

# Adsorption News

Vol. 35, No. 1 (April 2021)

通巻 No.136

## 目 次

- 巻頭言…………… 2  
「コロナ禍での会長就任にあたり」 森口 勇
- 令和2年度日本吸着学会学会賞…………… 3
- ホットトピックス…………… 4  
「HFO 冷媒を用いた吸着式冷凍機の開発」 江崎 丈裕
- 大学院生研究奨励賞受賞研究報告……………11  
「複合型ソフト多孔性錯体の創製と界面特性理解に  
立脚した吸着特性制御手法の開発」 藤原 篤史
- 吸着基礎セミナー「吸着等温線の解析の実際」開催報告…16
- 会員探訪……………18
  - ・大分大学理工学部共創理工学科応用化学コース 近藤研究室
  - ・大阪ガスケミカル株式会社 活性炭事業部
- 関連学会のお知らせ……………21
- Adsorption News 総索引  
～その2：2003年 Vol. 17 から 2020年 Vol. 34 まで～…25
- 維持会員一覧……………35

日本吸着学会  
The Japan Society on Adsorption

## 巻頭言

### コロナ禍での会長就任にあたり

長崎大学総合生産科学域（大学院工学研究科） 森口 勇



新型コロナウイルス感染症のパンデミックにより、世界中で社会活動が制限され、生活様式も大きく変わり・・・と、最近は何かにつけ耳にするフレーズ。しかし1年経っても状況は変わらない、今後の見通しもはっきりしない。このようなコロナ禍ど真ん中？で会長をお引き受けし、巻頭言を書くことになりました。久しぶりの巻頭言執筆依頼を受け、さて何を書こうかと思ひ、最近ほとんど目を通していなかった（すみません・・・）Adsorption Newsを開いたところ、松田亮太郎先生（名古屋大学）や関 健司副会長（大阪ガスケミカル株）がVol. 34の巻頭言にてコロナ禍での学会様式や学会発イノベーション創出に関する提言をなされ、前向きになる大変良いことをお書きにされていました。従って、またコロナ禍をネタにすることは憚れますが、会長としての考えや方針を示すのが本稿の位置づけであるならば、置かれている社会状況を踏まえざる得ないため、聞き飽きた内容を多少記載すること、ご寛容頂きたい。

さて、with コロナにおいて、また post コロナに向けて、日本吸着学会は何をすべきか？ どうあるべきか？ 今年、この命題を皆さんと一緒に考え、試行錯誤しながら挑戦する1年であればと考えています。1年前は新型コロナウイルス感染症に関する情報が少なく社会活動がマヒするなどの混乱が生じましたが、現在はまだ予断を許さないものの、マスク着用、換気、ソーシャルディスタンスの確保、手指消毒等の感染予防対策を行うことで、ある程度のイベントができるようになってきました。大学においても、それらの感染予防対策を十分に講じて、対面形式での授業や卒業式等が実施されるようになってきました。一方で、オンライン会議、オンライン授業、オンライン飲み会など、対面での開催が主流、あるいは当然と思っていたものがオンラインを利用して半強制的にでも行われ、今や定着しつつある。私を含めて、食わず嫌いであったと気づかされた人も少なくないであろう。

そのような状況の変化により、いくつかの学会が研究発表等のイベントをオンラインで開催するようになり、日本吸着学会においても松本明彦前会長のもと、上田貴洋企画担当理事（運営委員会委員長）や飯山

拓総務担当理事ら関係者のご尽力により吸着基礎セミナー（2021年1月）や総会（2021年3月）をオンラインで開催してきています。まだ当面は新型コロナウイルス感染症の影響は収まらないであろうとの専門家の意見がある中で、可能な手段で学会活動を継続し、少しずつでも活発化できるように工夫できればと思っています。

私事ですが、昨年秋より大学の教学担当理事を命ぜられ、コロナ感染防止対策のみならず、コロナ禍での大学教育の在り方を真剣に考えざる得なくなりました。国立情報学研究所のオンラインのサイバーシンポジウムにてコロナ禍での各大学の取り組みや工夫に関する情報共有を行い、これまで主流であった対面授業をオンラインで代替して教育を継続してきたが、いつの間にか、いやいや授業科目等によってはオンラインの方がより教育効果が高い、といった新たな気づきも示されるようになりました。また大学間や学部間等、それぞれの垣根を超えた議論が活発化し、多くの教員が一緒になって大学教育の在り方を考えています。このような過程で、“コロナの影響で social distance は広がったが、academic distance は縮まった”とうまい事？云われる方も居られました。ただ一方で、学生同士、学生と教員や大学の距離はどうか、これを忘れての議論は本末転倒であろうとも思っている次第です。学会においても然りであろう。日本吸着学会がこれまで築いてきたアットホームな雰囲気、多様な会員の密な付き合いは大切にしていきたいものである。

氏名 森口 勇

所属 長崎大学 理事（教学担当）

長崎大学 総合生産科学域（工学系）教授（兼務）

略歴 1988年3月 九州大学大学院工学研究科  
修士課程修了

1988年4月 長崎大学工学部 助手

（1997 米国 Clarkson 大学客員研究員）

1999年7月 長崎大学工学部 助教授

（2001～2005 JST さきがけ研究員）

2006年6月 長崎大学 大学院工学研究科教授

2020年10月 現職

# 令和2年度日本吸着学会学会賞

## 奨励賞

受賞者：稲垣 怜史 氏（横浜国立大学大学院工学研究院）

受賞対象研究：規則性多孔質材料の親疎水性制御による高機能化

### 受賞理由：

ゼオライトに代表される規則性多孔体は、吸着材、触媒、イオン交換材など社会基盤となる産業分野で欠かすことのできない機能性材料である。稲垣氏は、過酸化水素によるフェノールの酸化に高い活性を示すチタノシリケート Ti-MCM-68 に注目し、加熱処理によるその疎水化の度合いを水蒸気吸着等温線での水の吸着量で規格化できることを見出し、Ti-MCM-68 ではミクロ孔内の反応場の疎水化がこの反応での転化率の向上に寄与することも明らかにした。さらに、MCM-68 と同一のトポロジーをもつ YNU-2 では、水蒸気処理によってシリケート骨格内の site defect の位置を制御できることを見出し、ポスト処理による Ti 活性点の配置の制御を実現した。YNU-2 のミクロ孔の交差点に site defect を集合させることで、ミクロ孔内に局所的に親水的な反応場を構築できることも明らかにした。

また、規則性メソポーラスカーボンの電気二重層キャパシタ電極への適用についても研究を行った。Ni 触媒によって partial graphitization したカーボン電極を作製し、従来の多孔質炭素電極に比べて高い比容量（表面積当たりの容量）を発現させた。水蒸気吸着等温線の解析より、その細孔表面は親水的であり、細孔表面に graphite domain の edge 面が露出していることが高比容量の要因であることを示した。

水分子の吸着特性により規則性多孔体の細孔表面の親疎水性を評価し、触媒性能や電極性能の要因を明らかにした同氏の一連の研究は学術的に高い価値があり、日本吸着学会奨励賞を授与するにふさわしいものである。

## 奨励賞

受賞者：佐藤 弘志 氏（東京大学大学院工学系研究科）

受賞対象研究：特異吸着機能を示す刺激応答性多孔体の創製

### 受賞理由：

金属-有機構造体（MOF）の機能開発に関する研究が活発化しているが、その中であって佐藤氏は、主として刺激に応答する新規 MOF の創製について研究を行ってきた。

ゲスト応答細孔を有する MOF に関して、銅二核錯体とイソフタル酸誘導体からなる MOF において  $\text{Cu}^{2+}$  への CO の配位が細孔の構造変化を誘起し、CO の内部拡散を促進する一方で  $\text{N}_2$  の吸着を阻害する機構を解明し、結果として CO/ $\text{N}_2$  混合ガスからの高選択的 CO 分離を実現した。また、巨大なヒステリシスを伴う多段階吸着が発現するナノグラフェン部位を含む新規 MOF や溶媒吸着に伴って段階的な剥離現象を示す 2 次元性 MOF も開発した。

一方、光応答性細孔を有する MOF については、高反応活性種前駆体を細孔表面に導入し、光照射によって望みのタイミングで活性化できる多孔体を開発し、 $\text{O}_2$  や CO の不可逆的オンデマンド吸着を初めて実現した。ジアリールエテン誘導体部位を含む新規 MOF において、結晶中で定量的に光異性化反応を進行させ、 $\text{CO}_2$  吸着への光照射の影響を X 線構造解析からも明らかにした。また、[2 + 2] 光環化反応やアゾベンゼンの cis-trans 異性化が吸着特性に与える影響を調べ、光化学反応と吸着機能との関係を定量的に解明した。

特異的な吸着機能を示す新規 MOF 創製に関する同氏の一連の研究は学術的に高い価値があり、日本吸着学会奨励賞を授与するにふさわしいものである。

# ホットピックス

## HFO 冷媒を用いた吸着式冷凍機の開発

### Development of Adsorption refrigerator with Hydrofluoroolefin refrigerant

福岡大学工学部化学システム工学科  
Department of Chemical Engineering,  
Faculty of Engineering, Fukuoka University

江崎 丈裕  
Takehiro Esaki

#### 1. はじめに

地球温暖化やエネルギーセキュリティの観点からエネルギー変換技術や有効活用システムの開発・改善が進められている<sup>1)</sup>。日本の気候変動や物流の発展により冷熱に関する消費エネルギー量は増大していくと考えられる。冷熱需要は家庭用の空調をはじめ、移動体の空調や工業プロセスの冷凍・冷却セクションと多岐にわたる。今後のわが国でのエネルギー消費量を考慮すると冷凍機の効率改善が必要になる。

吸着式冷凍機は、電力を利用した機械圧縮式冷凍機（エアコン）とは異なり、熱水で駆動する<sup>2)</sup>。そのため、プロセス排熱をカスケード利用し、空調用のエネルギーを低減することが可能である。図1に吸着式冷凍機の運転図を示す。吸着式冷凍機は吸着・脱着過程で駆動する。吸着過程では、蒸発器から冷媒が蒸発し、吸着材に吸着する。同時に蒸発器は冷熱を得る。吸着平衡に到達後、熱源とバルブを切り替えて脱着過程に移行する。温水は吸着器に供給され、脱着した冷媒は凝縮器へ移動する。吸脱着過程を連続的に繰り返すことで冷熱を供給する。吸着式冷凍機の冷媒と吸着材は、実用例も含めて多くの組み合わせが検討されている<sup>3)</sup>。

冷媒は水、アンモニアやエタノールの自然冷媒が利用されており、吸着材はゼオライト、シリカゲルや活性炭が用いられる<sup>4)</sup>。さらに、従来の材料よりも高比表面積かつ規則性の高い金属有機構造体（MOF）も吸着材として着目されている<sup>5)</sup>。ゼオライトやシリカゲルは、低温度熱源（60℃～）にて、水蒸気を脱着することが可能であるため、工業プロセスにおける冷凍機の吸着材として活用されており、水系吸着式冷凍機は熱のカスケード利用技術として高い省エネルギー効

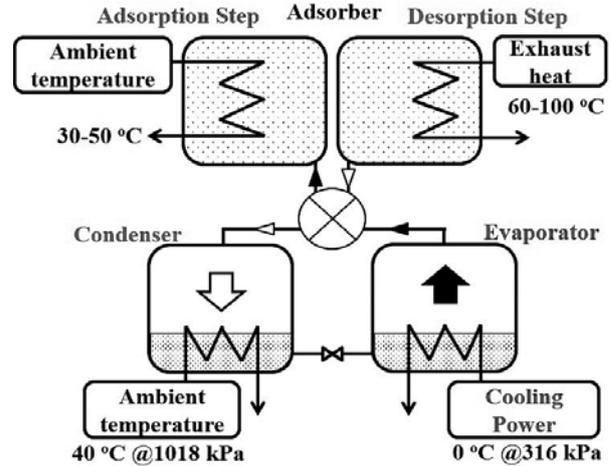


図1 吸着式冷凍機の概略図

果が期待されている<sup>6)</sup>。活性炭は、アンモニアやエタノール冷媒の吸着材として検討されており、賦活手法によりマイクロ、メソ孔の細孔制御を可能とし、多彩な吸着特性を有する材料開発が進められている<sup>7)</sup>。特にアンモニア冷媒では、ハロゲン化合物塩を活性炭に担持することで、繰り返し特性を有しながら高いアンモニア吸着特性を有する材料開発が進められている<sup>8)</sup>。また、近年では有機合成手法を駆使したMOFを合成することで、任意の圧力で水蒸気を多量に吸着する材料開発が行われている。実用化されれば、高い吸脱着性能および低温度での脱着が可能となり、冷凍機としての革新的な性能向上が期待できる<sup>9)</sup>。

吸着式冷凍機での駆動可能な温度条件やその駆動特性は冷媒と吸着材の組み合わせに大きく依存する。例えば、水冷媒は燃焼性を有しない冷媒であり、蒸発、凝縮潜熱が大きいことがメリットである。ゼオライト吸着材は低相対圧にて吸着量が急激に立ち上がるため、低温度の冷房熱が供給可能である。活性炭は細孔容量が大きく、疎水性細孔特性を有するため、高相対圧で吸着量が大幅に立ち上がる。そのため、活性炭はゼオライトと比較して、低温度で脱着運転が可能になる。一方で、冷媒の流動性が保てない温度、つまり氷点下での駆動や冷凍熱を供給することは難しい。アンモニア冷媒は、自然冷媒の中では潜熱が大きく、活性炭を吸着材として利用すると低相対圧から吸着量が得られる。しかしながら、高い熱源温度が必要であることや高圧冷媒であるため、実用化の検討例が少ない。

本研究では、代替フロン冷媒であるハイドロフルオロカーボン、ハイドロフルオロオレフィン（HFC, HFO）冷媒に着目した。HFC, HFO冷媒は従来の機械圧縮式冷凍機に利用されている冷媒である<sup>10)</sup>。HFO

冷媒は HFC 冷媒と比較し、地球温暖化係数 (GWP) は十分に小さく、環境親和性が高いため HFC 冷媒からの置き換えが進められている。特に HFC-134a 冷媒 (1, 1, 1, 2-テトラフルオロエタン) はカーエアコン、家庭用冷蔵庫や工業プロセスでの冷凍機と幅広く利用されているが、GWP は 1430 (CO<sub>2</sub> の GWP 値は 1) と極めて高く、早急な代替冷媒の置き換えが望まれている。HFC-134a 冷媒と比較し HFO-1234yf 冷媒 (2, 3, 3, 3-テトラフルオロペンタン) は GWP 値が 4 以下と小さく、HFC-134a 冷媒とほぼ同等の熱物性を示すため、HFC-134a 冷媒からの置き換えが進められている<sup>11)</sup>。

我々の研究グループはこの HFO-1234yf 冷媒を用いた熱駆動型冷凍機を開発することで、低温熱源の有効利用、さらに機械圧縮式冷凍機と複合化することで、冷凍機としての革新的な性能向上を目指している。今回は HFO-1234yf 冷媒を用いた吸着式冷凍機の開発例を紹介する。HFO-1234yf 冷媒を十分に吸着する材料を選定し、吸着等温線を実測した。得られた吸着等温線より、吸着式冷凍機の平衡駆動特性を評価し、システムや吸着材の開発方向性を検討した。

## 2. 実験手順

本研究を進めるにあたり、HFC-134a, HFO-1234yf 冷媒と吸着材の吸着等温線を実測した。吸着等温線を測定した実験装置の概略図を図 2 に示す。実験手法は定容量法を用いた。実験装置の主な構成は、ガスボンベ、ガスチャンバー、吸着セルと恒温槽である。各機器には、圧力センサと白金測温抵抗体を設置し、圧力

