

Adsorption News

Vol. 34, No. 4 (January 2021)

通巻 No.135

目 次

○巻頭言.....	2
「如何にしてイノベーションを起こすか、Team Japan！」	
関 建司	
○ホットトピックス.....	3
「イオン液体膜の CO ₂ 分離特性」	
牧野 貴至・河野 雄樹	
○会告.....	11
日本吸着学会大学院生研究奨励賞について	
2021 年度日本吸着学会賞受賞候補者推薦のお願いと要領	
○関連学会のお知らせ.....	14
○追悼記事.....	15
追悼 Klaus K. Unger 名誉教授	
松本 明彦	
○Adsorption News 総索引	
～その 1 : 1987 年創刊号から 2002 年 Vol. 16 まで～	16
○維持会員一覧.....	27

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

如何にしてイノベーションを起こすか、Team Japan！

大阪ガスケミカル株式会社 グローバル R&D イノベーションセンター 関 建司



2019 年度 4 月から副会長を拝命しております大阪ガスケミカル(株)の関と申します。昨年度は年明けから未曾有のコロナ禍のため、本学会の活動も、多くのイベントが中止となり、ほぼ役員としての貢献ができなく、2 年間の任期を終わろうとしており、大変残念に思っています。

このコロナの影響により、社会活動および生活様式は大きな変革を余儀なくされる 1 年間となり、学業および仕事をする上でも、大きなスタイルの変化が起きました。しかしながら、オンラインと言う新たな技術により、大学または職場に行くスタイルからいつでも、どこでも学業または仕事ができるようになったことは、今後の効率的な業務スタイルとして、我々が得た大きな変革（成果）であると思います。一方、海外の方およびグローバルに展開している企業は、随分と前からこのような WEB 活用により、時間の有効活用をしていました。多くの日本人にとっては、顧客等との面談は F2F が、これまでの常識であり、この通常のスタイルを変えることによる、より良い可能性を求めて、「リスク」という大きな壁に対して、勇気ある一歩を踏み出せない弱点を有しています。今回のコロナを経験し、我々は、これまでの常識および固定概念の中で、どれを継承し、どれを時代にに応じてやめるかの取捨選択の重要性を痛感した、1 年でもありました。

さて、本題の「如何にしてイノベーションを起こすか」に関しては、上記の内容にも関係するが、如何にして、変革を起こせるような体制（組織）を構築できるかが KEY と思います。コロナにより主流となった WEB 会議等の活用も、正しくこれまでの常識の F2F ミーティングを脱却したある種のイノベーションではないかと思っています。打合せ場所および会社への移動を考えると、1 回の会議につき、数時間の削減が可能であり、年間で考えると想像を絶する時間かと思っています。しかしながら、このイノベーションは仕方なしに実施しなければいけない必要性から生まれたものであり、如何にして、このようなことを意図的にできるようにするかが、継続的なイノベーションの KEY となります。多くの場合、保守的な考えおよびリスクを取らないコンサバティブな集団により、変化および変革は潰されてしまいます。これらを解消するためには、変革を起こせる人材（イノベーター）が組織内にいるか、

およびイノベーションを組織内に浸透させる役割を有するアクセレレーターが存在する必要があります。イノベーターは通常、研究者、このアクセレレーターは、組織の Top マネジメント層であり、先頭に立って、反対勢力を説得し、陣頭指揮を執ることが必須だと思います。このイノベーションを創出する場として、本吸着学会が機能できれば、これまで以上に産学官からの魅力度の高い学会になると思います。具体的にどのようなことをすれば効果的かは言明できませんが、以下のようなことは、第一歩としては良いかと思っています。

1. 学会誌および各種学会行事の中で、各社・公的機関のニーズおよびシーズのマッチングコミュニティの創設。それぞれのマッチングに対してのビジネスモデルを作成。
2. 多くのイノベーター及びアクセレレーターが存在するので、新たな利益団体としての学会発のベンチャーの発足(将来は副業が当たり前となるであろう)。
3. 新たな雇用形態として、世界各国の優秀な研究者およびビジネスクリエーターを雇用し、それぞれの国でテレワークし、世界各国からの技術およびマーケット情報が入手できるような人材採用コーディネータとしての役割。

このように覚悟を持って、変革を起こそうとしないと、日本ではイノベーションはベンチャー企業以外では生まれません。是非、日本固有の考え方により陥るガラパゴス化にならないように、各組織のイノベーター、アクセレレーターの活躍に期待しております。また、我々研究機関は、テスラーのような新たなビジネスモデルを提唱し、価格ではなく、時代を切り開く技術オリエンテッドで、2050 年の脱炭素社会の実現に繋げたいと思います。

氏名 関 建司

所属 大阪ガスケミカル株式会社

略歴 1990 年 3 月 大阪大学 大学院 工学研究科
応用精密化学専攻 前期課程修了
1990 年 4 月 大阪ガス株式会社 入社
2002 年 3 月 大阪大学 博士(理学) 取得
2008 年 4 月 大阪ガスケミカル株式会社
2020 年 4 月 Jacobi Carbons 兼務

