

Adsorption News

Vol. 15, No. 2 (June 2001)

通巻No. 57

目 次

○巻頭言	
スリムな事務局 — 日本吸着学会の持続的発展のために寺岡 靖剛	2
○第15回日本吸着学会研究発表会のお知らせ (申込締切：7月6日)	3
○会告	
日本吸着学会賞受賞候補者推薦のお願いと要領	4
日本吸着学会事務局移転のお知らせ	5
平成12年度研究題目一覧作成のご案内	5
○研究ハイライト	
高機能メソポーラス物質の合成と吸着特性	6
○技術ハイライト	
在宅酸素療法用酸素濃縮器の改良開発	12
高性能静電フィルタの開発	16
○関連学会のお知らせ	
第14回イオン交換セミナー (申込締切：7月6日)	11
日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 (申込締切：7月6日)	21
第19回関西界面科学セミナー (申込締切：7月23日)	21
先端科学技術講習会2001 (開催日：7月30日)	22
第54回コロイドおよび界面化学討論会	23

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

スリムな事務局—日本吸着学会の持続的発展のために

長崎大学工学部 寺岡 靖剛



平成12年8月に開催された第12回吸着シンポジウム（宮崎県日向市）の懇親会の席上で、平成13、14年度の日本吸着学会事務局担当の打診を受けました。「ここにいるのが運の尽きか」という半分あきらめの気持ちと「少しでも学会のお役に立ちたい」というポジティブな気持ちが交錯する中で担当を決意しました。お引き受けした限りは、皆様のご協力をいただきながら、微力ではありますが本会の発展のために尽力する所存ですので、何卒宜しくご協力、ご支援をお願い申し上げます。

私は平成9年に長崎で開催された第9回吸着シンポジウムのお手伝いをさせていただく機会に本会に入会致しました。まだまだ新参者ですが、平成10年度には奨励賞（東洋カルゴン賞）を頂くという名誉を得、平成11年度からは評議員、本年5月に長崎で開催されたFOA7では地元の一員としてお手伝いさせていただき、今回の事務局担当に至っております。このように振り返ってみますと、「極めて短期間に吸着学会にどっぷり浸かってしまった」というのが率直な感想です。

事務局を担当するにあたって、またこの巻頭言を書くにあたって、吸着学会の歴史と運営について一夜漬けで勉強をし、次の2点に気がつきました。第一は、皆様もご存知とは思いますが、吸着学会の設立総会が1987年5月29日（昭和62年）に開催されたことです。即ち本年5月29日は日本吸着学会の満14歳の誕生日で、既に15年目に入っています。21世紀最初の年で本会の15周年という節目の年に事務局を担当することになったことを知り、改めて気を引き締めているところです。

第二は事務局移動制にみられる本会の機動性です。事務局の所在地は、'87～'89の3年間で明治大学工学部工業化学科、'90～'93の4年間で産業医学総合研究所、'94～'96の3年間で東京大学生産技術研究所で、最初の10年間は関東地区にありました。その後は2年ずつ豊橋技術科学大学物質工学系（'97、'98）、熊本大学工学部物質生命化学科（'99、'00）と西進し、ついに長崎大学工学部応用化学科に辿り着きました。次の事務局移転は東進するのは間違いありません。皆さん覚悟をしておいて下さい。冗談はさておき、私の知る限り多くの学会や研究会が事務局固定制をとっているのに対して、事務局移動制をとっている日本吸着学会は特異な存在と言えるのではないのでしょうか。このようになった経緯は私にはわかりかねますが、日本吸着学会が適度なサイズで機動性が高いことを示す良い事例ではないかと考えます。また、適度な期間が経過すると事務局が移転するという「不可逆吸着」ではなく「脱着」をも配慮した吸着学会ならではの特徴かもしれません。

さて、今回の事務局移転に際して熊本大学より段ボール箱

17個の引継ぎ書類が送られてきました。学会の歴史が深まるにつれ書類が増えていくことは仕方ないことも知れませんが、しかし、このまま書類が増え続けていくと事務局の移転（脱着）に困難が伴うのは必至で（吸着力あるいは脱着の活性化エネルギーの増加？）、移転に大きなエネルギー（コストなど）を投入する必要があります。それにスペースの問題もあります。今回、ただでさえ狭隘な研究室の中に17個の段ボールの収納場所を確保するのは大変でした。事務局移動制を継続するためには、書類等を整理して“小さな事務局”、“フットワークの軽い事務局”とする必要性を痛感しています。事務局を担当させていただく2年間に、吉田弘之会長（大阪府立大学）をはじめ関係の方々と相談しながら事務局のスリム化をはかりたいと考えています。皆様のご理解とご協力をお願い致します。

事務局の業務は会員の皆様に満足していただける円滑な学会運営を支えることと認識しております。繰り返しになりますが、そのために微力ではありますが私個人はもちろん研究室をあげて尽力する所存です。皆様のご協力、ご支援はもちろんのこと忌憚のないご意見、ご批判を頂ければ幸いです。最後になりましたが、私は吸着の専門家とは言えないまでも、吸着の現象や材料と縁の深い触媒化学、機能性無機材料合成をベースとする研究者です。本職の学術研究を通して、吸着の科学と技術の発展に少しでも貢献できるよう精進していく所存ですので、事務局業務と同様にご指導、ご鞭撻をお願い申し上げます。

巻頭言とは格調高く、深み、重みのある内容であるのが本来の姿でしょうが、薄い内容になったことをお詫びして、事務局を担当するにあたっての巻頭言執筆の責務を果たさせていただきます。

寺岡 靖剛 長崎大学工学部応用化学科教授
工学博士

略歴 昭和56年 九州大学工学部応用化学科卒業
昭和58年 九州大学大学院総合理工学研究科
材料開発工学専攻修士課程修了後、
同助手
昭和62年 長崎大学工学部講師
平成元年 同助教授
平成11年 同教授、現在に至る

E-mail: yasu@net.nagasaki-u.ac.jp（寺岡）
jsad@ml.nagasaki-u.ac.jp（事務局）

第15回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

会 期：平成13年10月19日（金）、20日（土）

会 場：岡山理科大学（〒700-0005 岡山市理大町1-1 電話 086-256-9433）

交通・宿泊：JR岡山駅西口から岡山理科大学行きバスに乗車、終点下車。約20分。タクシーでは約15分（約2,000円）。
交通の詳細、宿泊についてはホームページを参照ください。

総合受付：理大会館ロビー

口頭発表会場：理大会館ホール

ポスター会場：15号館4階会議室

特別講演会場：理大会館ホール

発表要領：口頭発表：講演12分、質疑8分。OHPで発表願います。
ポスター：パネル寸法は、横90cm、縦180cm。発表時間1時間。

発表申込：E-mailまたは郵便はがきで、1. 講演題目、2. 発表者氏名、3. 所属（勤務先または大学名、郵便番号、所在地、電話、FAX、E-mail）、4. 希望発表形式（口頭またはポスター）を記入しお申し込みください。4についてはご希望にそえない場合もございますが、ご了承ください。

予稿原稿：A4版用紙1ページに、講演題目、一行開けて所属（略称）、氏名（講演者名の前に○）、一行開けて要旨を一行あたり45文字、1段送りで記載し、最下行に連絡先（電話、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下さい。

懇親会：岡山理科大学11号館8階ラウンジ

参加登録費：主催・協賛学会会員 7,000円、学生 3,000円、その他 10,000円、予約申込者は 1,000円割引（要旨集代を含む）。要旨集のみ 4,000円。

懇親会費：6,000円（予約）、8,000円（予約以外）

参加予約申込：参加費、懇親会費共に本号に添付の郵便振替用紙にてお支払いください。なお連絡欄に送金内容の内訳（所属学会名、学生、懇親会、等）を記入願います。

郵便振替：口座番号：01390-0-25522 加入者名：第15回吸着学会岡山

発表申込締切：平成13年7月6日（金）

予稿原稿締切：平成13年9月14日（金）

参加予約締切：平成13年9月14日（金）

申込・連絡先：〒700-0005 岡山市理大町1-1 岡山理科大学理学部化学科 橘高茂治
電話 (086) 256-9433 FAX (086) 254-2891 E-mail: jsa2001@chem.ous.ac.jp

ホームページ：<http://www.chem.ous.ac.jp/~jsa2001>

会 告

日本吸着学会賞受賞候補者推薦のお願いと要領

学術賞

賞状および記念品の授与をもって表彰致します。受賞対象者は吸着における科学技術に関する一連の論文、著作等、学術的研究成果が特に優れた正会員とし、1名程度を選考する予定です。

学術賞の候補者をご推薦ください。自薦、他薦は問いません。推薦される方は下記の事項および論文のコピーを事務局にお送りください。

送付事項・書類

1. 候補者氏名、2. 生年月日、3. 所属、4. 研究略歴、5. 対象となる論文、著作等

奨励賞（東洋カルゴン賞）

賞状および15万円程度の副賞の授与をもって表彰致します。受賞対象者は受賞年度において45歳未満の正会員とし、3名程度を選考する予定です。選考は過去3年間に発表された3件程度の論文に関して行います。

奨励賞の候補者をご推薦ください。自薦、他薦は問いません。推薦される方は下記の事項および論文のコピーを事務局にお送りください。

送付事項・書類

1. 候補者氏名、2. 生年月日、3. 所属、4. 研究略歴、5. 対象となる論文

技術賞

賞状および楯の授与をもって表彰致します。受賞対象は維持会員である法人に属する技術者または技術グループが開発した技術とし、実用歴、実施例を考慮して2件程度を選考する予定です。

技術賞の候補技術および開発にあたった技術者（5名以内）をご推薦ください。自薦、他薦は問いません。推薦される方は候補者に関する下記の事項を事務局にお送りください。

送付事項・書類

1. 維持会員名、2. 対象技術、3. 対象技術の開発を担当した技術者名（5名以内。グループで開発にあたった場合は全員の職・氏名）、4. 設計図、試験成績書あるいは学会発表など候補技術を証明するもの、5. 実用歴（納入先一覧で可）

表彰

10月19日～20日の第15回研究発表会期間中に開催予定の本年度総会の席上で行います。

送付先

〒852-8521 長崎市文教町1-14
長崎大学工学部応用化学科内
日本吸着学会事務局

締切

2001年7月31日（事務局必着）

日本吸着学会事務局移転のお知らせ

吸着学会の事務局を熊本大学工学部より長崎大学工学部に移転いたしました。新事務局の住所及び担当者は以下の通りです。

日本吸着学会事務局
〒852-8521 長崎市文教町 1-14
長崎大学工学部応用化学科内
担当 寺岡靖剛
TEL & FAX: 095-848-9652
E-mail: jsad@ml.nagasaki-u.ac.jp

平成12年度研究題目一覧作成のご案内

Adsorption News 編集局では会員の皆様の交流を深めるための一助として、全国の大学および高等専門学校における平成12年度の吸着分野の卒業論文、修士論文、博士論文の題目一覧の作成を計画しております。一覧は次号のAdsorption News (Vol. 15, No. 3) と日本吸着学会ホームページ (<http://athena4.cheme.kyoto-u.ac.jp>) に掲載する予定です。掲載を希望される場合は、ご多忙中恐縮ですが以下の要領にて研究題目をお知らせ頂きたく、宜しくお願い申し上げます。なおこの件に関するお問い合わせはE-mailにて編集局 (suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp) までお願いいたします。

<要領>

1. 平成12年度の吸着分野の卒業論文、修士論文、博士論文の題目をお知らせ下さい。
2. 題目はE-mailにて編集局 (suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp) までお知らせ下さい。FAXや郵便での連絡はご遠慮下さい。
3. E-mailのフォーマットを以下に示します。

To: suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp
From: tamon@cheme.kyoto-u.ac.jp
Subject: 研究題目 (京大工・分離工学)

-----<以下本文>-----

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 分離工学分野
(E-mail: tamon@cheme.kyoto-u.ac.jp, <http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/4koza>)

卒業論文

東京太郎, 分子軌道法を用いた活性炭液相不可逆吸着に関する検討

修士論文

大阪次郎, 多種多様な廃棄物を原料とするメソ細孔制御炭素の創製

博士論文

京都花子, 超多孔体カーボングルの創製と工学的応用

特にお願したい点:

- (イ) Subject欄には「研究題目」とご記入頂き、続けて所属大学、研究室の略称をご記入下さい。
- (ロ) 題目は添付書類にせず、メールの本文中にご記入下さい。1行目に研究室の名称、2行目には、ご希望であれば連絡先E-mailアドレスと、研究室のホームページアドレスを半角英数字でお書き頂き (希望されない場合は空行にして下さい)、3行目より上記例に従って卒業論文、修士論文、博士論文の順で論文提出者氏名と論文題目をお書き下さい。なお論文提出者氏名と論文題目の間は全角コンマで区切って下さい。
- (ハ) 本文中に上記の項目以外のことは記入しないで下さい。時候の挨拶等は不要です。また、ご質問等はご記入頂いてもお答えできません。ご質問などございましたら別のE-mailでお知らせ下さい。

4. 締め切りは7月31日 (火) 必着でお願いいたします。期限以降にご応募頂いた場合次号のAdsorption Newsではご紹介できない場合もございますのでご了承下さい (なおその場合でもホームページには掲載させていただきます)。

研究ハイライト

高機能メソポーラス物質の合成と吸着特性

Synthesis and Adsorption Properties of
Functionalized Mesoporous Materials

株式会社豊田中央研究所
Toyota Central R&D Laboratories, Inc.

