

Adsorption News

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

目 次

- 巻頭言..... 2
ミネルヴァのふくろうは夕暮れを待って飛び立つ
広瀬 勉
- 平成24年度日本吸着学会学会賞..... 3
- 技術ハイライト..... 5
シリカゲル吸着剤を用いた真空再生式VOC回収技術
稲川 展裕
- ホットトピックス..... 12
ツインパス型表面力装置を利用した新規なナノ界面評価法
粕谷 素洋, 栗原 和枝
- 第26回日本吸着学会研究発表会開催報告..... 17
遠藤 明
- 第26回日本吸着学会ポスター賞..... 19
- 第21回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催報告..... 22
神田 英輝
- 会 告..... 24
平成25年度日本吸着学会賞受賞候補者推薦のお願いと要領
11th International Conference on Fundamentals of
Adsorption (FOA11)参加登録料の援助について
- 維持会員一覧..... 26

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

ミネルヴァのふくろうは 夕暮れを待って飛び立つ…

一般社団法人 吸着の研究舎 広瀬 勉



私が吸着と関わりを持ったのは30年ほど前で、旋盤加工とはんだ付けという私の得意技を活かして、自作のPSA装置で空気の除湿や脱炭酸を行ったのが取っ掛かりです。本学会は、吸着機構の解明、吸着材の創製、吸着分離プロセスの開発、三位一体の交流の場として設立されました。私はPSA（圧力スイング）、TSA（温度スイング）、SMB（擬似移動層）等の、周期操作による分離プロセスに特に関心を持っていますが、学会では空気分離、水素精製、VOC回収、多成分分離等での成功事例が発表され、それに触発されて性能評価やプロセス設計の手法が提案されて来ましたので、興奮を禁じえない時期もありました。ところが、多くの人が感じているように、最近は吸着プロセス関連の研究発表が少なくなってきました。夕暮れを迎えたような一抹の寂しさを感じざるを得ません。この半世紀近くの研究開発により諸問題が解決され、吸着プロセスは確立された技術として成熟した結果だと言われても、腑に落ちないものがやはり残ります。

話は変わりますが、表題の「ミネルヴァのふくろうは夕暮れを待って飛び立つ」というのは、高校の社会科の老教諭からよく聴いた言葉です。哲学者ヘーゲルの著書の序文に由来するものらしい。灼熱と喧騒の中で真昼間にはよく見えなかったものが、夕暮れ時を迎えると落ち着いてその実相がよく見えるようになる、そんな時を待って知の神ミネルヴァの使者であるふくろうはようやく探索に飛び立つ、私は、学問＝知の営みをそういうふう理解することにしています。

18世紀末のフランス革命は、法や国家のありようを鋭く問うものでした。いわば興奮に沸く真昼間の現実です。しかし、それを根源的に問う哲学の興隆は19世紀中期になってからです。興奮が静まった夕暮れ時です。自然科学の分野でも、18世紀後半の産業革命を支えた蒸気機関の技術革新は、19世紀中期になって熱力学として確立されます。20世紀の初頭に勃興した化学工業の連続生産方式は、各種の向流接触方式の分離操作を普及させましたが、中期になって「操作線」いう

共通した設計手法を産み出しました。

フランスの民衆蜂起や、蒸気機関の発明や、向流接触分離操作の普及がなかったら、知の営みとしての哲学も熱力学も操作線概念も生まれなかったかも知れません。その意味で、いつも社会や技術の現実が先行しています。成熟した現実を待って知の営み、より深い掘り下げが始まります。

吸着プロセスの話に戻ります。私のかかわった周期操作による吸着分離の分野で言えば、豊富な技術が開発され多方面で応用されてきました。しかし、PSA、TSA、SMBが個別に発展してきました。また、産業、環境、エネルギー等にかかわる個別の課題に応用されてきました。過ぎし昼間の現実です。定常操作として発展してきた従来の分離プロセスから見れば、この周期操作は異端児ともいえます。それだけに、個々の技術の単なる集成にとどまらず、周期操作の特徴と全貌を明らかにする統一的な知見に至るような知の営みが必要なのではないのでしょうか。今そういう夕暮れ時を迎えているような気がします。その中で他分野の分離操作との関連も鮮明になってくるものと思います。圧力スイング蒸留、温度差膜分離、SMB式PSA・TSA、吸着材充填塔蒸留といった今はマイナーで仮想的でしかないプロセスの位置づけもはっきりしてくるでしょう。今日の夕暮れの知の営みが、明日の昼間の現実を準備するのではないのでしょうか。

世のふくろう達よ。夕暮れを迎えた。飛び立とう。

広瀬 勉

一般社団法人吸着の研究舎 代表

略歴 1963年3月 京都大学化学機械学科卒業。
1963年4月 名古屋大学工学部助手赴任、その後九州大学、熊本大学を経て、
1987年1月 熊本大学工学部教授に就任。
2005年3月 同大学退職、吸着の研究舎を設立。

平成24年度日本吸着学会学会賞

会員の皆様にご推薦をお願いしておりました平成24年度日本吸着学会学術賞、奨励賞（カルゴン カーボン ジャパン賞）、技術賞につきまして、学会賞選考委員会における審議を経て、以下のように受賞者が決定されました。第26回研究発表会に合わせて開かれました日本吸着学会総会において報告され、引き続き表彰式にて各賞の顕彰が行われました。（各賞の受賞者名、団体名は五十音順）

学 術 賞

該当者なし

奨励賞（カルゴン カーボン ジャパン賞）

大場 友則 氏（千葉大学大学院理学研究科）

受賞対象研究：疎水性ナノ空間中での分子集合体構造変化に伴う吸着挙動の解明



疎水性のナノ空間では飽和蒸気圧よりも低い圧力で水蒸気の急激な吸脱着が起こり、著しい吸脱着ヒステリシスを伴う。この急激な吸脱着は毛管凝縮現象に似ているが、細孔径が小さく毛管凝縮が起こり得ない条件で見られるので、疎水性ナノ界面における水の特異な凝縮現象と考えられてきた。大場氏は疎水性ナノ界面中の水集合体の構造をin-situ小角X線散乱および分子シミュレーションによって調べ、吸着過程は水クラスターを形成して進行し、脱着過程においてはクラスターを伴った単分子層を形成していることを明らかにした。さらに吸脱着ヒステリシスが現れる原因を分子シミュレーションおよび分子動力学シミュレーションによって検討し、動的な構造変化の制約によって吸脱着過程で異なる構造がみられること、また、最安定構造を取ることができないために、吸脱着ヒステリシスが発現することを明らかにした。

以上の成果は、長年議論されてきた界面での重要課題である疎水性ナノ空間中での水分子の挙動を解明しており、疎水性界面の化学に貢献するものである。よって、同氏の研究は日本吸着学会奨励賞を授与するにふさわしいものである。

松田亮太郎 氏（独立行政法人科学技術振興機構 ERATO北川統合細孔プロジェクト）

受賞対象研究：選択的分子吸着を示す多孔性金属錯体の創製



松田氏は、多孔性錯体特有の多孔体機能の発現を目指し、新物質を設計して合成を行い吸着科学において成果をあげている。特に細孔表面に塩基性点を規則的に配した多孔性錯体が、高密度にアセチレンを吸着可能なことを示した結果や、酸化還元活性分子をフレームワークに組み込んだ多孔性錯体が、細孔表面と電子移動が可能な酸素と一酸化窒素のみを選択的に吸着する現象を見出した事、また、光反応活性分子を用いて合成した多孔性錯体による酸素または一酸化炭素のオンデマンド型吸着機能を実現した例は多孔性錯体の細孔表面を巧みに設計することにより実現した吸着現象や機能であり、特筆すべき成果である。さらに、同氏は、多孔性錯体の構造柔軟性を追求した動的空間を設計し、その動的特性に基づく非線形吸着や

大きなヒステリシスを伴う特異な吸着現象を見出している。たとえば配位様式変換に基づく動的空間、結晶性変化に基づく動的空間、有機配位子の回転に基づく動的空間などの動的空間を有する多孔性錯体の合成に成功している。

以上のように有機配位子とフレームワークを巧みに設計し、新しい多孔性錯体を合成するとともに、特異な選択的分子吸着現象を見出した成果は、吸着科学に大きく貢献するものである。よって、同氏の研究は日本吸着学会奨励賞を授与するにふさわしいものである。

技 術 賞

東ソー(株) 原田 敦 氏、平野 茂 氏、
吉田 智 氏、船越 肇 氏

受賞対象技術：酸素PSA用LiLSX吸着剤の開発およびその生産技術の
確立



小型吸着塔・短サイクル時間を特長とする、酸素の生産性の高いPSAに用いられる窒素吸着型Li交換低シリカX型ゼオライト（LiLSX）を、独自の合成技術開発によって工業的な規模での生産を可能にした。窒素選択性における従来のCa交換型吸着剤に対するLiLSXの優位性を、交換カチオンの分極性能の観点からの系統的な実験により確認するとともに、吸着剤のマクロ細孔物性と酸素PSA性能の関連性を実験的に検証し、マクロ細孔内の物質移動抵抗を下げ、吸着塔の圧力損失の低減が可能な最適吸着剤を開発した。一方、工業的製造における問題点であった低シリカX型ゼオライト（LSX）の高純度合成と耐熱性の向上に対して、反応原料ゲルの粘度及びBET比表面積の制御、合成時の攪拌の制御などにより、高純度なLSXの合成と従来品よりも10℃以上優れた耐熱性を達成し、開発ゼオライトを基材としたゼオラムNSAの商品化に成功した。当該ゼオライトは、1999年以降国内外の中・大規模酸素PSAプラント170基以上に継続的に採用され、鉄鋼、パルプ・製紙業をはじめとする燃焼プラントにおける高効率（低CO₂発生）・低NO_x燃焼用の酸素製造に主に応用されており、エネルギーの高効率利用と環境保全の一翼を担うものであることは疑いようもない。

よって、当該ゼオライトの開発とその生産技術の確立は、日本吸着学会技術賞を授与するにふさわしいものである。



平成24年度日本吸着学会学会賞授賞式風景

技術ハイライト

シリカゲル吸着剤を用いた 真空再生式VOC回収技術

Vacuum desorption type VOC recovery
technology using silica gel

システムエンジニアリング株式会社 技術部
SYSTEM ENG SERVICE CO., LTD
Technical Group

稲川 展裕
Nobuhiro Inagawa

1. はじめに

VOCの有毒性が問題視され、VOCの発生源も多様化する中で吸着法以外にも多種多様のVOC対策技術が開発された。その中で弊社は主として吸着剤に特殊シリカゲルを用いたVPSA（Vacuum Pressure Swing Adsorption）方式（以下略称：SES-VRU）のVOC回収装置を製作している。VOCを吸着で処理する場合、一般的に使用される吸着剤は活性炭やハイシリカゼオライトが主流であり、シリカゲルについては除湿に使用されるケースがほとんどで、シリカゲルを使用したVOC処理技術は国内外を含め圧倒的に数が少ない。

弊社がVOC処理装置にシリカゲルを適用するきっかけとなったのは活性炭吸着装置の火災事故であった。VOCは可燃性物質が多く、海外では活性炭を使用したVOC処理装置で爆発事故が発生した事例がある。日本国内でも某油槽所内に設置されていた活性炭を使用したガソリンベーパー回収装置の吸着塔内で吸着熱に起因した火災が発生した事例がある。この時は大事には至らなかったが、この事故以降、ガソリンベーパー処理には危険性のある活性炭の代替品として、冷却法、ソーバー法、膜分離法が主流となっていった。しかし、これらの方式はいずれも現地建設期間が長く、インシヤルコストもしくはランニングコストが高いという欠点があり、回収率についても平均70～90%程度しか得られなかった。回収率については吸着法に利があったことから、活性炭に代わる吸着剤を使用したガソリンベーパー回収装置の開発に着手した。このとき、新たな吸着剤の候補にシリカゲルを見出し、神奈川大学名誉教授の川井利長先生、富士シリシア化学（株）の

