

Adsorption News

Vol.20, No.1 (March 2006)

通巻No. 76

目 次

○巻頭言	
水環境と吸着	西嶋 渉 2
○第20回日本吸着学会研究発表会のお知らせ	3
○会告	
平成17年度吸着関連の卒業論文・修士論文・博士論文の紹介に 関するお願い	3
○日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿	
規則性メソ多孔体内における毛管凝縮の研究	森重 國光 4
○吸着クロニクル	
吸着の分子論	新田 友茂 5
○アジア吸着事情	
Recent adsorption related researches in Taiwan	Anthony S.T. Chiang 10
○関連シンポジウム等のお知らせ	13

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

水環境と吸着

広島大学環境安全センター 西嶋 渉



水質汚濁防止法が定める排水基準、水道法に基づいて定められる水質基準、水質汚濁に係る環境基準、地下水の水質汚濁に係る環境基準、ダイオキシン類対策特別措置法に基づく水質の汚濁に係る環境基準等水環境に係る水質基準をみると、重金属、揮発性有機塩素化合物、農薬、ダイオキシン類など多くの化学物質が規制の対象となっていることがわかる。また、現在規制されていない物質の中にも内分泌かく乱化学物質など水環境中での挙動が注目されている物質もある。これらの環境汚染化学物質は、水環境に入る前（排水処理）、利用する前（浄水処理）、あるいは環境汚染が発覚した段階で除去する必要があり、様々な浄化技術が適用されている。

排水や環境水中では、これらの環境汚染化学物質が単独で存在することはなく、高濃度に存在する有機化合物や各種の無機イオンと共存する。環境汚染化学物質の濃度は、共存物質濃度より数オーダー低いのが一般的である。このような状況の中で、選択的に環境汚染化学物質を除去する技術が必要とされており、吸着技術に期待される点も正にこの選択性である。

浄水処理では、古くからジェオスミンや2-MIB（2-メチルイソボルネオール）による臭気が発生した場合に粉末活性炭を添加しており、近年では高度浄水処理の一環として単独、あるいはオゾン処理と組み合わせて粒状活性炭処理を行っているところも多い。オゾン処理との組み合わせにおける粒状活性炭処理は、臭気除去だけでなく、ホルムアルデヒドなどのオゾン副生成物を除去すること、オゾン処理で生成した生分解性有機物を除去することも目的となっている。水道原水中における臭気物質濃度は ng/l オーダーであり、オゾン副生成物濃度も $\mu\text{g/l}$ オーダーであるが、原水中には数 mg/l のフミン物質などの有機化合物が存在する。研究の方向性としては、微量化学物質とフミン物質などの競合吸着の評価と選択性を高めるための吸着材料の開発になろう。フミン物質と微量化学物質の物理的サイズの違いや化学的な特性の違いを利用して選択的な除去を達成するために、細孔構造や官能基などを対象とした表面構造の設計は重要な研究課題である。

吸着技術が対象とする微量な環境汚染化学物質は、量的には通常主たる除去対象物質ではないため、吸着技術が単独で水環境保全に適用されることはほとんどない。排水処理でいえば、排水中の主成分である BOD、COD で表される有機化合物を除去するための生物処理等と組み合わせて用いられ、浄水処理では、濁質の除去のための凝集沈澱処理や膜処理と組み合わせて用いられる。浄水処理では、さらにオゾン処理との組み合わせで用いられることも多い。吸着処理を考えると

き、吸着処理の前に行われる処理による共存物質の量的・質的な変化に注意する必要がある。生物処理では生分解性の高い有機化合物から生物の代謝産物へと有機化合物の主成分が変化し、濃度も劇的に減少する。凝集沈澱処理や膜処理では高分子の有機化合物の除去が起これ、オゾン処理では量的な変化は大きくないが、生分解性の増加や親水化といった質的な変化が起こる。これらの水質変化は、先に述べた微量化学物質との競合吸着に大きな影響を及ぼすことが少なくない。

最後に吸着技術による直接の化学物質の除去ではなく、水処理に用いられる他のプロセスの処理性能を向上に吸着現象を応用する間接的利用に関する期待を述べたい。オゾン処理を始めとする酸化処理や触媒還元処理は化学反応であるために、対象となる環境汚染化学物質や反応に関与するオゾンや水素といった物質濃度にその反応速度は依存する。そのため、反応に関与する物質を反応場で濃縮することは反応促進の面で大きなアドバンテージがある。吸着技術は水中に存在する物質を吸着剤表面に濃縮する技術でもあり、この現象は化学反応場にも応用できる。オゾンを吸着する担体表面を反応場とする酸化処理に関する研究や触媒金属を担持する吸着担体や触媒表面への吸着剤のコーティング技術の研究開発が行われている。一方で、高効率で酸化反応を進行させるために、低濃度で水中に存在する環境汚染化学物質をオゾンの溶解度の高い溶媒中に濃縮するために吸着剤を利用するといった研究も行われている。

水環境分野においては、微量環境汚染化学物質の問題は益々重要になってくることが予想される。それらの化学物質を除去するための有力なプロセスである吸着技術の深化と同じく化学物質の除去に有効な化学処理を中心としたプロセスへの吸着現象の応用に関する研究・技術開発が今後益々活発に進められることを期待する。

西嶋 渉	H 4 年 2 月	広島大学工学部助手（中央廃液処理施設兼務）
	H10年 9 月	テキサス大学オースチン校（米国）客員研究員
	H12年 5 月	広島大学大学院工学研究科助教（中央廃液処理施設兼務）
	H16年 4 月	広島大学中央廃液処理施設助教授
	H17年 3 月	広島大学環境安全センター助教授
	H17年 8 月	広島大学環境安全センター教授

第20回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

会 期：平成18年 9月20日(水)、21日(木)

会 場：大阪教育大学 柏原キャンパス (〒582-8582 大阪府柏原市旭が丘4-698-1)

発表申込方法：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) を記入し、下記宛にお申し込みください。

発表申込締切：平成18年 7月14日(金) (必着)

講演要旨締切：平成18年 8月11日(金) (必着)

参加予約締切：平成18年 8月18日(金) (必着)

申込・連絡先：〒582-8582 大阪府柏原市旭が丘4-698-1

大阪教育大学 教育学部 理科教育講座 神鳥和彦

TEL：0729-78-3395 FAX：0729-78-3394

E-mail：kandori@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

(詳細は次号の Adsorption News および日本吸着学会ホームページに掲載する予定です)

会 告

平成17年度吸着関連の卒業論文・修士論文・博士論文の紹介に関するお願い

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、平成11年度より全国の大学および高等専門学校における吸着分野の卒業論文、修士論文、博士論文の紹介を行っております。本年度も、次号の Adsorption News (Vol. 20、No. 2) ならびに本会ホームページに平成17年度の研究題目を掲載させていただく予定です。掲載をご希望される場合は、以下の要領にて研究題目等をお知らせくださいますよう、お願い申し上げます。

<要領>

1. 平成17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 (望月宛 mochi@iis.u-tokyo.ac.jp) までお知らせ下さい。FAX や郵便での連絡は受け付けておりませんのでご了承ください。
3. E-mail のフォーマットはホームページ (<http://envchem.iis.u-tokyo.ac.jp/jsad/keijiban/apply.html>) をご参照ください。また、刷り上がりの体裁は最近のバックナンバー (Vol. 19、No. 2) を参考にしてください。特にお願いしたい点は次の通りです：
 - (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) 情報は添付書類にせず、メールの本文中に直接ご記入下さい。1行目に研究室の名称および指導教官・教員、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 (アドレスの掲載を希望されない場合は空行にして下さい)、3行目より卒業論文、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。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。
4. 締切りは 4月30日 とさせていただきます。期限以降にご連絡をいただいた場合、Adsorption News 誌上でご紹介できないこともありますのでご了承ください。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。
5. 問合せ先： 日本吸着学会編集局 担当 望月和博 (東京大学生産技術研究所)
TEL：043-251-4327 FAX：043-251-1231 E-mail：mochi@iis.u-tokyo.ac.jp