稲垣 伸二
Shinji Inagaki

1. はじめに

均一な細孔を有するメソポーラス物質（メソ孔：細孔直径が $2\sim 50\text{nm}$ ）が初めて合成¹⁾されてから10年以上が経過した。この間、豊田中研のFSM-16²⁾、モービル社のMCM-41³⁾に代表される規則性の高いメソポーラス物質の合成をきっかけに、この物質を対象とする研究者は急増し、報告される論文数も年間1000報を超えるまでになった。メソポーラス物質だけを対象とする国際会議が2000年には2回開催され、国際組織も発足された様に、メソポーラス物質は今や一つの研究分野を形成するに至った。

メソポーラス物質は、大きい比表面積、高い安定性、ナノサイズの均一細孔など、触媒や吸着材として使用する上で優れた基本物性を有する。しかし、FSM-16やMCM-41の細孔壁は一樣なアモルファスシリカ (SiO_2) でできていることから、表面の吸着性や触媒作用に乏しいため、その用途は限られていた。細孔表面に特異な吸着・触媒機能を付与できれば、メソポーラス物質の多様な用途展開が可能となると考える。ここでは、細孔壁の構造を制御した3種類の高機能メソポーラス物質の合成と機能について紹介する。

2. 有機基を骨格中に導入したメソポーラス物質

1996年頃からメソポーラス物質の組成は無機成分だけでなく、有機成分を含む系へと拡張されてきた⁴⁻¹⁰⁾、従来の有機基導入メソポーラス物質は、無機骨格の表面を有機基が覆った不均一構造をしていた。そこで、有機基と無機種が骨格中で完全に均一分散した有機-無機ハイブリッド型のメソポーラス物質 (HMM: Hybrid Mesoporous Materials) の合成を行った¹¹⁻¹⁴⁾。HMMは、有機と無機の両方の特性、あるいはそれらを分子レベルで複合化したことによる新奇な物性を示すことが期待されている。HMMの合成は、我々が1999年の10月に最初に報告し¹¹⁾、その直後に米国¹²⁾及びカナダ^{13,14)}の2グループが同様の論文を公表した。僅か2ヶ月の間に計4報の同様の論文が公表された様に、HMMの合成は激しい競争の中で行われた。その後も多くの論文¹⁵⁻²³⁾が報告されており、メソポーラス物質の研究に新しい展開が生まれつつある。

HMMは有機基 (R^1) の両側にSiアルコキシド基 [$\text{Si}(\text{OR}^2)_3$] が結合した有機シラン [$(\text{R}^2\text{O})_3\text{Si}-\text{R}^1-\text{Si}(\text{OR}^2)_3$] から合成される (Fig. 1(a))。この有機シランを界面活性剤の存在下で縮合

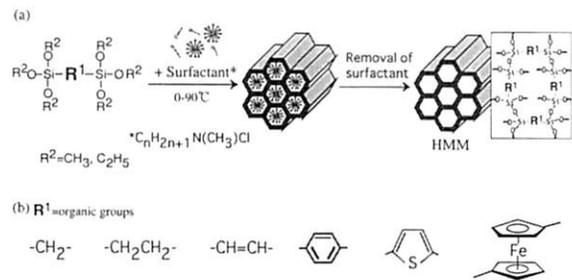


Fig. 1 Synthesis of organic-inorganic hybrid mesoporous materials.

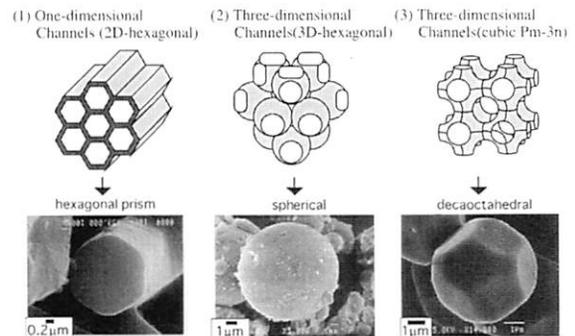


Fig. 2 Pore structure models and particle morphologies (SEM photographs) of ethylene-containing HMMs.

させることで、有機-シリカハイブリッドのメソポーラス物質が合成できる。従来の有機表面修飾メソポーラス物質は、有機基の片側にSiアルコキシド基が結合した有機シラン [$\text{R}^1-\text{Si}(\text{OR}^2)_3$] を原料に合成されており、2個のSiアルコキシド基を有する有機シランを原料にした合成はこれまでなかった。Siアルコキシドを有機基の両側に導入することで、有機基を表面ではなく骨格中に組み入れることができた。

これまでに、HMM中に導入に成功した有機基 (R^1) を Fig. 1(b) に示した。メチレン ($-\text{CH}_2-$)¹⁷⁾、エチレン ($-\text{CH}_2\text{CH}_2-$)^{11,13)}、ビニレン ($-\text{CH}=\text{CH}-$)^{12,14)}、フェニレン ($-\text{C}_6\text{H}_4-$)¹³⁾ 等の有機基や、チオフエン ($-\text{C}_4\text{H}_2\text{S}-$)¹³⁾ やフェロセン ($-\text{C}_5\text{H}_4-\text{C}_5\text{H}_4-$)¹³⁾ 等の官能基の導入が報告されている。更に、光学機能や不斉機能を有した有機基や官能基の導入も検討されている²⁰⁾。有機基は細孔壁内に均一に分散しているが、細孔壁の厚さが約2nmと薄いため、その多くは表面に露出している。HMMは100%の $(\text{R}^2\text{O})_3\text{Si}-\text{R}^1-\text{Si}(\text{OR}^2)_3$ から合成できるが、TEOS [$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$] あるいはTMOS [$\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$] との混合物からの合成も可能であり¹⁴⁾、有機基の導入量を有機基/Si = 0~0.5の範囲で調整することができる。有機基の導入量の調整により、表面特性、例えば疎水性を連続的に制御することも可能である。

当初このような特異な有機シランからは、構造規則性の高いメソポーラス物質は得にくいと考えた。しかし予想に反し、HMMは有機基の種類と合成条件によっては極めて高い規則性と多様なメソ構造体を形成することが分かった^{11,19)}。Fig. 2にエチレン基導入HMMの細孔構造モデルと粒子外形を示すSEM写真を示した。合成条件により一次元細孔の2D-hexagonal、三次元細孔の3D-hexagonalとcubic Pm-3n構造の3種類のメソポーラス物質が合成できた^{11,19)}。更にこれらの

HMMは六角柱状、球状粒子、そして18面体の明瞭な粒子形態を示した。これらの形状はそれぞれのメソ構造の対称性を反映した理想的な形態であり、欠陥が極めて少ない高い構造規則性を有することを示す。これらの高い構造規則性は、細孔の配列構造を示すTEM写真や電子線回折 (Fig. 3) から確認された。無機メソポーラス物質では、このような規則性の高い明瞭な形態の粒子の生成は珍しく^{24, 25)}、有機物の導入が格子中の歪を緩和して、格子欠陥を減少させたと考える。

エチレン基を導入した2D-hexagonal (HMM-1) と3D-hexagonal (HMM-2) のHMMの窒素吸着等温線をFig. 4に示した。いずれも典型的なIV型を示したが、特にHMM-1は毛管凝縮に基づく吸着量の立ち上がりがシャープに現れており、細孔径がより均一であることを示す。窒素吸着等温線から求めた細孔直径とBET表面積は、HMM-1が4.1nmと750m²/g、HMM-2が3.5nmと1250m²/gとなった。Fig. 5には、窒素の吸

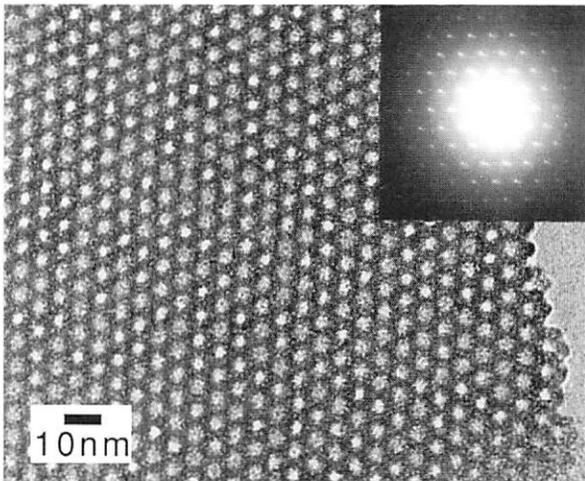


Fig. 3 TEM images of hexagonal arrangement of uniform channels of ethylene-containing HMM (2D-hexagonal).

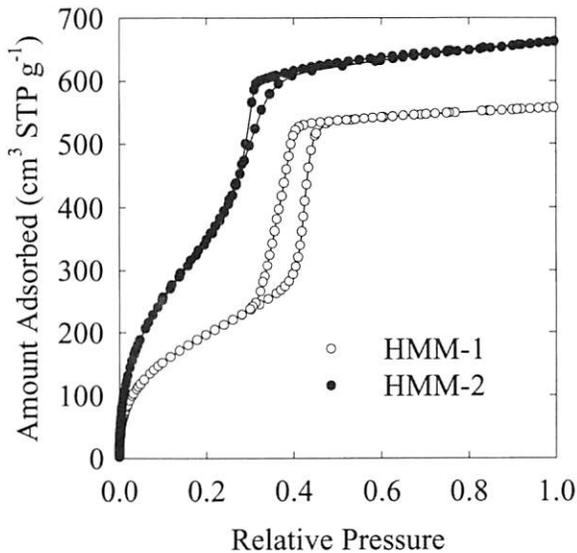


Fig. 4 Nitrogen adsorption isotherms for ethylene-containing HMMs.

着膜の厚さをMCM-41と比較した結果を示した。低圧部 ($P/P_0 = 0.1$ 以下)での膜厚が、HMM-1の方がMCM-41よりも小さく、窒素分子とHMM表面との相互作用がより弱いことを示す²³⁾。吸着エネルギー分布 (Fig. 6) も、MCM-41と比較してHMM-1の方が低エネルギー側に僅かに偏った結果となった²³⁾。このような有機基の導入による吸着エネルギーの低下は、シリカゲルにおいて典型的に見られる。しかし、吸着エネルギーの低下はシリカゲルを有機基で表面修飾した方が顕著に現れており、HMM-1とMCM-41との差はそれより小さい。これは、HMMの表面にはエチレン基 ($-\text{CH}_2\text{CH}_2-$) が露出しているだけでなく、シラノール基 (Si-OH) も露出しているためである。HMMの²⁹Si-NMRスペクトルには、T3種のシリコン [$\text{SiC}(\text{OSi})_3$] 以外にT2種のシリコン [$\text{SiC}(\text{OH})(\text{OSi})_2$]

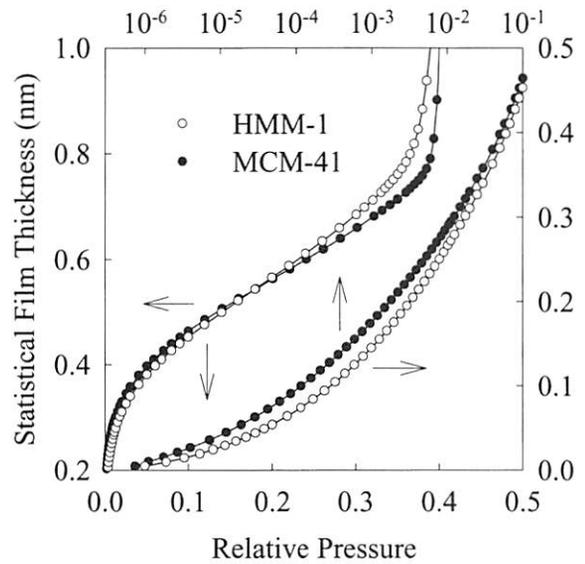


Fig. 5 Comparison of statistical film thickness of nitrogen in the pores of HMM-1 and MCM-41 with similar pore size.

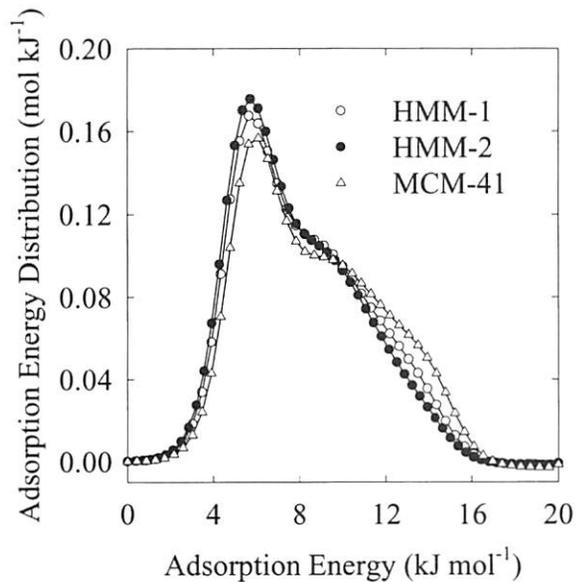


Fig. 6 Comparison of nitrogen adsorption energy distributions for HMMs with that for the MCM-41 silica.

のシグナルが観察され（ピーク面積比はT3/T2=3）¹¹⁾、相当量のシラノール基の存在を示す。疎水部と親水部の両方が分子レベルで表面に分散した特異な構造がHMMの一つの特徴と言える。

エチレン基やフェニレン基等の有機基を導入することにより、有機化合物の分離特性が著しく向上した。HMMを液体クロマトグラフのカラムに充填し、有機化合物の分離特性を測定した結果、エチレン基導入HMMはシリカからなるFSM-16よりも、ナフタレンとアントラセンの分離係数が大幅に向上した。フェニレン基導入HMMは、更に分離が難しいフラレン(C_{6n}/C_{7n})を明瞭に分離することができた。このような表面特性を有したメソポーラス物質は、クロマトグラフ充填剤としてだけでなく、溶液中の有機化合物の吸着や有機蒸気を回収する吸着剤としての用途が期待される。

3. 細孔壁にマイクロ孔を形成したメソポーラス物質

メソポーラス物質の細孔径は通常の分子より一回り大きい。そのため、高度な分子ふるい機能や、強い吸着力は働きにくい。そこで、ゼオライトが有する分子サイズのマイクロ孔（細孔径が2 nm以下）をメソポーラス物質の細孔壁に形成する試みが行われた^{26,28)}。しかし、数nmと薄い細孔壁をゼオライト化することは容易ではなかった。我々は、細孔壁がアモルファスのままマイクロ孔を形成することに成功した²⁹⁾。

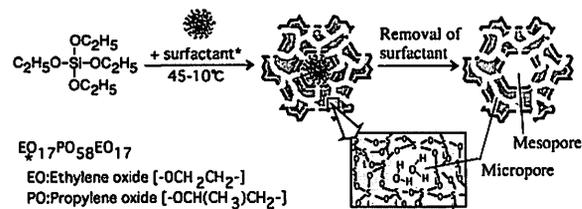


Fig. 7 Synthesis of mesoporous silica material containing microporosity within the pore walls.