協力により、ガソリンベーパーに適したシリカゲルの製作及び優位性を確認し実用化に至った。1号機納入後、高回収率かつ安全性が高い装置として石油業界に認知され、日本国内の主要な石油会社の油槽所、製油所へ納入させて頂き、現在、日本国内におけるガソリン回収装置のシェアNo.1となっている。その後、ガソリンベーパーだけでなく原油ベーパー、石油系炭化水素、BTX、有機溶剤、ハロゲン系炭化水素、重合物質等様々なVOCにSES-VRUを展開し、国内外において現在100基程の実績がある。本稿ではSES-VRUの概要、弊社で使用しているシリカゲルの特徴、SES-VRUの実績例について紹介する。

2. SES-VRUの装置構成と運転概要

図1にSES-VRUのスタンダードシンプルフローシートを示す。SES-VRUは2塔での吸・脱着による連続運転を基本としている。吸・脱着の切り替え時間は5分～20分に設定し、一方の吸着塔にVOCを吸着させている間、もう一方の吸着塔を減圧し脱着を行う。このとき真空ポンプサクションに設置したPCVで圧力調整しながら減圧する。また、脱着を促進するため、所定の圧力に到達した時点で少量のパージガスを導入する。通常、パージガスは吸着塔出口ガスを使用するが、反応性が高いVOCや吸着塔出口ガスに含まれる物質を脱着ガスに混入させられない場合は外部から窒素等の不活性ガスを導入する。

ここで使用する真空ポンプはドライタイプのものを使用する。液封式真空ポンプを使用すると、シール液が水の場合、水の蒸気圧以下に圧力を下げることが出来ず、商業的には6 kPaA程度が限界であり、脱着にこれより低い圧力が要求されるVOCの場合、吸着剤の十分な再生が出来ない。また、真空度を上げるためにエチレングリコール水溶液等の高沸点シール液を使

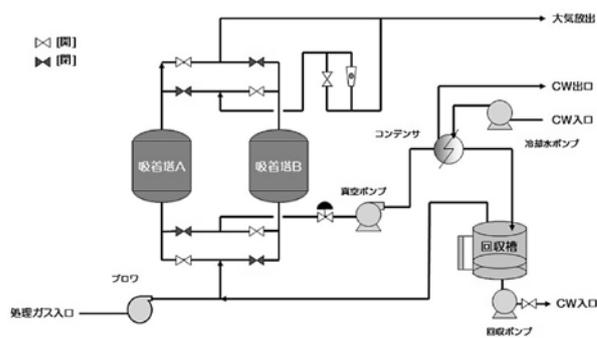


図1 SES-VRUスタンダードタイプ
シンプルフローシート

用した場合においても、これらが揮発して回収液に混入することにより回収液の純度が低下してしまう。脱着したVOCガスはガス種により熱交換器で冷却、もしくは吸収塔で吸収させ液化回収する。このときに凝縮しなかったガスについては再度フィードガスに戻して吸着塔で吸着させる。所定の切り替え時間が経過した後に吸着塔内を大気圧まで均圧し、吸・脱着運転を切り替える。

3. VOCガスへのシリカゲルの適用

3-1. 特殊シリカゲルの概要

弊社で使用しているシリカゲルは、富士シリシア化学（株）製の吸着特性の異なる2種類の特殊シリカゲルS-3、S-6を使用している。両者ともVOC吸着用に開発したもので、シリカゲル表面のシラノール基を除去し、極性物質への活性を低減することで水の吸着量を低減させている。加えて、特殊処理により通常のシリカゲルよりも耐液性を強化している。

3-2. 硬度と寿命

吸着剤の劣化要因は、細孔閉塞の他に物理的な摩耗による劣化がある。硬度が低いと、吸着剤の摩耗が早く進行するため交換頻度が高くなる。これは、装置のランニングコスト増加に直結するため吸着能力だけでなく、硬度も吸着剤の重要な選定要素となる。

表1. 各種吸着剤の硬度測定結果

	平均硬度 (Kgf)
ペレット活性炭	1.8 ~ 8
ペレットゼオライト	6 ~ 9
特殊シリカゲル S-3	26.3
特殊シリカゲル S-6	16.4

表1に各種吸着剤の硬度測定結果を示す。活性炭、ゼオライトと比較して硬度が1.5倍以上あり耐摩耗性が非常に高い。ただ、通常のシリカゲルは液体と接触するとほとんどが割れてしまうため、液体と接触する系においては適応困難とされているが、弊社で使用している特殊シリカゲルは液体と接触しても非常に割れにくい構造となっている。

表2にS-3、S-6の水含浸試験結果を示す。これは各サンプルを2時間水に含浸させた後に真空乾燥機にて一昼夜乾燥させ、球状粒子と割れ粒子に選別し、そ

表2. S-3、S-6の水含浸試験結果

	S-3	S-6
水含浸前硬度 (Kgf)	26.3	16.4
水含浸後硬度 (Kgf)	12.4	15.5
硬度低下率 (%)	52.9	5.4
水含浸後割れ率 (%)	11.1	6.4

れぞれ重量測定し割れ率を算出したものである。S-3は硬度低下率が50%を超えたものの活性炭、ゼオライトより高い硬度を維持している。S-6に至っては硬度低下率が5.4%と低く含水の影響は微々たるものである。VOC処理において処理ガス中にミストが同伴するケースも多くあり、吸着剤の液耐性も重要となる。処理ガスの条件によっては、ミストセパレーターを設置してもミストセパレーター通過後に外気温で冷却されて結露するケースもあるため、ミストを発生させないためには保温+加熱処理が必要となる。しかし、S-3、S-6を使用する場合はこれらの一切が不要となる。弊社の実績の中で、この特徴を利用して小型の吸

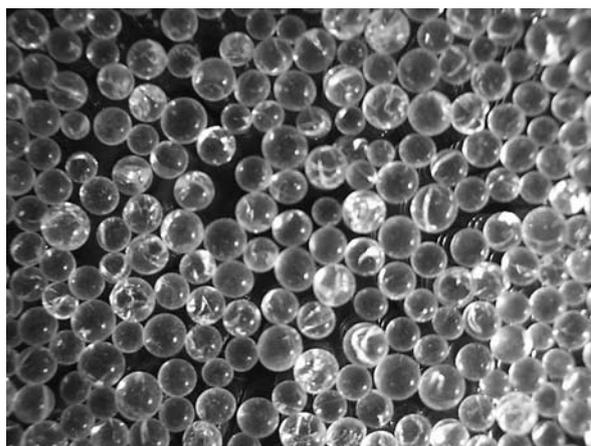


図2 水含浸後のS-3外観図

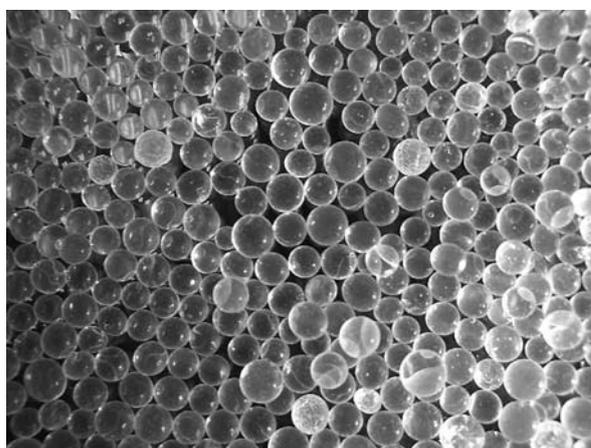


図3. 水含浸後のS-6外観図

着塔にS-6を充填し、ミストセパレーター代わりに使用しているケースもある。これらのことから弊社の使用している特殊シリカゲルは非常に寿命が長く、これまで納入した装置において客先の都合を除けば純粋な劣化によって吸着剤を交換した例が無い。実績ベースでは最長13年間、吸着剤を交換せず正常に稼働している装置もある。

3-3. 特殊シリカゲルのVOC吸着特性

シリカゲルは、シラノール基の存在により極性物質の吸着能力が高く、メタノール、アセトン等の極性の強いVOCに対する吸着能力は高い。一方、ベンゼンやn-ペンタン等の無極性物質に対しては極性物質と比較して若干吸着能力が低下するが、プレコートを行うことで無極性物質との親和性が向上して吸着量が増加する。プレコートとはあらかじめ吸着剤に無極性のVOCを吸着させておく操作を言う。また、無極性物質でプレコートされることによりシリカゲル表面が疎水化されて水の吸着量が低下する。図4にプレコートの有無によるS-6の水吸着等温線測定結果を示す。これは、未使用品のS-6に水吸着等温線を測定して180℃で2時間再生した後にベンゼンを吸着させ同条件にて再度再生し、改めて水の吸着等温線を測定したものである。プレコートしたものは全領域において水の吸着量が大幅に減少している。これは、ベンゼンプレコートによってシリカゲル表面が疎水化されたことを示している。

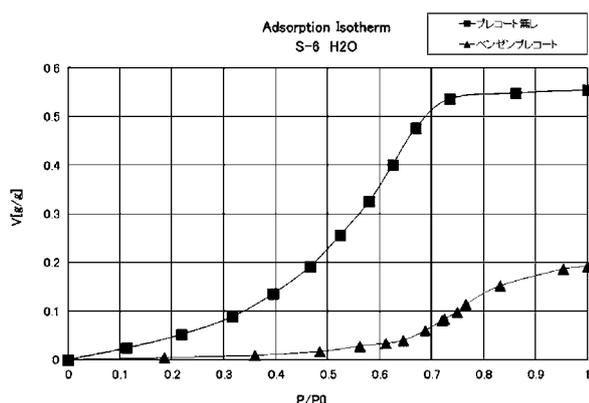


図4. プレコートの有無によるS-6の水吸着等温線

次にS-3とS-6の吸着特性の違いについて述べる。表3にS-3、S-6の物性値、図5にS-3、S-6の吸着剤重量ベースのn-ペンタンの吸着等温線を示す。

表3. S-3、S-6の物性値

	S-3	S-6
比表面積 (m ² /g)	600±100	380±100
細孔容積 (ml/g)	0.3±0.1	0.6±0.1
平均細孔径 (Å)	30	60
充填密度 (Kg/m ³)	850±100	600±100

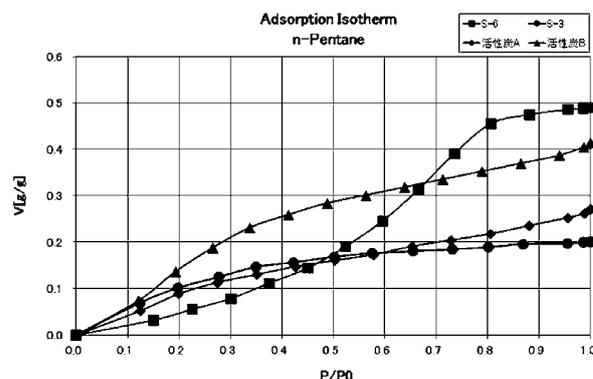


図5. n-ペンタン吸着等温線(重量ベース)

