

Adsorption News

Vol. 23, No. 2 (June 2009)

通巻No.89

目 次

- 巻頭言…………… 2
企業の研究開発 川井 雅人

- 第23回日本吸着学会研究発表会のお知らせ…………… 3

- 研究ハイライト…………… 4
水素同位体吸着における量子力学的効果 田中 秀樹

- 技術ハイライト…………… 10
吸着技術を用いたバイオガス有効利用システム開発
関 建司

- 第19回吸着シンポジウム(吸着夏の学校)開催のお知らせ…………… 16

- 国際吸着会議 (FOA10) のお知らせ…………… 17

- 関連学会のお知らせ…………… 20

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻頭言

企業の研究開発

大陽日酸株式会社

川井 雅 人



企業に所属しての研究開発生活も約30年になります
が、ガスの分離・精製と言うきわめて限られた範囲で
吸着技術とかがかかって来ました。最近取り組んだ開発
について紹介しながら感じる所を述べたいと思います。

当社は酸素、窒素、アルゴンを主力商品としていま
すので、空気分離装置は技術の根幹となっています。
ご承知の様に空気分離装置では前処理と称して、空気
を冷却する前に含まれる水分、炭酸ガスを除去する操
作が行われます。この操作を吸着式で行うようになったのは、当社では1961年のことです。当時の研究として、13-Xゼオライトを用いた二酸化炭素除去の優位性が述べられた文献¹⁾が公開されていますが、今でも13-Xゼオライトは全く変わらず使われていますので、ずいぶん意味深い研究であったことが判ります。

1960年代から現在まで、空気中の水、炭酸ガスを除去することについての研究開発は、文字通り世界中で行われ続けてきました。当社は最近前処理吸着器のコンパクト化を意図して、吸着筒内空気流速を従来比2倍化する方法²⁾を開発しました。従来から使われてきた小さい粒子径の吸着剤を使って流速を2倍化すれば、吸着剤充填層の圧力損失が増大して空気圧縮機の電力消費の増大を招くので、粒子径を従来比約3倍とした吸着剤を開発することが大きな鍵となりました。新しい吸着剤を使ったプロセスは、従来法とは発想を変えることでコンパクト化とコストダウンに成功しました。

もう一つの例はやはり空気分離に関して、空気中の微量不純物の除去方法に関するものです。空気中には微量のN₂Oが含まれており、低温下では熱交換器表面などに固化付着して伝熱の妨げになることが知られています。当社はMgイオン交換X型ゼオライトが優れたN₂O吸着能力を持つことを見出し³⁾実用化しました。前処理吸着器において、炭酸ガス除去用の13-Xゼオライトの上にMg-Xを積んでN₂Oを99%以上除去します。大量の空気中に含まれる極微量のガスの除去

は、吸着技術をもっとも有効活用できる分野であり、このN₂O除去はその良い例だと思います。

さてこの二つの開発例は当社にとって大きな意味を持っています。しかし一方は空気中の炭酸ガス除去という極めてありふれた課題ですし、他方は極めて限定的な用途に関するもので、学会で発表をと言う意欲を掻き立てるものはありません。言うまでもなく特許の出願は企業にとって積極的な意味があります。しかし学会での発表となると、その必要性から考えてしまうと言うのが実際のところですね。空気精製にかかわる特許は毎年多くの数が公開になり、それらは私どもの研究意欲を刺激して、新たな開発を生み出すきっかけになっています。学会でも分野を絞った会議があれば自分でも発表をするとともに、同業の発表を聞くことは極めて有意義なことです。数年前に英国でガス精製に関する1日だけの会議がありました。この参加者は約70名で、ほぼ半数が英国以外からの参加者であり、また企業関係者も多かったことを考えると、シンポジウムなどの持ち方に何かヒントがあるように思います。

参考文献

- 1) 生産研究 vol.18, No.7, 181-185 (1966).
- 2) WO2006/137306.
- 3) 特開2003-121070.

川井雅人 大陽日酸株式会社
開発・エンジニアリング本部
山梨研究所 所長

略歴 1972年3月 埼玉大学工学部卒業
1973年4月 日本酸素株式会社入社
2004年10月 大陽日酸株式会社

第23回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

日本吸着学会研究発表会は、昭和62年に豊橋技術科学大学で第1回が開催されて以来、学会員の皆様のリレーによって毎年各地で開催され、吸着分野の学術・技術の向上に貢献してきました。第1回の開催から22年経ち、日本中の開催地をほぼ一巡したことから、豊橋技術科学大学で再返の第1回にあたる第23回発表会を開催することとなりました。今後の日本吸着学会の一層の発展のため、多数の皆様のご参加をお願いいたします。

- 会 期 : 平成21年11月27日(金)、28日(土)
会 場 : 豊橋技術科学大学A棟 (〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
詳細はキャンパスマップ (<http://www.tut.ac.jp/intr/in01/in0113/index.html>) をご参照ください。
- 交 通 : J R 東海道線・東海道新幹線、名鉄本線 豊橋駅下車。豊橋駅2番バスのりばから豊鉄バス「技科大前」行(路線番号34番)、「りすば豊橋」行(35番)、「福祉村」行(36、37番)のいずれかに乗車して「技科大前」下車(所要時間30分、運賃430円)。タクシーの場合、運賃は約3,000円。
- 宿 泊 : 各自で手配をお願いいたします。
- 総合受付 : 豊橋技術科学大学A棟1階ロビー
講演会場 : 豊橋技術科学大学A棟2階A101大講義室
ポスター会場 : 豊橋技術科学大学福利厚生施設内 ひばりラウンジ
- 発表要領 : 口頭発表: 講演15分、質疑5分。ビデオプロジェクター(Power Point)で発表願います。
ポスター発表: 発表時間1時間30分。ポスターボードの掲示可能な範囲は、縦118cm×横88cm。
- 発表申込 : 次の1~5の事項を記入し、E-mail (23kyuchaku@tutms.tut.ac.jp) またはFax (0532-48-5833) でお申込下さい。1. 講演題目、2. 研究者所属機関(略称)、3. 研究者氏名(発表者に○)、4. 希望発表形式(「口頭」、「ポスター」、「何れでも可」のいずれかを指定してください)。希望に添えない場合があります。5. 連絡者(所属、住所、氏名、Tel、Fax、E-mail)
- 要旨集原稿 : A4版1ページに、講演題目、1行あけて所属(略称)、氏名(発表者に○)、1行あけて要旨を1行あたり45字、1段送りで記載し、最下行に連絡先(TEL、FAX、E-mail)を記入してください。原稿はなるべくE-mailの添付書類(MS Word ver.6以上)として、下記実行委員会宛てお送りください。なお、ホームページに原稿のテンプレートを用意しますのでご利用ください。参照できない場合には下記連絡先までお問い合わせください。
- 懇親会 : 11月27日(金) 豊橋技術科学大学福利厚生施設内 ひばりラウンジ(ポスター会場と同じ)
- 参加登録費 : 日本吸着学会・協賛学会会員: 8,000円(官・学)、10,000円(産)、4,000円(学生)
非会員: 10,000円(官・学)、12,000円(産)、4,000円(学生)
上記は当日登録者の登録費です。参加登録費には要旨集代を含みます。下記要領で10月26日までに参加予約をして参加登録費を振り込まれる場合は、上記参加登録費から2,000円減額してください。(要旨集のみ購入の場合は1冊3,000円)
- 懇親会費 : 一般7,000円、学生5,000円。ただし、10月26日までに予約の場合は1000円割引いたします。
- 参加予約申込 : 次の1~3の事項を記入し、下記E-mailまたはFaxでお申込下さい。1. 氏名、2. 所属(勤務先・大学名等、郵便番号、所在地、TEL・FAX番号、E-mailアドレス)、3. 懇親会の参加、不参加。また、お申し込み後は速やかに参加登録費(当日登録費から2000円を引いた額)と懇親会費を下記銀行口座にお振込みください。(振り込み手数料はご負担ください。)
- 銀行口座 : 三井住友銀行 豊橋支店、普通預金、口座番号3520867、口座名義 第23回日本吸着学会研究発表会実行委員会
- 発表申込締切 : 平成21年9月25日(金)(必着)
要旨集原稿締切 : 平成21年10月26日(月)(必着)
参加予約締切 : 平成21年10月26日(月)(必着)
研究発表会ホームページ : <http://23kyuchaku.tutms.tut.ac.jp/>
(逐次更新します。最新情報はホームページでご確認ください。)
- 実行委員会(申込・連絡先):
〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
豊橋技術科学大学工学部物質工学系 松本明彦
E-mail : 23kyuchaku@tutms.tut.ac.jp、TEL : 0532-47-0111 (代表)、FAX : 0532-48-5833

研究ハイライト

水素同位体吸着における 量子力学的効果

Quantum effects on hydrogen
isotopes adsorption

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻

Department of Chemical Engineering, Kyoto University

田中 秀樹
Hideki Tanaka

1. はじめに

近年、重水素 (D)、ホウ素 (^{10}B)、炭素 (^{13}C)、窒素 (^{15}N)、酸素 (^{18}O) などの安定同位体が、工業、医療、ライフサイエンス、地球科学など様々な分野に活用され始めている。しかし、天然存在比が小さく、かつ化学的・物理的性質の差がほとんどない同位体の分離係数は極めて小さく、その分離プラントの規模は大きくならざるを得ない。この同位体分離プラントの小型化・効率化のためには、圧力スウィング吸着 (PSA) やクロマトグラフィーなどによる気体吸着法が有効であると考えられ、水素同位体、 $^{13}\text{CH}_4$ 、 ^{13}CO 、 $^{13}\text{CO}_2$ などの分離・製造法に関する特許取得件数も多い。しかし、現在までのところ、PSA などによる同位体分離が工業的に実用化された例は少ないようである。その原因の一つに、同位体分子の吸着挙動に関する知識の欠如が挙げられる。事実、気体吸着における同位体効果 (分子の量子化によって生じる種々の量子力学的効果) に関する研究が行われるようになったのは比較的最近のことである¹⁻¹⁰⁾。

例えば、水素のように質量の小さな分子は、低温下において原子核が量子化され、古典的な取扱いが不可能となる。その量子力学的効果は、一対の分子間に働く相互作用ポテンシャルの減少、および平衡分子間距離の増大に帰結する。このような量子流体がナノ細孔内に制約された場合の挙動については研究例が少なく、低温下での分子吸着を理解する上で残された重要な課題の一つと言える。量子流体の吸着において生じる量子力学的効果を定量的に議論するためには、古典力学的に分子間相互作用が等しい同位体を対象とすれば良い。そこで本研究では、ナノ細孔への水素同位体吸着における量子力学的効果の差異に着目し、分子シミュレーションと吸着実験とを併用することによって、その現象の理解を試みた。

2. 理論・シミュレーション

2.1. 経路積分法と Feynman-Hibbs の有効ポテンシャル

水素やその同位体のように質量の小さな分子では、系の温度が低くなるとその並進運動が量子化される。このような量子系に対する分子シミュレーションでは Feynman の経路積分法^{11,12)} が用いられる。 N 個の分子からなる量子系は、互いに力の定数 $mP/(\beta\hbar)^2$ のバネで結ばれた P 個のビーズからなる N 個の閉じたポリマー分子 (ネックレス) の系に近似され、そのカノニカルアンサンブル分配関数 Q は以下のように表される。

$$Q = \frac{V^N}{N!} \left(\frac{mP}{2\pi\beta\hbar^2} \right)^{3NP/2} \int ds_1 \cdots ds_N \exp[-\beta(U^{\text{int}} + U^{\text{ext}})] \quad (1)$$

ここで、 V : 体積、 $\beta = 1/k_B T$ 、 k_B : ボルツマン定数、 T : 温度、 $\hbar = h/2\pi$ 、 h : プランク定数、 s_i はネックレス i の位置、配向を表すベクトルである。 U^{int} はネックレスの分子内ポテンシャルであり、以下のように表される。

$$U^{\text{int}} = \frac{mP}{2(\beta\hbar)^2} \sum_{a=1}^P \sum_{j=1}^N |r_i^a - r_j^a|^2 \quad (2)$$

また、分子が固体表面との相互作用を受ける時、ネックレスが受ける外部相互作用ポテンシャル U^{ext} は以下のようになる。

$$U^{\text{ext}} = \frac{1}{P} \sum_{a=1}^P \sum_{i=1}^N \phi_{\text{ff}}(r_{ij}^a) + \frac{1}{P} \sum_{a=1}^P \sum_{i=1}^N \phi_{\text{st}}(r_i^a) \quad (3)$$