日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿

規則性メソ多孔体内における毛管凝縮の研究

岡山理科大学理学部 森重 國光

この度、平成17年度の日本吸着学会学術賞を授与いただき、誠に光栄に存じます。受賞研究は過去十数年に渡り研究室に在籍した学生諸君の協力の下で進めたものであり、彼らに心より感謝します。また、私を吸着の研究に導いて下さった今は亡き森本哲雄先生に感謝の意を捧げたいと思います。

森本研の学生時代から、多孔体および毛管凝縮現象に興味を持っていました。理科大学の教員になり、ある時期の数年間ゼオライトへのアミン吸着の仕事を行うことができました。その時、毛管凝縮が生じるメソ孔をもつ多孔体に、ゼオライトのマイクロ孔のような細孔サイズと形が揃ったものがあればどんなにかその方面の研究を進展させられるのと思いました。その後十年ほどは、グラファイトなど平坦な表面をもつ吸着剤の単分子層のX線回折研究に没頭しておりました。1993年に、層状ポリケイ酸塩のカネマイトから六方配列の細孔構造を有する規則性シリカ多孔体を合成できるという稲垣や黒田らの報告(J. Chem. Soc., Chem. Commun., 680 (1993))を読み、早速合成に取り掛かりました。合成条件を検討して、X線回折パターン上ではきれいな多孔体を作ることができるようになりました。しかし、肝心の吸着等温線には、毛管凝縮に基づくステップが期待したほどには明瞭に出現しませんでした。丁度その頃、NatureにのったBeckらの論文を知り、彼らの方法で同様な規則性メソ多孔体の合成を行うことにしました。2年間にわたる合成条件の詳細な検討の結果、ようやく満足できる多孔体を合成できるようになりました。この過程で合成実験にたずさわってくれた学生、そして吸着装置の自動化を手伝ってくれた学生はすべて学部4年生でした。細孔径の異なる5種類のMCM-41が手に入りましたので、X線回折測定用のクライオスタットを転用して、吸着等温線の温度依存性の測定を行いました。その結果、毛管凝縮に基づく吸着ヒステリシスが消失する温度(ヒステリシス温度)と細孔臨界温度とは同一ではないこと、またヒステリシス温度のバルク臨界温度からの低下量が細孔径に逆比例することを明らかにすることができました。これらの点は当時問題になっていたもので、規則性メソ多孔体の開発とともに知られるようになった可逆的な(ヒステリシスのない)毛管凝縮等温線の出現を合理的に説明できるようになりました。1997年と1998年に発表した毛管凝縮に関する論文2報は、同時並行で行っていた細孔内の水の凝固・融解挙動の論文2報とともに、私の論文の中ではもっとも被引用度の高いものになっています。

各種雑誌の中に報告される規則性メソ多孔体の種類は次第



に増えていき、吸着の面から面白そうなものは研究室で合成条件を検討しました。非常に簡単に合成できるもの、逆に難しいものがありました。科研費でより広範囲の条件で測定可能な吸着装置も作製しました。この装置を使用して、シリンダー状細孔内の窒素や酸素ガスの吸着等温線の温度依存性を調べ、2003年に毛管凝縮による吸着枝が平衡状態に対応する圧力で生じることを報告しました。理論的には長い間、毛管凝縮は平衡圧力より高い圧力で生じ、毛管蒸発が細孔の入口に形成されるメニスカスの後退とともに進むために平衡圧力で起きるとされていました。我々の結論を強く支持する研究者がいる一方で、納得しない研究者もいます。同じ頃、球状の空洞が狭い窓によって互いに体心立方配列したSBA-16を使用して、蒸発がキャビテーション(気泡の発生)により進行することや、双連結細孔構造のMCM-48を使用して、シリンダー状細孔が3次的に連結しても毛管凝縮にほとんど違いが現れないことを明らかにしました。今丁度印刷中の仕事になりますが、MCM-41およびSBA-15のシリンダー状細孔径と毛管凝縮および蒸発圧との間の実験的關係を得ました。正確な細孔径と凝縮圧および蒸発圧の間の關係は気体吸着による細孔径分布測定への応用上も非常に重要なものです。研究上の問題点は細孔径の決定でしたが、規則性多孔体に特有な小角X線回折パターンを解析することで、より確かな細孔径を知ることができました。ごく最近、球状細孔内に凝縮したKrのX線回折測定により、メニスカスに基づき発生する張力を凝縮相の膨張という形で直接観測することに成功しました。

毛管凝縮は非常に小さな空間内での凝縮・蒸発現象であり、基礎的には制限空間内での核形成や液体の浸透という興味深い問題になります。応用的には細孔径分布測定やヒートポンプなどに使うことができます。制限空間の形状と現象との間の關係を定量的に解明することが私の最終目標であります。細孔形状が変わるたびに、新たな発見があり、必要に駆られて現象の理解に必要なと思われる勉強をしなければなりません。吸着学会の発表会において、さまざまなご意見、ご批判を賜りながら、研究をさらに前進させたいと存じます。

森重 國光 岡山理科大学教授
理学博士

略歴 昭和47年3月 岡山大学大学院理学研究科
化学専攻修士課程修了
昭和51年9月 北海道大学大学院理学研究
科化学専攻博士課程修了

昭和51年11月	岡山理科大学理学部化学学科 助手		下大学物理化学研究所客員 研究員
昭和53年4月	岡山理科大学理学部化学学科 講師	昭和59年4月	岡山理科大学理学部化学学科 助教授
昭和57年5月～昭和58年2月	イギリス・オックスフォード	平成元年4月	岡山理科大学理学部化学学科 教授 現在に至る

吸着クロニクル

吸着の分子論

Molecular Theory of Adsorption

大阪大学名誉教授 新田 友茂

Emeritus Professor of Osaka University, Tomoshige NITTA

はじめに

私の卒業研究は「アルコール水溶液へのCO₂の溶解度測定」であった。装置のガラス管が何度も破損し、飛び散った水銀を拾い集めた苦労を今でも思い出すが、その後の私の研究スタイルに大きな影響を与えたのは、最終的に得られたデータが何を意味するかを理解できなかった悔しさである。このとき理論の大切さを痛感し、「相平衡を決める因子は何か」という強い問題意識を持って溶液の分子論・統計力学を学習するようになった。会合溶液の相平衡に関する研究で学位を取得した私が吸着の研究を始めるようになったのは、1年間の米国留学から帰ってからも引き続き溶液論を研究していた私に「新しいテーマを探してはどうか」と片山教授から示唆を受けたのがきっかけである。少考して、吸着をやってみたくて応えた。1977年初めの頃である。その当時は、溶液が3次元、吸着は2次元であり、溶解度と同じような理論展開が可能であろうと安易に考えていた。しかし、活性炭やゼオライト内でおこる実際の吸着は、当代風に言えばナノ細孔あるいはサブナノ細孔と呼ばれる3次元空間の中で起こる現象であって、均一なポテンシャル場で特徴づけられる液体よりも取り扱いがはるかに難しい現象であることを、やがて思い知らされることになる。この小論は、私の吸着研究の体験談であり、論文の中では語られることのない個人的な話題を含めて、吸着に関する何かを伝えることができれば幸いである。

1. 初期の研究：液相吸着実験

吸着を新しい研究テーマに選んだ私が当初持っていた知識は T.L. Hill の「統計熱力学入門」¹⁾に紹介されていた基礎的事項に限られていた。すなわち、(1) Langmuir 式は1分子が1活性点に吸着する格子モデルから導かれ、(2) BET 式は1分子1活性点に多分子層吸着する格子モデルから導かれる。また、(3) 平滑表面を自由に動き回る分子は2次元 van der Waals 式で表される。少しわき道にそれるが、Hill のテキストは、統計力学を専門としない研究者が理解しやすいように基礎理論の導入部を工夫し、化学分野からも多くの問題を取り上げてその応用法を解説した名著である。当時著名であった Landau・Lifshitz や Rushbrook など統計物理学のテキストを読んでも統計力学を使いこなせなかったが、その後に出合った Hill の本は、溶液の分子論を探していた私にとって最適の本であった。自分に合った良いテキストが見つかるとう学習の道りは半分以上過ぎたと考えてよいのだろう。吸着理論はその学習過程で習得したものである。