S-3はフレンドリッヒ型、S-6はBET型の吸着等温線となりS-3の方が低相対圧域の吸着量が多くなる。ただ、S-6は相対圧が高くなると急激に吸着量が増えるため、相対圧0.4~0.6の間で平衡吸着量が逆転する。これは、n-ペンタンに限定されたものだけではなく、その他のVOCに対してもこのような相関となるものが多い。また、参考比較データとして2種類の活性炭データを追加している。活性炭Aは国外のVPSA装置メーカーがガソリンペーパー、BTX回収装置に使用している活性炭、活性炭Bは弊社が海外向けVOC処理装置に使用している活性炭で、いずれもメソ孔活性炭である。活性炭Aについては硬度を重視してバインダー比率が多くなっているためか吸着量が少ない。一般的には活性炭Bのように活性炭の方がシリカゲルよりも重量ベースの吸着量が多くなるケースが圧倒的に多い。マイクロ孔活性炭を使用すれば低相対圧領域の吸着量が更に増加するが、真空脱着ではマイクロ孔領域に吸着されたものは脱着に時間を要するため、短い切り替え時間の運転においては吸・脱着ヒールが小さく、正常に運転するためにより強い真空ポンプが必要となる。このことから、マイクロ孔活性炭を使用すると装置の運転効率及びコストパフォーマンスが悪くなるため、国外のVPSA装置メーカーが使用している活性炭も脱着を優先したメソ孔活性炭が主流となっている。

重量当たりの吸着量で見れば活性炭の方が優位に見えるが、活性炭とシリカゲルは充填密度が異なりシリ

カゲルの充填密度は活性炭の1.5～4倍程度となる。装置のコストパフォーマンスは吸着剤だけではなく真空ポンプについても考慮する必要がある、余分な空隙は真空ポンプの能力増加につながるため、吸着塔の小型化も重要なポイントとなる。充填密度を考慮した吸着剤容積当たりの吸着等温線を図6に示す。

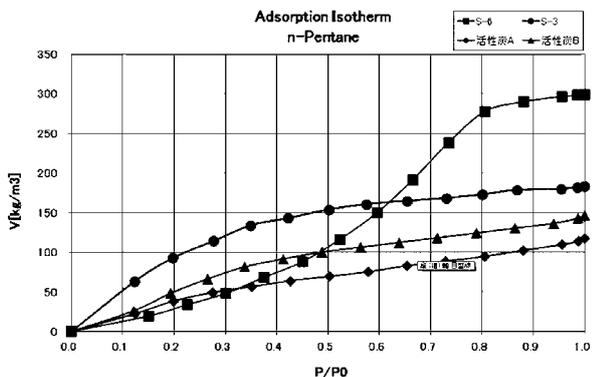


図6. n-ペンタン吸着等温線(容量ベース)

容量ベースで見ると、シリカゲルの吸着量は活性炭と同等もしくはそれ以上となる。このことから、シリカゲルも活性炭と同様に、VOCに対して十分な吸着能力を持っていると言える。ただし、活性炭よりも必要な吸着剤重量が多くなることは避けられない。そのため、弊社ではS-6とS-3の吸着特性の違いを利用して、必要に応じてS-6とS-3の多層充填を行っている。高相対圧域においてはS-6で吸着させ、VOC濃度の低下と吸着熱による温度上昇で相対圧が低くなるポイント

を見極め、低相対圧域の吸着能力が高いS-3に吸着させることにより吸着剤量の削減及び吸着塔の小型化を図っている。

3-4. 安全性

VOCは可燃性物質が多く、発生源によっては空気雰囲気中で爆発混合範囲に入るものもある。吸着剤に活性炭を使用する場合、吸着熱によるホットスポットの発生を防ぐため、爆発下限界以下の濃度まで希釈して処理が行われている。一方シリカゲルは、主成分が二酸化ケイ素であり不燃性である。また、シリカゲルは99%以上がメソ孔で形成されているため、活性炭やゼオライトと比較して吸着速度は遅いもののこれが功を奏し吸着熱によるホットスポットが発生しにくい。加えて、シリカゲルの熱容量は0.22kcal/kgで活性炭もほぼ同等の値であるが、3-3項で述べたように充填密度が大きいため、容積あたりの熱容量も1.5～4倍程度大きくなる。これも吸着熱による吸着塔の温度上昇を抑える要因となっている。これらの特性を生かして高濃度のVOCガスをそのまま吸着処理出来ることも大きな利点である。また、シリカゲルは物性が安定しており、ごく一部の物質を除いて化学反応を起こさない。また、触媒作用が無いため、吸着したVOCの変質が極めて起こりにくい。よって、反応性の高い物質やスチレンモノマー、プロピレン、塩化ビニルモノマー等の重合物質に対しても問題無く吸・脱着することが可能である。これらのことからシリカゲルは非常に安全性の高い吸着剤であると言える。

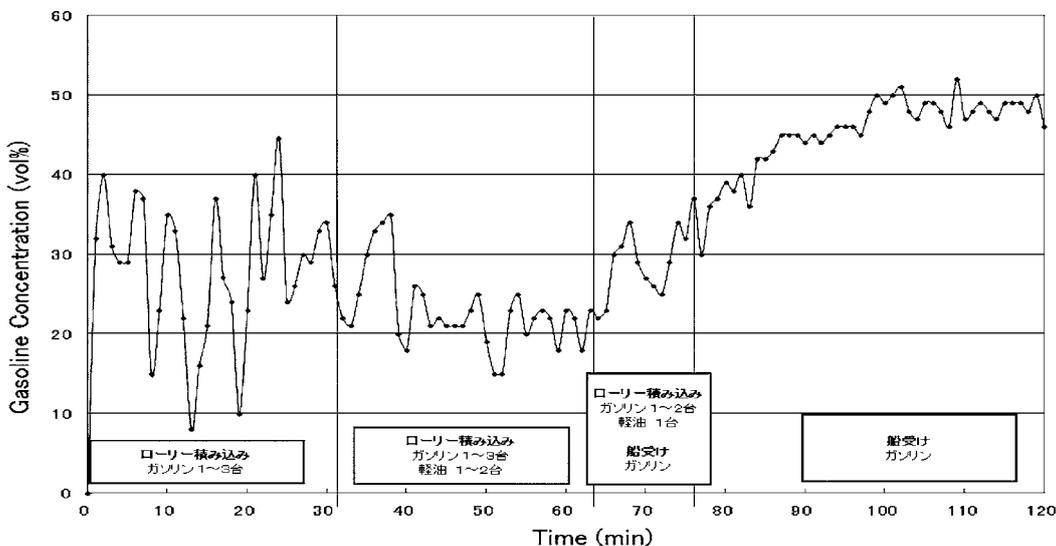


図7. ローリー出荷時、船受け時のガソリンペーパー濃度の経時変化

3-5. シリカゲルの適用可否

3-3. 項で述べた通り、シリカゲルは極性VOC、無極性VOC共に適用可能である。しかし、シリカゲルを適用出来ないケースが2つあり、1つはアルカリ性水溶液がミストとして飛来するケースやアンモニアガスと水のような共吸着した際に細孔内でアルカリ性水溶液を形成するケースである。シリカゲルはアルカリ性水溶液と接触すると溶解するため、このような系では処理ガスを直接シリカゲル層に導入することが出来ない。この場合、前段にアルカリ性物質の除去対策を実施する必要がある。もう一つはフッ化水素酸を含む系で、フッ化水素酸とシリカゲルが接触すると毒性の高いヘキサフルオロケイ酸ガスを生成するため適用出来ない。

4. SES-VRU実績例

4-1. ガソリンベーパー回収装置

ガソリンはC3～C9を主とした100種類以上の炭化水素混合成分である。ガソリンベーパーの発生源としては主にローリー出荷時に発生するベーパー、輸送船による荷受及び出荷時に発生するベーパー、貯蔵タンクの呼吸によるベーパーの3パターンである。図7は日本国内の某油槽所におけるガソリンベーパー中のガソリン濃度実測値である。ローリー出荷場は複数の出荷ポイントがあり、これは、油槽所、製油所の規模により3～数10ポイントと異なる。ローリー車1台あたり20～30分のペースで積込を行い、入れ替わり立ち代わり出荷を行っている。この時同時に出荷するローリー車の台数によって処理ガス流量が変化し、ガソリン濃度も5vol%～45vol%程度の間で変化する。また、輸送船による荷受及び出荷時は、1台のポンプで長時間ローディングを行う。そのため、ローディング開始からガソリン濃度が上昇し40～60vol%の間ではほぼ一定の状態が続く。

ガソリンベーパー回収装置の基本フローは、回収系を除けば図1と同じである。ガソリンベーパーの主成分はC3～C6でありプロパンやブタンなどの低沸点物質が含まれるため、冷却して回収する場合、常圧で-40℃以下にするか脱着ガスを加圧してチラー水で冷却する必要がある。これらの付帯設備は消費電力が大きくランニングコストが大幅に上がるため、液化回収は吸収塔を設置し、吸収液に製品ガソリンを使用した共液吸収法で行う。

現在、ガソリン回収装置については、処理ガス流量

150m³/Hr～3000m³/Hrの装置を国内外合わせて20基程製作しているが、いずれも放出ガス中のガソリン濃度は常時5000ppm以下で回収率99%以上を維持している。



図8. 処理ガス流量1800m³/Hr
ガソリンベーパー回収装置外観図

4-2. VOCを含んだ窒素ガスの精製

SES-VRUはVOCの液回収だけでなく、その精製度の高さから、不活性ガスの精製目的にも使用可能である。その一例としてVOCを含んだ窒素ガス精製装置を紹介する。これは窒素ガス中に含まれるエチレン、プロピレン、n-ヘキサン、水の吸着除去を目的とした装置で、現在10年程稼働している。

本装置の処理ガス組成は以下の通りである。

エチレン：0.1vol%
プロピレン：3.5vol%
n-ヘキサン：3.5vol%
水：0.8vol%
窒素：92.1vol%

この条件においてSES-VRU導入後の窒素ガス濃度は常時99.5%以上を維持している。吸着したVOCを全量液化回収させようとすると、付帯設備が大きくなりランニングコストも増大してトータル効率が悪くなる。そのため、脱着したVOCガスはチラー水で冷却してn-ヘキサンのみ液化回収し、エチレン、プロピレンについては燃焼設備に導入している。本装置は納入してから現在まで1度も吸着剤を交換せずに稼働しており、この間、装置の性能不良及びプロピレンの重合によるシリカゲルの細孔閉塞も確認されていない。この

装置では、回収した精製窒素及びn-ヘキサンの再利用により、客先設備内のランニングコストが年間1億円以上削減された。

4-3. 他社製VOC処理装置とのコラボレーション

VOC処理技術は、吸着方式の中でもVPSAの他に、活性炭フィルター、TSA、ゼオライトハニカムローターなどの処理技術がある。また、吸着法以外にも各種燃焼法、冷却法、吸収法、膜分離法と多種多様の技術が確立されているがいずれの方式にも一長一短がある。VOCガス種、顧客の要求スペックの多様化にあわせて装置コストの更なる削減も求められており、一つの技術で全ての要求スペックを満足することは非常に困難である。そこで、各々のVOC処理装置の長所を生かして組み合わせた低コストかつ高効率なVOC回収装置の一例として、(株)モリカワの冷却方式VOC回収装置とSES-VRUを組み合わせたテトラヒドロフラン（以下略称：THF）回収装置を紹介する。

(株)モリカワは冷却方式VOCガス回収装置REARTH（以下略称：REARTH）を製作、販売しており、各種有機溶剤ペーパーやハロゲン系炭化水素ペーパーの回収について多数の納入実績がある。その中でも0℃以下における冷却技術について独自のノウハウを持っており、水を含む系における0℃以下での運転実績が多数ある。