ここで、 r_i^a : ネックレス i が持つ a 番目のビーズの位置座標、 $\phi_{\text{ff}}(r_{ij}^a)$: ネックレス i および j において同じ番号 a を持つビーズ間に働く古典的相互作用ポテンシャル、 $\phi_{\text{st}}(r_i^a)$: ビーズ a と固体表面との古典的相互作用ポテンシャルである。各ビーズは量子系の存在確率を反映したものであり、ビーズの空間的広がりが分子の位置不確定性を表す。また、(1)式は $P \rightarrow \infty$ の極限において正しい関係式となるが、 $T = 4.2 \text{ K}$ におけるヘリウム原子 (熱 de Broglie 波長 $\lambda = 0.43 \text{ nm}$) では $P = 100$ 、また $T = 20 \text{ K}$ における水素分子 ($\lambda = 0.28 \text{ nm}$) では $P = 30$ 程度が用いられる。このように、(1)式に基づいた分子シミュレーションでは計算コストが極めて高くなる。一方、 77 K における水素分子の熱 de Broglie 波長は、 $\lambda = 0.14 \text{ nm}$ と分子サイズの約半分となるため、より簡便な取り扱いが可能となる。すなわち、ビーズの確率密度関数としてガウス分布を仮定し、これを古典的な分子間相互作用ポテンシャル $\phi(r)$ に対して重畳積分すると Feynman-Hibbs の有効ポテンシャルが得られる¹¹⁻¹³⁾。

$$\phi_{\text{GFH}}(r) = \left(\frac{6m_r}{\pi\beta\hbar^2} \right)^{3/2} \int du \phi(|u+r|) \exp\left(-\frac{6m_r}{\beta\hbar^2} u^2\right) \quad (4)$$

m_r は一対の量子分子の換算質量 ($m_r = m/2$) である。また、(4)式を 2 次まで展開すると以下のようになる。

$$\phi_{\text{FH}}(r) = \phi(r) + \left(\frac{\beta\hbar^2}{24m_r} \right) \nabla^2 \phi(r) \quad (5)$$

この式の右辺第 2 項は量子力学的な補正項であり、温度と分子の質量に依存して、 ϕ よりもポテンシャルミニマムが浅く、かつ平衡分子間距離が長くなるような

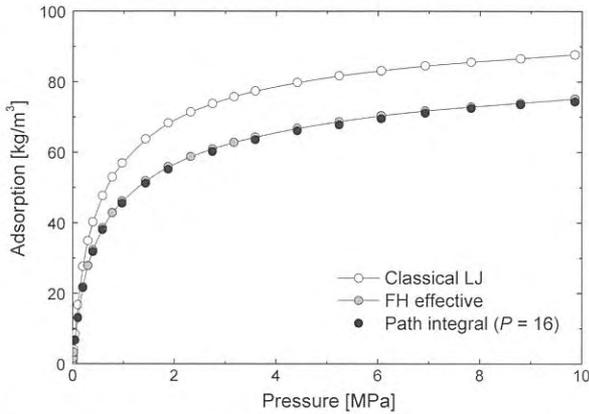


図1 GCMCシミュレーションによるカーボンスリット細孔($H = 1.26$ nm) への H_2 吸着等温線 (77 K)

寄与をする。この(5)式によって、一対の量子分子間の相互作用を記述することが可能となる。また、分子-固体間相互作用の計算では、各固体原子が化学結合によって固定され、かつその全体の質量が極めて大きい場合、 $m_r = m$ とすれば良い ($1/m_r = 1/m + 1/\infty$)。この(5)式は、古典的なLennard-Jones (LJ) ポテンシャルの計算コストに比べて大差なく、また基本的なLJ流体のシミュレーションコードにも組み込みやすい。図1には古典的なLJ水素、Feynman-Hibbsの有効ポテンシャル (5)式) による量子LJ水素、および経路積分法による量子LJ水素をモデルとし、グランドカノニカルモンテカルロ (GCMC) シミュレーションによって得られたカーボンスリット細孔への吸着等温線(77 K)を示す。用いたLJパラメーターは、 $\sigma_{ff} = 0.296$ nm, $\varepsilon_{ff}/k_B = 34.2$ K (H_2-H_2)、 $\sigma_{sf} = 0.318$ nm, $\varepsilon_{sf}/k_B = 30.945$ K ($C-H_2$) であり、細孔のスリット幅 H は1.26 nmである。また、経路積分法において $P = 16$ とした。Feynman-Hibbsの有効ポテンシャルによる量子LJ水素の吸着等温線は、その近似的手法にも関わらず、経路積分法に極めて良く一致しており (誤差2%未満)、その妥当性は明らかである。また、量子LJ水素の吸着量は、古典LJ水素に対して14% (圧力10 MPa) 小さくなっており、77 Kにおいてすら量子効果が極めて顕著であることが分かる。ここで、古典LJ水素、Feynman-Hibbsの有効ポテンシャルによる量子LJ水素、および経路積分法による量子LJ水素の各吸着等温線は、それぞれ全く等しい化学ポテンシャルにおいて計算し、図1に示した圧力は、以下に述べるFeynman-Hibbsの有効ポテンシャルによるバルク量子LJ水素の状態方程式から便宜的に計算している。

2.2. バルク水素の状態方程式

バルク水素の状態方程式は、カノニカルモンテカルロ (MC) 法によって求め、その化学ポテンシャルはMC法にWidomの粒子挿入法を適用することによって計算した。分子間相互作用ポテンシャルにはLJポテンシャル、およびFeynman-Hibbsの有効ポテンシャルを用い、LJパラメーターには $\sigma_{ff} = 0.296$ nm, $\varepsilon_{ff}/$

$k_B = 34.2$ Kを使用した。図2にはMCシミュレーションによって得られた298 Kおよび77 Kにおける水素の密度-圧力曲線を、パラ水素に対する実験結果¹⁴⁾と比較している。298Kでは古典LJ水素、量子LJ水素共に広い密度範囲において実験結果と良く一致しており、使用した相互作用パラメーターが極めて妥当であることを示唆している。一方、77 Kでは量子力学的効果が顕著となり、密度53 kg/m³における古典LJ水素と量子LJ水素の圧力差は29%にも達する。この圧力差は密度の減少に伴って小さくなることから、いわゆる量子力学的効果は、系の温度と密度に依存することが分かる。そして、量子LJ水素は実験値と非常に良い一致を示していることから、Feynman-Hibbsの有効ポテンシャルを用いることによって、バルク水素流体における量子力学的効果を適切に表現可能である事が分かる。

2.3. 水素同位体分離

系の温度が低くなると、量子力学的効果によって水素の物理吸着量は古典水素よりも小さくなることは既に述べた。それでは、 H_2 と D_2 の吸着挙動において顕著な違いは生じるだろうか? 図3は、カイラル指数が(10,10)の単層カーボンナノチューブ (SWNT) バンドルのICサイトにおける H_2 および D_2 の相互作用ポテンシャルを計算したものである。(10,10) ナノチューブ (直径1.36 nm) のモデルとしては、無限に長く、かつ一様な2次元固体密度 ρ_s (36.2 nm⁻²) を持つ一枚壁のシリンダーを仮定し、(5)式を積分することによって相互作用ポテンシャルを求めた。LJパラメーターは、 H_2 ($m = 0.332 \times 10^{-26}$ kg), D_2 ($m = 0.664 \times 10^{-26}$ kg) 共に等しい値を用いている ($\sigma_{sf} = 0.318$ nm,

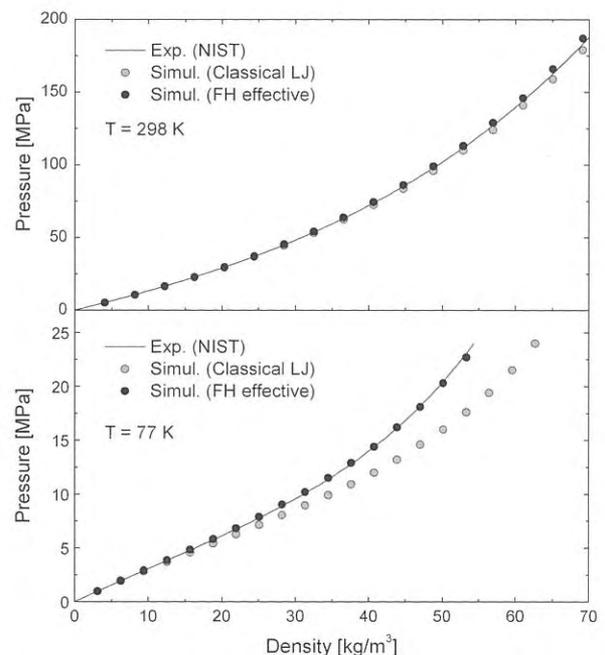


図2 MCシミュレーションによるバルク水素の圧力-密度曲線と実験結果との比較

$\varepsilon_{st}/k_B = 30.945$ K)。図3より、同じLJパラメーターを用いているにも関わらず、77 Kでは質量の大きなD₂の方がH₂よりもポテンシャルミニマムが深く(約70 K)、ICサイトとの相互作用が大きくなっていることが分かる。このICサイトへのH₂およびD₂吸着等温線(77 K)を、Feynman-Hibbsの有効ポテンシャルを用いたGCMCシミュレーション(FH-GCMC)により求めたものが図4である。図3から予想されるように、D₂の平衡吸着量はH₂よりも常に大きく、そのH₂/D₂吸着量比は圧力 1.6×10^{-7} MPaにおいて0.38、圧力0.1 MPaにおいて0.85となっている。このように、77 Kですら水素同位体吸着における量子力学的効果は顕著であり、H₂とD₂の混合気体吸着ではD₂が細孔内に濃縮されることが予想される。

MyersらのIdeal Adsorbed Solution Theory (IAST)¹⁵⁾によると、単一成分の吸着等温線を用い、混合気体の吸着等温線および分離係数を予測することが出来る。IASTは理想溶液におけるRaoult則を気体吸着に応用したもので、バルク気相中における成分*i*のモル分率*y_i*と、吸着相のモル分率*x_i*の間に次のような関係を仮定する。

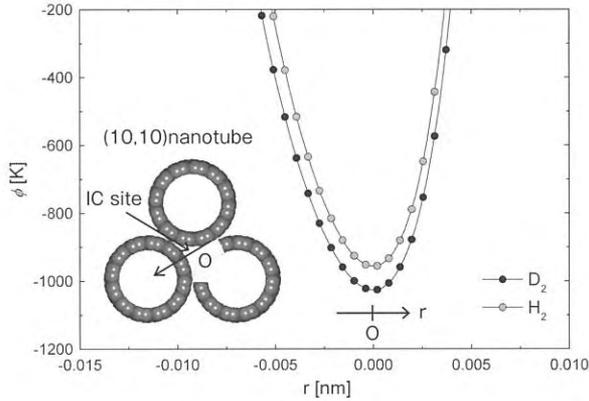


図3 (10,10)ナノチューブバンドルのICサイトにおける水素同位体分子-固体間相互作用ポテンシャル(77 K)

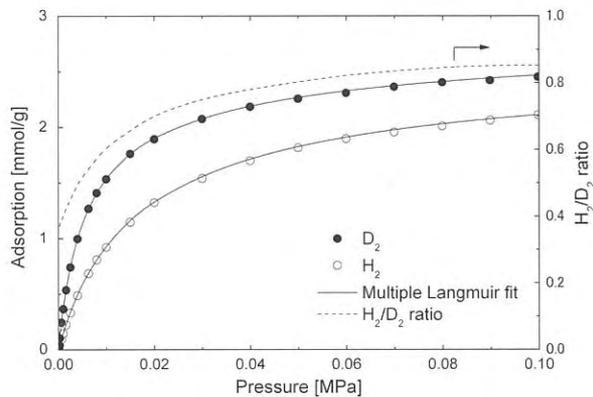


図4 FH-GCMCシミュレーションによる(10,10)ナノチューブバンドルのICサイトへのH₂およびD₂吸着等温線(77 K)

$$p_i y_i = p_i^0(\Pi) x_i \quad (6)$$

ここで、 p_i は混合気体の全圧である。また、 Π は混合気体の細孔内への拡散圧力であり、単成分吸着等温線における吸着量*n_i*および圧力*p_i⁰*によって以下のように表される。

$$\Pi(p_i^0) = (\beta A_p)^{-1} \int_0^{p_i^0} n_i(p) d \ln p \quad (7)$$

R は気体定数、 A_p は細孔の表面積である。ここで、単成分吸着等温線*n_i*が*m*本のLangmuir式の重ね合わせで表されると仮定すると、拡散圧力 Π は次のように計算することが出来る。

$$n_i(p_i^0) = \sum_{k=1}^m \frac{c_{ik} b_{ik} p_i^0}{1 + b_{ik} p_i^0} \quad (8)$$

$$\Pi(p_i^0) = \sum_{k=1}^m (\beta A_p)^{-1} c_{ik} \ln \left(1 + b_{ik} p_i^0 \frac{y_i}{x_i} \right) \quad (9)$$

b_{ik} , c_{ik} は定数である。(9)式の右辺は、全ての成分について等しい値 Π を持つことから、2成分系の気相吸着においては、以下の非線形方程式*f(x₁)*をNewton-Raphson法などによって解けば良い(但し、 $x_1 + x_2 = 1$ および $y_1 + y_2 = 1$)。

$$\sum_{k=1}^m \left[c_{1k} \ln \left(1 + b_{1k} p_1 \frac{y_1}{x_1} \right) - c_{2k} \ln \left(1 + b_{2k} p_1 \frac{y_2}{1 - x_1} \right) \right] = 0 \quad (10)$$