吸着の研究を始めるといっても、当初から高価な吸着実験装置があるわけではなく、安価な装置で実験できる液相吸着平衡の測定から始めることにした。通常、液相吸着では吸着前後の溶液組成を測るので、混合物の相対吸着量しか求めることができない。それに対して気相吸着では、単成分の吸着等温線および混合物の成分毎の吸着量が測定できる。また、設計を本分とする化学工学の立場からすれば、単成分の吸着等温線から混合物の吸着量を求める方法を確認することが必要だと、当初から考えていた。そこで、ゼオライトの分子篩性を利用すれば液相吸着でも単成分の吸着量が求まることに着目し、ゼオライト4Aを吸着剤に、水、メタノール、エタノールを吸着質に、分子径の大きな2-プロパノールを溶媒に選んで、各吸着質の単成分吸着

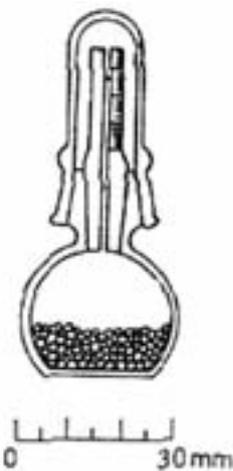


図1 ピクノメータ²⁾

等温線を測定した。このとき、吸着質の液相組成から活量係数を用いて気相の分圧に換算し、気相からの吸着等温線に変換した。この作業は気液平衡データの検索あるいは液相活量係数の推算などを含み、それなりの経験が必要であるが、それまでに溶液の活量係数を研究していたのは幸いであった。実際のところは、分子篩性と活量係数の推算精度が高いという2点を考えて測定系を選定したのである。混合吸着では溶液組成の他に吸着剤を入れた溶液の不均一密度を測定して、相対吸着量だけでなく、各成分の吸着量を求めた。不均一系の溶液密度を測定するために用いたピクノメータを図1に示す。

このようにして測定した液相吸着データは、ゼオライト4Aに対する水とアルコールの吸着等温線およびアルコール水溶液からの各成分の吸着量であった。しかし、この系が吸着平衡になるまでには長い時間が必要であることが徐々にあきらかとなり、再現性のあるデータを得るまでに多くの学生が苦勞した。最初の仕事が論文になったのは1982年²⁾であり、化工和文誌に測定方法と実験データを中心に記述した。アルコール水溶液では水が圧倒的な強吸着成分であり、水の相対吸着量と成分吸着量がほぼ同じであること、細孔内は常にアルコールと水で満たされていること等を報告した。

ところで、実験データが得られると、そのデータが得られる理由を理論的に説明したい。我々は、細孔内で分子がどのように吸着されているのかまで知りたいという気持ちがあつて、分子論に基づく吸着モデルで解析していたが、得られたデータは既存のモデルでは説明できなかった。しかし、既存のモデルで説明できないときは新しい考えを導入するチャンスである。幸いにも我々は、初めて測定した吸着データから以下に述べるように新規な吸着モデルを開発・提案することができ、同時に統計力学を用いた吸着理論の研究を軌道に乗せることができた。

2. 局在/流動分子混合モデル

ゼオライト4Aに対する水およびアルコールの単成分吸着等温線はステップ状を示すので、Langmuir式だけでは全濃度範囲をうまく相関できないことが明らかであった。ゼオライト4Aには大きな α ケージと小さな β ケージの2種類が存在するので、我々は次のように考えた。 α ケージの壁ぎわに水のOH基を強く吸着する活性点(吸着サイト)が存在し、そのサイトが飽和すると α ケージ内部に存在する空間に水分子が凝縮するように吸着する。そのイメージはいわゆる多分子層吸着であるが、図2に示すように吸着場は平面でなく球形である。

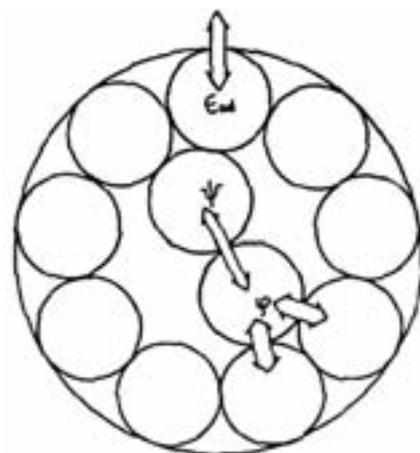


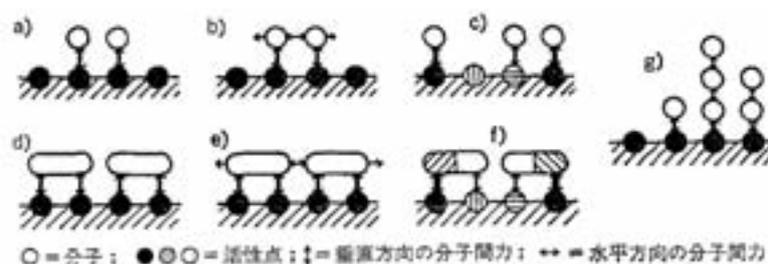
図2 ゼオライト4Aへの吸着モデル³⁾

ここで水は吸着サイトにLangmuir的に局在化され、内部空間の水はvan der Waals型の流体で表されると考え、モデルを定式化して数値計算で吸着等温線を求めた。それまでに統計力学を用いて状態方程式を研究していたため、流体の分配関数を導入することに抵抗はなかった。幸いにもこのモデルは水の吸着等温線をよく表すことができたが、メタノールの等温線をうまく表すことができなかった。なぜメタノールはLangmuir的な吸着挙動を示さないのか？この理由を考察する中で、水分子が占める活性点数とメタノール分子が占める数が異なるためだろうと推論した。すなわち、分子の大きさを考えると、水分子が1つの活性点を占めるならばメタノール分子は2つの活性点を占めるはずである。ところが、分子の占有活性点数の違いが吸着等温線にどのような効果をもたらすかを解き明かした論文を見たことがなかった。この問題を組合せ理論と数値計算によって見事に解決したのが修士学生であった重富拓男君である。彼は、20個のサイトを12面体に配置し、メタノール分子が隣り合ったサイトを2個占有するときの「見分けがつく場合の数」(配置数)を当時のパソコンで正確に計算した。そして、この数値解と流体モデルを組み合わせるとメタノールの理論等温線が実験値とよく一致すること、および、メタノール+水の混合吸着の予測値が実験値とよく一致する結果を得たのである。私はこの結果に脱帽し、大変喜んだ。この計算によって吸着エントロピーに対する我々の理解が格段に進んだのである。すなわち、(1) 1分子が2サイトを占有する場合の正確な配置数はLangmuir式の場合(1分子1サイト占有で総サイト数10個)の配置数よりはるかに大きな数となる(配置エントロピーが大きい)。(2) Floryの高分子溶液理論の誘導に沿って計算した配置数はよい近似解である。さらに数値計算の内部を観察すると、水がメタノールより吸着選択性が大きい理由が明らかになった。すなわち、1分子当たりの吸着エネルギーは水よりメタノールの方が少し大きい、水2分子の吸着エネルギーはメタノール1分子の吸着エネルギーよりも大きくなるために、水分子を多く吸着した方がエネルギー的に安定で、その状態の出現確率が高くなっていた。どちらが強吸着成分となるかの判定基準には、1分子当たりの吸着エネルギーでなく、単位表面積当たりの吸着エネルギーが重要だということがわかったのである。この研究成果を記述した論文³⁾も1982年であるが、このときすでに1分子2サイト占有を拡張した複数活性点占有モデルの研究を始めていた。

3. 複数活性点占有モデル

ごく普通に考えると、吸着剤の細孔は形状が決まっているので、活性点の間隔あるいは活性点の占める領域も決まっており、Langmuirモデルのようにどの分子も1つの活性点を占めると考えるのは無理がある。水・メタノール/ゼオライト4A系のように

