以下、最適化CMS）は0.30 mmol/gに低下した。この低下は、CO_2吸着等温線から得られた細孔径分布と併せて考察すると、0.5 nm以上のウルトラミクロ孔の細孔壁へのOCFGsの付加が影響している可能性がある。一方、最適化CMSと同程度のO/C比を有するが、最適条件にないECOから作製したCMSと比較すると、最適化CMSはより高いEAA［O_2］を示しており、EAAの絶対値は低下しているものの、DOEによる条件最適化はCMS作製に有効であるといえる。

DSC［O_2］は分離性能の指標である。ACでは酸素と窒素の吸着速度が同等であり、酸素と窒素の速度論的分離は困難であることがわかる（図5a）。一方、ECO処理を施しOCFGsを付加したCMSでは、酸素の吸着速度が速く、窒素の吸着速度は遅くなる傾向が明確に観測されており、OCFGsの導入が分離挙動に影響を与えることが示唆された。最適化CMSでは、ACの約2倍のDSC［O_2］値に達しており、分離性能の大幅な向上が確認された。XPS測定のOCFGs分析から、ヒドロキシル基およびエポキシ基の導入がDSC［O_2］の向上に寄与していることが示唆されている。ただし、分離性能にはOCFGsの導入量や分布も影響を及ぼす可能性があるため、これらの要因を含めた多角的な考察が必要である。OCFGsを用いたCMS設計においては、各官能基を付加したナノウィンドウをモデルとしたガス透過速度の評価[14]を、計算科学的手法により行う必要があると考えている。さらに、線形推進力近似（LDF：Linear Driving Force）モデルに基づく速度定数（k_{O2}）分布の解析から、最適化

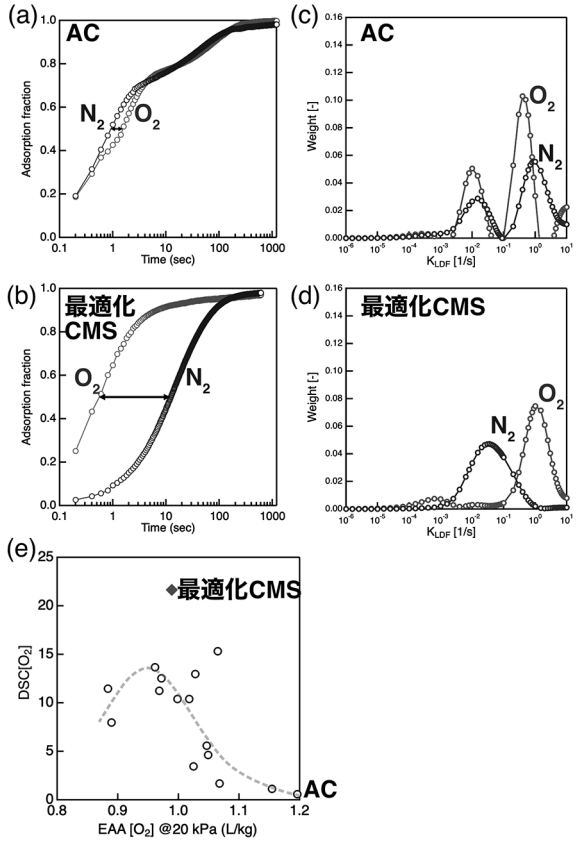


図5 （a，b）吸着速度曲線、（c，d）速度定数（k_{LDF}）分布、（e）CMS性能（DSC[O_2] 及び EAA[O_2]）

CMSの k_{O2}は ACに対して 2倍大きい 0.035 s^{-1}が得られた。この結果は、F-ECO処理法によって得られるCMSが実用的なガス分離材料として高い可能性を有していることを示している。

5. おわりに

本稿では、炭素材料表面に導入された OCFGsが空気分離性能に与える影響について、ECO処理と DOEを組み合わせた CMS設計を通じて検討した。特に、材料創製における DOEの有効性と、OCFGsによる DSC[O_2] および吸着速度の向上を示すことができた。CMSの分離性能は、細孔構造のみならず、細孔入口に導入された官能基の種類にも強く依存すると考えられる。分子の通過に対して、OCFGsが“選択的な関門”として機能し、分子サイズに応じて入場制限を設けているようである。もちろん、分子にチケットを渡す係員がいるわけではないが、物理化学的な意味ではそれに近い現象が起きているといえる。OCFGsの導入量や分布、さらには分子レベルでのガス透過挙動の理解には、計算科学的手法による補完が不可欠である。各官能基を付加したナノウィンドウをモデルとした分子動力学的解析を通じて、より高精度な CMS設計指針の構築が可能と考えている。空気分離という一見成熟した技術領域においても、炭素表面の官能基という微視的な視点からのアプローチは、新たな材料設計の可能性を拓くものである。地道ではあるが、分子レベルの理解を積み重ねることで、より高効率かつ低環境負荷な分離技術の実現に貢献できると信じている。

6. 謝辞

本稿で紹介した内容は、NEDO先導研究プログラム/エネルギー・環境技術先導研究プログラム「革新的酸素富化 TSAによる低環境負荷燃焼技術」（代表：児玉昭雄）［2021年度～ 2022年度］にて実施した研究の成果である。特に、ECOへの DOEの実施及び LDFモデルに基づく速度定数法の指導をして頂きました田中秀樹先生（信州大学）、CMS前駆体である活性炭をご提供いただきました大阪ガスケミカル株式会社の山根康之氏、石田俊氏に誌面をお借りして御礼申し上げます。

[参考文献]

1）Y. Chang, K. Wu, Y. Chen, C. Chen, *Energy Fuels*, **29**, 3476 (2015).
2）S. Laribi, L. Dubois, G. De Weireld, D. Thomas, *Int. J. Greenhouse Gas Control*, **90**, 102799 (2019).
3）C. Feng, R. Zhu, G. Wei, K. Dong, J. Dong, *J. Clean. Prod.*, **363**, 132528 (2022).
4）D.M. Ruthven, N.S. Raghavan, M.M. Hassan, *Chem. Eng. Sci.*, **41**, 1325 (1986).
5）Y. Yamane, H. Tanaka, M.T. Miyahara, *Carbon*, **141**, 626 (2019).
6）Y. Yamane, M.T. Miyahara, H. Tanaka, *ACS Appl. Mater. Inter.*, **14**, 17878 (2022).
7）K. Urita, T. Ishida, K. Marubayashi, H. Tanaka, M. Hamasaki, Y. Yamane, J. Miyawaki, H. Notohara, I. Moriguchi, *Carbon*, **235**, 120038 (2025).
8）K. Urita, C. Urita, H. Tanaka, F. Vallejos-Burgos, H. Notohara, T. Araki, K. Horio, H. Furukawa, M. Yoshida, I. Moriguchi, *Appl. Surf. Sci.*, **710** 163907 (2025).
9）石井孝文：「昇温脱離法による炭素材料表面の精密分析」, Adsorption News, 日本吸着学会, **35 (3)**, 11（2021）.

10）R. Berenguer, JP. Marco-Lozar, C. Quijada, D. Cazorla-Amorós E. Morallón, *Carbon*, **50** , 1123 (2012).
11）R. Berenguer, JP. Marco-Lozar, C. Quijada, D. Cazorla-Amorós E. Morallón, *Carbon*, **47** , 1018 (2009).
12）V. Presser, C. R. Dennison, J. Campos, K. W. Knehr, E.C. Kumbur, Y. Gogotsi, *Adv. Energy Mater.*, **2 (7)**, 895 (2012).
13）金子弘昌，Pythonで学ぶ実験計画法入門，講談社（2021）.
14）F. Vallejos-Burgos, F.-X. Coudert, K. Kaneko, *Nat. Commun.*, **9**, 1812 (2018).



氏名　瓜田　幸幾
所属　長崎大学大学院
総合生産科学研究科
化学・物質科学分野

2008年 3月　千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了　博士（理学）
2008年 4月　千葉大学産学官連携研究員　特任研究員
2009年 10月　長崎大学工学部　助教
（2013年 4月 − 2024年 3月　ポールサバチエ大学　客員研究員）
2019年 5月　長崎大学大学院工学研究科　准教授
2024年 4月　長崎大学大学院総合生産科学研究科　准教授

第15回国際吸着会議（FOA15）特集

会議総括
概況と総括

名古屋大学大学院工学研究科
川尻　喜章

2025年5月18日㈰から23日㈮にかけて、ポルトガルポルト市で行われた国際学会である、15th International Conference on Fundamentals of Adsorption（FOA15）に参加したことについて報告する。同学会はInternational Adsorption Society（IAS）が3年に一度開催する国際学会である。主催者は、同国NOVA University of Lisbonの José Paulo Barbosa Mota教授、そして副主催者はポルト大学のAlexandre Ferreira教授であった。会場となったCentro de Congressos da Alfândega do Portoは、世界遺産となっているポルト市の歴史地区の中にあり、もともと税関として使われていた歴史ある建物とのことである。このような雰囲気の元、ポルトガルの歴史を常に感じながら学会が進行していった。

今回のFOAは、過去の開催と比べても特に規模が大きいものであった。主催者発表の情報によると、5つのチュートリアル、オープニングプレナリーに加えて5つのプレナリー講演、10のキーノート講演、44の口頭発表セッション（410の口頭発表）、2つのポスターセッション（210のポスター発表）が行われた。講演はハイブリッドとしてオンライン配信された。総参加者は480人以上、32か国から集まったそうである。日本の参加者はフランス、米国、ポルトガル、ドイツについで5番目の人数であった。日本からポルトガルまでは直行便がないが、この不便さに負けず十分な存在感を出せたと思う。一方、主催者によると参加者数2位の米国は約3割がキャンセルしたそうで、これはトランプ政権による政府研究資金停止により旅費を出せなくなったり、外国籍保有者が学会後に再入国出来なくなるリスクを避けるため、参加者の減少に繋がってしまったとのことだった。

参加者の多さからか、4つものパラレルセッションが同時に行われた。これまでのFOAではパラレルセッションはせいぜい3つまでだったと記憶している。



図1　オープニングプレナリー。Prof. Alirio Rodrigues教授の発表

具体的なセッションの詳細については、本稿に続くページのセッション報告を参照されたい。

近年のFOAの取り組みとして、会議全体をカーボンニュートラルにすることを掲げている。これは前回に米国コロラド州で行われたFOA14から始まった取り組みであり、IASのCarbon Neutrality Working Groupと共同で行われている（筆者も同グループの一員となっている）。具体的に、会場で出される二酸化炭素だけでなく、参加者の自宅から会場までの交通による二酸化炭素排出（ほとんどは飛行機からの排出）を計算し、それをオフセットするクレジットを購入している。今回は森林緑化のためのクレジットを購入したとのことで、学会最終日には緑化地域を見学するツアーもあった（筆者は参加出来なかった）。

4日目水曜の午後はエクスカーションが開催された。ポルト市内のワインセラーにて、ポートワインの製造を学びながら試飲し、また市内を流れるドウロ川のボートツアーがあった。ポルトは観光資源が多くうらやましい限りである。

5日目夕方のバンケットは、市内にあるポルサ宮殿にて行われた。この建物はもともとは証券取引所として使われていたそうで、こちらも歴史ある建物である。建物内の装飾も見事で、ポルトガルの歴史に圧倒された。また、スポンサーである日本吸着学会からの日本酒が振る舞われた。

このバンケットの中で、新しい6人のIAS Directorの選出が発表された。IAS DirectorはIASの活動が適切に行われているかを監視し、FOAの開催候補地に



図2　ポルサ宮殿でのバンケット

票を入れるという重要な権限を持っている。このたび日本からは、京都大学の渡邉哲先生が新たに任命された。これによって、過去6年間Directorを務めた筆者および信州大学の田中秀樹先生の任期が終わるのと入れ替わりとなり、日本の吸着コミュニティとIASを繋ぎ続けてくださることになった。このように常にIASに日本の意見を取り込んでくれる人を絶やさないようにすることは、今後も日本吸着学会全体として取り組むべき課題であると筆者は考える。

同じバンケットの中で、次回FOA16の開催地も初めて発表された。FOA16は、日本の横浜市（パシフィコ横浜）で2028年5月28日㈰から 6月2日㈮にかけて行われる予定であり、信州大学の田中秀樹教授と筆者が共同で主催することになっている。この誘致に当たっては3年以上前から情報収集と周知活動を行ってきた経緯があり（Adsorption News Vol. 36, No. 2参照）、その後も入念な情報収集、候補地下調べ、提案書作成、プレゼン準備などを続けてきた。これらの準備は、田中教授と筆者だけではなく、信州大学の飯山拓教授を初めとする実行委員会に強く支えて頂いた。いよいよ日本が立候補する際には、他のアジア太平洋地域2か国からも立候補があり、3か国間の競争となり緊張が走ったが、最後はDirectorの投票によって日本開催の票が最も多く集まったことで日本での開催が決定した。このFOA16は日本の吸着コミュニティの存在感を示す絶好の機会であり、その責任の大きさを感じている。同学会を成功させるべく、会員の皆様にも是非ご協力をお願いしたい。



氏名　川尻　喜章
所属　名古屋大学大学院
工学研究科
物質プロセス工学専攻

略歴

2007年7月　米国カーネギーメロン大学 Ph.D. in Chemical Engineering
2007年10月　ドイツマックスプランク研究所 Postdoctoral Fellow
2008年9月　米国ジョージア工科大学 Assistant Professor
2015年7月　同校　Associate Professor、終身在職権取得
2017年6月　名古屋大学大学院工学研究科教授、現在に至る

FOA15会議レポート
Fundermental of Adsorption

信州大学理学部化学コース
二村　竜祐

FOAへの参加は、前回のアメリカ開催を見送ったため、オーストラリア・ケアンズにて開かれた2019年以来となった。西ヨーロッパで開催される吸着関係の国際学会ということもあり、我々の研究室からの参加希望者も多く、私と飯山教授の2名に加え、博士学生4名に修士学生2名を加えた計8名の大所帯でFOA15に参加した。

FOA15が開催されたポルトガルは、多くの人にとってヨーロッパの中ではあまりなじみのない国かもしれないが、私にとっては研究留学を行った国であり、もう一度訪れたい場所であった。そのため、FOAのポルトガルでの開催がアナウンスされた時点で、FOA15への参加を決めていた。幸運なことに今回の会期中に、留学時の恩師であるMiguel Jorge博士とJ. R. B. Gomes博士との再会も叶い、一緒に夕食を取る機会にも恵まれた。留学時代を懐かしみつつ、学生時代とはまた違った目線で博士たちとの餐を楽しむことができた。