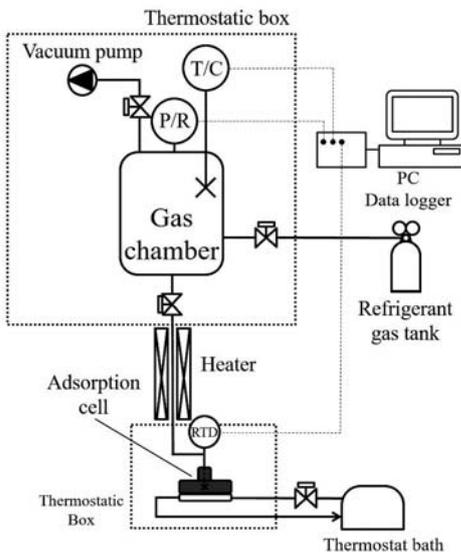


図 2 実験装置の概略図



図 3 吸着セルと吸着材 (Maxsorb III)

と温度の測定が可能である。冷媒は HFC-134a, HFO-1234yf (純度 99.5% 以上、Honeywell 社製) を用いた。吸着材は 2 種類の活性炭 MaxSorb III (関西熱化学社製)、CNovel™/MH-00 (東洋炭素社製)、メソポーラスシリカ・TMPS-2 (太陽化学社製) と MOF-177 (Basolite Z377, シグマアルドリッチ社製) を用いた。活性炭はマイクロ、メソ孔が発達している材料 2 種類を選定した。また、活性炭と異なり親水性の高いメソポーラスシリカ、活性炭と同等の細孔容積を有し、規則性の高い有機金属構造体 (MOF) を比較のため選定した。

吸着セルに十分に加熱脱気した吸着材を 1.0 g 充填した (図 3)。ガスチャンバーと吸着セルを連結し、十分に真空脱気した後、恒温槽を用いて所定温度に設定した。吸着セルのバルブを閉め、ガスチャンバーに冷媒ガスを供給し、ガスチャンバーを所定の圧力に設定した。吸着セルのバルブを開けると、吸着現象によりチャンバー内の冷媒ガス量が減少し、チャンバー内の圧力が低下する。圧力変動が十分に小さくなった状態を吸着平衡とした。計測した圧力と温度、チャンバーと吸着セルの容積から冷媒ガスの重量変化を算出した。冷媒ガス重量を算出するために高压系での実在気体状態方程式で利用される Peng-Robinson 式を用いた。式(1)-(5)に Peng-Robinson 式を示す。初期のガス重量と吸着平衡時のガス重量から吸着材重量当たりの吸着量(6)を算出した。

$$P = \frac{R_g T}{v - b} - \frac{a}{v^2 + 2bv - b^2} \quad (1)$$

$$a = 0.45724 \frac{R_g T_c^2}{P_c} \left\{ 1 + m \left( 1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

$$b = 0.07780 \frac{R_g T_c}{P_c} \quad (3)$$

$$m = 0.37464 + 1.54226 \omega - 0.26992 \omega^2 \quad (4)$$

$$\omega = -\log_{10}\left(\frac{P^s}{P_C}\right)\bigg|_{T_r=0.7} - 1.0 \quad (5)$$

$$q = \frac{(V_{chamber} + V_{cell})}{\Delta v} \cdot M_{refrigerant} / g_{Ads} \quad (6)$$

$P$  は冷媒ガス圧力、 $R_g$ 、 $T$  は気体定数と温度、 $T_c$  や  $P_c$  は冷媒の臨界温度、圧力である。 $P^s$  と  $v$  は冷媒の飽和圧力と容積中の冷媒モル質量である。 $q$  と  $g$  は吸着量と吸着材重量である。 $V$  と  $M$  は容器体積と冷媒ガスの分子量である。 $a$ 、 $b$ 、 $m$  と  $\omega$  は Peng-Robinson 式のパラメータである。冷媒の臨界温度、圧力値は REFPROP プログラムより引用した<sup>12)</sup>。マイクロ孔を有する活性炭では実験で得られた温度、圧力条件での吸着量から Dubinin-Astakov 理論<sup>13)</sup>を用いることで吸着量の推測を行った。Dubinin-Astakov (D-A) 式(7)、(8)を以下に示す。

$$C = \frac{W_0}{V_m} \exp\left[-\left\{\frac{R_g T}{E} \ln\left(\frac{P^s}{P}\right)\right\}^n\right] \quad (7)$$

$$V_m = V_i \exp(\alpha(T - T_i)) \quad (8)$$

$C$  は平衡吸着量、 $W_0$  は吸着材のマイクロ細孔容積、 $V_m$  は吸着時の冷媒占有体積、 $E$  は特性吸着自由エネルギー、 $n$  は吸着材-吸着質に固有値である。 $V_i$ 、 $T_i$  はそれぞれ三重点における冷媒の体積、温度であり、 $\alpha$  は熱膨張係数である。パラメータ  $W_0$ 、 $E$ 、 $n$  の値を測定結果とのフィッティングにより決定した。また、各温度で得られた平衡吸着量より吸着熱を Clausius-Clapeyron 関係式(9)から算出した。吸着熱は、吸着量が一定状態での平衡圧力と温度の関数である。

$$Q_{ad} = -R_g \left(\frac{\partial \ln P}{\partial (1/T)}\right)_c \quad (9)$$

さらに、D-A 式により推測される平衡吸着量を計算することで、吸着式冷凍機での駆動温度条件で利用される平衡吸着量差を算出することが可能になる。得られた吸着等温線より駆動線図を作成し、駆動温度条件での性能挙動を予測した。また、活性炭とは異なる細孔特性を有する吸着材で吸着量を測定し、吸着式冷凍機の駆動特性を推測した。

### 3. 実験結果および考察

HFC-134a、HFO-1234yf 冷媒と Maxsorb III の吸着等温線を図 4(a)と(b)に示す。実験で得られた吸着量から推測した D-A 式での推測線と実験結果との誤差(図 4(c))も示す。また、D-A 式で得られたパラメータを表 1 にまとめる。得られた吸着等温線より、大気圧以下の低圧領域から吸着量が立ち上がり、活性炭重量より 1.8 倍近くの冷媒を吸着するポテンシャルがある。特に 300 kPa 程度(両冷媒の 0°C 相当の飽和蒸気圧力)でも、環境温度(20–40°C)においては 1.3 kg/kg 以上の高い吸着量が得られていることがわかる。

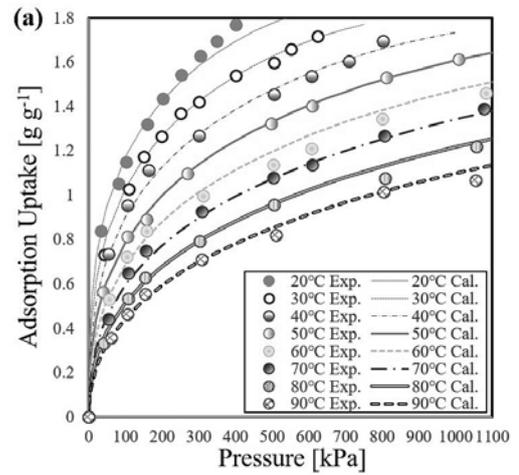


図 4(a) HFO-1234yf 冷媒と Maxsorb III の吸着等温線

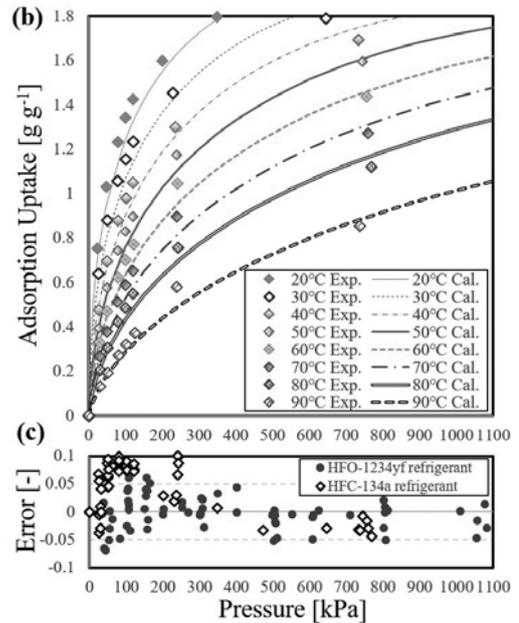


図 4(b)、(c) HFC-134a 冷媒と Maxsorb III の吸着等温線と実験結果と D-A 式による推測線と実験結果との誤差

表1 D-A式フィッティングパラメータのまとめ (Maxsorb III)

	HFO-1234yf	HFC-134a
$W_0$	1.7925 [cm <sup>3</sup> /g]	
$n$	1.177 [-]	1.162 [-]
$E$	8.640 [kJ/mol]	7.262 [kJ/mol]

HFC-134a 冷媒は HFO-1234yf 冷媒と比較して分子径が小さい。そのため、HFC-134a 冷媒は低圧領域の吸着量の立ち上がりが大きいたことがわかる。ただその差は微小であり、両冷媒における吸着等温線の挙動はほぼ変わらないことがわかる。そのため、HFO-1234yf 冷媒のような GWP の小さい冷媒でも活性炭を用いることで高い吸着量が得られることがわかる。また、D-A 式でフィッティングした推測線では、実験結果を再現できるような結果が得られており、フィッティングパラメータの妥当性を確認した。さらに、Clausius-Clapeyron 関係式から推測した吸着熱は 410 kJ/kg-HFO-1234yf ~ 262 kJ/kg-HFO-1234yf (0.1 kg/kg ~ 1.6 kg/kg) である。これは蒸発潜熱 145 kJ/kg-HFO-1234yf (@25°C) と比較して 1.8 倍以上の値であった。

HFO-1234yf 冷媒 - Maxsorb III における吸着等量線図を作成した。図 5 にその吸着冷凍機の駆動線図を示す。駆動線図は平衡駆動での吸脱着過程時の吸着量差を確認するのに役立つ。吸着式冷凍機の駆動温度により平衡吸着量差は変動し、その値が大きいほど吸着器の小型・高出力化が可能になる。今回は自動車の移動体を想定した蒸発器 0°C、環境温度 40°C、再生温度 80°C の温度条件に設定した。サイクル線図より吸着過程では 1.30 kg/kg 得られるのに対し、脱着過程でも 1.23 kg/kg 得られるため、平衡吸着量差は 0.07 kg/kg である。Maxsorb III ではマイクロ孔が発達している吸着材であるため、高温である 80°C においても高い吸着量が得られるため、得られる平衡吸着量差は吸着材の重量と比較して、極めて小さいことがわかる。そこで、この温度条件で得られる平衡吸着量差を吸着材ごとに実測した。図 6、7 に各吸着材の 40、80°C の吸着等温線を示す。また、図 8 に吸脱着過程での吸着量をまとめる。測定結果より、MOF-177 は 40°C、50 kPa の条件において Maxsorb III よりも吸着量が小さいが、100 kPa 以上では Maxsorb III よりも高い吸着量が得られている。これは、細孔分布において、Maxsorb III はスーパーマイクロ孔からマクロ孔までの細孔分布を有しているのに対し、MOF-177 は

10Å 付近に細孔分布のピークがあり、規則性の高い細孔分布を有しているためだと推測される<sup>14)</sup>。そのため、Maxsorb III と比較して、MOF-177 は吸着量の選択的な立ち上がりを有している。

次にメソ孔を有する吸着材としてメソポーラスカーボン MH-00 とメソポーラスシリカ TMPS-2 の吸着等温線を示す。測定結果より、低相対圧では小さい吸着量であるが、冷媒圧力を増大していくと、メソ孔への吸着が進行し、吸着量も圧力増大と比例して増大していくことがわかる。TMPS-2 は細孔容積が他の吸着材と比較して小さいため、吸着量は小さい結果であるが、MH-00 では、マイクロ孔に加えてメソ孔の発達しており、細孔容積は Maxsorb III や MOF-177 と同等に近い。そのため、40°C、800 kPa (相対圧 0.8) での吸着量は同等の値が得られていることが分かった。

次に、吸脱着過程での温度、圧力条件での吸着量を比較した。MH-00 では吸着過程より脱着過程条件の方が吸着量は大きく、駆動することが不可能であることがわかる。平衡吸着量差を比較すると Maxsorb III、TMPS-2、MOF-177 の順に増大していくことがわかる。MOF-177 では吸着量も大きく、脱着条件での吸着量も多いが、平衡吸着量差も確保できている。一方で、TMPS-2 では全体の吸着量は小さいが、脱着過程での吸着量も小さく、平衡吸着量差は Maxsorb III より大きな値を得られている。細孔特性により、吸脱着特性が異なることが予想される。

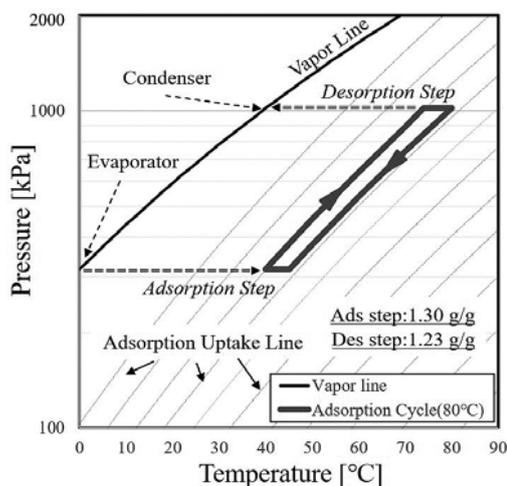


図5 HFO-1234yf 冷媒と Maxsorb III の吸着式冷凍機の駆動線図

現状の HFO-1234yf 冷媒と各吸着材を用いて得られる平衡吸着量差は、水やアンモニアの自然冷媒を用いた吸着式冷凍機での平衡吸着量差とほぼ同等程度の値

を得られることが可能である。しかしながら、冷媒の蒸発潜熱を考慮すると実質的に得られる冷熱量は0.1～0.5倍程度にとどまることが予想される。そのため、より平衡吸着量を増大するような工夫が必要になる。例えば、測定したMOF-177のようにある圧力時に吸着量が急激に立ち上がり、高温では吸着量が小さくなるような構造設計である。特に活性炭での吸着量は吸着材の自重以上の吸着量が得られるため、脱着過程時の温度・圧力条件下での吸着量の低減が可能となれば、高性能な吸着器設計が可能となる。また、水系吸着式冷凍機では脱着過程の低温化を可能とするシステムが提案されている<sup>15)</sup>。水/シリカゲルを用いた系では、二段の吸着器を用いることで55℃でも高い平衡吸着量差が得られるシステムが開発されている。二段システムでは1段目の脱着時の冷媒を2段目に吸着させることで、疑似的に平衡吸着量差を増大させることが可能なシステムである。熱水の投入量は大きくなり成績係数(COP)は低下するが、熱水の利用温度は

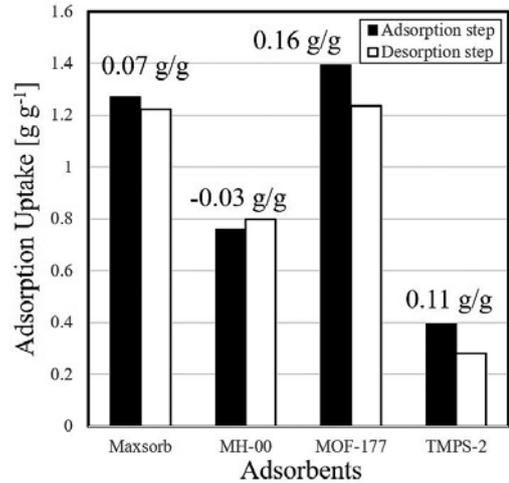


図8 吸着式冷凍機駆動時の平衡吸着量差のまとめ

低下しつつ、平衡吸着量差が大きくなる。そのため、熱のカスケード利用効率は大幅な向上が可能となる。本研究のHFO-1234yf冷媒と吸着材ペアにおいてもそのシステム設計が可能になると考えられる。今後は、多種多様な吸着材の探索および合成に加えて、高い平衡吸着量差を取得可能なシステム設計も積極的に行っていく。