ホットピックス

イオン液体膜の CO₂ 分離特性

CO₂ Separation Characteristics of Ionic Liquid Membranes

(国研) 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

牧野 貴至・河野 雄樹
Takashi Makino, Yuki Kohno

1. はじめに

イオン液体は室温近傍以下に融点を持つ液体の塩であり、一般に、非対称性の有機カチオンと有機もしくは無機のアニオンとから構成される。代表的なカチオン及びアニオンの分子構造を図1に、表1に本稿で使用するイオン液体の略号をまとめたが、これら以外にも多様なイオンで構成されたイオン液体が報告されている。イオン液体の物理化学特性はカチオンとアニオンの組み合わせ及び各イオンの分子修飾で精密に制御できるため、「デザインナブルソルベント」と呼ばれている。また、イオン液体は擬不揮発性、難燃性、優れた熱・化学的安定性、高い導電率、多様な化学物質に対する溶解性など、従来の有機溶媒にない特徴を持つ。そのため、溶媒、電解質、触媒、潤滑剤など、イオン液体を用いた技術が数多く提案されている。本稿ではまず、イオン液体膜の特徴とガス透過メカニズムを概説した後、イオン液体の CO₂ 吸収特性とイオン液体膜の CO₂ 分離特性について解説する。なお、イオン液体の諸物性や CO₂ 分離膜以外の応用事例は成書等をご参照いただきたい^{1,2)}。

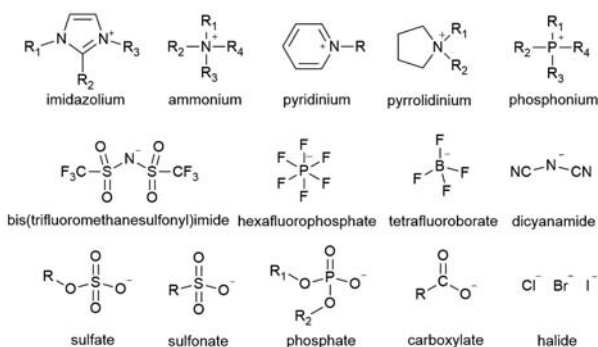


図1 代表的なイオン液体の構造

表1 イオン液体の略号

略号	名称
[C ₂ mim] ⁺	1-ethyl-3-methylimidazolium
[C ₄ mim] ⁺	1-butyl-3-methylimidazolium
[C ₆ mim] ⁺	1-hexyl-3-methylimidazolium
[C ₆ mmim] ⁺	1-hexyl-2,3-dimethylimidazolium
[C ₈ mim] ⁺	1-methyl-3-octylimidazolium
[C ₄ H ₄ F ₅ mim] ⁺	1-methyl-3-pentafluorobutylimidazolium
[C ₆ H ₄ F ₉ mim] ⁺	1-methyl-3-nonafluorohexylimidazolium
[C ₈ H ₄ F ₁₃ mim] ⁺	1-methyl-3-tridecafluorooctylimidazolium
[C ₃ NH ₂ bim] ⁺	1-(3-aminopropyl)-2-butylimidazolium
[N ₁₁₁₄] ⁺	<i>N</i> -butyl- <i>N</i> , <i>N</i> , <i>N</i> -trimethylammonium
[N ₁₁₂₅] ⁺	<i>N</i> , <i>N</i> -dimethyl- <i>N</i> -ethyl- <i>N</i> -pentylammonium
[N ₁₁₂₇] ⁺	<i>N</i> , <i>N</i> -dimethyl- <i>N</i> -ethyl- <i>N</i> -heptylammonium
[N ₁₂₂₇] ⁺	<i>N</i> , <i>N</i> -diethyl- <i>N</i> -methyl- <i>N</i> -heptylammonium
[N _{112, 20201}] ⁺	<i>N</i> , <i>N</i> -dimethyl- <i>N</i> -ethyl- <i>N</i> -2-(methoxyethoxy)ethylammonium
[N _{112, 20201}] ⁺	<i>N</i> -acetoxyethyl- <i>N</i> , <i>N</i> -dimethyl- <i>N</i> -ethylammonium
[N _{222n}] ⁺	<i>N</i> -alkyl- <i>N</i> , <i>N</i> , <i>N</i> -triethylammonium
[N _{122, 60H}] ⁺	<i>N</i> , <i>N</i> -diethyl- <i>N</i> -(6-hydroxy)ethyl- <i>N</i> -methylammonium
[Pyr ₁₃] ⁺	<i>N</i> -methyl- <i>N</i> -propylpyrrolidinium
[P ₄₄₄] ⁺	tetrabutylphosphonium
[P _{666, 14}] ⁺	triethyltetradecylphosphonium
[Tf ₆ N] ⁺	bis(trifluoromethanesulfonyl)imide
[PF ₆] ⁻	hexafluorophosphate
[BF ₄] ⁻	tetrafluoroborate
[TfO] ⁻	trifluoromethanesulfonate
[Tf ₃ C] ⁻	tris(trifluoromethanesulfonyl)methanide
[CF ₃ CO ₂] ⁻	trifluoroacetate
[NO ₃] ⁻	nitrate
[EtSO ₄] ⁻	ethylsulfate
[C ₁ (OC ₂) ₂ SO ₄] ⁻	2-(2-methoxyethoxy)ethylsulfate
[N(CN) ₂] ⁻	dicyanamide
[C(CN) ₃] ⁻	tricyanomethanide
[B(CN) ₄] ⁻	tetracyanoborate
[Gly] ⁻	glycinate
[Ala] ⁻	alanate
[Leu] ⁻	leucinate
[isoLeu] ⁻	isoleucinate
[Ser] ⁻	serinate
[Met] ⁻	methionate
[Pro] ⁻	prolinate
[Sar] ⁻	sarcosinate
[AcO] ⁻	acetate
[C ₃ CO ₂] ⁻	propionate
[2-CNpyr] ⁻	2-cyanopyrrolide