ここで、成分1に対する成分2の分離係数を以下のように定義する。

$$S(2/1) = \frac{x_2/x_1}{y_2/y_1} \quad (11)$$

図5aには、FH-GCMCシミュレーションによって得られた(10,10)ナノチューブバンドルのICサイトへの単成分水素同位体吸着等温線(77 K)に対して(8)式をフィッティング($m = 2$)、(10)式によりH₂-D₂混合吸着等温線および各成分吸着等温線を求めた結果を示す(バルク混合気体のモル分率H₂:D₂ = 1:1として計算)。また、得られたD₂の分離係数*S(D₂/H₂)*を図5bに示す。さらに、同一の(10,10)ナノチューブモデルへのH₂-D₂混合吸着等温線をFH-GCMCシミュレーションによって直接求め、得られた吸着等温線および分離係数を図5aおよび図5bに示している。この混合吸着FH-GCMCシミュレーションでは、混合気体成分の化学ポテンシャルをそれぞれ指定し、通常のGCMC法における試行(移動、挿入、削除)の他に、分子種の交換試行を行っている。IAST法では理想溶液を仮定しているために、成分分子間における相互作用が大きい場合、予測値にずれを生じる可能性がある。しかし、図5aおよび図5bによると、IASTおよび混合吸着FH-GCMCによる結果は良い一致を示しており(誤差1.7%未満)、77 Kにおける低圧力吸着ではIAST法によって十分精度良く水素同位体の分離係数を求めることが可能と言える。ちなみに、この(10,10)ナノチューブバンドルのICサイトによるD₂の分離係数*S(D₂/H₂)*は2.8を超えており、液体水素の深冷蒸留法による分離係数1.5(温度24 K、圧力250 kPa)の約2倍となる。この大きな分離係数は、(10,10)ナノチューブ内側において分子のアクセス可能な有効内径が約

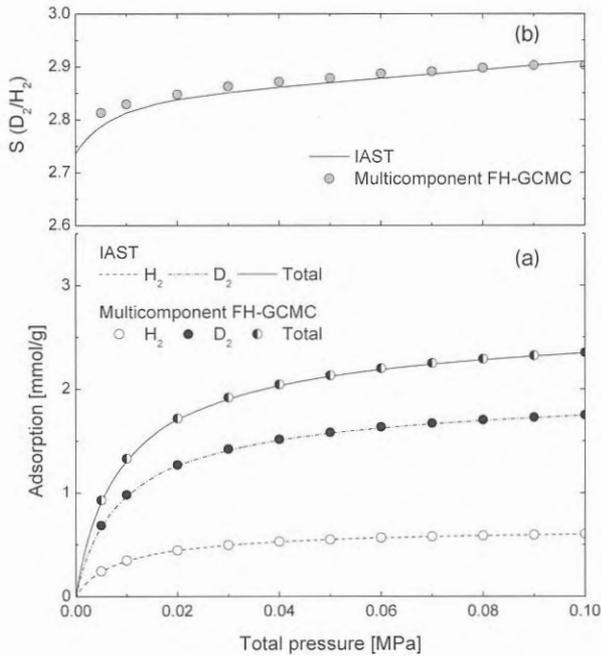


図5 (a) 単成分水素同位体吸着等温線 (77 K, FH-GCMC) からIAST法により計算された H_2 - D_2 混合吸着等温線 (バルク混合気体のモル分率 $H_2 : D_2 = 1 : 1$)、および2成分混合吸着FH-GCMCシミュレーションによって直接求めた混合吸着等温線の比較、(b) IAST法および2成分混合吸着FH-GCMCシミュレーションから計算した $S(D_2/H_2)$

1.0 nmであるのに対して、ICサイトの有効径は< 0.3 nmであり、水素分子の古典的なサイズパラメータ $\sigma_{ff} = 0.296$ nmにほぼ等しいことによる。すなわち、非常に狭いICサイトにおいて、 D_2 よりも (量子効果が大きく) 有効半径の大きな H_2 の吸着が選択的に阻害される、いわゆる量子分子篩が発現していることが分かる。

3. 水素同位体の吸着実験・シミュレーション

3.1. 各種ナノ多孔体への水素同位体吸着

単相カーボンナノホーン(SWNH)は直径2-5 nmのチューブ状物質であり、コーン状のキャップによって閉じられた構造を持つ。このas-grownのSWNH(as-SWNH)を酸素気流下693 Kで加熱すると開孔させることができる(ox-SWNH)。従って、as-SWNHおよびox-SWNHへの吸着等温線を測定し、両者の差を取るとSWNH内部についての吸着等温線が得られる。図6 a)に実験によって得られたSWNH内部への H_2 および D_2 吸着等温線 (77 K)を示す。水素の吸着量は常に重水素よりも小さくなり、圧力0.1 MPaにおいて H_2/D_2 吸着量比は0.915となっている。また、図6 b)に示したSWNHモデルを用いてFH-GCMCシミュレーションを行ったところ、比較的単純化したモデルを用いているにもかかわらず実験結果と良い一致が得られた(図6 a)。さらに、吸着実験およびシミュレーションによって得られた H_2/D_2 吸着量比の圧力依存性は極めて良い一致を示している(図7)。ここで、FH-GC-

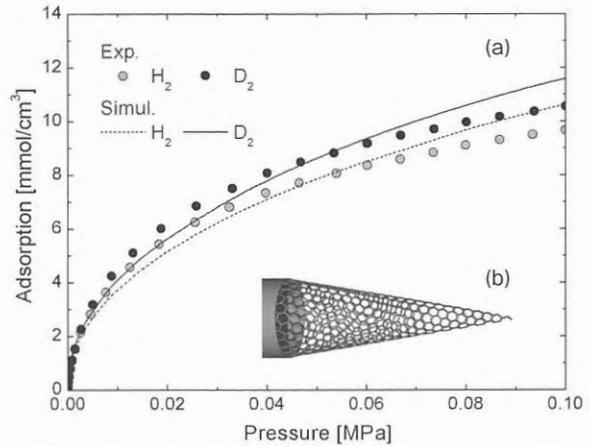


図6 (a) FH-GCMCシミュレーションおよび実験によるSWNHへの H_2 および D_2 吸着等温線 (77 K)、(b) SWNHモデル

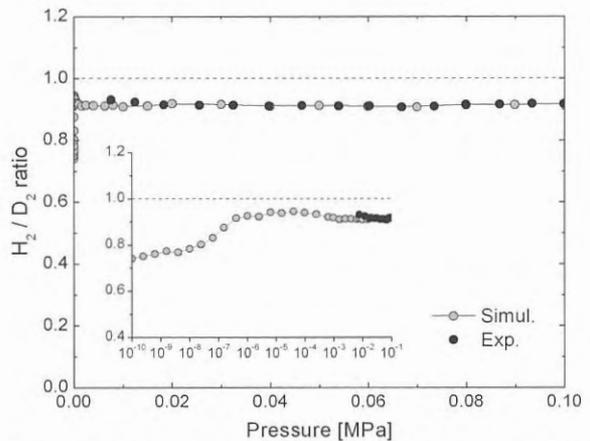


図7 FH-GCMCシミュレーションおよび実験によるSWNHへの H_2/D_2 吸着量比の圧力依存性 (77 K)

MCシミュレーションでは、 H_2 と D_2 について同じLJパラメーター ($\sigma_{ff} = 0.296$ nm, $\epsilon_{ff}/k_B = 34.2$ K)を用いており、その吸着量の差は量子力学的効果にのみ依存する。従って、吸着実験において観測された H_2 と D_2 の吸着量の差は、量子力学的効果の差に帰することができる。さらに、FH-GCMCシミュレーションによると、SWNHの狭い先端部への吸着 (圧力 10^{-10} MPa)において H_2/D_2 吸着量比は更に小さくなっており(0.74)、水素吸着における量子力学的効果がナノ細孔のサイズに依存することを示唆している。

多孔性アルミノフォスフェイト $AlPO_4-5$ はシリンダー状のマイクロ細孔 (~0.73 nm)を持ち、そのマイクロ細孔は隣り合う細孔との接続が無いために一次元的で、かつ細孔表面は酸素原子により構成される中性表面であるためにモデル物質として非常に適している。そこで図8に示す $AlPO_4-5$ モデルを用い、 H_2 および D_2 吸着等温線をFH-GCMCシミュレーションによって求めた。図9にはFH-GCMCシミュレーションにより得られた $AlPO_4-5$ への H_2 および D_2 吸着等温線 (77 K)

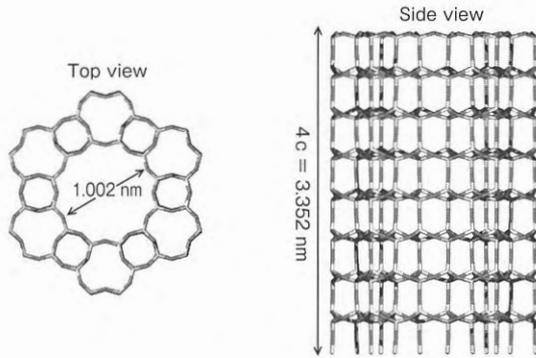


図8 AIPO₄-5モデル

を吸着実験結果と共に示す。ここで、吸着分子とAIPO₄-5のフレームワークとの相互作用についてはKiselveら¹⁶⁾に従い、吸着分子とフレームワーク中の酸素原子との相互作用(LJポテンシャル)のみを考慮した。また、酸素原子のLJパラメーター σ_{ss} にはMarisら¹⁷⁾の $\sigma_{ss} = 0.347$ nmを用い、 ϵ_{ss} については実験によるD₂吸着等温線を良く再現するようフィッティングを行っている($\epsilon_{ss}/k_B = 65.835$ K)。一方、H₂のFH-GCMCシミュレーションでは質量を除き、D₂と全く同一のパラメーターを用いているが、実験結果と非常に良く一致していることが分かる(圧力0.1 MPaにおけるH₂/D₂吸着量比、実験:0.906、シミュレーション:0.905)。このことは、Feynman-Hibbsの有効ポテンシャルを用いることにより、量子分子吸着(77 K)における量子力学的効果を極めて正確に導入可能であることを示唆している。

SWNH, AIPO₄-5の他、金属カチオンに有機分子が配位した多孔性配位高分子 [(Cu(4,4'-bipyridine)₂(CF₃SO₃)₂)_n (以下、CuBOTf) への水素同位体吸着についても、実験・シミュレーションの両面から検討を進めており、また、ギフォード-マクマホン冷凍機を搭載したクライオスタットを開発し、77 K以下の低温度においても吸着測定を行っている。表1には、実験およびシミュレーションによって得られた各種ナノ多孔体のH₂/D₂吸着量比(0.1 MPa)を示す。先に述べたように、FH-GCMCシミュレーションによって得られた77 KにおけるSWNHおよびAIPO₄-5のH₂/D₂吸着量比は実験結果に非常に良く一致しているのに対し、CuBOTfでは実験結果の方が若干H₂/D₂吸着量比が小さくなっている。この理由は未だ明らかとなっていないが、CuBOTfのフレームワークの構造変化や、CuBOTfの複雑な細孔構造に起因する細孔内拡散の阻害などが考えられる。一方、温度40 Kでは、

表1 各種多孔体におけるH₂/D₂吸着量比(圧力0.1 MPa)

| | 77 K | | | 40 K | |
|--------|-------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | SWNH | AIPO ₄ -5 | CuBOTf | AIPO ₄ -5 | CuBOTf |
| Exp. | 0.915 | 0.906 | 0.877 | 0.852 | 0.857 |
| Simul. | 0.917 | 0.905 | 0.922 | 0.927 | 0.923 |