に分子の大きさを考慮すれば吸着データをうまく表せる例が出てきた。さらに、隣り合った複数の活性点を占有する分子を格子点に割り付ける配置数は Flory の高分子溶液理論に準拠して計算した式がよい近似であることもわかった。そこで細孔内空間を占める流体的な分子の存在が無視できるガス吸着の場合には、1分子が複数の活性点を占めると仮定するモデルだけで吸着等温線を表現できるはずだと考えた。既存の論文から活性炭およびゼオライトへのガスの吸着平衡データを選び出すと、多くのガスの単成分等温線が良く相関でき、得られたパラメータの物理的な意味も予想通りであった。すなわち、大きな分子の占有活性点数が大きく、また1分子当たりの吸着エネルギーも大きくなった。さらに、このモデル式は単成分データから得られたパラメータだけで2成分系の吸着量もうまく予測できる有用な等温式であることがわかった。この結果は1984年に掲載されたが、吸着の論文としては第3報目であった。論文を書く段階でいくつか記憶に残ることがある。一つはこの吸着等温式に分かりやすい名前をつけようと考えたことである。色々と思案した結果、Multi-Site Occupancy Model (複数活性点占有モデル) としたが、英語として通用するかどうかは自信がなかった。幸いこの名前は1992年に出版された Rudzinski と Everett の本⁵⁾に採用され、それ以後、市民権を得て多くの論文に登場するようになった。もう一つは、このモデルが誰でも考えるような単純なモデルであり、得られた等温式も簡単な形をしていたので、すでに誰かが発表しているのではないか? という心配をしたことである。当時の検索源は書籍の Chemical Abstracts であり、図書館でかなりの時間をかけて調査した。そして、1922年に Henry が気体分子運動論を用いて、我々とほとんど同じ形の吸着等温式を導き short communication として報告していることを見つけ、引用することができた。なお、我々の等温式は分子間の相互作用を考慮した、より一般的な式であった。図3は代表的な吸着等温式の模式図であり、垂直方向の矢印線は分子-表面間の相互作用、水平方向の矢印線は分子-分子間の相互作用を表している。



a) Langmuir b) Lacher c) Langmuir, Sparnaay d) Henry
e) Honig-Meuller f) Nitta-Kuro-oka-Katayama g) BET

図3 格子ガス吸着モデルの概念図

図3は代表的な吸着等温式の模式図であり、垂直方向の矢印線は分子-表面間の相互作用、水平方向の矢印線は分子-分子間の相互作用を表している。

複数活性点占有モデルによる吸着等温式の性能を調べているうちに、低圧部で計算値よりも吸着量が大きくなる実験データがいくつかあることに気がついた。これは表面に吸着エネルギーの大きな活性点が存在するときの特徴であり、表面のエネルギー的不均一性(あるいは簡単に不均一表面)の効果として知られていた。エネルギー的に不均一な活性点を持つ細孔表面に、複数活性点を占有する分子が吸着するときは、どのような等温式になるのだろうか? さらに、吸着分子がOH基とCH₃基を持つメタノールのように、異なった相互作用ポテンシャルを持つときはどのような等温式になるのだろうか? この疑問を抱えているうちに、ある日突然、必要な基礎式とその解法を見つけたように感じた。1981年秋のことである。そのポイントは系の自由エネルギーが最小になる状態を決める方法として準化学平衡の近似(Quasi-Chemical Approximation: QCA)が使えたと直感したところにある。実は、溶液の状態方程式を開発するときにQCAを用いた解法を研究していたので、その原理に習熟していた。一気に基礎式を書き上げ、得られた連立方程式を解くプログラムを作り、ゼオライト5Aや10XへのN₂およびCOの吸着データを解析して満足できる結果を得た。複数活性点占有モデルによる吸着等温式の論文が1984年に2編続いて出ることになった。始めが均一表面への吸着⁴⁾、後が不均一表面への吸着⁵⁾である。なお、QCAを用いた解の特徴から、異なったエネルギーの活性点分布は表面上でランダムであることが前提となっている。これをランダム不均一表面と呼び、パッチ状不均一表面(同じエネルギーを持つ表面が適当な大きさにパッチ状に貼りあわされている表面)と区別される。

複数活性点占有モデルの吸着等温式に関心を寄せる研究者は多かったようで、論文の別刷り請求が多かった。前述の Rudzinski と Everett の本には我々の吸着等温式を紹介するための章が設けられ、基礎式と熱力学量の誘導がほとんど原文のまま掲載された。また、Rudzinski 教授(ポーランド、MCS 大学)から、吸着と触媒に対する表面不均一性の効果に関する国際会議 ISSHAC (1992年) 組織委員会への誘いを受け、喜んで参加した。この会議では不均一表面への吸着に関心を持つ多くの研究者と知り合うことができ、多大な刺激を受けた。

不均一表面への吸着等温式を提案したときは、実在するガスの吸着等温線はすべてこの式で表すことができ、多成分系の吸着も予測できる、うまく行けば単成分吸着の予測さえできるようになると夢が膨らんでいた。しかし、この理論の問題点を正しく指摘する学生が現れた。1986年頃のことである。当時修士学生であった岡田達治君はこの理論を使った吸着平衡の推算法を確立しようと研究していたが、その過程で、分子を構成するグループは繋がっているはずなのに、どのグループも強吸着サイトを選んで吸着するように配置する場面があることに気がついた。分子のバラバラ事件である。細孔内の活性点分布と分子内のグループ分率の組み合わせによってはバラバラにならないケースがあることも分かったが、私はショックを受けた。しかし、真実がわかるのは早いほど良い。これは理論展開に用いた QCA の弱点であることが判明し、その解決には、隣り合う活性点の種類を表す相関係数の導入、分子内グループの繋がりを表す指標の導入、およびそれらを取り扱う別の数学が必要である

ことが読み取れた。これは私の知識を超える難しい問題であり、学生に出すテーマとしても障壁が高すぎると判断したので、QCAを超えるような理論展開は中断したままである。そのような経過で我々の第4報⁹⁾は、複数活性点占有モデルによるランダム不均一表面への複数グループ分子の吸着という概念を提示し、制約付きの近似式を与えた、という評価になろう。なお、後になって我々は、モンテカルロ法を用いてランダム不均一表面への2量体の吸着等温線を計算し、理論式がシミュレーション値を再現できるパラメータには一定の範囲があることを確認したが、理論モデルの適用性に関して全体像を知るのには難しい。

4. いくつかの吸着等温式

吸着の研究が軌道に乗ってくると、気相吸着実験装置の部品を購入できるようになったので、2台の装置を製作した。一つは電子天秤を用いた低圧用装置、もう一つはピストンを用いた加圧用装置である。吸着剤にはT社の繊維状活性炭およびO社の高比表面積活性炭を用い、メタン、エタン、エチレン、CO₂等の単成分および2成分系吸着平衡データを測定した。これらのデータを解析する過程で、複数活性点占有モデルだけでなく2次元流体モデルも開発し、実験値の相関性能を比較検討した。どの実験にも思い入れがあるが、ここでは新しい理論展開について箇条書きにまとめる。

- (1) 吸着相の局所組成モデル (1986年)⁷⁾: 活性炭による水溶液中の有機物質の吸着データを解析するうちに必要となったモデルであり、吸着相に取り込まれた水や有機物の分子周りの局所組成が吸着相の平均組成と異なると考える。分子周りの局所組成という概念は溶液の活量係数に対してWilsonが提案したもの(1964年)で、溶液論ではすでによく知られていた。開発当初は局所モル分率と局所表面分率の2つが可能と考えていたが、この問題に理論的な決着をつけたのは修士学生の徳永敦之君であった。なお、この研究は第3回世界化学工学会議(東京)で報告したが、本論文として投稿しないまま現在に至った。残念である。
- (2) 不均一表面の2次元流体モデル (1991年)⁸⁾: 剛体球の2次元流体はScaled Particle theoryが分子シミュレーションとよく合うことが知られていた。これをコアにして吸着相中の分子を流体として記述し、活性炭の細孔をパッチ状不均一表面と考えた。実用性を重視して、吸着エネルギーをガウス分布と考え、4点近似で吸着等温線を計算する簡便法を提案した。
- (3) ハイブリッド吸着モデル (1992年)⁹⁾: 2次元流体モデルでは表面の不均一性を表すのにパッチ状不均一表面モデルを用いるのが唯一の解と考えられており、我々も初期の段階ではそれを用いていた。しかし、変分原理に基づくQCAの特徴を利用すると、2次元流体モデルをランダム不均一表面に拡張できることに気がついたので、これをハイブリッド吸着モデルと名づけた。分子シミュレーションで計算した細孔内分子の動きをアニメーションで見ると、その動きはハイブリッド吸着モデルのイメージに近いのである。近い将来、QCAに代わる変分原理を適用したハイブリッド型のモデル式が出てくることを期待している。なお、一連の研究で実験の他に複数活性点占有モデルから2次元流体およびハイブリッド型までをこなし、修士学生山口敦君の旺盛な学習意欲と厳密な理論解析が記憶に残っている。