また今回の渡航では、隣の国のスペインのアリカン



図　留学時代の恩師との再会・会食
（左前 J. R. B. Gomes博士、右中央 : Miguel Jorge博士）

テを経由して、開催都市であるポルトへと移動した。博士 3年生の杉山泰啓君が J. Silbesta Arbero教授の下で研究留学を行っていたこともあり、研究ディスカッションを兼ねてアリカンテ大学の研究室を訪問した。研究留学をした杉山君をはじめ、アリカンテとポルトという今回の旅路を同行してくれた二名の修士学生にとって、印象に残る国際学会参加になってくれていたらと思うばかりである。今回一緒に移動した杉山君と修士 2年生の吉良彩花さんは、日本吸着学会から国際交流スカラーシップの支援をいただき、参加報告をしているので、ぜひそちらも確認いただけると幸いである。

さて、5月 18、19、22日 に 行 わ れ た Fundamental of Adsorptionのセッションでの講演から以下の 4件を紹介する。

Aspects of Gas Storage: Confined Geometry Effects on the Adsorption Behavior of Supercritical Fluids
（講演番号 OS.01.01, Matthias Tommas）

ミクロ孔からメソ孔の領域において明確な細孔径を有する種々の多孔性材料を用い、超臨界ガス（CO_2、C_2H_2、SF_6）に対する高圧での等温線測定を重量法により行った。各等温線はある圧力に対し表面過剰量が最大値を示すような特徴的な形状となったが、メソ孔材料では顕著であった明確なピークが、細孔径が小さくなるほど明確ではなくなった。また、ピークを示す圧力値に対するガス種に依存しない細孔径との関係式を見出し、メソ孔性材料の超臨界ガス吸着における重要な知見を報告した。

Impact of Gas Oversolubility on the Thermodynamics and Transport of Fluids Confined in Nanoporous Materials.
（講演番号 OS.0102 Benoit Coasne）

多孔性材料に水などの溶媒分子が吸着しているとき、バルクの溶媒と比べて CO_2などの気体の溶解度が大きくなる現象は、過剰溶解（Oversolubility）として知られている。Benoitらは分子シミュレーションおよびNMR測定から過剰溶解現象と溶媒分子の動的挙動の関係について報告した。MDシミュレーションにより、気体分子が過剰溶解した状態の細孔中で、水の拡散係数が小さくなることを明らかにし、これは溶解した気体分子により水分子が自由に拡散できる自由体積が減少することを加味した自由体積理論によって説明できることを示した。また NMR測定からも、気体の過剰溶解により水分子の拡散性が低下することを突き止めた。

Compressibility of Adsorbate from Molecular Dynamics Simulations: from Strong Confinement to Bulk Limit.
（講演番号 OS.05.01 Gennady Y. Gor）

MDシミュレーションを用いて、多孔性材料に吸着した吸着相の圧縮率およびその逆数である体積弾性率を計算する方法について報告した。従来の方法では、細孔径が 10 nm以下の比較的小さな系についてしか対象にできなかったが、報告した方法では *NPT*アンサンブルを用い細孔径が 100 nm程度の大きさの系まで体積弾性率を求めることができた。本手法を用いたスリット型細孔へ吸着したメタンの体積弾性率の計算により、50 nm以上の細孔中ではバルクでの値とほとんど変化が見られないが、20 nm以下の細孔で細孔径が小さくなるほど弾性率が急激に大きくなることを明らかにした。

Confined water cluster formation in water harvesting by metal organic frameworks:CAU-10 -H versus CAU-10-CH3.
（講演番号 OS.40.02 M. A. Veen）

大気中からの水分の回収を目的としたウォーター・ハーベティングのために、水吸着において低相対圧で急激に立ち上がる新規吸着媒の開発が求められている。CAU-10-Hは、AlO_6の八面体構造を骨格単位として持つ MOFの 1種であり、相対圧 0.2付近でステップ状に立ち上がる水吸着を示し、ウォーター・ハーベティン

グに有効な吸着媒として期待されている。本報告では、水吸着状態のCAU-10-Hおよび誘導体に対する種々の*in-situ*測定を行い、その特異な水吸着についてのミクロスコピックな知見を得た。特に、CAU-10-Hを疎水化したCAU-10-CH_3では、その疎水性のために水のクラスター形成が阻害された結果、CAU-10-Hの特徴であるシャープでかつ低相対圧にみられる水吸着が見られなくなることを突き止めた。。

我々の研究室からは、私と飯山教授に加えて博士2年生の横山赳君もFundamental of Adsorptionのセッションにて口頭発表を行った。(Elucidating new water adsorption phenomena by introducing non-polar organic molecules in pores：講演番号OS.40.01)横山君にとって初めて国際学会での口頭発表となったが、堂々としていて立派な発表であったと思う。彼もまた国際交流スカラーシップからの支援に対し参加報告をしているので、彼の目から見たポルトの町やFOA15についてはそちらから確認できる。

Energy Application

長崎大学
能登原　展穂

このセッションでは、合計9件の口頭発表が行われ、吸着技術のエネルギー・環境分野への応用可能性が示された。初日には、水素、メタンの分離・貯蔵に関する新規材料やプロセス設計が紹介された。特に、グラフェンバルブ付き多孔性炭素やMOF、ゼオライトの構造制御によって、低圧で高密度なガス貯蔵を可能にする研究成果が報告された。機械学習による吸着性能予測や経済性評価も進展しており、実用化への道筋が具体化しつつあると感じた。二日目は、溶液中のイオン吸着・分離技術の応用に関する研究が紹介され、Li資源の回収・循環に関する技術が発表された。

著者が聴講した発表を以下に紹介する。

“Conditions-Storage of High Pressure Methane by Porous Carbons with Temperature-Driven Graphene Valves”

信州大学の金子先生らにより、グラフェンバルブを用いた新しいメタン貯蔵法が報告された。温度制御により開閉可能なナノグラフェンを多孔質炭素表面のエッジを起点に成長させた構造により、常温・常圧で高圧メタンを安全に貯蔵・放出できることが示された。大きく重い耐圧容器が不要になるため、輸送コストや安全性を高められることが期待される。

“Predicting H_2 adsorption on zeolite at 298 K with machine learning”

ブラジル・セアラ大学らのグループにより、ゼオライトにおける水素吸着量を機械学習で予測する研究が報告された。GCMCシミュレーションで得られたデータを活用し、吸着容量の学習と予測のためのデータベースとして構築することで、材料スクリーニングの効率化が期待される。

“Hydrogen Storage with Aluminum Formate, ALF”

NIST Neutron Research Centerのグループにより、アルミニウムホルミアート（ALF）を用いた水素貯蔵に関する実験・計算・経済性評価が報告された。120-160 K、10-20 barの条件で優れた性能を示し、圧縮水素に比較して低圧・低コストでの長期貯蔵が可能であることが明らかにされた。

“Porous Carbon Pellets for High Volumetric Hydrogen Storage Capacity using Cellulose Acetate as a Precursor”

理研の松鷹先生により、セルロースアセテート由来の多孔質炭素を高圧でペレット化すると、粉体よりも水素の体積吸着量が向上することが報告された。ペレット化により、BET比表面積は減少したが、0.6-0.7 nmの水素吸着に有効な細孔が増加し、20.3 g/Lの高い体積吸着量が得られた。研究の詳細は*J. Mater Chem A*（10.1039/D5TA00993F）にて報告されている。

“Novel Pressure Swing Adsorption Reactor (PSAR) Cycle for the Production of NH_3”

South Carolina大学のグループによって、反応と分離を同一容器中で行うPSARによるアンモニア合成の研究が紹介された。本手法により、従来法に比べて高効率なアンモニア合成が期待できるが、これを実現するためには300 ℃程度で水素・窒素に比べてアンモニアを吸着できる吸着剤が必要である。既存材料のスクリーニングの結果も併せて示された。

“Effect of Structural Transition of Ag Clusters in Ag-Zeolite Y Pellets on CH_3I Adsorption”

韓国 Yonsei大学のグループによって、高温・高湿度条件下での Ag-zeolite Yによる CH_3I吸着挙動が調査された。Ag^+イオンが強力な吸着サイトとして機能し、Agクラスターの構造変化が吸着性能に影響を与えることが示された。原子力事故時の揮発性ヨウ素に除去技術としての応用が期待される。

“Selective Lithium Extraction from Brine: Challenges & Opportunities”

ExxonMobilの研究グループによって、リチウム資源としての塩水からの直接リチウム抽出（DLE）技術の現状と課題について概説された。吸着、イオン交換、溶媒抽出、電気化学、膜分離など多様な手法が検討されているが、性能（容量・選択性・安定性）や高純度化のための工程を簡素化できる新技術の開発が求められる。

“DFT calculation and experiments for Li^+ /H^+ ion-exchange on titanium-based lithium ion-sieves”

中国華東理工大学のグループにより、Li吸着材として期待される層状 H_2TiO_3対し、Li^+ /H^+イオン交換メカニズムを DFT計算と実験で解析した結果が報告された。工業用に粒子をペレット成形すると、粒子内部に酸性のマイクロ環境が形成され、特に吸着初期の Li^+吸着速度が著しく低下することが示された。

“Elucidation of Carbon Pore Structures for Efficient Mg-ion Desolvation in EDLCs”

筆者を含む長崎大学のグループによって Mg^{2+}系電解液における炭素材料の細孔構造が EDLC容量に与える影響についての研究が報告された。電気化学水晶振動子マイクロバランス（EQCM）測定により、メソ細孔を持つ炭素では Mg^{2+}の脱溶媒化が促進され容量が向上することが明らかとなった。

MOFセッション

大分大学理工学部
近藤　篤

2025年 5月 18日㈰～ 5月 23日㈮でポルトガルのポルトにて開催された FOA15に参加した。会期の間大きな天候の崩れもなく、好天に恵まれた学会であった。MOFのセッションは 3、7、30、42と数多く見られ、吸着の分野において大きな部分を担っていると感じた。以下では、それらのセッションの中で報告された研究のいくつかを取り上げて報告する。

OS3では、MOFを用いた CO_2の吸着や除去に関する研究が見られた。その内容は幅広く、新材料の CO_2吸着特性の報告から、実用化を考える際に出てくる問題についての報告まで様々であった。

OS3 .01 “Blast Furnace Gas Purification by Means of Adsorption Using CuBTC”

A. Trujillo-Taviro (University Complutense of Madrid)

高炉排ガスを対象として COや CO_2の除去のために Cu-BTCのペレットが用いられ、その性能評価がなされていた。Cu-BTCのガス吸着性能は、ペレット作製条件に依存し、粒子の強固な癒着が起きると、その吸着要領は 3割～ 6割の減少が見られると報告された。

OS3 .06 “Monolithic MOFs for Industrial Carbon Capture”

A. Farmahini (Immaterial Ltd.)

実用を考える際、重量当たりの吸着量に加えて、体積当たりの吸着量が重要になってくる。本研究は、MOFをモノリス化することで体積当たりの吸着量の向上を示していた。また、CO_2の吸脱着の繰り返し試験や水蒸気共存下における CO_2除去性能など、より実用条件を意識した評価がなされていた。

OS7では柔軟性を示す MOFの評価や、柔軟性制御に関連する内容が報告された。

OS7.01 “Enhanced selectivity in gas adsorption and separation via responsive metal-organic frameworks”

I. Senkovska (Dresden University of Technology)

柔軟性 MOFの DUT-8に関する報告がなされた。DUT-8は構造変化を伴い、ガスを吸脱着する特性を示すが、粒子サイズを制御することで柔軟性が変化し、粒子サイズが小さいと柔軟性が低下するが、逆に大きな粒子では高い柔軟性を示していた。また、柔軟性 MOFの示す選択的吸着特性を確認するため、NMRを活用した吸着相の評価を行い、DUT-8においてはほぼ完全な CO_2/CH_4選択性を示すことも報告された。

OS7.04 “Switchable Cooperative CO2 Adsorption in a Ce^{IV}-based Metal-Organic Framework”

M. Taddei (University of Pisa)

柔軟性を示す Ce(IV)-MOFに関する報告がなされた。

F4_MIL-140A(Ce)は 298 K ～ 343 Kにおいてヒステリシスの見られない CO_2のステップ状吸着等温線を示すことが示された。この要因は、フッ素化有機配位子の回転に起因すると言われている。本報告では、その研究をさらに発展させ、フッ素の数の異なる有機配位子を用いて材料を合成し、フッ素数に依存してステップ状の吸着等温線の形状とLangmuir型の形状の吸着等温線に変化することを示していた。そのため、材料の構造変化にはフッ素と CO_2との相互作用が重要であると述べていた。

OS30では揮発性有機物質の除去、アセトンの除去から、NMRによる簡便な等温線測定法などのチャレンジングな研究まで幅広く報告されていた。

OS30 .01 “Designing Hydrophobic and Selective Nanoporous Materials for VOC Capture Applied to Breath Diagnosis”

N. Scott Bobbitt (Sandia National Laboratories)

呼気には様々な有機蒸気物質（VOC）が含まれており、病気や肥満状態になるとある特定のVOCが呼気に出てくるという特徴に着目し、呼気中のVOCをMOFを用いて選択的に吸着させようと考えた研究であった。MOFには大細孔を有するNU-1000などを用いていたが、VOCの選択性を高めるためにフッ素系の有機官能基をpost-modificationにより疎水化してコントロールし、性能向上を試みていた。MOFを用いた新たな実用分野の開拓を目指した研究であり、興味深い。

OS30.04 “Amplification of Negative Gas Adsorption in a Multivariable Framework”

V. Bon (Technische Universität Dresden)

従来、吸着等温線は圧力の上昇に伴って吸着量は増加するか一定の値を示すものと考えられていたが、2016年に初めて圧力の上昇に伴い吸着量の減少（Negative gas adsorption）が起こることがMOFにおいて示された。Bon氏らはこの特異な現象の制御を目指した研究について発表していた。本発表では、MOFの示すNGAの性質を、類似の配位子の割合を変えて合成することで実現できると述べていた。

OS30 .05 “NMR Relaxorption: a Low-field NMR Method for Advanced Sorption Characterization of Metal-organic Frameworks”

J. Marreiros (cMACS)

吸着等温線をNMRより得るという野心的な取り組みについての発表があった。吸着等温線を測定するには、通常数時間から数日の日時を有するが測定点は数十点から100点程度である場合が多い。そこで、より短時間でより多くの測定点についての情報を得ることのできるNMRを用いた方法として“NMR relaxorption”を提案していた。本方法では、ZIF-8において吸着等温線と良く対応する緩和時間に関するデータが得られていたが、breathing effectを示す材料として有名なMIL-53(A)においては十分に対応しているとは言い難く、技術向上が待たれる。