#### 4. おわりに

吸着式冷凍機は機械圧縮式冷凍機とは異なり、熱のカスケード利用を促進する排熱の有効利用技術である。従来の自然冷媒とは異なるHFO-1234yf冷媒を用いた吸着式冷凍機を開発することで、機械圧縮式冷凍機と複合化した省エネルギー化を可能とする。本開発を進めていくうえで、HFO-1234yf冷媒の吸着等温線を実測し、D-A式を用いてフィッティングし、平湖吸着量を推測した。さらに、吸脱着過程における温度圧力条件下での平衡吸着量差を算出した。HFO-1234yf冷媒とマイクロ孔を有する活性炭のペアでは吸着過程で高い吸着量が得られるが、脱着過程でも高い吸着量を維持するため、十分な平衡吸着量差が得られない。そこで、メソ孔を有するメソポーラスカーボン、シリカやMOFでの吸着等温線を測定し、その平衡吸着量差を評価した。測定結果MOFが高い平衡吸着量差を有することが分かった。より高い平衡吸着量差を得るためには、脱着過程での吸着量低減を可能とする材料開発やシステム設計が有効であることが分かった。

吸着式冷凍機の開発では吸着材の開発に加えて、吸着材と熱交換器の一体化が必要になる。HFO-1234yf冷媒に対する吸着・脱着速度や吸脱着熱の徐熱・供給

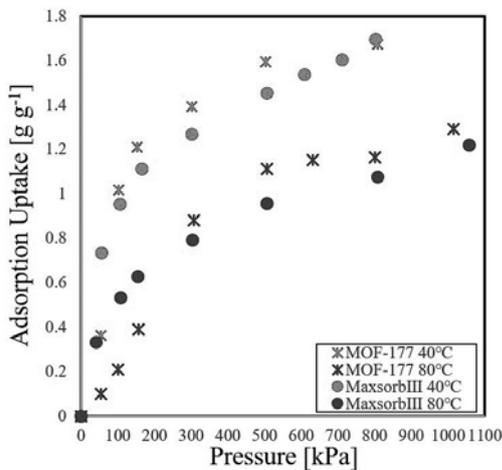


図6 Maxsorb IIIとMOF-177の吸着等温線(40、80℃)

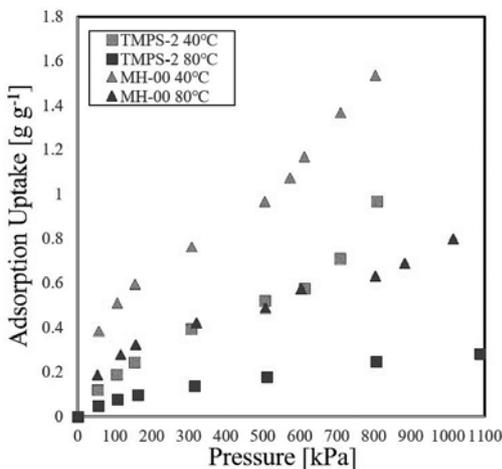


図7 TMPS-2とMH-00の吸着等温線(40、80℃)

速度といった冷媒と吸着材の動的挙動が実装化へのハードルになることが予想される。本稿では割愛したが、吸着速度に影響する細孔内拡散係数の算出、吸着材層の熱伝導度や比熱容量といった熱物性値の測定も進めている。吸着特性をうまく生かしながら、熱物性値の測定・向上していくことで、本ペアを用いた吸着式冷凍機の実装に向けて開発を行っていききたい。

#### [謝辞]

本稿で述べた研究内容は、筆者が名古屋大学大学院在学時に行ったものに加え、福岡大学推奨研究プロジェクトの一環で行ったものである。名古屋大学大学院工学研究科 小林敬幸准教授、市瀬篤博氏、福岡大学工学部 松隈洋介教授、内山弘規助教、化学システム工学科移動現象研究室の卒業生にご助力いただきました。ここに感謝の意を記します。

#### [参考文献]

- 1) Japan's Energy white paper 2020 (2020).
- 2) J. M. Pinheiro, S.Salustio, J. Rocha, A. A. Valente, C. M. Silva, "Adsorption heat pumps for heating applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.119, 109528, 2020
- 3) A. Alahmer, S. Ajib, X. Wang, "Comprehensive strategies for performance improvement of adsorption air conditioning systems : A review" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.99, pp. 138-158, 2019
- 4) A. N. Shmroukh, A. H. H. Ali, S. Ookawara, "Adsorption working pairs for adsorption cooling chillers: A review based on adsorption capacity and environmental impact", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.50, pp. 445-456, 2015
- 5) B. Han, A. Chakraborty, " Adsorption characteristics of methyl-functional ligand MOF-801 and water systems: Adsorption chiller modelling and performances", *Applied Thermal Engineering*, Vol.175, 115393, 2020
- 6) W. Lombardo, A. Sapienza, S. Ottaviano, L. Branchini, A. D. Pascale, S. Vasta, "A CCHP system based on ORC cogenerator and adsorption chiller experimental prototypes: Energy and economic analysis for NZEB applications", *Applied Thermal Engineering*, Vol.183, 116119, 2021
- 7) Y. Bai, Z. Huang, Z. Zhang, F. Kang, "Ultrafine hierarchically porous carbon fibers and their adsorption performance for ethanol and acetone", *New Carbon Materials*, Vol.34 (6), pp533-538, 2019
- 8) Z. Cao, N. G. Osorio, X. Cai, P. Feng, F. Akhtar, "Carbon-reinforced MgCl<sub>2</sub> composites with high structural stability as robust ammonia carriers for selective catalytic reduction system" *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol.8, 103584, 2020
- 9) A. Karmakara, V. Prabakaranb, D. Zhao, K. J. Chua, "A review of metal-organic frameworks (MOFs) as energy-efficient desiccants for adsorption driven heat-transformation applications" *Applied Energy*, Vol. 269, 115070, 2020
- 10) A. M.Babiloni, J. R. Barbosa Jr. , P. Makhnatch, J. A. Lozano, "Assessment of the utilization of equivalent warming impact metrics in refrigeration, air conditioning and heat pump systems" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.129, 109929, 2020
- 11) S. Daviran, A. Kasaeian, S. Golzari, O. Mahian, S. Nasirivatan, S. Wongwises, "A comparative study on the performance of HFO-1234yf and HFC-134a as an alternative in automotive air conditioning systems" *Applied Thermal Engineering*, Vol.110, pp1091-1100, 2017
- 12) M. Richter, M.O. Mclinden, E.W. Lemmon, " Thermodynamic Properties of 2,3,3,3-Tetrafluoropentane [R1234yf]: Vapor Pressure and p-p-T measurements and Equation state." *J. Chem. Eng. Data*, Vol.56 (7), pp.3254-3264, 2011
- 13) M. Sultan, T. Miyazaki, B. B. Saha, S. Koyama, H.S. Kil, K. Nakabayashi, J. Miyawaki, S. H. Yoon, "Adsorption of Difluoromethane (HFC-32) onto phenol resin based adsorbent: Theory and experiments", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 127, pp.348-356, 2018
- 14) H. K. Chael, D. Y. Siberio-Pérez, J. Kim, Y. GoI, M. Eddaoudi, A. J. Matzger, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi, "A route to high surface area, porosity and

inclusion of large molecules in crystals” Nature  
Vol. 427, pp.523-527, 2004

- 15) K.C.A. Alam, M.Z.I. Khan, A.S. Uyun, Y. Hamamoto, A. Akisawa, T. Kashiwagi, “Experimental study of a low temperature heat driven re-heat two-stage adsorption chiller” Applied Thermal Engineering, Vol.27, pp1686-1692, 2007
- 



氏名 江崎 丈裕  
所属 福岡大学 工学部 化学シ  
ステム工学科 助教

略歴 2016年6月 名古屋大学大学院工学研究科化  
学生物工学専攻 博士（工学）  
取得  
2016年6月 JST-ALCA 技術研究員  
2018年4月 福岡大学工学部化学システム工  
学科 助教  
現在に至る。

## 複合型ソフト多孔性錯体の創製と界面特性理解に立脚した吸着特性制御手法の開発

### Controlling Adsorption Properties of Core-Shell Metal-Organic Framework Particles through Synthesis Protocols

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

藤原 篤史  
Atsushi Fujiwara

#### 1. はじめに

多孔性配位錯体 (Metal-Organic Frameworks, MOFs) は、金属イオンと有機配位子から構成される結晶性の多孔質材料である。この材料は、構成元素の組み合わせによって Å オーダーでの細孔径制御が可能であり、ガス分離、ガス貯蔵、触媒等への応用が期待されている<sup>1)</sup>。MOF の中でも、ソフト多孔性結晶 (Soft Porous Crystals; SPCs) と呼ばれるものは、その構造の柔らかさゆえに、ある閾値の圧力において構造が変形し、新たな細孔が生まれることで吸着量がステップ状に増加する。この特異な吸着挙動はゲート吸着と呼ばれ、構造が変形する圧力 (ゲート吸着圧) 付近での僅かな圧力操作で大きく吸着量を変化させられることから、新規吸着材としての応用が期待されている。SPC の実用化に向けて、ゲート吸着圧の調節が求められているが、現状では多くの場合、金属イオンと有機配位子の組み合わせを変更する手段に依存している。この手法の問題は、ゲート吸着圧が離散的に変化し、所望のゲート吸着圧を実現するのが困難な点にある。この現状に対して、筆者は、2 種類の SPC を複合化した際、構成元素の結晶内における配置、単一の SPC 粒子とみなせるドメインサイズといった粒子のマイクロ構造によってゲート吸着圧が変化したという報告<sup>2)</sup>から、コアシェル型 SPC のコアサイズ、シェル厚みの精密な制御によって、ゲート吸着圧を連続的に変化可能ではないかと着想した。これを実現するためには、コアサイズ、シェル厚みの揃ったコアシェル粒子を合成する必要があるものの、既存の粒子合成手法では、特に

SPC の反応速度が大きい場合において、コアシェル粒子の精密合成は困難であることが報告されている<sup>3)</sup>。この問題の本質的な原因は、従来の MOF 粒子合成に用いられてきたバッチリアクタの混合速度が反応速度よりも小さいゆえと考えられる。そこで、本研究では、マイクロ構造による吸着特性制御に先駆け、混合性能に優れたマイクロリアクタを用いたコアシェル粒子の精密合成を試みた。

#### 2. 研究方法

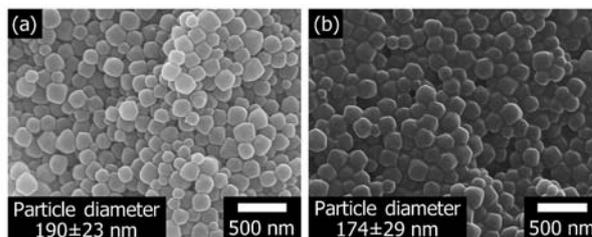


Fig. 1 SEM images of (a) ZIF-8 and (b) ZIF-67 particles used as core particles (reproduced with permission from ref 11. Copyright 2021 American Chemical Society).

本研究では、亜鉛イオンと 2 メチルイミダゾール (Hmim) から構成される Zeolitic Imidazolate Framework-8 (ZIF-8)、ZIF-8 の金属元素がコバルトイオンであること以外に構成元素、結晶構造に差異のない ZIF-67 を対象にコアシェル粒子の合成を試みた。コア粒子として用いる ZIF-8、ZIF-67 粒子は渡邊らによって報告されている中心衝突型マイクロリアクタを用いた合成手法<sup>4)</sup>によって合成した (Fig. 1)。得られたコア粒子を分散させた Hmim メタノール懸濁液とシェルの原料となる金属イオンメタノール溶液 ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  溶液) をシリンジポンプによって 10 mL/min で中心衝突型マイクロリアクタに送液し、混合、反応させることで ZIF-8 コア-ZIF-67 シェル (ZIF-8@ZIF-67) 粒子、ZIF-67@ZIF-8 粒子を合成した (Fig. 2)。この時、シェルの金属イオン濃度に対する Hmim 濃度の比は 8 で一定とした。反応液は採取後 1 時間静置した。得られた粒子はメタノールで洗浄した後減圧下で乾燥させ、SEM、STEM、XRD 測定、 $\text{N}_2$  吸着等温線測定@77 K によって評価した。また、粒径は SEM 像から求めた円相当直径の個数平均とし、そのばらつき度合いは粒径の標準偏差を平均粒径で除した CV 値によって評価した。コアシェル粒子内の金属元素の混成比は ICP 発光分光分析法によって測定した。混合強度による合成結果の違いを検証すべく、上記のコアシェル粒子原料液をマグネティック

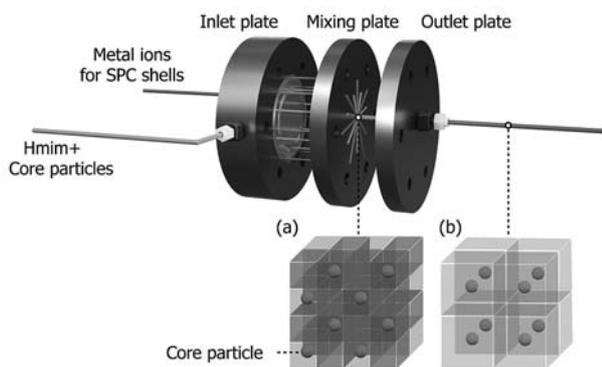


Fig. 2 Schematic illustration of the core-shell particle synthesis using a central collision-type microreactor: (a) micrometer-sized suspension segments; (b) homogeneously mixed suspension.

スターラー（1500 rpm）で混合することで合成したコアシェル粒子も同様に評価した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 ZIF-8@ZIF-67 粒子の合成

ZIF-8 粒子の重量濃度  $w_{\text{core}} = 5.8 \text{ mg/mL}$ 、 $[\text{Co}^{2+}] = 25 \text{ mM}$  の条件下で合成した粒子の XRD パターンを Fig. 3a に示す。構造パターンが ZIF-8 あるいは ZIF-67 の構造パターンと一致していたことから、得られた粒子が ZIF-8 あるいは ZIF-67 から構成されていることがわかった。この粒子を STEM-EDX で観察したところ、粒子中心部に Zn 元素、周辺部に Co 元素が検出されていることから、ZIF-8@ZIF-67 粒子の形成が確認された (Fig. 3b)。さらに、 $[\text{Co}^{2+}]$  を 25 mM に固定し、 $w_{\text{core}}$  を低くしたところ、シェル厚みが大きくなることがわかった (Fig. 4a-c)。これは、粒子ひとつあたりに供給されるシェルの原料が多くなったためと考えられる。また、コア粒子、および種々の条件下で合成したコアシェル粒子の粒径を測定したところ、CV 値はいずれも 0.13 前後で大きな変化はなかった (Fig. 4d

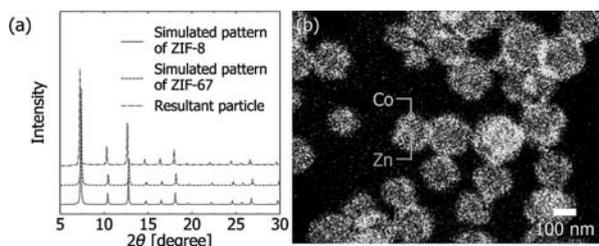


Fig. 3 (a) XRD pattern and (b) STEM-EDX mapping image of the particles obtained during the synthesis of ZIF-8@ZIF-67 particles (reproduced with permission from ref 11. Copyright 2021 American Chemical Society). Simulated XRD pattern of ZIF-8 and ZIF-67 was reproduced from ref 5 and 6, respectively.