2. イオン液体膜

液体支持膜 (Supported Liquid Membrane, SLM) は多孔質支持体の細孔内に毛細管力で液相を固定化した膜である。SLM には、液相単位体積あたりの界面積が広い、溶剤の使用量が少なく高価な溶剤も利用できる、といった利点がある。一方、SLM の課題は、溶剤の揮発による損失や差圧による脱落で膜の性能が劣化しやすい点にある。SLM にイオン液体を用いた場合、Supported Ionic Liquid Membrane (SILM) と呼称される。SILM は SLM の課題を解決できる膜である。イオン液体の蒸気圧が無視できるほど低いために揮発損失を回避でき、分子性溶剤と比べて粘度が高

いために脱落をいくらか抑制できる。SLM が数十時間で劣化するのに対して、Scovazzo ら³⁾は 100 日間、Hanioka ら⁴⁾は 260 日間、SILM が CO₂ 分離膜として安定に機能したと報告している。また、適切なサイズの多孔質支持体を選択することで、SILM は 0.7 MPa までの差圧条件下でも利用できることが実証されている⁵⁾。SILM 以外のイオン液体を用いた膜として、イオン液体を重合したポリイオン液体膜、イオン液体をゲル化したイオンゲル膜、イオン液体・高分子・無機微粒子を複合化させた混合マトリクス膜、イオン液体を吸収液としたメンブレンコンタクターなどがある。詳細については総説をご参照いただきたい⁶⁾。

3. イオン液体膜のガス透過メカニズム

ガスとイオン液体との化学反応を伴わない物理吸収の場合、イオン液体膜のガス透過メカニズムは、高分子膜と同じく、溶解拡散機構で説明される⁷⁻⁹⁾。図 2 左に模式的に示すように溶解拡散機構は、(i) 供給側でのガスの吸着（溶解）、(ii) 濃度勾配に駆動されるガスの膜中の拡散、(iii) 透過側でのガスの脱着（放散）の 3 ステップで説明される。ガスの吸脱着速度が十分に速いとして、定常状態における膜を透過するガス透過流束 (J) は式(1)で示される。

$$J = \frac{D(c_f - c_p)}{l} = \frac{D(S \times p_f - S \times p_p)}{l} \quad (1)$$

D は膜中のガスの拡散係数、 c_f 及び c_p は供給側及び透過側のガスの濃度、 l は膜厚、 S は溶解度係数、 p_f 及び p_p は供給側及び透過側のガス分圧である。ガス濃度は溶解度係数とガス分圧の積で表現される。一方、CO₂ とイオン液体との化学反応を伴う化学吸収の場合、ガス透過メカニズムは促進輸送機構（図 2 右）で説明される。促進輸送機構では、溶解拡散機構に基づく経路に加え、(i) 供給側での CO₂ の吸着（溶解）、(ii) CO₂ とイオン液体との反応（CO₂ 錯化合物の生成）、(iii) 濃度勾配に駆動される CO₂ 錯化合物の膜中の拡散、(iv) CO₂ とイオン液体への逆反応、(v) 透過側での CO₂ の脱着（放散）の 5 ステップから成る経路が存在する。CO₂ の吸脱着速度及び化学反応速度が十分に速ければ、CO₂ 透過流束は CO₂ 錯化合物の移動も考慮した式(2)で表される¹⁰⁾。