OS42でも CO_2の吸着や分離に関する内容の報告が見られた。

S42 .01 “Exploring Adsorption-induced Structural and Spin Crossover Transitions in $[FeNi(CN)_4Pz]$ for Enhanced CO_2 Capture/Separation at high Pressure”

R. Minhas (Univresité de Pau et des pays de l’Adour)

Hoffman型の構造を有する材料の高圧での CO_2吸着分離が報告された。本材料はI型の CO_2吸着等温線を示すが、3 MPaにおいてステップを示し3 MPa以下の広い圧力範囲でヒステリシスループを示す。そこで、このステップより低圧および高圧で CO_2/N_2の分離評価を行っていたが、高圧では低圧に比べて高い CO_2選択性を示していた。この3 MPa近傍のステップは、構造変化のみならず金属イオンのスピンクロスオーバーを伴うとされており、吸着の過程でスピンクロスオーバーに伴う色の変化も観察されている。外的刺激によるスピンを制御と通じて吸着物性の制御も可能になるとしていた。

Gas Separation セッション

金沢大学理工研究域
大坂　侑吾

FOA15 Gas Separationのセッションでは、メタン濃縮、バイオガス精製、天然ガス処理、さらには冷媒分離や直接空気回収（DAC）に至るまで、多様な吸着分離技術の最新成果が報告された。以下に主要な研究を紹介する。

メタン濃縮・バイオガス精製関連

・OS.04 .01 Enrichment of methane from oxygen bearing gas sources by adsorption process with dual-reflux strategy

Y. A. Guo (Monash University)

酸素共存下の CH_4/N_2 分離を対象に、ILZ吸着材を用いたデュアルリフラックス VSA（DR-VSA）を開発。CH_4 濃度を 69.7 %まで高めつつ排ガス中を 2.5 %未満に抑制し、安全性も実証した。

・OS.04 .02 : Formulation of MOF HKUST-1 / thermoplastic composites for Pressure Swing Adsorption CO2 /CH4 separation for biogas upgrading

T. Bin Rozaini (UMR CNRS)

MOF HKUST-1を PLA/TPUと複合化し、耐湿性・機械強度を兼ね備えたペレット型吸着材を作製。PSAでバイオメタン純度 97-99 %を達成したが、回収率改善が課題。

・OS.04.03: Modelling and experiment for biomethane upgrading and CO2 capture by the advanced VPSA process with SMB operation mode

Hongliang Cao (East China University of Science and Technology)

VPSAに SMB操作を導入した 6塔システムを提案。CH_4 純度 96%以上・回収率 99 %以上、CO_2 も 99 %以上の高純度・高回収を実現。

・OS.04 .05 : Experimental development of Vacuum Pressure Swing Adsorption for Biogas Upgrading using a commercial Carbon Molecular Sieve

Esther Pancione (Università degli Studi di Napoli Federico II)

市販 CMSを用いた VPSAにより、CH_4 純度 97-98 %、回収率最大 90 %を達成。初期脱着段階での CH_4 損失が主要因であることを突き止めた。

<u>天然ガス・多成分分離</u>

OS.04 .06 : Development of novel pressure swing cycles for the separation of methane/nitrogen/helium

G. Hu (Ganjiang Innovation Academy)

ILZ吸着材を用いた三重リフラックス PSAで、CH_4/N_2/Heの三成分を同時分離（CH_4 96 %、N_2 93 %、He 79 %）。単一プロセスでの三成分分離は初報告。

・OS.08.01: Pressure Swing Adsorption for Removing N2 from Bio Methane

Federico Brandani (Air Liquide)

埋立ガス由来 RNGにおける N_2 除去の課題を数値シミュレーションで解析し、高効率分離の可能性を示した。

・OS.08 .04 : Adjustable adsorption kinetics for selective N2 rejection in natural gas processing

Chenghao Liu (University of Science and Technology of China)

N_2 選択性を持つ新規分子ふるい（GIA-1）を開発。N_2 の高速拡散を利用した CH_4/N_2 分離性能を報告。

<u>吸着装置・プロセス開発</u>

OS.04.04: Pilot Plant Process using a TSA Concept to Promote Adsorption Studies Related to adsorbent screening

A.G. Barreto Jr（EPQB/EQ/UFRJ）

80 bar対応の高圧 TSAパイロットプラントを構築。実ガス組成下での吸着材挙動や老化を評価できる柔軟な試験基盤を提示。

・OS.23 .01 : From Bench to Pilot to Full Scale: Development of a PSA System for Fuel Gas Conditioning

James A. Ritter (University of South Carolina)

燃料ガス調整用の実規模 PSAを開発し、商業化に向けた技術的・経済的評価を報告。

・OS.23 .02 : Sorbent Screening, optimization and experimental demonstration of a two-stage PSA process for Helium purification

A. Rajendran (University of Alberta)

2段 PSAによるヘリウム精製を検討。5Aゼオライトが最も高性能であり、吸着材・サイクル統合設計の重要性を強調。

<u>特殊ガス分離・新材料</u>

・OS.08 .03 : Ambient temperature NO2 removal by adsorption on transition metal ion-exchanged chabazite zeolites

Lisa Mingzhe Sun (Imperial College London)

遷移金属交換 CHAゼオライトを用いた常温 NO_2 除去。Co^{2+}-CHAが高容量・高再生性を示した。

・OS.31.01-06（複数機関）

MOFやゼオライトを用いた C_2 炭化水素や冷媒混合物の分離研究が報告。新規官能基導入 MOFによる高選択性や、ゼオライト 5A/シリカライトの R-410A分離性能などが注目された。

DAC・環境応用

・OS.43 .01 : Methanol from Air-The DryHy Project Application of Direct Air Capture in the Context of Water-Positive Methanol Generation in Arid Regions
V. Selmert (Research Center Jülich)

アミン系固体吸着材によるDACとSOEを組み合わせた乾燥地帯でのグリーンメタノール製造構想。

・OS.43 .02 : Characterization of unary and binary CO2/H2O equilibria and kinetics on Lewatit VP OC 1065 for DAC using a combination of column breakthroughs and DVS uptake experiments
A. Rajendran (University of Alberta)

Lewatit VP OC 1065を用いたCO_2/H_2O二成分吸着データを測定。TVSA設計に必須な平衡・速度データを提供。

・OS.43 .03 : Treatment of NO, NO2 and CO in the Presence of Humidity: From Molecular Modelling to Process
H. Monnier (INRS)

Ni交換FAUゼオライトによるNOx/CO除去。水共存下でも高性能を発揮し、排ガス浄化応用が期待される。

まとめ

本セッションでは、従来課題であったCH_4/N_2分離やバイオガス精製に加え、多成分ガスの同時分離や環境負荷低減を意識したDAC応用が多く報告された。共通して、新規吸着材設計とプロセス構成の最適化を組み合わせることで、実用化に向けた具体的な道筋が示されている。吸着分離研究が、エネルギー・環境両面での社会実装に近づいていることを実感させる内容であった。さいごに、University of Albertaの A. Rajendran氏　が、「Breakthrough charismaticsも Material characterizationの一部として計測されるべき」と、化学工学的速度論も材料特性として考えなければいけないとの見解を述べていたのは、化学工学を主専門としている筆者にとって材料科学の分野との協力関係を構築する上で心強く感じた。

Environmental Applicationsセッション

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（理）
大久保　貴広

このセッションでは初日、2日目、および最終日の3回に分けて計14件の発表があった。筆者は2013年のFOA11@Baltimore以来4回目の参加となった。2013年当時、Environmental ApplicationsのセッションにはCO_2 capture関連の発表が多数含まれていた。FOA13@CairnsからCO_2 captureのセッションが独立したようだ。そのため、今回の本セッションは相対的に液相吸着にまつわる話題が多かった。本セッションの14件の発表うち8件がフランスの研究者らによる発表で、イタリアとカナダが各2件、残りは日本（筆者）とアメリカで1件ずつであった。セッションの性質上、材料や吸着現象を深く掘り下げた発表は少なく、応用指向の発表が大半を占めた。

14件の中から4件をピックアップして紹介する。

“Desorption of organic micropollutants during the coagulation process for the production of drinking water” Sylvain Giraudet (Univ. Rennes, France)

誰もが知っている銘柄のミネラルウォーターで有名なフランスであるが、河川水の減少や干ばつにより水資源の枯渇が問題であるとの言及からスタートした。本発表では、農薬や医薬品に含まれる15種類の有機微量汚染物質（OMP）をフランスにある実際の飲料水プラントの前処理水に添加して粉末活性炭（PAC）および凝集剤（$FeCl_3$）存在下でのPACの吸脱着能に与える種々の条件を検討した。当然のことながら、OMPの除去効率はPAC単独のケースが最も優れていたが、濁度や溶存炭素種など飲用水として満たすべき他の条件は必ずしも適しておらず、PACと$FeCl_3$との複合化が最も効果的であった。この複合材料を水溶液中に分散させて攪拌しながらOMPのうちアセトアミノフェンとアラクロルの吸着量の経時変化を辿ると、最初の5分で急速に吸着し、その後、吸着量変化が遅くなった。20分後に攪拌を止めて沈降が開始するとOMPの脱離が進行し、攪拌時の最大吸着量を示すことはなかった。この現象を発表者は、OMPはそもそもPACの細孔内に吸着せず外表面に吸着していると結論付けているが、細孔サイズや表面組成の異なるPACを用いた検討結果を示さない限り断定すること

は難しいのではないかとの印象を受けたが、吸着材の沈降過程で吸着質が脱離する現象はそのメカニズムにまで掘り下げて解明する必要があると理解した。

“Hydrophobic MOFs/polymer composites for volatile organic compounds capture and detection” Sabine Devautour Vinot (ICGM, France)

MOF/polymer複合材料を使ったVOC除去に関する研究である。発表ではパークロロエチレン（PCE＝tetrachloroethylene）の除去に最適なMOFをテーマにした成果が述べられた。MOFの一種であるCAU-11を用いた理論計算の結果、6.4× 7.1 Åの細孔がPCEの吸着に最適であると結論付けたが、実験によるサポート結果は示されなかった。このサイズはPCEを球形近似した場合の直径である5.6 Åとも整合するので概ね理解はできる。質疑の中で、PCEの吸脱着等温線が低圧領域で閉じないことに関して議論が交わされた。

“Deactivation mechanisms of CuO/SBA15 $DeSO_x$ adsorbent in the presence of water vapour” Sophie Dorge (Univ. Haute-Alsace, France)

発表者らはCuOを担持したSBA-15が脱硫プロセスにおける吸着材として利用することを考えているが、流路に含まれる水蒸気が吸着能を著しく低下させることがこれまでの研究で明らかになっている。今回はそのメカニズムについて発表があった。活性を下げる要因の一つ目として、水蒸気存在下で表面に生成する硫酸銅種を挙げている。これは、CuOの存在下で生じるSO_3が関わっていると考えた。もう一つの要因はCuOが外表面に凝集することで比表面積が低下することを挙げている。実験結果から得られた結論ではある一方、会場で質問も出ていたが、担持したCuO表面近傍でどのようなことが起こっているのかが明瞭になると今後の材料開発に繋がるのではないかとの印象を抱いた。

“Design of an unprecedent filtration device based on an elastic sorbent for lead recovery” Maximilien Masquelier (CNRS, France)

発表者らは液相からの金属イオン種の除去を目指し、メラミンのスポンジ状foamにポリドーパミンを担持した材料に機械的な圧縮と緩和を与えながら水溶液中の鉛イオンの濃度変化を追跡した。例えば、吸着平衡後の材料を50 %圧縮した場合には単純に酸性水溶液中で攪拌した場合に比べて格段に脱離能が向上し、10分後には約80 %の鉛イオンが脱離した（攪拌水溶液中では約20 %）。質疑の中では、メラミンを材料として使うことの是非やfoamの密度など、実用的な観点から議論が交わされた。

最後に筆者による発表を簡単に紹介させてもらう。今回のFOAでは“Acid layer-assisting anomalous adsorption of anions into nanospace of carbon dispersed in aqueous solution”というタイトルで発表した。電解質水溶液中にミクロ孔性炭素を分散させると、イオンの吸着と共に細孔内に酸性吸着層が形成されることを実験的に示した。この時、細孔内のカチオン種である金属イオンとプロトンは細孔との相互作用が強いと考えられる一方で、アニオン種であるハロゲン化物イオンについては、金属イオンの種類と初期濃度を固定してアニオン種の吸着量を測定した場合、ヨウ化物イオンを除いた塩化物イオンと臭化物イオンとの間で吸着量に有意な差が見られなかったことから、細孔壁との相互作用は弱く、細孔内での電荷バランスを維持するように吸着する可能性があることを示した。

この他にも9件の発表があったが、それらの発表タイトルのみを以下に記す。

・Hierarchically porous polymers for adsorption of organic pollutants
・Ageing of activated carbons in the nuclear context
・Comparative study of adsorbents for trace PAH analysis: Understanding adsorption mechanisms and performance MOF-808 over CSC in environmental monitoring
・Adsorption of oxygenated polycyclic aromatic compounds (O-PAC) onto zeolites for the depollution of groundwater
・Realizing a circular phosphate economy through adsorption: Insights from aqueous and synchrotron X-ray characterization
・Experimental investigation of two-bed adsorption desalination cum cooling system with mass and heat recovery
・Adsorption of trace metallic elements from aqueous solutions using okra waste biomass
・Phenol thermodesorption from activated carbons: new insights about the influence of porous texture and surface chemistry on desorption kinetics and regeneration
・Sustainable microporous organic systems with spontaneous and reversible adsorption of organic contaminants from water

Environmental Applicationsにおける発表は、セッション名が示すとおり、かなり応用や実用に近いところの内容が多い印象を受けた。発表の中で、経済的な観点からの議論を持ち出していた発表すらあった（勿論、大事な側面ではあるが…）。FOAの参加者らは”Fundamental”に近いところの方々が多いこともあって、このセッションに足を運ぶ方は必ずしも多くはなかったと思われる。概ね、20人前後で議論することが多かった印象である。溶液吸着を理論的に取り扱うことは極めて難しいこともあり、応用指向の研究が先行することは仕方のないことかもしれないが、Environmental Applicationsに繋がる基礎研究を活性化させて底上げを図る必要がありそうだ。