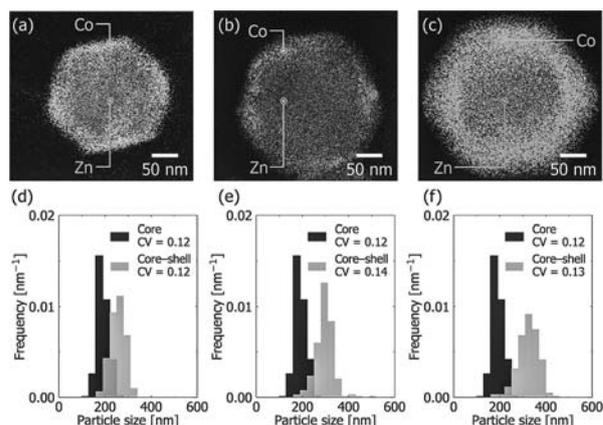


Fig. 4 STEM-EDX mapping images and particle size distributions of ZIF-8@ZIF-67 particles synthesized at  $w_{\text{core}}$  of (a, d) 5.8, (b, e) 2.9 and (c, f) 1.4 mg/mL (reproduced with permission from ref 11. Copyright 2021 American Chemical Society).

-f)。一方、バッチ式で合成した場合、コアシェル粒子は形成されていたものの、CV 値は 0.19 と悪化していた。この結果から、均一なシェル厚みを実現させるには迅速な混合が必要不可欠であることがわかった。

#### 3.2 ZIF-67@ZIF-8 粒子の合成

ZIF-8@ZIF-67 粒子とは異なり、ZIF-67@ZIF-8 粒子合成では、ZIF-8 の核生成速度が大きいゆえに、ZIF-8 がシェルとしてではなく粒子として単独で析出することが報告されている<sup>3)</sup>。本研究においても、 $w_{\text{core}} = 5.8 \text{ mg/mL}$ 、 $[\text{Zn}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  の条件下でバッチリアクタを用いて合成した場合、ZIF-8 粒子の単独での析出が確認された (Fig. 5a, d)。一方、マイクロリアクタを用いた場合、同一の濃度条件であってもコアシェル粒子のみが形成されることがわかった (Fig. 5b, e)。

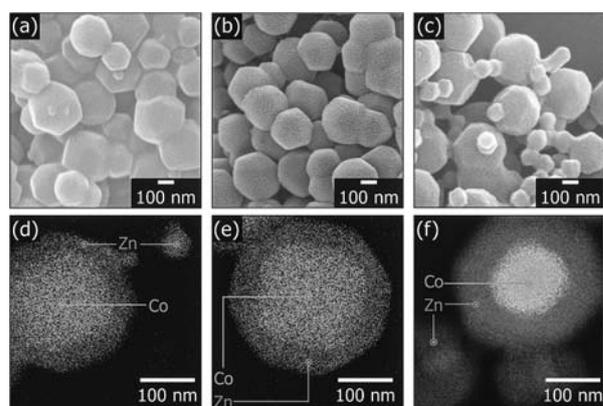


Fig. 5 SEM and STEM-EDX mapping images of ZIF-67@ZIF-8 particles synthesized at (a, d)  $w_{\text{core}} = 5.8 \text{ mg/mL}$  and  $[\text{Zn}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  using the batch reactor, (b, e)  $w_{\text{core}} = 5.8 \text{ mg/mL}$  and  $[\text{Zn}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  using the microreactor, and (c, f)  $w_{\text{core}} = 1.4 \text{ mg/mL}$  and  $[\text{Zn}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  using the microreactor (reproduced with permission from ref 11. Copyright 2021 American Chemical Society).

これは、迅速な混合により、ZIF-67 コア粒子表面での ZIF-8 の不均一核生成が誘起されたためと考えられる。得られた粒子の ICP 測定の結果をもとにシェル形成反応の収率を算出したところ 0.37 となり、従来の手法<sup>7)</sup>で合成した場合の約 6 倍も高いことがわかった。これは、従来の手法では、ZIF-8 粒子の析出を抑制すべく、ZIF-8 の核生成速度を低下させたことによってシェルの形成速度が低下してしまう一方で、マイクロリアクタを用いた場合、高いシェル形成速度を維持したまま ZIF-8 粒子の析出が抑制できるため、単位時間あたりの ZIF-8 の生成量が多かったためと考えられる。ZIF-8@ZIF-67 粒子と同様に、 $w_{\text{core}}$  を低下させることでシェル厚みの増大を試みたところ、 $w_{\text{core}} = 1.4 \text{ mg/mL}$  の条件では、たとえマイクロリアクタを用いたとしても ZIF-8 粒子が析出することがわかった (Fig. 5c, f)。この問題は、核生成速度が比較的小さい  $[\text{Zn}^{2+}] = 25 \text{ mM}$  の条件でも解決されなかったことから、コアシェル粒子の合成には高い  $w_{\text{core}}$  が重要であることがわかった。

この原因を解明すべく ZIF-8 シェルの形成機構について検討した。本研究で用いたマイクロリアクタは原料液入口部、混合部、反応液出口部の 3 枚のプレートから構成される。送液された原料液は混合部でマイクロオーダーの流体セグメント (Fig. 2a) に分割されることにより、均一な反応液 (Fig. 2b) となるのに要する時間が 0.3 ms と実験的に推定されている<sup>8)</sup>。反応溶液中のコア粒子が Fig. 2b のように格子状に分布していると仮定すると、粒子表面間距離の半分の距離  $L$  だけ離れて存在している Zn イオンと Hmim が粒子表面にまで拡散するのに必要な時間  $t_r$  は式(1)、(2)を連立することで求められる。

$$t_r \sim \frac{L^2}{D} \quad (1)$$

$$L = \left\{ \frac{\pi d_{\text{core}}^3}{24} \left( \frac{\rho_{\text{core}}}{w_{\text{core}}} + \frac{1}{2} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} - \frac{d_{\text{core}}}{2} \quad (2)$$

ここで、 $D$  は液相中でのイオンの拡散係数、 $d_{\text{core}}$  はコア粒子の粒子径、 $\rho_{\text{core}}$  はコア粒子の密度 ( $0.90 \text{ g/cm}^3$ )<sup>9)</sup> を表す。 $D$  を  $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  と仮定し、ZIF-8 粒子の析出度合いに違いのあったサンプル (Fig. 5e, f) の  $w_{\text{core}}$  から  $t_r$  を計算すると、 $w_{\text{core}} = 5.8, 1.4 \text{ mg/mL}$  の場合でそれぞれ  $t_r = 0.2, 0.4 \text{ ms}$  となった。ここで、ZIF-8 の核生成速度の時定数  $t_n$  を考えると、 $t_n$  が混合時間と拡散時間の和、すなわち  $0.3 \text{ ms} + t_r$  よりも大きい場合、

$L$  だけ離れた原料イオンは均一核生成する前にコア粒子表面に到達し、シェル形成のみが進行すると考えられる。従って、シェル形成のみが進行した実験条件 (Fig. 5e) から、 $t_n > 0.3 \text{ ms} + 0.2 \text{ ms} = 0.5 \text{ ms}$  であると考えられる。一方、 $0.3 \text{ ms} + t_r$  が  $t_n$  よりも大きい場合、コア粒子表面に到達する前に均一核生成が進行すると考えられる。従って、ZIF-8 粒子の混在が確認された実験条件 (Fig. 5f) から、 $t_n < 0.3 \text{ ms} + 0.4 \text{ ms} = 0.7 \text{ ms}$  であると考えられる。以上のような簡単な計算から、 $[\text{Zn}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  の場合、 $0.5 \text{ ms} < t_n < 0.7 \text{ ms}$  であることが示唆された。この値は、バッチリアクタの混合時間 ( $14.7 \text{ ms}$ )<sup>8)</sup> よりも短いため、バッチリアクタの場合コアシェル粒子の精密合成は困難であると予想される。以上の検討から、迅速な混合と高い  $w_{\text{core}}$  がコアシェル粒子を精密に合成するための鍵であることがわかった。

本研究では ZIF-8 と ZIF-67 を対象としたコアシェル粒子の合成を行ったが、マイクロリアクタを用いた合成手法はシェルの形成を普遍的な現象である不均一核生成によって実現しているため、異なる種類の MOF や材料にも応用可能であり、汎用的なコアシェル粒子合成手法と言える。

### 3.3 コアシェル粒子が示す特異な吸着挙動

合成した粒子の  $\text{N}_2$  吸着等温線 @77 K を Fig. 6 に示す。ZIF-8 粒子は相対圧  $0.6 \times 10^{-2}$  および  $2.0 \times 10^{-2}$  付近でステップ状の吸着量増加を示した。既往の報告では、前者が僅かな構造変形を伴う吸着ガスの再配列によるもの、後者がリンカーである Hmim の回転によるゲート吸着によるものとされている<sup>5)</sup>。ZIF-67 粒子も同様の吸着挙動を示したものの、ゲート吸着圧が異なった (Fig. 6a)。これは、両者の構造柔軟性の違いによるものと考えられる。 $w_{\text{core}} = 5.8 \text{ mg/mL}$ 、 $[\text{Co}^{2+}] = 100 \text{ mM}$  で合成した ZIF-8@ZIF-67 粒子も同様の吸着挙動を示したが、ZIF-67 の結晶構造から構成されるドメインを有しているにもかかわらず、ZIF-67 のゲート吸着圧 (相対圧  $1.7 \times 10^{-2}$ ) でのステップ状の吸着量増加が確認されず、ZIF-8 のゲート吸着圧 (相対圧  $2.0 \times 10^{-2}$ ) において 1 ステップの吸着量増加を示した (Fig. 6a)。一方、ICP 発光分光分析法によって測定した ZIF-8@ZIF-67 粒子の混成比で ZIF-8 粒子と ZIF-67 粒子を混合したサンプルの吸着等温線を測定したところ、ZIF-8、ZIF-67 のゲート吸着圧において吸着量がステップ状に増加し、2 ステップの吸着量

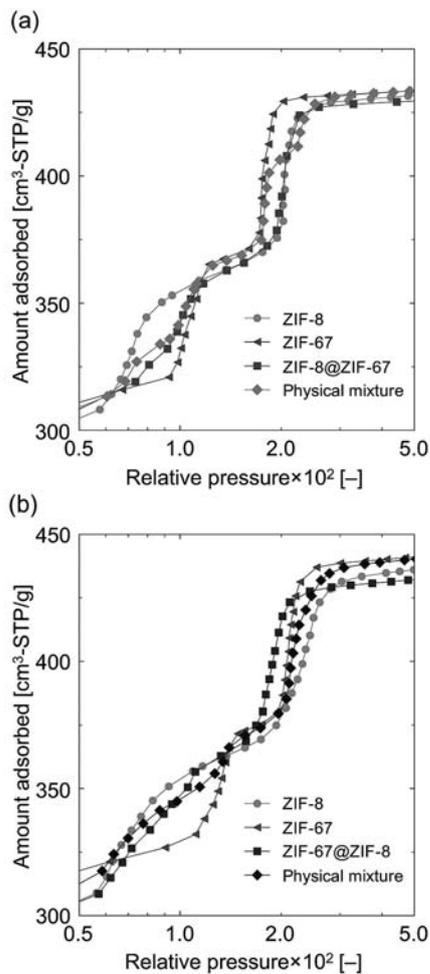


Fig. 6 N<sub>2</sub> adsorption isotherms of ZIF-8, ZIF-67, (a) ZIF-8@ZIF-67 or (b) ZIF-67@ZIF-8, and mixtures of ZIF-8 and ZIF-67 particles at 77 K. The weight ratios of ZIF-8 and ZIF-67 particles were set to be the same as those in core-shell particles (reproduced with permission from ref. 11. Copyright 2021 American Chemical Society).

増加を示した。このことから、コアシェル粒子に見られた吸着挙動はコアシェル構造に由来する特異な吸着挙動であることがわかった。

一方、ZIF-67@ZIF-8 粒子の吸着等温線は相対圧  $0.6 \times 10^{-2} - 2.0 \times 10^{-2}$  の圧力範囲でなだらかに吸着量が増加し、この挙動はコアシェル粒子の混成比で ZIF-8 粒子と ZIF-67 粒子を混合したサンプルの吸着挙動と類似していた (Fig. 6b)。これは、コアシェル粒子のコアとシェルの界面部での結晶構造の違いによるものと考えられる。ZIF-8@ZIF-67 粒子の場合、ZIF-67 シェルの形成速度が小さく、コア粒子表面でシェルがエピタキシャルに成長することが可能であるため、コア部とシェル部の構造が協奏的に変形し、特異な吸着挙動が発現したと考えられる。一方、ZIF-67@ZIF-8 粒子の場合、ZIF-8 シェルの形成速度が大きいため、界面

部で結晶の欠陥が生じやすいと推測される。その結果、コア部とシェル部の構造は別々に変形し、吸着挙動が物理的混合物のものと同じになったと考えられる。以上の考察から、異種の SPC が積層することで生じる界面が吸着特性を左右する因子であることが示され、界面の面積がゲート吸着圧の操作変数になり得ることが示唆された。既往の研究で、2種類の SPC の固溶体の混成比によるゲート吸着圧制御の可能性は示されていた<sup>10)</sup>ものの、混成比は吸着量の操作変数でもあるため、ゲート吸着圧と吸着量を独立に変化させることが不可能という問題があった。一方、界面積は、コアシェル粒子の大きさを変化させることで、混成比を一定にしたまま変化させることが可能であるため、ゲート吸着圧のみを変化させることが可能となる。以上の検討から、ゲート吸着挙動制御の新たな制御手法の確立につながる重要な知見を得た。

#### 4. おわりに

本研究では、ZIF-8 と ZIF-67 を対象に、迅速な混合を可能とするマイクロリアクタを用いたコアシェル粒子の合成を試みた。マイクロリアクタ、バッチリアクタの2つのリアクタを用いて合成した ZIF-8@ZIF-67 粒子を比較した結果、マイクロリアクタを用いることで、シェル厚みのばらつきは軽減されることが明らかとなった。さらに、本研究で用いたマイクロリアクタは、ZIF-8 の核生成速度が大きい故にバッチリアクタでは精密合成が困難とされていた ZIF-67@ZIF-8 粒子の合成も可能にすることがわかった。ただし、コア粒子重量濃度が低い条件では、たとえマイクロリアクタを用いたとしても、溶液中の原料イオンがコア粒子表面に到達する途中で反応し、均一核生成によって ZIF-8 粒子が単独で析出してしまうことが明らかとなり、精密なコアシェル粒子の合成には迅速な混合と高いコア粒子重量濃度が重要であることがわかった。得られたコアシェル粒子の吸着等温線を測定したところ、ZIF-8@ZIF-67 粒子は単一の ZIF 粒子の吸着挙動からは説明できない吸着挙動を示したことから、コア部とシェル部の界面での結晶構造が吸着挙動を決定づける鍵であることが示唆された<sup>11)</sup>。今後は、コア部とシェル部の界面積とゲート吸着圧変化の関係を明らかにし、界面積によるゲート吸着圧の制御手法の確立を目指していく予定である。