AIPO₄-5, CuBOTf共に実験結果を再現できていない。この原因としては、近似的なFeynman-Hibbsの有効ポテンシャルによる取り扱いが、量子力学的効果の顕著な温度40 Kにおいて、もはや不可能であることが挙げられる。本件については、今後、より厳密な経路積分法による検討を進めていく予定である。

3.2. 各種ナノ多孔体による水素同位体分離

図10は、SWNTの内部とカーボンスリット型細孔への水素同位体吸着についてFH-GCMCシミュレーション(77 K)を行い、得られた各単成分吸着等温線からIAST法により $S(D_2/H_2)$ を求め、その細孔径依存性を示したものである(圧力 $P_t = 10^{-4}$ MPa, バルク混合気体のモル分率H₂:D₂=1:1として計算)。細孔径が0.7 nmよりも大きくなると、細孔の形状によらず $S(D_2/H_2)$ の値は1.12に漸近し、分離係数はほぼ一定値を取ることが分かる。これは、細孔径が分子サイズの二倍以上であるために、吸着分子が空間的制約を受けることなく細孔壁表面に吸着するためである。

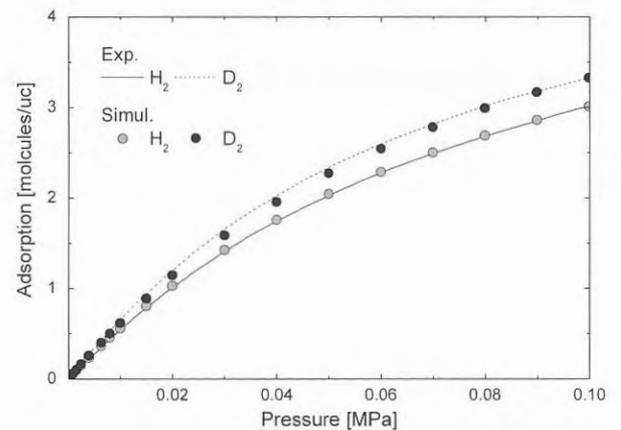


図9 FH-GCMCシミュレーションおよび実験によるAIPO₄-5へのH₂およびD₂吸着等温線(77 K)

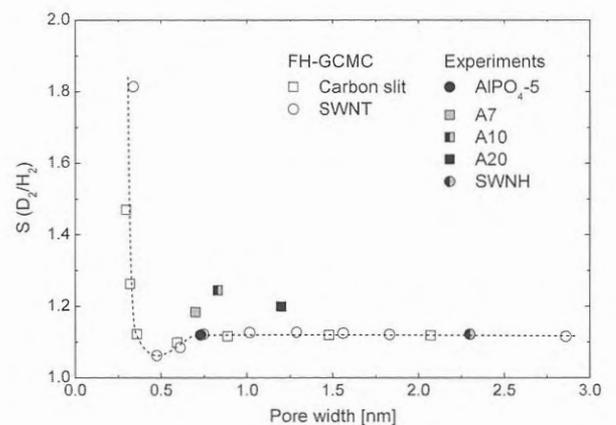


図10 FH-GCMCシミュレーションによるSWNT内部およびカーボンスリット型細孔への単成分水素同位体吸着等温線(77 K)からIAST法により計算された $S(D_2/H_2)$ 、および実験結果からIAST法により求めた各種ナノ多孔体の $S(D_2/H_2)$ の比較(圧力 10^{-4} MPa)

しかし、細孔径が0.5 nmとなると分離係数は減少する。この時、分子-固体間相互作用ポテンシャルにおいて、D₂とH₂間の差が最も小さくなっている。すなわち、量子力学的効果によってD₂よりも有効分子径が大きいH₂分子において、分子-固体間相互作用ポテンシャルの重ね合わせによる寄与が大きくなっていると考えられる。さらに細孔径が分子サイズに近くなると量子分子篩によって分離係数は急激に増大するが、同じ細孔径でもナノチューブの方がスリット型細孔よりも大きな分離係数を持つ。これは、スリット型細孔では一次元方向についてののみ吸着分子の配置（並進運動）が制約されるのに対して、ナノチューブ内部では二次元方向（半径方向）に吸着分子が制約されるためであり、水素同位体分離材料を開発する上で一つの設計指針となると考えられる。また、図10には、SWNH、AlPO₄-5、活性炭素繊維ACF（A7, A10, A20）に対する吸着実験により得られた水素同位体吸着等温線（77 K）から、IAST法によって求めたS(D₂/H₂)を示している。SWNHおよびAlPO₄-5のS(D₂/H₂)は共に、シミュレーションによって得られたS(D₂/H₂)のマスターカーブに良く一致しており、S(D₂/H₂)は細孔壁の構成原子に依存しないことが分かる。一方、ACFのS(D₂/H₂)は、いずれもマスターカーブから大きく外れている。この原因としては、大きなS(D₂/H₂)を持つウルトラマイクロ孔が各ACFに存在していることが挙げられる。特に使用したACFの中では、A10が最も大きなウルトラマイクロ孔容量を有していると予想される。このことは、ACFの賦活メカニズムを考える上で興味深い結果と言える。また、水素同位体吸着測定によるS(D₂/H₂)の評価は、分子篩炭素などの細孔構造解析法の一つとして利用可能ではないかと考えている。

4. ま と め

水素同位体吸着における量子力学的効果について、分子シミュレーションと吸着実験の両面からアプローチすることによって得られた知見について紹介した。本稿のような量子流体の吸着に関する研究例はまだ比較的少なく、分子シミュレーションによる研究が先行した状況にある。今後も、この分野の進展に寄与し、少しでも吸着の科学・工学に貢献できるよう努力して行きたい。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究 (B) (No.17710091およびNo. 19750113) の支援による。

[参考文献]

- 1) Q. Wang and J. K. Johnson: *Mol. Phys.* **95**, 299 (1998) .
- 2) F. Darkrim and D. Levesque: *J. Chem. Phys.* **109**, 4981 (1998) .
- 3) G. Stan and M. W. Cole: *J. Low. Temp. Phys.* **110**, 539 (1998) .
- 4) Q. Wang, S. R. Challa, D. S. Sholl, and J. K. Johnson: *Phys. Rev. Lett.* **82**, 956 (1999) .
- 5) H. Tanaka, M. El-Merraoui, T. Kodaira, and K. Kaneko: *Chem. Phys. Lett.* **351**, 417 (2002) .
- 6) H. Tanaka, H. Kanoh, M. El-Merraoui, W. A. Steele, M. Yudasaka, S. Iijima, and K. Kaneko: *J. Phys. Chem. B* **108**, 17457 (2004) .
- 7) H. Tanaka, H. Kanoh, M. Yudasaka, S. Iijima, and K. Kaneko: *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 7511 (2005) .
- 8) H. Tanaka, J. Fan, H. Kanoh, M. Yudasaka, S. Iijima, and K. Kaneko: *Mol. Simul.* **31**, 465 (2005) .
- 9) Y. Hattori, H. Tanaka, F. Okino, H. Touhara, Y. Nakahigashi, S. Utsumi, H. Kanoh, and K. Kaneko: *J. Phys. Chem. B* **110**, 9764 (2006) .
- 10) D. Noguchi, H. Tanaka, A. Kondo, H. Kajiro, H. Noguchi, T. Ohba, H. Kanoh, and K. Kaneko: *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 6367 (2008) .
- 11) R. P. Feynman and A. Hibbs: *Quantum mechanics and path-integrals* (McGrq-w-Hill, New York 1965) .
- 12) R. P. Feynman: *Statistical mechanics* (Benjamin, New York 1972) .
- 13) L. M. Sese: *Mol. Phys.* **81**, 1297 (1994) .
- 14) E. W. Lemmon, M.O. McLinden, and D. G. Friend: *Thermophysical Properties of Fluid Systems* by in NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. P.J. Linstrom and W.G. Mallard, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899, <http://webbook.nist.gov>
- 15) A. L. Myers and J.M. Prausnitz: *AIChE. J.*, **11**, 121 (1965) .
- 16) A. V. Kiselve, A. A. Lopatkin, and A. A. Shulga: *Zeolite* **5**, 261 (1985) .
- 17) T. Maris, T. J. H. Vlugt, and B. Smit: *J. Phys. Chem. B* **102**, 7183 (1998) .



田中 秀樹

京都大学大学院工学研究科
化学工学専攻
博士 (理学)

- 2002年 千葉大学大学院自然科学研究科 修了
- 2002年 千葉大学電子光情報基盤技術研究センター 講師 (中核的研究機関研究員)
- 2003年 科学技術振興事業団 博士研究員
- 2004年 千葉大学大学院自然科学研究科多様性科学専攻 助手
- 2006年 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 助手
- 2007年 同上 助教 (現職)

技術ハイライト

吸着技術を用いたバイオガス有効利用システム開発

Development of Biogas Effective Usage System using Adsorption Technology

大阪ガスケミカル株式会社 環境材料部
Osaka Gas Chemicals Co., LTD.

関 建 司
Kenji Seki

1. はじめに

近年、地球環境問題に加え最終処分場の深刻な枯渇の状況から廃棄物の処理問題がクローズアップされてきている。我が国では、約4億5千万トンの廃棄物が発生しておりその70数%が有機性の廃棄物とされている。しかしながら、この大量の有機性廃棄物処理については、焼却処理を適用したシステムが広く成立しており、再生・資源化技術が整っていると言えないのが現状です。それらを単に廃棄物として捉えるのではなく、資源と捉え、それらを有効利用することによって循環型社会を構築することは極めて重要なことである。

2. エネルギーを生み出す有機性廃棄物処理

下水汚泥等の有機性廃棄物の処理法である嫌気性消化法は、豊富に含まれる有機物の生物学的な安定化、廃棄物の減量化と合わせて発生する消化ガスの利用が図れるメタン発酵プロセスとして注目され、昭和初期の導入以来65年近い実績を重ねてきている。そして、1997年12月の気候変動枠組条約第3回締結国会議(COP3)等、今日の地球温暖化を巡る情勢は再び本プロセスにより生産されるカーボンニュートラルであるバイオガスのエネルギー的価値を際立たせ、それを高度に利用して行くことが地球環境の保全に繋がるものであると言われている。現在、有機性廃棄物のエネルギーとしての有効利用率は約10%程度であり、これらを全量利用した場合約100億m³のバイオガス(石油の年間使用量の約10%)を得ることができる。例えば、下水処理場では下水汚泥をメタン発酵という技術により、酸素のない状態で微生物を使い発酵させ、バイオガス(CH₄ 60%、CO₂ 40%)を作り、ガス中の硫化水素等悪影響を与える不純物を取り除き、ガスエンジン等で発電し、電気、熱として有効利用している。

3. バイオガス有効利用システム

現在、有機性廃棄物の処理としてメタン発酵を用いたプラントが数多く建設、運転されているが、従来の焼却処理等に比べて、最終処分する廃棄物の減容化および付加価値としてのエネルギー創出等のメリットが十分に得られていないため、必ずしも経済性のある廃棄物処理システムになっていない。

今回、大阪ガスグループではこれらの課題を解決するために、バイオガスを有効利用するに際して、また、バイオガスの完全利用を目指す立場からも必要不可欠

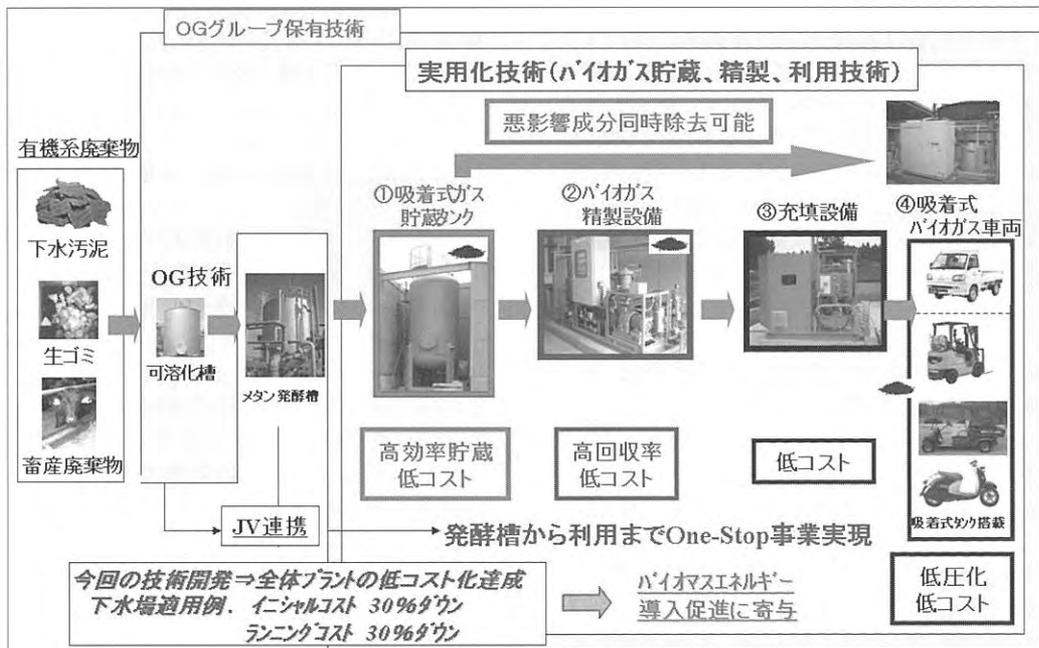


図1 バイオガス有効利用プラント

なプロセスと位置付けられる高効率なバイオガスの貯蔵、精製および有効利用機器について、吸着材を応用した新技術について紹介する。

大阪ガスグループでは本来のメタン発酵廃棄物処理システムのメリットが十分に発揮され、使用者にとって環境、省エネおよびもちろん経済的にもメリットが得られるような低コストで、高効率なプラントの開発を実施しており、これまでにバイオガスをエネルギーとして有効利用するためのバイオガスの高効率貯蔵、精製および利用機器に関して、吸着技術を活用した新技術により、実用化を行いました。以下に当グループが開発し、実用化した高効率なバイオガスの有効利用プラントについて記載する（図1）。