CO_2 Captureセッション

群馬大学
藤木　淳平

CO_2 Captureのセッションは、5セッション開催され、計24件の口頭発表が行われた。DAC（Direct Air Capture）のセッションは別で設定されていたが、一部DACに関する発表も含まれていた。ポスター発表も含めるとCO_2分離回収に関する研究報告だけでも相当数に上り、吸着分離が有望な技術として考えられていることを改めて認識した。日本からは名古屋大学川尻研究室のMiksik先生、Saren先生、私（現：群馬大学）、金沢大学児玉研究室Vannak先生の4件の発表があった。私事ではあるが、私にとっては群馬大学に異動後初めての対外発表であった。しかしながら、異動直後ということもあり、参加できるかどうか直前まで不透明でキャンセルも頭によぎっていたため、当日無事に発表できて安堵した。

報告された研究は、材料開発からプロセス検討、パイロット試験まで幅広くあり、プロセス系の研究が約半数を占めていた。材料の研究においてもかなり進んでいる印象であり、実プロセスを強く意識したものであった。以下にCO_2 Captureのセッションで発表された中からいくつかを取り上げて概略を紹介させていただく。

“Is RAST applicable for wet flue gas adsorption in CALF-20?”
Anshu Shukla, National University of Singapore

疎水性MOFであり、有望なCO_2吸着材の一つであるCALF-20における湿潤CO_2（CO_2, N_2, H_2O）の平衡データに関するRAST（Real Adsorbed Solution Theory：実吸着溶液理論）の適用可能性を評価した結果、RASTを適用する際には、活量係数モデルとして使用するNRTLのパラメータの取り扱い（設定）に注意が必要であることが示された。また、RASTを用いるよりも著者らが提案するSips-Henryモデルを修正拡張した平衡モデルの方が混合物の平衡データをよく記述できることが示され、温度依存についても考慮されていることから、非等温のプロセスシミュレーションでも利用可能な信頼性の高いモデルであるとのことであった。

“Strongly polarized small-pore zeolite molecular sieves for the highly efficient capture of dilute CO_2”
Wenkang Deng, Chinese Academy of Sciences

結晶変換およびイオン交換法を用いて、様々なカウンターカチオンを持つCHA型ゼオライトを合成し、CO_2の吸着平衡を測定した結果、アルカリ土類金属イオンが低相対圧のCO_2吸着に有効であり、特にバリウムイオンを持つBa-CHAはCO_2圧力0.4 mbarで1.6 mmol/gという非常に高いCO_2吸着量を示すことを報告した。更にin-situ FTIRとDFT計算でBa-CHAにおけるCO_2吸着を解析した結果、S_{II}サイトにあるBa^{2+}イオンが低濃度CO_2の主要な吸着サイトとして機能しており、複数のCO_2分子を吸着することが示された。

“Water adsorption on MOFs: a high temperature study using combined calorimetric/manometric experiments in the context of CO_2 capture”
Chloé JACQ, TotalEnergies/Université de Pau et des pays de l’Adour

CO_2の存在が水吸着等温線に顕著な影響を与えるCALF-20と影響を与えないAl-Fumarate（比較材料）の2種類のMOFを対象として、排ガス中の湿分や吸着材再生時の水蒸気がCO_2吸着に与える影響について、吸着熱測定の結果に基づき調査した。CALF-20では、高H_2Oローディングになる程水の吸着熱が上昇し、凝縮熱以上になることが観測された。高温の水蒸気がCALF-20の構造に影響した結果、吸着挙動が変化するとのこと。また、典型的なDACプロセスを想定してCO_2と水分子が共吸着している状態から水蒸気再生を行なった試験結果について報告していた。水蒸気の吸着はCO_2 Captureの研究において重要な項目であるため、現象を理解することが材料およびプロセスの設計に不可欠であることが述べられていた。

“Design of multi-sorbent processes for post-combustion CO_2 capture”
Ronny Pini, Imperial College London

単一吸着材でCO_2吸着容量、CO_2/N_2選択性、吸着速度、吸着材の安定性、コストなど、複数の競合する特性をすべて満たす単一の吸着材は現段階では存在しないため、2種類の異なる吸着材を充填したVSAプロセス設計を検討した。まず、吸着材種の選定にD-BAAM（Dual-adsorbent Batch Adsorber Analogue Model）という手法を用いて2,850種類の吸着材の組み合わせをスクリーニングし、回収純度と回収率の観点から分離効率を最大化した。その結果、複数の吸着材を使用することで、VSAによるCO_2分離回収性能を向上できることが示され、その結果に基づき有望であったMg-MOF-74と活性炭の組み合わせに関して、2種類を均一に混合する方法と2層に分ける場合について、分離性能をThompson Sampling Efficient Multi-objective Optimization（TSEMO）アルゴリズムを用いて最適化した結果、CO_2回収純度95％以上、回収率90％以上を達成しつつ、Mg-MOF-74のみを使用した場合と比較して、エネルギー使用量を19%削減し、生産性を55%向上することが可能であることを示した。2種類を均一に混合する方法では、良い効果は得られず、2層に分ける場合についても、MOFが先（下段）でACが後（上段）の場合に分離性能の向上が確認されたとのこと。

“3D printed monolithic adsorption bed for CO_2 separation with high heat transfer rate”
Frantisek Miksik, Nagoya University

3Dプリントした金属モノリスの表面にHKUST-1をコーティングしてCO_2吸着時に発生する吸着熱の迅速な除去を検証した結果を報告した。破過試験の結果から、モノリス型吸着モジュールは充填層型吸着モジュール（担体にガラスビーズを使用）と比べて、系外への熱の放出が迅速であるとともに、吸着時間の短縮にも繋がることを実証し、熱マネージメントの重要性を示した。

“The efficacy of new PAU zeolite in CO_2 recovery from simulated flue gas using an internally heated/cooled temperature swing adsorption process”
Heak Vannak, Kanazawa University

フィンコイル熱交換器にゼオライト13XとPAU型ゼオライトを充填した吸着塔を作製し、内部加熱冷却を行う温度スイング吸着プロセスにおけるCO_2分離回収性能評価を行なった。吸着を20℃、脱着を80℃として試験した結果、単純な吸脱着操作では、どちらのゼオライトも回収純度と回収率にはトレードオフの関係があるが、脱着時のパージや再循環を行うことでPAU型ゼオライトの回収純度と回収率の改善が為され、ほぼ全ての条件（特にショートサイクル運転時）においてゼオライト13Xよりも優れた回収性能を示した。CO_2濃度9.5％の模擬ガスから純度80％、回収率70％でCO_2の回収が可能であったとのこと。

“Modeling and optimizing CO_2 capture performance of temperature swing adsorption process using a two-bed zeolite-coated fin-coil heat exchanger”
Sagar Saren, Nagoya University

PAU型ゼオライトをフィンコイル熱交換器にコーティングした反応器を用いたTSAプロセスの最適化検討を実施した。ガス流路、吸着材コーティング、フィン構造を考慮した1次元熱・物質移動モデルを開発し、実験データに基づき、CO_2とN_2の物質移動定数および吸着材コーティング層厚さを推定し、モデルの妥当性を検証した。実験結果に基づき妥当性が確認されたモデルを用いて2-Bed式TSAプロセスを最適化した結果、サイクル時間237秒でCO_2純度95％かつ回収率90％を達成することができた。

“Demonstrating a flexible metal-organic framework for CO_2 capture by PSA: mathematical modelling, breakthrough experiments, and lab-scale validation”
Junpei Fujiki, Nagoya University (Gunma University)

構造柔軟性MOFのひとつであるELM-11のペレットを作製し、ラボスケールPSA試験を実施した結果、単純な吸脱着操作で高純度のCO_2（＞95％）を回収可能であることを示した。また、著者らがこれまでに構築したプロセスシミュレーションの推算精度をPSA試験の結果に基づき検証した結果、温度変化等に多少の差異は確認されたものの、推算精度は良好であり、シミュレーションにより様々な運転条件における回収性能（純度、回収率、生産性）の傾向を予測可能であることを示した。

“Assessing and Validating CO_2 Adsorption Dynamics: A Combined 1 -D Model and Digital Adsorption Approach”
David Büchner, Imperial College London

1次元吸着破過（DCB）モデルとX線CTを組み合わせたデジタル吸着（DA）法を用いて、CO_2吸着ダイナミクスを評価・解析した。X線CTを用いること

で充填層内の吸着に伴うMTZの時間的・空間的変化を定量的に視覚化することが可能であった。また、ゼオライト13Xでの実験結果とモデル予測を比較した結果、特にMTZの長さおよび移動速度、吸着速度において良好な一致を確認した。本手法は吸着挙動の理解深化や、モデルの正確な調整および材料選定やシステム設計の最適化精度の向上に繋がるとのこと。

“Addressing the effect of Ozone over the stability and carbon capture performance of supported amines and polyamines on Metal-Organic Frameworks”

Mario Zorrilla Valtierra, Georgia Institute of Technology

DAC用CO_2吸着材として有望なMOFおよびアミン含有MOFの安定性とCO_2吸着性能に大気中のオゾンが与える影響を理解するためにオゾン暴露試験を実施した。MIL-101(Cr)に分岐ポリエチレンイミン（PEI）を含浸させた材料およびMg_2(dobpdc)にN,N-ジメチルエチレンジアミン（DMEN）をグラフトさせた材料が用いられ、1 ppm-dayの暴露量を模擬するために40 ppmのオゾンに約30分間曝露した。オゾン曝露後、サンプルの色の変化が確認され、ATR-FTIR分析により、水とニトロ基の生成が確認された。また、XPSのN(1s)スペクトルにおいて、二級アミンでは高結合エネルギーへのピークシフトが観察されたことから、アミンサイトの電子密度が減少し、オゾン酸化によりCO_2吸着量の低下に繋がることが示唆された。一方で、一級および三級アミンでは、このピークシフトは観察されなかったことから、オゾンによる分解や酸化に耐性がある可能性が示唆された。

“Pilot-scale testing of Metal Organic Frameworks (MOFs) for post-combustion CO_2 capture at Technology Centre Mongstad (TCM)”

Guy De Weireld, University of Mons

MOF4AIRプロジェクトの一環としてTechnology Centre Mongstad（TCM）において、24種のMOFをスクリーニングして選定されたMIL-160(Al)を用いてパイロットプラント試験機で実ガス処理試験を実施した。MIL-160(Al)はメカノケミカルプロセスで合成され、MOFTECHの施設において、破砕強度（最小10 N）を達成するように押し出し成形により成形された。パイロットプラントは、(i)スクラバー、(ii)水除去ユニット、(iii)汚染物質除去ユニット、(iv)VPSAユニットで構成されており、VPSAユニットは、41 Lカラムの3塔式となっている。まず、ラボスケールのVPSAで得られた結果に基づいて開発されたシミュレーションモデルを用いて人工ニューラルネットワーク（ANN）を構築し、操作条件の最適化を実施した結果、パイロットプラント試験においては、排ガス量50 Nm^3/h、CO_2濃度5～15 %において回収純度と回収率の両方で90 %超の回収性能が予測された。しかしながら、初期の試験においては、そこまでの回収性能は達成することができなかったため、運転条件やプロセスの微調整が必要であるとのこと。いくつかの運転パラメータが吸着プロセスに大きく影響することが判明し、性能向上のための運転条件最適化への知見が得られた。

“How does structured adsorbent channel heterogeneity influence the efficiency of adsorptive CO_2 capture?”

Benjamin Claessens, Aix-Marseille University

モノリス構造体吸着材のチャネルの不均一性がCO_2吸着の効率に与える影響について、ゼオライト13Xをモデルケースとしてシミュレーションにより調査した。モノリスは、固定層と比較して、高い生産性（モノリス：0.78 mmol/(kg･s)、固定層：0.68 mmol/(kg･s)）および低いエネルギー需要（モノリス：190 kWh/t-CO_2、固定層：320 kWh/t-CO_2）を示し、尚且つガス速度への依存性が低く、より安定した運転が可能であることが示唆された。また、モノリスの製造過程で生じるチャネルサイズのばらつきに関して、ガウス分布でチャネルサイズに分布を持たせてシミュレーションをした結果、12 %のばらつきからプロセス性能に実質的な影響が出始めると予測され、非常に大きなチャネル分布を持つ場合では、回収率が81 %から68 %に低下し、生産性が0.78 mmol/(kg･s)から0.65 mmol/(kg･s)に低下、エネルギー需要が190 kWh/t-CO_2から320 kWh/t-CO_2に増加することが示唆された。ただし、この場合においても、モノリスの性能は充填層よりも優れていることが明らかとなった。

New/Hybrid Adsorbents セッション

長崎大学
瓜田　幸幾

5月 20日：午前のセッション【10：30〜 12：30】

OS.14 .01 : Improved CO_2 capture via composites of metal-organic framework and nitrogen modified hierarchically porous carbon monoliths, Tomas Zelenka, Miroslav Almasi, Gabriela Zelenkova, Lucie Korena, Eva Kinnertova, Joaquín Silvestre-Albero

階層構造を有するカーボンモノリス（HPCM）に窒素担持を行い（HPCM-N）、HPCM-N細孔に UiO-66-NH_2を導入することでCO_2回収量の向上を狙った研究が報告された。いくつかの窒素源が検討されていたが、メラミンの担持が有効であることが示され、UiO-66-NH_2の導入によって、CO_2回収量がさらに増加することが示された。Nの状態や UiO-66-NH_2の担持状態、CO_2の吸着サイトは明確ではなかったが（細孔内への直接合成が成功しているのか？）、N担持カーボンと UiO-66-NH_2の協奏によりCO_2回収量が向上している可能性が示された。

OS.14 .02 : Unveiling the potential of poly (heptazine imide)-based adsorbents for CO_2 capture. Pedro Ouro, Igor Krivtsov, Mariana Sardo, Luís Mafra, Marina Ilkaeva

メラミンを原料とした窒素含有ポリマー（poly（heptazine imides）、PHIs）の NaPHIに対し、組み込むカチオン種を変えた際のCO_2回収量についての研究が報告された。CO_2の吸着サイトやカチオン種の効果は示されていないが、2.1~2.99 mmol/g程度のCO_2回収量であることが示された。

OS.14 .03 : Temperature-regulated trapdoor mechanism in cation-exchanged zeolite RHO for enhanced gas separation. Paria Sadeghi, Matthew B. Myers, Arash Arami

ゼオライト Type-A（3A，4A，5A）及び RHO（Cs^+/Na^+比や Si/Al比が異なるもの）における H_2, N_2, CH_4及び CO_2の分離特性及び H_2回収量についての研究が報告された。RHOにおけるカチオン種の変化による H_2吸着量の変化（Na＞ K＞ Cs）に対し、カチオンサイズの違いにより H_2吸着サイトが異なることが吸着量変化の要因であるとの考えが示された。