以上のように、吸着分子の局在化モデルと流体モデルおよびそれらのランダムおよびパッチ状不均一表面への吸着等温式を導き、それらが実験値を表す性能について検討してきた。特に、化学工学では混合物の吸着特性が推算できることが必要なので、単成分データを正確に記述するだけの経験式は導入しなかった。その点、統計熱力学に基づく吸着等温式は理論的に多成分系へ拡張される。単成分吸着データに合わせるように吸着平衡定数や占有活性点数などのパラメータを決める必要はあるが、それらは蒸発熱や分子サイズと相関があって、パラメータの推算法を検討するときの指標になる。ところで、異なった等温式の適用に際して私が感じるようになった問題意識は、被覆率が高い領域では複数活性点占有モデルの方がよく合うという傾向は見られるものの、パラメータを最適化すれば、局在化モデルでも流体モデルでも吸着データの相関および推算精度はあまり変わらないという事実であった。この段階で新しい研究方法が必要になった。理論モデルの妥当性を知り、優劣をつける研究方法は何か?それは分子シミュレーションである。

5. 分子シミュレーションによる吸着研究

分子シミュレーションによる計算を始めたのは1988年である。当初は混合流体の状態方程式の研究に用いたが、当時の計算機の性能、計算結果に対する我々の解析能力、工学として設計に使える自由度の多さ等を考えて、吸着の研究に切り替えた。しかし、プログラミングの経験が少ない間は、複雑な細孔構造を作って計算させることはできなかった。幸いにも、高比表面積活性炭のガス吸着を測定していたので、メタン吸蔵問題の研究会からの誘いがあり、メタンを最大限に吸蔵する活性炭のスリット構造を調べることにした。結局、分子シミュレーションによる吸着研究の最初の論文が出たのは1993年であり¹⁰⁾、得られた結論は、グラファイト基本面のスリット間隔がメタンの直径の2倍程度のときが最大になるというものであった。なお、メタン吸蔵問題に関しては、モンテカルロ計算の大家であるGubbins、Meyers、Steeleらの論文がどっと出たので、米国のプロジェクト研究が大規模であったことがわかった。

その後、分子シミュレーションを用いた吸着の研究は、超臨界流体中の吸着特性の解明に移り、その特異な吸着特性が「超臨界流体の特異な溶解力」および「超臨界流体分子と溶質分子の競争吸着」にあることを明らかにすることができた。1995年からは無機膜の透過現象のシミュレーションに取り組んだが、これは境界制御型・非平衡分子動力学の新しい展開時期に相応しいテーマとなった。一連の研究から、無機膜の膜透過現象は細孔への吸着特性と細孔内拡散速度が主要な因子であり、高い分離

選択性を持つ膜の条件は強吸着成分分子が速く拡散する特性を持つべきこと、細孔内拡散の基礎式は化学ポテンシャル勾配を細孔内拡散の推進力として取り扱うべきことなど、実用的にも学問的にも有用な知見が得られたと自負している。その研究過程で、シリカライト、A、X、Y型ゼオライト等へのガスの吸着等温線、混合吸着、および拡散係数などを計算し、得られた吸着平衡データを用いて吸着等温式の適用性を調べた。それらの研究内容を紹介する紙面が無くなってきたので、別の機会にまとめたいと思う。この節の最後に、吸着研究に対する分子シミュレーションの役割について現在考えていることを記しておきたい。

- (1) 分子シミュレーションは、分子や原子の相互作用データから吸着等温線や拡散係数などのマクロ物性を再現するとともに、局所密度や分子の動きなどのマイクロ情報を与える。
- (2) シミュレーション結果は簡略化された吸着モデル式や拡散モデル式を厳密に評価する。
- (3) シミュレーション結果の信頼性は、分子や原子の相互作用データに依存しているので、信頼できるデータベースの整備・拡充が望まれる。
- (4) 分子シミュレーションの一部は、すでに吸着剤や分離膜の設計に利用できる段階にきている。

おわりに

吸着の研究を振り返ると、第1報が出るまでの苦労が懐かしく想いだされる。どの研究も特に始めが難しい。少しの経験を一般化して書くことをお許し願いたい。実験データが既存の理論で説明できないときの1~2年間は勝負であるように思う。その期間に新しいものが出なければ、必要な基礎知識を求めて貪欲に学習するか、目標を変えるか、を決断する必要がある。私の場合、4年生のときは測定したデータを解析する力がなかった。吸着の研究を始めたときは統計熱力学と数値解析の基礎知識があり、論文をまとめた経験があった。その差は大きい。学生には基礎的なテキストを集中的に学習し、理論の構造を理解すること、そして演習と on the job で応用力をつけることを薦めたい。そして一点を突破する集中力に期待している。

参考文献

- 1) Hill, T.L.: "An Introduction to Statistical Thermodynamics", Addison-Wesley (1960).
- 2) 新田・北王・重富・片山: 化学工学論文集, 8(4), 334-338 (1982).
- 3) Shigetomi, T., T. Nitta and T. Katayama: *J. Chem. Eng. Japan*, **15**(4), 249-254 (1982).
- 4) Nitta, T., T. Shigetomi, M. Kuro-oka and T. Katayama: *J. Chem. Eng. Japan*, **17**(1), 39-45 (1984).
- 5) Rudzinski, W. and D.H. Everett: "Adsorption of Gases on Heterogeneous Surfaces", Academic Press, (1992).
- 6) Nitta, T., M. Kuro-oka and T. Katayama: *J. Chem. Eng. Japan*, **17**(1), 45-52 (1984).
- 7) Nitta, T., N. Tokunaga and T. Katayama: World Congress III of Chem. Eng., 8f-308, Tokyo (1986).
- 8) Nitta, T., N. Tokunaga, A. Yamaguchi and T. Katayama: *J. Chem. Eng. Japan*, **24**(3), 312-319 (1991).
- 9) Nitta, T. and A. Yamaguchi: *J. Chem. Eng. Japan*, **25**(4), 420-426 (1992).
- 10) Nitta, T., M. Nozawa and Y. Hishikawa: *J. Chem. Eng. Japan*, **26**(3), 266-272 (1993).



新田 友茂

大阪大学名誉教授

略歴 1964年 京都大学工学部化学機械学科卒業
1966年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了
1966年 大阪大学基礎工学部化学工学科助手
同講師、助教授 を経て
1995年 同教授 (化学工学科分子工学講座)
1996年 大学院基礎工学研究科教授 (2005年定年退職)

Recent adsorption related researches in Taiwan

Anthony S.T. Chiang

Department of Chemical & Materials Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan ROC

Brief Background

Adsorption was not a major research field in Taiwan in the 80th or early 90th. Only a handful of research groups were interested in it. Professors J.R. Ma and T.C. Huang of National Cheng-Kung University were among the few that actively involved in the field, in addition to Prof. S.Y. Huang in National Taiwan University, whose main concern was on bio-related separation. We in National Central University started works on adsorption in the late 80th and particularly on pressure swing adsorption processes. However, as the above-mentioned respectful leaders retired, and the recent domain shift of Chemical Engineering, which is indicated by the change of our department name to Chemical & Material Engineering, the research directions in Taiwan have change drastically.