$$J = \frac{D(c_f - c_p)}{l} + \frac{D_c(c_{cf} - c_{cp})}{l} \quad (2)$$

D_c は錯化合物の拡散係数、 c_{cf} 及び c_{cp} は供給側及び透過側の錯化合物の濃度である。第一項と第二項と

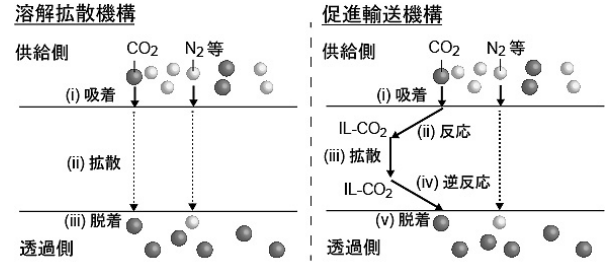


図2 イオン液体膜のガス透過メカニズム

の寄与を厳密に分割することは困難であり、実際は総合的に取り扱われることがほとんどである。

膜材料のガス分離特性を示す指標であるガス透過係数 (P) は、ガス透過流束を膜厚と分圧差で規格化した数値であり、溶解度係数と拡散係数の積として表現される。

$$P = \frac{J \times l}{p_f - p_p} = S \times D \quad (3)$$

ガス透過係数は Barrer ($1 \text{ Barrer} = 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \text{ cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ cmHg}^{-1}$) で示されることが多く、本稿も Barrer 基準で透過係数を表す。膜材料のもう一つの重要な指標は選択率である。膜はガス種毎に異なる透過係数を示し、ガス種 i の j に対する理想的な選択率は式(4)で定義される。

$$\alpha_{ij} = \frac{P_i}{P_j} = \left(\frac{D_i}{D_j} \right) \times \left(\frac{S_i}{S_j} \right) \quad (4)$$

式(3)・(4)が表すように、膜材料の性能は、主にガス溶解度とガス拡散速度で整理される。なお、膜厚が薄くなると、ガス透過流束に対する吸脱着速度や化学反応速度の寄与が相対的に大きくなるため、膜材料の性能を議論する際にはこれらのパラメータも考慮する必要がある。

4. イオン液体の CO₂ 吸収特性

4.1 物理吸収性イオン液体

[C₄mim]⁺をカチオンとするイオン液体の CO₂ 吸収量（モル分率基準）を図3に示す¹¹⁻¹³⁾。いずれのイオン液体も物理吸収液として典型的な圧力依存性を示しており、低圧では分圧に比例して CO₂ を吸収し、高圧ではやがて飽和する。物理吸収性イオン液体は圧力操作で可逆に CO₂ 吸収を制御でき、減圧により CO₂ を容易に放散してイオン液体を再生できる。CO₂ 吸収量は、[Tf₃C]⁻、[B(CN)₄]⁻、[Tf₂N]⁻が高く、[PF₆]⁻、[CF₃CO₂]⁻、[TfO]⁻、[BF₄]⁻、[N(CN)₂]⁻、[NO₃]⁻、[C₁(OC₂)₂SO₄]⁻の順に低下する。フッ素系アニオンは非フッ素系アニオンよりも多く CO₂ を吸収する傾向

表2 イオン液体に対するCO₂のヘンリー定数及びCO₂溶解に伴う熱力学パラメータの変化 (313.15 K).

ionic liquid	k_H/MPa	$\Delta_{\text{sol}}H/\text{kJ mol}^{-1}$	$T \cdot \Delta_{\text{sol}}S/\text{kJ mol}^{-1}$
[C ₂ mim][Tf ₂ N]	4.54	-13.7	-23.6
[C ₂ mim][EtSO ₃]	11.1	-11.4	-23.7
[C ₂ mim][B(CN) ₄]	4.33	-13.9	-23.7
[C ₄ mim][Tf ₂ N]	4.32	-13.5	-23.3
[C ₄ mim][BF ₄]	7.42	-14.8	-26.0
[C ₄ mim][PF ₆]	6.81	-14.4	-25.4
[C ₆ mim][Tf ₂ N]	3.90	-13.2	-22.3
[N ₁₁₂₇][Tf ₂ N]	3.82	-13.6	-23.1
[N _{112,20201}][Tf ₂ N]	3.83	-12.7	-22.3
[N ₁₁₂₅][Tf ₂ N]	4.03	-12.8	-22.4
[N _{112,2001}][Tf ₂ N]	4.41	-13.7	-23.6

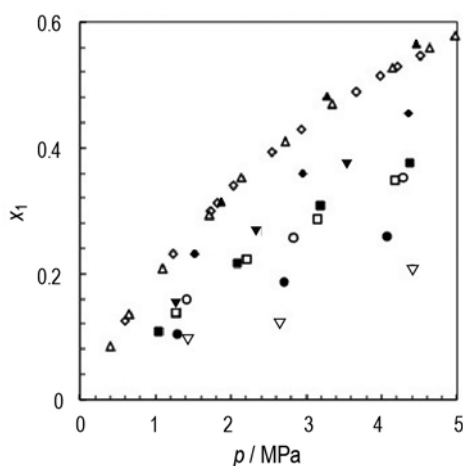


図3 [C₄mim]⁺をカチオンとするイオン液体の313.2 KにおけるCO₂吸収量 (モル分率基準): ◆: [C₄mim][PF₆], ◇: [C₄mim][Tf₂N], ▼: [C₄mim][CF₃CO₂], ▲: [C₄mim][Tf₃C], □: [C₄mim][BF₄], ○: [C₄mim][N(CN)₂], ■: [C₄mim][TfO], ●: [C₄mim][NO₃], ▽: [C₄mim][C₁(OC₂)₂SO₄], △: [C₂mim][B(CN)₄].

