

Adsorption News

Vol.19, No.2 (June 2005)

通巻No.73

目 次

○巻頭言	
日本吸着学会に期待するもの	泉 順 2
○第16回吸着シンポジウムのお知らせ	3
○第19回日本吸着学会研究発表会のお知らせ	4
○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 7
○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 12
○会告	
会員移動	17
○掲示板	
平成16年度 吸着関連の卒業論文・修士論文・ 博士論文題目の紹介	18
○関連シンポジウム等のお知らせ	21

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

日本吸着学会に期待するもの

(財)産業創造研究所 泉 順



今から約25年前のことだが、深冷法（液体空気を蒸留法で酸素と窒素に分離する方法）に勝てる酸素製造装置の開発を依頼された。当時私は全く門外漢であったので酸素製造装置の技術調査を行ったところ、ゼオライトを吸着剤として使用した酸素製造装置が有望との結論となった。幸にも、長崎大学工学部のゼオライト研究のレベルは高く、指導を受けながら、ゼオライトを用いた吸着法による空気分離の研究開発を開始した。数年を経て新規なゼオライト系の酸素吸着剤、窒素吸着剤を試作し、米国ゼオライトメーカーに製造を依頼した。これが小職の吸着への関わりとアメリカへの関わりを（ほぼ同時に）持った契機である。米国メーカーの紹介により、アメリカ化学工学者協会（AIChE）で、PSA-酸素の発表を行い、この時に日本吸着学会の皆さんと懇意になり、それ以来、日本吸着学会での活動に参加している。当時、日本は高度経済成長のただ中にあり、吸着法を利用したガス分離装置も順調に実用化していったので、1990年代以降、国内にとどまらず、外国の研究開発の動きにも注目するようになった。

外国に関しては、米国の企業、大学とつきあうことが何回かあったが、米国が多民族、男女共同参画、競争社会であるため、有能で独創的な技術者から構成される研究開発体制を比較的容易に組織化できる印象を持っている。

米国型のニーズ主導の研究への批判は良く理解できる。（特に中長期に亘る基礎研究において）しかし、実用化研究に要求されることは、最も競争力のある技術、製品を最小の予算と最短の期間で開発することであり、これに失敗するとこの市場から退場しなければいけない。研究開発は構成員の全能力を終結して成功を期すものなので、失敗した場合には各自の努力が無に帰すこととなり、各自の人生設計にも関わることとなる。

Ralph Yang 教授（ミシガン州立大）の開発した Li-X 型ゼオライトが、高性能窒素吸着性を示して、PSA-酸素用窒素吸着剤の主流となる過程はサクセスストーリーそのものであったが、それまでの窒素吸着剤は私の開発した吸着剤を含めて、殆ど使われなくなってしまった。

その時は、彼がどのような経緯で開発に成功したかは良く判らなかったが、後日公表された PSA-シミュレーション、分子軌道法による吸着物性推算の論文を読むと、深い洞察力と実用化への合理的な集約力が理解できた。私のささやかな経験に照らすと最強の製品は市場ニーズに対応した高度な基礎研究から生まれると確信している。

日本吸着学会の会員は2005年3月現在317名であり、前年に比べ11名増加しているが、長期的には減少傾向にあり予断を許さない。

一方、日本吸着学会の検討範囲として、①高効率なガス分

離装置の開発（酸素製造、水素精製、CO₂回収、溶剤回収等）、②吸蔵技術の高度化（メタン、水素、NO_x等）、③吸着反応による大気、水浄化装置の開発（オゾン、プラズマ等によるVOC分解）、④吸着式ヒートポンプの開発等の、省資源、省エネルギーの観点から極めて重要な技術課題を検討している。

しかし、会員数の長期的減少と言う現実と直面すると、我々が考えているよりは、外部の評価が低いのではないだろうか。（確かに人口減少と団塊の世代のリタイアによる労働人口減はあるとしても、それは少し先。）

研究開発を進める上で、基礎研究の成果が完全でない為に、実用化への移行過程で問題点が既に露呈しており、第三者の興味を失いつつあるか、基礎研究から実用化への移行時の障壁が予想外に高く、第三者が関心を持ってくれない事が多々ある。

このリスクを最小にする方法の一つとして、成果を外部に公表して第三者の批判を仰ぐとか、関連研究開発の検討に参加するとかにより、実用化可能かについての客観的評価を行うことが挙げられる。

この点で、日本吸着学会は、産学官の吸着に興味を持つ人に共通の情報、成果の発表、検討の場を与えることにより、実用化への有力なツールを与える事が出来るので、この点が理解されれば外部の評価も高まり、会員数の減少に歯止めがかかるのではないだろうか。

会員数の減少を少し詳しく見ると、設立時からの会員が退会の時期を迎える一方、新規（若手）会員が増えていない事にあり、本学会がホットなテーマを扱い、外部の若手研究者、技術者が本学会活動に関心を持っていただく機会が増えると、入会者が増えると伴に会の活動も活性化するのではないだろうか。

泉 順	(財)産業創造研究所 柏研究所 化学研究部長、博士（工学）
職歴	昭和46年4月 三菱重工業(株)長崎研究所入社
	平成13年4月 長崎研究所 主幹研究員
	平成13年10月 九州大学産学交流センター 客員教授
	平成14年10月 三菱エンジニアリング(株) リサーチフェロー
	平成14年11月 (財)産業創造研究所 柏研究所 化学研究部長
	現在に至る。

第16回吸着シンポジウムのお知らせ

「吸着剤、吸着技術の新しい展開」

2005年度の「第16回吸着シンポジウム」は、北九州市八幡区の北九州プリンスホテルで開催いたします。吸着シンポジウムでは、吸着剤、吸着技術に関する最新の研究成果を発表いたします。最近注目集めているテーマですので、充実した発表と活発な討論により、有意義な場を提供できることをお約束いたします。奮ってご参加下さい。

1日目の発表に続いて、三菱化学カルゴン(株)のご厚意により同工場の見学が予定されています。(見学会については同業他社の方の参加はご遠慮下さい。)

主催：日本吸着学会

日時：2005年7月29日(金)、30日(土)

会場：北九州プリンスホテル

〒806-8585 福岡県北九州市八幡西区東曲里町3-1

TEL：(093)631-1111 FAX：(093)631-1148

参加費：会員 6,000円、会員外 10,000円、学生 3,000円、懇親会 8,000円

宿泊：北九州プリンスホテルへの宿泊予約を手配いたします。ご希望される場合には、申込時にお知らせください。(朝食付き税込み7,900円、お支払いはホテルに直接お願いします。)

申込方法：氏名、所属、住所、電話番号、ファックス番号、電子メールアドレス、会員資格、宿泊予約希望の有無を明記の上、下記に電子メール、葉書、またはファックスでお申し込み下さい。

申込先：〒277-0861 千葉県柏市高田1201 財団法人 産業創造研究所 柏研究所 化学研究部
泉 順

PHONE：04-7146-0011 FAX：04-7144-8944 PHS：070-5450-0381 E-mail：izumi@iri.or.jp

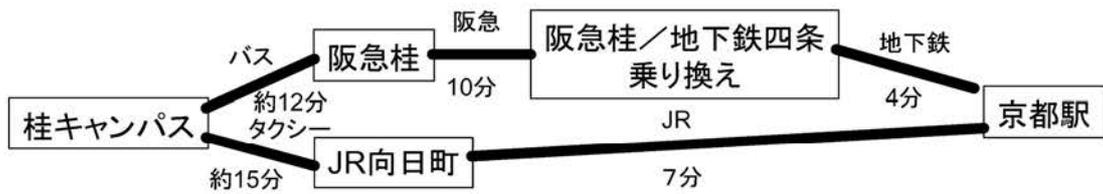
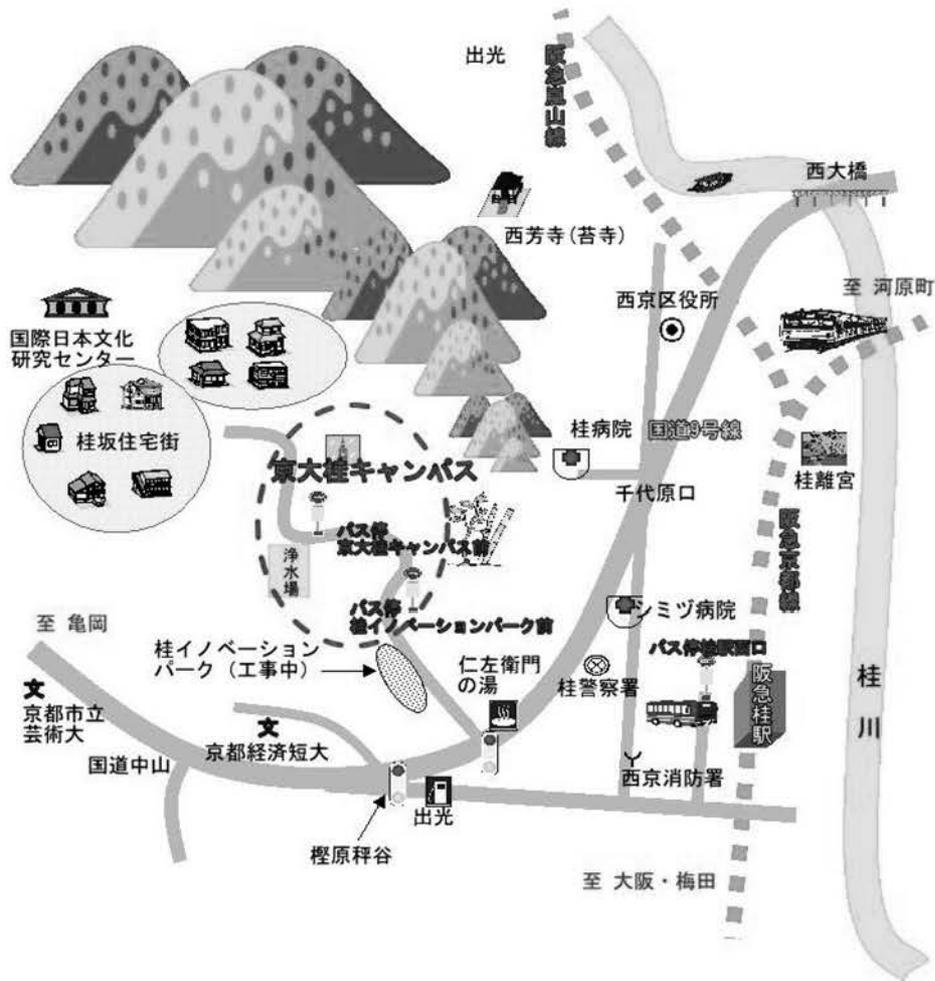
プログラム：

- 29日(金) 13：30～14：15 九州大学総合理工学研究院 寺岡靖剛氏
「混合導電性金属酸化物を用いた酸素分離」
14：15～15：00 西部技研(株)開発部 岡野浩志氏
「イオン吸着式全熱交換器」
15：00～15：30 三菱化学カルゴン
「三菱化学カルゴンの研究開発と黒崎工場の紹介」
－見学会場に移動－
16：00～17：00 見学会 (三菱化学カルゴン(株)黒崎工場)
－懇親会会場に移動－
18：00～ 懇親会
- 30日(土) 9：30～10：10 (財)産業創造研究所 藤田洋崇氏
「有機物を対象とした液相オゾン吸着反応の基礎的検討」
10：10～10：50 大阪市立工業研究所環境技術課 長谷川貴洋氏
「リチウムイオン電池負極用ケイ素含有カーボングル微粒子の製造」
10：50～11：30 徳島大学工学部 堀河俊英氏
「カーボンエアロゲルの細孔形成機構と細孔構造制御」