本装置の処理ガス組成は以下のとおりである。

THF：20vol%
水：5 vol%
窒素：25vol%

この処理ガス組成に対し、顧客から要求されたスペックは放出ガス中のTHF濃度100ppm以下であった。REARTHは、-30℃程度までは非常に効率の良い運転が可能である。通常、保証条件に対して-30℃以上で運転効率が最も良い条件を検討し、必要に応じてコンプレッサーを設置して加圧冷却、もしくはREARTHに交換式活性炭フィルターを設置して保証濃度を達成している。しかし、THFは反応性が高い物質で、コンプレッサーで加圧すると圧縮熱により処理ガス温度が大幅に上昇するため運転に大きなリスクを伴うことと-30℃で100ppm以下を達成するには14MPaGまで加圧する必要があるため現実的ではない。

常圧による冷却で保証濃度を達成するためには-90℃程度まで冷却する必要がある。活性炭フィルターを設置する場合においても、THFの常圧における飽和濃度は-30℃で1.4vol%程度あるため、窒素ガスによる希釈が必要となる。また、必要な活性炭量及び交換頻度が増加するためランニングコストが非常に高くなる。加えて、フィルターに使用する活性炭は使い捨てのため、活性炭への吸着量が増えるほど液回収率が低下する。一方、SES-VRUはシリカゲルの吸着特性から単独で保証濃度を達成することも可能であるが、処理ガス中のTHF濃度が高いほど必要な吸着剤量、真空ポンプの排気量が増加する。特に真空ポンプの必要排気量が増加すると消費電力も増えるため、インシヤルコストだけでなくランニングコストの大幅な増加につながる。また、処理ガス中に水が含まれているため、SES-VRU単体では脱着ガスの冷却温度が0℃以上に制約される。冷却温度によってリサイクルガス中のTHF濃度が変化し、温度が高いほど液化量が低下してリサイクルガス量が増加する。リサイクルガス量の増加=吸着負荷の増加につながることから冷却温度は可能な限り低くすることが望ましい。

これらを踏まえ製作した本装置のシンプルフローを図9に示す。まず処理ガスをREARTHに導入し-20℃まで冷却後、5℃まで昇温する。ここで、処理ガスに含まれるTHFの約90%が液化回収され、THF濃度が20vol%から2 vol%程度まで削減される。次に、未凝縮THFガスをSES-VRUに導入して吸着分離し、脱着ガスは処理ガスとともにREARTHへ再導入する。このように、液回収はREARTHで行い、SES-VRUをフィルターとして使用することにより、REARTHは効率の良い運転条件での運転が可能となり、SES-VRUはREARTHによって吸着剤量及び真空ポンプ排気量を削減してインシヤルコスト、ランニングコストの削減を図り、お互いのデメリットを補完する形で低

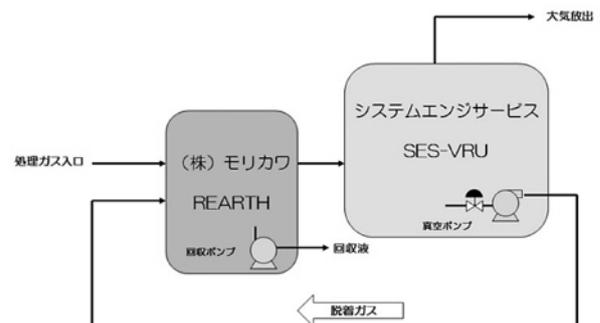


図9. THFペーパー回収装置シンプルフロー

コストかつ安全性の高いTHF回収装置が完成した。本装置は現在4年程稼働しており、放出ガス中のTHF濃度は常時20ppm以下を維持している。

5. おわりに

シリカゲルを用いた真空再生式VOC処理技術は、他のVOC処理技術と比較してまだ歴史は浅いが、VOC処理におけるシリカゲルの特長、優位性が認知されてはじめて、徐々に国内外において高い評価を得られるようになった。今後もVOC処理装置メーカーとして、国内外のVOC問題の改善に貢献できるよう努めていきたい。

6. 謝 辞

2011年度の吸着学会にて技術賞を受賞出来たことを大変光栄に思います。この度、弊社のVOC処理装置を推薦して頂き、数多くの技術協力をして頂いた富士シリシア化学株の伊藤陸弘様、浅野達也様、また、シリカゲルVOC回収装置の開発及び弊社のVOC回収装置の発展のためにご尽力頂きました神奈川大学名誉教授の川井利長先生、関東学院大学教授の香川詔士先生、その他ご協力頂いた全ての皆様に対し、改めて感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 特許公報 第3011094号
- 2) 特許公報 第2766793号
- 3) 特許公報 第2823835号
- 4) 田原 弘、香川 詔士 関東学院大学工学総合研究所報 第32号 (2004).
- 5) 稲川 展裕 吸着技術フォーラム2009 講演要旨集 (2009)



稲川 展裕

システムエンジニアサービス株式会社
技術部

- 2005年 関東学院大学大学院工学研究科
工業化学専攻修士課程修了
- 同年 システムエンジニアサービス株式会社入社
- 2009年 関東学院大学工学部物質生命科学科
非常勤講師 (兼任)
- 2012年～現職

ホットピックス

ツインパス型表面力装置を利用した 新規なナノ界面評価法

Novel Measurement Systems for Characterization of Nano-interfaces Using Twin-path Surface Forces Apparatus

東北大学多元物質科学研究所
Institute of Multidisciplinary Research for Advanced
Materials

粕谷 素洋, 栗原 和枝
Motohiro Kasuya, Kazue Kurihara

1. はじめに

表面力測定は、固体表面間の相互作用の距離依存性（相互作用ポテンシャル）を測定する手法であり、一般的には、ばねばかりを用いる「表面力装置（Surface Force Apparatus, SFA）」と呼ばれる装置で行われる。ファンデルワールス力や電気二重層力に代表される表面間の相互作用力の起源を調べるために開発され、1970年代後半にはSFAがほぼ現在の形に完成され^{1), 2)}、液体中の表面間に働く力の距離依存性が、表面間距離0.1 nm、力10 nNの精度で直接測定できるようになった。さらに得られる相互作用曲線（表面力曲線）は、固体表面からバルクへの界面の特性変化が反映されるために、固-液界面の評価法として優れてい

る（図1）。例えば、電気二重層斥力の測定から表面電荷・電位やイオン吸着を¹⁾⁻³⁾、立体力から高分子の吸着状態や分子の拡がり・硬さを⁴⁾、振動力・溶媒和力から固液界面・限定空間の液体（束縛液体）の構造化を^{5), 6)}それぞれ評価できる。さらにSFAにおける表面間距離の精密制御機構を利用して表面間の液体の厚みを制御し、上部の試料表面を横方向に駆動させ、そのずり応答を観測するずり測定⁷⁾⁻¹¹⁾が、束縛液体の特性評価のために研究されてきた。

このように表面力装置が様々な界面の特性評価に有用である理由の一つとして、透過型の干渉法である等色次数干渉縞（FECO）法を用いることで0.1 nmという高分解能で表面間距離が決定できる点が挙げられる。しかし反面、光を透過しない試料には適用できないという欠点があり、それゆえにこれらの測定において実質的には雲母、及びその表面を修飾した基板のみが用いられてきた。近年、不透明基板の測定を目的とした表面力装置がいくつか提案されてきた¹²⁾⁻¹⁴⁾が、測定可能な距離範囲が数10 nmとせまい、扱いが容易ではない等の問題で汎用的な装置とはならなかった。これに対して我々は試料部底面からの反射光と参照光との干渉により距離を決定するツインパス法¹⁵⁾を開発して、不透明試料の表面力測定を可能とした。

本稿では、まずツインパス型表面力装置について、従来型装置との比較を行いながら解説する。さらにツインパス法を適用することで可能になった表面力装置を利用した新規な測定法とその測定例について紹介する。

2. ツインパス型表面力装置

2.1 従来型の表面力装置¹⁾

表面力装置（SFA, Surface Force Apparatus）の模式図を図2(a)に示す。裏面に銀を蒸着した円筒形の表面基板2つを直交するように配置し、測定チャンバーに試料液体を満たすか、基板間に挟んで測定を行う。表面間距離 D の決定には透過光を利用した光干渉法を用いる。下側表面の直下から白色光を入射させると、銀を蒸着した基板間で多重反射し、干渉光が上側表面を透過してくる。これを分光器で波長分解すると等色次数干渉縞（FECO, Fringes of Equal Chromatic Order）を得られ、その波長変化から0.1 nmの分解能で D を決定できる。表面力の測定は下側表面とバネでつながれている微小駆動系を上下して D を変化させ、FECOで決定した距離変化と微小駆動系の駆動量との

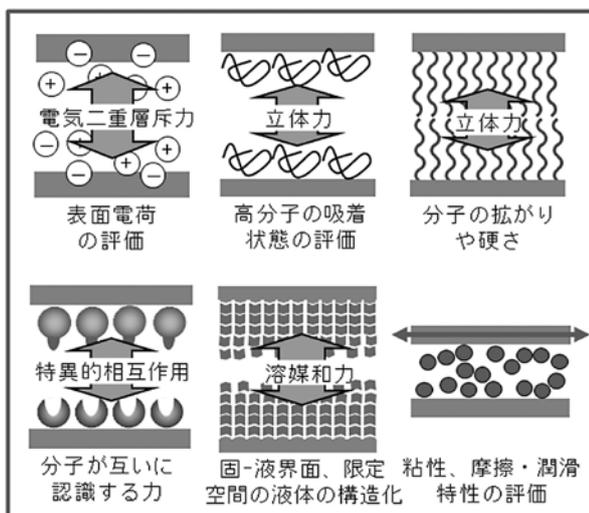


図1 表面力測定により評価可能な特性評価

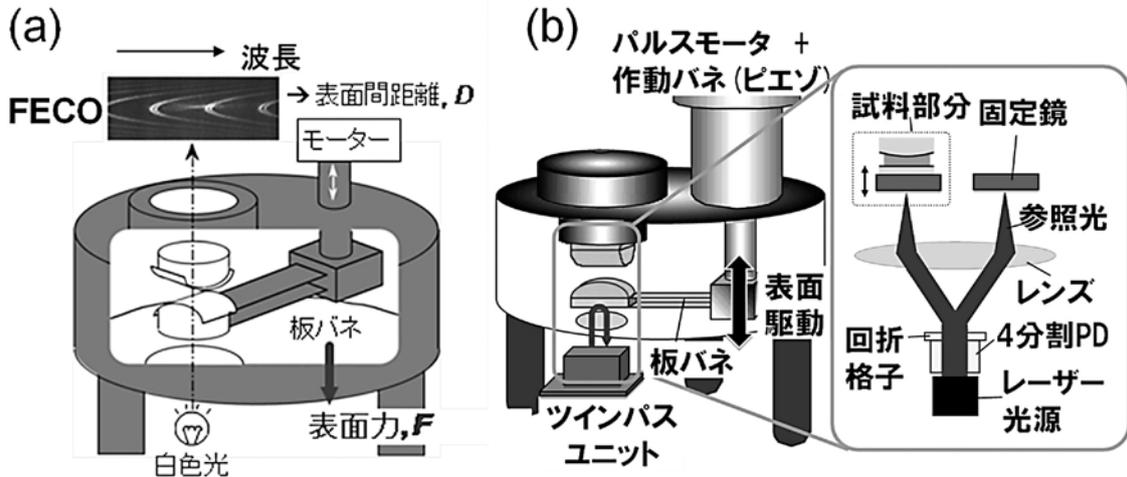


図2 …従来型の表面力装置とツインパス型表面力装置

差から求められるバネの変位から、ばねばかりの原理により求めることができる（分解能10 nN）。測定された力 F を表面の曲率半径 R で割って規格化した量 F/R は、Derjaguinの近似式により単位面積あたりの平行平面基板間の相互作用自由エネルギー G_f と比例関係にある¹⁾。

$$F/R = 2\pi G_f \quad (1)$$

2.2 ツインパス型表面力装置¹⁵⁾

FECO法による距離の決定は基板・試料を透過した光を利用するため、基板が雲母などの透明で平滑なものに制限されていた。我々は試料表面の拡張のために、図2(b)のような反射型の光干渉法を採用した不透明試料の測定が可能な新規SFAを開発した¹⁵⁾。