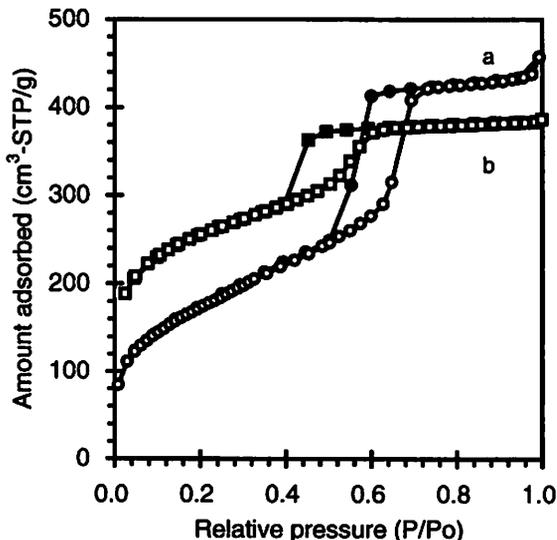


Fig. 8 Nitrogen adsorption isotherms for mesoporous silica materials prepared by using triblock copolymer. (a) no microporosity, (b) micropore volume: 0.18cm³/g.

マイクロ孔を有するメソポーラス物質は、界面活性剤として非イオン系のトリブロックコポリマー (EO_xPO_yEO_x) を用いて合成される (Fig. 7)。非イオン系の界面活性剤を用いると、細孔壁が厚いメソポーラス物質が得られる^{30,31)}。合成条件を制御することで、この厚い細孔壁内にマイクロ孔が形成されることが分かった。細孔壁はアモルファスのシリカのままであり、水分子あるいはトリブロックコポリマーの親水部 (EO_x) が鑄型となりマイクロ孔が形成されたと考える。Fig. 8と9に、マイクロ孔が有る場合と無い場合のメソポーラス物質の窒素吸着等温線とt-plotを示した。マイクロ孔を形成したメソポーラス物質の等温線は、毛管凝縮による2段目の立ち上がりに比べ1段目の立ち上がりが大きく、マイクロ孔の存在が示唆される。そのt-plotはy切片を通り、マイクロ孔の存在を示している。また、マイクロ孔がメソポーラス物質の細孔壁内に存在することは、界面活性剤の抽出前後の窒素吸着を比較することにより確認された。マイクロ孔の孔径は1nm前後と考える。メソポーラス物質の細孔壁中のマイクロ孔の存在については、他グループからも報告されている^{32,31)}。

マイクロ孔容積は、合成条件により制御することができた²⁹⁾。マイクロ孔を有するメソポーラス物質は、トリブロックコポリマー (EO₁₇PO₅₈EO₁₇:P104) の存在下、酸性条件でTEOS [Si(OC₂H₅)₄] を縮合することにより合成される。ここで、

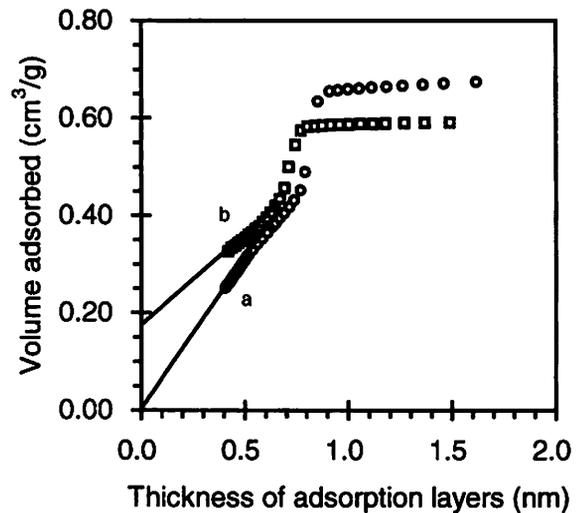


Fig. 9 t-Plot of nitrogen adsorption isotherms for mesoporous silica materials prepared by using triblock copolymer. (a) no microporosity, (b) micropore volume: 0.18cm³/g.

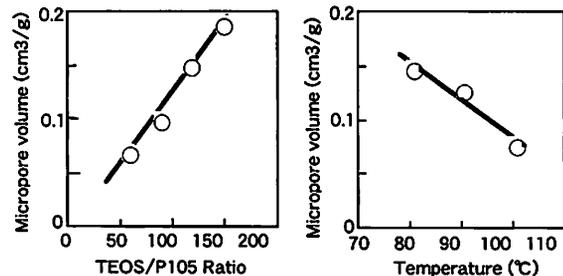


Fig. 10 Change of micropore volume for mesoporous materials containing microporosity within the pore walls by synthesis conditions.

TEOS/P104の混合比（モル比：60～150）と、反応温度（80～100℃）を変化させた。TEOS/P104比が増大するに従い、または合成温度が低下するに従い、マイクロ孔容積が増えることが分かった（Fig. 10）。マイクロ孔容積は最大で約0.2ml/gに達し、これはゼオライトと同等の大きさである。

最近、マイクロ孔がメソポーラス物質の細孔壁内に存在することが、細孔のレプリカを形成することにより直接的に証明された³⁵⁻³⁸。メソポーラス物質の細孔内に、白金あるいはカーボンを緻密に形成した後、シリカ骨格をフッ酸により溶解除去すると、細孔と同じ形状の白金あるいはカーボンが生成した。ロッド状の白金あるいはカーボンがばらばらにならず、細孔と同じヘキサゴナル配列しているということは、メソ細孔同士が細孔壁を通じて繋がっていることを明確に示している。

メソ-マイクロ2元細孔多孔物質（MS）をガスクロマトグラフのカラムに充填し、各種ガスの保持時間を測定することにより、分子ふるい機能を評価した。比較として、メソ孔のみのFSM-16、マイクロ孔のみのゼオライト（Y型）も評価した。マイクロ孔を導入したメソポーラス物質は、いずれのガス分子に対しても保持時間が長く、分子の保持性が高いことを示す（Table 1）。特に、CO₂についてはFSM-16とゼオライト（Y型）の約2倍の保持性を、プロピレン（C₃H₆）についてはFSM-16の約6倍、ゼオライトの2.4倍の保持性を示した。また、マイクロ孔容積の増大に伴い保持時間が長くなり、マイクロ孔が分子の保持性に有効に働いていることを示す。ゼオライトは、分子サイズの細孔により高度な分子ふるい機能を示すが、細孔中の分子の拡散速度が遅いため、結晶内部が有効に活用されていない可能性が大きい。一方、メソポーラス物質は細孔径が分子より十分大きいので、分子は速やかに粒子内部まで拡散するが、分子ふるい機能が発現しにくい。細孔壁中にマイクロ孔を導入したメソポーラス物質は、分子の速い拡散と分子ふるい機能を兼ね備えた理想的な多孔材料と考える。

4. TiXPO₄組成のメソポーラス物質

チタニア等の光触媒は空気浄化や汚れ分解だけでなく、太陽光を利用した水素や炭化水素の製造等、エネルギー・環境問題に対処する重要技術として位置付けられる。チタニアは、比表面積が通常小さい（50m²/g）ので、チタニアのメソポーラス物質が合成できれば、大きな比表面積や微細孔の効果により、性能の更なる向上が期待できる。チタニアのメソポーラス物質の合成については既に幾つかの報告があるが、細孔

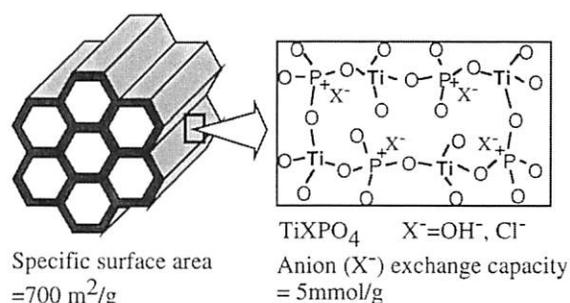


Fig. 11 Pore-wall structure of TiXPO₄ mesoporous material.

の均一性や安定性の点で不十分なものが多い^{26,39-41}。ここでは、これまで報告のなかったリン酸チタニウム（TiXPO₄, X=Cl⁻, OH⁻, etc.）のメソポーラス物質の合成⁴²と、その光触媒作用について紹介する。

リン酸チタニウムは、一般に層状構造 [Ti(HPO₄)₂]⁴³を形成し易く、多孔構造は形成しにくい。界面活性剤を用いて合成条件を最適化することで、リン酸チタニウムのメソポーラス物質が合成できた。この物質は、FSM-16と同じ1次元細孔のメソ構造を有する（Fig. 11）。透過電子顕微鏡写真には均一な細孔が規則的に配列した構造が観察され、窒素吸着等温線からは3nmを中心とした均一な細孔径分布が示された。比表面積は、最大700m²/gに達し、従来の層状リン酸チタニウムよりはるかに大きな値を示した。一方、細孔壁内のTiは4配位であることが分かった。Tiは通常6配位であるが、Pとの複合化により4配位のTiが安定化されたと考える。このような結果から、細孔壁はTiとPが酸素原子を介して交互の結合した構造と考える（Fig. 11）。

このTiXPO₄組成のメソポーラス物質は、特異な陰イオン交換能を有する。陽イオン交換能を有する無機物質はゼオライトや粘土鉱物等多数あるが、陰イオン交換能を有する無機材料はハイドロタルサイト等ごくわずかしかない。陰イオン交換容量は5mmol/gと非常に大きく、これはイオン交換樹脂（1-4mmol/g）よりも大きな値である。この陰イオン交換サイトは、細孔壁中のP⁺（Pの含有量：5.6mmol/g）である。一方、欠陥に基づくP-OHも存在しており、このサイトは酸点あるいは、陽イオン交換サイトとして働くことも確認されている。

このTiXPO₄メソポーラス物質は光触媒作用を示すことが分かった。UV-Vis吸収スペクトルには、可視光域に吸収はなかったが、220-330nmの紫外光域に吸収が見られた。吸収端（330nm）から計算されるバンドギャップエネルギーは、3.8eVとチタニアの3.0eVよりも大きかった。

本メソポーラス物質を用いて水の光分解による水素生成反応を試みた。犠牲試薬を溶解した水にTiXPO₄を分散し、キセノンランプ（500W）により光を照射すると、水が分解して水素の発生が確認された。水素生成速度は、従来の光触媒（TiO₂系）⁴⁴と同等であったが、太陽電池を利用した水の電気分解による水素生成効率の約1/10に留まっており、実用化するには触媒活性の大幅な向上が必要である。TiXPO₄メソポーラス物質は、従来の光触媒にないイオン交換機能や大きい比表面積を有しており、Pt等の助触媒や活性成分の導入により更なる活性の向上が期待できる。

Table 1 Retention times of gases for various porous materials as packing material of gas chromatograph

Gas	MS-0.11* ¹	MS-0.05* ²	FSM-16* ³	Zeolite Y* ⁴
N ₂	1.6	1.4	1.2	1.7
NO	1.6	1.4	1.2	1.7
CH ₄	2.1	1.8	1.3	-
CO ₂	10.1	7.5	1.6	5.2
C ₃ H ₆	104	77.9	16.9	44.1

*^{1,2}Meso-micropore materials containing micropore volumes 0.11 (MS-0.11) and 0.05cm³/g (MS-0.05). *³Mesoporous silica with pore diameter of 3nm. *⁴Microporous aluminosilicate.

本メソポーラス物質は、選択的な部分酸化触媒能を有することも分かった¹²⁾。部分酸化反応は、ナイロン等の製造原料を合成する重要な反応であり、近年環境負荷の小さい固体触媒が注目されている。しかし、選択的な部分酸化能を有する固体触媒としては、細孔径が小さいチタノ珪酸塩のゼオライト (TS-1) しかなかった。1 nm以上の大きな細孔を有する部分酸化触媒ができれば、幅広い反応の触媒を固体触媒に置き換えることが可能となる。ここでは、シクロヘキサンの過酸化水素 (H₂O₂) による酸化反応 (60℃) を試みた結果、転化率が76mol%で、1,2-シクロヘキサジオール (選択率88%) と2-シクロヘキセン-1-オール (選択率12%) が生成した。この様な高い転化率と高いジオール選択性は、細孔内の特異な表面特性と4配位で安定化されたTiの作用と考える。

5. おわりに

細孔壁内に (1) 有機基、(2) Ti、そして (3) ミクロ孔を導入した3種類の新規メソポーラス物質の合成を行った。メソポーラス物質の特徴であるナノスケールの構造に加え、分子スケールの構造を構築することにより、新しい機能の発現や性能の向上が確認された。この様な階層構造は生体中に典型的に見られ、高度な機能を実現する上で重要な役割を果たしている。有機基を導入したメソポーラス物質では、ミクロスケールの構造 (粒子形状) にも変化が見られ、幅広いスケールでの階層化が可能と考える。分子の自己組織化を利用したナノ構造の構築技術は、高度な装置や複雑な操作を必要としない現実的なナノテクノロジーである。また、自己組織化は生体組織の形成過程そのものであり、高度な機能を構築できる可能性を有する。メソポーラス物質の合成技術を、更に高度な材料合成技術に発展させることが次の課題である。

謝 辞

これらの研究は、豊田中央研究所の客員研究員であった関士友氏 (現 三洋化成)、宮澤浩司氏 (現 ユアサアイオニクス)、Dr. Asim Bhaumik (現 Indian Association for the Cultivation of Science)、東北大学の大砂哲先生と寺崎治先生、そしてKent State UniversityのProf. Mietek Jaroniecと共同で実施した。この場を借りて、感謝の意を表します。