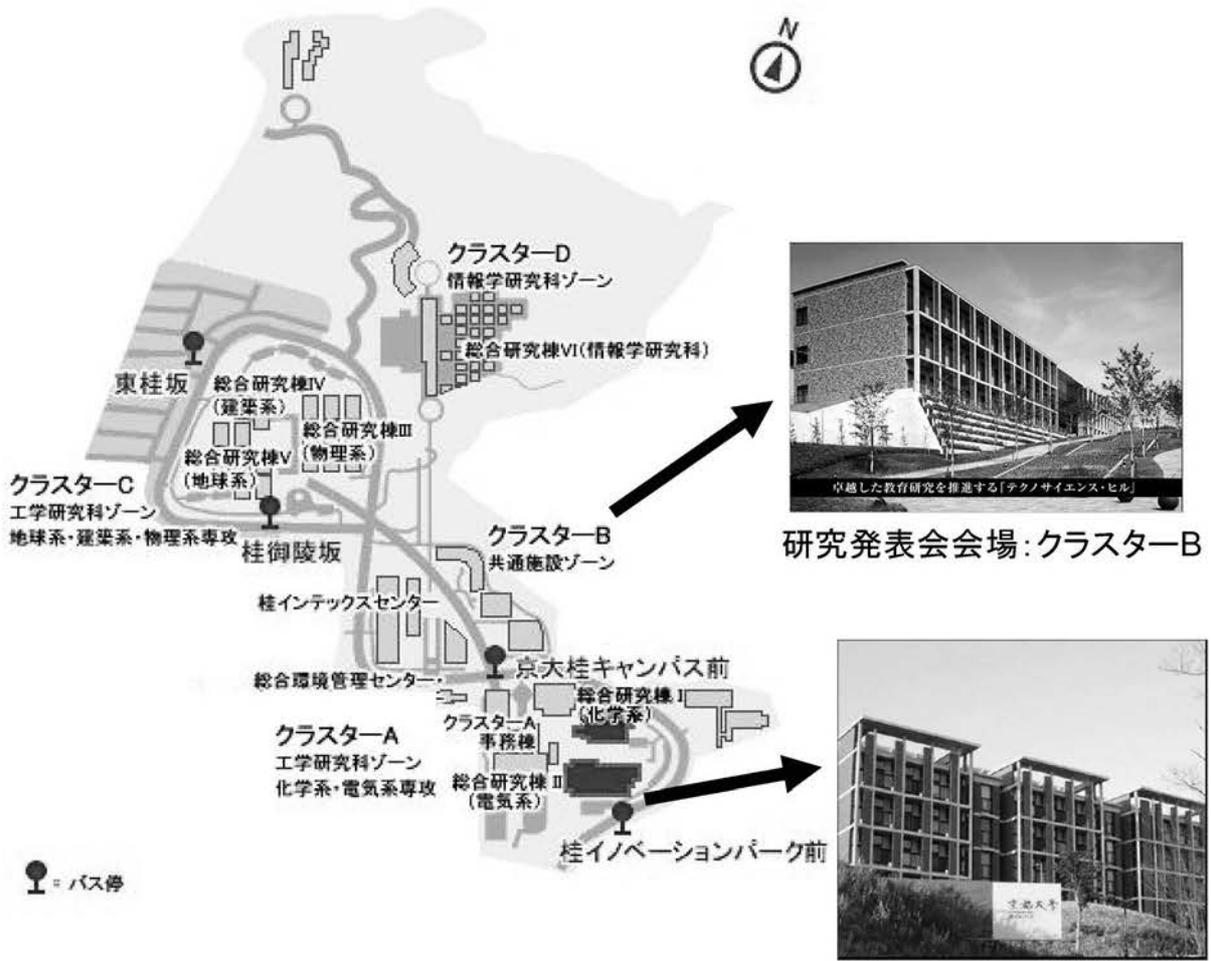
第19回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

- 会期**：平成17年9月29日(木)、30日(金)
- 会場**：京都大学桂キャンパス (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂)
- 交通**：①桂駅(阪急)から(推奨)；京都市市バス 西6系統「桂坂中央」行き「京大桂キャンパス前」下車 あるいは 京都交通バス 循環20系統「桂坂中央」行き「京大桂キャンパス前」下車。バスの停留所は桂駅西口。桂駅から所要時間12分。なお、4名でタクシー利用の場合、料金はほぼ同じ。
<http://www.city.kyoto.jp/kotsu/busdia/hyperdia/798037.htm> (市バス)
http://www.khobho.jp/mite/kyoto/20050401/asp/t_jikoku.asp?teircd=1100 (京都交通)
- ②京都駅(JR・近鉄)から；四条烏丸(地下鉄)乗換、桂駅(阪急)。あるいは、京都駅から向日町(JR)へ行き、タクシーで桂キャンパス(約20分)。
- 宿泊**：各自でご手配願います。阪急沿線が便利です。
- 総合受付**：京都大学桂キャンパス クラスターB 事務管理棟
- 講演会場**：京都大学桂キャンパス クラスターB「桂ホール」
- ポスター会場**：京都大学桂キャンパス クラスターA A2棟「ラウンジ」
- 発表要領**：口頭発表：講演12分、質疑8分
OHPまたはビデオプロジェクター(Power Point)で発表願います。
ポスター発表：発表時間1時間30分。パネル寸法は発表者に直接連絡。
- 発表申込**：E-mailまたは郵便葉書で、1. 講演題目、2. 発表者氏名、3. 所属(勤務先・学校名等、郵便番号、所在地、Tel、Fax、E-mail)、4. 希望発表形式(口頭またはポスター)を記入し、下記宛にお申し込みください。4. については希望に添えない場合もありますが、ご了承ください。
- 要旨集原稿**：A4版用紙1ページに、講演題目、1行あけて所属(略称)、氏名(講演者の前に○)、1行あけて要旨を1行あたり45文字、1段送りで記載し、最下行に連絡先(Tel、Fax、E-mail)を記入してください。原稿はなるべくE-mailの添付書類(MS-Word ver.6.0以上)として下記宛先にお送りください。なおホームページに原稿のテンプレートファイルを用意しましたので、可能な方はご利用ください。
- 懇親会**：9月29日(木) 京都大学桂キャンパス クラスターB 福利棟「桂カフェ」
- 参加登録費**：学会会員8,000円(官・学)、10,000円(産)
非会員 10,000円(官・学)、12,000円(産)、学生4,000円
ただし、予約(8/26㍻)申込者は2,000円割引。参加登録費には要旨集代も含まれます。(要旨集のみ購入の場合3,000円。)
- 懇親会費**：一般7,000円、学生5,000円。ただし、予約(8/26㍻)申込者は1,000円割引。
- 参加予約申込**：E-mailまたは郵便葉書で、1. 氏名、2. 所属(勤務先・学校名等、郵便番号、所在地、Tel、Fax、E-mail)、3. 懇親会の参加、不参加を記入し、下記宛にお申し込みください。同時に、参加費、懇親会費共に下記に郵便振替にてお支払いください。
- 郵便振替**：口座番号：00990-6-278328
口座名称：日本吸着学会研究発表会実行委員会
- 発表申込締切**：平成17年6月30日(木)(必着)
- 講演要旨締切**：平成17年8月19日(金)(必着)
- 参加予約締切**：平成17年8月26日(金)(必着)
- ホームページ**：<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/jsad/>
- 申込・連絡先**：〒615-8510 京都市西京区京都大学桂
京都大学工学研究科化学工学専攻 田門 肇
Tel：075-383-2664 Fax：075-383-2654
E-mail：fuji@cheme.kyoto-u.ac.jp

京都大学桂キャンパスアクセスマップ



京都大学桂キャンパス



講演会場: 桂ホール(クラスターB)



懇親会: 桂カフェ(クラスターB)

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

Synthesis of Nanoporous Materials by Using
Self-Assembly Structure and Development of High
Rate Mass-Transportable Electrodes

長崎大学大学院生産科学研究科
Graduate School of Science and Technologies,
Nagasaki University

森口 勇
Isamu Moriguchi

1. はじめに

吸着・分離、触媒、電極材料などの材料開発において、表面あるいは界面の設計は材料の性能を大きく左右する。その一つとして、材料の多孔化ならびに多孔構造制御は重要である。中でも所望の多孔構造を創製する意味でテンプレート法による多孔体合成が近年活発化している。テンプレート法による無機物の多孔構造制御は、1970年代に有機アミン分子を利用した“分子テンプレート法”によるゼオライト合成で活発化し、その後1990年代から界面活性剤ミセルをテンプレートに利用したメソポーラスシリカの合成が、現在では超分子やオパールのようなコロイド系集合構造を利用したメゾあるいはマクロ多孔構造制御も行われるようになった。今や、ミクロ (< 2 nm) からメゾ (2 ~ 50 nm)、マクロ (> 50 nm) に至る幅広い範囲で細孔サイズや細孔配列規則性が制御できるようになり、多種多様な多孔体が得られるようになってきた。合成化学的興味からこのような構造制御は今後も活発に研究されるものと思われるが、それと同時に多孔構造制御が機能創製に繋がるような研究の進展も望まれるところである。

ところで、吸着・分離、触媒、電極材料などの多くは機能発現に対して物質移動を伴うため、多孔化して高表面積な反応界面を得るのみならず効率的な物質移動パスとして機能する多孔構造を形成させることは材料開発・性能向上において重要な課題である。本稿では、多孔構造制御による電気化学キャパシタ材料の開発に関する筆者らの取り組み例を挙げ、多孔構造制御の特徴や可能性について述べる。

2. 電気化学キャパシタ開発の背景

近年、電池、キャパシタ等の電気化学エネルギー変換・貯蔵デバイスの開発においては、高出力化、大容量化が望まれている。その背景には、燃料電池を駆動電源とする電気自動車 (FCEV) への期待が高まる中、現実的には自動車の走行負荷変動に対応するために一般に瞬発力が比較的小さい燃料電池のみでは不十分であり、高出力かつ大容量 (高エネルギー密度) の補助電源の開発が必要とされるためである。また、

ハイブリッド車 (HEV) においても減速時のエネルギー回収効率の向上による燃費の低減、さらには、より高出力・大容量の補助電源 (蓄電機器) の開発は電力回生に対しても有効であり、すなわち電力系統の負荷平準化や瞬時電圧低下対策への貢献も期待される。

図1に代表的なエネルギーデバイスの一般的性能を示す。高出力デバイスの代表例として電解キャパシタ、高エネルギー密度の電源としてリチウム電池等の二次電池が挙げられるが、前者はエネルギー密度、後者は出力密度が極端に低い。電極と電解液界面に蓄えられる電気二重層容量を利用する電気二重層キャパシタ (EDLC) は、両者の中間的な性能を有する。しかしながら、FCEV や HEV への応用を想定した高出力かつ高エネルギー密度デバイスの開発は十分には進んでいない。アメリカ合衆国エネルギー省による HEV に対する性能目標値²⁾に対して、例えば EDLC では出力、エネルギー密度ともに約1桁以上のさらなる性能向上が要求される。このような状況において、主にカーボン多孔構造制御や表面改質による EDLC の特性向上の試み³⁻⁶⁾、EDLC にレドックス活物質を修飾してファラデー擬似容量を賦与することによる高エネルギー密度化の試み^{7,8)}、などのアプローチによる研究がなされてきている。

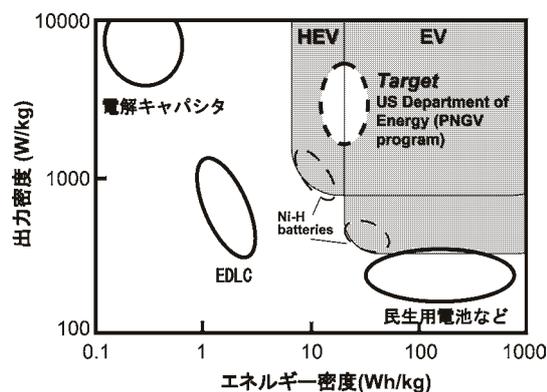


図1 代表的エネルギーデバイスの一般的性能
(ラゴンプロット)

このようなデバイス開発において電極構造制御は重要であり、すなわち反応界面を増大させるとともに、擬三次元的電極界面でのスムーズな物質移動、活物質内でのイオン拡散、faradic 反応に伴う電子移動などの複数の過程に対して高速かつ効率的な電極構造を創製する必要があると考える。電極材料の多孔化 (高表面積化) はその一つのアプローチであるが、上記のようなことを考慮した上で、特に高出力化のための電極構造を設計した例は少ない。例えば電池デバイスでは、活物質や導電助剤などを機械的に混合したケースがほとんどである。筆者らは、多孔構造と Li インターカレーション特性⁹⁻¹²⁾や電気二重層容量特性^{6,13)}との関連性を基礎的に調べ、高速物質移動に有効な細孔構造を創製することで高出力・大容量な充放電電極材料の開発を目指している。