このツインパス型SFAでは、レーザー光を回折格子により二つに分け、一方を参照用ミラーで反射し、もう一方を試料部下面で反射させ、これらの二つの反射光を干渉させて、その干渉光の位相により距離を計算する。このような二光束干渉法による距離決定では、通常は一組の干渉光のみを用いるため、測定距離範囲が狭くなり、長距離におよぶ電気二重層力などの測定はできない¹³⁾。ツインパス型SFAでは測定可能な距離範囲拡張のために、干渉光を四つに分割した回折格子に入射し、位相を90°ずつずらした四つの干渉光とし、測定に用いている。4分割フォトダイオードの各受光面の光量を I_1, I_2, I_3, I_4 とすると、以下の式より試料部の距離変化を求めることができる。

$$\Delta D = \frac{1}{2} \frac{\phi}{360} \lambda, \quad \phi_1 = \arctan\left(\frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}\right) \quad (2)$$

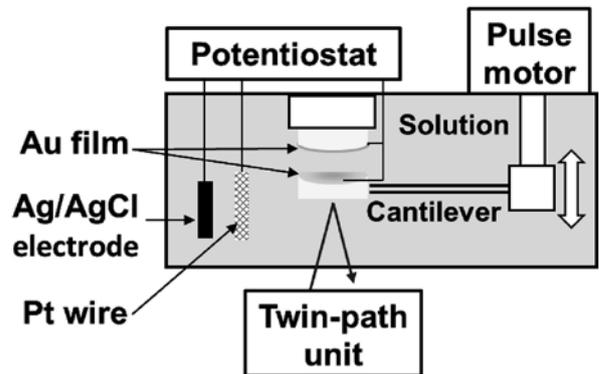


図3 電気化学表面力装置の模式図

ここで、位相が180度ずれた光は符号の反転で表せるため、位相が異なるいずれか二つのチャンネルを選択して測定を行う。この方法による ΔD の測定で、距離を0.2 nmの分解能（論文発表時は1 nmだったが、近年向上した）で5 μm 以上にわたり決定できる。

従来型のFECOを用いるSFAと比較して、ツインパス型SFAでは、金属・セラミック・高分子等の不透明試料の測定が可能という利点があり、実用材料への表面力測定の展開が期待できる。本稿ではその例として金属電極界面を評価できる電気化学表面力装置について次章で紹介する。さらにツインパス型SFAのもう一つの利点として、装置上部に光学系を設置できる広いスペースが確保でき、また距離決定のために試

料部に光を透過させる必要がないという特色がある。この特色を生かして、装置上部に光学系を設置して蛍光分光測定を行う蛍光分光表面力装置について4章で紹介する。

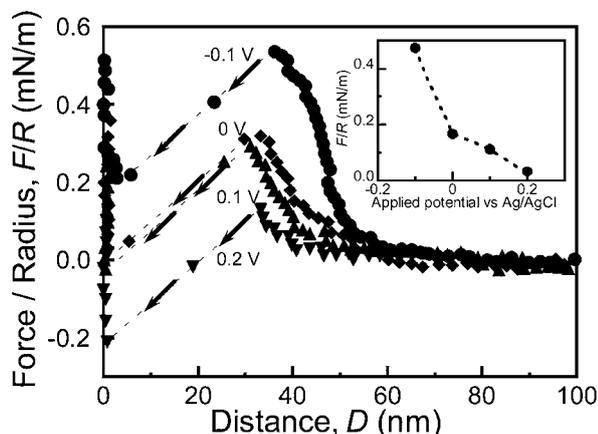


図4 KClO₄水溶液 1 mM 中において金電極表面間に働く表面力曲線の印加電位依存性

3. 電気化学表面力装置

電極-電解質溶液界面における電気二重層は電気化学反応過程の基礎的な理解のために重要である。表面力測定はこの電気二重層を力として観測ことができ、表面電荷やイオン吸着、水和等を評価可能である。これまで報告されている電気化学表面力装置はFECOを距離決定に用いるために、電極-雲母間の表面力を測定してきたが、非対称な表面間の相互作用の解析が容易ではないという欠点があった¹⁶⁾。

我々はツインプス法を用いることで不透明な金属電極間の相互作用が測定可能な電気化学表面力装置を開発した(図3)¹⁷⁾。ここでは測定例として電解質水溶液中の金電極表面間の相互作用測定を示す。劈開した雲母基板をテンプレートとして用いて蒸着により調製(雲母剥離法¹⁸⁾)した平滑な金電極表面(二乗平均粗さ0.2 nm程度)を作用電極とし、Ag/AgCl参照電極、白金線カウンター電極として、ポテンシostatにそれぞれを接続して印加電位を制御し、1 mM KClO₄水溶液中において金電極表面間に働く力を測定した(図4)。いずれの電位でも30 nm以上の遠距離では斥力が観測され、それより近距離においてJump-inが観測された。近距離のJump-inについてはvan der Waals引力によると考えられる。一方、遠距離における斥力は、いずれの印加電位でも表面間距離Dに対する指数関数に従って増加し、その減衰長が塩濃度

(1 mM) から計算されるデバイ長(9.6 nm)と一致したことから、電気二重層斥力に起因することが分かった。また、印加電位の増加に伴って電気二重層斥力の減少が観測されたことから、表面電位が減少することが確かめられた。今後、本装置を用いて、電極界面の詳細な理解に向けた研究展開が期待される。

4. 蛍光分光表面力装置

近年では、表面力装置に他の測定を組み込むことで、束縛液体の詳細な情報を得ようという研究が進められている¹⁹⁾⁻²³⁾。その一つとして蛍光相関分光や共焦点ラマン分光等の光学的手法をSFAに組み込み、束縛液体のより詳細な特性評価が行われている^{21), 22)}が、従来型装置との組み合わせでは試料部の透過光を利用するFECOが分光測定と同時に利用できないため、表面間距離の精密な制御ができていなかった。

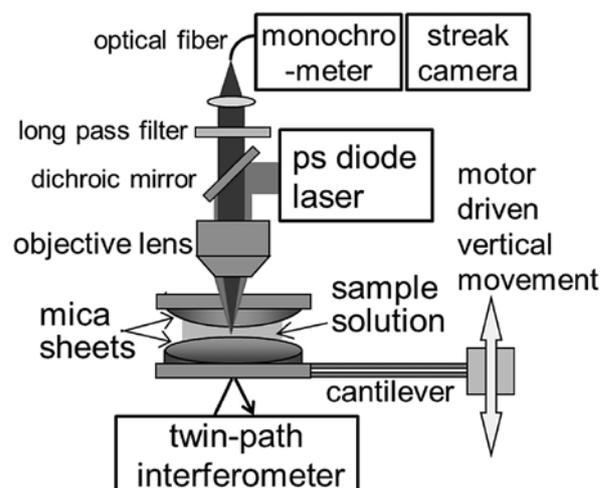


図5 蛍光分光表面力装置の模式図

ツインプス型SFAではFECO型と異なり装置上部に光学系を設置できる広いスペースが確保でき、また距離決定のために試料部に光を透過させる必要がない特徴を生かして、我々は表面力・ずり測定と共に蛍光寿命・スペクトルの測定が可能な蛍光分光表面力装置を開発した(図5)。

この装置を用いた研究例として、蛍光性粘度プローブ(シアニン系色素Cy1(図6(c)挿入図))により束縛液体の粘度を評価した研究を紹介する²⁴⁾。雲母表面間に閉じ込められたグリセリン中にCy1色素を溶解し、その蛍光寿命測定を行った。D < 4 μmの全ての距離で2成分の発光減衰が観測され、遅い方の成分Aの

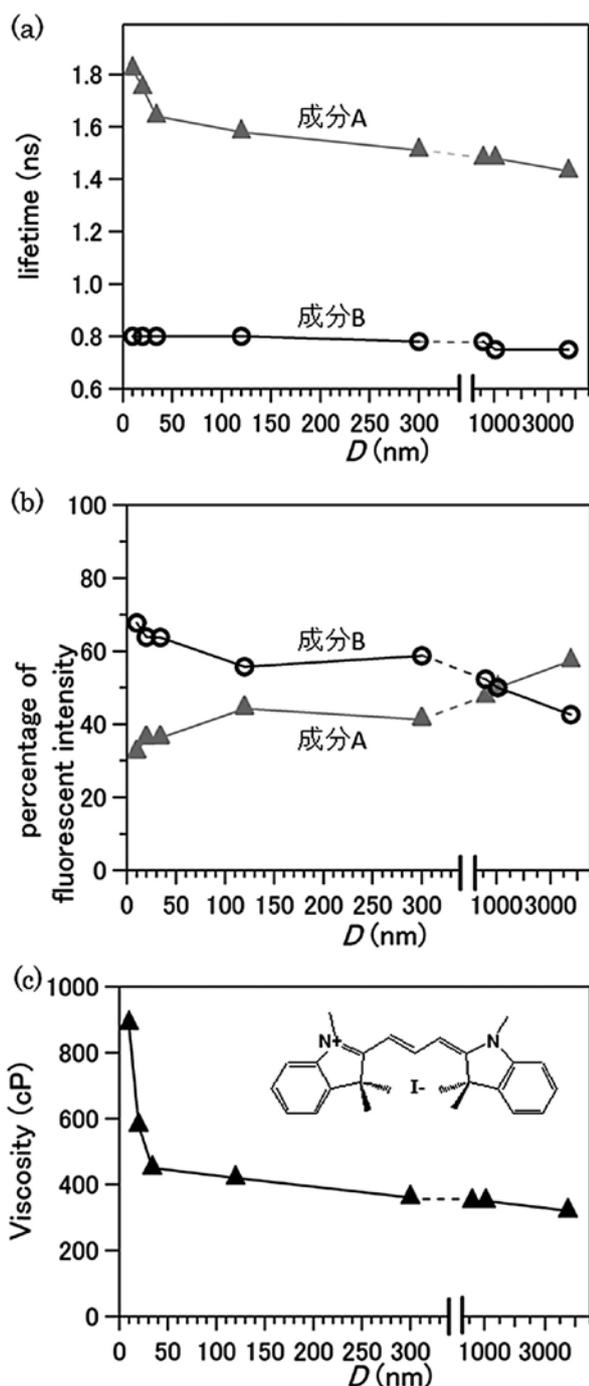


図6 グリセリン中のCy1の蛍光寿命(a), 各成分比(b)およびグリセリンの粘度(c)の表面間距離依存性(c)内挿入図はCy1の分子構造

寿命 τ_A は D の減少に伴い 1.42 から 1.82 ns へと増加したが、速い方の成分 B の蛍光寿命 (τ_B) は D に依存せず一定値 (0.78 ns) となった (図 6 (a)). また成分 A, B の発光強度から、それぞれの成分割合 (a_A , a_B) を求めると、 D の減少に伴い a_A は減少、 a_B は増加し、 $D = 10$ nm では $a_B = 0.73$ まで増加した (図 6 (b)). この結果から、色素分子は成分 A では液膜部分、

成分 B では表面近傍に存在すると考察した. また粘度が既知の液体中における蛍光寿命測定より得られる Cy1 の寿命と粘度との相関関係を用いて、 D の減少に伴って τ_A の変化からグリセリンの粘度をそれぞれ見積もると、 D が 30 nm 以下で急激に 400 cP から 1000 cP 以上に粘度が急激に増加することが分かった (図 6 (c)). 共振ずり測定¹¹⁾ により、同系において粘度評価を行うと 30~10 nm で急激な粘度の増加が確認でき、また得られる粘度の数字も概ね一致したことから、本手法により束縛液体の粘度評価が可能であることが確かめられた.