文 献

- 1) Yanagisawa, T., Shimizu, T., Kuroda, K., Kato, C.: *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **63** (1990), 988.
- 2) Inagaki, S., Fukushima, Y., Kuroda, K.: *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, (1993), 680; Inagaki, S., Koiwai, A., Suzuki, N., Fukushima, Y., Kuroda, K.: *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **69** (1996), 1449.
- 3) Kresge, C. T., Leonowicz, M. E., Roth, W. J., Vartuli, J. C., Beck, J. S.: *Nature*, **359** (1992), 710; Beck, J. S. et al.: *J. Am. Chem. Soc.*, **114** (1992), 10834.
- 4) Burkett, S. L., Sims, S. D., Mann, S.: *Chem. Commun.*, (1996), 1362.
- 5) Macquarrie, D. J.: *Chem. Commun.*, (1996), 1961.
- 6) Lim, M. H., Blanford, C. F., Stein, A.: *J. Am. Chem. Soc.*, **119** (1997), 4090.
- 7) Fowler, C. E., Burkett, S. L., Mann, S.: *Chem. Commun.*, (1997), 1769.
- 8) Feng, X. et al.: *Science*, **276** (1997), 923.
- 9) Rhijin, W. M. V., Vos, D. E. D., Sels, B. F., Bossaert, W. D., Jacobs, P. A.: *Chem. Commun.*, (1998), 317.
- 10) Lim, M. E., Blanford, C. F., Stein, A.: *Chem. Mater.*, **10** (1998), 467.
- 11) Inagaki, S., Guan, S., Fukushima, Y., Ohsuna, T., Terasaki, O.: *J. Am. Chem. Soc.*, **121** (1999), 9611.
- 12) Melde, B. J., Holland, B. T., Blanford, C. F., Stein, A.: *Chem. Mater.*, **11** (1999), 3302.
- 13) Ishii, C. Y., Asefa, T., Coombs, N., MacLachlan, M. J., Ozin, G. A.: *Chem. Commun.*, (1999), 2539.
- 14) Asefa, T., MacLachlan, M. J., Coombs, N., Ozin, G. A.: *Nature*, **402** (1999), 867.
- 15) Inagaki, S., Guan, S., Fukushima, Y., Ohsuna, T., Terasaki, O.: *Stud. Surf. Sci. Catal.*, **129** (2000), 155.
- 16) Freemantle, M.: *C&EN*, January 24, (2000), 33.
- 17) Asefa, T., MacLachlan, M. J., Grondy, H., Coombs, N., Ozin, G. A.: *Angew. Chem. Int. Ed.*, **39** (2000), 1808.
- 18) Lu, Y., Fan, H., Doke, N., Loy, D. A., Assink, R. A., LaVan, D. A., Brinker, C. J.: *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (2000), 5258.
- 19) Guan, S., Inagaki, S., Ohsuna, T., Terasaki, O.: *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (2000), 5660.
- 20) MacLachlan, M. J., Asefa, T., Ozin, G. A.: *Chem. Eur. J.*, **6** (2000), 2507.
- 21) Stein, A., Melde, B. J., Schrodner, R. C.: *Adv. Mater.*, **12** (2000), 1403.
- 22) Sayari, A., Hamoudi, S., Yang, Y., Moudrakovski, I. L., Ripmeester, J. R.: *Chem. Mater.*, **12** (2000), 3857.
- 23) Kruk, M., Jaroniec, M., Guan, S., Inagaki, S.: *J. Phys. Chem. B*, **105** (2000), 681.
- 24) Kim, J. M., Kim, S. K., Ryoo, R.: *Chem. Commun.*, (1998), 259.
- 25) Sakamoto, Y., Kaneda, M., Terasaki, O., Zhao, D. Y., Kim, J. M., Stucky, G. D., Shin, H. J., Ryoo, R.: *Nature*, **408** (2000), 449.
- 26) Yang, P., Zhao, D., Margolese, D. I., Chmelka, B. F., Stucky, G. D.: *Nature*, **396** (1998), 152.
- 27) Kloetstra, K. R., Bekkum, H. van, Jansen, J. C.: *Chem. Commun.*, (1997), 2281.
- 28) Liu, Y., Zhang, W., Pinnavaia, T. J.: *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (2000), 8791.
- 29) Miyazawa, K., Inagaki, S.: *Chem. Commun.*, (2000), 2121.
- 30) Zhao, D., Feng, J., Huo, Q., Melosh, N., Fredrickson, G. H., Chmelka, B. F., Stucky, G. D.: *Science*, **279** (1998), 548.
- 31) Zhao, D., Huo, Q., Feng, J., Bradley, F. G. H., Chmelka, B. F., Stucky, G. D.: *J. Am. Chem. Soc.*, **120** (1998), 120.
- 32) Lukens Jr., W. W., S-Winkel, P., Zhao, D., Feng, J., Stucky, G. D.: *Langmuir*, **15** (1999), 5403.
- 33) Kruk, M., Jaroniec, M., Ko, C. H., Ryoo, R.: *Chem. Mater.*,

- 12 (2000), 1961.
- 34) Ryoo, R., Ko, C. H., Kruk, M., Antochshuk, V., Jaroniec, M.: *J. Phys. Chem. B*, **104** (2000), 11465.
- 35) Jun, S., Joo, S. H., Ryoo, R., Kruk, M., Jaroniec, M., Liu, Z., Ohsuna, T., Terasaki, O.: *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (2000), 10712.
- 36) Ryoo, R., Ko, C. H., Kruk, M., Antochshuk, V., Jaroniec, M.: *J. Phys. Chem. B*, **104** (2000), 11465.
- 37) Shin, H. J., Ryoo, R., Kruk, M., Jaroniec, M.: *Chem. Commun.*, (2001), 349.
- 38) Ryoo, R., Joo, S. H., Kruk, M., Jaroniec, M.: *Adv. Mater.*, **13** (2001), 677.
- 39) Antonelli, D. M., Ying, J. Y.: *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **34** (1995), 2014.
- 40) Ulagappan, N., Rao, C. N. R.: *Chem. Commun.*, (1996), 1685.
- 41) Antonelli, D. M.: *Microporous Mesoporous Mater.*, **30**

(1999), 307.

- 42) Bhaumik, A., Inagaki, S.: *J. Am. Chem. Soc.*, **123** (2001), 691.
- 43) Alberti, G., Bracardi, M., Casciola, M.: *Solid State Ionics*, **7** (1982), 243.
- 44) Sayama, K., Arakawa, H.: *J. Chem. Soc., Faraday trans.*, **93** (1997), 1647.



稲垣 伸二
 株式会社豊田中央研究所
 主任研究員 工学博士
 1984年 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了
 同年 株式会社豊田中央研究所入社
 メンポーラス物質の合成と応用に関する研究に従事

関連学会のお知らせ

第14回イオン交換セミナー 「ナノテクノロジーとイオン交換材料」

- 主 催:** 日本イオン交換学会
- 協 賛:** 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、日本化学会、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、無機マテリアル学会
- 日 時:** 2001年7月19日(木) 13時00分～17時00分
- 場 所:** 東京工業大学百年記念館フェライト会議室
 東急目黒線、大井町線大岡山駅下車
- プログラム:**
- | | | |
|-----------------------------------|---------|-------|
| (1) 高分子微粒子の合成と構造形成 | (東工大理工) | 石津 浩二 |
| (2) 高分子微粒子の製造と最近の動向 | (総研化学) | 佐藤 雅裕 |
| (3) 高分子微粒子を利用した荷電モザイク膜 | (大日精化) | 杉戸 善文 |
| (4) 合成ペプチドイオンチャネルの構造と機能 | (産総研) | 樋口 真弘 |
| (5) 多孔質ケイ酸塩によるイオン交換特性 | (東学大) | 國仙 久雄 |
| (6) 有機-無機複合体からの金属酸化物多孔体の合成とその生成機構 | (千葉大工) | 高橋 亮治 |
- 申込締切:** 7月6日(金)
- 申込方法:** (1) 申込者氏名、(2) 会員(協賛学会のかたは所属学会名)、非会員、学生の区別、(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)をご記入の上、Faxまたは電子メールで下記宛にお申込下さい。
- 申 込 先:** 〒194-8543 町田市東玉川学園 3-3165 昭和薬科大学分析化学研究室内
 日本イオン交換学会事務局
 Fax: 042-721-4510 E-mail: n-suzuki@ac.shoyaku.ac.jp
- 参 加 費:** 会員: 10,000円、学生: 1,000円、会員外: 15,000円(要旨集代を含む)
 (予約外は2,000円増。ただし学生を除く)
- 振 込 先:** 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」
 (企業の方は参加者個人名を明記して下さい)

技術ハイライト

在宅酸素療法用酸素濃縮器の改良開発

Development of Oxygen Concentrators for
Home Oxygen Therapy

帝人株式会社
TEIJIN LTD.

山田 章生
Akio Yamada

はじめに

在宅酸素療法（Home Oxygen Therapy: HOT）は、慢性呼吸不全患者のうち病態が安定し、酸素吸入の必要性を除けば退院可能な患者に適用され、家庭での酸素投与により患者の在宅療養や社会復帰を可能にし、充実した社会・家庭生活を営む機会をもたらすものである。

この療法は、わが国において1985年の健康保険適用以来着実に浸透し、現在約9万人の患者が在宅酸素療法を受けているものと推定される。

この在宅酸素療法に用いられる酸素供給システムとして、空気分離方式の医療用酸素濃縮器が開発された。当初は膜型酸素濃縮器（製品ガス酸素濃度約40%）が主体であったが、近年は、ほとんどが吸着型（酸素濃度約90%）で占められている¹⁾。また、膜型酸素濃縮器の弱点を改善した酸素濃度40%の吸着型酸素濃縮器も製品化されている²⁾。

吸着型酸素濃縮器は、家庭用電源を用いて手軽にかつ持続的に、高濃度の酸素濃縮空気を患者に供給できるという特性を有しており、現在も、よりよい製品への改良が続けられている。

1. 吸着型酸素濃縮器

在宅医療用吸着型酸素濃縮器の基本原理は圧力スイング吸着（Pressure Swing Adsorption: PSA）である。吸着剤としては、原料空気中の N_2 分子と O_2 分子に対する吸着能力の差が大きいゼオライトが一般的である。吸着剤としては生物学的安全性のほか、装置・システムが小型となり、長期間（数年）の連続運転を可能にする、高性能で劣化の少ないものが要求される。使用されている吸着剤の例を表1³⁾に示すが、昨今ではこれらのNa基をLiで部分置換して N_2 と O_2 の分離性能をさらに高めたものが用いられ始めているようである⁴⁾。在宅医療用酸素濃縮器の製品ガス流量としては現在、高流量で7L/minの機種までであるが、3L/min程度のものが最も多く使用されてい

表1 医療用酸素濃縮器用吸着剤の例

種類	形状	サイズ (mesh)	備考
13X	ビーズ	16×40、4×8	ユニオン昭和(株)
OXY5IV-5	ビーズ	16×40	ユニオン昭和(株)
5AMG	破砕	16×40	ユニオン昭和(株)

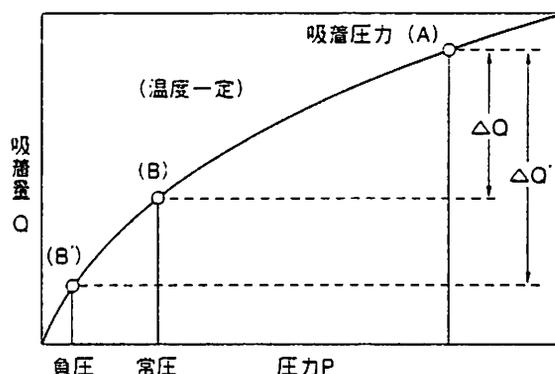


図1 吸着平衡特性説明図（吸着圧力と窒素吸着の相関）

る機種である。患者は酸素濃縮器から供給される酸素濃度約90%の製品ガスをカニューラやマスクを用いて室内空気と一緒に吸入するので、実際に患者の肺に到達するガスの酸素濃度は製品ガス供給量に応じて21~40%（dry base）程度になっている。

PSA方式としては1筒式と2筒式が主体であるが、それぞれ一長一短があり、どちらが優位だとは一概に断定できない。1筒式は、真空サイドの立ち上がり部分を使って吸着平衡特性（図1参照）を効率よく生かすという特徴があるが、製品ガス供給能力としては、現在使用可能なコンプレッサの型式や効率および家庭用電源容量等を勘案すると、5L/min程度が限界だろうと考えられる。この他、最近では、回転式のバルブ開閉機構が組み込まれた多（12）筒式のものも製品化されている⁵⁾。

2. 酸素濃縮器の改良開発

わが国における在宅医療用酸素濃縮器の先駆的存在である当社の主要機種（製品ガス供給能力：3L/min）の開発経緯を軸として、以下に在宅医療用吸着型酸素濃縮器の改良開発状況を述べる。

当社は、最初、米国から在宅医療用吸着型酸素濃縮器の製品自体や技術を導入したが、これらは日本で在宅医療用として使用するための要求特性をとても満たすものではなかった。そこで、当社がそれまでに膜型の在宅医療用酸素濃縮器を通して構築した基本的設計思想である、信頼性、静粛性、経済性、操作性、利便性等に即応させた製品を一から自社開発することとし、その実現をはかった。これらの要求特性は、現在、液化酸素装置等を含めた在宅酸素療法用酸素濃縮装置に対する日本市場の要求特性となっている。

当社は、80年代半ばに初の吸着型酸素濃縮器（製品ガス供給能力：3L/min）を製品化した。PSA方式としては1筒式を採用し、吸着筒を含め主要部品は米国からの輸入品をそのまま使用していた。この酸素濃縮器は、信頼性という点では現在の域に達しているものではなかったが、運転時の静粛性については、いくつかの低騒音化手段が検討・採用され、在宅医療用酸素濃縮器における低騒音化技術の骨格が創り上げられていたといえる^{6,7)}。

90年代初めには第二代目の3L/min機種を製品化した。その主要部品は全て、当社の設計思想を織り込んだ信頼性の高い

表2 医療用酸素濃縮器の製品例 (60Hz)

品名	単位	第一代	第二代	第三代
		TO-90	TO-90-3L	TO-90-3N
最大流量	L/min	3	3	3
酸素濃度	%	82±3	90±3	92±3
消費電力	W	300	260	230
騒音	dB(A)	37	37	35
重量	Kg	45	43	33
容積	L	115	115	85