3.1 バイオガス吸着材および吸着貯蔵システムの開発¹⁾²⁾

3.1.1 吸着式貯蔵とは

現在、バイオガスはほとんどの場合が発酵槽内のガス圧力である数百mmH₂Oの低圧で貯蔵、輸送されている。しかしながら、このような貯蔵法におけるガスの貯蔵量はガスタンクと同じ量しか貯蔵することができなく、大量のガスを貯蔵する場合はサイズおよび設備コストの問題が発生する。そこで、このような問題を解決するために、比較的低下圧で相当量のガスを常温で貯蔵する手段として、マイクロポーラスな吸着材をガスタンク内に充填し、ガスを吸着貯蔵させる方法が考えられている。高い吸着ポテンシャルを有する微小な細孔内において、圧力だけでは液化しないバイオガスの主成分であるメタンが液体状態に近い密度で物理吸着される現象を利用して、大量に貯蔵させようとする技術である。このような魅力的な新貯蔵方式が、実用化されれば、用途に応じて軽装備で安全性の高い消化ガス貯蔵が可能となり、現在ほとんど行われていないバイオガスの他消費地への輸送が可能となる。さらに、バイオガスの有効利用の際に必須である消化ガスの精製が吸着貯蔵することにより同時に行える利点がある。

3.1.2 バイオガス吸着材

バイオガス中のメタンは、その三重点が非常に低く、常温では超臨界気体であるため、非常に吸着しにくいガスである。そのため、このようなガスを吸着するためには吸着分子と強い相互作用能を有している吸着材すなわち20Å以下のマイクロ細孔を有する吸着材が必要となる。

一般に吸着能を決定する因子としては、

- ・吸着材（細孔壁）を構成する元素と吸着質との相互作用
- ・細孔径
- ・吸着材中の細孔の数（比表面積、細孔容積）
- ・表面極性（官能基の種類と量）

が考えられ、これらの項目の最適化を行なうことによ

り、高性能化を実現できると考えられる。上記の吸着性能を決定する要因および実用性（コストパフォーマンス）を考慮し、バイオガスの主成分であるメタンに対して最適な構造を有する吸着材の開発を行った。図2に298Kにおけるメタン吸着等温線を示す。縦軸は吸着材が充填されたガスタンクの容積に対する貯蔵倍率を表す。メタン貯蔵量は圧力と共に増加し、より低圧領域の方が増加割合は大きくなる。また、メタン貯蔵量は吸着材の物性値である比表面積および細孔容積により異なり、例えば1MPaにおいて最高で70Ncc/ccすなわち同圧力による圧縮式貯蔵に比べて約7倍の貯蔵性能を有していることを示す。上記の結果は298Kにおける等温条件下のものであり、実用条件下ではタンクサイズを考慮するとほぼ断熱条件に近く、貯蔵性能は上記結果より低くなる。そこで、実用条件下における貯蔵性能を予測するために、断熱容器にて大気圧払い出しの条件下、各圧力における貯蔵性能評価を実施した。吸着時における温度上昇等により298Kに比べて約50%貯蔵性能は低下するが、従来の貯蔵法である圧縮式と比較すると、断熱系においても、同圧力条件下においてはおよそ3倍～10倍程度高くなり、新たな高効率ガス貯蔵方式として期待ができることが明らかとなった。

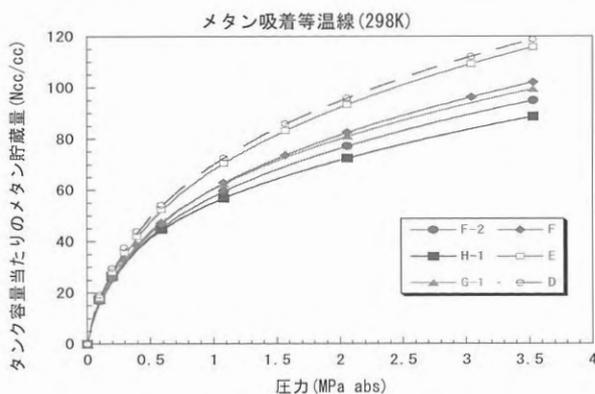


図2 298Kにおけるメタン吸着貯蔵量

3.1.3 吸着式ガス貯蔵方式

吸着式ガス貯蔵システムとしては、上記吸着材を充填した貯蔵タンクを用いた以下のような2種類の貯蔵システムが考えられる（図3）。

1) 大気圧貯蔵タイプ（VSA方式）

大気圧下で吸着貯蔵し、真空ポンプを用いて減圧することにより吸着貯蔵しているガスを払い出す方法。一般に、貯蔵するガスの圧力が大気圧付近である場合および貯蔵設備のランニングコストを抑えたい場合に使用する。貯蔵性能としては、従来の低圧ガスホルダーに比べて約10倍～15倍の貯蔵性能を有している。

2) 加圧貯蔵タイプ（PSA方式）

加圧条件下で吸着貯蔵し、大気圧付近まで減圧することにより吸着貯蔵しているガスを払い出す方法。一般に、貯蔵したガスが圧力を持っている場合および

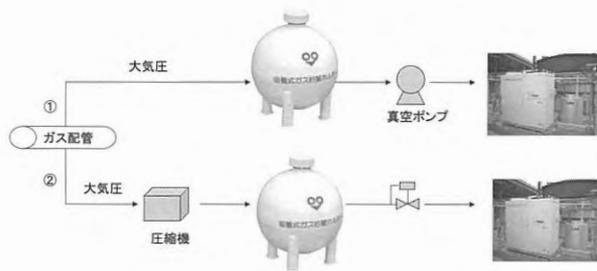


図3 吸着式ガス貯蔵システム

よりコンパクトに貯蔵した場合に使用する。貯蔵性能としては、従来の低圧ガスホルダーに比べて、貯蔵圧力に依存するが約20倍～30倍の貯蔵性能を有している。さらに、吸着ホルダーの下流に、真空ポンプを設置することにより貯蔵性能を30～45倍に向上することが可能である。

3.1.4 従来貯蔵法（低圧式貯蔵方式）との比較検討によるFS

ガス（メタン）の貯蔵量として2000 m³を貯蔵するケースをモデルケースとして低圧貯蔵（約300 mmH₂O）と吸着式貯蔵の比較検討を行った。吸着貯蔵の場合は圧縮機により昇圧後貯蔵した場合（①）と大気圧で貯蔵し、真空ポンプにより払い出した場合（②）の2ケースの検討を実施した。その結果を表1に示す。

設備コストは低圧貯蔵方式に対する割合で示す。圧縮機および真空ポンプの能力は約150 m³/hとする。

本結果より、吸着式にすることにより貯蔵タンクの設置スペースの省スペース化およびイニシャルコストの削減が可能である。また、ランニングコストに関しては吸着の場合は圧縮機または真空ポンプの動力費が必要となるが貯蔵タンクの小型化により保守メンテ費が削減されることを考えると、ランニングコストの面においてもメリットが期待できることが明らかとなった。

表1 各種貯蔵法におけるタンク容量および設備コスト比較

| | 圧力稼働範囲 | タンク容量 | 設備コスト比率 |
|---------|------------|--------------------|---------|
| 低圧貯蔵 | - | 2000m ³ | 1 |
| 吸着貯蔵(1) | 0～0.6MPaG | 85m ³ | 0.8 |
| 吸着貯蔵(2) | -0.1～0MPaG | 135m ³ | 0.7 |

4. バイオガス有効利用への導入事例²⁾

下水汚泥、食品廃棄物等の有機性廃棄物の嫌気性消化法から発生するバイオガス（消化ガス）は、現在新エネルギーとしてのバイオマスエネルギーとして利用が期待されている。これらのガスはメタンが主成分であり、ガスエンジンおよびボイラーの燃料として利用することができる。しかしながら、発生したバイオガ

スの圧力がほぼ大気圧であり、従来の貯蔵法では非常に大きなガスタンクの必要性および設備コストの問題により、そのガスの利用率は約5割以下となっている。そこで、この問題点を解決するために、今回開発した高効率吸着貯蔵システム（PSA方式）を本バイオガス貯蔵分野に適用した。

4.1 下水処理場における吸着式ガス貯蔵の導入事例

T下水処理場において、実際に発生するバイオガスの貯蔵に対して、吸着式貯蔵法を適用した事例を紹介する。発生する消化ガスの圧力はほぼ大気圧であり、今回の貯蔵方式は圧縮機を用いて昇圧後、吸着貯蔵し、減圧することによりガスの払い出しを行った。

貯蔵性能としては図4に示す通り従来の低圧タンクに比べて、0.6MPaの貯蔵圧力下において約20倍の性能を有していることを実証した。また、貯蔵性能は外気温により変動し、外気温（タンクの内温）が低いほうが高く、20～24倍の性能を有していた。

本結果、600 m³のガスを貯蔵する吸着タンクとして、従来の低圧乾式タンクサイズの1/20である30 m³で可能となった³⁾（図5）。さらに、従来の低圧貯蔵タンクに比べて、約30%のイニシャルコストの削減およびタンクの保守メンテ費をランニングとして考えた場合、約30%のランニングコストの削減も可能となった。