今後、他の蛍光プローブを用いて溶液 pH や極性の定量評価や、束縛液体内における光化学反応の観測への応用が期待される.

5. おわりに

不透明試料の表面力測定を可能としたツインパス型表面力装置について述べ、さらにその特徴を生かした新規な測定法の開発について述べた. また実際の測定例を基に得られる界面特性について述べた. 今後、これらの測定の特徴を生かして機能材料やトライボ材料、電池等の実用試料界面における特性評価手法としての研究展開が期待される.

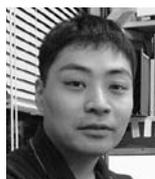
6. 謝 辞

本稿で紹介した著者の研究は、全て所属する東北大学多元物質科学研究所で行われたものである. これらの研究に関わった博士研究員・学生諸氏に御礼申し上げる.

【参考文献】

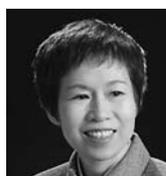
- 1) J. N. Israelachvili 著, 近藤保, 大島広行訳: “分子間力と表面力 第 2 版” (1996), 朝倉書店.
- 2) J. N. Israelachvili, G. E. Adams: *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, **74**, 975 (1978).
- 3) R. M. Pashley, *J. Colloid Interface Sci.* **83**, 531 (1981).
- 4) K. Kurihara, *Advances in Colloid and Interface Sci.* **158** 130 (2010).
- 5) R. G. Horn, and J. N. Israelachvili, *J. Chem. Phys.* **75**, 1400, (1981).
- 6) K. Ueno, M. Kasuya, M. Watanabe, M. Mizukami, K. Kurihara: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **12**, 4066 (2010).

- 7) J. N. Israelachvili, P. M. McGuiggan, A. H. Homola : *Science*, **240**, 189 (1988).
- 8) J. V. Alsten, S. Granick, *Phys. Rev. Lett.* , **61**, 2570 (1988).
- 9) J. Klein, E. Kumacheva, *Science*, **269**, 816 (1995) .
- 10) C. D. Dushkin, K. Kurihara, *Colloids Surf. A*, 129-130, 131 (1997).
- 11) 栗原和枝, *液晶*, **6**, 34 (2002).
- 12) J. L. Parker, *Langmuir*, **8**, 551 (1992).
- 13) P. Frantz, F. Wolf, X. D. Xiao, Y. Chen, S. Bosch, and M. Salmeron, *Rev. Sci. Instrum.* **68**, 2499 (1997).
- 14) A. M. Stewart, *Meas. Sci. Technol.* **11**, 298 (2000).
- 15) H. Kawai, H. Sakuma, M. Mizukami, T. Abe, Y. Fukao, H. Tajima, K. Kurihara : *Rev. Sci. Instrum.*, **79**, 04371 (2008).
- 16) J. Frechette, T. K. Vanderlick, *Langmuir* **17**, 7620 (2001).
- 17) T. Kamijo, M. Kasuya, M. Mizukami, K. Kurihara, *Chem. Lett.* **40**, 674 (2011).
- 18) M. Hegner, P. Wagner, G. Semenza, *Surf. Sci.* **291**, 39 (1993).
- 19) Y. Li, Y. Golan, A. Martin-Herranz, O. Pelletier, M. Yasa, J. N. Israelachvili, C. R. Safinya, *Int. J. Thermophysics*, **22**, 1175 (2001).
- 20) Y. K. Cho, S. Granick, *J. Chem. Phys.* **119**, 547 (2003);
- 21) A. Mukhopadhyay, S. C. Bae, J. Zhao, S. Granick, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 236105 (2004).
- 22) S. C. Bae, H. Lee, Z. Lin, S. Granick : *Langmuir*, **21**, 5685 (2005).
- 23) E. Perret, K. Nygard, D. K. Satapathy, T. E. Balmer, O. Bunk, M. Heuberger, J. F. van der Veen, *EPL*, **88**, 36004 (2009).
- 24) D. Fukushi, M. Kasuya, H. Sakuma, K. Kurihara, *Chem. Lett.*, **40**, 776 (2011).



粕谷 素洋
 東北大学多元物質科学研究所
 助教
 博士 (理学)

- 2006年 東北大学理学研究科 化学専攻
博士課程後期 修了
- 2006年 産業総合技術研究所
計測フロンティア研究部門 特別研究員
- 2008年 東北大学多元物質科学研究所 産学官連携研究員
- 2010年 東北大学多元物質科学研究所 助教 (現職)



栗原 和枝
 東北大学原子分子材料科学高等研究機構・多元物質科学研究所 教授
 博士 (工学)

- 1987年 東京大学大学院工学系研究科
博士課程修了 (工学博士)
- 1987年 科学技術振興事業団
国武化学組織プロジェクトグループリーダー
などを経て
- 1992年 名古屋大学工学部 応用物理科 助教授
- 1997年 東北大学反応化学研究所 教授
- 2001年 東北大学多元物質科学研究所 教授
- 2010年 東北大学原子分子材料科学高等研究機構
教授 (兼任)

第26回日本吸着学会研究発表会開催報告

(独)産業技術総合研究所 遠 藤 明

第26回日本吸着学会研究発表会は、平成24年11月14日(水)、15日(木)の2日間、(独)産業技術総合研究所つくばセンターの共用講堂で開催されました。私にとって初めての経験であること、また沖縄開催の翌年ということで、発表件数・参加者が集まるのか不安も多々ありましたが、おかげ様で好天にも恵まれ、多くの参加者(約150名)をつくばにお迎えし、盛会裡に滞りなく終了することができました。まずは、ご参加いただいた皆様に御礼申し上げます。

研究発表会では、2件の招待講演、26件の口頭発表と40件のポスター発表が行われました。1日目は、午前中に口頭発表6件、午後にはポスターセッション、招待講演1件、口頭発表5件の発表が行われました。招待講演は、本年度奨励賞(カルゴン カーゴン ジャパン賞)受賞者である千葉大学の太場友則氏による受賞記念講演「疎水性ナノ空間中での分子集合構造変化に伴う吸着挙動の解明」でした。口頭発表11件は、カーボン系材料に関するもの3件、PSAに関するもの3件、新たな測定法や解析法を含む基礎的な研究が5件という構成となりました。

ポスターセッションは共用講堂ホワイエを利用して開催しました。学生を除く参加者全員の投票によりポスター賞の選考を行い、最優秀ポスター賞1件、優秀ポスター賞2件を選定しました。ポスター賞の詳細は、受賞者による寄稿があるはずなので省略いたしますが、投票結果はかなりの接戦(1票差で惜しくも次点となったポスターが5件もあった)であり、非常に質の高い発表が多くみられたとの印象を受けました。今回ポスターセッションは2時間で行いましたが、時間的にはもう少し長くてもよいのではないか、との意見も聞かれました。研究発表会がシングルセッションで行われている(これは個人的には非常に良いと思っています)都合上、ポスターセッションにこれ以上時間を掛ける余裕がないことが悩ましいところであります。

夕方には、日本吸着学会総会、奨励賞(カルゴン カーボン ジャパン賞)・技術賞授賞式が行われ、続いて懇親会が、共用講堂の隣の建物にある産総研内のレストランで行われました。予想よりかなり多くの方に参加



(上) 講演会場と (下) 懇親会の様子

していただき、料理や(とくに)お酒が足りなくなるのではないかとハラハラしていましたが、何人かの方々から味も量も満足していただけたと声をかけていただき一安心した次第です。つくば在住10年を超えながら、あまり飲食店環境に詳しくなく、2次会・3次会(?)のオススメスポットをご紹介できなかったこと(実は、この点が昨年の沖縄の夜からの悩みでありました)は申し訳なく思っておりましたが、懇親会終了後は三々五々、つくば中心部にお出かけいただいた様子でした。

2日目は、午前中に口頭発表6件と招待講演1件、午後には口頭発表9件の発表が行われました。招待講演は、前日と同じく本年度奨励賞(カルゴン カーゴン

ジャパン賞) 受賞者である JST-ERATO・京大 iCeMS の松田亮太郎氏による受賞記念講演「多孔性金属錯体の合成と選択的分子吸着機能に関する研究」でした。口頭発表15件の内訳は、メソポーラス・ゼオライト・MOF等に関するもの5件、放射性物質除去に関するもの3件、液相吸着2件、CO₂吸着に関するもの4件でした。ポスター発表も含めると、CO₂吸着に関する発表は9件となり、今回の研究発表会では最も多いトピックとなりました。放射性物質除去技術に関しては、全発表で6件でしたが、学会会員以外の方からの事前問い合わせも非常に多く、CO₂吸着とともに社会的関心が高いテーマであることがうかがわれました。

元々研究発表会の開催は、(本学会に限らずですが)大学の先生が担当するものと勝手に思い込んでいたところに、第24回研究発表会(石巻)の会場にてつくばでの開催を打診され、私自身の経験の無さとスタッフの少なさから無謀ではないかと何度も考えたのですが、非常に多くの方々にご協力いただき、なんとか盛会裏に終えることができて安堵しています。

最後になりましたが、研究会開催にあたり、加納博文運営委員長(千葉大学教授)、吸着学会事務局の児玉先生や歴代実行委員長の先生方には色々ご協力いただきました。また、産総研環境化学技術研究部門化学システムグループのメンバーには、実行委員として事前準備から後片付けまで、尽力していただきました。日本ベル株式会社、マイクロメリテックスジャパン合同会社には企業展示と広告掲載、東ソー株式会社には広告掲載で財政的ご支援をいただきました。ここに記して深く感謝の意を表させていただきます。

第26回日本吸着学会研究発表会ポスター賞

活性炭のミクロ孔内で形成されるカルシウムイオンの水和構造 (ポスター番号：P-10)

岡山大学大学院自然科学研究科
楠戸智子、大久保貴広、板谷篤司、黒田泰重

この度はポスター賞を頂き、大変光栄に存じます。発表の際には多くの方々にポスターを御覧頂くとともに、有意義な御意見を賜りましたこと、心より御礼申し上げます。以下に本研究の概要を紹介させていただきます。

カルシウムイオンは生体内で極めて微細なイオンチャンネルを介して細胞内へ取り込まれます。水和したカルシウムイオンが、それと同程度のサイズの細孔内に吸着した状態を明らかにできれば生物化学の観点からも有益な情報となります。そこで、活性炭のミクロ孔内で形成されるカルシウムイオンの水和構造をCa K吸収端（4038 eV）でのEXAFS測定による構造解析から検討しました。

平均細孔径0.63 nmのピッチ系活性炭素繊維（Activated Carbon Fiber (ACF)）を用い、ACFを1.0 M硝酸カルシウム水溶液に含浸し、303 Kに保った水恒温槽中で24時間以上撹拌しました。その後蒸留水で洗浄、乾燥させてカルシウムイオン（Ca²⁺）を吸着させた試料（ACF-Ca）を得ました。