ものに置き換えられた。現在、国内で使用されている在宅医療用濃縮器の機能に関する特性や技術の多くは、この機種において基本的に完成されたといえる。また、商品的にも当社の主力製品となり、長期間にわたって患者に使用されてきている。

しかし、この製品でも必ずしも満足できるものではなく第三代目の3L/min機種の開発に着手した。二代目までは、最大流量（製品ガス3L/min）使用時の製品ガス酸素濃度が90%前後であり、装置重量も43Kgと重く、外容積は120Lと大きいものであった。酸素濃度的にもう一段の向上が期待され、重量寸法的には社員を含め、運搬等で本器を取り扱う人達の評判はもう一つであった。表2に歴代の3L/min機種の仕様を示す⁸⁾。ここから本格的な改良が始まり、目標として従来よりも30%の小型・軽量化と、安全性、信頼性、静粛性の一層の向上、さらには立法化されたばかりのPL法をも視野に入れたコンセプトが掲げられた。

2.1 小型・軽量機器の開発

1筒式吸着型酸素濃縮器のフローおよび外観図の1例を図2⁹⁾、図3（写真）に示す。1筒式では、吸着工程において原料空気がコンプレッサーにより吸着筒に送り込まれ、加圧吸着が行われる。脱着工程は2筒式が常圧脱着であるのに対し、1筒式では真空（減圧）脱着が行われるため、ゼオライトにおけるN₂/O₂分離効率の高い吸着平衡特性部分を利用したPSAが可能になると考えられる。1筒式では吸着と脱着を1台の

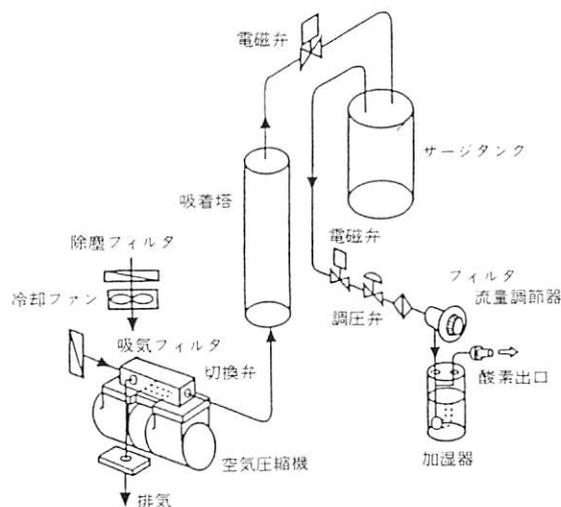


図2 吸着型（1筒式）のフロー例

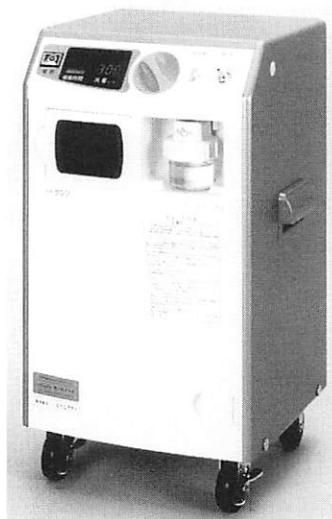
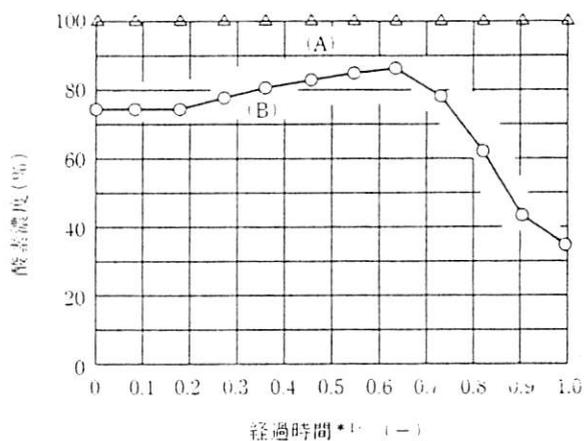


図3 吸着型酸素濃縮器TO-90-3N（帝人）

コンプレッサーで行うので吸排気切替えバルブ（5方切替え弁）と、脱着時間帯でも製品ガスの供給を維持するための比較的大型のサージタンク（貯槽）を必要とする。また、1筒式では脱着を真空（減圧）で行うことから、吸着剤性能に対し最大の障害となる水分（原料空気湿分）の吸着帯を最小限に抑え、吸着筒、延いては装置全体を小型にできるとともに長期にわたる吸着性能の維持継続が期待でき、酸素濃縮器としての寿命延長に繋がるものと考えられる。

2.1.1 吸着筒、サージタンクの改良技術

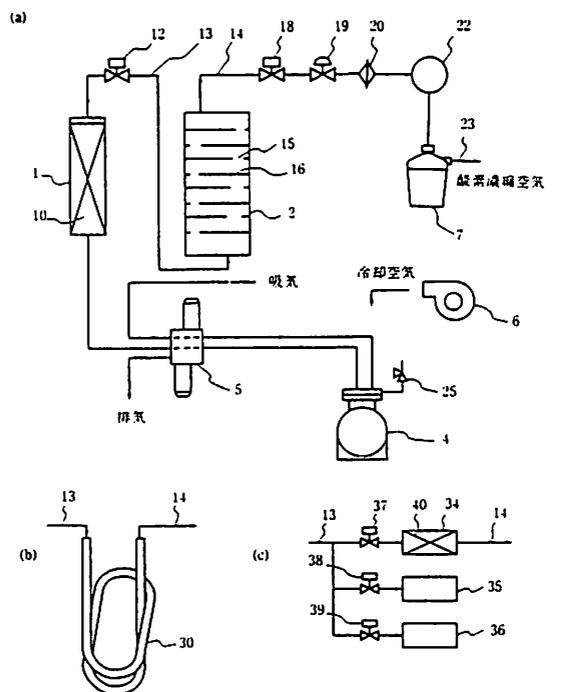
酸素濃縮PSAでは、吸着筒の原料空気入口部でN₂の吸着が激しく行われるため多量の発熱を伴い高温になる。また、脱着時には吸着筒入口部でN₂と水分を激しく脱着するため、多量の熱が奪われ、局部的に急激な温度低下がおこる。このような温度変化を緩和して、理想的なPSAに近づけるためには



*1) 吸着ステップ経過時間(s)
吸着ステップ時間(s)

(A) : 製品ガス取出し流量1.0ℓ/min
(B) : 製品ガス取出し流量3.0ℓ/min

図4 吸着筒出口ガス成分濃度の経時変化



1: 吸着床 2: 円筒形サージタンク 4: コンプレッサー 5: 流量切替弁 6: 送風機 7: 加湿器 10: 吸着剤 12: 自動開閉弁 13: 導管 14: 導管 15: 開口部 16: 仕切板 18: 自動開閉弁 19: 減圧弁 20: 除菌フィルター 22: 流量設定器 23: 酸素濃縮空気取り出し用導管 25: リリーフバルブ 30: 管状サージタンク 34: タンク 35: タンク 36: タンク 37: 電磁弁 38: 電磁弁 39: 電磁弁 40: 吸着剤

図5 1筒式吸着型酸素濃縮器用サージタンク

均一化されたガス流れに近づく筒構造（デッドスペースの解消と水吸着帯の最小化）や、熱移動を促進できる工夫が必要である。また、吸着工程において酸素吸着帯が時間と共に成長し、その工程の終末段階における吸着筒出口ガスの酸素濃度は予想外に低下傾向を示すことがわかった（図4）¹⁰。このことは、サージタンク内で吸着終末段階の出口ガスをそれ以前の高酸素濃度ガスと混合しないほうがよいということを示唆するものと考えられた。このような現象に即応した構造のサージタンクに関する特許が出願されているが、その考案例として図5¹¹に示すような管状やチューブ状（a）（b）（c）のサージタンクが記載されている。1筒式では、サージタンクのガスを吸着筒出口に逆流させて吸着層のリンスに使用するので、この低濃度酸素ガスは再度精製されてサージタンクに戻ってくることになる。このほか吸着剤の性能向上や、吸着・脱着時間に関連した吸脱着サイクルタイムの組み合わせ等に係る方法が特許として出願¹²されている。

2.2 医療用機器としての要件

在宅酸素療法に使用される酸素濃縮器としては、吸着システムの高性能化だけでは十分でなく、低騒音化や低消費電力化、高機能化、使い易さの改良等が上げられる。

低騒音化については、この酸素濃縮器が患者の就寝中にも使用されることから、寝室で気にならないレベルの低騒音（静音）が求められ、具体的には1m離れた場所で30~35dB

- 1: コンプレッサー 2: 冷却ファン 3: コンプレッサーボックス
4: モジュール 5: ばね 6: 外ケース
7: キャスター 8: 排気孔

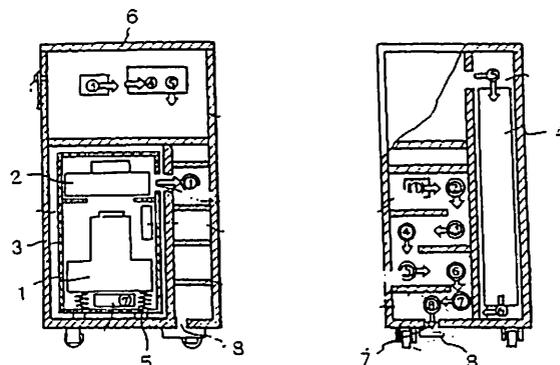


図6 排気ダクト消音例（内部断面の冷却風流路）

(A) 程度が目標となる。騒音の発生源としてコンプレッサー、ファン、開閉弁、気流音等が上げられるが、これらの発生源に合わせて効果的な消音技術を用いなければならない。発生源を吸音材で囲んだり、音の伝播路を何回か屈曲させることで騒音エネルギーを減衰させる方法や、特定の周波数の音を干渉によって消す技術等が特許として出願^{6,7}されている。図6は酸素濃縮器内の消音機構を示す特許の1例である。主たる騒音源であるコンプレッサーを消音Boxで囲むとともに、コンプレッサーの冷却空気を供給、排気するためのダクト内に吸音材を貼り付けたり、ダクトを屈曲させることで音のエネルギーを減衰させるものである。供給および排気用ダクトにそれぞれ3~5回の屈曲を設けることにより効果が一層高められることが記載されている。また、発生源の騒音伝播を抑えることも重要で、コンプレッサーの振動をバネで懸架する方法により騒音振動の発生・伝播を低減させる方法が示されている。

上記のような技術・工夫を取り入れることによって、当社の吸着型酸素濃縮器は第一世代に比し、装置重量で約30%の小型軽量化、騒音レベルで約2~3dB(A)の低減を実現した（表2参照）。

消費電力の低減を図るということは先ず第1に、製品ガスを最大流量で使用する場合の消費電力を如何に低くするかということであり、吸着圧を低くしてコンプレッサーの消費電力を下げることや、高効率のコンプレッサーを開発すること等が上げられる。第2には、製品ガスの実使用流量が使用酸素濃縮器の最大流量よりも低い場合、その実使用流量に応じて消費電力を低減できるようにすることである。当社では1筒式の特性を生かした次のような実使用流量別省エネ技術を完成させた。即ち、患者が使用する製品ガス実流量に合わせて、吸脱着のサイクルタイムを変えらるる運転方法であり、特許として出願されている¹³。例えば、3L/min運転時のサイクルタイムが吸着15秒、脱着15秒である場合、1L/min運転時には吸着15秒、脱着30秒というような運転方法であり、真空（減圧）脱着時はコンプレッサーの消費電力が加圧吸着時よりも少ないということを利用している。製品ガスの使用量が少ない場合、真空（減圧）運転の時間割合が長くなって全体としての消費電力が減少するので、実使用流量の少ない患者では電気

代の負担が少なくてすむ。

当社は、在宅医療用機器に特有の高機能化として、医師により設定された製品ガス酸素濃度および供給流量を保証するための、濃度および流量の警報機能を内蔵させた製品を国内で初めて上市した。夜間睡眠時の使用時に患者の寝返りなどによってカニューラ等のチューブ類が折れ曲がり、患者に十分な酸素を供給できない状態になることがある。このような状態が発生した時に患者や家族に知らせる流量警報は、当社製品が先駆的に採用した機能¹⁴⁾であった。

また、当社では、患者宅で使用されている機器の運転に関する情報を電話回線を通して定期的に当社のセンターに送信し、異常時には即時に緊急通報を送って来るモニターシステム¹⁵⁾も確立している。

この他、使い易さに関しては、加湿器やフィルターなどの付属品についても細かな改良を施すなど、常に患者や家族からのニーズを的確に捉えて製品にフィードバックしている。

3. まとめ

在宅酸素療法に使用される酸素供給機器としては、固体電解質法による酸素分離装置等の新しい技術も検討されて来ているが、商品化までにはまだ時間を要すものと思われ、当分の間は吸着型酸素濃縮器が主流の座を確保して行くものと考えられる。この吸着型酸素濃縮器が将来に向けて一層発展するためには、在宅医療用機器としての次のような事項がさらに改良されなければならないと考える。即ち、使用者である患者が増加していくにつれて、より活動的な患者層に対する要求要件と、重症患者層に対し要求される要件の両方を満たす機器の開発が求められて来ると思われる。

また、新しい吸着剤やコンプレッサーの開発、それらに適した吸着システムの採用、さらには呼吸の吸気時のみに開となるデマンドバルブの組み込み等によって、更なる小型・軽

量化が進められ、低消費電力、低騒音の製品で、持ち歩けるイメージの製品も想定される。

文 献

- 1) 厚生省特定疾患呼吸不全調査研究班 平成7年度研究報告書.
- 2) 帝人酸素濃縮器製品カタログ(TO-40S).
- 3) 松原貞和：最新 吸着技術便覧—プロセス・材料・設計—, 447.
- 4) 特開平9-20503.
- 5) 帝人酸素濃縮器製品カタログ.
- 6) 特公平2-029601.
- 7) 特公平3-000324.
- 8) 帝人酸素濃縮器製品カタログ.
- 9) 木田厚瑞：在宅酸素療法マニュアル(1997), 253, 医学書院.
- 10) 市川耕司：一塔式小型PSA装置を用いた酸素濃縮器に関する研究, 明治大学大学院1990年度修士論文(1991).
- 11) 特開平5-212116.
- 12) 特開平9-077502.
- 13) 特開平3-131504.
- 14) 特開平7-171216.
- 15) 特許平3-143451など.