にある。[B(CN)₄]⁻はCO₂吸収に優れたアニオンの中でもモル体積が小さく、単位体積あたりのCO₂吸収量が[Tf₃C]⁻や[Tf₂N]⁻よりも大きい。特に、[C₂mim][B(CN)₄]のCO₂吸収量は既報の物理吸収性イオン液体中で最も多く¹³⁾、商用の物理吸収液 (Selexol™) と比べても優れている。

アニオンを[Tf₂N]⁻とするイオン液体のCO₂吸収量 (モル分率基準) を図4にまとめた^{11,12,14,15)}。正電荷が分散した骨格をもつカチオンや側鎖の伸長によりCO₂吸収量がわずかに増加するが、アニオンの影響ほど顕著ではない。アニオンの場合と同様に、側鎖をフッ素修飾したカチオン ([C₆H₄F₉mim]⁺) は、非修飾のカチオンと比べてCO₂吸収量が大幅に増加している。しかし、アルキル側鎖のフッ素修飾はイオン液体の粘度を10倍以上に増加するため、ガス吸収放散速度の大幅な低下が懸念される¹⁶⁾。筆者らは、CO₂親和性を

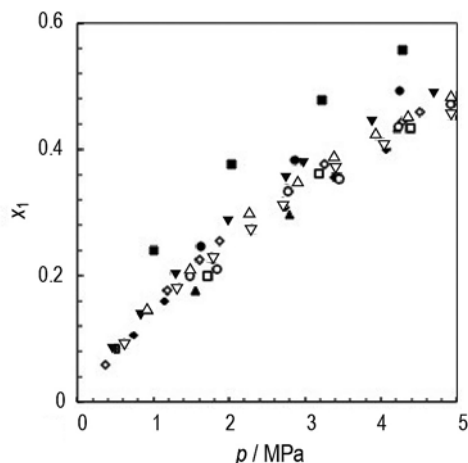


図4 [Tf₂N]⁻をアニオンとするイオン液体の333.2 KにおけるCO₂吸収量: ■: [C₆H₄F₉mim][Tf₂N], ◆: [C₂mim][Tf₂N], ◇: [C₄mim][Tf₂N], □: [C₆mim][Tf₂N], ○: [C₆mmim][Tf₂N], ●: [C₈mim][Tf₂N], ▲: [N₁₁₁₄][Tf₂N], △: [N₁₁₂₅][Tf₂N], ▼: [N₁₁₂₇][Tf₂N], ▽: [Pyr₁₃][Tf₂N].

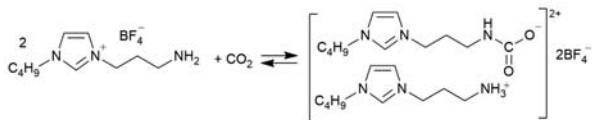
有する官能基に注目し、アルキル側鎖をエーテル基で修飾することで、単位体積あたりのCO₂吸収量の増加と粘度の低減を同時に達成した^{14,15,17,18)}。一方、シアノ基、フェニル基、ヒドロキシル基、エステル基などをカチオンの側鎖に導入した場合、非修飾のイオン液体と比較してCO₂吸収量が低下する^{12,15,19-21)}。

物理吸収液に対するCO₂の溶解度は、吸収液とCO₂との相互作用と、CO₂溶解に伴う溶液構造の変化が重要である²²⁻²⁴⁾。イオン液体のCO₂吸収メカニズムを解明するため、相平衡データから熱力学パラメータが求められ、相互作用 (エンタルピー) 及び溶液構造の変化 (エントロピー) とイオン液体の分子構造との関係について整理がなされている。イオン液体のCO₂吸収に伴うエンタルピー変化及びエントロピー変化をヘンリー定数とともに表2にまとめた^{13,15,25-28)}。[C₂mim]⁺系イオン液体について比較すると、フッ素やシアノ基で修飾されたアニオンはエンタルピーが小さく (絶対値として大きく)、CO₂と強く相互作用 (ルイス酸-塩基相互作用) していることが示唆される。同様の修飾効果はカチオンでも認められ、エーテル基やエステル基を有する[N_{112,20201}]⁺や[N_{112,2001}]⁺は、それぞれの非修飾カチオン ([N₁₁₂₇]⁺, [N₁₁₂₅]⁺) と比較して、より小さなエンタルピーを示す。[C₄mim]⁺系イオン液体に注目すると、親和性は[BF₄]⁻>[PF₆]⁻>[Tf₂N]⁻の順に低下するが、溶液構造の変化の序列は逆であり、結果としてモル体積が大きい[C₄mim][Tf₂N]が最も多くCO₂を吸収する。このエントロピー効果の優位性は、アニオンの負電荷が非局在化してカチ