OS.14.04: Preparation and characterization of sodium carbonate or potassium carbonate carbon composites for CO_2 capture. Hirofumi Kanoh, Bo Zhang, Yuki Fujii, Takeru Daikohara

M_2CO_3（M= Naもしくは K）の CO_2吸収に関する研究が報告された。CO_2回収の報告が多数なされている中で、とりわけ大きな CO_2回収量が示されたことから、吸着材の構造を含めた多数の質問があった。詳細な構造評価はこれからとなるが、炭酸塩除去後の残渣炭素の BET比表面積が 1000 m^2/gを超えており、これが CO_2回収量の増大に寄与している可能性があるとの考えが示された。

OS.14 .05 : Tailoring interlayer microporosity of swelling clays for highly selective CO_2 adsorption over CH_4 in the context of biogas upgrading. Anwar El Azrak, Denys Grekov, Laurent Truche, Pascaline Pré

天然のモンモリロナイトに対し、陽イオン交換法により Cs^+とプロトン化アミン種（モノメチルアンモニウム、ジメチルアンモニウム、トリメチルアンモニウム、テトラメチルアンモニウム）へ置き換えた層状粘土鉱物を作製し、その CO_2/CH_4選択性に関する研究が報告された。Naから上記のカチオンへ交換することで CO_2吸着量は増加した。また、モノメチルアンモニウムに置換した試料が最も高い選択性を有し、ゼオライト 13Xよりも高い CO_2/CH_4選択性であることが示された。

OS.14 .06 : Polyethyleneimine-impregnated carbon nanofibers for direct air capture applications. Carl Jung, Victor Selmert, Ansgar Kretzschmar, Hermann Tempel, Rüdiger-A. Eichel

PAN系カーボンファイバーへポリエチレンイミン（PEI）を担持した複合材料の CO_2及び H_2O吸着量評価に関する報告がなされた。PETの担持は、H_2O吸着量を増加させるが吸着速度を低下させることが示された。また、CO_2吸着量（25℃、400 ppm雰囲気）は、PET担持料が 30 wt %において最大となった。CO_2及び H_2Oの吸着量は PET担持量に依存し、H_2O/CO_2の吸着速度比は PET担持量だけではなく、温度等の様々な要因が影響していると考察された。

午後のセッション【14：30〜 15：50】

OS.18 .01 : Tailoring ETS-4 pore size with transition

metals for enhanced adsorptive nitrogen removal in natural gas purification. Hafez Maghsoudi, Mohammad Azadi Tabar, Joeri F.M. Denayer

Fe、Crに交換されたゼオライトEIS-4のN_2/CH_4分離に関する研究が報告された。天然ガス中にはN_2が7-25％、コールベットメタンには30-70％のN_2が含まれており、N_2/CH_4分離の重要性が示された。Fe及びCrへの交換によって、N_2の吸着速度に変化は無いが、CH_4が大幅に遅くなることが示された。

OS.18 .02 : Preparation of porous carbon adsorbents derived from chlorinated polyvinyl chloride and their application for carbon tetrafluoride capture. Dong-Joon Lee, Ki Bong Lee

半導体製造過程で発生するCF_4回収用の活性炭創製に関する研究が報告された。ここで活性炭はプラスチック廃材であるPVCを用いている。KOH及びK_2CO_3により賦活を行い活性炭を得ており、0.9 nm以下の細孔が低濃度のCF_4の回収に有効であることが示された。一方、細孔径以外の影響（含有酸素等）については、今後の検討課題であることも示された。

OS.18 .03 : Amine-functionalized layered double hydroxide family for direct air capture of carbon dioxide. Xuancan Zhu, Bingyao Ge, Zhuozhen Gan, Qingyang Shao

アミン修飾を行った層状水酸化物（$[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]_x^+(A^{n-})_{x/n}\cdot yH_2O$）［M＝ Mgと Al］への$CO_2$回収に関する研究が報告された。ポリエチレンイミンとの複合化によってCO_2回収量が2 mmol/g程度となることが示された。また、3Dプリンタにより整形しているところが特出している点として挙げられる。

OS.18 .04 : Exploring new applications for high-silica zeolites: Advances in adsorption and separation technologies. N. Nakazawa, Y. Nakanishi, K. Nakao, S. Hirano

新規に創製された親水性のZeolum（SiO_2/AlO_3＜5）と疎水性のHSZ（SiO_2/AlO_3＞5）が紹介された。CO_2回収の報告が主であったが、プロピレンガス分離等への応用も示唆された。Si/Al比の異なる材料も保有しているとのことであるため、直接、問い合わせるのもよいだろう。

5月22日：午前のセッション【16：20～17：40】

OS.39 .01 : Effects of pore structure in amine-impregnated activated carbons on ultra-low concentration CO_2 capture under high humid conditions for protecting humanlife in confined space. S.R. Jeong, K. Woo, K.M. Kim, C.H. Lee

多孔性カーボンへ種々のアミンを修飾し、低濃度のCO_2回収に関する研究が報告された。アミンはトリエチレンジアミン（TEDA）及びピペラジン（PZ）、分岐状ポリエチレンイミン（PEI）が用いられた。CO_2回収量は、乾燥下においてPEI＞PZ・未修飾＞TEDAであるのに対し、水蒸気を含む場合はPZ・PEI＞＞TEDA＞＞未修飾となることが示された。

OS.39 .02 : Development and performance evaluation of biochar adsorbents from waste for H_2S removal from syngas: A comparative study with commercial activated carbons. Hanine Ibrahim, M. Hervy, Y. Kara, L.Romero Millan, P. Moukouri, L. Brito, E. Weiss-Hortala, C. Coquelet, J. Escudero-Sanz, D. Pham Minh

SyngasやBiogasには不純物を複数のステップを経て取り除いている。その中で、H_2SはSyngas中に0.1 %vol、Biogas中に0.4 %vol含まれることから、本研究ではBiochairをCO_2賦活した活性炭のH_2S吸着量を評価した。水蒸気賦活して得られた市販の活性炭と比較して高い吸着量が示されたが、原料依存、賦活方法、細孔構造との関係が不鮮明であり、今後明らかになることが期待される。

OS.39.03: An automated high-throughput workflow to understand property-relationship in porous liquids and accelerate their discovery for CO_2 removal. Omar Al-Miqdadi, Lana Lee, Rebecca Greenaway, Camille Petit

多孔性液体のハイスループット合成に関する研究が報告された。多孔性液体は、液体中に形成された空隙が永続的に維持されたものであり、N. Giriら（Nature, 527, 216-220（2015））に報告がある。発表者ら合成からCO_2回収評価までを一貫して行えるシステムを構築している。

OS.39.04: Optimizing fillers for next-generation mixed matrix membranes: A comparative study of MOFs and PIMs for enhanced CO_2 separation. Virginia Guiotto, Maria Sole Notari, Letizia Trovarelli, Giulio Bresciani, Grazia Bezzu, Elisa Carignani, Silvia Bordiga, Lucia Calucci, Matteo Signorile, Marco Lessi, Marco Taddei, Ferdinando Costantino, Mariolino Carta, Alessio Fuoco, Valentina Crocellà

MOFとPIM（Polymers of intrinsic microporosity、ミクロポーラス性固体）のCO_2回収量、CO_2/N_2及びCO_2/CH_4選択性に関する研究の報告がなされた。選択性は同等であるが、比表面積・調整のやり易さ・安定性はMOFに軍配があるようである。

以上、一部理解が追いつかないところもあり、雑多ではあるが講演のまとめを記載した。New/Hybrid Adsorbentsのセッションであったが、多くが既存の材料への修飾、もしくは、複合化したものであり、「NEW」という材の報告は無かったように感じた。また、ターゲットはCO_2回収に関するものが多く、材の性能を示すものであった。それらの報告の多くは、材の性能の基盤となる原理・現象開明に向けた評価がなされていなかったように感じた。

Characterization & Exp.Techniques セッション

理化学研究所
松鷹　宏

2025年5月にポルトガル・ポルト市で開催されたFOA15のCharacterizationおよびExperimental Techniquesのセッションに参加したので、以下、概略について報告する。

Characterizationの前半セッション（5月20日）では、スペインの研究機関IMDEA EnergyのMiriam Abán氏によって、MOF（ZnBDP）に抗菌性を持つ天然由来の低分子化合物（オイゲノール）を内包させ、いちごの保存用途に応用する研究が紹介された。気相法と液相法による内包試験の結果、液相法の方が薬剤の取り込み量が多かったが、TGAの挙動からはMOF外表面への吸着が主であると分析されていた。窒素吸着等温線測定から、空のMOFの比表面積が2300 m^2/gであったのに対し、オイゲノールを取り込んだMOFでは52 m^2/gに低下し、MOFの細孔内への吸着が示唆された。また、実際のいちごを用いた保存試験では抗菌効果が確認された。

中国・上海交通大学のMan Zhang氏は、多湿環境下でのCO_2のダイレクト・エアー・キャプチャー（DAC）とメタネーションを同時に行う触媒研究を紹介。副生成物を生成させずにCO_2転換率を向上させる手法を提案し、乾燥空気中から吸着されたCO_2がRu系触媒の活性サイト（Al-O-Na）で200℃でCH_4に転換されることをFT-IRで確認していた。

ドイツ・フリードリヒ・アレクサンダー大学のCarola Vorndran氏は、気相・液相吸着現象をつなぐNMRを用いた新手法を紹介。ゼオライトを用いて、細孔へ水または水蒸気を導入し、NMRにより水分子の歳差運動速度を観測、スピン緩和時間（T_1・T_2）の差異が細孔径や表面積と相関するとして見積り、実際NMR Relaxometry法で得られた細孔径は、アルゴンガスによる吸着等温線からNLDFT法で見積もった細孔径の結果と一致することを報告していた。

3P Instruments社のSebastian Ehrling氏は、窒素吸着では評価が困難なウルトラミクロ細孔や低比表面積材料に対してクリプトン吸着試験の有効性を紹介。測定精度向上においては吸着に寄与しないフリースペースの見積りが重要であること、またマクロ細孔評価にはn-ブタンをプローブガスとして用いた評価法が有効であることを報告していた。

CarboTech社のAleksandra Marcinek氏は、自社開発の活性炭、CVD法で作製されたカーボンモレキュラーシーブ（CMS）のガス分離性能を報告。CO_2吸着等温線から見積もった細孔径約0.5 nmを持つCMSでは、N_2とO_2の分離において、平均的な細孔径だけでなく、細孔入り口のサイズの違いによって速度論的な差異が生じると分析し、細孔形状や静電的相互作用もガス分離性能に影響することが報告していた。

Characterizationの後半セッション（5月22日）では、主にスポンサー企業による製品について中心的に紹介されていた。米国Linde社によるコア・シェル型吸着材の評価技術、ZeoChem社によるゼオライト製品の紹介、中国BSD Instruments社による高圧対応のガス吸着評価装置や自動化装置の紹介、ドイツZAE Bayernによるゼオライトの高温・高湿環境下での耐久性試験結果などが講演されていた。

Experimental Techniquesのセッション（5月21日）では、ドイツ・ケムニッツ工科大学のMaria-Sophie Günther氏が、水素の同位体（オルソ水素・パラ水素）に着目した吸着挙動を分析し、重量法によるガス吸着量測定とラマン分光を組み合わせた装置開発を紹介。MOF（ZIF-8）への水素吸着試験ではオルソ水素の吸着等温線が測定できたと考えられるが、バラツキが見られ、今後装置構成等の改良を実施予定とのこと。

ベルギー・ルーヴェン・カトリック大学のNicolas Chanut氏は、独自開発のマイクロヒーターを用いて多成分ガスの吸脱着挙動を測定する装置について紹介。

MOF（CALF-20）を用いたH_2O/CO_2の吸着試験や他の混合ガス（BuOH/PrOH）の評価として破過曲線測定を用いずパルス加熱によって吸着質の脱離挙動変化を測定した結果を報告していた。

スタートアップ企業 Alphane Labs社の Jessica Moreton氏は、材料評価の手法としてQCMとIDEキャパシタンスを組み合わせた装置により、H_2OとCO_2の混合ガスから各成分の吸着量を高精度に同時測定する方法を紹介。CALF-20を用いたデモ試験では絶対湿度の上昇に伴うH_2O吸着量の増加と同時にCO_2吸着量が低下していく傾向を確認していた。

フランス・ノルマンディー大学の Arnaud Travert 氏は、ゼオライト（ZSM-5）へのイソブタノール吸着をIR分光法で評価する手法を紹介。ガス吸着量とIR測定を同時に行い、MCR解析により細孔内部・外部吸着を区別、拡散モデル（カーネル）を用いて吸着挙動を分析していた。

マイクロトラック社の Jürgen Adolphs氏は、比表面積が非常に低いサンプルに対しては窒素吸着よりもクリプトン吸着試験の方が有効性が高いことを飽和蒸気圧などの観点から解説。また測定時のフリースペース変化による誤差をAFSM法で補正することで高い再現性が得られることを報告していた。

最後に所感を述べさせていただく。今回、私は初めてFOA学会に参加したが、国際的な交流の場として非常に有意義な経験であった。各講演内容はもとより、特に印象的であったのは、休憩時間中のコーヒーブレイクにおいても活発な意見交換や議論が行われていた点である。そのため、休憩直後のセッション開始時には会場の参加者数がかなり少ない場面も見受けられたが、講演が進むにつれ徐々に人が増えていく様子が何度も見られ、日本の学会における時間厳守の文化とは異なり、交流やNetworkingを重要視する国際的な雰囲気を感じることができた。また、閉会式では共同議長の Alexandre Ferreira氏より、学会運営における環境への配慮について振り返って述べられた。具体的には、紙コップを使用しない飲料水用瓶ボトルの利用、余剰食材の寄付、植林体験イベントの開催など、会期中に資源の有限性や持続可能性を意識した取組が実施されており、地元市民や学生ボランティアを中心とした運営体制も含め、人的にも自然環境的にも負荷を可能な限り軽減する姿勢が非常に印象的であった。次回のFOA学会は3年後に日本（パシフィコ横浜）で開催される予定である。今回のような取組をそのまま日本で実施することは容易ではないかもしれないが、可能な限り環境への配慮を重ね、持続可能で開かれた学会となることを目指していくことが重要であると感じた。