## 謝辞

本研究テーマに対し2020年度日本吸着学会大学院生研究奨励賞をいただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。また、本研究を行うにあたり、御指導賜りました、京都大学大学院工学研究科宮原稔教授、渡邊哲准教授に厚く御礼申し上げます。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究B (No.17H03443)、日本学術振興会特別研究員奨励費 (No.18J22516)、向科学技術進行財団による支援を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) H. Furukawa, K. E. Cordova, M. O’Keeffe, and O. M. Yaghi, *Science* **341**, 1230444 (2013).
- 2) T. Fukushima, S. Horike, H. Kobayashi, M. Tsujimoto, S. Isoda, M. L. Foo, Y. Kubota, M. Takata, and S. Kitagawa, *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 13341 (2012).
- 3) J. Tang, R. R. Salunkhe, J. Liu, N. L. Torad, M. Imura, S. Furukawa, and Y. Yamauchi, *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 1572 (2015).
- 4) S. Watanabe, S. Ohsaki, T. Hanafusa, K. Takada, H. Tanaka, K. Mae, and M. T. Miyahara, *Chem. Eng. J.* **313**, 724 (2017).
- 5) D. Fairen-Jimenez, S. A. Moggach, M. T. Wharmby, P. A. Wright, S. Parsons, and T. Düren, *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 8900 (2011).
- 6) H. T. Kwon, H. Jeong, A. S. Lee, H. S. An, and J. S. Lee, *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 12304 (2015).
- 7) J. Zhang, T. Zhang, K. Xiao, S. Cheng, G. Qian, Y. Wang, and Y. Feng, *Cryst. Growth. Des.* **16**, 6494 (2016).
- 8) S. Watanabe, S. Ohsaki, A. Fukuta, T. Hanafusa, K. Takada, H. Tanaka, T. Maki, K. Mae, and M. T. Miyahara, *Adv. Powder Technol.* **28**, 3104 (2017).
- 9) R. Banerjee, A. Phan, B. Wang, C. Knobler, H. Furukawa, M. O’Keeffe, and O. M. Yaghi, *Science* **319**, 939 (2008).
- 10) T. Fukushima, S. Horike, Y. Inubushi, K. Nakagawa, Y. Kubota, M. Takata, and S. Kitagawa, *Angew. Chem. Int. Ed.* **49**, 4820 (2010).
- 11) A. Fujiwara, S. Watanabe, and M. T. Miyahara, *Langmuir* DOI: 10.1021/acs.langmuir.0c03378



氏名 藤原 篤史  
所属 京都大学大学院  
工学研究科化学工学専攻  
博士後期課程3回生

2018年4月–2021年3月 日本学術振興会特別研究員 (DC1)

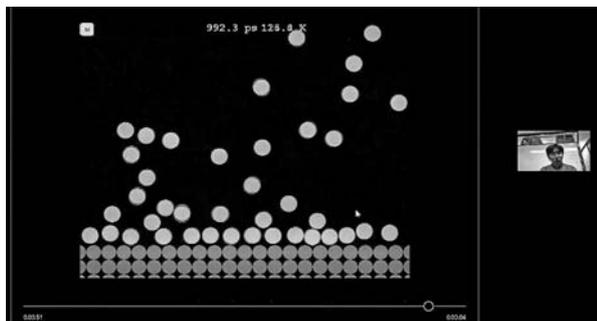
2021年3月 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻  
博士後期課程修了、博士 (工学)

# 吸着基礎セミナー「吸着等温線の解析の実際」開催報告

横浜国立大学 稲垣 怜史  
大阪大学 上田 貴洋

吸着基礎セミナー「吸着等温線の解析の実際」を、2021年1月12日、19日、26日の三日間にわたってオンラインで実施した。本セミナーは、「吸着等温線」に関する正しい知識と技術の習得を目的としたものである。吸着研究の第一線で活躍されている3名の研究者を講師に迎え、吸着等温線の測定および解析方法について解説いただいた。

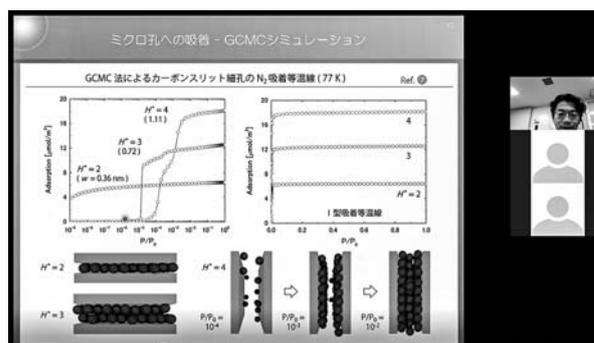
初回のセミナー①「吸着および吸着材料の基礎」（1月12日）は、信州大学の飯山 拓先生にご登壇いただき、「吸着とは?」、「吸着を引き起こしているもの—ポテンシャルエネルギー」、「固体表面について」、「等温線を測ろう」、「多孔体の紹介」という内容でお話しいただいた。物理吸着を担う分子間力の起源やその性質について、実際には目視できない分子の運動や相互作用の様子を、自作のシミュレーションプログラムを駆使され、たいへんわかりやすく解説いただいた。



飯山先生のご講演の一場面

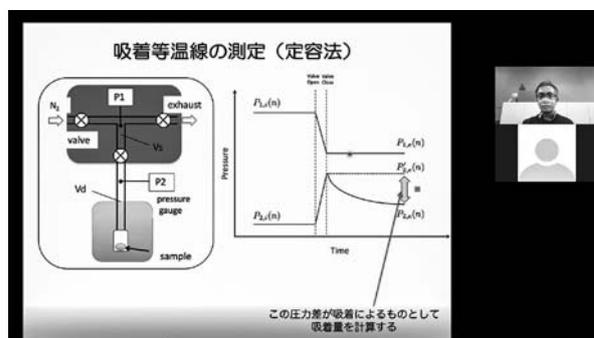
2回目のセミナー②「吸着の基礎理論と等温線の解析法」（1月19日）は、信州大学の田中秀樹先生にご登壇いただき、「物理吸着等温線の分類」、「物理吸着の理論」、「理論吸着等温線（GCMC / NLDFT）を用いた細孔径分布の解析」という内容でお話しいただいた。比表面積や細孔径分布解析の古典的な手法である Brunauer-Emmett-Teller（BET）法や Horvath-Kawazoe（HK）法から、最先端分析法である Grand canonical Monte Carlo（GCMC）法および Nonlocal Density Functional Theory（NLDFT）法に至るまで、

理論背景を踏まえつつ、実際に解析例を挙げながら詳細に解説をいただいた。



田中先生のご講演の一場面

3回目のセミナー③「吸着等温線の測定と解析の実際」（1月26日）は、産業技術総合研究所の遠藤 明先生にご登壇いただき、「イントロ：吸着等温線の測定からわかること」、「吸着等温線の測定の実際」、「吸着等温線解析の実際」、「テキストの紹介」の内容でお話しいただいた。容量法による一般的な測定方法に加え、試料の秤量法や死容積測定など、正しいデータを取得するための注意点や、マイクロ孔を有する材料の正しい BET 比表面積の求め方など、実際の測定や解析に役立つノウハウを中心に解説いただいた。



遠藤先生のご講演の一場面

3名の先生方におかれましては、ご多忙中のところ、急なお願いにもかかわらず、講師をお引き受けいただいた。この場を借りて、改めて深謝申し上げる次第である。

参加申込の総数は150名であり、各回の参加申込みは146名（セミナー①）、140名（セミナー②）、142名（セミナー③）であった。申込者の内訳は、企業関係者が60名、官公庁が6名、大学の教職員が9名、学生・大学院生が75名であった。吸着等温線の測定と解析について、基礎から学べる良い機会ということで、多くの会員の方々、とりわけ学生・大学院生や若手研究者・技術者の方々に興味をもってもらえたのが伺える。当日の視聴者は、セミナー①が132名（パネリスト2名、講師1名、世話人2名を含む）、セミナー②が125名（パネリスト2名、講師1名、世話人2名を含む）、セミナー③が99名（パネリスト1名、講師1名、世話人2名を含む）であり、各回の出席率は概ね7～9割（セミナー①87%、セミナー②86%、セミナー③67%）で、この種のセミナーとしては非常に高い出席率であった。また、講演終了後の質疑応答でも、各回5つ程度の質問が相次ぎ、本セミナーに対する参加者の期待度が伺えた。

本企画の終了後に実施したアンケートでは、「参加しやすかった」という声が多く寄せられ、オンライン開催の有用性が示される結果となった。また、講演内容については、「自身の勉強や知識の再確認に役だった」や「自己啓発の良い機会になった」との声が寄せられ、参加者の皆様から好評をいただいた。

本セミナーは、新型コロナウイルス感染拡大の影響により今年度の学会主催事業が相次いで中止となる中、会員の皆様に少しでも魅力的な学会サービスを提供することを目的とした企画である。今回は会員に限定し、無償で開催した。当初の予想をはるかに上回る多くの方々にご参加いただき、たいへん盛会となった。この場をお借りして、参加いただいた皆様方に厚く御礼申し上げます。

# 会 員 探 訪

## 大分大学理工学部共創理工学科学用化学コース 近藤研究室

### はじめに

我々の研究室は2020年4月に立ち上げられた新しい研究室です。新たに研究室を立ち上げた方や、新地に赴いた方はどなたも同じような思いをされてきたと思いますが、私も例に漏れず新たな環境に慣れ、“研究をできる環境”作りに追われる日々を送っております。私自身、関東圏でほとんどの研究者人生を歩んできましたが、この度ご縁を賜り九州の地に研究室を構えることになりました。研究室がある大分大学は大分高等商業学校を前身とし、1949年に設立された大学であり、当時は学芸学部と経済学部の2学部で構成されていましたが、我々の理工学部の前身である工学部が1972年に設立され、現在では5学部、5研究科を擁する総合大学となっています。また、キャンパスは旦野原（だんののはる）、狭間、王子キャンパスの3キャンパスがあり、理工学部は大分中心部から車で20分程度、大分駅からJR豊肥本線で10分程度の大分大学前駅からすぐにあるのどかな旦野原キャンパスにあります。近藤研究室が属する理工学部は、旦野原キャンパスの中でも大分大学前駅から最も遠い場所に位置し、電車下車後10分程度は歩く必要があり、その歩程は多少の高低差もあり、足腰を鍛えられるといった利点があります。

### 近藤研究室について

筆者が拙い筆を執っている時（2021年3月）は、当研究室に配属された一期生にあたる学部4年生の卒業論文も一段落し、新たな研究室メンバーを迎え入れる時期となっています。現在は、教員1名と学部4年生が2名の計3名で研究を推進していますが、4月には4～5名の新メンバーが加わる予定です。それでもなお、10名以下の研究室でありますので、少数（かつ精鋭）ということになります。

我々の研究室では、物質の“貯蔵・分離・変換”を大テーマとして掲げ、それらに関連した研究を行っています。例えば、①地球温暖化ガスの削減に関する研究、②水資源に関する研究、③その他混合物の分離に関する研究、などがあります。対象としている物質は、イオンや分子といったナノサイズの物質群であり、それらの貯蔵や分離に有効なナノ多孔質材料が研究室で扱う中心的な材料となっています。研究室で扱うナノ

多孔質材料は、Metal-organic framework、ゼオライト、多孔質炭素、その他無機材料と幅広く、吸着をキーワードとしてそれらの材料分野の方々のネットワークを更に構築していきたいと考えています。物質の“変換”については、これまであまり馴染みがありませんが、魅力を感じる分野であり、是非取り組んでいきたい領域と捉えています。

### 研究室の特徴

研究の進め方として、自ら材料を合成して評価し、応用を提案するところまでを一貫して行うように指導しています。また、研究には様々な機器が必要となりますが、研究室の学生には自分が使用する装置の原理をよく理解して使用することを勧めています。理化学機器に限らず、我々の周りには利便性の高いものも多くありますが、ブラックボックスとして使用することに不安を感じられる方もおられるのではないのでしょうか。得られたデータが信頼に値するものかどうかを判断する際に、使用する機器の原理を理解していることは極めて有効に働くと考えています。そういった意味でも、必要に応じて測定機器を自ら作り上げていく姿勢と気概を持ち、教育研究に携わっていきたくと考えています。

興味を持たれた方は是非ご連絡下さい。質問や見学は大歓迎です。また、研究室HPにもお越し頂けますと幸いです。下記アドレスもしくはQRコードをご利用ください。

HP アドレス：<https://kondoa.wixsite.com/kondo-lab>



Faculty of Science and Technology  
Department of Integrated Science and Technology  
Oita University  
Dannoharu 700, Oita, 870-1192, JAPAN  
大分大学理工学部共創理工学科学用化学コース  
〒870-1192 大分県大分市旦野原 700 番地  
電話：097-554-7896

## 大阪ガスケミカル株式会社 活性炭事業部

### [沿革]

当社は、大阪ガス(株)の石炭化学技術を基礎とした繊維状活性炭およびその加工技術を継承して1991年に発足し、2015年に武田薬品工業の約90年続く“白鷺”ブランドを持つ日本エンバイロケミカルズと完全統合して現在の体制となりました。2014年にはスウェーデンの大手活性炭メーカーであるJacobi Carbons ABを、2015年に水澤化学をグループに加え、優れた製品・技術を100か国以上に供給しています。

### [開発内容]

当社は、細孔制御技術・表面制御技術等の活性炭製造技術とカートリッジ・フィルター等への加工技術・配合設計技術により、お客さまのご要望に応じた製品を設計・製造しています。製品および技術の開発内容を以下に紹介します。

### 繊維状活性炭応用加工品「リノベス」

「リノベス」とは、大阪ガス(株)が開発したピッチ系炭素材の応用製品の総称です。大阪ガスケミカルはその技術を継承し、ピッチ系炭素材の持つ優れた特性を生かし、『素材＝炭素材の再革新(Re-innovation)』を目指して高機能応用製品の開発をすすめています。

商業ビル・オフィスビルから、工場・小型店舗、文化財を扱う美術館や博物館・資料館など、様々な物件でリノベス空調脱臭フィルターをご使用頂いております。

### 分子篩炭「モルシーボン」

分子篩炭は、分子サイズオーダーの均一な細孔を有する多孔性炭素材料であり、吸着質の分子径に応じて吸着速度が異なるという分子篩効果を発現します。このため、圧力スウィング吸着によるO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>分離やバイオガス中のCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>分離において速度分離型の吸着材として用いられています。当社は40年以上の開発実績を持ち、世界トップレベルの品質・生産能力を維持し続けています。

近年、独自の細孔制御技術の深化によって開発したTZシリーズは、99.9%以上の高純度領域における窒素発生能力を従来品の約50%向上することに成功し、販売数量を着実に伸ばしています。また、この細孔調整技術を応用し、オレフィン/パラフィンの分離にお

いて、極めて高い分離性能を発現する新規分子篩炭の開発・量産に成功し、現在、その展開を図っています。

### 表面加工/添着

活性炭の吸着特性は、細孔径分布や形状のみではなく表面特性にも依存します。このため、物理吸着が困難な物質は、細孔壁面に親水性もしくは疎水性の官能基を付与したり、目的の吸着質と反応する薬剤を添着したりすることで吸着性能を向上します。