Another event that has a profound effect to the academic environment in Taiwan is the quick exploration of the number of institutes that occurred in the late 90th. Effectively, we have expanded from about 20 national and private research universities to over a hundred universities and institutes. Many technical institute, whose main function was teaching and training of technical stuffs, have been “promoted” to research institute. With a quantum jump of the number of faculties who are pushed to do research, and the shrink and dilution of available resources, we see an appreciable increases in the number of research publications, with much less advances in the technology.

Current Status

National Central University is still a major player in the adsorption field in Taiwan. The study on PSA process has shifted to Prof. Chou C.T., who is currently more interested in CO₂ separation⁽¹⁻³⁾. Another major area is the bio-related separation, where Prof. Chen W.Y. had made important contribution on the understanding of the interaction between protein and solid surfaces with isothermal titration calorimetry⁽⁴⁻⁷⁾. Our main efforts in recent years, as the name of our department suggested, have shifted to the synthesis of adsorbent. These includes mesoporous silica and zeolite nanocrystals⁽⁸⁻¹⁴⁾. For example, tailor-made mesoporous silica with specific pore size and hydrophilic nature was prepared, with the aim for better performance in adsorption heat pump operated with water vapor. As showed in Figure 1, this MMS whose pore size is ~1nm, has a good capacity in the desired working pressure range of water vapor. We have also developed a method to coat this material as ~5mm thick film on the heat-exchanger fins, which lead to a much more efficient heat and mass transfer during the adsorption/desorption cycles.

A major filed for the application of adsorption processes would be in the bio and pharmaceutical industry. Unfortunately, since the pharmaceutical industry in Taiwan is still at its infancy, there were only a limited number of works done in this field. Aside from the few theoretical papers we

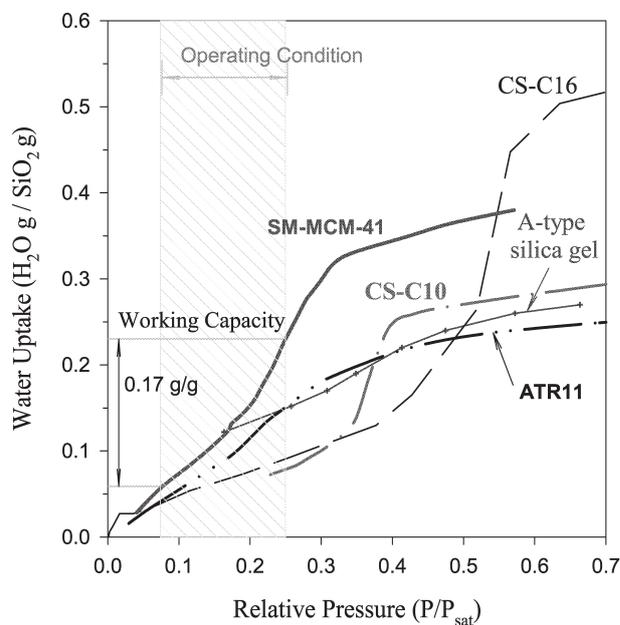


Figure 1. Water adsorption isotherms (25°C) of various silica samples. CS-C16 is a MCM-41 material made with CTAB. CS-C10 is a similar material made with C10 surfactant. ATR11 is commercial silica gel. SM-MCM-41 is our material with super-micropore.

had published⁽¹²⁻¹⁴⁾, the only other study on the simulated moving bed (SMB) process was that done by Lai S.M. for the separation of enantiomers.⁽¹⁵⁻¹⁸⁾ Most of the bio-related adsorption studies were made on the more conventional single column preparative chromatography, where the emphasis was on the preparation of stationary phase for the targeted separation. Examples include the use of beta-cyclodextrin bonded to silica for the separation of disubstituted aromatic derivatives⁽¹⁹⁾, or bonded to chitosan for the separation of cholesterol from egg yolk⁽²⁰⁾. Isolated chromatography works such as the separation of isoflavones from soybean cake⁽²¹⁾, proteins⁽²²⁾ also exist, but usually in the Food science departments.

A larger fraction of the recent adsorption research activity in Taiwan were focused on the environmental applications. These can further be partitioned into liquid phase and gas phase process. For example, adsorption has been one of the more effective means for the removal of dye, phenol as well as heavy metal ions from waste water. However, in most cases, the price of the adsorbent, despite of their effectiveness, has limited their broader application. Juang R.S. in Yuan-Ze Univ. and Lee D.J. in Natl. Taiwan Univ. have been searching for less expensive adsorbents for many years. They have tested materials ranging from agriculture wastes⁽²³⁾, Chitosan⁽²⁴⁾, active carbon from low cost sources⁽²⁵⁾, clays⁽²⁶⁾ as well as carbon entrapped with living cells⁽²⁷⁾ for the purification of waste water. A number of other institutes have also added to this efforts with still more adsorbents.⁽²⁸⁻³⁰⁾

In most of the above-mentioned studies, the adsorption isotherm was the key experimental result. However, the quality of adsorption data published in the literature is not homogeneous. Works^(31,32), where only a few points near saturation were obtained yet claimed to fit the Freundlich isotherm with better than 0.96 correlation, have been published routinely. As Lee D.J. has noticed,⁽³³⁾ the equilibrium data available in the literature on low cost adsorbent may need a critical re-evaluation, as an artificial correlation seem to exist between the entropy and enthalpy of adsorption.

For more expensive carbon adsorbent, regeneration of the adsorbent would be another way to reduce the cost. This has been explored by Chern⁽³⁴⁾, where the effect of pH value as well as the use of alcohol have been thoroughly investigated.

Even one may tend to classify the wastewater purification as the more classical application of adsorption; there are still some interesting new developments thanks to the recent advance of nanotechnology. For example, Prof. Chen in Natl. Cheng Kung Univ. has developed new adsorbents based on iron oxide magnetic nanoparticles with polyacrylic acid or chitosan bonded on the surface.⁽³⁴⁻³⁷⁾ Due to the very fine size (~15nm) of these particles, the bonded polymers were effectively exposed to the solution without diffusion resistance. At the same time, the magnetic property of the nanoparticles enabled a fast and easy way to retrieve the saturated adsorbent from the liquid. Thus a very efficient purification process was developed.

On the gas phase environmental applications, there are also many notable developments. For example, Taiwan had established more than a hundred municipal waste incinerators in the past decade. Due to either faults in the original design or inappropriate later operation, many of them produced more hazardous waste than digested. This leads to gaseous waste with high quantity of acid, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX), and heavy metals. The removal of these hazardous chemicals from the exhaust stream of incinerator is not an easy task, considering the high temperature involved. Prof. Wey M.Y. have been working on this problem for some time, with a combination of adsorption and catalytic oxidation/reduction using active carbon loaded with Calcium hydroxide,^(38,39) copper, iron or vanadium oxide catalysts.⁽⁴⁰⁻⁴²⁾ They have in fact build a fluidized bed adsorber⁽⁴³⁾ to test the efficiency of different adsorbents under realistic operation conditions.

Another case where the operation conditions may not be as harsh but the demand on efficiency is more important is the removal of VOC in the working environment of the semiconductor fabrication industry. This is the most prom-