山 田 章 生

帝人株式会社在宅医療技術サービスセンター

1973年3月 九州大学大学院化学機械工学研究科修了
同年帝人入社

1990年2月 医療機器開発業務
2000年10月より現職

趣味：ゴルフ、テニスなど

技術ハイライト

高性能静電フィルタの開発

Development of High Performance
Electrostatic Fiber Filters

興研株式会社
KOKEN LTD.

木村 一志
Kazushi Kimura

1. はじめに

一般にエアフィルタは機械捕集フィルタと静電捕集フィルタに大別される。機械捕集フィルタはろ紙フィルタまたはメカニカルフィルタとも呼ばれる。機械捕集フィルタは、後述するフィルタ繊維と粒子間に働く機械的な捕集機構に依存している。代表的なフィルタには、原子力関係・半導体・バイオテクノロジーなどの分野において、高度な空気浄化を要求する用途で使用する高性能フィルタ（HEPA）、超高性能フィルタ（ULPA）などがある¹⁾。これらの高性能フィルタは、0.1~0.3 μm 程度のサブミクロン粒子に対する捕集効率を高めるため、極めて細いガラス繊維を使用している。したがって、ろ紙フィルタの単位面積当たりの圧力損失は極めて高く、実際の使用においては莫大なフィルタ面積を必要とし、フィルタユニットの大型化、コスト増大の原因になっている。

一方、1930年代にHansen²⁾は世界で初めて実用的な静電フィルタを発明した。Hansenの研究開発は当初から軍需目的であったため、その詳細については未だに公開されたものはない。HansenはWool（羊毛）にRojin（松脂）粉末を機械的に含浸処理し、マット状に羊毛繊維を積層してフィルタを作った。その後、Wolton、Davies³⁾らはHansenフィルタの帯電特性を調べ、羊毛はプラスに帯電し、Rojinはマイナスに帯電することを明らかにした。欧米ではHansenフィルタはResin wool filterと呼ばれ、主に軍用マスクに使用されてきた⁴⁾。

日本において、1950年代に労働衛生研究所の奥らは独自な方法で高性能フィルタの研究⁵⁾を行い、Hansenフィルタと同じ原理機構による防じんマスクのフィルタ（マイクロフィルタと命名）を開発した。その後、この技術は興研をはじめとするマスクメーカーが引き継いだ。現在では興研マイクロフィルタが国内の取替え式防じんマスクフィルタ市場の70%を占めるに至っている。

静電フィルタは機械捕集フィルタに比べ、単位面積当たりの圧力損失が低く、しかも微粒子に対する捕集効率も高いという優れた特徴を持っている。静電フィルタの粒子捕集力は、繊維表面及びフィルタ繊維空間に存在する静電気力に依存している。したがって、高性能な静電フィルタを開発するカギは、フィルタの帯電量と帯電持続性の向上にある。特に長期保存による経年変化の少ない帯電樹脂の開発と効率のよい帯電処理技術の開発がそのポイントである。代表的な静電フィ

ルタとして、羊毛に特殊な帯電樹脂を処理したマイクロフィルタの走査電子顕微鏡（SEM）写真を図1に示した。

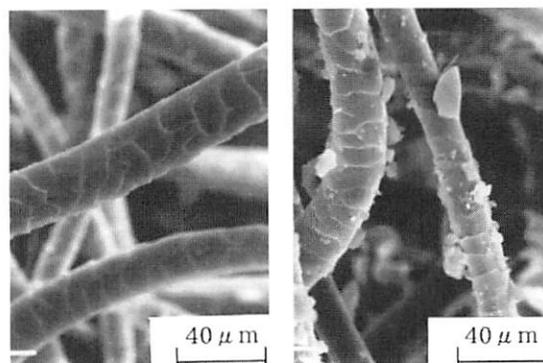


図1 羊毛とマイクロフィルタのSEM写真

我々の身近にある合成樹脂、ポリエチレン、ポリプロピレン、塩ビ、ナイロンなどは比較的容易に帯電する⁶⁾。しかし、その帯電した電荷は空気中において短時間で消滅する。一般に空気中の水分、イオンなどの吸着により、帯電電荷は指数関数的に減少することが知られている⁷⁾。短いもので数秒、長いものでも2、3日で帯電電荷のほとんどは中和状態に戻る。

したがって、このように帯電持続性のない材料は静電フィルタには不適であるため、最近ではエレクトレット材料の利用⁸⁾¹²⁾、またはメルトブロー紡糸とコロナ帯電処理技術を複合した静電フィルタの開発が盛んである¹³⁾。

2. フィルタの粒子捕集機構

繊維層フィルタが粒子を捕集（沈着）する機構は極めて複雑である。近年、単一繊維理論（Single fiber theory）が提唱され、単一繊維モデルにおける粒子捕集メカニズムはほぼ解明されつつある¹⁴⁾。一般に繊維層フィルタは、空気流に対して直角に繊維が配列しており、以下の5種類の捕集機構が作用する¹⁵⁾。

R (Interception)：さえぎり

流線に乗って流れてくる粒子は、フィルタ繊維との距離が粒子半径以下であれば捕集される。繊維のさえぎりパラメータRは粒径 d_p と繊維径 d_f のみに依存する。

I (Inertial impaction)：慣性衝突

粒径 $1\mu\text{m}$ で質量が大きく、通気速度が数10cm/sec以上と速い場合に、流線に沿って流れる粒子は、繊維表面の急激な流れの変化について行けず繊維表面に衝突し捕集される。

D (Diffusion)：拡散

小さな粒子（ $<0.1\mu\text{m}$ ）はブラウン運動によって、流線軌道上で大きく運動しており、繊維近傍での拡散効果により沈着する。一般に通気速度が遅く、粒径が小さい場合に効果的である。

G (Gravity)：重力沈降

粒子はストークスの法則に従い重力沈降作用でフィルタ繊維上に沈着する。通気線速が遅く、粒径及び質量が大きいほど効果が高い。しかし、 $1\mu\text{m}$ 以下の微粒子にはほとんど効果はない。

Q (Electrostatic force) : 静電気力

繊維と粒子間に働く静電気力（クーロン力：Coulombic force, 誘起力：Induced force など）により、粒子は繊維表面に静電的に吸着・捕集される¹⁶⁾。

図2に帯電繊維と粒子に働く静電気力による粒子捕集モデルを示した¹⁷⁾。

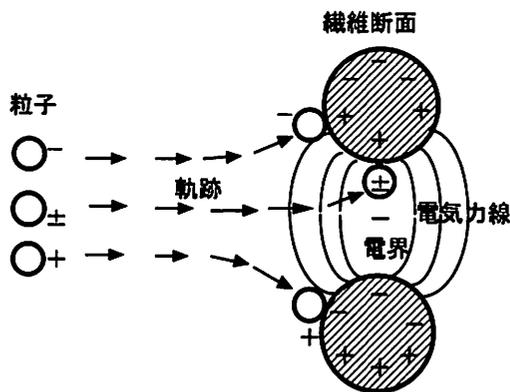


図2 静電気力による粒子捕集モデル

3. フィルタの基本性能

3.1 捕集効率 (Collection efficiency)

単一繊維理論によるフィルタの総合的な捕集効率Eは次式(1)、(2)で定義される¹⁸⁾。

$$E = 1 - P \quad (1)$$

$$P = C_{out}/C_{in} = \exp[-4\alpha L\eta/\pi(1-\alpha)d_f] \quad (2)$$

ここで、P：透過率、 C_{out} ：透過粒子濃度、 C_{in} ：試験粒子濃度、 α ：繊維充填率、L：フィルタ厚、 η ：単一繊維捕集効率、 d_f ：繊維径、である。また η は、(3)式に示すように、 d_p 、 d_f 、 α 、ろ過速度 v 、静電気力Qなどの関数である。

$$\eta = f(d_p, d_f, \alpha, v, Q) \quad (3)$$

一般に高性能フィルタと呼ばれるHEPA、ULPAフィルタなどは、さえずり (R)、拡散 (D)、慣性 (I) などの機械的な粒子捕集力に依存している。一方、静電フィルタの繊維はプラス及びマイナスに帯電しており、プラスあるいはマイナスに帯電した粒子をクーロン力 (Qq : Coulombic force) により静電的に吸着・捕集する。また無帯電粒子に対しては、帯電繊維表面の電荷およびフィルタ繊維層内の強い電界および勾配などが粒子に作用し、誘起力 (Qi : Induced force) により粒子は繊維表面に静電的に吸着される¹⁹⁾。

静電フィルタと機械捕集フィルタを明確に区別する理論的な基準はないが、一般にはそのフィルタがどの粒子捕集機構に依存しているかを実験的に確認する必要がある。繊維層フィルタは多かれ少なかれすべての粒子捕集機構が作用しているため、静電気力だけで粒子を100%捕集する繊維層フィルタは皆無であると考えられる。実際にフィルタがどの粒子捕集機構に依存しているかよりも、帯電処理を施したかどうかで単に区別して呼ばれることが多いのが現状である。

3.2 圧力損失 (Pressure drop)

フィルタの圧力損失 ΔP は、Darcyの抗力理論により、(4)式

で定義される²⁰⁾。

$$\Delta P = 4\alpha LF/\pi d_f^2(1-\alpha) \quad (4)$$

但し、F：繊維長さ当たりの流体抗力、である。

繊維層フィルタの圧力損失は、フィルタ厚Lに比例し、繊維径 d_f の2乗に反比例する。静電フィルタは、基本的な繊維径を大幅に変更することなく捕集効率を高めることができるため、圧力損失が低く効率の高いエアフィルタの開発が可能である。

3.3 粒子保持容量 (Dust holding capacity)

繊維層フィルタでは、粒子が堆積すると徐々に圧力損失が上昇し、フィルタ表面に粒子が目詰まり層（ケーキ層）を形成する。これにより捕集効率は増加傾向を示すが、空気は流れにくくなる。バックフィルタなどではこのケーキ層²¹⁾を利用して微粒子に対する捕集効率を高め、再生と使用を繰り返している。しかし、高性能フィルタは緻密な繊維層であるため目詰まりした粒子を逆洗浄などでは除去できない。したがって、目詰まりしたフィルタを新しいフィルタに交換するという使い捨てが一般的である。粒子保持容量は、フィルタの寿命を決定する実用上最も重要な性能因子である。前述の(2)式から、繊維層フィルタの性能は対数透過式に従うことを利用し、フィルタの繊維密度に勾配を持たせることで粒子保持容量を改善する方法も提案されている²²⁾。

3.4 フィルタの総合性能を見分ける方法

フィルタの初期性能は、対象とする特定粒子に対する捕集効率Eと圧力損失 ΔP で判断される。したがって、フィルタ単位面積当たりの微粒子に対するEが高く、しかも ΔP が低いフィルタがより高性能なフィルタである。

特定の粒子に対する透過率Pと ΔP との関係から、多種類のフィルタを比較する場合は次式(5)によりフィルタの性能品質を指数化する方法などが提案されている²³⁾。

$$K = -100 \log P/\Delta P \quad (5)$$

ここで、K：フィルタ性能指数、P：単位面積当たりの透過率、 ΔP ：基準流速における圧力損失、である。

一般に微粒子に対する透過率の小さいフィルタほど高性能であると思いがちであるが、圧力損失が高くなるためフィルタ性能品質は低下する。市販のHEPA、ULPAフィルタなどに使われているグラスファイバフィルタのKは、静電フィルタに比べ意外に小さい。静電フィルタのKは、同じ捕集効率のHEPAフィルタと比べると、10倍以上（当社比）にも達する。この理由は、HEPA・ULPAなどの高性能エアフィルタでは、対象粒子に匹敵する細いガラス繊維（0.3～1.0 μ m）が使用されているためである。フィルタの圧力損失は、繊維径の2乗に反比例するため、フィルタの繊維径を1/2にすると圧力損失は4倍にもなる。

4. 新マイクロフィルタの開発

我々は羊毛を使ったマイクロフィルタの技術をベースに、帯電樹脂及び帯電処理技術の研究開発を行ってきた。最近では、従来のマイクロフィルタよりも、さらに高性能な新マイクロフィルタの開発に成功しており、すでに米国及びヨーロ

ッパ特許を取得している。本報では紙面の関係で新マイクロンフィルタに使用する帯電樹脂および帯電処理技術などの詳細については触れないが、静電フィルタに対して最も厳しい試験を課している米国NIOSH規格²¹⁾に準じたフィルタ性能試験を行ったので、その試験方法と結果の例を示し、新マイクロンフィルタの性能を簡単に解説する。

4.1 一般的な静電フィルタの特徴

静電フィルタは静電気力で粒子を捕集するため、機械捕集フィルタのように細い繊維を使用する必要はないため、単位面積当たりの圧力損失が低い、また微粒子に対しても比較的高い捕集効率を達成することが可能になる。マイクロンフィルタは繊維径 $15\sim 20\mu\text{m}$ の羊毛を使用しているため、単位面積当たりの通気抵抗は低く、粒子の保持容量が大きいのが特徴である。繊維層フィルタでは固体粒子の堆積によりフィルタ表面に目詰まり層を形成する。静電フィルタは粒子堆積の初期に僅かながら捕集効率が低下する傾向があるが、堆積の進行により目詰まり効果で捕集効率は再び増加する傾向がある。これを我々はボトム現象²⁵⁾と呼んでおり、静電捕集と機械捕集効果を適度にバランスした静電フィルタがもつ特徴であると考えている。繊維密度の低い静電フィルタでは、オイルミストを捕集すると効率が極端に低下するフィルタもあることが報告されている²⁶⁾。静電フィルタのオイルミストの捕集機構は、静電気効果にかなり依存するため、帯電量が小さく繊維密度の低いフィルタは、オイルミストが堆積すると帯電量は急激に低下を来す場合がある。またオイルミストが目詰まり層を形成しないことにも原因が考えられる。オイルミストを多量に捕集するとフィルタ繊維の表面にオイルの皮膜が形成され、繊維表面の電荷を中和し、さらに繊維空間の電界をも遮蔽するためであると考えられている²⁷⁾。