オンとの静電相互作用が弱くなったことに由来すると考えられる。分子動力学シミュレーションにより、イオン間の相互作用が弱いと CO₂ が溶解する空間を形成し易くなることが指摘されている²⁹⁾。

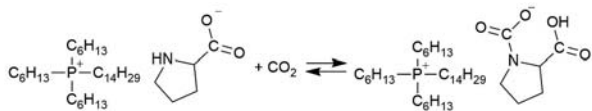
4.2 化学吸収性イオン液体

2002 年に Davis らは、イミダゾリウムカチオンのアルキル側鎖末端にアミノ基を導入したイオン液体 ([C₃NH₂bim][BF₄]) による CO₂ の化学吸収を報告した³⁰⁾。[C₃NH₂bim]⁺ は CO₂ と反応して [C₃(NH-CO₂H)bim]⁺ を生成した後、プロトン放出して双性イオンとなる。放出されたプロトンは未反応のアミノ基に付加してジカチオン ([C₃(NH₃)bim]²⁺) を生成するため、Scheme 1 に示すように、2 分子の [C₃NH₂bim][BF₄] が 1 分子の CO₂ と反応する。



Scheme 1 [C₃NH₂bim][BF₄] による CO₂ 化学吸収。

アミノ基を持つ他のイオン液体として、アミノ酸系イオン液体が広く調べられている。4 級アンモニウムをカチオンとするアラニン酸イオン液体 ([N_{22n}][Ala], n=1, 2, 4) は、Scheme 1 と同様に、イオン液体と CO₂ がおよそ 2 : 1 で反応する³¹⁾。一方、Brennecke らは [P_{666,14}]⁺ をカチオンとしたプロリン酸塩 ([Pro]⁻) やメチオニン酸塩 ([Met]⁻) が CO₂ とほぼ 1 : 1 で反応することを報告した³²⁾。アミノ酸アニオンと CO₂ が反応して生成するカルバミン酸からプロトンが脱離したジアニオンが不安定であり、プロトンがアニオン内のカルボキシル基に移行するので、他のアミノ基を不活性化しないためと考えられている (Scheme 2)。

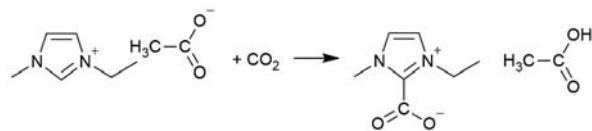


Scheme 2 [P_{666,14}][Pro] による CO₂ 化学吸収。

[P_{666,14}][Pro] および [P_{666,14}][Met] の CO₂ 吸収熱は -80 kJ (mol-CO₂)⁻¹、-64 kJ (mol-CO₂)⁻¹ であり、30 wt% モノエタノールアミン水溶液と同等もしくはやや小さい。他のアミノ酸系ホスホニウム塩 ([Leu]⁻, [isoLeu]⁻, [Sar]⁻) でも同様の CO₂ 吸収反応が進行する³³⁾。アミノ酸系イオン液体は優れた CO₂ 吸収量を示すものの、その反応性が高いために高温でも CO₂

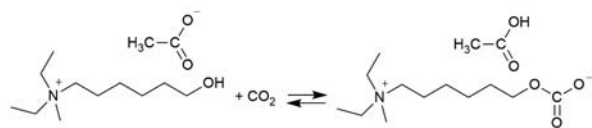
吸収量が大きく、低温での CO₂ 脱離が困難であることが課題である^{33, 34)}。

アミノ基を持たない化学吸収性イオン液体も提案されている。代表的なものとしてカルボキシレートアニオンとするイオン液体が挙げられる。カルボン酸の酸性度が小さいほど (カルボキシレートの塩基性が強いほど) CO₂ 吸収量が増加する傾向を示す。1, 3-ジアルキルイミダゾリウムの [AcO]⁻ 塩や [C₃CO₂]⁻ 塩は CO₂ を化学的に吸収するが、[CF₃CO₂]⁻ 塩は化学吸収しない³⁵⁾。筆者らは [C₂mim]⁺ をカチオンとする一連のカルボキシレート塩の CO₂ 吸収熱を実測し、[C₂mim][AcO] の吸収熱 (-40.5 kJ (mol-CO₂)⁻¹) が 30 wt% モノエタノールアミン水溶液の半分程度であることを明らかにした³⁶⁾。Scheme 3 のように、[C₂mim][AcO] ではイミダゾリウム環の 2-位に CO₂ が付加した双性イオンと酢酸が生成する反応機構が提案されている³⁷⁾。