3. カーボンナノ多孔構造制御と EDLC 特性

これまでに様々な多孔性カーボンの EDLC 特性が調べられている。特に多孔構造あるいは繊維状構造を有する高比表面積カーボンにおいて、高い電気二重層容量を示すものが開発され、その一部は時計やメモリーバックアップ電源として実用に供されている。しかしながら、さらなる容量の増大ならびに高出力と大容量の両方を満足するためには、高比表面積でかつ高速イオン移動が可能な電極界面構造が望まれる。例えば多孔性カーボンにおいては、細孔のサイズや形状の制御が必要とされるであろう。図2に、活性炭¹⁴⁾やメゾポーラスカーボン^{3,5)}、カーボンエロゲル⁴⁾、カーボンナノチューブ¹⁵⁾など、主な多孔性カーボン（表面酸化処理を施していないものに限定）の電気二重層容量を示す。原理的には高表面積であればあるほど電気二重層容量は大きくなるはずであるが、現実には必ずしもそうはなっていない。これまで報告された高比表面積多孔カーボンのほとんどはマイクロ細孔が発達している、あるいはメゾ細孔が形成されていても細孔サイズがスムーズな物質移動に対して十分なサイズではないため、電解液やイオンが十分に浸透・移動できず、全表面が有効に電気二重層形成に利用されていないと考えられる¹⁴⁾。また、高速充放電過程ではイオン移動に細孔構造が大きく影響し、すなわちマイクロ孔のような小さな細孔を多く含む多孔カーボンでは電解液抵抗の増大による容量低下が大きくなると予想される。このような観点から、メゾ・マクロ多孔カーボンの合成・応用が注目を集めている。

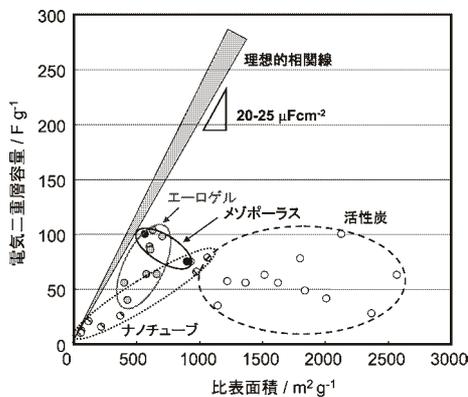


図2 表面酸化処理を施していない多孔カーボンの電気二重層容量と比表面積の関係

Ryoo らは、ミセルテンプレート法により得たメゾポーラスシリカ細孔内にカーボン源としてスクロースを充填し、カーボン化後シリカを除去する方法により2~3 nm 付近にシャープな細孔分布を有するメゾ多孔カーボンを得ることに成功した¹⁶⁾。メゾ多孔カーボンの EDLC 特性も調べられ、平均細孔直径4 nm、BET 比表面積900m²g⁻¹のもので、90~60 F g⁻¹ (at 0.5~50mVs⁻¹, in 1.0 M LiPF₆/(EC+DEC)) の高い電気二重層容量が報告されている⁵⁾。構造規則性はないが、フェノール樹脂やレゾルシノール樹脂から合成されるカーボンエロゲルは、10nm 前後の比較的大きなメゾ細孔

を多く有し（比表面積400~700m²g⁻¹）、56~104Fg⁻¹ (at 5 mVs⁻¹ in 1.0 M H₂SO₄) の高い容量を有することも報告されている⁴⁾。これらの結果は、多孔構造電極内でのスムーズなイオン移動に対してある程度以上のサイズのメゾ細孔が適していることを示している。

筆者らは、SiO₂コロイド結晶テンプレート法（図3）によりメゾあるいはマクロ領域に細孔を有する多孔カーボン（C[x]-y、x はシリカ粒子サイズ、y は焼成温度）の合成を行い（図4）、その EDLC 特性を評価した^{6,13)}。合成した多孔カーボンの N₂吸脱着等温線の例を図5に示す。マイクロ孔への吸着とメゾ・マクロ領域の細孔への毛管凝縮が観測され、後者は SiO₂粒子サイズが大きくなるにつれ高い相対圧へシフトした。すなわち、本系で得られたカーボンはマイクロ細孔とメゾあるいはマクロ細孔からなる二元系多孔カーボンである。1000°C 熱処理で得た多孔カーボンについて、α_s-プロット、

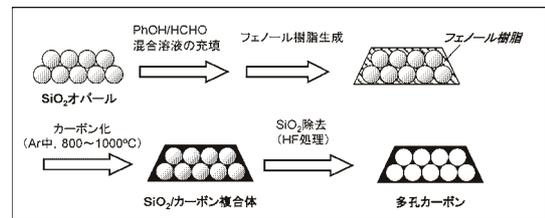


図3 コロイド結晶テンプレート法による多孔カーボンの合成スキーム

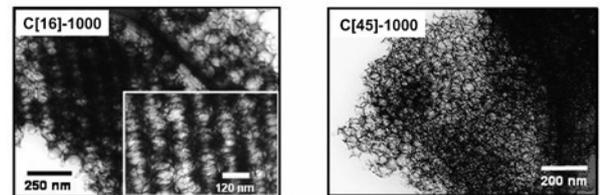


図4 コロイド結晶テンプレート法で得た多孔カーボンのTEM像

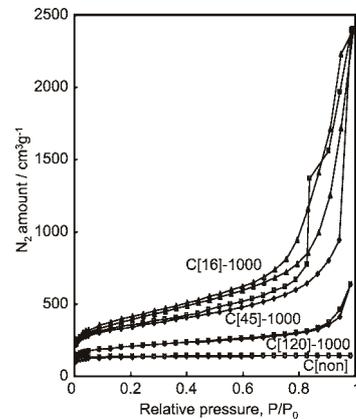


図5 C[x]-1000の窒素吸脱着等温線 (C[non]はテンプレートなしで得たカーボン)

T-プロット解析より求めた全比表面積、マイクロ細孔比表面積、メゾ・マクロ細孔比表面積を表1に示す。マイクロ細孔比表面積はSiO₂サイズに依らずほぼ一定(400m²/g程度)であり、カーボン源であるフェノール樹脂がカーボン化する際にマイクロ細孔が生成するものと考えられる。一方、メゾ・マクロ細孔比表面積はSiO₂サイズが小さくなるとともに増加した。メゾ・マクロ細孔比表面積はシリカ粒子サイズが小さくなるにつれ増加し、C[16]-1000では1000m²/g近くに及ぶ。得られる多孔カーボンについて、硫酸中でのサイクリックボルタンメトリーを行ったところ、電気二重層への充放電による典型的な矩形のサイクリックボルタモグラムが得られ、その容量はC[16]-1000において190F/g(at 1 mV/s)、C[16]-800では240F/g(at 1 mV/s)の非常に高い値を得た。多孔カーボンの電気二重層容量は図6に示すように比表面積に比例して増大し、その直線の横軸(比表面積軸)との切片は試料のマイクロ細孔由来の比表面積(400m²/g)とほぼ一致した。すなわち、本系の電気二重層容量のほとんどはメゾ・マクロ細孔表面からの寄与によるものと考えられる。直線の傾きより見積もったC[x]-1000のメゾ・マクロ細孔表面の単位表面積当たりの容量は20μF/cm²の理想的値^{6,11)}であった。C[x]-800はさらに高い値(25μF/cm²)を示した。さらに特徴的なのは、既往の多孔カーボンにおいては高速充放電では細孔内の電解液抵抗が大きくなり急激な容量低下が見られるのに対し、本系では100mV/sの走引速度においてもその高い容量をほぼ維持していた¹⁷⁾。例えば、C[16]-1000は100mV/sで150F/g程度の高い値を示す。また、LiClO₄/(PC+DME)などの有機溶媒系電解液中においても同程度の高い電気二重層容量を観測している。

ところで、細孔サイズが大きくなると単位体積当たりの容量低下が懸念される。実用的には重量当たりの容量、体積当たりの容量がともに高い材料が望ましい。図7に示すように、今回得た多孔カーボンは体積当たりの容量は必ずしも高いとは言えない。しかしながら、本系においてシリカ粒子の最密パッキング構造がカーボン多孔構造に厳密に反映されれば原理的には細孔の占める体積分率は74%と一定であるため、単位表面積当たりの容量が一定であれば比表面積増加による電気二重層容量の増大は体積当たりの容量増大にも繋がると思われる¹⁸⁾。また、今回得た多孔カーボンはメゾあるいはマクロ細孔壁中にマイクロ孔を有するため、実質的に電気二重層形

表1 C[x]-1000の全比表面積(Sa_{total})、メゾ・マクロ孔比表面積(Sa_{meso, macro})、マイクロ孔比表面積(Sa_{micro})

Sample	Sa _{total} , m ² g ⁻¹ ^a	Sa _{meso, macro} , m ² g ⁻¹ ^b	Sa _{micro} , m ² g ⁻¹ ^c
C[non]-1000	455	n.d.	455
C[120]-1000	662	262	400
C[45]-1000	1130	737	394
C[16]-1000	1358	980	378

^adetermined from α_s plots, ^bdetermined from T-plots,

^cSa_{micro} = Sa_{total} - Sa_{meso, macro}

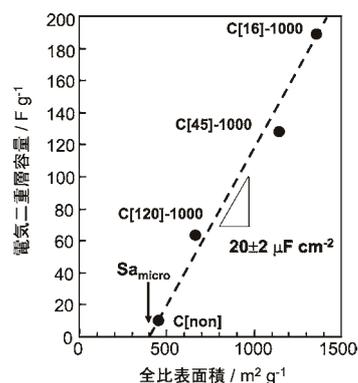


図6 C[x]-1000の電気二重層容量の比表面積依存性(走引速度: 1 mV s⁻¹, C[non]はテンプレートなしで得たカーボン)

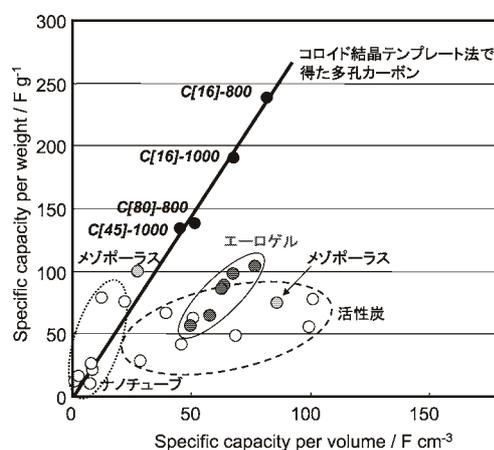


図7 多孔カーボンにおける電気二重層の重量当たりの容量と体積当たりの容量の相関図

成にほとんど寄与しないマイクロ孔の生成を抑え、カーボン密度を向上させることも今後必要である。

まだ検討・改良の余地は多く残されているが、筆者らが今回開発した多孔カーボンは、メゾあるいはマクロ細孔の割合が高いため高速充放電においても高い電気二重層容量を示し、高速物質移動に適した多孔材料として応用が期待される。

4. 金属酸化物多孔構造と電気化学Liインターカレーション

EDLCカーボン表面に金属酸化物や導電性高分子を修飾して、レドックス反応に伴うファラデー擬似容量の賦与によるさらなる大容量化が研究されている。しかしながら、それらの多くは高速充放電時に急激な容量低下が見られ、高出力化の観点では十分な研究がなされていない。また、レドックスキャパシタの多くは水溶液系でのプロトン移動を伴った系が多く、電位範囲が限られるためエネルギー密度も必ずしも高くはない。これに対し、筆者らは、エネルギー密度に優れたリチウム二次電池の高出力化を図り、高出力・大容量のデバイス開発を目指すという新しい機軸からのアプローチ¹⁷⁾を検討している。

リチウム二次電池などのインターカレーション系電池のエネルギー密度は100~1000Wh/kgときわめて大きい、出力密度はEDLCの1/10~1/100程度と小さい。これはホスト中のゲスト (Li) の拡散が遅く、高速の充放電ができないためである。高い出力密度を得るためには、拡散係数 D が特に大きいホスト材料が開発されない限り、拡散距離 L ($= (Dt)^{1/2}$) を小さくする必要がある。 D は通常 10^{-12} cm²/sのオーダーであるから、 $t=10$ s程度で高速にゲストを出し入れするためには、 L を数10nm程度にする必要がある。しかもこのホストの薄層には電子と電解質中のゲストイオンがともにアクセスできなければならない。そのような意味において、活物質のメゾ多孔体は、高比表面積でかつ電解液からのLiイオン輸送のためのチャンネルを有し、かつ薄壁であるため拡散長が短い、という観点から、高出力・大容量のLiインターカレーション電極開発において有効であると考えられる。そこで、コロイド結晶テンプレート (CT) 法や両連続マイクロエマルジョン (BME) 法により、まずTiO₂を例にとってナノ多孔体の合成を行った。