例えば、ごみ・下水処理施設等において、除去対象となる悪臭ガスは、酸性・塩基性・硫黄系中性ガス等の複数の種類があり、対象に応じて添着薬剤を選定する必要があります。一方で、吸着材の多様化・多層化は、装置の大型化や除去プロセスの煩雑化を招くため、複数種のコストに対応できる吸着材が望まれます。当社の「粒状白鷺GMシリーズ」は、独自の添着・配合技術により、硫黄系ガス(H<sub>2</sub>S, CH<sub>3</sub>SH, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>)の選択的に酸化と塩基性ガス(NH<sub>3</sub>, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N)の化学吸着を同時に行い、複数の悪臭物質を1種類の活性炭で除去可能です。

現在、この添加着・配合技術を多用途にも展開し、アルデヒド除去用等の活性炭およびそれを用いたフィルターの開発を進めております。

### 蓄熱材「サーモペレ」

活性炭が溶剤蒸気などを吸着/脱着すると、凝縮熱/蒸発熱に相当する熱が発生して温度の上昇/低下が起きます。活性炭の吸脱着性能は温度に依存するため、急激な温度変化が起こる使用条件(高濃度の溶剤蒸気を活性炭で処理するなど)では、通常は、本来の吸着性能が発揮できません。当社の蓄熱材ペレット「サーモペレ」は、マイクロカプセル内に内包する物質の固体⇄液体の相変化を利用することで、吸着塔内の急激な温度変化を緩和します。

現在、内包物の種類/組成の最適化することで、保持温度の任意制御と潜熱量増大による吸着補助機能の向上を図っています。

### 計算化学の活用

各種活性炭の合理的な設計指針の探索のために、分子シミュレーションを用いた演繹的なアプローチと長年の蓄積したデータを基にした機械学習による帰納的



大阪ガスケミカル株式会社 商品開発センター

なアプローチを導入し、高機能化・製品品質の安定化・新製品の開発を推進しています。

[研究体制]

活性炭事業部の開発部門は、既存製品の高性能および新製品開発を担当する研究開発部と中長期的な技術開発を担当するグローバル R&D イノベーションセンター（GIC）とが相互に連携することで、基盤事業の拡大と新分野への挑戦を図っています。また、新規に得られた知見は、Jacobi を含めた世界中のグループ企業と共有し、品質向上・新製品の開発に活用しています。さらに、素材開発を中心とするチームと加工品開発を中心とするチームが連携することで製品・サービスの向上を推進しています。

今後も、自社の独自技術の深化に取り組みつつ、大学・他企業・研究所との連携強化によって幅広い知識・技術を獲得することで、ものづくりを通して、人と自然が調和した持続可能な社会に貢献します。

---

[会社概要]

資本金 142 億円

従業員 約 400 名

URL <https://www.ogc.co.jp/>

本社 〒550-0023

大阪市西区千代崎三丁目南 2 番 37 号

ドームシティガスビル 10F

TEL：06-4393-0059 FAX：06-4393-0196

活性炭事業部 研究開発部・GIC 〒554-0051

大阪市此花区西島 5 丁目 11 番 61 号

商品開発センター内

TEL：06-6464-3325 FAX：06-6462-1400

# 関連学会のお知らせ

## 第 35 回日本キッチン・キトサン学会大会 開催案内

**主 催：**日本キッチン・キトサン学会

**共 催：**日本化学会、日本生化学会、日本生物工学会（予定を含む）

**協 賛：**キトサン工業会、高分子学会、セルロース学会、繊維学会、日本栄養・食糧学会、日本応用糖質科学会、日本吸着学会、日本食物繊維学会、日本水産学会、日本 DDS 学会、日本糖質学会、日本バイオマテリアル学会、日本膜学会、日本薬学会、ファンクショナルフード学会（50 音順、予定）

**後 援：**日本農芸化学会（予定）

**会 期：**2021 年 8 月 26 日(木)～27 日(金)

**会 場：**鹿児島大学 郡元キャンパス共通教育棟 3 号館

(〒890-8580 鹿児島市郡元 1-21-24)

(JR 鹿児島中央駅前から、市電 2 系統（郡元行き）で「工学部前」電停下車、徒歩 5 分（鹿児島中央駅から約 15 分）

**\*新型コロナウイルス感染症に関する状況によっては、オンラインとのハイブリッドあるいはフルオンライン開催に変更することがあります。**

**参加費：**本会正会員および共催・協賛学会会員

4,000 円（当日受付 5,000 円）

本会学生会員 2,000 円（当日受付 3,000 円）

一般参加費 5,000 円（当日受付 6,000 円）

本会賛助会員 3 名まで無料（メールによる事前登録が必要）、4 名からは正会員と同じ参加費を申し受けます。

**要旨集：**4,000 円（本会会員には PDF にて事前配布）

**総 会：**8 月 26 日(木) 17:00～18:00

鹿児島大学 郡元キャンパス共通教育棟 3 号館

**懇親会：**8 月 26 日(木) 18:15～20:15

鹿児島大学 郡元キャンパス学習交流プラザ 1 F ラウンジ

正会員、賛助会員、一般参加者は 7,000 円

(当日受付 8,000 円)

学生会員 2,000 円（当日受付 3,000 円）

**参加申込：**事前登録を原則とします。参加費・懇親会費の内訳、氏名、所属等を明記の上、2021 年 7 月 2 日(金)までにお支払下さい（学会誌 27 巻 1 号の振込取扱票をご利用ください）。

**\*事前登録の期日（7 月 2 日(金)）を過ぎると当日受付になりますのでご注意ください。**

郵便振替口座番号：01790-0-152500

加入者名：門川 淳一（カドカワ ジュンイチ）

他の金融機関から上記口座に振り込む場合は、次の内容をご指定下さい。

【店名】一七九店（イチナナキユウ）【店番】179 【預金種類】当座【口座番号】0152500

**宿 泊：**鹿児島中央駅周辺には多数のビジネスホテルがございます。8 月の観光シーズンで、また東京オリンピック後ということもあり、かなり早めの宿泊予約を各自でお願いいたします。

## 【プログラム】

### 第一日目

- ・特別講演 2 題（予定）
- ・一般講演 1
- ・ポスター発表（コアタイム）
- ・奨励賞授賞式および受賞講演

### 第二日目

- ・特別セッション（予定）
- ・一般講演 2

\*大会のプログラムについては、学会誌（27 巻 2 号）および日本キチン・キトサン学会のホームページ（<http://jscc.kenkyuukai.jp>）で詳細をご案内致します。

連絡先：〒890-0065

鹿児島市郡元 1 -21-40

鹿児島大学大学院理工学研究科

門川 淳一（第 35 回大会運営委員長）

TEL：099-285-7743 E-mail：k5496501@kadai.jp

### 運営委員：

安楽 誠（崇城大学）、井澤浩則（鳥取大学）、宇都卓也（宮崎大学）、門川淳一（運営委員長、鹿児島大学）、小林誠幸（大日精化工業）、齋田佳菜子（熊本県産業技術センター）、高田晃彦（九州大学）、武井孝行（鹿児島大学）、服部秀美（宮崎大学）、山元和哉（鹿児島大学）、湯井敏文（宮崎大学）

### 一般講演・ポスター発表募集：

1. 発表形式：口頭発表（発表時間 12 分、質疑応答 3 分を予定）、ポスター発表。発表者は正会員もしくは学生会員に限ります。
2. 講演申込締切：2021 年 5 月 7 日(金)
3. 申込方法：①口頭発表、ポスター発表かの区別（いずれかを記入）、②講演題目、③連絡先、④発表者の所属、⑤連絡先、⑥電話番号、⑦メールアドレス  
\* 申込は下記アドレスにメールにてお知らせください。

k5496501@kadai.jp

4. 講演要旨締切：2021 年 5 月 28 日(金)

なお、要旨の形式については連絡いただいたメールアドレスにお知らせします。

\* 講演題目、発表者名（連名の場合は全員）、発表者の所属は要旨に書くものと同一にしてください。申込内容にしたがいプログラムを作成します。

\* ポスター発表について：掲示は 2 日間とします。ポスター発表のコアタイムを 8 月 26 日(木)13：10～14：10(奇数番号)、14：10～15：10(偶数番号)に設けます。ポスターは A 0 サイズ。

\* ポスター賞：学生会員が発表したポスターから 3～4 演題を表彰します。ポスター賞の審査はコアタイムに行い、表彰は懇親会で行います。

\* 日本キチン・キトサン学会のホームページ（<http://jscc.kenkyuukai.jp>）でもご案内します。

【会場へのアクセス】

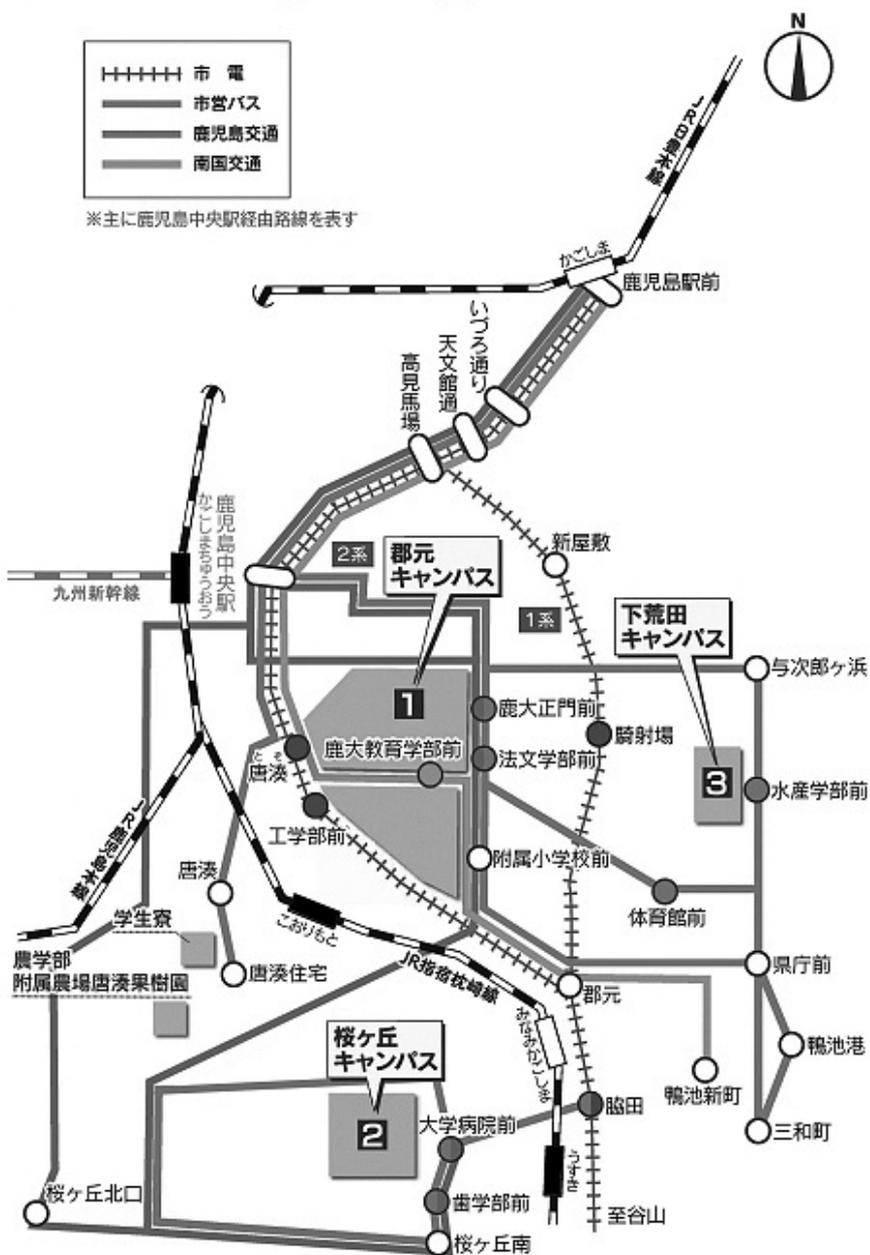
鹿児島空港からリムジンバスでJR鹿児島中央駅（約40分）

新幹線（みずほ、さくら、つばめ（鹿児島中央行き）でJR鹿児島中央駅

鹿児島中央駅前から市電2系統（郡元行き）で「工学部前」電停車、徒歩5分（鹿児島中央駅から約15分）

【アクセスマップ】

■鹿児島市へのアクセス 鹿児島空港から鹿児島中央駅まで約40分





# Adsorption News 総索引

## ～その2：2003年 Vol. 17 から 2020年 Vol. 34 まで～

### Vol. 17, No. 1 (March 2003) 通巻 No. 64

#### 巻頭言

会長をお引き受けして 広瀬 勉

#### 日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿

吸着と高圧

#### スポットライト

超 | 臨界気体の高圧吸着の基礎研究 村田克之  
メソ細孔制御カーボンクライオゲルに関する研究

山本拓司

#### 〈平成 14 年度研究発表会ポスター賞受賞者特集〉

層状パナジウム系化合物の酸素吸着特性 立川利彦

シリケート多孔体ビーズの SO<sub>2</sub> 吸着特性 立川裕美

溶存オゾンの吸着を利用したオゾン処理とそのメカ

ニズム 藤田洋崇

回折シミュレーションによる細孔内分子集団構造の検討 松村聖美

奨励賞を受賞して

関 健司

技術賞を受賞して

株式会社アドール (松本充司、篠原研一、  
故島道彦、片山竜男、中島弘行、中東義貴)

#### 報告

第 14 回吸着シンポジウムの報告 広瀬 勉

第 17 回日本吸着学会研究発表会を終えて

湯浅 晶

CARBON 2003 に参加して

堀川俊英

第 3 回環太平洋吸着会議参加レポート 清田佳美

#### スポットライト

カリックスアレーン誘導体を基体とした分離分析技  
術の開発に関する研究

篠原隆明

研究発表会ポスター賞受賞者特集

吉留昭仁、若杉玲子、福田剛之、坂田美和

### Vol. 17, No. 2 (June 2003) 通巻 No. 65

#### 巻頭言

国際会議が多いですね? 国内も。 茅原一之

#### 研究ハイライト

弱塩基性陰イオン交換樹脂およびキトサン樹脂の有  
機酸吸着機構に関する研究

高辻 渉

#### 技術ハイライト

大気圧吸着-真空再生 (VPSA) を使用した水蒸気  
除去プロセス

泉 順

### Vol. 18, No. 1 (March 2004) 通巻 No. 68

#### 巻頭言

吸着現象に魅せられて 上甲 勲

日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿 吸着とイオン交換  
の融合による環境浄化材料の開発

鈴木 喬

#### 研究ハイライト

自然由来有機物群 (NOM) の分子量分布特性と活  
性炭吸着特性に基づく仮想組成マトリックス解析

湯浅 晶

#### 技術ハイライト

新規デシカント空調 (湿度スイング冷房) の開発

伊藤陸弘

#### スポットライト

ナノスケール固体空間中に制約された分子・イオン  
集団の構造異常

大久保貴広

### Vol. 17, No. 3 (September 2003) 通巻 No. 66

#### 巻頭言

開発についての自問自答 川井雅人

#### 研究ハイライト

二成分ガス吸着解析装置の開発に関する研究

仲井和之

#### 技術ハイライト

生活空間の空気浄化装置 一ノ瀬秀仁

### Vol. 18, No. 2 (June 2004) 通巻 No. 69

#### 巻頭言

国際吸着学会会長に就任して 金子克美

#### 研究ハイライト

金属錯体を用いたナノスケールに構造制御された多  
孔質材料の創製およびそのメタン吸着材への応用

関 建司

#### 技術ハイライト

ピッチ系活性炭素繊維の開発

篠原研一

### Vol. 17, No. 4 (December 2003) 通巻 No. 67

#### 巻頭言

「ペットボトルをリサイクルしてきたの!」…さて、

活性炭はどうなる、どうする? 眞野利男

平成 15 年度日本吸着学会賞

スポットライト  
Recovery of Phosphates by Adsorption on an OH-  
Type Strongly Basic Ion Exchange Wilmer  
A. Galinada