Ca²⁺は1.0 M硝酸カルシウム水溶液中でACFに対して最大0.262 mmol g⁻¹吸着することがわかりました。また、表面官能基の定量を行った結果、カルボキシル基全てにCa²⁺が化学吸着すると仮定した場合、全Ca²⁺吸着量のうち96% (0.251 mmol g⁻¹)がACFの細孔内に物理吸着していることがわかりました。次に、硝酸カルシウム水溶液、ACF-Caを真空加熱脱気した試料（ACF-Ca-evac）、およびその試料に水を飽和蒸気圧まで吸着させた試料（ACF-Ca-H₂O）のEXAFS測定から得られた動径構造関数をFig. 1に示します。解析結果より、水溶液中での最近接水和数は7.6、原子間距離は0.245 nmでしたが、ACF-Ca-H₂Oではそれぞれ6.4、0.241 nmとなりました。即ち、ACFの細孔内におけるCa²⁺の水和構造は、Ca²⁺と水分子とが強く相互作用した状態であることが明らかとなりました。

最後に、本研究を進めるにあたり御指導を賜りました皆様に深く御礼申し上げます。

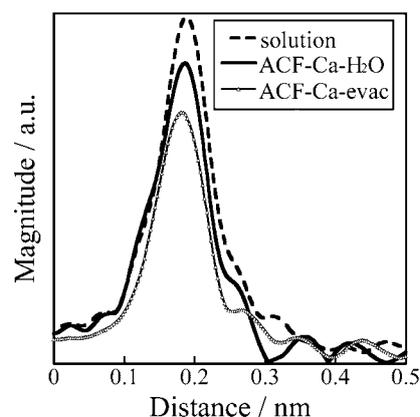


Fig. 1 カルシウムを中心とした動径構造関数

柔らかな多孔性配位高分子を用いたガス分離 (ポスター番号：P-21)

京都大学 物質—細胞統合システム拠点
佐藤弘志、松田亮太郎、北川 進

この度はポスター賞を頂き、大変光栄に存じます。多くの方々に発表ポスターを御覧頂き、有意義な御指摘、御意見を賜りましたこと、心より御礼申し上げます。以下に本研究の概要を紹介させていただきます。

金属イオンと有機配位子との配位結合を基盤として合成される、多孔性配位高分子 (porous coordination polymer: PCP) または金属—有機構造体 (metal-organic framework: MOF) と呼ばれる多孔性材料が近年注目を集めています。特に我々の研究グループでは、構造を柔軟に変化させることで特異な吸着挙動を示すPCP¹⁾を用いたガス分離材料開拓を目的とし、研究を進めています。

今回我々は、二価銅イオン (Cu^{2+}) と様々なイソフタル酸誘導体 (H_2ip) とを組み合わせることにより、新規PCP ($[\text{Cu}(\text{ip})(\text{H}_2\text{O})](\text{guest})_n$) を合成し、まずその構造を単結晶X線構造解析により明らかにしました。銅二核ユニットがipにより架橋されることで構築された二次元シート構造が積層し、細孔径の異なる2種類の1次元チャネルを形成 (Fig. 1) していることがわかりました。これら1次元チャネルへのガス分子吸着特性を明らかにする目的で、様々なガス種に対し吸着等温線測定を行ったところ、多くのガス種がマイクロ孔に特有のI型等温線を与えたのに対し、一酸化炭素 (CO) は、階段状の奇妙な吸着等温線を与えることを発見しました。粉末X線回折—吸着等温線同時測定や CO 吸着状態での結晶構造解析から、 CO が Cu^{2+} に配位することによる局所的な構造変化とそれに伴うPCP骨格全体の構造変化が、階段状等温線の鍵であることを明らかにしました。また、今回得られたPCPのガス分離能を調べる目的で、窒素/一酸化炭素混合ガス ($\text{N}_2/\text{CO} = 50\%/50\%$) からの CO 分離を試みたところ、効率よく CO を濃縮できることがわかりました²⁾。本研究成果は、新たなメカニズムに基づく CO 分離材料開発につながるものと期待しております。

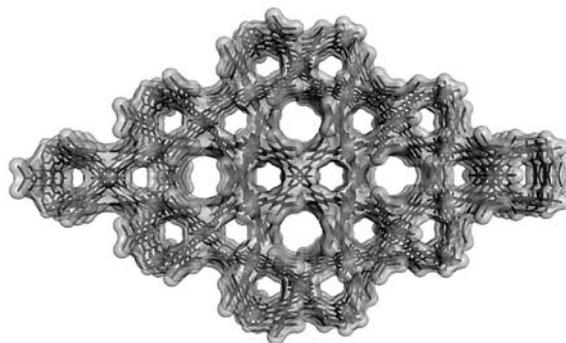


Fig. 1 PCPが与える1次元チャネル構造

[参考文献]

- 1) J. Seo, C. Bonneau, R. Matsuda, M. Takata, S. Kitagawa, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, 9005 (2011).
- 2) H. Sato *et al.* Submitted.

等温線、等圧線測定による細孔内固液相転移現象の解明 (ポスター番号：P-33)

信州大学大学院理工学研究科物質基礎科学専攻
荻野智大、飯山 拓、尾関寿美男

この度は多くの方々に発表ポスターを御覧頂き、貴重なご意見を賜りましたことを厚くお礼申し上げます。以下に本研究の概要を紹介致します。

吸着現象の効率的な利用のためには、微小空間内の分子の挙動についての詳細な理解が必要です。実用上の観点からは吸着等温線だけでなく、吸着量の温度依存性である吸着等圧線と、吸着熱と直接に関連する吸着等量線の情

報が極めて有用です。本研究では吸着等圧線、等量線を直接測定することのできる圧力フィードバック法を用いて、同一の試料の活性炭に対して窒素吸着量を連続的に測定しました。特にバルクの窒素の三重点近傍の温度、圧力において測定を行うことで、細孔内における分子集団の相挙動を検討しました。

60 K ~ 97 K の温度範囲で得た吸着等温線を各温度における液体密度を用いて吸着容量に換算すると、飽和圧力近傍では吸着容量が Gurvitsch 則に従い一致していますが、吸着過程では差が生じることが分かりました。Fig. に各測定で得られた吸着量から Clausius-Clapeyron plot を行い、傾きから得た等量吸着熱の吸着量依存性を示しました。等量吸着熱は三重点を境に明らかに異なっており、▲は三重点以上、■は三重点以下の温度での結果を表しています。この結果は細孔内の窒素分子の相状態を反映していると考えられ、新しい測定方法により可能となった温度を変数とした吸着量測定によって細孔内の分子状態の情報が得られたと言えます。

最後になりますが、本研究を進めるにあたりご指導いただきました飯山先生をはじめとする先生方に深く御礼申し上げます。

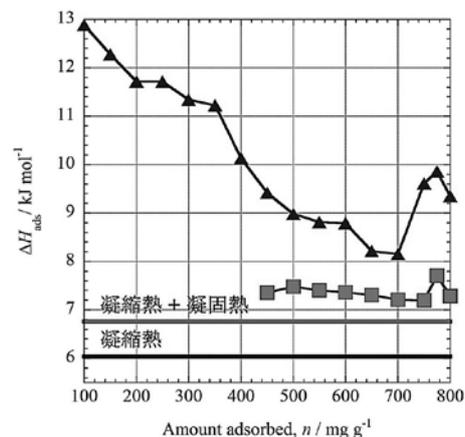


Fig. Amount adsorbed and temperature dependence of isosteric adsorption heat

第21回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）報告

名古屋大学大学院工学研究科 神田 英輝

吸着分野の若手研究者の研究の活性化と交流を目的に、第21回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）が2012年8月24～25日に開催されました。一昨年（前回）の長野県の黒姫高原の山中から変わり、今回は海辺に近い静岡県の熱海にて、周囲で多くの海水浴客が遊んでいるにも拘わらず、脇目もふらず2日間「吸着の海」に浸りました。まず、事前準備や運営にご協力頂きました、運営委員会の先生方、運営委員長の千葉大学加納先生、加納研究室の皆様にご感謝申し上げます。

今回、実行委員長として、「若手の、若手による、若手のためのシンポジウム」を目指して、申込み欄に「20～30代・40代・50代以上」の年齢の項を設けさせて頂きました。この年齢区分の項目の影響かは解りませんが、後にご紹介する講演を依頼した先生方も含めた全ての参加者26名中、20～30代の若手が24名を占めました。また産業分野から6名の方に参加して頂きました。特に、若手参加者の2名（内1名は学生）は、これまで日本吸着学会とは全く縁がない非会員でした。本学会の裾野を僅かでも、広げることができたならば、実行委員長として嬉しい限りです。また、私自身が過去に参加した際に「権威ある先生方の前では、若手の方々が少なからず萎縮してしまう」と感じたことから、御講演も以下の若手の先生方に依頼しました。

依頼講演（以下、敬称略）

佐野紀彰

（京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻 准教授）

大下和徹

（京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 准教授）

大久保貴広

（岡山大学大学院自然科学研究科 地球生命物質科学専攻 准教授）

ご講演内容も、日本吸着学会の設立の理念「産学や専門分野といったバックグラウンドの違いを超えて、吸着の専門家が一堂に会する場」を踏まえるとともに、私自身の「化学工学の教育を受けながら、理学寄りの研究で工学の学位を頂き、産学の狭間で研究・開発してきた」経験から、

化学工学の単位操作の視点からの吸着

衛生工学の現場主義の視点からの吸着

理学のサイエンスの視点からの吸着

という、準備のご負担が大きなテーマをお願いしました。私の「無茶振り」を快く引き受けて下さった先生方に、この場を借りて御礼申し上げます。

また、若手発表として、産・学の違い、実学・科学の違いなど、多様な内容に柔軟に対応するため「発表

時間の自己申告、発表形式の制約無し、発表タイトルも不要」の内容で募集しました。この募集で、産学・理工の分野の方々が、仕事や研究について発表しました。

若手講演（以下、敬称略）

小原裕輝（富士シリシア化学）20分+ディスカッション

Peng Li（電力中央研究所）30分+ディスカッション

沼口遼平（京都大学）30分+ディスカッション

西 政康（岡山大学）15分+ディスカッション

今回のシンポジウムを通して、同じ「吸着」でも、様々な視点や価値観があり、またその根底には異なるバックグラウンドがあることや、日本吸着学会の研究発表会で見聞きする他にも、吸着の世界が在ることを、若手の方々に僅かでも感じ取って頂き、将来、様々な場面で出会う異なる視点や価値観やバックグラウンドの仕事や研究において、吸着に関する知識や経験を応用して頂ければ、実行委員長として嬉しい限りです。

今回の発表会場は和室で行いました。実行委員長として、大学での講義や研究発表会とは異なり、形式に捕らわれない自由な場である事を、体感的にも若手参加者の方々に示したつもりです。また、副次的ですが居眠り防止の効果も現れた様にも思いました。

懇親会も、大広間の和室で行いました。ただ、事前に会場側と「上座や下座を設けない」旨を確認していたはずが、参加者名簿を見た会場側の判断で、上座と下座が設けられてしまいました。これまで産業界でセッティングした際の経験に頼った、私の注意不足でした。上座になってしまった依頼講演の先生方・加納先生・私は、急遽、若手の方々一人一人に注いで回る事にしました。普段は見慣れぬ光景が場を和ませたのか、先生方と若手の方々の距離も縮まった様に思います。懇親会の後も、男子学生の大部屋に場所を移しましたが、若手の方々が明るく会話していたのが印象的でした。