Transport Phenomena セッション

大阪大学大学院理学研究科化学専攻
上田　貴洋

当該セッションは開催日初日の夕方に行われ、5件（当方の発表を含む）の発表があった。

特に注目に値する発表として、“Combined diffusion and surface barrier resistances in uptake experiments: can the two mechanisms be decoupled easily?”を紹介したい。これは、エジンバラ大学の Stefano Brandani教授、Enzo Mangano博士、ライプチヒ大学の Jörg Kärger教授らの共著による報告である。多孔質固体に対する吸着種の拡散挙動では、粒子の表面抵抗が拡散律速を担う “表面障壁機構 ”と、粒子内での物質移動である “粒子内拡散機構 ”の両方が競合している。しかし、これらの寄与を正しく予測できる理論が存在しないため、吸着速度測定の解釈には、これらを組み合わせた複合抵抗モデルを用いることが望ましいとされている。しかし、吸着量の時間変化に対する短時間応答において、吸着量 vs吸着時間の平方根のグラフが線形からずれることを根拠として表面障壁パラメータを決定する手法がとられることが多い。本研究は、このアプローチに重大かつ潜在的な落とし穴があることを、重量法、容量法およびゼロ長カラム（ZLC）法による測定データを例に挙げて議論している。数学的な複合抵抗モデルの解では、二つの寄与の分離は可能であるが、現実の系では分離手順が誤った結論を導く可能性がある。純粋な内部拡散過程であっても、非等温条件での吸着速度測定では、複合抵抗モデルと一致する応答を生じ、「表面抵抗」が「出現」する場合があることが示された。一方、ZLC 法では、正確に複合抵抗モデルが適用できることが報告された。結果の解釈に際しては、まず純粋な粒子内拡散モデルと純粋な表面障壁モデルから始め、どちらのモデルも結果を説明できないことを証明した上で、複合抵抗モデルに移行する必要性が強調された。

その他の発表についてはタイトルのみ紹介させてい

ただく。

・“Characterisation of 13 X monolith using a combination of volumetric and chromatographic techniques” E. Mangano (The University of Edinburgh)

・“Substitution effects of the imidazolate linker on benzene adsorption for ZIF-8 : Role of the methyl group on the adsorption of bulky molecules” T. Ueda (The University of Osaka)

・“Adsorption kinetic measurements of oxyfuel-relevant species in the porous structure of solid biomass fuel particles” T. Eisenbach (Ruhr-Universität Bochum)

・“Trap-door mechanism in specific ion exchanged LTA zeolite for long term methane storage” C. Grimaud (IRCELYON, CNRS)

本セッションの主題である輸送現象は、多孔質固体では主に吸着分子の固体内拡散が対象となる。この現象は、様々な吸着分離プロセスの性能向上に関わる重要な問題の一つであり、その取扱指針を多くの研究者たちに提供することは、吸着科学やそれを基礎とする応用分野の更なる発展につながることが期待される。Brandani教授の発表の中で、IUPACのナノ多孔質固体における拡散問題に関する取り組みが紹介された。IUPACでは、ナノ多孔質固体における拡散の研究プロジェクト「Diffusion in nanoporous solids」が2015年から進められており、昨年11月に完結した。現在、その成果をまとめたIUPACテクニカルレポートがコンテンツとして利用できるようになった。このレポートでは、初めて吸着速度測定と拡散に対する取り扱いついて明確なガイドラインが提供された。また、IASではIUPACテクニカルレポートの内容に特化したウェビナーシリーズを開始しており、IASのYouTubeチャンネルで閲覧することができる。

さて、今回のFOAは私にとって4回目の参加となった。過去3回のFOAでは、残念ながら口頭発表の機会に恵まれなかった。今回は表題のセッションで、初めて口頭発表の機会を得ることができた。最後に少しだけ当方の仕事について触れさせていただく。発表は、有機金属構造体の一種であるX-ZIF-8へのかさ高い分子の吸着機構を、ベンゼン吸着の速度測定の観点から明らかにするというものであった。ベンゼン拡散の活性化エネルギーと活性化エントロピーを評価することで、X-ZIF-8中でのベンゼンの拡散挙動を分子レベルで理解することに成功した。特に、ZIF-8の構成要素である有機架橋配位子の2-メチルイミダゾール部位とベンゼンとの間にはCH/π相互作用が働き、ZIF-8におけるかさ高い分子の吸着において、分子配向を制御する役割の一端を担っていることを明らかにした。このように拡散というマクロな現象を、分子間相互作用というミクロな視点を通して、その分子論的描像を明確にし、機構解明に至るアプローチは、いわば物理化学の醍醐味でもある。一方、今回、拡散を扱う本セッションで行われた発表では、マクロな意味での拡散現象を扱ったものが多く、物理化学屋の私としては、その先にあるミクロな描像についてもう少し深堀したいと感じた次第である。

今回、吸着科学分野において世界で最も権威ある学術会議で口頭発表を行うにあたり、良い意味での緊張感と高揚感を感じることができた。初めてのポルトガル…歴史の重厚感の中にも、どこか懐かしさを感じられる美しい街並み…初めてのFOAでの口頭発表…今回のFOA15は、私にとって記憶に残る忘れられない会議となった。

Direct Air Capture & 10-Liquid Separations

大阪ガスケミカル㈱
山根　康之

Direct Air CaptureおよびLiquid Separationsのセッションでは、それぞれ6件と5件の口頭発表があった。いずれの発表でも活発な議論が繰り広げられていたが、特にDACのセッションでは、会場前方の席の多くを企業技術者が占め、システムや吸着材について積極的に議論していた点が印象的で、企業の関心の高さがうかがえた。その一方で、質疑応答で、“吸着材については企業秘密だから開示できない”とか“共同研究先から詳細を聞かされてない”といったやりとりが数件みられ、企業の人間としては、気持ちは理解できるが、技術の発展やFOA16の成功のためには企業も考え方を少し変える必要があるように感じられた。以下に、著者が聴講したものの内のいくつかの発表の概略を紹介する。

“Effect of ambient humidity on field performance of a DAC Process”

N. Kofman (Climeworks AG)

Direct Air Capture（DAC）は、排出源からではな

く大気中から直接CO_2を除去する技術であり、IPCCが掲げる気候目標達成に不可欠な手段である。Climeworksはこの分野の先駆者であり、Orca（4kt/y）やMammoth（40kt/y）などのプラントを通じて、2050年までに年間1GtのCO_2除去を目指している。本発表では、DAC技術の中核であるTemperature Vacuum Swing（TVS）プロセスにおいて、水蒸気を加熱媒体とし固体アミン吸着剤を用いた際の相対湿度の影響について報告されていた。湿度の上昇により吸着材が膨潤し、新たなアミンサイトが開口することでCO_2の吸着容量と反応速度が増加するが、同時に充填床の圧力損失が増加して空気流量が低下することが示された。中間湿度ではプロセス構造に起因する新たな現象が観察され、極端な湿度では毛細管凝縮によりCO_2がアミンサイトに到達できず、定常状態に至らないことが明らかとなった。

“CO_2-water co-adsorption measurements and process modelling of amine-functionalised polymeric resins for direct air capture”

Katia Piscina (Heriot-Watt University)

地球規模の気候目標達成には、大気中のCO_2を直接除去するCarbon Dioxide Removal（CDR）技術が不可欠であり、DACはその有力な手法の一つである。本研究では、既報の共吸着モデルを用い、2種のアミン官能基化吸着剤（吸着剤A・B）、Lewatit VP OC 1065、Elfvingらの文献吸着材に対して水・CO_2・共吸着等温線データを取得し、TVSプロセスにおける最適運転条件を異なる気候条件下で検討結果について報告された。相対湿度35 %と80 %における脱着温度・時間・真空圧・飽和率の影響を比較し、35 %では高温条件で最大生産性と最小エネルギー消費が得られる一方、80 %では水分がCO_2脱着を助けるため低温条件が有利となることが示された。これらの結果は、新たな実験データを共吸着モデルに加えることで、異なる気候条件下での吸着剤性能の理解とプロセス設計の精度向上に貢献すると期待される（吸着材A，Bがどんなものか、もう少し詳しく知りたかった…）。

“Model analysis of rotary adsorber in steam-assisted temperature swing adsorption processes for efficient CO_2 capture from ambient air”

Kuihua Wang (Shanghai Jiao Tong University)

大気中CO_2濃度の継続的な上昇に対し、DACは有望な技術として注目されているが、依然として高いエネルギーコストが普及の障壁となっている。本研究では、回転式吸着器と蒸気パージによる再生を組み合わせたDACプロセスについて報告された。圧力損失の低減とガス拡散の促進を目的にアミン修飾構造吸着材はハニカム状に成形されていた。熱・物質移動を記述する数理モデルを構築し、吸着容量・速度を実験と比較した結果、± 20 %の精度で予測可能であることが紹介された。構造・操作パラメータ（回転速度、再生温度、蒸気流量など）の影響を解析し、直交法により最適条件を導出したところ、CO_2捕集率は40-80 %、生産性は4.2-12.3 kg/m^3/hを達成し、蒸気凝縮によるCO_2純度90 %以上の回収が可能となり、さらに、蒸気吸着による発熱がCO_2脱着を助け、エネルギー消費を1.8-3.0 kWh/kgまで低減できることが示された。

“Separation of Volatile Fatty Acids by Simulated Moving Bed”

C. Gomes (University of Porto)

本研究では、揮発性脂肪酸（VFA）の高効率分離を目的に、官能基の異なる4種の合成樹脂を用いて吸着挙動が評価された。酢酸、プロピオン酸、酪酸など7種のVFAに対し、バッチ式および固定床流通実験を実施し、Dual-site Langmuirモデルによる吸着等温線の解析と、数理モデルによる動的挙動の予測結果について報告された。非官能性樹脂Amberlite XAD-4は各酸に対して異なる選択性を示し、特に酢酸とプロピオン酸の分離において高い性能を示した。固定床実験では、単成分および多成分系の破過曲線がモデルと良好に一致し、吸着平衡および速度パラメータの妥当性が確認された。得られたデータを基づいてSimulated Moving Bed分離プロセスを設計し、95%以上の純度で酢酸・プロピオン酸を分離可能な操作条件（スイッチング時間、流速）を導出された。

“Selective Separation of ^{165}Er/Ho and ^{165}Tm/^{165}Er mixtures with functionalized porous adsorbents”

Conchi Ania (Université d’Orléans)

本研究では、MRIなどの医療用途で注目される放射性同位体である^{165}Erを^{165}Er/Hoおよび^{165}Tm/^{165}Er混合系から選択的に分離することを目的として、多孔性材料（メソ孔の多いシリカゲルもしくは多孔性炭素材料）を抽出剤（ビス（2-エチルヘキシル（HDEHP））リン酸や2-エチルヘキシルホスホン酸モノ-2-エチルヘキシルエステル（HEHEHP）もしくは、錯形成剤（1，4，7，10-テトラアザシクロドデカン-1，4，7，10-テトライル）テトラ酢酸（DOTA））で修飾した固体抽出剤を用いた分離特性について報告された。

^{165}Er/Ho分離において、化学的類似性や不利な生成比（eg. ^{165}Er:Ho＝ 1:104）により分離が困難であるが、本研究では、HDEHP修飾吸着材では弱酸性条件下で最大 80 %の ^{165}Er回収率が得られることが示された。これは、細孔内への抽出剤の固定化に起因すると考えられるとのことだった。^{165}Tm/^{165}Er分離においては、^{165}TmはDOTA誘導体と錯形成する一方で、^{165}Erへ崩壊する時のエネルギーによって配位結合が切断されて^{165}Erは遊離することを利用して分離しており、DOTA誘導体で修飾した炭素材料で最良の分離係数と回収率を示した。これらの結果は、短寿命放射性同位体の分離に向けた有望な材料設計指針を示したといえる。

“Purification of pyrolysis oils by adsorption on modified Zeolites”

L. Mussard (IC2MP)

使用済みプラスチックの熱分解油の品質向上には残留する有機塩素化合物の低減が必要である。有機塩素化合物は、ゼオライト骨格内の塩基性酸素と塩素原子に結合した炭素に付加された水素との相互作用により吸着されることが知られており、本研究では、種々の陽イオン（Li^+、Na^+、K^+、Cs^+、Ca^{2+}、Zn^{2+}）で置換され、異なるSi/Al比と形状を有するFAU型ゼオライトの化学組成が有機塩素化合物の除去に及ぼす影響が調査された。K^+交換ゼオライトは、オレフィンや芳香族化合物との競合吸着を抑制し、高い有機塩素除去率を示した。これは、K^+の大きさと位置がπ相互作用を阻害し、塩素化合物の選択的吸着を促進するためとのことだった。また、Zn^{2+}などの遷移金属カチオンは、d軌道電子によるπ相互作用によりオレフィン類を強く吸着し、選択性が低下する傾向が明らかとなった。本研究は、陽イオン交換によるFAUゼオライトの酸塩基特性ならびに陽イオン位置の調整が、有機塩素化合物への選択性調節を可能とすることを示している。

国際交流スカラーシップ報告

信州大学 総合理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University
吉良 彩花
Ayaka Kira

5月 18日から 23日にかけてポルトガルのポルトで開催された FOA15に参加させていただき、ポスター発表を行いました。国際学会での発表は初めてで不安でいっぱいでしたが、それ以上にポルトでの発表や出会いに期待を膨らませていました。

私は幼いころから、ハリーポッターという作品が好きでヨーロッパに行くことが夢でした。偶然にも筆者である J.K.ローリングはポルト滞在中に第一作目を書いていたという噂もあり、「この旅は聖地巡礼だ！」と勝手に息巻いておりました。しかしながらポルトに着いて待っていたのは、「ミステリアスな石畳の狭い路地！魔法使いが隠れ住む伝統的な建物！」よりも、「観光客泣かせの荒々しく急な石畳の坂！」でした。しかしながら無事に荷物を置いて見たポルトの町並みは美しく、特にたそがれ時にみたドン・ルイス 1世橋とカラフルな建物は忘れられない鮮明な思い出となりました。



図 1　ポルトの街並みと Sunset

そしていよいよ FOA15が始まりました。ポスターセッションは 2日間に分けて行われましたが、一緒に参加した研究室の学生の内私だけが 1日目の発表だったこともあり、当日の朝からずっと緊張が解けませんでした。オーラルセッションでは、英語の聞き取りがやっとな場面も多く、自分の英語力の課題を痛感しました。ただ、オーラル発表では、どなたも自身の研究を魅力的に伝えるために堂々と発表されており、「自分もいつかこんなふうに国際学会で他人を引き付ける口頭発表ができるようになりたい」という目標になりました。