4.2 静電気による粒子の吸着・捕集

静電フィルタがフィルタ繊維表面に粒子を吸着保持している状態を走査電子顕微鏡 (SEM) 写真により観察した。マイクロンフィルタは溶接現場で発生する溶接ヒュームの吸入を防止する防じんマスクに広く使用されているため、一例として溶接ヒュームが堆積したマイクロンフィルタの繊維表面のSEM写真を図3に示した。また図4にはアスベストの代替繊維として使用され始めた人造鉱物繊維から発生する繊維状粉じん²⁸⁾を捕集したマイクロンフィルタのSEM写真を示した。図3では、繊維表面に、溶接ヒュームの微粒子 (粒子径 $0.05\sim 0.5\mu\text{m}$) が蜘蛛の巣状に堆積している様子が観察できる。マイクロンフィルタの帯電樹脂付近に粒子が多量に吸着保持されている。この写真から、マイクロンフィルタの帯電樹脂が強い静電気力を発揮していることが分かる。

4.3 フィルタの規格および試験の概要

新マイクロンフィルタは主に防じんマスク用フィルタとして開発された。防じんマスクは小型軽量で、かつ微粒子に対しても捕集効率が高く、同時に圧力損失が低いことが要求される²⁹⁾。防じんマスクの性能は、世界的に統一された規格がないが、現在まで各国において独自の規格による国家検定が行

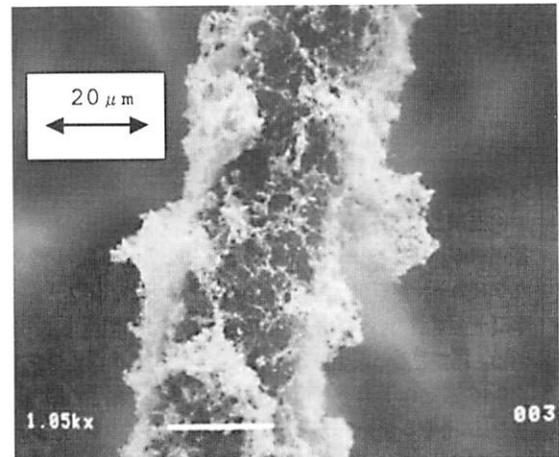


図3 溶接ヒュームが堆積したマイクロンフィルタのSEM写真

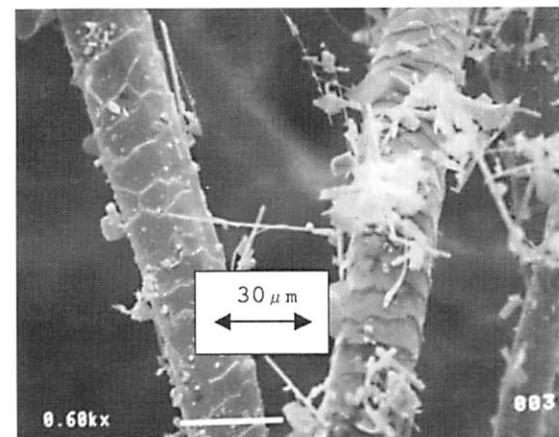


図4 繊維状粉じんを捕集したマイクロンフィルタのSEM写真

われている。ヨーロッパでは、1990年頃から規格の統一が図られ、防じんマスクについてもヨーロッパ規格 (EN) が制定されていた。しかし、1995年に米国ではNIOSH規格を改定して、ヨーロッパ規格と全く整合しない独自の防じんマスクの規格を定めた。日本においても古くから防じんマスクの国家検定が実施されてきたが、昨年欧米規格を考慮した大幅な規格の見直しがあった³⁰⁾。改定された国家検定規格は米国NIOSH規格と同等の試験粒子が採用されている。NIOSH規格の試験粒子はフィルタを最も透過しやすい粒子を採用しており、試験粒子の粒子径は約 $0.1\mu\text{m}$ 前後の微小なNaCl粒子とDOP粒子が使用されている。マスクの試験は人間の最大呼吸ピークの流速に相当する $85\text{L}/\text{min}$ 通気条件で行われる。またマスク当たり 200mg の粒子負荷試験が課せられており、その測定時間中の最大透過率を求めることになっている。NIOSH規格はフィルタの種類をN、R、Pの3種類、また捕集効率を3等級95%、99%、99.97%に分け、計9種類のフィルタに分類している。Nシリーズは個数中央径 $0.075\pm 0.02\mu\text{m}$ のNaCl粒子が使用され、RとPシリーズは個数中央径 $0.185\pm 0.02\mu\text{m}$ のDOP粒子を使用する。なおPランクのフィルタでは、必要に応じて 200mg 以上の粒子負荷を行い、その最大透過率を求める必要がある。

4.4 新マイクロフィルタの試験結果

4.4.1 試料

新マイクロフィルタには“マイティーマイクロン”と“ユニーマイクロン”の2種類あり、両者ともオイルミストに使用可能であるが、後者はオイルミストに対してさらに耐久性を高めたフィルタである。試料のフィルタ面積は原子力分野で広く使用されている高性能タイプのマスク（興研7095型）に相当する。

4.4.2 試験装置

フィルタの性能試験は、米国NIOSH規格42 CFR Part84に適合したフィルタテスタ（TSI社製TSI-8130）を使用した。各粒子の試験条件を表1に示した。また試験装置の概略を図5に示した。

表1 各粒子の試験条件（TSI-8130）

種類	等級	捕集効率 (%)	試験粒子	粒子径		幾何標準 σ_g	試験濃度 mg/m^3
				CMD (μm)			
N	100	99.97	NaCl	0.075±0.02	<1.86	<1.86	<200
N	99	99	NaCl	0.075±0.02	<1.86	<1.86	<200
N	95	95	NaCl	0.075±0.02	<1.86	<1.86	<200
R	100	99.97	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200
R	99	99	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200
R	95	95	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200
P	100	99.97	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200
P	99	99	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200
P	95	95	DOP	0.185±0.02	<1.6	<1.6	<200

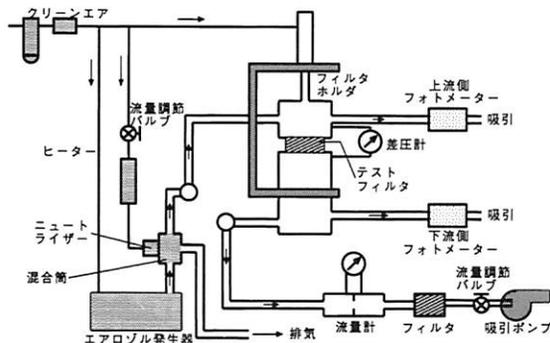


図5 フィルタテスタ (TSI-8130) の概略図

4.4.3 透過率

TSI-8130フィルタテスタを用いて、表1のNIOSH規格に準じたDOP粒子およびNaCl粒子を用いて、透過率を測定した。NIOSH規格の試験粒子は最もフィルタを透過しやすい粒子径範囲が使用されている。また粒径分布はSMPS (TSI社製)で求めた値を基準としているのも特徴である。粒子の透過率Pは、フィルタ通過前後の粒子濃度から(6)式により求めた。

$$P (\%) = C_2 / C_1 \times 100 \quad (6)$$

ここで、 C_1 ：フィルタ通過前の粒子濃度 (mg/m^3)、 C_2 ：フィルタ通過後の粒子濃度 (mg/m^3)、である。

4.4.4 粒子負荷試験

試料マスクに試験粒子を85L/minで通気し、試料当たり試

験粒子を累積供給量200±5mgまで負荷した。粒子供給量は次式(7)から計算で求めた。また試料の粒子供給量と透過率の関係をTSI-8130内蔵の濃度計からの信号をパソコンでリアルタイムに処理し、連続的にグラフを作成した。

$$M = C_1 \cdot V \quad (7)$$

ここで、M：粒子供給量 (mg)、V：積算通気量 (m^3)、である。Vは通気流量 F_v (m^3/min)と通気時間T (min)を用いて、次式で求められる。

$$V = F_v \cdot T \quad (8)$$

4.4.5 圧力損失測定

試料に試験空気を85L/min通気し、TSI-8130で圧力損失を測定した。また粒子負荷による圧力損失の変化は、TSI-8130の圧力信号をパソコンで連続的に記録処理し、試料フィルタに対する粒子供給量と圧力損失の変化をグラフ化した。

4.4.6 NIOSH規格に準じた各粒子の負荷試験

新マイクロフィルタ（興研7095型マスク相当“ユニー”フィルタ）のNIOSH規格に準じたNaCl粒子とDOP粒子に対する負荷試験の結果を図6と図7に示した。グラフの横軸は粒子供給量 (mg)、縦軸左側は粒子の透過率 (%)、縦軸右側は圧力損失 (mmH₂O)を示している。

図6から、個数中央径0.072 μm の極めて微小なNaCl固体粒子の透過率が、マスク当たり200mgの粒子負荷において、0.01%以下であることがわかる。また図7より、個数中央径0.185 μm のDOP粒子に対する200mg負荷量時の透過率は

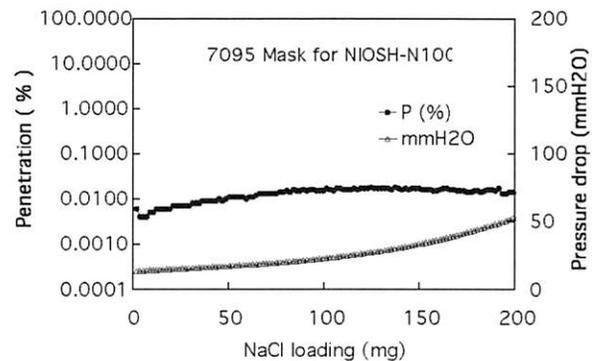


図6 NaCl粒子負荷時のフィルタ性能

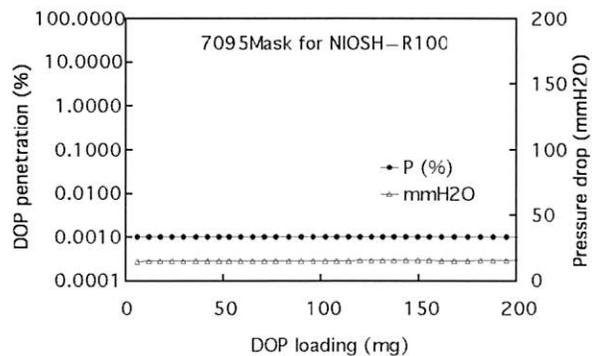


図7 DOP粒子負荷時のフィルタ性能

0.03%以下であった。新マイクロフィルタは、ほとんど電荷を持たないサブマイクロオーダーのNaCl粒子に対して高い捕集効率を示した。またDOP粒子は、フィルタ繊維及び帯電樹脂などに浸透し、フィルタの静電効果を阻害しやすいオイルミストであると考えられるが、DOP粒子負荷試験においてフィルタ性能の低下はほとんど見られず、200mg供給時まで極めて低い透過率を維持していた。新マイクロフィルタのDOP粒子に対する性能は、まさにULPAフィルタに匹敵する性能を有していることが確認された。しかも、比較的小さなフィルタ面積で高い捕集効率を達成できることから、圧力損失の低い高性能なフィルタといえる。本試験に使用した試作サンプルを装着した防じんマスク（興研7095型）の外観を図8に示した。

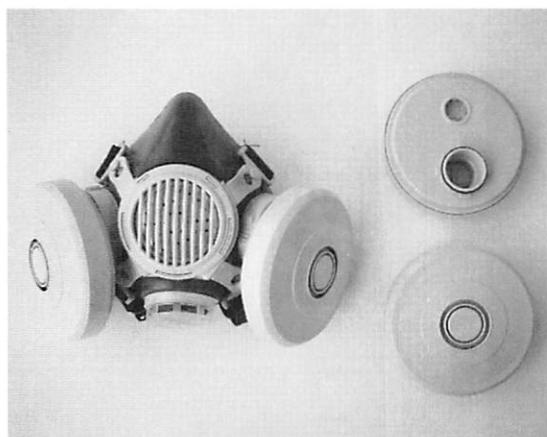


図8 興研製7095型防じんマスク相当品“ユニーフィルタ” NIOSH向けの開発品

5. まとめ

新マイクロフィルタは、サブマイクロの微粒子に対してもHEPA、ULPAに匹敵する高性能な静電フィルタである。しかも単位面積当たりの圧力損失が低いため、少ない面積でも十分な性能を発揮することから、まさに防じんマスクに要求される軽量・小型・低コスト化に対応できるフィルタ機能を有している。またマイクロフィルタ以外の一般的な静電フィルタで問題視されがちなオイルミストに対する効率低下の問題についても、新マイクロフィルタはNIOSH規格及び日本の新検定に準じた過酷なDOP粒子負荷試験に適合しており、オイルミストに対して高性能な静電フィルタであることが実証された。新マイクロフィルタはResin wool filterに分類されるが、世界に類のない高性能な静電フィルタとして、今後マスク分野以外への応用も十分に期待される。

文献

- 1) 原田宙幸, 「半導体 (IC) 産業の将来展望」, 空気清浄, **34**, 1 (1996).
- 2) F. J. Feltham, *Filtr. Sep.*, 467 (Sep./Oct. 1976).
- 3) C. N. Davies, *Proc. 9th. Int. Cong. Ind. Med.*, 162 (1949).
- 4) F. J. Feltham, *Filtr. Sep.*, 467 (Jul./Aug. 1979).