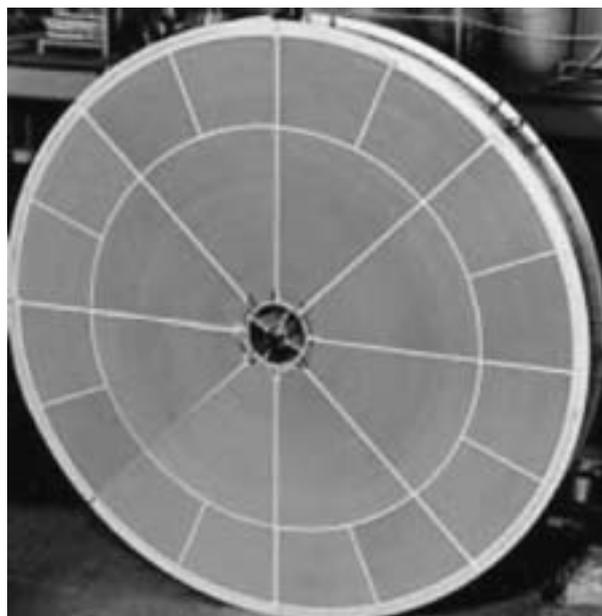


Figure 2. MFI zeolite honeycomb VOC concentrator for semiconductor industry. (Desiccant Technology Corp. Taiwan) <http://www.dtech.com.tw>

inent industry in Taiwan, where the cost of adsorbent is less an issue compare to the efficiency. In this case, the problem is to remove and collect the VOC such as acetone, IPA etc. employed as solvents in the photo-mask and developing process. This is typically done with a condenser equipped with a rotating honeycomb thermal swing adsorption concentrator in front.^(44,45) The group in Chung-Yuan Univ.^(46,47), had provided a rather comprehensive data set for the adsorption of VOC on AC, silica and 13X. From these results, it was clear that hydrophilic zeolite such as 13X would not be a good choice for VOC removal.⁽⁴⁸⁾ For better tolerance to humidity and higher efficiency, rotor should be made with hydrophobic zeolite. With helps from Prof. Yang S.M. of our department, such rotor is now produced by Desiccant Technology Corp. in Taiwan, as showed in Figure 2. Recently, a new hydrophobic mesoporous silica with even higher capacity had been prepared⁽⁴⁹⁾ and incorporated in such rotor, which demonstrated further efficiency improvements.

Conclusion :

Although the emphasis has been shifted from the chemical industry toward biotechnology and environmental, the studies on adsorption technology are still very active in Taiwan. Among the current topics, the development of new adsorbents seems to be the major focus points, be it with nano-technology, with bioengineering or by recycling agriculture products for lower cost. It is believed that once a good adsorbent is available, all the process technologies developed in the last century would be immediately and more effectively applicable to achieve the desired purpose.

References

- (1) C.Y. Chen, K.C. Lee, C.T. Chou, *J. Chinese Inst. Chem. Eng.* **2003**, *34* 135-142.
- (2) C.T. Chou, C.Y. Chen, *Sep. Purif. Tech.* **2004**, *39* 51-65.
- (3) W.C. Huang, C.T. Chou, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2003**, *42* 1998-2006.
- (4) W.Y. Chen, C.S. Chen, F.Y. Lin, *J. Chromatogr. A* **2001**, *923* 1-6.
- (5) F.Y. Lin, W.Y. Chen, M.T.W. Hearn, *Anal. Chem.* **2001**, *73* 3875-3883.
- (6) W.Y. Chen, H.M. Huang, C.C. Lin, F.Y. Lin, Y.C. Chan, *Langmuir* **2003**, *19* 9395-9403.
- (7) H.M. Huang, W.Y. Chen, R.C. Ruaan, *J. Colloid Interface Sci.* **2003**, *263* 23-28.
- (8) C.Y. Hsu, A.S.T. Chiang, R. Salvia, R.W. Thompson, *J. Phys. Chem. B* **2005**, *109* 18804-18814.
- (9) H.M. Kao, H.M. Wu, Y.W. Liao, A.S.T. Chiang, *Micropor. Mesopor. Mater.* **2005**, *86* 256-267.
- (10) H.M. Kao, C.C. Ting, A.S.T. Chiang, C.C. Teng, C.H. Chen, *Chemical Communications* **2005**, 1058-1060.
- (11) Naik S.P., A.S.T. Chiang, Sasakura H., Yamaguchi Y., Okubo T., *Chemistry Letter* **2005**, *34* 982-983.
- (12) A.S.T. Chiang, *AIChE J.* **1998**, *44* 332-340.
- (13) A.S.T. Chiang, *AIChE J.* **1998**, *44* 1930-1932.
- (14) A.S.T. Chiang, *AIChE J.* **1998**, *44* 2431-2441.
- (15) S.M. Lai, R.R. Loh, R.Y. Chen, *J. Chinese Inst. Chem. Eng.* **2002**, *33* 149-160.
- (16) S.M. Lai, R.R. Loh, *J. Liq. Chromatogr. Rel. Tech.* **2002**, *25* 345-361.
- (17) S.M. Lai, R.Y. Chen, *J. Liq. Chromatogr. Rel. Tech.* **2003**, *26* 1853-1875.
- (18) F.C. Yu, S.M. Lai, S.Y. Suen, *Sep. Sci. Technol.* **2003**, *38* 1033-1050.
- (19) C.Y. Chen, C.H. Lin, J.H. Yang, *J. Chinese Chem. Soc.* **2005**, *52* 753-758.
- (20) S.H. Chiu, T.W. Chung, R. Giridhar, W.T. Wu, *Food. Res. Int.* **2004**, *37* 217-223.
- (21) T.H. Kao, Y.F. Lu, B.H. Chen, *Euro. Food. Res. Tech.* **2005**, *221* 459-465.
- (22) W.C. Lee, C.H. Chen, *J. Biochem. Biophys. Method* **2001**, *49* 63-82.
- (23) G. Annadurai, R.S. Juang, D.J. Lee, *J. Hazard. Mater.* **2002**, *92* 263-274.
- (24) R.S. Juang, H.J. Shao, *Adsorption* **2002**, *8* 71-78.
- (25) F.C. Wu, R.L. Tseng, R.S. Juang, *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *283* 49-56.
- (26) S.H. Lin, R.S. Juang, *J. Hazard. Mater.* **2002**, *92* 315-326.
- (27) G. Annadurai, R.S. Juang, D.J. Lee, *Adv. Enviro. Res.* **2002**, *6* 191-198.
- (28) C.Y. Shiau, C.C. Pan, *Sep. Sci. Technol.* **2004**, *39* 1733-1750.
- (29) W.T. Tsai, K.J. Hsien, J.M. Yang, *J. Colloid Interface Sci.* **2004**, *275* 428-433.
- (30) C.C. Wang, L.C. Juang, T.C. Hsu, C.K. Lee, J.F. Lee, F.C. Huang, *J. Colloid Interface Sci.* **2004**, *273* 80-86.
- (31) W.T. Tsai, C.W. Lai, K.J. Hsien, *J. Colloid Interface Sci.* **2003**, *263* 29-34.
- (32) W.T. Tsai, Y.M. Chang, C.W. Lai, C.C. Lo, *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *289* 333-338.
- (33) A. Ramesh, D.J. Lee, J.W.C. Wong, *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *291* 588-592.

- (34) J.M. Chern, C.Y. Wu, *Water Res.* **2001**, *35* 4159-4165.
 (35) Y.C. Chang, D.G.H. Chen, *Macromolec. Biosci.* **2005**, *5* 254-261.
 (36) M.H. Liao, K.Y. Wu, D.H. Chen, *Sep. Sci. Technol.* **2004**, *39* 1563-1575.
 (37) S.Y. Mak, D.H. Chen, *Dyes. Pigm.* **2004**, *61* 93-98.
 (38) H.H. Tseng, M.Y. Wey, J.C. Chen, C.Y. Lu, *Fuel* **2002**, *81* 2407-2416.
 (39) J.C. Chen, M.Y. Wey, Z.S. Liu, *J. Environ. Eng. ASCE* **2001**, *127* 63-69.
 (40) H.H. Tseng, M.Y. Wey, *Carbon* **2004**, *42* 2269-2278.
 (41) H.H. Tseng, M.Y. Wey, Y.S. Liang, K.H. Chen, *Carbon* **2003**, *41* 1079-1085.
 (42) H.H. Tseng, M.Y. Wey, C.H. Fu, *Carbon* **2003**, *41* 139-149.
 (43) B.C. Chiang, M.Y. Wey, C.L. Yeh, *J. Hazard. Mater.* **2003**, *101* 259-272.
 (44) F.T. Chang, Y.C. Lin, H.L. Bai, B.S. Pei, *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2003**, *53* 1384-1390.
 (45) Y.C. Lin, F.T. Chang, H.L. Bai, B.S. Pei, *J. Hazard. Mater.* **2005**, *120* 9-14.
 (46) C.M. Wang, K.S. Chang, T.W. Chung, H.D. Wu, *J. Chem. Eng. Data* **2004**, *49* 527-531.
 (47) C.M. Wang, T.W. Chung, C.M. Huang, H. Wu, *J. Chem. Eng. Data* **2005**, *50* 811-816.
 (48) W.H. Tao, T.C.K. Yang, Y.N. Chang, L.K. Chang, T.W. Chung, *J. Environ. Eng. ASCE* **2004**, *130* 1210-1216.
 (49) Y.C. Lin, H.L. Bai, C.L. Chang, *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2005**, *55* 834-840.