国内での学会との違いで一番驚いたことは、会場でビュッフェスタイルのランチが振舞われたことでした。さらに料理を取り席に着くや否や、ウェイターの方が笑顔で飲むワインのカラーを尋ねてきたのです。カルチャーショックを受け、さらに午後のセッションとポスター発表が頭によぎりましたが、魚料理とともに少しだけワイン（白）を堪能させていただきました。

迎えたポスター発表では、ビールや軽食を片手にディスカッションする姿が至る所で見られ、飛び交う英語に萎縮してしまいそうになっていました。しかし、前日に仲良くなったブラジル人の学生が、一番に私の発表に来て笑顔で質問をしてくれたことで、私の緊張はほぐれました。また発表を聞きに来てくださった方全員が、私の拙い英語の発表にも関わらず真剣に耳を傾けてくださいました。今回私は、メソポーラスシリカ細孔内に閉じ込めたイオン液体が示すベイポクロミズムという内容で発表しましたが、吸着する蒸気の種類によって変化する蛍光スペクトルに対し、色々な国の研究者の方から興味を持っていただけました。研究へのモチベージョンが一層高まると共に、ディスカッションを通して多くの学びを得ることができました。

ポスター発表が終わり、最後に発表を聞きに来てくださったアリカンテ大学の Silvestre-Albero先生と研究室の二村先生と私を含めた学生 3人でバカリャウというタラの伝統料理を食べに行きました。他の学生達が翌日の発表を控える中、私だけ気兼ねなくワインと料理を堪能でき、本当においしかったです。

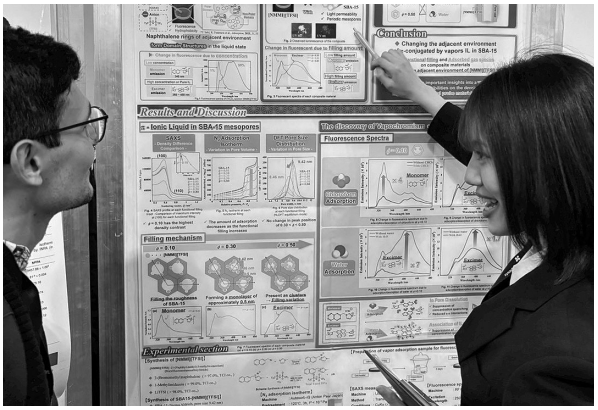


図 2　ポスター発表の様子

今回の学会では「自分から積極的に話しかける」という目標を掲げて臨み、発表の場のみならず

Excursionや Gara Dinnerの場でも様々な方と交流することができました。こうした経験を通じて、多様な価値観に触れると同時に、自分自身の中にも新たな視点や考え方が芽生えたことを実感しています。

このような貴重で何物にも代えられない経験ができたことは、研究を指導していただいた二村先生および飯山先生、ならびに参加を支援してくださいました日本吸着学会のおかげでございます。この場をお借りして改めて御礼申し上げます。この経験を糧に、此れからも研究活動に精進してまいります。

金沢大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University
坂本 大樹
Taiki Sakamoto

1. はじめに

この度、日本吸着学会国際交流スカラーシップ制度の支援をいただき、第15回国際吸着会議（15th International Conference on Fundamentals of Adsorption: FOA15）に参加し，ポスター発表を行いました。研究者として初めての海外渡航であり、初めての国際学会発表ということで、未知の環境に挑戦する大きな一歩となりました。日々研究室の中で取り組んできたテーマを、世界にむけて発表するだけでなく、様々な分野の研究者や学生との英語を用いた交流も経験し、学術的な成長とともに自分自身の視野を広げる貴重な機会となりました。発表準備から渡航、現地での参加まで一連の経験を通して、一人の学生としても多くの学びを得ることができました。

2. 開催地ポルトの印象

FOA15の開催地であるポルトは、ポルトガル北部に位置し、ドウロ川沿いに広がる美しい都市です。会場付近の市街は世界遺産にも登録されており、赤い屋根が連なる街並みや石畳の道、そしてポルトを象徴するドン・ルイス1世橋など、街を歩くだけで歴史と文化を感じさせ、異国に来た実感が自然とこみ上げてきました。そして何より、長時間のフライトを終え、疲れの残った身体で受けた強く照り付ける日差し、カラッとした空気、どこまでも広がる青い空が、「日本を離れて海外に来た」という実感を肌で感じさせてくれました。

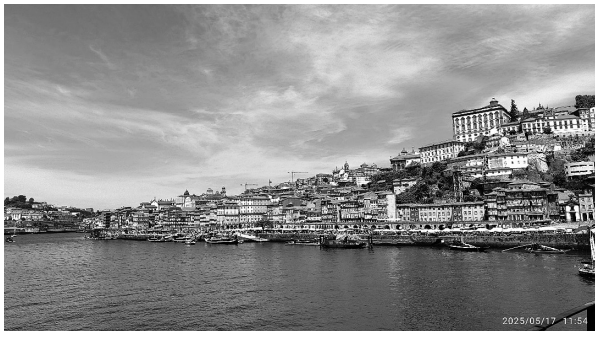


図1　歴史と青空に包まれたポルトの街並み

3. 国際学会でのポスター発表体験

今回、自身の研究を国際学会で発表するのは初めてであり、英語でのプレゼンテーションや質疑応答も初体験だったため、発表前は強い不安を感じていました。特に、自分のポスターは会場の隅、壁沿いに配置されていたこともあり、参加者が来てくれるのか、自分の研究内容を理解してもらえるか、などと様々な不安が頭をよぎっていました。しかし、ポスターセッションが始まるとすぐに一人の方が関心を寄せてくださり、熱心に話を聞いてくれたことで次第に落ち着き、議論を交わすことができました。その後、緊張や不安も次第に和らぎ、多くの参加者と話す機会に恵まれました。つたない英語ながらも、自分の意志を辛抱強く聞いてくださる方が多く、自分の研究が少しずつ伝わっていくことに、言葉以上の喜びと達成感を感じました。質疑応答では、吸着材の選定理由やプロセスの優位性について、将来的な展望についてなど多角的な視点から質問やコメントをいただくことが多く、今後の研究の方向性を考えるきっかけになりました。また、英語での議論については、ポスター発表が参加者との一対一の会話の場であるため、口頭発表と比べても自分の意見や持論を確実に伝えることができるという利点も感じました。なにより、別れ際に「Good Work」などと声をかけてもらえたことは大きな励みになり、自分の言葉で挑戦したからこそ得られた温かい経験となりました。

4. FOA15での一週間の経験

一日目での発表が終わってからは、ようやく緊張も解けて他の発表やポスターをじっくりと楽しむ余裕が生まれました。今回の FOA15では通常の講演に加えて「Adsorption School」という若手研究者にむけた基礎セミナーが企画されており、吸着現象の基礎を世界の第一線の先生方から学べる貴重な機会となりました。セミナーは早朝からの開催にも関わらず会場が満員となるほどの盛況ぶりで、自分の専門分野での知識の穴を再確認すると同時に、普段触れることの少ない分野の知見を得ることができる良いきっかけになりま



図２「Adsorption School」の様子

した。

今回の学会の中で最も印象に残っている経験があります。多くの発表を聞いている中で、ある中国の学生が自分と似たテーマに取り組んでいることに気づきました。大部屋での発表だったため、質疑応答の場では質問をする勇気が出ませんでしたが、機会を無駄にしたくないとの思いから発表終了後に話しかけることができました。研究手法について意見交換をしたり、互いの研究テーマの「あるある」を笑いながら話したりする中で、似たテーマに取り組む同世代の学生が、堂々と英語で発表していたという事実に大きな刺激を受けました。また、連絡先も交換することができ、今後の情報共有共同研究の可能性を感じる貴重な交流となりました。

講演の合間に開催されるコーヒーブレイクやポスター会場では、研究者同士の議論や雑談が自然と生まれていて、会場中が熱気に包まれていました。私も勇気を出して参加者に声をかけると、どなたも気軽に対応してくれ、多くの方と話す機会となりました。特に、同世代の学生とは、研究の話だけでなく学生生活や将来についても語り合うことができ、「世界の仲間達も悩みや壁に当たりながら研究を進めているんだ」、と知って心強さを感じる場面もありました。

学会の合間には現地のレストランや観光地にも足を運び街の雰囲気や現地での交流を楽しみました。お店では注文に手間取っている私に対して、店員さんはゆったりとした英語で丁寧に対応してくれました。焦らずに待ってくれるその小さな優しさに救われ、「つたない英語でもちゃんと伝わる」という自信を少し持つことができました。こうした日常でのやり取りも、国際学会に参加することで得られる大切な学びの一つなのかもしれません。

四日目の夜に開催されたGala Dinnerでは歴史ある建物での豪華なポルト料理と音楽に囲まれ、研究者同士の距離がぐっと縮まる雰囲気を体感しました。会場では和やかな歓談や交流が続き、普段はなかなか接点のない方々とも親しく話すことができました。そして最後には、次回FOA16の開催地が日本に決定したことが発表されました。まだ参加できるかはわかりませんが、三年後の自分の姿や成長を想像しながら、どのように研究を進めていくかを考える貴重な機会となりました。



図３　コーヒーブレイクでの歓談



図４　Gala Dinner会場

5. 国際学会参加を通して

学会全体を通して印象的だったのは、国内学会と比べて研究テーマのトレンドが大きく異なっていたことです。講演では基礎研究や理論に加え、吸着現象を活用したプロセスに関する発表も多く、実用化や産業化にむけたモチベーションの高さを随所から感じ取りました。こうした国内外での情報を集めることの重要さを改めて認識するとともに、世界に通用する研究トレンドを把握し、自分の研究活動に反映させていきたいと感じました。

今回の学会参加で最も大きな収穫は、「自分の未熟さを痛感したこと」と同時に「挑戦する楽しさを知ったこと」です。英語力の不足や専門知識の浅さを突き付けられる場面も多々ありましたが、その悔しさが「より成長したい」という気持ちを強めました。また、世界中で同じテーマに情熱を注ぐ研究者の姿を目の当たりにし、自分の研究がその大きな流れの一部を担っていることにも気づきました。今後は基礎をより固めると同時に、積極的に国際交流の場に飛び込み、研究者としてさらなる成長を目指していきたいと考えています。この充実した一週間の経験は、研究の道を進むうえで大きな指針になると確信しています。

謝辞

最後になりますが、今回のFOA15への参加にあたり、多大なご支援をいただいた日本吸着学会、ならびに研究をご指導くださった児玉先生、大坂先生、辻口先生、藤原先生、また日々支えてくれた研究室の仲間達にこの場をお借りして改めてお礼申し上げます。この経験を糧に研究により一層励み、得られた学びを今後の成果として還元していきたいと思います。

信州大学大学院総合医理工学研究科
Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University Graduate School
杉山 泰啓
Yasuhiro Sugiyama

この度、第15回FOA（5月18日から5月23日）に参加し、ポスター発表を行いました。『Fundamental of Adsorption』、吸着科学の研究室に身を置く私からするとこんなにピッタリな名前の学会はないなと、5年前から参加に憧れておりました。高揚感と緊張のためか、会場に足を踏み入れたとき、鼓動は少し早かったように思います。

今回の旅はスペインのアリカンテから始まりました。私は学会が開催される数か月前から松本市を離れ、Joaquin Silvestre Albero先生の下、アリカンテ大学で研究生活を送っておりました。アリカンテはスペイン東南部のバレンシア州に位置しており、地中海に面したリゾート地として知られています。4月に入ると、「雨は終わった」と、研究室の皆が言い出し、それからは雨傘とは無縁で、地中海性気候のカラッとした陽気な空気を肌で感じる日々となりました。4月から海水浴をする人は、~~さすがにクレイジーな~~元気な人と呼ばれていましたが、既に半袖で過ごせるほどの気候でした。5月にはビーチに観光客が増え、真夏の湘南のような活気で、寒さが残る松本市とは対照的な光景が広がっていました。11時にはコーヒーブレイク、ランチは14時から1時間以上談笑しながら楽しむ。スペインのリズムを楽しみながら、FOAを心待ちにしていました。

開催日の数日前に、研究室から指導教員の二村先生、博士進学を決めた吉良彩花さん（M2）と和田茉美さん（M2）がアリカンテを訪れてくれました。アリカンテ大学の研究室を紹介したのち、旧市街のお気に入りの路地や、夕暮れの港を一緒に歩きました。スペインかぶれに見えないよう努めつつも、三人がこの街を気に入ってくれた様子に少し誇らしい気持ちになりました。（いつか是非FOAをアリカンテの地で開催してほしい!）“イベリコ”や“パエッリャ”で英気を養い、ポルトへ向かいました。フライト時間はたったの2時間。（国境をまたいでいるのに、松本–東京間よりも速いのではないか？）

私は色彩豊かなポルトの街並みや料理、そして飲みやすく軽やかな香りのワインに魅了されていました。特に、緑色のワイン「Vinho Verde」には驚かされました。ポルトの街を満喫したいというはやる気持ちを抑えることに必死でした。幸い、多少の塩気を含むポルトの川風は、自然と私の中の賑わいの熱を和らげ、本来の目的を思い出させてくれました。会場横の川岸で最後の発声練習を行ったことも良い思い出です（図1）。

学会のオープニングセレモニーは、視界に収まりきらないほどの大ホールで行われ、FOAの規模の大きさに圧倒されました。オーガナイザーのAlexandre Ferreira先生はポスターセッションやコーヒーブレイク中のコミュニケーションが博士課程の学生にとってどれだけ有意義であるかを話してくれました。知り合いを沢山作りたいと意気込んでいた私の背中を押してくれた気がします。「活性炭細孔中の水の構造」のトポロジー情報についての発表を行ったポスターセッションでは、Alexander Neimark先生やStefan Kaskel先生らとディスカッションし、自身の研究の発展性について有意義な助言をいただけました。「Very detail work!」と言われたときには、自身の研究が認められたような誇らしい気持ちになりました。また、MOF細孔内の水クラスター構造についてご研究されているMonique A. van der Veen先生とも議論ができたことは非常に有意義でした。2024年に彼女が水のクラスター構造に関する論文を発表した際に、漠然と「FOAで会えると良いな。」と思っていました。発表



図1　発声練習を行った会場横のドゥエロ川。

プログラム中に彼女の名前を見つけたときに嬉しく思ったことを覚えています。このように、国際学会は論文や教科書の著者である先生方と実際に討議ができる場でもあるのだと実感することができました。