- 5) Koshi, *Bull. Nat. Inst. Ind. Health*, **3**, 23 (1960).
- 6) 静電気学会編, 静電気ハンドブック, オーム社, 155 (1991).
- 7) 土田英俊, 篠原 功, *高分子*, **16**, 179 (1967).
- 8) J. V. Turnhout, *J. Electrostatics*, **1**, 147 (1975).
- 9) J. V. Turnhout, Staub-Reinhalt, *Luft*, **36**, 36 (1976).
- 10) J. V. Turnhout, *The Second World Filt. Cong.*, **9**, 521 (1979).
- 11) E. P. Adams, *J. Franklin. Inst.*, **204**, 469 (1927).
- 12) B. Gross, *Phys. Rev.*, **66**, 26 (1994).
- 13) 米国3M社; D. A. Cubic, 公開特許公報, 昭54-113900 (1979).
- 14) L. Silverman, E. W. Conners Jr., D. M. Anderson, *Ind. Eng. Chem.*, **147**, 952 (1955).
- 15) 高橋幹二編著, 応用エアロゾル工学, 養賢堂, 187 (1984).
- 16) R. C. Brown, *Filtration Society*, London, 291 (1979).
- 17) 木村一志, *繊維学会誌*, **51**, 332 (1995).
- 18) 高橋幹二編著, 応用エアロゾル工学, 養賢堂, 161 (1984).
- 19) R. C. Brown, *Ann. Occup. Hyg.*, **23**, 367 (1980).
- 20) 高橋幹二編著, 応用エアロゾル工学, 養賢堂, 187 (1984).
- 21) T. Yoneda, *J. Aerosol Res., Japan*, **4**, 278 (1989).
- 22) H. Emi, *J. Aerosol Res., Japan*, **4**, 246 (1989).
- 23) White and Smith, *High-Efficiency Air Filtration*, Butterworth, London, 102 (1964).
- 24) NIOSH 42CFR part84, 1995.
- 25) 木村一志, 酒井眞一, *ISAC'85講演研究発表集*, 194 (1985).
- 26) M. W. Ackley, *Filtr. Sep.*, 239 (Jul./Aug. 1985).
- 27) 大谷吉生, 江見 準, *化学工学論文集*, **18**, 240 (1992).
- 28) 彦野政治, 木村一志, 野崎亘右, *日本労働衛生工学会第37回学会講演抄録集*, 59 (1995).
- 29) 木村一志, *空気清浄*, **37**, 286 (1999).
- 30) 労働安全衛生法同施行令機械等検定規則, 防じんマスクの規格, 平成12年9月11日改定.
- 31) 彦野政治, 木村一志, 野崎亘右, *日本労働衛生工学会第37回学会講演抄録集*, 105 (1997).



木村 一志

興研株式会社 技術本部飯能研究所
副所長

1976年3月 興研株式会社入社
1976年5月 日本原子力研究所東海研究所出向

(原子力用防護マスクに関する共同研究)
1986年4月 興研株式会社セーフティ
& クリーン研究室室長

1990年4月より現職

職務 防じん・防毒マスクの研究開発
高性能エアフィルタの開発を
主に手がけた。

趣味 パソコン等のマルチメディア
全般 (音楽、画像、通信)

関連学会のお知らせ

日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 第17回日本イオン交換研究発表会・第20回溶媒抽出討論会

- 主催**：日本イオン交換学会、日本溶媒抽出学会
- 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**：平成13年10月25日（木）～26日（金）
- 場所**：東北大学工学部 青葉記念会館（〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉）
- 懇親会**：10月25日（木）青葉記念会館3F食堂
- 講演申込締切**：7月6日（金）（郵送, Fax, 電子メール）
- 講演要旨締切**：9月14日（金）（郵送）
- 講演申込方法**：（1）題目、所属、発表者（講演者に○印）、（2）申込者氏名、（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）発表区分（イオン交換、溶媒抽出のいずれか）、（7）発表様式（口頭またはポスター）を明記し下記事務所宛お申込み下さい。講演申込者には、執筆要項を送付致します。講演時間は、口頭（12分、質疑3分）、ポスター（90分）の予定で、口頭発表はOHPに限ります。なお、口頭発表の希望でも発表件数多数の場合には、ポスター発表に変更させて頂くことがあります。
- 参加費**：一般 6,000円、学生 2,000円（予約申込者は1,000円割引、非会員は予約外扱い）
- 懇親会費**：予約 5,000円、当日 6,000円
- 予約申込締切**：平成13年10月19日（金）
- 予約申込方法**：（1）氏名、（2）勤務先名称、（3）連絡先所在地、所属部課、電話番号、Fax番号、電子メールアドレス、（4）懇親会参加の有無、をお書きの上、電子メール、Faxまたは郵便で下記の事務所宛にお送り下さい。
- 申込先**：〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 東北大学・多元物質科学研究所 三村均
Tel: 022-217-5142 Fax: 022-217-5142 E-mail: rengou@iamp.tohoku.ac.jp
- 支払方法**：郵便振替 口座番号：00130-0-119845 加入者名：イオン交換研究発表会係
（企業の方は参加者の個人名を明記して下さい）
- ホームページ**：<http://www.anal.chem.tohoku.ac.jp/ionex/ionex.html>

第19回関西界面科学セミナー

— 界面科学が拓くナノテク新世紀 —

ナノテクノロジーが注目されている。コロイド化学や界面化学に関わる領域にはナノテクノロジーに関わりを持つものがあり、よく研究されている。基礎研究と応用研究のつながりが十分とはいえない面があるので、ナノテクノロジーに関する基礎研究と応用研究を講演形式で紹介してもらい、懇親会や泊まり込みでの講師を囲んだ懇談会で基礎研究の大切さとそれをどのように応用につないでいくかということについて話し合ってください。

主催：日本化学会コロイドおよび界面化学部会関西支部、コロイド懇話会
協賛：日本吸着学会 他
日時：2001年7月26日（木）12時50分～27日（金）12時10分
会場：バナヒルズ大阪（〒565-0802 大阪府吹田市青葉丘南10番1号 電話06-6877-0111）

プログラム：第1日目（7月26日） 12:50-17:10

- | | | |
|------------------------|------------|---------|
| 1. 金ナノコロイドの表面修飾と自己組織化 | 姫路工業大学理学部 | 木村 啓作 氏 |
| 2. 金属ナノ粒子を利用したコーティング材料 | 日本ペイント株式会社 | 小林 敏勝 氏 |
| 3. 微粒子分散を支配するナノ距離 | 京都大学化学研究所 | 松本 陸朗 氏 |
| 4. コンビナトリアルケミストリと固体触媒 | 大阪工業技術研究所 | 小林 哲彦 氏 |

18:00 夕食、懇親会、宿泊

第2日目（7月27日） 9:00-12:10

- | | | |
|--------------------------------------|------------|---------|
| 5. キャパシタ用新規炭素材料と界面化学 | 岡山大学工学部 | 阪田 祐作 氏 |
| 6. 界面科学へのアプローチ
－電子顕微鏡を駆使した金触媒の解析－ | 大阪工業技術研究所 | 田中 孝治 氏 |
| 7. ディスプレイ技術の現状と将来動向 | 松下電器産業株式会社 | 水野 康男 氏 |

昼食後解散

参加費：主催・協賛団体会員 28,000円、大学・官公庁会員 18,000円、学生会員 12,000円、非会員 35,000円
(宿泊、食事、懇親会費、講演要旨代を含む)

申込締切：7月23日（月） 定員（50名）になり次第締切

申込方法：「第19回関西界面科学セミナー」と標記し、1. 氏名、2. 所属、3. 連絡先（郵便番号・所在地・電話番号・Fax番号）、4. 会員種別を明記し、下記宛先書かFaxか電子メールでお申し込み下さい。後日請求書および会場案内を送付致します。

申込先：〒700-0082 岡山市津島中3-1-1 岡山大学工学部物質応用化学科 田里伊佐雄
Tel&Fax: (086)251-8069 E-mail: tari@uranus.achem.okayama-u.ac.jp

先端科学技術講習会2001

— ITとエネルギーのキーマテリアル：炭素材料 —

21世紀を飾るキーワードにはIT、バイオ、環境、エネルギー、ナノテクノロジーなど幾つかのものがああります。その中で、21世紀の初年度のテーマとしてITとエネルギーを取り上げました。20世紀の終盤から始まった「IT革命」は、産業界はもとより社会全般を変革させております。この変革においては、各種ソフトウェア開発のほかに、IT機器及び周辺分野に関する各種の素材開発の貢献も見逃すことはできません。また、エネルギーについては、世界的に需要量は年々増えていますが、資源の有限性、環境保全の立場からその有効利用が社会的に望まれています。

今回の講習会においては、「IT」、「エネルギー」と炭素材料と関係の深い分野の方々に講師にお招きして、21世紀における炭素材料の可能性と課題について、ご専門の立場からご講演をいただく予定にしております。皆様方におかれましては、奮ってのご参加をお願い申し上げます。

開催日：2001年7月30日（月）10:00-16:40

主催：炭素材料学会

協賛：日本吸着学会 他

問い合わせ先：〒113-0033 東京都文京区本郷4-1-4 コスモス本郷ビル Tel: 03-3815-8514 Fax: 03-3815-8529

詳細はホームページ (<http://www.digital-contents.com/ca/tanso.html>) をご覧ください。

場 所：化学会館（東京・お茶の水）

参 加 費：炭素材料学会 正会員 21,000円 炭素材料学会 賛助会員 27,000円 学生 10,000円 協賛学協会会員 31,000円
非会員 37,000円（消費税およびテキスト代含む）

予定プログラム：10:00-11:00	導電性高分子と炭素-IT材料としての貢献	筑波大学	木島 正志
11:05-12:05	電力貯蔵用リチウム二次電池の開発動向	(財)電力中央研究所	竹井 勝仁
13:15-14:15	燃料電池発電システムの可能性と現状	東京電力(株)	萩原 明房
14:20-15:20	電気二重層キャパシタの現状と展望	松下電器産業(株)	吉田 昭彦
15:40-16:40	次世代電子材料としてのダイヤモンド薄膜	(株)神戸製鋼所	横田 嘉宏

第54回コロイドおよび界面化学討論会

主題 21世紀ナノ世界への探求

コロイドおよび界面化学はマイクロとマクロの世界が交錯する領域である。コロイド系はマクロな世界で特徴的な特性を発現し、それらが広く応用されている。一方、ナノレベルからコロイド系の構造と特性が理解されるようになり、新たな学術の創出が期待できる段階にある。本コロイドおよび界面化学討論会では、新研究手法と新解析法をコロイドおよび界面化学へ意欲的に導入し、コロイドおよび界面化学の一層の発展を促す契機としたい。コロイド及び界面化学の持つ複合的学術性を考慮した総合セッションとシンポジウムセッションを設け、新たな発展を目指す討論会としたい。

主 催：社団法人日本化学会 コロイドおよび界面化学部会

協 賛：日本吸着学会 他

会 期：2001年9月16日（日）-18日（火）

会 場：明星大学 日野キャンパス（東京都日野市程久保2-1-1）

多摩都市モノレール・中央大学明星大学駅下車 または 京王線・多摩動物公園駅下車

プログラム：総合講演

1. キュリー夫人の実験ノート
野上 耀三（東京大学名誉教授、明星大学物理学科・元教授）
2. Academic Lecture（交渉中）

受賞講演（Lectureship Award）

1. Prof. Marie-Paule Pileni (Universite P. et M. Curie, France)
"Structure and Reactivity in Colloidal Systems"
2. Prof. John Frederick Scamehorn (Univ. Oklahoma, USA)
"Future Perspectives in Surfactant Science and Technology"

特別講演

シンポジウムセッション、イブニングセッション（企画中）

一般研究発表

口頭発表、ポスター発表

参加登録予約締め切り：8月23日（木）

ホームページ：<http://www.epfc.meisei-u.ac.jp/cs/colloid.htm>

最新の情報は常にホームページに掲載されています。ホームページを見ても不明な点は下記までご連絡下さい。

問 合 せ 先：第54回コロイドおよび界面化学討論会 実行委員会

日高 久夫（明星大学 地球環境保全センター）

Tel: 042-591-6635 Fax: 042-599-7785 E-mail: hidaka@epfc.meisei-u.ac.jp

入会申込書・変更届（正会員）

平成 年 月 日		会員番号			
フリガナ氏名			男・女	生年 月日	西暦 年 月 日
最終学歴			卒業年次	学位	
勤務先	名称				
	部署			職名	
	所在地				
	電話			Fax	
ご自宅住所(必ずしも記入の必要はありません)					
〒		電話/Fax			
E-mail :					
その他・連絡事項					
連絡先	勤務先・自宅(何れかに○を)				

変更の場合は、必ず会員番号と氏名をご明記の上、該当する項目のみをご記入ください。

編 集 委 員

委員長 田門 肇 (京都大学)	迫田 章義 (東京大学)
委員 音羽 利郎 (関西熱化学)	上甲 勲 (栗田工業)
金子 克美 (千葉大学)	近沢 正敏 (東京都立大学)
川井 雅人 (日本酸素)	茅原 一之 (明治大学)
神鳥 和彦 (大阪教育大学)	広瀬 勉 (熊本大学) (五十音順)

Adsorption News Vol. 15 No. 2 (2001) 通巻No. 57 2001年6月22日発行

事務局 〒852-8521 長崎市文教町1-14 長崎大学工学部応用化学科内
Tel & Fax: (095) 848-9652 E-mail: jsad@ml.nagasaki-u.ac.jp

編集 鈴木 哲夫 (京都大学)
Tel: (075) 753-5574 Fax: (075) 753-3346 E-mail: suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp

ホームページ <http://athena4.cheme.kyoto-u.ac.jp/jsad>

印刷 〒606-8225 京都市左京区百万遍交差点上ル東側 昭和堂印刷所
Tel: (075) 721-4541 Fax: (075) 711-0331

General Secretary
THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)
Department of Applied Chemistry
Faculty of Engineering, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, JAPAN
Tel & Fax: +81-95-848-9652 E-mail: jsad@ml.nagasaki-u.ac.jp

Editorial Chairman
Professor Hajime TAMON
Department of Chemical Engineering, Kyoto University, Kyoto 606-8501, JAPAN
Tel: +81-75-753-5564 Fax: +81-75-753-3346 E-mail: tamon@cheme.kyoto-u.ac.jp

Editor Tetsuo SUZUKI, Kyoto University
Tel: +81-75-753-5574 Fax: +81-75-753-3346 E-mail: suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp

WWW of JSAd: <http://athena4.cheme.kyoto-u.ac.jp/jsad>