CT法では、ポリスチレン (PS) のラテックス溶液から基板上にPSオパール膜を形成させ、粒子間隙でTiアルコキシドのゾルーゲル反応を行わせ、焼成することにより、アナターゼTiO₂の規則マクロ多孔膜を作製した^{11,12}。一方、両連続マイクロエマルジョン (BME) 法では、水/界面活性剤/油の3成分系でHLB (Hydrophilic Lipophilic Balance) が釣り合った条件において界面活性剤層を介して水相、油相の3次元的な両連続ナノ構造を形成することから、これを反応場を利用してゾルーゲル反応をさせること¹⁹)により、アナターゼTiO₂のメゾ多孔体を合成した^{9,10}。CT法では、単一マクロ細孔 (0.1-0.5 μ m) が規則配列した多孔膜 (図8)、および disorder しているが bimodal 細孔 (0.43 μ m/0.05 μ m) からなるTiO₂多孔体も得ることに成功した。BME法では、Ti(OBu)₄のゾルーゲル反応から2~5nm (図9)、Ti(OBu)₄にアセチルアセトンを加えてゾルーゲル反応速度を抑制した系で10~20nm領域のメゾ多孔体を得ることができた。

BME法で得たTiO₂メゾ多孔体については、アセチレンブラック (AB)、PTFEと混合し、Niメッシュ上に圧着して電極 (BME-TiO₂電極) とした。CT法では、TiO₂マクロ多孔膜を直接Au板上に形成させ、電極とした (CT-TiO₂電極)。電解液に0.1 M LiClO₄/(PC+DME)、対極および参照極には金属Liを用いて、定電流充放電測定を行った (カットオフ電位: 0.4~3.6V vs. Li⁺/Li)。いずれの電極においても、図10に示すようにアナターゼTiO₂結晶相へのLiイオンの挿入・脱離 (TiO₂ + xLi⁺ + xe⁻ \leftrightarrow Li_xTiO₂) に伴う tetragonal \leftrightarrow orthorhombic 相転移に由来するプラトー領域 (挿入過程: 1.8V vs. Li⁺/Li、脱離過程: 2.0V vs. Li⁺/Li) が充放電カーブにおいて確認された。理論挿入量を $x=0.5$ とすると充放電の最大容量は168mAh/gであるが、その容量はTiO₂電極の細孔構造特性に大きく依存する。メゾ細孔サイズが2~4nmでメゾ細孔表面積が異なるBME-TiO₂電極について比較すると、表面積が大きいほどLi挿入・脱離容量が大きく、充放電レートが高くにつれ表面積依存性が大きくなった。

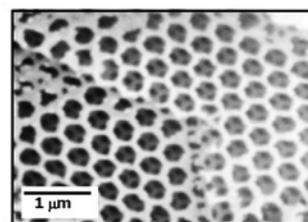


図8 コロイド結晶テンプレート法により作製したTiO₂多孔膜のSEM像 (SiO₂粒子サイズ0.4 μ mの例)

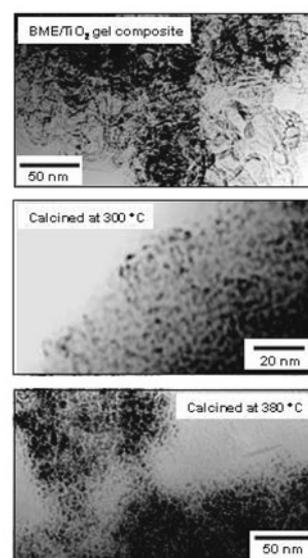


図9 BME法で合成したゲル前駆体およびTiO₂多孔体のTEM像

また、CT-TiO₂電極では、TiO₂結晶子径が小さいほど (細孔壁厚が薄いほど) Li挿入・脱離容量が大きくなる傾向が見られた。さらに、主なTiO₂多孔電極について容量の充放電レート依存性を比較すると (図11、表2)、概して高比表面積で細孔サイズが小さいものは、低充放電レートでの容量は大きい、低比表面積で細孔サイズが大きいものは低充放電レートでの容量は低めであるが、高充放電レート側での容量低下が小さいことがわかった^{5,6,8})。以上の結果は、分極、固相内拡散および細孔内電解液抵抗の影響を反映しており、すなわち、高比表面積で面積当たりの電流密度を小さくして分極を抑え、細孔壁厚を薄くしてLiのTiO₂固相内拡散長を短くし、さらに細孔サイズを大きくして電解液抵抗を小さくすることが、電極材料の性能向上に必要であることを示している。BME-TiO₂電極では、細孔サイズが大きなBME-TiO₂ (Acac) 電極において、充放電レート依存性の改善が見られる。CT-TiO₂マクロ多孔電極では、細孔サイズの細孔内電解液抵抗への影響はほとんど無視できるが、低比表面積で細孔壁が厚いため、bimodal多孔構造のような階層構造形成が特性向上に有効であると考えられる^{10,12,20}。

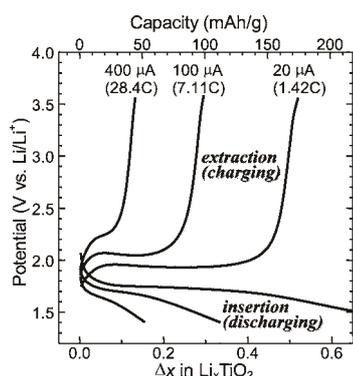


図10 アナターゼ TiO₂多孔電極の充放電カーブ

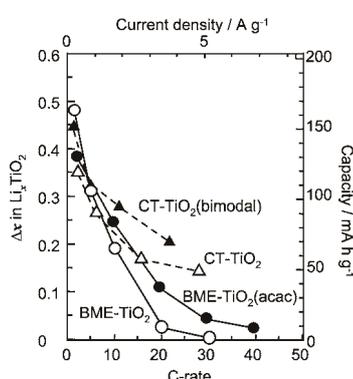


図11 アナターゼ TiO₂多孔電極の充放電容量のCレート依存性 (1C=168mAh/g)

表2 合成した主な TiO₂多孔体の構造特性

Samples	S_a /m ² g ⁻¹	V_{mp} /cm ³ g ⁻¹	d /nm	t /nm
BME-TiO ₂	189	0.15	2-5	6
BME-TiO ₂ (acac)	218	0.83	10-25	16
CT-TiO ₂	43	—	100	21
CT-TiO ₂ (bimodal)	—	—	50/430	31

S_a : BET surface area, V_{mp} : mesopore volume, d : mean pore diameter, t : crystallite size

しかしながら、TiO₂もそうであるが、一般に活物質は電気伝導性が低いため、多孔構造制御のみでは高充放電レートでの容量向上には限界がある。すなわち、活物質多孔体の電子伝導性の向上、例えば電子伝導パスとなる物質とのナノコンポジット多孔体などの創製が必要になる。これに対し、筆者らは最近、BME法によりカーボンナノチューブをナノ複合させたTiO₂メゾ多孔体を得ることに成功し、高速充放電時のLi挿入脱離量の飛躍的な増大を観測している²¹⁾。

5. おわりに

高出力・大容量の電気化学キャパシタ材料の開発のために

は高速物質移動を可能にする電極構造が必要不可欠であり、そのためには電極内にイオン移動や電子伝導のための効率的なパスを用意してやる必要がある。本稿では、ナノ多孔構造制御による電極材料の性能向上に対する取り組みを紹介させて頂いたが、多孔性物質を利用した吸着・触媒材料などの開発において多少なりとも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 森口 勇, 寺岡靖剛(分担執筆), ナノマテリアルハンドブック, エヌ・ティー・エス, 第6章2節, pp.439-444 (2005).
- 2) R.F. Nelson, *J. Power Source*, **91**, 2 (2000).
- 3) J. Lee, S. Yoon, S.M. Sh, C-H. Shin, *Adv. Mater.*, **12**, 359 (2000).
- 4) W. Li, G. Reidienauer, J. Fricke, *Carbon*, **40**, 2955 (2002).
- 5) H. Zhau, S. Znu, M. Hibino, I. Honma, *J. Power Sources*, **122**, 219 (2003).
- 6) I. Moriguchi, F. Nakahara, H. Furukawa, H. Yamada, T. Kudo, *Electrochem. Solid State Lett.*, **7**, A221 (2004).
- 7) E. Frachowiak, F. Begin, *Carbon*, **39**, 937 (2001).
- 8) 日本化学会編, 季刊化学総説 No. 28 “新型電池の材料化学”, 学会出版センター (2001).
- 9) I. Moriguchi, Y. Katsuki, H. Yamada, T. Kudo, T. Nishimi, *Chem. Lett.*, **33**(9), 1102 (2004).
- 10) I. Moriguchi, R. Hidaka, H. Yamada, T. Kudo, *Solid State Ionics*, in press.
- 11) H. Yamada, T. Yamato, I. Moriguchi, T. Kudo, *Solid State Ionics*, **175**, 195 (2004).
- 12) H. Yamada, T. Yamato, I. Moriguchi, T. Kudo, *Chem. Lett.*, **33**, 1548 (2004).
- 13) I. Moriguchi, F. Nakahara, H. Yamada, T. Kudo, *Studies in Surface Science and Catalysis*, in press.
- 14) H. Qu, *J. Power Sources*, **74**, 99 (1998).
- 15) Ch. Emmenegger, Ph. Mauron, P. Sudan, P. Wegner, V. Hermann, R. Gallay, Z. Zuttel, *J. Power Sources*, **124**, 321 (2003).
- 16) R. Ryoo, S.H. Joo, S. Jun, *J. Phys. Chem. B*, **103**, 7743 (1999).
- 17) 森口 勇, 山田博俊, 工藤徹一, *MATERIAL STAGE*, **4**(5), 11 (2004).
- 18) 森口 勇, 山田博俊, 工藤徹一 (分担執筆), [自動車] 電気二重層キャパシタとリチウムイオン二次電池の高エネルギー密度化・高出力化技術, 技術情報協会, 第4章第4節, pp.133-141 (2005).
- 19) I. Moriguchi, Y. Shono, H. Tachikawa, H. Yamada, T. Kudo, Y. Teraoka, T. Nishimi, *Chem. Lett.*, **34**(4), 610 (2005).
- 20) 森口 勇, *化学*, **60**(3), 74 (2005).
- 21) 生野, 日高, 山田, 森口, 工藤, 電気化学会第72回大会講演要旨集, p.300 (2002).



森 口 勇
長崎大学大学院生産科学研究科 助教授
博士 (工学)
昭和63年 九州大学大学院工学研究科合成化学専攻修士課程修了
昭和63年～平成11年 長崎大学助手

(工学部)
平成11年～ 長崎大学助教授 (工学部、現在は大学院生産科学研究科)
平成13年～平成17年 JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ研究員兼務
平成17年～ 東北大学学際科学国際高等研究センター 客員助教授 兼任
専門：コロイド界面化学、電気化学

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

Studies on pore formation mechanism and pore structure control of porous carbon materials

徳島大学工学部化学応用工学科
Department of Chemical Science and Technology,
Faculty of Engineering, The University of Tokushima

堀河 俊英
Toshihide Horikawa

炭素材料は我々の生活の多岐分野において利用されている。その中で、ガス分離に用いる吸着剤、キャパシタの電極材料等の多孔質炭素材料の細孔構造はその効率、性能に大きく影響を及ぼすことが知られている。多孔質炭素材料の製造工程において、細孔構造形成のメカニズムを解明し、細孔径分布や比表面積などの細孔特性を制御することは大変重要である。

著者らは、これまでにフェノールホルムアルデヒド樹脂、レゾルシノールホルムアルデヒド湿潤ゲルからそれぞれ多孔質炭素材料を製造した。それぞれ得られた多孔質炭素の細孔構造を解析し、その細孔特性について評価するとともに、細孔が形成されるメカニズムについて考察し、①～⑤について報告した。簡単な内容を紹介する。

- ① 廃棄フェノールホルムアルデヒド樹脂を出発原料として、炭化物を製造し、化学気相蒸着 (CVD) 法を用い細孔径分布を制御し、より高度な吸着分離能を有する分子ふるい炭素の製造を試みた。CVD 法による細孔径制御メカニズムを示した¹⁾。
- ② フェノールホルムアルデヒド樹脂にエチレングリコール、ポリエチレングリコールの有機物を添加して樹脂を製造し、それらを炭化して得られる炭化物の細孔構造について考察した²⁾。
- ③ 超臨界二酸化炭素乾燥法を適用することにより触媒の種類、添加量を変化させて製造したレゾルシノールホルム

アルデヒド (RF) 湿潤ゲルから RF エアロゲルを得た。得られた RF エアロゲルを炭化してカーボンエアロゲルを製し、触媒の種類、添加量はその細孔構造にどのような影響を及ぼすのか検討した³⁾。

- ④ 乳化重合法により、球状 RF 湿潤ゲルを製し、③と同様に超臨界二酸化炭素乾燥により球状エアロゲル、そして炭化により球状カーボンエアロゲルを得た。ゲル化過程において RF 混合溶液の粘度が時間の経過とともに増加することを利用して、乳化重合系に投入する RF 混合溶液の粘度を変化させることにより、得られる球状 RF カーボンエアロゲル粒子径を制御することを試みた⁴⁾。
- ⑤ ④と同様に乳化重合系を用いて球状 RF カーボンエアロゲルを製造した。乳化重合系に用いる界面活性剤の親水性親油性比 (HLB) 値を変化させることにより、製造した球状 RF カーボンエアロゲルの細孔構造に及ぼす影響について検討した⁵⁾。