Anthony Shiaw-Tseh Chiang

Professor and Chairman to the department of Chemical & Materials Engineering in National Central University, Taiwan, ROC; BS of the same department in 1974; MS and PhD of Worcester Polytechnic Institute, Mass, USA in 1978 and 1982; Joint NCU in 1983; Visiting professor in ETH in 1999; Editorial board of *ChIChE J.* in 1989-1994; Editorial board of *Adsorption* in 1993-; Advisory board of *Adsorption Science & Technology* in 1995-2004; Director board member of International Adsorption Soc. in 2004; President of Chinese Society of Colloid & Interface in 2003; President of Taiwan photocatalyst Ind. Assoc. in 2004.

関連シンポジウム等のお知らせ

第19回イオン交換セミナー

テーマ：イオン交換技術の新たな展開

主催：日本イオン交換学会、共催：産業技術総合研究所

協賛：日本吸着学会他

日程：平成18年7月7日(金) 10:30~16:45

場所：産業技術総合研究所・臨海副都心センター 〒135-0064 東京都江東区青海2-41-6

- (i) イオン交換性層状化合物の剥離ナノシート化とその再積層による機能性材料の構築
佐々木高義 (物質・材料研究機構物質研究所)
- (ii) イオンの分離、分析を目指した有機化学的アプローチ
平谷和久 (宇都宮大学 工学部)
- (iii) セリウム、ジルコニア系吸着剤の特性とその活用事例
伊藤晴彦 (㈱日本海水 環境事業部)
- (iv) イオン交換クロマトグラフィーによる生体物質の分離
中村孝司 (東ソー㈱ 南陽研究所)
- (v) モノリス状イオン交換体の合成とその特性
井上 洋 (オルガノ㈱ 開発センター)

(パネル討論) イオン交換研究のあり方とイオン交換学会の役割・大学における研究の現状と今後の課題、他2講

懇 親 会：17：00～（会費：3,000円）

参加申込締切：平成18年6月30日（金）

参加申込方法：Web（<http://www.jaie.gr.jp>）より。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。

参加費（予約）：会員・協賛学協会会員 5,000円、非会員 8,000円、学生 無料（予約外10,000円。学生は予約外も無料）

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）

申込先（郵送、e-mail など）：第19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_19@jaie.gr.jp

第59回 コロイドおよび界面化学討論会

開催趣旨：

コロイド・界面化学は、コロイドあるいは界面という「状態」を扱う学問である。化学は一般的に、研究対象（有機化学や無機化学など）や研究手法（分析化学や熱化学など）によって分類されているので、その中では独特な位置づけにある。化学の他分野とは異なる次元で分類されている訳であるから、他の分野と当然クロスオーバーする。つまりコロイド・界面化学は、その定義からして学際的なものである。有機物も無機物も生体物質も、どんなものでもコロイド・界面化学の対象である。熱力学も量子化学も分光学も、総てコロイド・界面化学で利用される。物理学も生物学も数学でさえも、その中に取り込まれる。一方、コロイド・界面化学は限りなく実学に近い側面を持つ。「界面」の存在するところ、それはこの学問の研究対象であり、界面は世の中のありとあらゆるところに存在する以上、殆ど総ての日常生活や産業分野にコロイド・界面化学は関係する。その意味で、産・官・学、一般社会と学界/産業界、これらの間の架け橋となれる最も近い位置にいるのもまた、コロイド・界面化学である。

この様な性格を持つコロイド・界面化学の討論会には、広い科学の分野から、広い産業技術の分野から参加して頂きたいと願っている。例年、日本全国各地から、また海外からも多くの人たちが参加される。今年は更に、地元北海道の研究者/技術者にも多く参加して頂き、活発な討論が繰り広げられることを期待している。

会 期：平成18年（2006年）9月13日（水）・14日（木）・15日（金）

会 場：北海道大学・高等教育機能開発総合センター 札幌全日空ホテル（受賞講演/総合講演/懇親会；14日午後）

主 催：（社）日本化学会 コロイドおよび界面化学部会

協 賛：電気化学会、日本レオロジー学会、日本農学会、腐食防食協会、色材学会、日本トライボロジー学会、日本材料学会、粉体粉末冶金協会、日本界面医学会、触媒学会、応用物理学会、表面技術協会、高分子学会、日本吸着学会、日本生物物理学会、日本セラミックス協会、日本農芸化学会、日本表面科学会、日本薬学会

■ 討 論 内 容 ■

■主題「ボトムアップ・ナノテクノロジー」

リソグラフィによるトップダウン方式のエレクトロニクスデバイス作製は限界を迎え、それを克服する技術としてボトムアップ方式によるナノテクノロジーが注目を集めている。このボトムアップ・ナノテクノロジーは、今やエレクトロニクス分野に留まらず、新規機能性材料開発、バイオ/医療材料等に展開され、現在の科学/技術の主流となりつつある。本討論会では、コロイド・界面化学に関わる全般的な研究発表に加えて、特に「ボトムアップ・ナノテクノロジー」を主題とした研究発表と、それに関連する広い分野の活発な討論を期待する。

■総合講演

山口 智彦 博士（産業技術総合研究所・ナノテクノロジー研究部門）：「機能と階層をつくる自己組織化」

下澤 楯夫 教授（北海道大学・電子科学研究所）：「神経系はなぜ束なのか？」

—神経系の基本構造に関する情報論的考察—

Prof. Peter A. Kralchevsky (University of Sofia, Bulgaria): “The four kinetic regimes of adsorption from micellar”

surfactant solutions”

■一般講演発表、シンポジウムおよび特別セッション

1. 一般シンポジウムセッション
2. 口頭発表
3. ポスターセッション
4. イブニングセッション
5. 国際シンポジウム
6. 企業展示セッション

お問い合わせ先：第59回 コロイドおよび界面化学討論会実行委員会 辻井 薫
〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目（創成科学研究棟内）
北海道大学電子科学研究所・附属ナノテクノロジー研究センター
TEL：011-706-9356、FAX：011-706-9357、E-mail：colloid@chem.es.hokudai.ac.jp

部会事務局 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5
TEL：03-3292-6163、FAX：03-3292-6318、E-mail：dcsc@chemistry.or.jp

“International Symposium on Ion Exchange in Korea and 22nd Annual Meeting of Japan Association of Ion Exchange”

主 催：日本イオン交換学会、共催：韓国化学工学会（予定）

協 賛：日本吸着学会他

日 時：2006年10月19日（木）～10月20日（金）

会 場：Yonsei 大学（ソウル市）、134 Sinchon-Dong, Seodaemun-Gu, Seoul 120-749, KOREA

使用言語：英語

講演申込：本会 Web サイトより（<http://www.jaie.gr.jp/>）

講演申込締切（予定）：7月8日（土）

講演要旨締切（予定）：9月9日（土）

講演時間：口頭（12分、質疑3分）、ポスター（2時間を予定）

参加登録：本会 Web サイトより（<http://www.jaie.gr.jp/>）

参加登録（予約）締切：9月9日（土）

参加費（要旨集、懇親会費を含む）：

会員：20,000円、学生：10,000円、会員外：30,000円、予約外：30,000円

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

（参加費は10月2日（月）までに振り込んでください。10月6日までに振込が確認されない場合当日受付の会費をいただきます。）

問い合わせ先：本会事務局

〒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研究室内（担当：鈴木憲子）

TEL：042-721-1554、E-mail：office.jaie@jaie.gr.jp

（注1）「講演申込」および「参加登録」は日韓で別々に行います。

（注2）「要旨の受付」は全て日本側で行います。

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. 20 No. 1（2006）通巻 No. 76 2006年3月27日発行

事務局 〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町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)
Molecular Chemistry Laboratory, 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/>