一方で、受け身になってはいけないと、気になった内容には自ら発表者に声をかけてみました。緊張で相手に私の質問の意図を正しく伝えられたかはわかりませんが、国際学会デビューを果たした気持ちでいっぱいになりました。ポスドクや博士課程を日本で過ごした海外研究者の方も2、3人いて、会話が弾みました。ただ、会話後に名刺を渡していないことに気が付きましたが、後の祭りでした。またどこかの学会で、その方とお会いした際に、「Great to see you again!」とフレンドリーに声をかけることを楽しみにしております。

憧れていた『FOA』は名前に違わず、吸着分野に基礎を置く学術そして応用分野における国際学会であったと感じました。そして私にとっては、自身の研究を様々な視点から見つめなおす非常に良い機会となりました。このような貴重な機会や経験は、研究を指導していただいた二村先生や飯山先生、研究室の仲間たち、そして会場でお世話になった先生方のおかげであります。ならびに、参加を支援してくださいました日本吸着学会に心より感謝申し上げます。得られた学術的な手応えと新しいご縁は、今後の学会発表や投稿で還元してまいります。（余談ですが、大西洋は風が強く、誤って口に入った塩水は意外に飲みやすかったです。訪れる機会があれば、ぜひ風だけでも味わってみてください。）

信州大学大学院総合医理工学研究科
Graduate school of science and technology, Shinshu university
横山　赳
Takeru Yokoyama

今回、日本吸着学会から支援をいただいてポルトガルのポルトで開催されたFOA15に参加させていただきました。ここでは学会を通して得た貴重な経験を少しでも皆様に共有させていただきます。そして、まだ国際学会に参加したことがない方に国際学会にチャレンジしてみたいと思っていただけたら幸いです。

今回のFOA15は私にとって昨年フロリダで開催されたCPM9に続いて2回目の国際学会ではありましたが、初のヨーロッパ、そして何より初の英語での口頭発表ということもあり出発前からかなり緊張していました。その分発表練習も充分に行い、ある程度自信をもって学会に臨みました。5/15の夜に成田空港を出発し、ワルシャワで乗り継ぎポルトガルの首都リスボンに到着しました。そこで1日観光をしました。見える景色や家の色、作りなどが日本のそれとはまったく異なっており、初めてのヨーロッパに感動しました。ロカ岬というユーラシア大陸最西端に行ったときは景色が非常に綺麗でした。崖の先まで写真を撮りに行き、飯山先生方に置いて行かれそうになったのはいい思い出です。その後、列車に乗って会場のあるポルトに到着しました。現地ではアパートメントを借りて指導教官の飯山先生、二村先生と豊橋技術科学大学の松本先生、産業技術総合研究所の遠藤先生、大阪大学の上田先生といった錚々たる先生方とご一緒させていただき、様々なことを勉強させていただきました。

学会が始まり、「数日後には発表者としてあの壇上に立つんだ」という気持ちで発表を聴きながら、もし私が発表者なら…とシミュレーションをしていました。しかし、何ということでしょう、質疑応答での英語が聞き取れません。聞き取りやすい方もいましたが、8割くらい何を言っているのかさっぱりでした。幸いなことに私の発表は4日目で時間はまだあったので必死になって発表練習と質疑応答の準備をさらに行いました。同じアパートメントの方々は二村先生と私を除いて学会2日目までに発表が終了していました。そのため、先生方や研究室の後輩はポルトの料理や景色、3日目に行われたExcursionも心から楽しまれているように見えました。私は緊張と不安のため心ここにあらずな状態で、どんなにおいしいワインを飲んでも、思い出すのは発表の原稿だけでした。

発表当日にはこれまでの練習と先生方のアドバイスのおかげで自信を取り戻すことができ、無事（飯山先生の評価）発表を終えることができました。質疑応答では1つは完璧に答えることができましたが、1つは（聞き取れましたが）答えることができず、発表後に飯山先生と一緒に質問者で座長のPeter Ravikovitch氏とディスカッションをしていただきました。その方以外にも様々な研究者と研究についてディスカッションができて本当にうれしかったです。この日の夕飯のGala Dinnerで飲んだワインは本当においしかったです。

ここからはFOA15の期間で食べた料理でおいしかったものを紹介していこうと思います。これにより国際学会へのモチベーションを高めていただければと思います。

1品目はポルト市のBACALHOEIROでいただいた特産品のタラを使ったプレートとタコの酢の物です。写真手前の揚げ物は干しタラのコロッケです。ポルト

ガルではタラを塩漬けにして干したもの（Bacalhau, カリャウ）を使った料理がたくさん出てきます。バカリャウはポルトガル人のアイデンティティの1つらしいです（ポルトガルのPh. D.の方に聞きました）。外はサクサクで中はふわふわとした食感で塩加減もちょうどよく食べやすかったです。タコは日本で食べる味付けと近く、タコ自体の質も高くておいしかったです。



学会期間で最もおいしかったのは松本先生、遠藤先生、上田先生に宿で作っていただいたパスタです。御三方とも手際が良く、トマト缶を開けるぐらいしかお手伝いできませんでした。お金を払っても食べられるものではない、一生の思い出です。



最後に、このような貴重な体験の機会を与えてくださり、研究を指導していただいた飯山先生、二村先生、研究についてたくさんご助言いただいた上田先生に心から感謝申し上げます。学会中にお世話になりました松本先生、遠藤先生、FOA15の参加に対して援助していただきました日本吸着学会に改めて御礼申し上げます。

信州大学大学院 総合医理工学研究科
Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu university
久保　圭
Kei Kubo

フランスのsaint-maloにて6月29日から7月4日まで開催された“the world conference on carbon 2025”（以降Carbon2025）へポスター発表で参加しました。訪れた初日と2日目は33℃前後と暑いのに対し、3日目以降は20℃前後の肌寒い日が続きました。初日の暑いうちに長崎大学の先生方と大塚先生、Radovan先生と一緒に海岩散歩を楽しみました（漢字を間違えたわけではなく、写真を見ていただきたい）。研究者たるもの体力が大切であり、先生方はスタスタと進んで行く中、私は後の方を歩き、私の体力のなさが明白となりました。



図1…海岩散歩
（矢印に沿って海を渡り、岩場を超えて城壁まで歩きました！）

学会では、友人をつくることを今回の目標として挑みました。意気込んではいたものの、既にグループがいくつかあるようで、話しかけるのにかなり緊張しました。ウェルカムパーティーではCNRS（le Centre national de la recherche scientifique）のArunさんとAshishさんと軽い自己紹介とお互いの研究について話し、お互いの発表日について確認し合いました。さらに、PBAST-9で私の発表を聞いてくれたKimさんに再会しました。

2日目以降のコーヒーブレイクでも話しかけるように頑張りましたがなかなか難しく、Université de ToulouseのSara先生やElieさんにはポスター発表を聞き質問する形で話しかけました。

学会中に大塚先生には多くの御友人をご紹介いただき、中でもFranciscoさんとMariusさんとはエクスカーションも一緒に巡りました。好きな日本文化や趣味のことなどを話しました。

自身のポスター発表には、幸いにもたくさんの方々が聞きに来てくださり、とても嬉しかったですし、待ち時間なく過ごせたのでありがたかったです。聴衆の20%前後は自分から話しかけて学会中に仲良くなった方々だったので、聞いてもらえるように頑張れたかな

と思う反面、聴衆の50%以上は大塚先生の友人の方々だったので、次回は自力でより多くの聴衆に自身の研究への関心を獲得しないといけないなと課題として感じました。

バンケットではKimさんとご友人のTorinさんと一緒に席に座り、途中からMariusさんも合流して、食事を楽しんだり、お互いのことを話したり、写真を撮ったり楽しく過ごしました。

バンケットの後にはダンスパーティーがあり、日本では味わえない文化で驚きっぱなしでした。私はダンスに自信がなかったので、インド人のArunさんとAshishさんにダンスを教えてもらい、見様見真似で、必死に踊りました。どの曲がどの国を表しているかは詳しくはわかりませんでしたが、様々な国の曲が流れていたようです。インドの曲がかかると、Arunさんと Ashishさんは踊りに踊り、会場は大盛り上がりでした。そこから、ステップ主体のダンスや社交ダンスなどいろんなダンスを踊りました。おそらく1〜2時間ずっと踊りっぱなしだったのですが、もう体感としては10分前後くらいでして、楽しいひと時でした。

学会全体を通し、英語に関して、まだまだ表現できることの幅が少なく全てをそのまま正確に伝えられるだけの力がないととても実感したので、これからも鍛錬に励みます。



図2…学会会場の様子



図4…ダンスパーティー



図3…バンケットの様子



図5…ポスター発表

最後になりますがこのような貴重な体験を得ることができたのは、研究を指導いただいていた大塚先生および金子先生のおかげであり、共著者の先生方の協力があったからです。また、支援援助いただいた日本吸着学会様にもこの場をお借りして御礼申し上げます。今回の経験を活かし、今後も試行錯誤しながら研究を進め、学術の進歩に努めます。

関連学会のお知らせ

膜シンポジウム 2025 “膜を究める” のお知らせ

「膜シンポジウム 2025」を下記の要領で開催いたします。本年度の主題は “膜を究める”とし、人工膜・生体膜・境界領域における膜の研究者が深く議論し合うことで、“膜学”をさらに発展させることを目的とします。本会の理念である人工膜・生体膜・境界領域の融合を目指し、膜に関連する研究者・技術者が一堂に会して、多様な視点から活発に意見を交換し合う場にしたいと考えています。皆様奮ってご応募下さい。詳細は膜学会ホームページにてお知らせします。

記

開催日程：2025年 11月 27日㈭～ 28日㈮
開催方式：対面開催
会　　場：関西大学 100周年記念会館
（〒 564-8680　大阪府吹田市山手町 3丁目 3番 35号）
https://www.kansai-u.ac.jp/ordist/symposium/news/map100.pdf
主　　催：日本膜学会
協　　賛：（予定を含む）化学工学会、高分子学会、触媒学会、日本ゼオライト学会、日本イオン交換学会、日本化学会、日本化学連合、日本海水学会、日本吸着学会、日本 DDS学会、日本分析化学会、日本水環境学会、日本薬学会、日本薬剤学会、日本薬物動態学会
後　　援：日本生物物理学会
ウェブサイト：https://www.maku-jp.org/conference/category/FvN5EGcA
参加登録：
・参加者は、参加登録が必要です。下記ウェブサイトからご登録・お支払いください .
https://2025sympo.peatix.com/
・事前参加登録および支払期間は下記の通りです。
第 1 次事前参加登録および支払期間：2025年 9月 1日㈪～ 9月 30日㈫
第 2 次事前参加登録および支払期間：2025年 10月 1日㈬～ 11月 17日㈪
・2025年 11月 18日㈫以降の参加申し込みは、当日受付にて受け付けます。参加登録料は、当日参加登録料になります。お支払いは現金のみになります。
参加登録料：（主催団体は主催団体の個人会員および法人会員の社員、協賛・後援学会員は協賛・後援団体の個人会員に限ります。詳細はウェブサイトをご覧下さい）
・第 1 次事前参加登録料：主催団体・協賛・後援学会員：9,000円（不課税）、学生 5,000円（不課税）、
法人参加登録（5名まで参加可、法人会員の企業様に限ります）35,000円（不課税）、
非会員：27,500円（税込）
・お支払完了後の取消しおよび返金はいたしません。
・事前参加登録者は、当日受付にお越し下さい。参加登録証と領収書をお渡します。
プログラム：2025年 10月 18日㈮公開予定
要 旨 集：
・2025年 11月 14日㈭公開予定。
・事前参加登録費の入金が確認された方には、閲覧のための ID、パスワードをご連絡します。
・要旨集冊子体は発行しません。

・膜シンポジウム 2025終了後、要旨集 CD版を 10,000円（税別）で販売します。

懇　親　会：

・**日時**：2025年 11月 27日㈭プログラム終了後

・**会場**：関西大学 100周年記念会館

・**会費**：7,000円（事前参加登録。11月 17日㈪までに下記からお申し込み下さい。）
https://2025sympo.peatix.com/
9,000円（当日受付。11月 18日㈫以降は当日受付になります。）

実行委員会

実 行 委 員 長：田中俊輔（関西大学）

実行副委員長：須丸公雄（産業技術総合研究所）

問 合 せ 先：日本膜学会事務局　〒 113-0033　東京都文京区本郷 5-26-5-702
E-mail：membrane（at）mua.biglobe.ne.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。

（令和 7年 10月現在、50音順）

株式会社アドール
株式会社アントンパール・ジャパン
エア・ウォーター株式会社
MHIソリューションテクノロジーズ株式会社
大阪ガス株式会社
大阪ガスケミカル株式会社
オルガノ株式会社
関西熱化学株式会社
株式会社キャタラー
株式会社クラレ
栗田工業株式会社
興研株式会社
株式会社重松製作所
システムエンジサービス株式会社
株式会社島津製作所
水ｉｎｇ株式会社
株式会社西部技研
大陽日酸株式会社
株式会社タカギ
月島環境エンジニアリング株式会社
帝人ファーマ株式会社
東ソー株式会社
東洋紡株式会社　総合研究所
ニチアス株式会社
日本ガイシ株式会社
富士シリシア化学株式会社
フタムラ化学株式会社
マイクロトラック・ベル株式会社
三菱重工業株式会社
株式会社レゾナックユニバーサル

編　集　委　員

委員長　松田亮太郎（名古屋大学）

委　員　瓜田　幸幾（長崎大学）
日下　心平（名古屋大学）
田中　俊輔（関西大学）
山根　康之（大阪ガスケミカル）
大坂　侑吾（金沢大学）
坂本　裕俊（京都大学）
永石新太郎（北海道大学）
吉田　将之（マイクロトラック・ベル）
（五十音順）

Adsorption News Vol. 39 No. 3（2025）通巻 No. 154 2025年 10月●日発行

事務局　〒162-0801　東京都新宿区山吹町 358-5アカデミーセンター
Tel：03-6824-9370　Fax：03-5227-8631　E-mail：info@j-ad.org
編集長　松田亮太郎（名古屋大学）
編　集　大坂　侑吾（金沢大学）
瓜田　幸幾（長崎大学）
日本吸着学会ホームページ　https://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)
Academic Center, 358-5, Yamabuki, Shinjuku, Tokyo, 162-0801, JAPAN
Tel：03-6824-9370　Fax：03-5227-8631　E-mail：info@j-ad.org

Editorial Chairman
Professor Ryotaro MATSUDA, Nagoya University
Editor
Associate professor Yugo OSAKA, Kanazawa University
Associate professor Koki URITA, Nagasaki University

Home Page of JSAd：https://www.j-ad.org/

本誌に記載された著作物を許可なく複製・公開することを禁ずる。
© 2025 The Japan Society on Adsorption