ここでは、③について紹介する。

1. はじめに

炭素材料は傑出した多様な潜在能力を有するため、吸着剤、触媒担体などの化学分野、高電導材料などのエレクトロニクス分野、スポーツ素材などの構造物分野など多岐分野において利用されている。そのため、炭素材料は各分野において幅広く数多くの基礎、応用研究が行われている。その様な中で、利用する場面に応じて取り扱いが容易かつ最適な細孔特性を有する炭素材料をどのように設計、製造するのかということは大変重要である。

レゾルシノールとホルムアルデヒドのゾルーゲル重合と超臨界二酸化炭素を用いて有機エアロゲルの作成を行い、それらを熱処理することによりカーボンエアロゲルが製造できることが Pekala らによって始めて報告された⁶⁻⁸⁾。有機エアロゲル、カーボンエアロゲルが優れた細孔特性を有し、吸着剤等への幅広い分野での適用性に関心が寄せられ、それらの製造方法や細孔特性の制御に関する研究が数多く行われている⁹⁻¹¹⁾。

著者らは、ゾルーゲル重合により、触媒種と触媒添加比の異なるレゾルシノールホルムアルデヒド (RF) 樹脂を合成し、超臨界二酸化炭素を用いて乾燥した RF エアロゲルを熱処理して RF カーボンエアロゲルを調製した。調製した RF カーボンエアロゲルの細孔特性は窒素吸着等温線を測定する

ことにより評価した。触媒種、触媒添加比を変化させることにより RF カーボンエアロゲルの細孔構造がどのように変化するか検討し、さらに、ゲル化過程における RF ゲル内のモルフォロジー変化を検討するために小角 X 線散乱 (SAXS) を用いてリアルタイム測定を行い触媒種、触媒添加比が細孔構造に及ぼす影響について検討した。

2. 実験

2.1 RF カーボンエアロゲルの製造

レゾルシノール(R)、ホルムアルデヒド(F)、蒸留水(W)、触媒(C)として K_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 $KHCO_3$ 、 $NaHCO_3$ をそれぞれ所定比で混合し298K に設定された水浴中で数日間静置して RF 湿潤ゲルを合成した。それぞれの混合比は R/F モル比は0.25、R/W モル比は0.037、R/C モル比は50、200、1000とした。

合成された RF 湿潤ゲルはアセトンに浸漬し、RF 湿潤ゲル中に含まれる水を十分に置換後、超臨界二酸化炭素を用いて乾燥した。

得られた RF エアロゲルを窒素雰囲気下において1073K で30分間炭化することによりカーボンエアロゲルを得た。

2.2 小角 X 線散乱 (SAXS) 測定

RF 混合溶液のゲル化過程における構造形成を SAXS 装置 (M03XHF、Mac Science) により測定した。RF 混合溶液は厚さ 3 mm の SAXS 測定用セルに注入し、298K で経過時間ごとに $CuK\alpha$ 放射線 ($\lambda=0.1541nm$) を照射した。散乱強度は散乱角度 $0.10^\circ \sim 2.40^\circ$ の範囲を 0.02° の間隔で各々30秒間測定した。散乱強度 $I(s)$ は、(1)式で表される散乱ベクトル s に対してプロットした。

$$s=4\pi \sin(\theta/2)/\lambda \quad (1)$$

θ は散乱角度である。

SAXS データは古典的な Guinier 式により解析した。Guinier 領域における散乱強度 $I(s)$ と慣性半径 R_g の関係は次の(2)式で表される。

$$I(s) \propto \exp(-R_g^2 s^2/3) \quad (2)$$

Debye-Porod 領域において式(3)の関係が成り立つ。

$$I(s) \propto s^{-a} \quad (3)$$

Debye-Porod 領域において式(3)より散乱体微粒子形状の情報が得られる。形状がシリンダー状、円盤状、球状のとき、順に s^{-1} 、 s^{-2} 、 s^{-4} となる。

RF 溶液のゲル化過程の SAXS 測定は、RF 溶液を混合してから経過時間ごとに行い、SAXS データから時間の経過と共に慣性半径の変化、そして RF 湿潤ゲルを構成する粒子の形状を求め、それらの細孔構造への影響を検討した。

3. 結果

3.1 熱重量分析

触媒種を変えて調製した RF エアロゲル (R/C=50) と触媒添加比を変えて調製した RF エアロゲル (C= K_2CO_3) の熱重量減少挙動を熱天秤 (TGA-50、Shimadzu) により測定し、その結果をそれぞれ Fig. 1a、b に示した。Fig. 1a、b に示さ

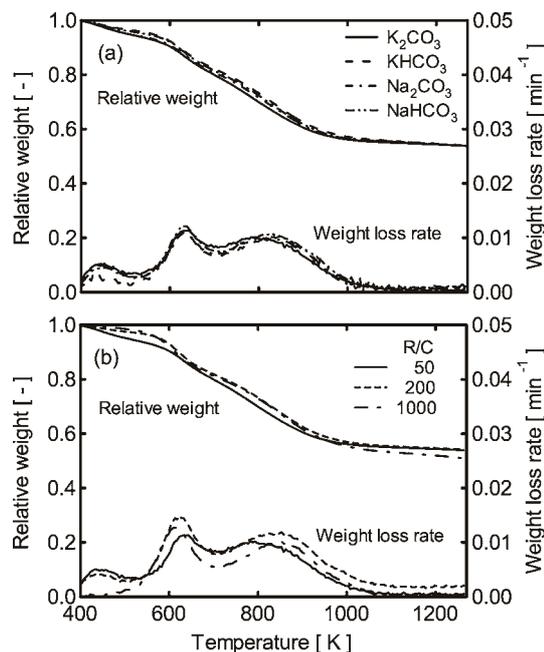


Fig. 1a, b Thermogravimetric curves for the RF aerogels. (a) different catalyst species at R/C=50, (b) different catalyst ratios for the K_2CO_3 catalyst.

れる全ての TG 曲線はほぼ同様な挙動を示している。このことから、触媒種、触媒添加比を変化させ RF 湿潤ゲルを合成しエアロゲル作成して、炭化によりカーボンエアロゲルを調製する場合、触媒種、触媒添加比が炭化過程において RF エアロゲルの細孔構造の形成に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

3.2 RF カーボンエアロゲルの細孔構造

触媒種を変えて調製した RF カーボンエアロゲル (R/C=50) と触媒添加比を変えて調製した RF カーボンエアロゲル (C= K_2CO_3) の窒素吸脱着等温線を Figs. 2、3 にそれぞれ示した。いずれの吸脱着等温線も IV 型であり、Fig. 2 に示されている RF カーボンエアロゲルのヒステリシスはいずれも H2 型であった。 $KHCO_3$ 、 $NaHCO_3$ を触媒に用いて調製した RF カーボンエアロゲルの窒素吸着量は K_2CO_3 、 Na_2CO_3 を用いて調製した RF カーボンエアロゲルの窒素吸着量より大きくなった。Fig. 3 に示される触媒添加比を変えて調製された RF カーボンエアロゲルの窒素吸脱着等温線を見ると、R/C=1000 で調製したときの窒素吸着量が最も小さくなっている。

窒素吸脱着等温線等から求められた比表面積 S_{BET} 等の RF カーボンエアロゲルの細孔特性を Table 1 に示した。RF カーボンエアロゲルの比表面積は $690 \sim 770 m^2/g$ であり触媒種、触媒添加比を変えて調製してもそれほど大きな差は見られなかった。RF カーボンエアロゲルのメソ孔容積は触媒添加比を変えた (R/C=50) 場合、 $KHCO_3$ 、 $NaHCO_3$ を用いて調整した RF カーボンエアロゲルと比較して K_2CO_3 、 Na_2

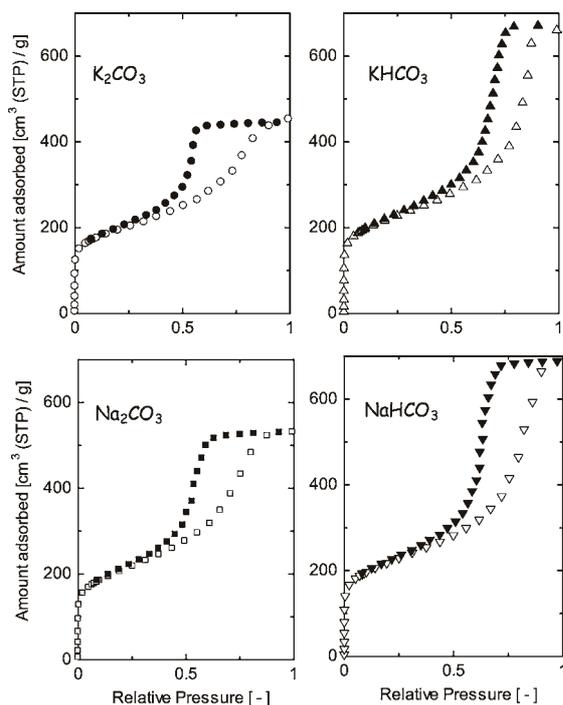


Fig. 2 Adsorption profiles of N_2 on the RF carbon aerogels generated at a carbonization temperature of 1073 K for 30 min. Open keys indicate adsorptions, and closed keys indicate desorptions. (O) K_2CO_3 , (Δ) $KHCO_3$, (\square) Na_2CO_3 , and (∇) $NaHCO_3$ at $R/C=50$

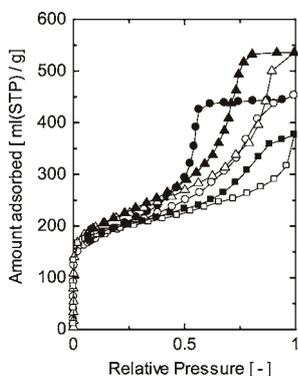


Fig. 3 Adsorption profiles of N_2 on the RF carbon aerogels generated at a carbonization temperature of 1073 K for 30 min. Open keys indicate adsorptions, and closed keys indicate desorptions. (O) $R/C=50$, (Δ) $R/C=200$, and (\square) $R/C=1000$ with K_2CO_3 .

CO_3 を用いて調整したRFカーボンエアロゲルはメソ孔容積が減少し、触媒添加比が $R/C=1000$ のときメソ孔容積は半分に減少した。

脱着等温線にDollimore-Heal法を適用してメソ細孔分布をFig. 4に示した。触媒種を変化させたとき (Fig. 4a)、 K_2CO_3 、 Na_2CO_3 を用いて調製したRFカーボンエアロゲル

Table 1 Characteristic pore properties of RF carbon aerogels.