Scheme 3 [C₂mim][AcO] による CO₂ 化学吸収。

筆者らは、カルベン型の反応部位を持たないアンモニウムやホスホニウムからなるアセテート系イオン液体に注目し、それらの CO₂ 吸収特性を調べた³⁸⁾。例えば、4 級アンモニウムにヒドロキシル基を導入した [N_{122,60H}]⁺ では、非修飾の [N₁₂₂₇]⁺ と比べて、CO₂ 吸収量と温度依存性が共に増大した。[N_{122,60H}][AcO] は室温近傍で吸収した CO₂ の 8 割以上を 100℃ 以下で放散し、CO₂ 回収量は [C₂mim][AcO] を上回る。また、[N_{122,60H}][AcO] では、CO₂ がカチオンの OH 基に付加し、双性イオンと酢酸を生成することを見出している (Scheme 4)。イミダゾリウムやヒドロキシル基などを持つカルボキシレート系イオン液体ではプロトン移行により分子性のカルボン酸を生じるため、CO₂ 吸収に伴う顕著な粘度増加が防げ、場合によっては粘度低下が起こる³⁹⁾。本稿では詳細を割愛したが、アルコールやアゾレートアニオンとするイオン液体も、アミノ基フリーの化学吸収性イオン液体である⁴⁰⁻⁴³⁾。



Scheme 4 [N_{122,60H}][AcO] による CO₂ 化学吸収。

5. イオン液体膜の CO₂ 分離特性

5.1 物理吸収性イオン液体（溶解拡散）

物理吸収性イオン液体を含浸させた SILM のガス透過は、溶解拡散機構により進行する。これまでに、種々のイオン液体の SILM について CO₂ を中心にガス透過係数が測定されている。図 5 に SILM の CO₂ 透過係数 (P_{CO_2}) と CO₂/N₂ 選択率 ($\alpha_{\text{CO}_2/\text{N}_2}$) との関係を示す⁴⁴⁻⁴⁸。図 5 の実線は 2008 年における高分子膜の上限であり⁴⁹、透過係数と選択率はトレードオフの関係にある。カチオン構造に注目すると、アンモニウム、ホスホニウム、ピリジニウム、ピロリジニウムをカチオンとするイオン液体と比べ、イミダゾリウムカチオンを持つイオン液体を含浸させた SILM は優れた CO₂ 透過選択性を示し、いくつかのイミダゾリウム系 SILM は従来高分子膜の性能上限を超える。アニオンを [Tf₂N]⁻ に固定し、イミダゾリウムカチオンのアルキル鎖を伸長させた場合、CO₂ 透過係数、選択率ともに低下する（図 5 6-8）⁴⁶。この傾向は、カチオンにフルオロアルキル基を修飾したイオン液体においても同様である（図 5 9-11）⁴⁸。一方、アニオン構造に注目すると、フッ素系アニオンである [BF₄]⁻ や [TfO]⁻ に加え、シアノ基を持つアニオン ([N(CN)₂]⁻、[C(CN)₃]⁻、[B(CN)₄]⁻) が高い CO₂ 透過係数・選択性を示す⁴⁴。

以上の CO₂ 透過選択性の序列は 4.1 節で述べた CO₂ 吸収量の序列とは必ずしも一致せず、当然ながら N₂ の吸収特性やイオン液体の粘度も考慮しなければならない。N₂ は、CO₂ と比較して、極性及び四重極モーメントが小さい⁵⁰。N₂ とイオン液体との相互作用は CO₂ との場合よりも弱く、N₂ のイオン液体への吸収は CO₂ の場合よりもエントロピー優位である。N₂ の溶解度を低下させて CO₂/N₂ 選択率を向上するには、4.1 節で紹介したエントロピーを小さくするような分子修飾—ヒドロキシル基やエステル基等の極性置換基の導入やモル体積が小さいイオンの選択—が有効であり、実験的に実証されている⁵¹⁻⁵³。そのため、CO₂ 吸収量が高い [Tf₂N]⁻ よりもモル体積が小さい [BF₄]⁻ や [TfO]⁻ が優れた CO₂ 透過係数・選択率を示すことになる。また、イオン液体の粘度と CO₂ 透過係数には良好な相関性があることが指摘されており、粘度が低いほど CO₂ 透過係数は高くなる⁵⁴。これは拡散係数の改善に因るものであり、実際、イオン液体中の CO₂ の拡散係数は粘度の 0.5-0.7 乗の逆数と相関される⁵⁵。イオン液体の粘度を低下させるにはイオン液体

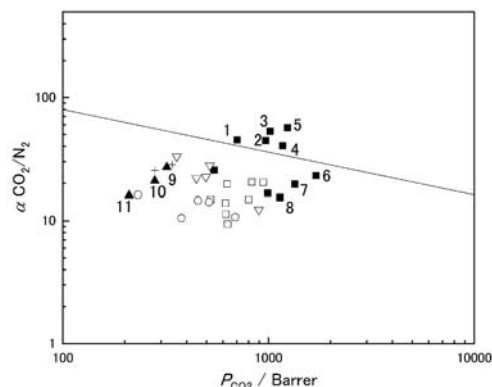


図 5 物理吸収性イオン液体を用いた SILM の CO₂ 透過係数 (P_{CO_2}) と CO₂/N₂ 選択率 ($\alpha_{\text{CO}_2/\text{N}_2}$) の関係; ■: イミダゾリウム系, □: アンモニウム系, ○: ホスホニウム系, ▽: ピリジニウム系, +: ピロリジニウム系, ▲: フルオロアルキルイミダゾリウム系, 1: [C₄mim][C(CN)₃], 2: [C₂mim][BF₄], 3: [C₂mim][B(CN)₄], 4: [C₂mim][TfO], 5: [C₂mim][N(CN)₂], 6: [C₂mim][Tf₂N], 7: [C₆mim][Tf₂N], 8: [C₄H₄F₅mim][Tf₂N], 9: [C₆H₄F₉mim][Tf₂N], 10: [C₈H₄F₁₃][Tf₂N].