**Vol. 18, No. 3 (September 2004) 通巻 No. 70**

巻頭言

屍累々の話 橘高茂治  
☆第8回国際吸着会議 (FOA 8) 特集☆  
Highlights from FOA 8 Orhan Talu  
会議レポート 迫田章義・望月和博・宮原 稔  
兄玉昭雄・宮本淳一・李 富生  
参加レポート  
安藤幸助・西原洋知・藤田洋崇・若杉玲子

**Vol. 18, No. 4 (December 2004) 通巻 No. 71**

巻頭言

日本吸着学会発展のために事務局ができることは  
加納博文  
平成16年度日本吸着学会学会賞  
奨励賞を受賞して 森口 勇  
技術賞を受賞して  
株式会社西部技研 (岡野浩志、泉宏 暁、  
倉光隆二、船戸浩史、白浜升章)

報告

第15回吸着シンポジウム報告 田門 肇  
第18回日本吸着学会研究発表会を終えて  
茅原一之  
AICHEに参加して 寺門拓也

技術ハイライト

「浮遊活性炭を使用したオイルマット・オイルフェ  
ンスの開発製造」について 谷口隼人

スポットライト

Zeolite ZSM-5 and Zeolite Y of Uniform Mesoporous  
Channels Yousheng Tao  
研究発表会ポスター賞受賞者特集  
漆原貴史、河原真紀子、廣川優美

**Vol. 19, No. 1 (March 2005) 通巻 No. 72**

巻頭言

日本吸着学会会長をお引き受けして 茅原一之  
吸着クロニクル  
ガスの吸着分離プロセス 広瀬 勉  
アジア吸着事情

Application-oriented fundamental research on  
adsorption Li Zhou

スポットライト

新規水蒸気賦活前処理法を用いて固体廃棄物から作  
製したメソ細孔性活性炭に関する研究 中川究也

**Vol. 19, No. 2 (June 2005) 通巻 No. 73**

巻頭言

日本吸着学会に期待するもの 泉 順  
研究ハイライト  
自己集合構造を利用したナノ多孔体合成と高速物質  
移動電極の創製 森口 勇  
スポットライト  
多孔質炭素材料の細孔形成機構と細孔構造制御に関  
する研究 堀河俊英

**Vol. 19, No. 3 (September 2005) 通巻 No. 74**

巻頭言

研究発表会の活性化 金子克美  
吸着クロニクル  
後輩技術者諸君へ 山本周治  
アジア吸着事情  
Present and Future of Adsorption Technology in  
Korea Chang-Ha Lee  
技術ハイライト

イオン吸着式全熱交換器 岡野浩志

**Vol. 19, No. 4 (December 2005) 通巻 No. 75**

巻頭言

吸着の科学・技術の活力と学会 尾関寿美男  
平成17年度日本吸着学会学会賞  
奨励賞を受賞して 向井 紳  
奨励賞を受賞して 王 正明

報告

第16回吸着シンポジウム「吸着剤、吸着技術の新  
しい展開」報告 泉 順  
第19回日本吸着学会研究発表会を終えて  
田門 肇

スポットライト

研究発表会ポスター賞受賞者特集  
稲木由紀、黒田純二、若林 誠

**Vol. 20, No. 1 (March 2006) 通巻 No. 76**

巻頭言

水環境と吸着 西嶋 渉

日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿

規則性メソ多孔体内における毛管凝縮の研究  
森重國光

吸着クロニクル

吸着の分子論 新田友茂

アジア吸着事情

Recent adsorption related researches in Taiwan  
Anthony S. T. Chiang

奨励賞を受賞して

技術賞を受賞して

報告

第20回日本吸着学会研究発表を終えて 神鳥和彦

技術ハイライト

バイオガスからのメタン分離技術の開発 足立貴義  
スポットライト

メブスケール粒子の基板上吸着による自発的規則構造形成過程のブラウン動力学シミュレーションおよびそのモデル化 渡邊 哲

研究発表会ポスター賞受賞者特集

杉山隼人、鈴木浩子

**Vol. 20, No. 2 (June 2006) 通巻 No. 77**

巻頭言

吸着材料のこれからの展開に向けて 大久保達也

研究ハイライト

氷晶テンプレート法を用いた多孔質マイクロ繊維・マイクロハニカムの合成とその精密構造制御  
向井 紳

スポットライト

二元還流型圧力スイング吸着による揮発性有機溶剤の回収 若杉玲子

吸着航路～次代の国際人～

クイーンズランド大学留学記 大久保貴広

報告

環太平洋吸着会議 (4th PBAST) 参加レポート  
野口大介、本多大章

**Vol. 20, No. 3 (September 2006) 通巻 No. 78**

巻頭言

大気環境に関する取り組み 岡野浩志

吸着クロニクル

吸着剤とのつきあい 38年 上甲 勲

研究ハイライト

層状炭素化合物からの炭素-シリカコンポジットナノ細孔体の創製 王 正明

報告

環太平洋吸着会議 (4th PBAST) 参加レポート  
松村 卓、李 海順

**Vol. 20, No. 4 (December 2006) 通巻 No. 79**

巻頭言

さびと吸着 石川達雄

平成18年度日本吸着学会学会賞

**Vol. 21, No. 1 (March 2007) 通巻 No. 80**

巻頭言

新ナノ細孔性物質による新吸着技術創成を

金子克美

報告

第17回吸着シンポジウム報告 迫田章義

研究ハイライト

光触媒表面で起こる吸着現象の赤外分光法による解析 加藤雅裕

吸着航路～次代の国際人～

Study as a foreign student in Japan 金 演鎬

**Vol. 21, No. 2 (July 2007) 通巻 No. 81**

巻頭言

評価の時代に身を置いて 田門 肇

研究ハイライト

新規バイオマス炭化法の開発と炭化物のキャラクターゼーション 望月和博

技術ハイライト

キャニスター用活性炭の開発 榊原吉延

**Vol. 21, No. 3 (September 2007) 通巻 No. 82**

巻頭言

日本吸着学会に期待すること 大西寛二

第9回国際吸着学会 (FOA 9) 特集

会議レポート

宮原 稔・森重國光・加納博文・松本明彦  
渡邊 哲・中村章寛・小林純大

参加レポート 中村拓也・二村竜祐・藤森利彦

**Vol. 21, No. 4 (December 2007) 通巻 No. 83**

巻頭言

研究テーマの選定について 森重國光

技術ハイライト

定容量型吸着装置における新規死容積測定方法の開発  
発 吉田将之・仲井和之

研究ハイライト

液化DMEを利用する常温動作・超高効率多孔質国  
体脱水プロセスの発明および開発 神田英輝

**Vol. 22, No. 1 (March 2008) 通巻 No. 84**

巻頭言

学会と企業 安武昭典

研究ハイライト

溶媒揮発プロセスによるメソポーラスシリカの大量  
合成と省エネルギー空調技術への応用 遠藤 明

吸着クロニクル

私の引き出し－静電気力・磁気力利用の分離技術－  
渡辺恒雄

研究発表会ポスター賞受賞者特集

市川裕介、中野由理、八楯晋平、久保田佳那  
稲木由紀、關 建司

**Vol. 22, No. 2 (July 2008) 通巻 No. 85**

巻頭言

バイオマス活性炭化事業と地球温暖化対策  
澤井正和

研究ハイライト

細孔内吸着分子の構造解析～実験でつなぐ吸着現象  
のミクロとマクロ 飯山 拓

技術ハイライト

VOC濃縮装置の高度化 藤岡裕次、岡野浩志

**Vol. 22, No. 3 (October 2008) 通巻 No. 86**

巻頭言

第22回吸着学会研究発表会の開催にあたって  
寺岡靖剛

会議報告

COPS8参加レポート 田中秀樹

**Vol. 22, No. 4 (December 2008) 通巻 No. 87**

巻頭言

科学技術とマジック 阿部都夫

吸着クロニクル

無機コロイド粒子の表面と吸着 石川達雄  
技術ハイライト

省エネ型PSA式窒素ガス発生装置の開発 安部敏行  
第22回日本吸着学会発表会を終えて

寺岡靖剛・草場一

**Vol. 23, No. 1 (March 2009) 通巻 No. 88**

巻頭言

会長就任にあたって 田門 肇

研究ハイライト

固体細孔内の電解質水溶液－ナノ溶液－  
大久保貴広

スポットライト

研究発表会ポスター賞受賞者特集  
三野泰志、清家敦子、瀬尾知史

**Vol. 23, No. 2 (June 2009) 通巻 No. 89**

巻頭言

企業の研究開発 川井雅人

研究ハイライト

水素同位体吸着における量子力学的効果 田中秀樹

技術ハイライト

吸着技術を用いたバイオガス有効利用システム開発  
関 建司

**Vol. 23, No. 3 (September 2009) 通巻 No. 90**

巻頭言

ベトナムで思うこと 迫田章義

吸着学会学術賞受賞記念寄稿

ゲル/液マイクロ反応－分離システムの構築  
中野義夫

技術ハイライト

ドライ粉末活性炭注入装置 猪狩 智

**Vol. 23, No. 4 (November 2009) 通巻 No. 91**

巻頭言

アメリカで思うこと 宮原 稔

吸着学会学術賞受賞記念寄稿

吸着・イオン交換における拡散分離の基礎と応用  
吉田弘之

吸着学会学術賞受賞記念寄稿

メソポーラス有機シリカの合成、表面特性、そして  
応用 稲垣伸二

技術ハイライト

圧カスイング吸着法による NO<sub>x</sub> リサイクル設備

大和矢秀成

**Vol. 24, No. 1 (April 2010) 通巻 No. 92**

巻頭言

日本の国際競争力

仲井和之

吸着クロニクル

活性炭吸着と環境

安部郁夫

研究ハイライト

分子シミュレーションを活用したナノ細孔内三態相  
平衡・液液相平衡の熱力学モデルの構築

神田英輝

第 23 回日本吸着学会研究発表会を終えて

松本明彦

**Vol. 24, No. 2 (August 2010) 通巻 No. 93**

巻頭言

学会の活性化

後藤元信

研究ハイライト

ハニカム吸着材を用いた CO<sub>2</sub> 除去・濃縮システム  
の最適化に関する研究

松隈洋介・峯元雅樹

ホットトピックス

下水処理場におけるシロキサンの挙動と吸着除去に  
関する基礎研究

大下和徹

第 10 回国際吸着会議 (FOA 10) 特集

第 10 回国際吸着会議 (FOA 10) の概括  
会議レポート

宮原 稔

大場友則・近藤 篤・森口 勇・藤田洋崇  
参加レポート

Abul K. Mallik・鍵田裕俊・小嶋夏子・徐 東準

宋 馳・高橋勇介・鳥越裕恵・二村竜祐

沼口遼平・延澤聡美・森田優平・盧 明霞

**Vol. 24, No. 3 (October 2010) 通巻 No. 94**

巻頭言

技術立国日本

榎田則夫

研究ハイライト

新規水蒸気吸着材 AQSOA の開発とその応用

武脇隆彦

技術ハイライト

吸着式熱量変動制御技術の開発

浦邊安彦

ホットトピックス

感温性高分子を用いた金属の吸着分離技術

徳山英昭・迫原修治

**Vol. 24, No. 4 (December 2010) 通巻 No. 95**

巻頭言

学会の持続的発展に向けて

森口 勇

ホットトピックス

分子シミュレーション支援による多孔性気体分離膜

開発

吉岡朋久

第 24 回日本吸着学会研究発表会を終えて

山崎達也

**Vol. 25, No. 1 (April 2011) 通巻 No. 96**

巻頭言

会長をお引き受けして

迫田章義

研究ハイライト

単分散カーボンクライオゲルビーズの合成に関する  
研究

山本拓司

ホットトピックス

機能性両親媒性物質の界面吸着挙動

酒井健一

**Vol. 25, No. 2 (July 2011) 通巻 No. 97**

巻頭言

吸着の科学と工学

尾関寿美男

技術ハイライト

活性炭素繊維を用いる大気浄化技術

吉川正晃

ホットトピックス

炭素材料の水素吸着特性と貯蔵性能の向上

高木英行

**Vol. 25, No. 3 (October 2011) 通巻 No. 98**

巻頭言

一步前に入る

嘉数隆敬

研究ハイライト

極低相対圧からの高分解能吸着等温線による材料特  
性 (表面特性・吸着特性) 評価

吉田将之

ホットトピックス

ミカン搾汁残渣を用いた有害陰イオンの吸着・除去

井上勝利

**Vol. 25, No. 4 (December 2011) 通巻 No. 99**

巻頭言

日本吸着学会創立 25 周年記念大会を終えて

寺岡靖剛

技術ハイライト

新吸着材 AQSOA<sup>®</sup> (アクソア<sup>®</sup>) を適用した製品開  
発

窪川清一

ホットトピックス

金属錯体のサブナノ空間に拘束された高分子の熱転  
移挙動 植村卓史

ホットトピックス

有機鋳型法による規則性メソポーラスカーボンの合  
成一構造・形態制御— 田中俊輔

第 25 回日本吸着学会研究発表会・吸着学会 創立 25  
周年記念シンポジウムの開催報告 寺岡靖剛  
日本吸着学会創立 25 周年記念シンポジウムを終えて  
加納博文

**Vol. 26, No. 1 (April 2012) 通巻 No. 100**

巻頭言

吸着学会への期待 浦井紀久

吸着学会学術賞受賞記念寄稿

構造論的吸着科学の峰を目指して 金子克美

通巻 100 号記念寄稿

日本吸着学会創立の頃の追憶と今後への期待  
竹内 雍

**Vol. 26, No. 2 (July 2012) 通巻 No. 101**

巻頭言

「吸着」材料・現象・プロセスのわかる人材の育成  
大久保達也

会長対談

IAS 会長 Prof. Marco Mazotti に聞く 迫田章義

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 渡邊 哲

ホットトピックス

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

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

**Vol. 26, No. 3 (October 2012) 通巻 No. 102**

巻頭言

研究開発と実用化の狭間で 大塚清人

研究ハイライト

吸着機能を付与したハニカムを用いた空気処理技術  
に関する研究 井上宏志

**Vol. 26, No. 4 (December 2012) 通巻 No. 103**

巻頭言

ミネルヴァのふくろうは夕暮れを待って飛び立つ

広瀬 勉

技術ハイライト

シリカゲル吸着剤を用いた真空再生式 VOC 回収技  
術 稲川展裕

ホットトピックス

ツインパス型表面力装置を利用した新規なナノ界面  
評価法 粕谷素洋, 栗原和枝

第 26 回日本吸着学会研究発表会開催報告 遠藤 明

第 21 回吸着シンポジウム (吸着夏の学校) 開催報告

神田英輝

**Vol. 27, No. 1 (December 2013) 通巻 No. 104**

巻頭言

会長就任にあたって 寺岡靖剛

研究ハイライト

高選択的分子吸着機能を有する多孔性金属錯体の設  
計と合成 松田亮太郎

技術ハイライト

PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の  
開発 齊間 等

**Vol. 27, No. 2 (April 2013) 通巻 No. 105**

巻頭言

吸着ファミリー 仲井和之

研究ハイライト

疎水性ナノ空間中での分子集合構造変化に伴う吸着  
挙動の解明 大場友則

第 11 回国際吸着会議 (FOA 11) 特集

会議概括 宮原 稔

会議レポート 大久保貴広・田中秀樹・山崎誠志

藤田洋崇・森口 勇

参加レポート 伊藤博光・太田貴也・荻野智大

西 政康・中尾亜矢子

**Vol. 27, No. 3 (October 2013) 通巻 No. 106**

巻頭言

学会“柄” 加納 博

第 22 回吸着シンポジウム (吸着夏の学校) 開催報告

開催報告 渡邊 哲

参加の感想 小林義和・浅倉啓介

**Vol. 27, No. 4 (January 2014) 通巻 No. 107**

巻頭言

「立体吸着」って何？ 宮原 稔  
技術ハイライト

酸素 PSA 用 LiLSX 吸着剤の開発およびその生産技術の開発 平野 茂  
ホットピックス

多孔質炭素材料への水蒸気吸着 堀河俊英  
第 27 回日本吸着学会研究発表会開催報告 加納博文

**Vol. 28, No. 1 (April 2014) 通巻 No. 108**

巻頭言  
独創性のある研究と吸着研究の発展を期待して 黒田泰重

研究ハイライト  
気相吸着法を用いた同位体分離技術の開発 岡 伸樹

ホットピックス  
応力で変形する柔軟多孔性材料 西原洋知

**Vol. 28, No. 2 (July 2014) 通巻 No. 109**

巻頭言  
学会の還暦 松本明彦  
ホットピックス  
改良型タンニンゲルによる強塩酸からの貴金属イオンの吸着 森貞真太郎

**Vol. 28, No. 3 (October 2014) 通巻 No. 110**

巻頭言  
吸着学会との出会い 渡瀬夏生  
技術ハイライト  
高压ガス多成分吸着量の測定技術 千賀義一  
第 23 回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催報告 大久保貴広