Catalyst	R/C	S_{BET} (m^2/g)	$V_{micro.}$ (cm^3/g)	$V_{meso.}$ (cm^3/g)	ρ_{He} (g/cm^3)	Yield (%)
K_2CO_3	50	690	0.27	0.42	1.88	57.5
K_2CO_3	200	770	0.31	0.49	1.90	56.9
K_2CO_3	1000	720	0.28	0.19	1.92	52.8
$KHCO_3$	50	770	0.31	0.70	1.84	58.1
Na_2CO_3	50	720	0.29	0.53	1.90	57.2
$NaHCO_3$	50	770	0.30	0.79	1.87	57.9

の細孔径分布はほぼ同じであるが、 $NaHCO_3$ 、 $KHCO_3$ をそれぞれ用いた場合は細孔径ピーク位置がメソ側へシフトしている。また、触媒添加比を変化させたとき (Fig. 4b)、 R/C モル比が大きくなるに従って細孔径ピーク位置がメソ側へシフトし、分布がブロードになっている。

Fig. 5a-fにRFカーボンエアロゲル表面のFE-SEM写真を示した。Fig. 5a-dは順に K_2CO_3 、 $KHCO_3$ 、 Na_2CO_3 、 $NaHCO_3$ をそれぞれ触媒 ($R/C=50$) として調製したRFカーボンエアロゲルのFE-SEM写真であり、Fig. 5aとcから K_2CO_3 と Na_2CO_3 を用いたRFカーボンエアロゲルは類似した表面構造をしていることが分かる。Fig. 5e、fは順に $R/C=200$ 、1000で調製したRFカーボンエアロゲルのFE-SEM写真である。 $R/C=1000$ で調製したRFカーボンエアロゲルの表面は他のものに比べ粒子が大きく、粒子間の空隙が大きくなっている。

Fig. 6はFig. 5eに示されたRFカーボンエアロゲルをより高倍率で撮影したFE-SEM写真である。数10nmの粒子 (2次粒子) はさらに小さい数nmの微粒子 (1次粒子) によって構成されていることが分かる。写真の解像度に限界があり、その1次粒子の形状、サイズは明確ではない。

Fig. 7a-dに K_2CO_3 、 $KHCO_3$ 、 Na_2CO_3 、 $NaHCO_3$ をそれぞれ触媒 ($R/C=50$) として調製したRF溶液のSAXS曲線の経時変化を示した。散乱強度は時間が経過するに従って強くなり、 K_2CO_3 と Na_2CO_3 を用いた場合は24時間で、 $KHCO_3$ 、 $NaHCO_3$ を用いた場合は48時間で一定となった。ゲル化が進行しSAXS曲線が一定となったときのDebye-Porod領域における α 値はどの触媒を用いた場合においても約4となった。この結果からRF湿潤ゲルを構成する1次粒子の形状は球状であることが示唆される。

Fig. 8にSAXS曲線のGuinier領域より求めた慣性半径を経過時間に対してプロットして示した。RF溶液のゲル化が進行するにつれて、いずれの触媒を用いた場合においても慣性半径は増大し、さらにゲル化が進行すると慣性半径は一定となり、 K_2CO_3 、 $KHCO_3$ 、 Na_2CO_3 、 $NaHCO_3$ の順に3.9、4.9、3.9、4.6nmであった。異なる触媒を用いて調製されたRF湿潤ゲルを構成する1次粒子の慣性半径サイズに依存して、それらを元に調製したRFカーボンエアロゲルの細孔径ピークが変化することがFig. 4aから確認できる。

Fig. 9a-cに触媒添加比を変えて調製したRF溶液 ($C=K_2$

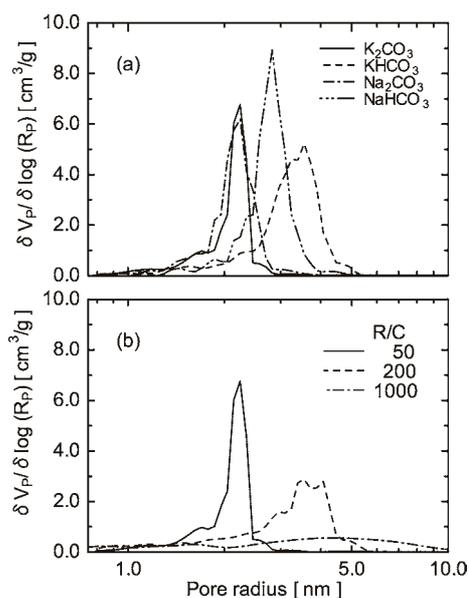


Fig. 4a, b Pore size distributions of the RF carbon aerogels generated at a carbonization temperature of 1073 K for 30 min. (a) different catalyst species at R/C=50, and (b) different catalyst ratios for the K_2CO_3 catalyst.

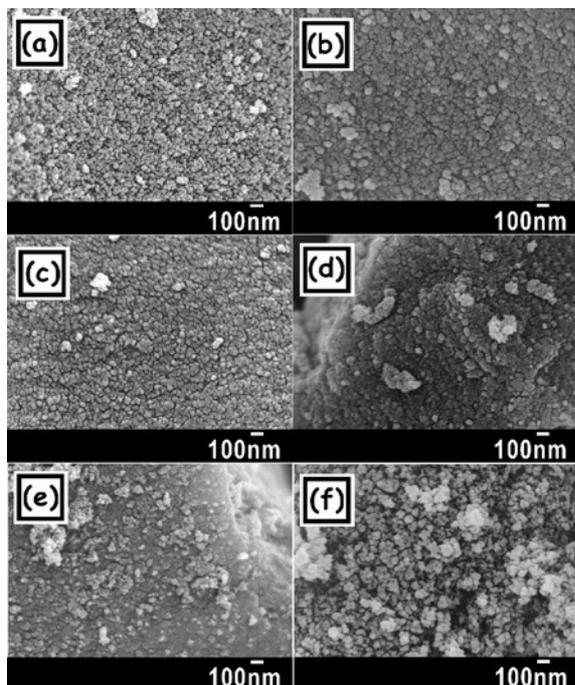


Fig. 5a-f Typical field emission scanning electron microscopy images of the RF carbon aerogels generated at a carbonization temperature of 1073 K for 30 min. (a)–(d) different catalyst species at R/C=50: (a) K_2CO_3 , (b) $KHCO_3$, (c) Na_2CO_3 , and (d) $NaHCO_3$. (e), (f) different catalyst ratios for the K_2CO_3 catalyst: (e) R/C=200, and (f) R/C=1000.

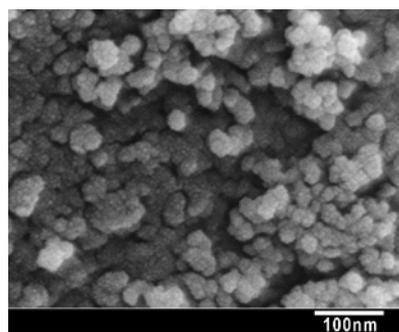


Fig. 6 Typical field emission scanning electron microscopy image of the RF carbon aerogel for the K_2CO_3 catalyst at R/C= 200, generated at a carbonization temperature of 1073K for 30 min.

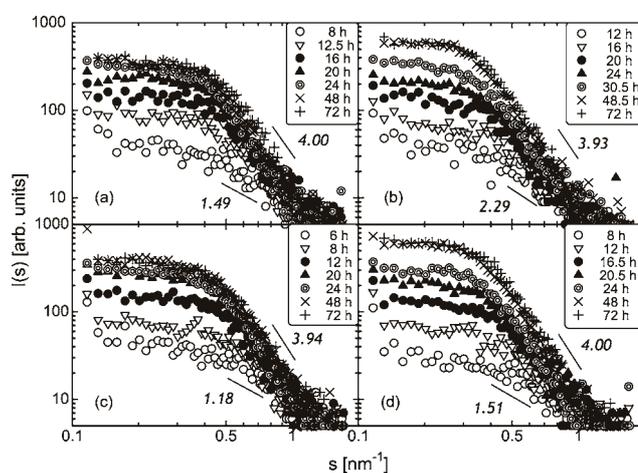


Fig. 7a-d SAXS curves for the RF solutions during the RF gelation at 298 K with different catalyst species at R/C=50. (a) K_2CO_3 , (b) $KHCO_3$, (c) Na_2CO_3 , and (d) $NaHCO_3$.

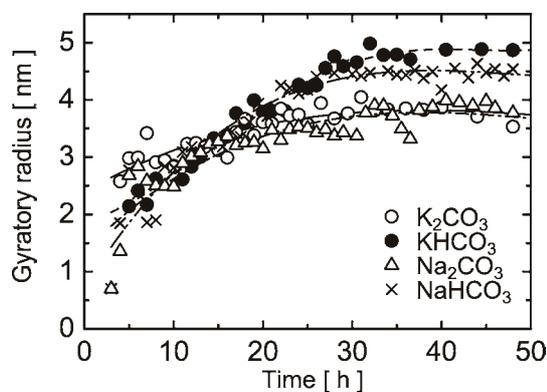


Fig. 8 Variations in gyration radius versus elapsed time for the RF solutions with different catalysts.

CO₃) の SAXS 曲線の経時変化を示した。Fig. 7 と同様に散乱強度は時間の経過と共に強くなり、SAXS 曲線は R/C = 50、200、1000 の順に 24、60、120 時間後に一定となった。R/C = 50、200 のときの Debye-Porod 領域での α 値は約 4 となり、R/C = 1000 のときには約 2 となった。R/C = 50、200 の触

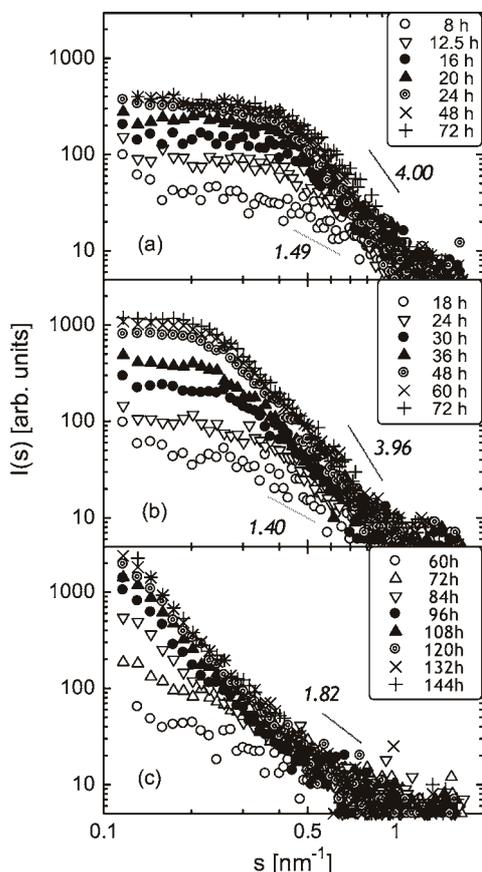


Fig. 9a-c SAXS curves for the RF solutions with K₂CO₃ during the RF gelation at 298 K for different catalyst ratios. (a) R/C=50, (b) R/C=200, and (c) R/C=1000.

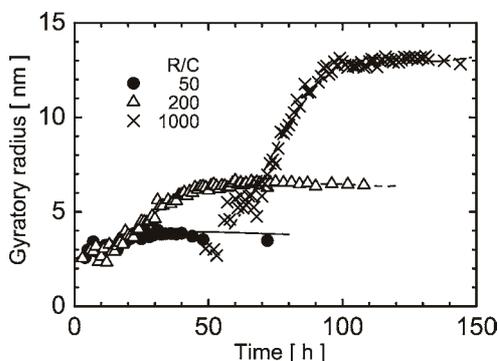


Fig. 10 Variations in gyration radius versus elapsed time for the RF solutions with K₂CO₃ catalyst at different catalyst ratios.

媒添加比で調製した RF 湿潤ゲルの 1 次粒子は球状であり、R/C=1000 の触媒添加比で調製した RF 湿潤ゲルの 1 次粒子は円盤状であることが示唆された。また、Guinier 領域における慣性半径を求め Fig. 10 に示した。R/C=50、200、1000 の触媒添加比で調製した RF 湿潤ゲルの 1 次粒子の慣性半径はそれぞれ 3.9、6.7、13.1 nm と大きくなり、触媒添加比が大きなもの (触媒量の少ないもの) ほど大きくなるのが分かった。このことから R/C=1000 で調製した RF 湿潤ゲルの 1 次粒子が円盤状で大きくなったため、1 次粒子間の空隙が不均一になり、それを元に調製した RF カーボンエアロゲルの細孔径分布 (Fig. 4b) がブロードで細孔径が大きくなったと考えられる。

以上のことから、RF カーボンエアロゲルの細孔径分布の違いは炭化により現れるのではなく、RF 湿潤ゲルを合成するときの条件により形成される 1 次粒子のサイズ、形状に大きく依存することが示唆された。

4. おわりに

著者らは触媒の種類、量を変化させ RF 湿潤ゲルを合成し、RF カーボンエアロゲルを調製した。RF 湿潤ゲル合成のゲル化過程の違いが RF カーボンエアロゲルのメソ細孔径分布に影響を与えると考え、触媒の種類、量の違いが RF 湿潤ゲルを構成する 1 次粒子のサイズ、形状がどのように変化するのか SAXS 測定を行い、考察した。その結果、異なる種類の触媒を用いることで RF 湿潤ゲルを構成する 1 次粒子のサイズが異なり、粒子サイズが大きくなるに従って、RF カーボンエアロゲルのメソ細孔径も大きくなるのがわかった。また、触媒添加比を変化させることにより、1 次粒子の形状が円盤状である RF 湿潤ゲルが合成され、それを用いた RF カーボンエアロゲルの細孔径分布は球状の 1 次粒子で構成されたものに比べてブロードになることが分かった。

以上のことから、RF 湿潤ゲルを合成する条件を調整し、1 次粒子のサイズ、形状を制御することにより、利用目的に応じて RF カーボンエアロゲルの細孔径を制御することが可能であると考えられる。

最後に、関西大学大学院 工学研究科 化学工学専攻 反応システム工学研究室において本研究を遂行するにあたり、ご指導いただいた室山教授、助言いただいた林助教授に改めて心から謝意を表したい。

参考文献

- 1) Horikawa T, Hayashi J, Muroyama K. Preparation of molecular sieving carbon from waste resin by chemical vapor deposition. Carbon 2002; 40: 709-14.
- 2) Horikawa T, Ogawa K, Mizuno K, Hayashi J, Muroyama K. Preparation and characterization of the carbonized material of phenol-formaldehyde resin with addition of various organic substances. Carbon 2003; 41: 465-72.
- 3) Horikawa T, Hayashi J, Muroyama K. Controllability of pore characteristics of resorcinol-formaldehyde

- carbon aerogel. Carbon 2004; 42: 1625-33.
- 4) Horikawa T, Hayashi J, Muroyama K. Size control and characterization of spherical carbon aerogel particles from resorcinol-formaldehyde resin. Carbon 2004; 42: 169-75.
 - 5) Horikawa T, Ono Y, Hayashi J, Muroyama K. Influence of surface-active agents on pore characteristics of the generated spherical resorcinol-formaldehyde based carbon aerogels. Carbon 2004; 42: 2683-9.
 - 6) Pekala RW. Organic aerogels from the polycondensation of resorcinol with formaldehyde. J Mater Sci 1989; 24: 3221-7.
 - 7) Pekala RW. Synthetic control of molecular structure in organic aerogels. Mater Res Soc Proc 1990; 171: 285-91.
 - 8) Pekala RW, Alviso CT, Kong FM, Hulse SS. Aerogels derived from multifunctional organic monomers. J Non-Cryst Solids 1992; 145: 90-8.
 - 9) Tamon H, Ishizuka H. SAXS study on gelation pro-

- cess in preparation of resorcinol-formaldehyde aerogel. J Colloid Interface Sci 1998; 206: 577-82.
- 10) Saliger R, Fischer U, Herta C, Fricke J. High surface area carbon aerogels for supercapacitors. J Non-Cryst Solids 1998; 225: 81-5.
 - 11) Li WC, Lu AH, Guo SC. Characterization of the microstructures of organic and carbon aerogels based upon mixed cresol-formaldehyde. Carbon 2001; 39: 1989-94.