ただし、実行委員長としては、特定の研究室からの参加が目立ったことが残念でした。これは、当日、多くの大学で大学院入試が行われており、「行きたくても行けない」とのご意見と無縁ではないと考えています。今後、運営委員会にて、大学院入試日程の事前調査が行われることを希望致します。また、若手の方々からの質問が少なかったり、発表形式もスライドの応募だけだったり、自主的に座布団を縦横綺麗に並べて座ったり、良くない意味での温和しさを感じました。例えば、企業の方々なら「吸着剤を扱う企業での一日

の仕事内容の紹介、「吸着剤の営業で顧客からこの様なニーズが寄せられたが困っている」、「学生の方々への新人採用PR」といった内容でも、吸着という産業・学術分野の拡大に、十分に寄与できると考えています。若手の先生方も、研究のコラボレーションを模索する場として、活用して頂きたいと思います。まずは、若手の中でも比較的年上の方々が率先して「ミニ研究発表会」を壊さなくてはなりません。例えば、明治時代の学会黎明期に、現代の学会発表の様に、時間制限や発表形式等がフォーマット化されていたのか、疑問に思います。もちろん、現代の学会の研究発表会でフォーマットを無視すれば、発表内容の質が低下する問題が生じます。しかし、研究発表会とは別途設けられた場においては、役割や目的を区別すべきと考えております。大学での授業を連想させる「吸着夏の学校」の名称も、単純に「若手の会」に変更した方が良いでしょうと思います。

最後に、男子学生の大部屋に場所を移した懇親会に私が顔を出したところ、若手の方々が少し静かになっ



てしまい、申し訳なかったと思っています。本稿が掲載される頃、自らが設けた、申込み欄の年齢項「40代」を見つめているはずですが、今後行われる度に、前年以上に威勢の良い若手が参加することを期待して、本稿を終える次第です。

吸着シンポジウム（夏の学校）を振り返って

京都大学 沼口 遼平

夏の学校に参加するのは、2009年に長野の黒姫高原で開かれた会以来の二度目でした。今年の開催地である熱海を訪れたのはこれが初めてだったのですが、新幹線を降りると、思い描いていた通りの観光地然とした空気が流れておりリラックスした気分では会場のホテルへと向かいました。会場は机と椅子のある会議室ではなく畳の敷かれた部屋で、座布団にどっかり腰を下ろして講演を聴くスタイルでした。まごうことなきアラサーの仲間入りをした私の腰が座り疲れを訴えていましたが、講演をされる方やそれを聞いている皆さんとの距離が近く、アットホームな雰囲気の会となつて良かったと思います。

講演においては吸着現象の基礎科学から応用まで様々な内容のお話を聞かせていただきました。参加した先生方が仰っていたように、工業的なプロセスの現場における吸着の研究は現象の解析などの研究に比べ、日本吸着学会で拝聴する機会が比較的小さい様に思いました。この会では基礎から応用までの全体が俯瞰でき、大変勉強になりました。また、私も自身の研究について30分程度の発表時間を頂きました。学生の経験未熟な立場で恐縮ですが、自身のこれまでの発表と比較して、非常に長い時間の発表への挑戦でもあり、発表前には不安もありましたが、幸いなことに無事に終えることが出来ました。さらに、多くの質疑・コメントを頂き、今後の研究のヒントになりました。私が研

究対象とする吸着剤は多孔性配位高分子(PCP, MOF)で、この15年で新たに注目されてきた吸着剤です。このため、実用化に至ったとの話は、まだ少ないのですが、質疑・コメントの中で、さらに研究を深めPCPそのものの実用化を目指すべきとのアドバイスと、研究から得たPCPに関する優れた吸着特性の発現メカニズムの知見を元にして、粘土鉱物などの安価でPCPに似た吸着剤での応用可能性を探究して産業利用すべきという、異なるアドバイスを頂きました。このような幅広い意見を様々な先生方から頂くのは、通常の学会でも中々難しいことで、得がたい経験だったと思います。

このように、研究面についても勉強になった会でしたが、同年代の仲間を増やしていく点でもいい機会でした。通常の学会発表会では、学生にとっては他の大学に仲間がいないため、同じ研究室の人と共に行動することになりますが、こうした機会に一宿一飯を共にし、他の大学で吸着をテーマに研究している仲間を作ることは、今後の研究のモチベーションの向上にも繋がります。また日本吸着学会の研究発表会に参加する動機の一つにもなると思います。「また11月に、つくばで」と言い合って別れた仲間と、次の研究発表会で会おうのを楽しみにしつつ、学んだ知識を生かしながら、今後も研究を続けて行きたいと思っています。

会 告

平成25年度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、副賞ならびに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。

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と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. 略歴（学歴、職歴、研究略歴）、5. 連絡先（住所、電話番号、E-mailアドレスを含む）、6. 受賞対象研究名、7. 研究概要（800字以内）、8. 受賞対象研究に関連する論文、著作等のリスト、9. 代表的な論文等の別刷りあるいはコピー（3件程度）

奨励賞（カルゴン カーボン ジャパン賞）

賞状、副賞ならびに記念品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歳未満の正会員および維持会員である企業等に所属する者とし、3名程度を選考する予定です。選考はおおむね過去5年間に、原著論文、著書、特許、学協会が主催する研究発表会・年会等における口頭発表およびポスター発表、社報、ニュースリリース等により対外的に発表された研究開発の成果に関して行います。

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と業績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（年齢）、3. 所属、4. 略歴（学歴、職歴、研究略歴）、5. 連絡先（住所、電話番号、E-mailアドレスを含む）、6. 受賞対象研究名、7. 研究概要（800字以内）、8. 対象となる業績のリスト、9. 対象となる業績の別刷りあるいはコピー等（5件以内）

技術賞

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。

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（原則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. 連絡先（住所、電話番号、E-mailアドレスを含む）5. 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、6. 実用歴（納入先一覧で可）

●表彰式 2013年秋開催予定の第27回研究発表会期間中に開催予定の2013年度総会の席上で行います。

●受賞講演 学術賞および奨励賞（カルゴン カーボン ジャパン賞）の受賞者は、2013年秋開催予定の第27回研究発表会において、それぞれ特別講演および依頼講演をお願いする予定です。技術賞受賞者は、受賞後に開催される吸着シンポジウム等での講演をお願いする予定です。

●送付先 〒920-1192 金沢市角間町

（問合先）金沢大学理工研究域機械工学系内 日本吸着学会事務局（担当 児玉 昭雄）

（電話：076-264-6472 FAX：076-264-6496 E-mail: jsad@se.kanazawa-u.ac.jp）

●締 切 2013年3月末（事務局必着）

11th International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA11) 参加登録料の援助について

日本吸着学会は、吸着関連分野を研究する学生諸君が、最先端の研究成果について学びながら海外の研究者と直接交流できる国際会議に積極的に出席することを奨励し、将来国際的に活躍する広い視野を持った研究者に成長してもらうことを願って、吸着関係の国際会議に出席し自らの研究成果を発表する大学院学生諸君に、審査の上、参加登録費を援助します。

今回、2013年5月19-24日に米国・ボルチモアで開催される標記会議（FOA11）への参加登録料の援助の募集を下記の要領で行いますので、奮ってご応募下さい。

募集要項（FOA11参加登録費援助）

応募資格：FOA11に出席して自ら研究発表を予定する大学院生で、日本吸着学会学生会員（会員受付は随時行っています）であるもの。ただし、本会以外の団体（学会、法人等、FOA11 Travel Grantsを含む）から援助が見込まれる者あるいはすでに決定している者は除く。

援助の条件：援助を受けられる場合は、以下の事柄を了解していただきます。

1. 本会会員である大学院生にふさわしい、しっかりとした研究発表を行うこと。
2. 本会からの援助は、カルゴンカーボンジャパン賞基金からの参加補助であるので、研究発表の場でそれについて謝辞をすること。
3. 世界各国から集まる優れた研究者の最新の研究について学び、彼等と積極的に交流して、学術・文化に関するより深い知見を得るように努めること。
4. 会議終了後、速やかに参加報告書を提出すること（本会機関紙 "Adsorption News" に掲載予定です）。

援助額：500US\$相当額（総額50万円程度を予定）

申込者多数の場合には、指導教員毎に補助対象学生数を制限する場合があります。

応募方法：下記事項をもれなく記入の上、日本吸着学会事務局にe-mailで送付して下さい。

1. 申請者氏名、2. 会員番号（申請中の場合はその旨明記）、3. 所属・学年、4. 連絡先（住所、所属（研究室名まで記入）、TEL、FAX、e-mailアドレス、5. 指導教員氏名、6. 申込時に発行される受理番号、タイトル

応募先および問い合わせ先：

日本吸着学会事務局 児玉昭雄 e-mail: jsad@se.kanazawa-u.ac.jp

応募締切：2013年2月3日(日) 必着

維持会員一覧

維持会員として、以下の企業各社にご協力を頂いております。

(平成24年12月現在、50音順)

(株)アドール	(株)エア・ウォーター総合開発研究所
大阪ガス(株)	大阪ガスケミカル(株)
オルガノ(株)	カルゴン カーボン ジャパン(株)
(株)キャタラー	協和化学工業(株)
クラレケミカル(株)	栗田工業(株)
興研(株)	(株)重松製作所
システムエンジニアサービス(株)	水ing(株)
スペクトリス(株)マルバーン事業部	(株)西部技研
大陽日酸(株)	谷口商会(株)
千代田化工建設(株)	月島環境エンジニアリング(株)
帝人ファーマ(株)	東京ガス(株)
東ソー(株)	東洋紡績(株)
日本エンバイロケミカルズ(株)	日本たばこ産業(株)
日本ベル(株)	富士シリシア化学(株)
フタムラ化学(株)	マイクロメリティックスジャパン合同会社
三菱重工業(株)	三菱樹脂(株)
ミドリ安全(株)	ユニオン昭和(株)
ローム・アンド・ハース・ジャパン(株)	

編 集 委 員

委員長 黒田 泰重 (岡山大学)

委 員 遠藤 明 (産業技術総合研究所)

大久保貴広 (岡山大学)

神田 英輝 (名古屋大学)

清田 佳美 (東洋大学)

田中 秀樹 (京都大学)

宮部 寛志 (立教大学)

三輪 聡志 (栗田工業株式会社)

向井 紳 (北海道大学)

(五十音順)

Adsorption News Vol. 26 No. 4 (2012) 通巻 No. 103 2013年1月30日発行

事務局 〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学理工研究域 機械工学系 内

Tel : 076-264-6472 Fax : 076-264-6496 E-mail: jsad@se.kanazawa-u.ac.jp

編 集 大久保 貴広 (岡山大学)

Tel & Fax : 086-251-7843 E-mail : ohkubo@okayama-u.ac.jp

ホームページ <http://www.j-ad.org/>

印 刷 〒700-0942 岡山市南区豊成3-18-7 広和印刷株式会社

Tel : 086-264-5888 Fax : 086-262-1525

General Secretary

THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAd)

School of Mechanical Engineering, College of Science and Engineering,

Kanazawa University

Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, JAPAN

Tel : +81-76-264-6472 Fax : +81-76-264-6496

E-mail : jsad@se.kanazawa-u.ac.jp

Editorial Chairman

Professor Yasushige KURODA

Faculty of Science, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku,

Okayama 700-8530 JAPAN

Tel & Fax : +81-86-251-7844 E-mail : kuroda@okayama-u.ac.jp

Editor

Takahiro OHKUBO, Okayama University

Tel & Fax : +81-86-251-7843 E-mail : ohkubo@okayama-u.ac.jp

WWW of JSAd: <http://www.j-ad.org/>