**Vol. 28, No. 4 (January 2015) 通巻 No. 111**

巻頭言  
維持会員の役割 佐藤克昭  
研究ハイライト  
基材に担持した AIPO 型ゼオライトの水蒸気吸着挙動解明 岡本久美子  
技術ハイライト  
安定固化可能な Cs 及び Sr 選択性吸着剤の実用化技術開発 松倉 実  
ホットピックス  
吸着・吸蔵物質の磁気共鳴観察を活用した炭素材料

の内部細孔解析 後藤和馬  
第 24 回日本吸着学会吸着シンポジウム開催報告  
第 28 回日本吸着学会研究発表会開催報告 遠藤 明  
向井 紳

**Vol. 29, No. 1 (May 2015) 通巻 No. 112**

巻頭言  
「学会」問答 宮原 稔  
吸着学会学術賞受賞記念寄稿  
メソ細孔性炭素の創製と構造制御 田門 肇  
ホットピックス  
金属有機構造体を用いた気体分離膜の開発 原 伸生  
吸着基礎シリーズ  
吸着等温線の解析法：Langmuir, BET 法 瓜田幸幾

**Vol. 29, No. 2 (July 2015) 通巻 No. 113**

巻頭言  
「日本吸着学会の発展を願って」 中村章寛  
研究ハイライト  
柔軟性無機 - 有機ハイブリッド材料の合成と吸着に関する研究 近藤 篤  
吸着基礎シリーズ  
吸着等温線の解析法 - 比較プロット法 - 瀬戸山徳彦

**Vol. 29, No. 3 (October 2015) 通巻 No. 114**

巻頭言  
「教員養成大学から見た理科教育」 神島和彦  
研究ハイライト  
機能性高分子を利用した液相吸着剤の開発 森貞真太郎  
ホットピックス

新規開発活性炭の吸着特性評価に基づく吸着冷凍サイクルの熱力学的解析 宮崎隆彦  
吸着基礎シリーズ  
吸着等温線の解析方 - マイクロ孔径分布解析 - 田中秀樹  
国際会議参加報告  
第 6 回環太平洋吸着会議 (PBAST-7) 楊 光

**Vol. 29, No. 4 (January 2016) 通巻 No. 115**

巻頭言  
基礎研究と実用プロセス開発の狭間で

—吸着系プロセス研究の現状と役割— 児玉昭雄  
ホットトピックス

ナノ空間に内包された機能性分子の配向制御に向けた計算化学的アプローチ 湯村尚史

吸着基礎シリーズ

吸着等温線の解析法—メソ孔径分布解析—

田中秀樹

第 29 回日本吸着学会研究発表会開催報告 加藤雅裕

第 25 回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催報告

松田亮太郎

**Vol. 30, No. 1 (May 2016) 通巻 No. 116**

巻頭言

私を成長させてくれた吸着学会及び小職からのメッセージ

「頑張れ決断力、自身の意見が無い、Slow な日本人」

関 健司

研究ハイライト

カーボンナノ細孔内における物質構造の特異性解明

瓜田幸幾

吸着基礎シリーズ

吸着等温線の解析法—NLDFT/GCMC 法によるマイクロ・メソ孔径分布解析—

田中秀樹

**Vol. 30, No. 2 (August 2016) 通巻 No. 117**

巻頭言

吸着科学を基に次を目指す 金子克美

ホットトピックス

シリカ系ナノ多孔性材料の新規合成とその細孔解析  
Watcharop Chaikittisilp

Si/Al の異なる MFI 型ゼオライト膜の透過分離特性

瀬下雅博

第 12 回国際吸着会議（FOA 12）特集

会議総括 加納博文

会議レポート 遠藤 明・田中秀樹・山崎誠志  
近藤 篤・瓜田幸幾

参加レポート 山谷達也・野村啓太・吉元政嗣

**Vol. 30, No. 3 (October 2016) 通巻 No. 118**

巻頭言

「ワクワクする学会活動」 安武昭典

技術ハイライト

PSA 法による高炉ガスからの炭酸ガス分離技術の構築 原岡たかし・柴垣伸行・茂木康弘・鷺見郁宏

吸着基礎シリーズ

吸着等温線の測定テクニック

—吸着等温線測定と正確な吸着量算出法— 吉田将之

—液相吸着— 森貞真太郎

**Vol. 30, No. 4 (February 2017) 通巻 No. 119**

巻頭言

「吸着技術で地球を救おう」 岡野浩志

ホットトピックス

中空糸型吸着剤による二酸化炭素回収プロセスの設計と経済性評価

川尻喜章

吸着基礎シリーズ

吸着状態描像へのアプローチ—吸着熱—

延澤聡美・類家正稔

第 30 回日本吸着学会研究発表会開催報告 森口 勇

第 26 回吸着シンポジウム（夏の学校）開催報告

近藤 篤

**Vol. 31, No. 1 (May 2017) 通巻 No. 120**

巻頭言

満 30 歳を迎えた日本吸着学会：着実な歩みのために

加納博文

研究ハイライト

カーボン系材料のナノ空間制御と応用に関する研究

西原洋知

技術ハイライト

蓄熱材を併用した自動車向けキャニスター用吸着剤の開発および実用化

小嶋夏子、関 健司、千代健文、中陳武志

ホットトピックス

イオン交換膜および溶媒抽出を用いたゲルマニウムの回収

川喜田英孝

吸着基礎シリーズ

吸着状態描像へのアプローチ—分光学（赤外・ラマン分光法）—

加藤雅裕

**Vol. 31, No. 2 (July 2017) 通巻 No. 121**

巻頭言

「吸着学会事務局を担当して」 遠藤 明

吸着クロニクル

マレーシアでの研究・教育生活、マレーシアから見た日本

吉田弘之

吸着基礎シリーズ

X線／中性子散乱法の基礎と吸着系への適用

国際会議参加報告  
COPS-XI に参加して

飯山 拓

能登原展穂

**Vol. 31, No. 3 (October 2017) 通巻 No. 122**

巻頭言

「Adsorption News 編集担当を終えて」 森口 勇  
ホットトピックス

多孔性イオン結晶による分子やイオンの高選択的吸着・反応・伝導特性  
吸着基礎シリーズ

内田さやか

XAFS一元素選択的局所構造解析— 大久保貴広

**Vol. 31, No. 4 (January 2018) 通巻 No. 123**

巻頭言

「物質開発と吸着科学の進展」 尾関寿美男  
フロントライン

シリカを含むイネの籾殻を原料とした多孔質炭素材料 TriporousTM (トリポーラス TM) の吸着特性と応用  
ホットトピックス

山ノ井俊・飯田広範・田畑誠一郎

バイオ燃料電池の基礎と多孔性炭素の構造制御による高性能酵素多孔性電極の開発  
吸着基礎シリーズ

辻村清也

核磁気共鳴 (NMR) 分光法の基礎と吸着系への応用

上田貴洋

**Vol. 32, No. 1 (April 2018) 通巻 No. 124**

巻頭言

「理事就任への思いと吸着学会への期待」 上田貴洋  
学術賞受賞記念寄稿原稿

ゼオライトを利用した新奇電子状態の創出と小分子の吸着・活性化  
環境問題の解決をめざした吸着プロセスおよび吸着剤の開発研究

黒田泰重

迫田章義

研究ハイライト

ゼオライト様イミダゾレート構造体の形態制御と分離性能

田中俊輔

大学院生研究奨励賞受賞研究報告

ソフト多孔性錯体の粒子サイズ・形状制御と自由エネルギー解析に立脚した特異的吸着挙動の精密制御

大崎修司

極低温 He-TPD 測定による細孔表面ラフネスの同定法開発

平塚龍将

**Vol. 32, No. 2 (August 2018) 通巻 No. 125**

巻頭言

「学会に対する企業の関わり」 飛弾野龍也  
ホットトピックス

柱型環状分子ピラー [n] アレーン集合体の吸着材料への応用

生越友樹、角田貴洋、山岸忠明

吸着基礎シリーズ

分子吸着シミュレーションの基礎

清水研吾、大場友則

**Vol. 32, No. 3 (October 2018) 通巻 No. 126**

巻頭言

「PBAST-8 を終え (?) て」 向井 紳  
フロントライン

ソフト多孔性錯体 (ZIF-8) の粒子径・形状制御と吸着特性評価

渡邊 哲、宮原 稔

多孔性物質としての分子ナノカーボン

坂本裕俊

**Vol. 32, No. 4 (January 2019) 通巻 No. 127**

巻頭言

「日本吸着学会の事業継承」 仲井和之  
フロントライン

アミン含浸固体吸収材を用いた CO<sub>2</sub> 回収技術の開発

沼口遼平

多孔性炭素の電気伝導性に由来するイオン液体の同種イオン稠密構造

二村竜祐

**Vol. 33, No. 1 (May 2019) 通巻 No. 128**

巻頭言

会長就任のご挨拶 松本明彦  
研究ハイライト

炭素表面および細孔内への水蒸気吸着に関する基礎的研究

堀河俊英

技術ハイライト

低温再生可能な超低露点ハニカム除湿ロータと除湿機の開発

井上宏志、島田隆寛、金 偉力、岡野浩志

**Vol. 33, No. 2 (July 2019) 通巻 No. 129**

巻頭言

「学会を利用する」 飯山 拓  
フロントライン

「ゼオライト場を利用した新奇活性酸素種の創製：室温で O<sub>2</sub> を可逆的に化学吸着する酸素イオン」

織田 晃  
International Symposium on Adsorption 2019 (Japan  
Adsorption 2019) 開催報告

会議総括 加納博文  
学生レポート

Soontaree Intasa-ard、Aranee Teepakakorn  
第 13 回国際吸着会議 (FOA 13) 特集

会議総括 森口 勇  
会議レポート

渡邊 哲、堀河俊英、大場友則、二村竜祐  
田中秀樹、平出翔太郎、川尻喜章、山根康之  
西原洋知

### Vol. 33, No. 3 (October 2019) 通巻 No. 130

巻頭言

「吸着学会での 10 年間とこれから」 杉田修一  
ホットトピックス

「容量法を用いたカーボンファイバー担持シリカゲ  
ルの吸脱着挙動の速度論的評価」 大坂侑吾

### Vol. 33, No. 4 (January 2020) 通巻 No. 131

巻頭言

「分離工学革新のため吸着の科学と技術の発展を」  
松方正彦

ホットトピックス

「カーボンナノチューブのナノ空間を利用した高性  
能リチウムイオン電池負極材料の開発」 東城友都

### Vol. 34, No. 1 (April 2020) 通巻 No. 132

巻頭言

「学会における実用プロセス企業の役割」 井上宏志  
特別寄稿

「吸着学会事始め」 鈴木基之  
学術賞受賞記念寄稿

「ナノ空間内吸着分子集団の不思議」 宮原 稔  
ホットトピックス

「プロピレン／プロパン分離を対象とした蒸留・膜  
分離・吸着分離のプロセス特性」 山木雄大

### Vol. 34, No. 2 (July 2020) 通巻 No. 133

巻頭言

「CO<sub>2</sub> 特集に寄せて」 余語克則  
奨励賞受賞記念寄稿

「火力発電所排ガス、および大気中からの二酸化炭

素吸着分離：プロセスモデリングと最適化」

川尻喜章

特集「CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and  
Storage) の最前線」

「二酸化炭素分離回収・有効利用・貯留技術開発  
(CCUS) の最新動向」 清水淳一、山田秀尚

「CO<sub>2</sub> 貯留技術と苫小牧 CCS 実証試験」 萩原利幸

「メタネーション大規模実証に向けた基盤研究およ  
び CO<sub>2</sub> 分離回収と利用の統合プロセスに関する研  
究開発」 則永行庸、張 煒、チェ Chol-yon

柳瀬慶一、チャンクウィン、町田 洋

「有人宇宙ミッションに向けた閉鎖空間における環  
境制御・生命維持システム技術開発」

坂井洋子、中野屋壮吾

「Flexible MOF を活用した CO<sub>2</sub> 吸着分離プロセス  
の可能性」 平出翔太郎、田中秀樹

### Vol. 34, No. 3 (October 2020) 通巻 No. 134

巻頭言

「新しい学会様式」 松田亮太郎

特別寄稿

「ハニカム博士になった冒険少年～ハニカム吸着  
ロータ開発物語～」 岡野浩志

奨励賞受賞記念寄稿

「磁性イオン液体の示す反強磁性相互作用の起源と  
『機能性液体』の可能性」 二村竜祐

### Vol. 34, No. 4 (January 2021) 通巻 No. 135

巻頭言

「如何にしてイノベーションを起こすか、Team  
Japan！」 関 建司

ホットトピックス

「イオン液体膜の CO<sub>2</sub> 分離特性」  
牧野貴至・河野雄樹

## 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3年4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	システムエンジニアサービス株式会社
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	ニチアス株式会社
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	ユニオン昭和株式会社
ローム・アンド・ハース・ジャパン株式会社	

## 編 集 委 員

委員長 児玉 昭雄 (金沢大学)  
委 員 大坂 侑吾 (金沢大学) 加藤 雅裕 (徳島大学)  
上村 佳大 (産業技術総合研究所) 近藤 篤 (大分大学)  
田中 俊輔 (関西大学) 飛弾野龍也 (大陽日酸株式会社)  
宮崎 隆彦 (九州大学) 山根 康之 (大阪ガスケミカル株式会社)  
余語 克則 (RITE) (五十音順)

**Adsorption News Vol. 35 No. 1 (2021) 通巻 No. 136 2021 年 4 月 30 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 大坂 侑吾 (金沢大学)  
Tel : 076-264-6475 Fax : 076-264-6475 E-mail : y-osaka@se.kanazawa-u.ac.jp

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 Akio KODAMA  
Institute of Science and Engineering, Kanazawa University  
Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, JAPAN  
Tel : +81-76-264-6472 E-mail : akodama@se.kanazawa-u.ac.jp

Editor

Yugo OSAKA, Kanazawa University  
Tel : +81-76-264-6475 E-mail : y-osaka@se.kanazawa-u.ac.jp

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。

©2021 The Japan Society on Adsorption