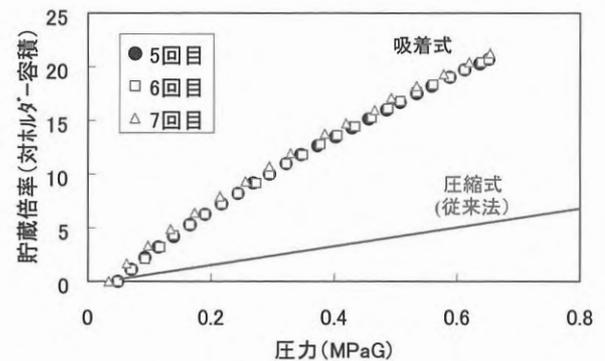


図4 実プラントにおける吸着式ガス貯蔵量

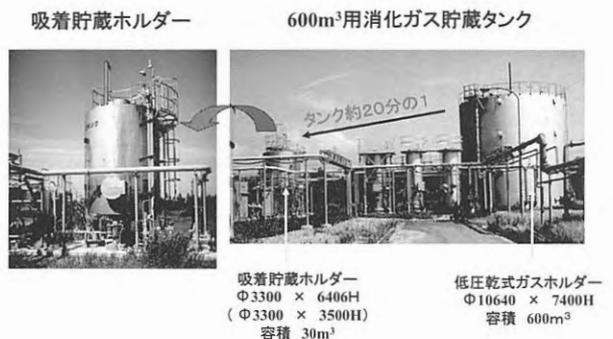
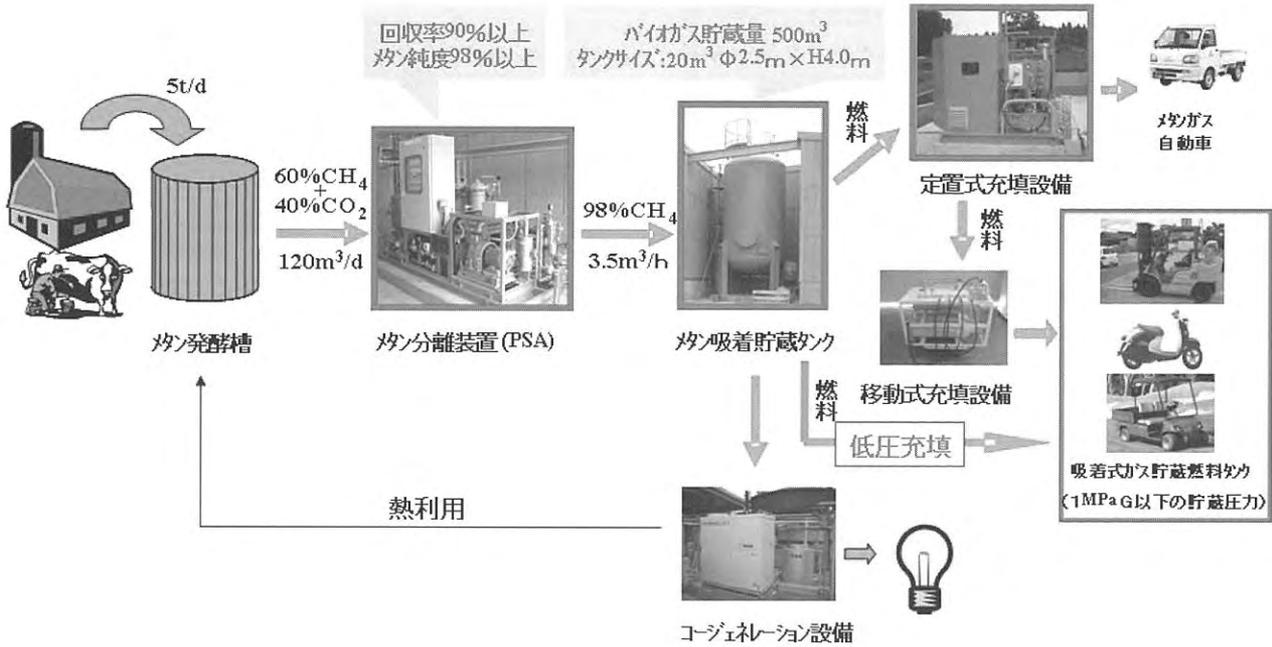


図5 吸着式バイオガスプラント



OSAKA GAS

図6 バイオガス有効利用システム

4.2 畜産農家（家畜糞尿から発生するバイオガス）におけるバイオガス有効利用システムの導入事例^{4)・5)}

現在、有機性廃棄物の処理としてメタン発酵を用いたプラントが数多く建設、運転されているが、従来の焼却処理等と比べて、最終処分する廃棄物の減容化および付加価値としてのエネルギー創出等のメリットが十分に得られていないため、必ずしも経済性のある廃棄物処理システムになっていない。そこで、今回は発生するバイオガスの有効利用の効率を上げることを目的として、上記の吸着材を用いた高効率ガス貯蔵をはじめ、バイオガスの精製、利用機器に対して吸着技術を活用した新技術によるバイオガスのエネルギーとしての有効利用システムの開発を行った。バイオガスの発生場所としては、近年家畜排出物処理法により、適正な排出物の処理が義務付けられるようになり、またこれまでは全くエネルギーとして利用されていなかった家畜糞尿を対象として実施した（農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」にて検討実施）。

約100頭の牛糞尿5t/日から、メタン発酵により発生する約120 m³のバイオガス（メタン約60%+二酸化炭素40%）を分子篩炭素という細孔の大きさを制御された活性炭によりメタンを98%以上に濃縮し、吸着貯蔵タンクに一旦貯蔵し、必要時にエネルギーとして有効利用する。有効利用法としては、天然ガス自動車、フォークリフト等のガス車両、ボイラーおよびガスエンジンの燃料として利用する（図6）。

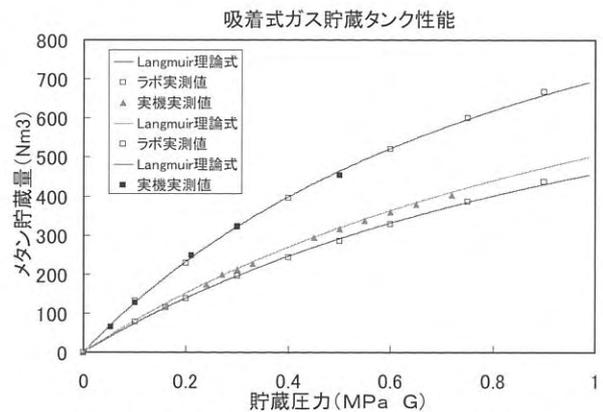


図7 実ガスにおける貯蔵性能

【吸着式メタン貯蔵装置性能評価結果】

円筒形縦型の圧力容器20m³にメタン吸着材を11 t 充填した吸着式メタン貯蔵装置における、実バイオガスをPSA装置により精製されたメタン98%+二酸化炭素2%の混合ガスの貯蔵性能を評価した。その評価法としては、ある圧力で貯蔵されているガスをボイラー等の消費機器により消費することにより、その消費量と圧力の低下量より貯蔵性能を評価した。

活性炭を貯蔵タンクの容積に対して50%および100%充填した場合の貯蔵性能を示す。いずれの場合も、ラボの断熱試験結果と同じか少し性能が大きく、実ガスを用いても設計通りの容器体積の25倍の貯蔵性

能が得られていることを実証した（図7）。また、実ガスの性能の方が少し高いのは払出ガスのタンク容量に対する流速が遅く、タンク内の温度低下の割合が低くなったためと考えられる。また、いずれの結果もマイクロ細孔への物理吸着を示すLangmuir型の理論式にてフィッティングができた。

【メタン濃縮装置（PSA）性能評価】

吸着材として、細孔径が約0.3～0.35nmに調整されたカーボンモレキュラーシーブカーボンを用いて、炭酸ガスとメタンの吸着速度の差を利用することにより分離濃縮を行った。濃縮後の製品ガス中のメタン濃度は、いずれの場合も98%以上であり、自動車燃料として十分使用できる性能を有している（表2）。メタン以外の成分はすべて二酸化炭素であった。メタンの回収率に関しては、製品流量が低下した場合、90%を下回るが、設計仕様である3.5 Nm³/h以上であれば90%を超えることが実証できた。この理由としては、吸着している二酸化炭素をより効果的に脱着させるために、製品ガスにてパージを行っているがこの割合が相対的に多くなるためである。また、露点に関しては、いずれの場合も、設計仕様である-60℃以下であり、同時に水分除去もできることがわかった。

表2 バイオガスの分離性能

| NO | バイオガス 流量 (Nm ³ /h) | バイオガス 中のメタン 濃度 (%) | 製品ガス 流量 (Nm ³ /h) | 製品ガス 中のメタン 濃度 (%) | 回収率 (%) | 露点 (℃) |
|----|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------|-----------|
| 1 | 5.58 | 70.4 | 3.61 | 98.6 | 90.5 | -69.7 |
| 2 | 6.52 | 70.4 | 4.31 | 98.0 | 91.9 | -72.7 |
| 3 | 6.82 | 61.0 | 3.83 | 97.8 | 89.9 | <-60 |
| 4 | 4.86 | 61.0 | 2.52 | 98.0 | 83.2 | <-60 |

【吸着式バイオガス車両】

メタン吸着材が充填された燃料タンクを搭載している吸着式ガス車両として、吸着式フォークリフト及び吸着式構内作業車を試作し、走行試験を実施した。メタン吸着貯蔵タンクからメタンを取り出し、各自動車の燃料として利用するフローは図8のとおりである。軽トラックへは定置式充填設備から、フォークリフト及び構内作業車へは移動式充填設備から精製されたメタンガスを充填する。移動式充填設備は、軽トラックの荷台に積載することができ、LPGタンクと同様に離れた消費地に運ぶことが可能である。これにより、メタンガスの利用について、民生部内を含めて用途拡大が期待される。

【吸着式ガスフォークリフト】

燃料タンク：吸着式低圧鋼製容器 77 L×1本
耐圧 1.5 MPa；吸着材46 kg充填



図8 燃料充填フロー図

貯蔵圧力：0.99 MPa

貯蔵容量：3.85 m³

燃料：ガソリンとガスのバイフューエル車
ベース車両：三菱重工製 2t車

運転時間：0.5～1 h

①走行試験結果

吸着材単体試験結果より、吸着式ガス容器の断熱系（吸着開始時温度25℃）における貯蔵量は約4 m³であった。一般に本車両を天然ガス燃料で走行すると、リフトの上げ下げの回数にもよるが、約14 m³の燃料で2～4時間走行可能である。このデータから考えると、このフォークリフトは約35～50分間走行が可能であると計算される。しかし、冬期における実際の走行試験では25～30分ぐらいと走行距離が短い傾向が見られた。冬期には、脱着時の容器内温度の低下が激しく、有効使用量が低下したためと思われる。そこで、給ガスの頻度を1日1回に抑えることにより作業効率を上げるために貯蔵タンクを162 Lの大ききものにとりかえることにより、ガス貯蔵量が約8.5 m³と向上した。この貯蔵量の向上により、以前は充填が1日2回以上であったため、その度に作業を中断しなければならず面倒であったが、現在は、1日の作業を始める前に点検も兼ねて充填すれば1日中作業できるため、通常ガソリンを使用した場合と利便性が変わらなくなった。



【吸着式ガス構内車両】

下記図9に示すように約100 Lの吸着式タンクを搭載した吸着式ガス車両を試作し、その走行試験を実施した。

①構内での定速モードでの燃費試験

20 km/hの一定速度での燃費測定試験を実施した結果、1 m³のメタンガスで約30 kmの走行が可能であった。一方、同条件化でのガソリン燃料の場合、1 Lで約15.5 kmの走行が可能であった。ガソリンおよびメタンの発熱量はそれぞれ、34.6 MJおよび37.18 MJであることより、ガソリンに比べてメタンを用いた場合は



| 吸着式燃料タンク仕様 | |
|------------------------------------|-----------------------|
| 24.9L | (吸着材 16.4kg、容器 7.9Kg) |
| 37.4L | (吸着材 23.0Kg、容器 9.7Kg) |
| 37.4L | (吸着材 23.0Kg、容器 9.7Kg) |
| トータル重量 89.7Kg | |
| (蓄熱剤 15wt%) | |
| 貯蔵圧力0.95MPa、ガス貯蔵量 約5m ³ | |

図9 吸着式ガス車両

1.8倍程度燃費が向上することが明らかとなった。また、本燃料タンクに室温下、メタンを満タンに充填すると約5 m³が充填できることより、最大一充填当たり150 kmの走行が可能である。

②大阪ガス西島工場内での実走行試験

旧西島製造所構内を制限速度20 kmで、一般的な走行のもと1周2.4 km毎に、走行距離および圧力等の測定を実施しながら、燃料がなくなるまで走行試験を実施した。

ガスの充填は、メタンガスボンベより約5分間で急速に0.99 MPaまで充填を行い、充填完了後走行を開始した。なお、急速に充填したため、ガスの充填量は満タンの充填量の約6割である3.1 m³であった。

走行試験の結果を図10に示す。

その結果、ほぼ大気圧の0.01 MPaまで走行が可能であり、一回充填で80 km走行が可能であった。また、充填ガス量より燃費を計算すると26 km/m³と一次試作車である構内作業車より30%程度燃費が向上している。

次に同様にして天然ガスを燃料としてボンベより充填し、走行試験を実施した。

その際の天然ガス充填量は、約3.4 m³で、メタン以外の重質分の吸着性能がより高い分充填量は多くなった。

その結果、ほぼ大気圧の0.01 MPaまで走行が可能であり、一回充填で81 km走行が可能であった。本来、天然ガスによるカロリーアップ分走行距離の延長が期待できるはずであるが、初めて天然ガスを充填し、払い出した場合、ほとんどメタンしか脱着しないためこのような結果になったと予想される。

以上の結果より、試作車両を用いた場合、たとえ急

吸着式バイオガス車両走行試験結果

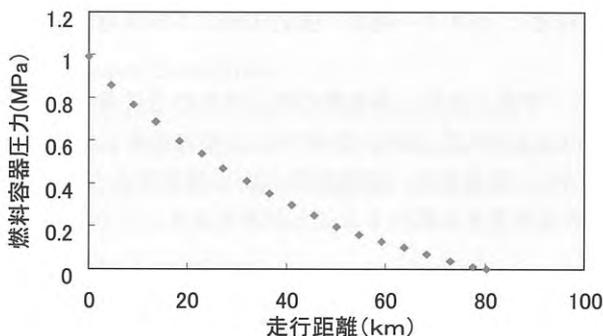


図10 吸着式バイオガス車両の走行試験結果

速充填したとしても、実用上問題のない走行距離が確保できることが明らかとなった。また、本車両は、メタンと天然ガスを燃料として切り替えても、エンジンの調整をすることなく走行可能であることが明らかとなった。

5. おわりに

2002年12月に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」においてバイオマス利用による炭酸ガス削減と、石油のみに依存しない社会の構築を目指して、地域の中で発生するバイオマスを原料として多種多様な有用物質や燃料を体系的に生産・利用するバイオマスの多段階利用システムの実現が求められている。バイオマスの有効利用を実現するための、一番のネックは経済性が十分に確保できないことにある。これまでは、これらの問題を補助金により補填してきましたが、今後継続して普及促進を図るためには、従来にない画期的な技術開発が必要である。特に今回のような異業種の技術応用に期待が寄せられる。また、これらの実現は民間企業の更なる技術開発だけでは困難であり、国による普及に向けた支援等、産官学のよりいっそうの連携が必要です。本レポートがバイオガスの普及促進、国家的政策を考える上で少しでもお役に立てれば幸いです。

[参考文献]

- 1) N. D. Parkyns and D. F. Quinn, *Porosity in carbon* (J.W. Patrick, ed.) (1995) Chap. 2, Edward Arnold, Great Britain.
- 2) 関 建司, 落 修一, 月刊下水道, 21 (1998) 21-26.
- 3) 落 修一, 土木技術, 58 (2003) 93-102.
- 4) 関 建司, 分離技術, 37 (2007) 57-61.
- 5) アグリ・バイオマスタウン構築へのプロローグ (2007) 農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」.