堀河 俊英

徳島大学工学部化学応用工学科
助手

博士 (工学)

2004年 3月 関西大学大学院工学研
究科

博士後期課程修了

2004年 4月より 現職

E-mail: horikawa@chem.tokushima-u.ac.jp

会 告

会員移動

【新入会員】(平成16年4月～平成17年3月)

〈正会員〉

遠藤 明 (産業技術総合研究所)
上甲 勲 (有明工業高等専門学校 物質工学科)
井上 宏志 ((株)西部技研 開発部)
長谷川 貴洋 (大阪市立工業研究所 環境技術課)
竹口 竜弥 (北海道大学触媒科学研究センター)

中谷 桂 ((株)情報機構 企画部)
石川 敬司 ((財)産業創造研究所 柏研究所)
吉田 恵一郎 ((株)デンソー 冷暖房開発1部)
中村 秀美 (大阪府立大学大学院工学研究科)
田辺 会梨 ((株)デンソー 冷暖房開発1部)
細見 博之 ((株)東レリサーチセンター)

学生会員募集の案内

日本吸着学会では、平成17年度より会員資格として「学生会員」を新設しました。吸着に関する研究を行っている学生諸君、将来吸着に関する科学技術分野での活躍を希望する学生諸君は、日本吸着学会を活動の場や情報収集の場として積極的にご利用頂くために是非学生会員として登録して下さい。

- 学生会員資格：本会の目的に賛同する大学の学部、大学院あるいはこれに準ずる教育機関に在学する個人
- 年会費・入会費：無料

○学生会員として登録された方には、機関紙「Adsorption News」を送付いたします。また、本会が主催、共催する研究発表会やシンポジウムへは「学生」の資格で参加できます。

- 入会手続き：ホームページより入会申込書をダウンロードし、必要事項を記入の上、学会事務局までお申し込みください。なお、一つの研究室から複数の学生が登録する場合には、まとめてお申し込み下さい。

掲 示 板

平成16年度 吸着関連の卒業論文・修士論文・博士論文題目の紹介

秋田大学工学資源学部 環境物質工学科 (小沢泉太郎)

(E-mail: ozawa@ipc.akita-u.ac.jp)

○卒業論文

山井 透：繊維状の天然素材の炭素資源化

○修士論文

今野 立：二、三の修飾活性炭への水蒸気の吸着

東京大学生産技術研究所 環境・化学工学研究室 (迫田章義)

(E-mail: sakoda@iis.u-tokyo.ac.jp, <http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/>)

○博士論文

斐 尚大：Study on Preparation, Characterization and Application of Activated Carbon Membrane with Carbon Whiskers (カーボンウィスカーを有する活性炭膜の製法、特性解析および応用に関する研究)

千葉大学理学部 化学科

千葉大学大学院自然科学研究科 (金子克美、加納博文、田中秀樹)

(E-mail: kaneko@pchem2.s.chiba-u.ac.jp, <http://pchem2.s.chiba-u.ac.jp/>)

○卒業論文

金丸真美子：界面活性剤による単層カーボンナノチューブの分散およびバンドル構造の制御

関 伸弥：単層カーボンナノホーンの電気的性質

野口 大介：単層カーボンナノチューブにおける水素同位体の量子分子篩効果

長谷川和幸：ナノ細孔性パラジウムの創製

本多 大章：Radial Breathing Modeにおける単層カーボンナノチューブの溶媒効果

松村 卓：単層カーボンナノホーン中に制限された有機ラジカル分子の磁気的性質

○修士論文

伊藤 努武：金属を分散した単層ナノカーボンの表面活性

瓜田 幸幾：ナノカーボンにおける構造的欠陥の TEM 観察

近藤 篤：Cu 錯体へのガス吸着メカニズム

李 海順：一次元細孔中に制約された酸素の磁性

○博士論文

宮本 淳一：Nanoporosity Control and External Field Effect on Adsorption in Nanopores

磯部 弘：Characterization of Nanostructure-Designed Silica

明治大学理工学部工業化学科 システム化学工学研究室 (茅原一之)

(E-mail: chihara@isc.meiji.ac.jp, <http://www.isc.meiji.ac.jp/~chem/chihara/chihara.html>)

○卒業論文

松本 隆志：ハイシリカゼオライトによる混合有機溶剤蒸気の吸着除去

渡邊 和成、松本 隆志：ゼロエミッションを目指した物質循環プロセスの構築

太田健一郎、渡邊 和成：圧カスイング吸着 (PSA) を用いた溶剤回収の検討

石坂 洋平：超臨界流体中における有機化合物の MSC5A への吸着測定

平 雄大：容量法による混合気体の吸着測定

古結 友子：石炭灰を原料としたゼオライト含有壁材の調湿機能

三堀 修、古結 友子：ゼオライトへの有機塩素化合物の吸着と分子シミュレーション

厚地 裕子：クロマト法による有機塩素化合物のハイシリカゼオライトへの吸着測定

厚地 裕子：クロマト法による MSC5A への多成分ガス吸着についての検討

齊藤 洋一：吸着オゾン処理の浄水処理への応用（東大生研迫田章義教授指導）

○修士論文

愛甲 忠弘：圧カスイング吸着操作を用いた溶剤回収の検討

土方 和憲：ハイシリカゼオライトによる混合有機溶剤蒸気の吸着に関する研究

寺門 拓也：クロマト法による活性炭およびハイシリカゼオライトへの吸着に関する研究

澤田健太郎：タンニンゲルによる重金属イオンの吸着に関する研究

金沢大学大学院自然科学研究科 システム創成科学専攻 環境・化学機械システム研究室
(児玉昭雄)

(E-mail: kodama@t.kanazawa-u.ac.jp)

○卒業論文

辻井 康博：バルクガス分離型 PSA プロセスにおける操作条件の影響と塔内温度分布

手崎 賢一：ハニカム吸着体を用いた高速サイクル PSA プロセスの開発

吉田 遼平：低温度駆動を目指したデシカントローター再生手法の検討と吸脱着挙動の解明

中川 裕介：加熱・冷却用流路を有するハニカム吸着材ローターの除湿挙動

京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻 界面制御工学分野 (宮原 稔)

(<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/2koza/>)

○博士論文

渡邊 哲：Brownian Dynamics Simulation and Modeling of Spontaneous Ordering of Mesoscale Particles

(メソスケール粒子の基板上吸着による自律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)

京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻 分離工学分野 (田門 肇、向井 紳、鈴木哲夫)

(E-mail: tamon@cheme.kyoto-u.ac.jp、<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/4koza/>)

○卒業論文

阿蘇 由季：氷晶テンプレート法を用いた繊維状光触媒の開発

坂本 光隆：キャパシタ電極用カーボングレーカーボンナノファイバー複合材の開発

○修士論文

河原真紀子：タンニンを原料としたカーボクライオゲルの創製

白土 洋次：液パルスインジェクション法によるカーボンナノファイバー製造の高効率化

山下 大輔：氷晶テンプレート法を利用したシリカナノ材料の創製と分離デバイスへの応用

○博士論文

西原 洋知：氷晶テンプレート法を用いた多孔質材料のナノ構造とモルフォロジーの同時制御に関する研究

大阪教育大学 理科教育講座 物理化学研究室 (石川達雄、神鳥和彦)

(E-mail: kandori@cc.osaka-kyoiku.ac.jp、<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~kandori/hp.html>)

○卒業論文

上田 正人：人工亜鉛合金さびの組成と形態

堺 将史：加熱加水分解反応によるヘマタイト粒子生成におよぼすアミノ酸の影響

寶木 伸一：合成カルシウムヒドロキシアパタイト粒子へのタンパク質吸着におよぼす温度の影響

藤井 絵海：オキシ水酸化鉄のマグネタイトへの転移に及ぼす金属イオンの影響

前田 敦子：鉄鋼さびの構造に及ぼす合金元素の影響

山口 史裸：サイモンコライトの生成に及ぼす金属イオンの効果

大阪府立大学大学院工学研究科 物質・化学系専攻 化学工学分野分離工学グループ

(吉田弘之、中村秀美)

(E-mail: yoshida@chemeng.osakafu-u.ac.jp)

○卒業論文

釜江健太郎：OH型強塩基性陰イオン交換樹脂 DAIAION SA10A によるリン酸及び有機酸の分離・回収・資源化

黒田 純二：過熱水蒸気による木材の炭化と塩基性ガス吸着剤製造への応用

小酒 一晃：超多孔性 PEI キトサン樹脂を用いた有機酸の吸着平衡及び分離に関する検討

田村 和哉：過熱水蒸気炭化による廃木材からの二酸化炭素吸着剤の作製とその吸着特性

○修士論文

西口 恭子：Improvement of Methane Fermentation Using Immobilized Methanogens on Support Materials

若間 理佐：キトサン繊維による希少有価金属の吸着分離 –平衡特性–

関西大学工学部化学工学科 反応システム工学研究室 (室山勝彦、林 順一)

(E-mail: muroyama@kansai-u.ac.jp, hayashi7@kansai-u.ac.jp, <http://www.cheng.kansai-u.ac.jp/CRElab/>)

○卒業論文

亀野 雄一：RF カーボンエアロゲルの表面修飾

坂口 葉子：3,5ジメチルフェノール樹脂を原料とした多孔質炭素の製造

松原 洋平：表面特性、脱色能に及ぼす活性炭製造条件の影響

保田真由子：バイオマス炭化物の調湿能

新後 清美：バイオマス炭化物のガス化に及ぼす灰分の影響

伊藤 雄也、大西 厚史：高温高压水によるバイオマスの加水分解処理

小笠原義明、梶本 英樹：湿潤性バイオマス廃棄物のメタン醗酵

伊藤 道生、吉次 智規：乳酸醗酵によるおからの資源化

三宅 康隆：水溶液中の乳酸の溶媒抽出特性

天牛 英清：U-チューブオゾン酸化反応器の流動および気液間物質移動特性

戸田 和志：気-スラリー-固体流動層における物質移動特性

伊東 和也：オゾンによる農薬の分解除去

藤原 直人：活性炭共存下でのオゾンによる水中の農薬の分解除去

中野くるみ：下水処理プロセスのライフサイクルインベントリ解析

○修士論文

大城 昌晃：灰分処理を施したバイオマスのガス化挙動の検討

洪 昌勲：超臨界水および亜臨界水を用いたバイオマスの資源化

渋谷 栄治：U-チューブオゾン酸化反応器の性能解析および装置設計

徳島大学薬学部薬学科 製剤学研究室 (嶋林三郎、日野知証)

(E-mail: saburo@ph.tokushima-u.ac.jp, <http://www.ph.tokushima-u.ac.jp/labo/seizai.htm>)

○卒業論文

児嶋 智美：尿酸結晶表面に対するヨウ素化合物ローズベンガル及びエリスロシン B の吸着の機構
(界面複合体形成の検討)