関 建司
大阪ガスケミカル株式会社
環境材料部
環境材料開発センター
所長

1988年 大阪大学 工学部 応用精密化学科 卒業
1989年 大阪大学 大学院 工学研究科
応用精密化学専攻 前期過程 修了
1990年 大阪ガス株式会社 入社
2002年 大阪大学 理学博士号 取得
2008年 大阪ガスケミカル株式会社 出向

第19回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催のお知らせ

今年度の吸着シンポジウムは、吸着分野の若手研究者の研究の活性化と交流を目的として、夏の学校として行うこととなりました。さわやかな夏の高原にて、吸着分野の研究、技術について熱いディスカッションを交わす会としたいと考えています。当日は講師による吸着関連の基礎技術の講習と、若手研究者によるショートプレゼン（オーラル&ポスター）を予定しています。大学院生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の研究者、技術者の方の参加をお待ちしています（参加はどなたでも歓迎です）。

日 時 2009年8月22日（土）～23日（日）

場 所 長野県黒姫高原 黒姫ライジングサンホテル (<http://www.risingsun-hotel.jp/>, 026-255-3211)

日 程

8月22日(土) 13:00 JR長野駅集合、バスにて黒姫高原へ（約1時間）

基礎技術講習：「吸着の基礎と測定技術」仲井和之（日本ベル）

「NMR測定の基礎と吸着現象への応用」上田貴洋（大阪大）

若手有志発表（下記をご参照ください）

ポスターセッション（下記をご参照ください）

8月23日(日)

基礎技術講習：「X線小角散乱と吸着現象」飯山拓（信州大）

若手有志発表

黒姫高原サイクリング（雨天時 黒姫童話館見学）

地ビール工場見学

16:30（予定）JR長野駅にて解散

参加費 学生 5,000円、一般（吸着学会会員）7,000円、一般（非会員）12,000円

+レクリエーション実費（レンタサイクル2,000円、童話館入場料600円など）

定 員 30名

宿泊は同性、他組織の方との相部屋となりますが、個室等の希望のある方はご相談ください。

<若手研究者の方へ>

当日は若手研究者（大学院生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の20～30代くらいの研究者・技術者）によるショートプレゼンを行います。自分の研究で見出した、自慢したいこと、行き当たっている問題点などについてご発表ください。多くの方の発表をお待ちしています！

発表者名、タイトルはホームページで公開しますが、特許等に対応するため、非公開とすることもできます。

オーラル発表（原則として博士課程以上、質疑応答込み15分程度）、ポスター発表（90x150cm、1時間程度）

申込み方法：参加者氏名、連絡先（E-mailアドレス、電話番号）、学生・会員・非会員の別（学生の方は学年）、性別を記入の上、E-mail (tiiyama@shinshu-u.ac.jp) またはFAX（0263-37-2559）にてお送りください。

発表希望の方は 希望発表形式（オーラル/ポスター）、発表者名（公開の可/否）、発表タイトル（公開の可/否）を合わせてお送りください。発表形式は変更をお願いすることがあります。

申込締切 7月17日（金）※定員になり次第締め切ります

問い合わせ先 実行委員長 飯山拓（E-mail: tiiyama@shinshu-u.ac.jp）0263-37-2469

詳細はホームページ（<http://dione.shinshu-u.ac.jp/ads2009/>、随時更新）をごらんください。

国際吸着会議 (FOA10) のお知らせ

The 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA10)

主催：日本吸着学会

共催：International Adsorption Society

協賛 (順不同)：日本化学会，化学工学会，日本分析化学会，日本表面科学会，触媒学会，日本生物工学会，日本膜学会，日本ゾルゲル学会，日本熱測定学会，ゼオライト学会，日本イオン交換学会，炭素材料学会 他

3年ごとに開催される吸着の科学と技術のための国際会議FOAも10回を数え、2010年5月に、Westinリゾートホテルとコンプレックスを形成する淡路夢舞台国際会議場で開催されます。約30年の長い伝統—吸着の基礎から応用までの全領域を対象とするプログラム構成—に加え、今回は、近年その開発がめざましい多孔性配位錯体などの結晶性マイクロ/メソ多孔体にもスポットを当て、そのユニークな吸着挙動の理解と応用の深化を目指します。本学会員の皆様の多数の参加をお願いいたします。詳細は下記ウェブサイトをご参照ください。

会期：2010年5月23日(日)～28日(金)

Web：<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/foa10>

会場：淡路夢舞台国際会議場 (淡路市)

講演申込締切：2009年9月15日(火)

問い合わせ先：京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 宮原 稔

FAX：075-383-2652, E-mail：foa10@cheme.kyoto-u.ac.jp

The 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption May 23-28, 2010

The Awaji Yumebutai (*Dream Stage*) International Conference Center, Hyogo, Japan

Information: <http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/foa10>

Important Dates

One-page abstracts due: September 15, 2009

Notification of acceptance: November 1, 2009

Early registration deadline: January 15, 2010

Final program: March 15, 2010

Manuscripts for "Adsorption" due: April 30, 2010

Conference Committee

Chair: Minoru Miyahara (Kyoto Univ., Japan)

Co-Chairs: Peter Monson (Univ. of Massachusetts, USA), Gino Baron (Vrije Univ., Belgium)

Publication Advisor: Kent Knaebel (Adsorption Research Inc., USA),

Honorary Committee

Katsumi Kaneko (Chiba Univ., Japan)

Alan Myers (Univ. of Pennsylvania, USA)

Motoyuki Suzuki (U.N. Univ., Japan)

Marco Mazzotti (ETH Zurich, Switzerland)

Douglas Ruthven (Univ. of Maine, USA)

Orhan Talu (Cleveland State Univ., USA)

Scientific Committee

- Suresh Bhatia (Univ. of Queensland, Australia)
Martin Bulow (BOC, USA)
Celio L. Cavalcante (Univ. Federal do Ceara, Brazil)
Anthony S. T. Chiang (National Central Univ., Taiwan)
Chi Bun Ching (Nanyang Tech. Univ., Singapore)
Duong D. Do (Univ. of Queensland, Australia)
Shamsuzzaman Farooq (National Univ., Singapore)
Lev D. Gelb (Washington Univ., USA)
Keith E. Gubbins (North Carolina State Univ., USA)
Mietek Jaroniec (Kent State Univ., USA)
Jörg Kärger (Uni.-Leipzig, Germany)
Kent Knaebel (Adsorption Research Inc., USA)
Norberto Lemcoff (United Technologies, USA)
Philip Llewellyn (UMR CNRS-Univ. de Provence, France)
Akihiko Matsumoto (Toyohashi Univ. of Tech., Japan)
Peter A. Monson (Univ. of Massachusetts, USA)
Kunimitsu Morishige (Univ. of Science, Okayama, Japan)
Alexander Neimark (Ratgers Univ., USA)
Alirio Rodrigues (Univ. of Porto, Portugal)
Jean Rouquerol (UMR CNRS-Univ. de Provence, France)
Akiyoshi Sakoda (Univ. of Tokyo, Japan)
Shivaji Sircar (Lehigh Univ., USA)
Reiner Staudt (Uni-Leipzig, Germany)
Daniel Tondeur (CNRS-ENSIC, France)
N. H. (Linda) Wang (Purdue Univ., USA)
Ralph T. Yang (Univ. of Michigan, USA)
Li Zhong South (China Univ. of Tech., China)
- Stefano Brandani (Univ. of Edinburgh, UK)
Giorgio Carta (Univ. of Virginia, USA)
Linda Cheng (UOP, USA)
Kazuyuki Chihara (Meiji Univ., Japan)
Soon-Haeng Cho (Korea Inst. of Energy Res., Korea)
Frieder Dreisbach (Rubotherm, Germany)
Alain Fuchs (ENSCP-Chimie ParisTech, France)
Tim C. Golden (Air Products & Chemicals, USA)
Vladimir M. Gun'ko (Inst. of Surf. Chem., Ukraine)
Alois Jungbauer (Uni für Bodenkultur Wien, Austria)
Jürgen U. Keller (Uni-Siegen, Germany)
Chang-Ha Lee (Yonsei Univ., Korea)
M. Douglas LeVan (Vanderbilt Univ., USA)
Olivier Ludemann-Hombourger (Novasep, France)
Gordon McKay (HK Univ. Sci. & Tech., Hong Kong)
Massimo Morbidelli (ETH Zurich, Switzerland)
Jose Paulo Mota (Univerdade Nova de Lisboa, Portugal)
James Ritter (South Carolina Univ., USA)
Francisco Rodriguez-Reinoso (Univ. de Alicante, Spain)
Wladyslaw Rudzinski (Marie Curie Univ., Poland)
Andreas Seidel-Morgenstern (Uni-Magdeburg, Germany)
Randall Snurr (Northwestern Univ., USA)
Matthias Thommes (Quantachrome Instruments, USA)
Luuk A. M van der Wielen (TU Delft, Netherlands)
Phillip C. Wankat (Purdue Univ., USA)
Hiroyuki Yoshida (Osaka Prefecture Univ., Japan)
Li Zhou (Tianjin Univ., China)

Contact Information

Department of Chemical Engineering, Kyoto University, Katsura Campus, Nishikyo
Kyoto 615-8510, Japan
Fax.: +81-75-383-2652, E-mail: foa10@cheme.kyoto-u.ac.jp
Information: www.cheme.kyoto-u.ac.jp/foa10

Scope and invitation

You are invited to join us at FOA10, the 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption to be held on May 23-28, 2010 at the Awaji *Yumebutai (Dream Stage)* International Conference Center coupled with the Westin Resort Hotel, Hyogo, Japan. Since the first one in 1983, FOAs have been unique in their contents and organization, covering recent advances in all aspects of adsorption from fundamentals to applications. FOA10 will of course keep this wide-view of adsorption field standing on the proud history of almost three decades. Another strong aim of the FOA10 is to encourage development and understanding of the unique category of porous material, Metal-Organic Frameworks (MOFs) or Porous Coordination Polymers (PCPs), which exhibit novel adsorption behaviors with potential applications.

The conference is intended to foster international exchange between scientists and engineers of all disciplines, academia and industry, and between novice and expert, which would even be deepened under the atmosphere of resort area not only with the excellent conference facilities but also with the superb accommodation. Those who have a common interest in adsorption will find FOA10 well worth attending.

Scientific highlights

- Adsorption on MOFs & Flexible Porous Body
- Adsorption Equilibria, Kinetics and Dynamics
- Molecular Modeling in Adsorption
- Adsorbent / Membrane Materials
- Adsorption Processes
- Developments in Adsorption Technology
- Bio, Energy and Environmental Applications

Abstracts submission

Authors wishing to present a contribution in the conference are kindly requested to submit a one-page abstract by **September 15, 2009**, following the instruction on the conference web page (www.cheme.kyoto-u.ac.jp/foa10) . Upon submission, please indicate the topic area and the preferred form of presentation (oral or poster) . Participants to FOA10 will be invited to submit full length papers for publication in a special issue of *Adsorption*, the journal of the International Adsorption Society, but of course they will not have to. The deadline for manuscript submission is April 30, 2010 and how to submit will be announced soon on the website. The submitted papers will be peer-reviewed following the standard procedures of the journal.

Registration and Fees

The regular participant fee with early registration will be about 50,000 Japanese Yen, which includes registration, meals, coffee breaks, conference excursion and abstract book. Note in addition that, thanks to the sponsorship by the Japan Society on Adsorption, the Japan-Night. Please check for special student fees and for social programs for accompanying persons.

Accommodation fees will be handled separately, at a cost of about 54,000 Yen for five nights of double occupancy. To have reasonably large number of attendees accommodated in the Westin, a request of single occupancy may be subject to a lower priority for staying on-site, besides a higher cost that commonly applies. Sufficient number of accommodations nearby will be secured by the Conference.

Registration will be done on-line and the deadline for early registration is **January 15, 2010**. For details, please visit our website at www.cheme.kyoto-u.ac.jp/foa10.

Sponsors & Exhibition

We are seeking official sponsors for FOA10 besides the valuable support from Japan Society on Adsorption. The sponsors will be fully acknowledged in the program, at the conference and in the abstract book. Exhibition space for displays by commercial interests during the conference will also be available. Please contact the conference chair and co-chairs for more information.

関連学会のお知らせ

第22回イオン交換セミナー

テーマ：イオン交換とエネルギー
主催：日本イオン交換学会
協賛：日本化学会、化学工学会、日本分析化学会、高分子学会、電気化学会、日本薬学会、日本原子力学会、日本生物工学会、環境科学会、日本海水学会、日本吸着学会、日本膜学会、分離技術会、無機マテリアル学会、資源素材学会、ゼオライト研究会
日程：2009年7月16日(木) 10:15~16:40
場所：東京工業大学百年記念館3F フェライト会議室
東京都目黒区大岡山2-12-1

プログラム

10:15~11:05 「原子力分野におけるイオン交換の現状と将来」(東工大原子炉研) 鈴木達也
11:05~11:55 「イオン交換を原理とする液液抽出とその応用」(日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門) 長縄弘親
13:10~14:00 「固体高分子形燃料電池の水分輸送のin-situ計測」(東工大炭素循環エネルギー研究センター) 津島将司
14:00~14:50 「燃料電池におけるイオン交換膜」(東洋紡績(株)総合研究所) 山下全広
15:00~15:50 「安全性に優れたダイレクトメタノール型燃料電池(DMFC)用燃料、固体状メタノール」
(栗田工業(株)プラント事業本部) 小布施洋
15:50~16:40 「イオン液体を用いた革新的エネルギー・環境材料の創製」(横浜国大院工) 渡邊正義

懇親会：17:00~

参加申込締切：2009年7月10日(金)

参加申込方法：Web (<http://www.jaie.gr.jp>) より、「参加申込」フォームに必要事項をご記入の上、送信して下さい。

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

懇親会費：3,000円

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

問合せ先：〒152-8551 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻 岡田哲男

TEL/FAX：03-5734-2612, E-mail：zemi_22@jaie.gr.jp

The 5th International Conference on Ion Exchange : ICIE'10 (第5回イオン交換国際会議)

主催：日本イオン交換学会、メルボルン大学
協賛：日本吸着学会 他
日時：2010年7月18日(日)~21日(水)
場所：メルボルン大学(オーストラリア)
講演申込締切：論文誌掲載希望者2009年12月31日(木)
講演のみ希望者 2010年3月31日(水)

講演申込方法：日本イオン交換学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp/>) から。

発表形式：口頭またはポスター

講演要旨締切：論文誌掲載希望者 2009年12月31日(木)

講演のみ希望者 2010年4月30日(金)

参加登録締切：2010年3月31日(水) 本学会ホームページより

参加費、参加費支払方法：<http://www.jaie.gr.jp/icie10/registration-au.html> に掲載。

問 合 先：Prof. Y. Komatsu：

Department of Applied Chemistry, College of Bioscience, Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka,
Nonoichimachi, Ishikawa 921-8501, JAPAN

E-mail：ykomatsu@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Phone：+81-76-274-9276

会議の詳細：<http://www.jaie.gr.jp/icie10/index-au.html>

第27回関西界面科学セミナー —神戸でコロイド・界面を考える Part II— 自然からのささやき：コロイド粒子・界面の利用

主 催：日本化学会 コロイドおよび界面化学部会関西支部

協 賛：日本化学会, (社)応用物理学会, (社)近畿化学協会, (社)高分子学会, (社)色材協会, 触媒学会,
日本吸着学会, (社)日本材料学会, 日本生物物理学会, 日本接着学会, (社)日本セラミックス協会,
日本表面科学会, (社)日本分析化学会, 日本膜学会, 粉体工学会

会 期：平成21年7月24日(金) 13時から25日(土) 12時まで

会 場：ニチイ学館ポートアイランドセンター

(神戸市中央区港島南町7丁目1番地5号)

参加申込締切：7月14日(火) 定員(50名)になり次第締切

7月24日(金)

1. ナノ粒子・ナノ構造表面を利用するマトリックスを使用しないソフトレーザー脱離イオン化質量分析法 (関西大工) 川崎英也
2. 中性子散乱法で観るタンパク質と水界面の構造と揺らぎ ~J-PARCへの期待~ (日本原子力研究開発機構) 中川 洋
3. 表面で囲まれた微細な空間—ナノ空間の化学— (岡山大院自然) 大久保貴広
4. DNA等の生体高分子をキャリアを用いて細胞内へ送達する機構の解明 (リボソームを用いたモデル研究) (徳島大院ヘルスバイオサイエンス) 植野 哲
5. 電場、重力場、超音波場における帯電粒子の挙動 (東理大薬) 大島広行

7月25日(土)

6. 現代の文化財修理(伝統技術と科学) (岡墨光堂) 三代目 岡岩太郎
7. コア・シェル型粒子によるコロイド結晶の固定化と構造色塗料への応用 (日本ペイント) 貴田克明
8. 思うは招く - 夢があれば何でもできる - (植松電機) 植松 努

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(宿泊費を含む)

参加申込方法：氏名、所属、郵便物の届く連絡先、電話とFax番号、E-mailアドレス、会員種別(参加費の分類による)を明記し下記にお申し込み下さい。参加申込書が届きましたら参加費請求書などをお送り致します。お申し込みは、郵送、Fax、E-mailで受け付けます。

申 込 先 : 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1
神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻 西野 孝
電話 : 078-803-6164, Fax : 078-803-6198, E-mail : tnishino@kobe-u.ac.jp

第28回溶媒抽出討論会

主 催 : 日本溶媒抽出学会
協 賛 : 日本吸着学会, 日本化学会, 化学工学会 他
期 日 : 11月20日(金)・21日(土)
会 場 : 大阪大学基礎工学部国際棟 (シグマホール) [豊中市待兼山町 1-3]
発表申込締切 : 9月18日(金)
予稿提出締切 : 10月9日(金)
参加登録予約申込締切 : 11月10日(火)
発表形式 : 口頭(発表12分, 質疑応答3分) またはポスター
発表申込方法 : 電子メール(詳細は討論会ホームページ <http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/hirailab/SSE2009/> をご参照下さい)
参加登録費(予約) : 本学会員・協賛学会員5,000円, 学生1,000円(予約外および非会員は1,000円増)。
懇 親 会 : 11月20日(金)の講演終了後に開催, 予約5,000円, 当日および非会員6,000円
申込・問合せ先 : 〒560-8531 豊中市待兼山町1-3大阪大学太陽エネルギー化学研究センター 平井隆之
[電話 : 06-6850-6270, FAX : 06-6850-6273, E-mail : hirai@cheng.es.osaka-u.ac.jp]

第25回日本イオン交換研究発表会

主 催 : 日本イオン交換学会
協 賛 : 日本吸着学会 他
日 時 : 2009年10月9日(金) - 10日(土)
場 所 : 秋田大学手形キャンパス ペンチャービジネスラボラトリー
講演申込締切 : 7月17日(金)
講演申込方法 : 日本イオン交換学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp>) から。
発表形式 : 口頭(発表12分 質疑応答3分) またはポスター(90分を予定)
講演要旨締切 : 8月28日(金)
参加登録締切 : 10月2日(金)、本学会ホームページより
参加費(予約) : 一般(6,000円)、学生(1,000円)(予約外は1,000円増、非会員は予約外扱い)、要旨集のみ(6,000円)
参加費支払方法 : 郵便振替、加入者番号 02290-1-72598、加入者名 : 日本イオン交換研究発表会秋田大会
懇親会申込締切 : 10月2日(金)、懇親会費 : 予約6,000円、当日7,000円
問 合 先 : 〒010-8502秋田県秋田市手形学園町 1-1、秋田大学工学資源学部環境応用化学科 菊地賢一、
電話 : 018-889-2741, E-mail : jaie-akita@ac5.as.akita-u.ac.jp。
または同学科 高橋博、電話 : 018-889-2743, E-mail : jaie25@ac5.as.akita-u.ac.jp

第25回ゼオライト研究発表会

第25回ゼオライト研究発表会を2009年11月25日(水)、26日(木)に北九州市の西日本総合展示場新館展示場、およびリーガロイヤルホテル小倉において開催いたします。例年充実した研究発表と活発な討論の場になっておりますので、奮ってご参加ください。

- 主 催：**ゼオライト学会
- 協 賛：**化学工学会、触媒学会、石油学会、日本イオン交換学会、日本エネルギー学会、日本化学会、日本吸着学会、日本セラミックス協会、日本地質学会、日本粘土学会、日本膜学会（一部予定、五十音順）
- 会 期：**2009年11月25日(水)、26日(木)
- 会 場：**西日本総合展示場新館展示場
(〒802-0001 北九州市小倉北区浅野3-8-1, TEL: 093-541-5931, <http://www.convention-a.jp/nishiten/>)
リーガロイヤルホテル小倉
(〒802-0001 北九州市小倉北区浅野2-14-2, TEL: 093-531-1121, <http://www.rihga-kokura.co.jp/index.html>)
- テ ー マ：**ゼオライト、メソ多孔体、およびそれらの類縁化合物に関連した研究の基礎から応用まで
- 募集する講演の種類：**
1. 一般研究発表（未発表の研究成果の発表。討論を含めて20分。）
 2. 総合研究発表（成果がある程度まとまっている研究の発表。既発表の研究成果であっても、それらをまとめた内容であればよい。討論を含めて30分。）
- 講演申込要領：**7月1日(水)よりゼオライト学会のホームページ (<http://www.jaz-online.org/>) 上の講演申込フォームを用いてお申し込みください。申し込み後に申込完了通知を連絡先のe-mailアドレスにお送りします。
- 講演申込締切：**8月12日(水)
- 予稿原稿締切：**11月6日(金)（9月中旬に執筆要領を連絡先のe-mailアドレスにお送りします。）
- 参加登録費：**会員(主催・協賛学協会の個人会員、およびゼオライト学会団体会員の法人に所属の方を含む)5,000円、学生 2,000円、非会員 10,000円（予稿集代を含む。当日申し受けます。）
- 懇 親 会：**11月25日(水) 講演終了後、リーガロイヤルホテル小倉にて。参加費 6,000円（学生 3,000円）の予定（当日申し受けます。）
- 問 合 先：**浅岡佐知夫（北九州市立大学国際環境工学部）
TEL: 093-695-3290, FAX: 093-695-3382, E-mail: zeolite@env.kitakyu-u.ac.jp
<http://www.jaz-online.org/>
<http://www7b.biglobe.ne.jp/~zeolite/25meeting/>

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) 清田 佳美 (日本原子力研究開発機構)
大久保貴広 (岡山大学) 中原 敏次 (栗田工業株式会社)
神田 英輝 (電力中央研究所) 向井 紳 (北海道大学)
児玉 昭雄 (金沢大学)

(五十音順)

Adsorption News Vol. 23 No. 2 (2009) 通巻 No. 89 2009年6月30日発行

事務局 〒770-8506 徳島市南常三島町2-1 徳島大学工学部化学応用工学科内
Tel & Fax : 088-656-7429 E-mail : jsad@chem.tokushima-u.ac.jp

編 集 大久保 貴広 (岡山大学)
Tel & Fax : 086-251-7843 E-mail : ohkubo@cc.okayama-u.ac.jp

ホームページ <http://www.j-ad.org/> (アドレスが変更になりました。ご注意ください。)

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)
Department of Chemical Science and Technology, The University of Tokushima
2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima 770-8506 JAPAN
Tel & Fax : +81-88-656-7429 E-mail : jsad@chem.tokushima-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@cc.okayama-u.ac.jp

Editor

Takahiro OHKUBO, Okayama University
Tel & Fax : +81-86-251-7843 E-mail : ohkubo@cc.okayama-u.ac.jp

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