鋤塚 理沙：活性炭に対するアニオン性色素メチルオレンジ及びカチオン性色素メチレンブルーの吸着
(吸着サイトの Characterization)

九州大学大学院工学研究院 化学工学部門 (荒井康彦、岩井芳夫)

(E-mail: arai@chem-eng.kyushu-u.ac.jp, iwai@chem-eng.kyushu-u.ac.jp)

○卒業論文

阿部 信介：Y型ゼオライト吸着剤によるジメチルナフタレン異性体混合物の超臨界相吸着分離

関連シンポジウム等のお知らせ

第2回分離プロセス基礎講座 ー吸着・抽出ー

主催：化学工学会分離プロセス部会

協賛：日本吸着学会 他

日時：6月30日～7月1日

会場：明治大学駿河台校舎学生会館5F 父母センター 第一会議室（東京・御茶ノ水）

一日目（吸着）6月30日

9：30-12：00 「吸着平衡と速度の基礎」 茅原一之（明治大）

13：00-14：30 「吸着材の各種評価手法（仮）」 仲井和之（日本ベル）

14：30-16：00 「吸着材の設計・製造と分離装置への適用」 丸茂千郷（富士重工業）

二日目（抽出）7月1日

9：30-12：00 「抽出操作の基礎-抽出平衡と抽出剤-」 吉塚和治（北九州大）

13：00-14：30 「抽出操作の基礎-単抽出から多段抽出-」 高橋勝六（椋山女学園大）

14：30-16：00 「抽出操作の実際-このような場合どうするか-」 後藤雅宏（九大）

参加費：一講座受講の場合：一般会員12,000円、非会員17,000円、学生4,000円、両講座受講の場合：一般会員20,000円、非会員30,000円、学生5,000円

参加申し込み：所属、氏名、連絡先、電話番号、メールアドレス、会員の有無、受講日を明記の上、FAX かメールにて下記までお申し込み下さい。

九州大学工学研究院後藤雅宏、FAX：092-642-3575、メール：mgototcm@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp

第18回イオン交換セミナー

主題：最先端のイオン交換技術

主催：日本イオン交換学会

協賛：日本化学会、化学工学会、環境科学会、高分子学会、資源素材学会、ゼオライト研究会、電気化学会、日本海水学会、日本吸着学会、日本原子力学会、日本生物工学会、日本分析化学会、日本膜学会、日本薬学会、無機マテリアル学会

日時：2005年7月26日（水） 10：00～19：00

場所：東京工業大学大岡山キャンパス 百年記念館 第1会議室
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1、TEL：03-5734-2098

スケジュール：

10：00～10：10 プロローグ 趣旨説明 他 藤井会長、重富拓男

10：10～11：00 講演-1 『イオン交換 クロマトへの応用』

東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻

岡田哲男

11：00～11：50 講演-2 『膜電位測定に基づくイオン輸送の動力学』

東京工業大学大学院理工学研究科有機・高分子物質専攻

松本英俊

13：10～14：00 講演-3 『一価選択イオン交換膜とBP膜の応用例』

(株)アストム 開発グループ

有富俊男

14：00～14：50 講演-4 『バイオとイオン交換樹脂』

千葉大学 工学部 物質工学科

斎藤恭一

15：10～16：00 講演-5 『燃料電池用無機膜』

東京工業大学大学院総合理工学研究科創造エネルギー専攻

脇 慶子

16：00～16：50 講演-6 『燃料電池用細孔フィリング膜』

東亜合成(株)

平岡秀樹

16:50~17:40 講演-7『燃料電池の用途』
NEC 基礎・環境研究所

久保佳実

18:00~19:00 懇親会

参加申込締切：平成17年7月15日(金)

参加申込方法：原則として本学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp/>) から。(1)氏名、(2)申込者連絡先(住所、所属部課、電話番号、FAX番号、電子メールアドレス)、(3)会員(協賛学会のかたは所属学会名)、非会員、学生の区別、(4)懇親会参加の有無、(5)合計参加費等 必要事項をご記入の上送信下さい。ホームページを利用されない場合は e-mail または FAX にて申込下さい。

申込先(郵送、e-mail など)：第18回イオン交換セミナー係、〒194-8543 町田市東玉川学園3-3165 昭和薬科大学薬品分析化学研究室、Tel/FAX：042-721-1553、E-mail：zemi_18@jaie.gr.jp

参加費(予約)：本学会員・協賛学協会会員5,000円、非会員8,000円、学生1,000円、(予約外は10,000円。ただし学生は予約外も同額です。)、懇親会費：3,000円

参加費支払方法：郵便振替 加入者番号：00120-2-155043、加入者名：イオン交換セミナー

【注】企業の方は参加者の個人名を必ず明記して下さい。7月15日以降は当日会場にてお支払い下さい。

第43回炭素材料夏季セミナー

主催：炭素材料夏季セミナー実行委員会(幹事代表：千葉工業大学 半沢洋子)

共催：炭素材料学会 協賛：日本化学会、日本吸着学会、電気化学会

日時：平成17年8月31日(水)~9月2日(金)

会場：海外職業訓練協会 国際能力開発支援センター(OVTA)

〒261-0021 千葉市美浜区ひび野1丁目1番地 TEL：043-276-0211

主題：最先端エネルギーデバイス開発に必要な炭素の基礎知識・技術

問合せ先：〒275-0023 習志野市芝園2-1-1 千葉工業大学教育センター化学教室 半沢洋子

E-mail：yohko.hanzawa@it-chiba.ac.jp TEL：047-454-9600 Ext. 606 FAX：047-454-9659

第58回コロイドおよび界面化学討論会

主催：日本化学会・コロイドおよび界面化学部会

日時：平成17年9月8日(木)~10日(土)

会場：宇都宮大学工学部

発表申込締切：平成17年5月27日(金)

講演要旨締切：平成17年7月15日(金)

申込み：討論会ホームページから発表申込みをして下さい。URL：<http://www.chem.utsunomiya-u.ac.jp/colloid>

第24回溶媒抽出討論会

主催：日本溶媒抽出学会

協賛：日本吸着学会ほか

会期：平成17年11月7日(月)、8日(火)

会場：関西大学100周年記念会館

交通：JR大阪駅から阪急北千里線に乗り換え関大前下車、梅田駅方向改札口から徒歩10分

講演申込締切：8月20日(土)

講演要旨締切：9月20日(火)

参加登録予約申込締切：10月15日(土)

参加費(予約申込み)：会員5,000円、一般6,000円、学生1,000円

参加費(当日申込み)：会員6,000円、一般7,000円、学生2,000円

懇親会費：予約4,000円(学生は半額)、当日4,000円

詳細は <http://www.cheng.kansai-u.ac.jp/Shigen/meeting.htm> をご覧ください。

問合せ先：関西大学 工学部 化学工学科 芝田隼次

FAX：06-6369-0972 E-mail：yhideki@kansai-u.ac.jp (事務局：山本秀樹)

第21回日本イオン交換研究発表会

主催：日本イオン交換学会

協賛：日本化学会、化学工学会、環境科学会、高分子学会、資源素材学会、ゼオライト研究会、電気化学会、日本海水学会、日本吸着学会、日本原子力学会、日本生物工学会、日本分析化学会、日本膜学会、日本薬学会、日本溶媒抽出学会、分離技術会、無機マテリアル学会

日時：2005年11月12(土)～13日(日)、14日 見学会

場所：熊本大学工学部(黒髪キャンパス南地区) 工学部百周年記念館ほか
〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1、TEL：096-342-2111(大学代表)
熊本大学工学部へのアクセスなどは以下のホームページを参照して下さい。

<http://www.kumamoto-u.ac.jp/campus-map/cmap-1st.htm>

講演申し込み方法：本会ホームページより：<http://www.jaie.gr.jp/>

(1)題目、所属、発表者(講演者に○)、(2)申し込み者氏名、(3)申込者連絡先(所属部課、所在地、電話番号、FAX番号、電子メールアドレス)、(4)100字程度の講演概要、(5)英文による題目、氏名、所属、(6)発表様式(口頭またはポスター)等を、ホームページ指定の書式に従って送信下さい。【注】口頭発表申し込み件数が多い場合は、ポスター発表に変更させて頂くことがあります。

講演申込締切：9月9日(金)

講演要旨締切：10月7日(金)：書式は本学会ホームページに掲載 <http://www.jaie.gr.jp/>。
e-mail 推奨、郵送も可。

講演時間：口頭(12分、質疑3分)、ポスター(90分を予定)

口頭発表様式：OHPまたはPower Point(Windowsに限る)。

参加登録方法：本学会ホームページより：<http://www.jaie.gr.jp/>

参加登録締切：10月21日(金)

参加費(予約)：一般(6,000円)、学生(1,000円)

(予約外は1,000円増、非会員は予約外扱い)

参加費支払方法：郵便振替、加入者番号00130-0-119845、

加入者名：イオン交換研究発表会係

【注1】企業の方は参加者の個人名を必ず明記して下さい。

【注2】10月21日(金)以降は、会場にてお支払い下さい。

懇親会：場所未定、申し込み方法は参加登録と同時に本学会ホームページより。

懇親会費：予約5,000円、当日6,000円

懇親会予約申込締切：10月21日(金)

問合せ先：

(1) 運営関係：〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1、熊本大学工学部物質生命化学科、城 昭典(実行委員長)、電話：096-342-3871または3873、FAX：096-342-3679または3871、e-mail：nenkai@jaie.gr.jp(期間中)

(2) 要旨、ホームページ関係：〒194-8543 東京都町田市東玉川学園3-3165 昭和薬科大学薬品分析化学教室(本会事務局)
E-mail：office.jaie@jaie.gr.jp、TEL：042-721-1553

その他：見学会等を企画しています。詳細は後日本会ホームページにてお知らせします。

入会申込書・変更届（正会員用）

平成 年 月 日		会員番号		西暦 年 月 日	
フリガナ名		男・女	生年月日		
最終学歴		卒業年月		学位	
勤務先	名称			職名	
	部署			電話	
	所在地	〒		Fax	
	E-mail				
自宅住所 <small>必ずしも記入の必要はありません</small>	〒		電話	Fax	E-mail
通信連絡先	勤務先・自宅（何れかに○）		本会から E-mail による連絡希望		あり・なし（何れかに○）
紹介者（該当する場合のみご記入ください）					
会員名簿、事務局への問合せ等に対して非公開を希望する項目（該当する項目に○）		自宅住所・自宅電話番号/Fax/E-mail アドレス その他（ ）			
その他・連絡事項					

正会員として入会を希望される場合：上記の申込書に必要事項を記入の上、事務局あて郵便あるいは FAX にてお送りください。なお、申込書の内容を電子メールで送信いただいても結構です。 **正会員年会費：5,000円**

変更の場合：必ず会員番号と氏名を明記の上、該当する項目のみを記入いただき、事務局あて郵便あるいは FAX にてお送りください。なお、必要事項を電子メールで事務局までお知らせいただいても結構です。

平成17年度より会員資格として「学生会員」を新設しました。入会手続は日本吸着学会ホームページを参照ください。

編 集 委 員

委員長 迫田 章義（東京大学）	中原 敏次（栗田工業株式会社）
委員 飯山 拓（信州大学）	中村 章寛（日本酸素株式会社）
神鳥 和彦（大阪教育大学）	湯浅 晶（岐阜大学）（五十音順）
田門 肇（京都大学）	

Adsorption News Vol. 19 No. 2（2005）通巻 No. 73 2005年6月17日発行

事務局 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学理学部化学科 分子化学研究室内
Tel: (043) 290-2784 Fax: (043) 290-2788 E-mail: jsad@pchem2.s.chiba-u.ac.jp

編集 望月 和博（東京大学）
Tel: (043) 251-4327 Fax: (043) 251-1231 E-mail: mochi@iis.u-tokyo.ac.jp

ホームページ <http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/jsad/>

印刷 〒108-0073 東京都港区三田5-14-3 昭和情報プロセス株式会社
Tel: (03) 3452-8451 Fax: (03) 3452-3294

General Secretary

THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)
Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Chiba University
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522 JAPAN
Tel: +81-43-290-2784 Fax: +81-43-290-2788 E-mail: jsad@pchem2.s.chiba-u.ac.jp

Editorial Chairman

Professor Akiyoshi SAKODA
Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, JAPAN
Tel: +81-3-5452-6350 Fax: +81-3-5452-6351 E-mail: sakoda@iis.u-tokyo.ac.jp

Editor Kazuhiro MOCHIDZUKI, University of Tokyo

Tel: +81-43-251-4327 Fax: +81-43-251-1231 E-mail: mochi@iis.u-tokyo.ac.jp

WWW of JSAd: <http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/jsad/>