中の相互作用を低減する必要がある、電荷が非局在化したイオンや水素結合を形成しない置換基が有効であるが、これらは CO₂/N₂ 選択率の向上に反する分子修飾である。物理吸収性イオン液体膜の CO₂ 分離特性を改善するには、トレードオフの関係にある複数の物性・特性を最適化する分子設計が求められる。

5.2 化学吸収性イオン液体（促進輸送）

近年、CO₂ 分離回収技術の対象はより低 CO₂ 分圧 (<~10 kPa) のガスへと拡張されている。膜法は、一般に、低 CO₂ 分圧ガスからの CO₂ 分離回収には不向きであり、<~10 kPa で膜法の CO₂ 分離回収コストは急激に増加する⁵⁶。コストを低下させるには高 CO₂ 透過係数・選択率が必要であり⁵⁷、低 CO₂ 分圧条件下でも CO₂ を強力に捕捉・吸収できる化学吸収性イオン液体の利用が有効である。図 6 に化学吸収性イオン液体を用いた SILM の CO₂/N₂ 透過選択性を示す⁵⁸⁻⁶³。促進輸送機構において、CO₂ 透過係数は水蒸気などの夾雑成分、温度、CO₂ 分圧に強く依存する。文献毎に測定条件が異なるため、一様に比較できない。しかし、ほとんどの SILM が従来高分子膜の性能上限と同等以上の CO₂ 透過選択性を示す。

2008 年に、Hanioka らがアミノ基で修飾したイミダゾリウム [C₃NH₂mim]⁺ をカチオンとする化学吸収性イオン液体膜を用いた CO₂/CH₄ 分離について報告している⁴。298 K、相対湿度 0 % RH にて、CO₂ 分圧 10 kPa 以下で [C₃NH₂mim][TfO] 膜の CO₂ 透過係数が顕著に上昇し、CO₂ 分圧 2 kPa ではアミノ基を持た

ない[C₄mim][NTf₂]膜と比べてガス透過係数は～5倍、CO₂/CH₄選択率は～10倍に達する。そのCO₂透過選択性は従来高分子膜の性能上限を超える。一方、CO₂分圧20 kPa以上では、[C₃NH₂mim][TfO]膜と[C₄mim][NTf₂]膜とはほぼ同等のCO₂透過選択性を示す。

4.2節の[C₃NH₂bim][BF₄]と同様に、[C₃NH₂mim][TfO]はCO₂と2:1で反応する。一方、アミノ酸をアニオンとするイオン液体はCO₂と1:1で反応するため、CO₂溶解度を増加してCO₂分離特性を改善できると期待される。Kasaharaらは[P₄₄₄][Gly]SILM及び[emim][Gly]SILMのCO₂分離特性を調べた⁵⁸⁾。313 K、10 kPa、0 % RHで[P₄₄₄][Gly]SILMのCO₂透過係数は200 Barrer、CO₂/N₂選択率は10であり、高分子膜の性能上限を下回っていた。CO₂吸収に伴う水素結合の形成によりアミノ酸系イオン液体の粘度が大きく向上すること⁶⁴⁾、CO₂とイオン液体との結合が強く透過側でCO₂が脱離しづらいこと(4.2節を参照)が原因として挙げられる。そこで、373 Kまで加熱すると[P₄₄₄][Gly]SILMはCO₂透過係数5000 Barrer・CO₂/N₂選択率48、[emim][Gly]SILMはCO₂透過係数8300 Barrer・CO₂/N₂選択率146という優れたCO₂分離特性を示した。加熱によりイオン液体の粘度が低下した上にCO₂脱離のための熱が供給されたためとされる。CO₂分離特性に対する粘度の影響は1°、2°、3°アミノ基を持つアミノ酸系イオン液体膜を用いて体系的に調査されている⁶¹⁾。室温域では水素結合を形成しない3°アミノ基を持つイオン液体が1°及び2°と比較して高いCO₂透過選択性を示し、高温域では逆の序列となる。同研究グループでは、他のアミノ酸系イオン液体膜についてもCO₂分離特性が調べられている⁵⁹⁾。[Gly]⁻、[Ala]⁻、[Ser]⁻、[Pro]⁻をアニオンとする[P₄₄₄]⁺系イオン液体膜のうち、[P₄₄₄][Pro]は最も高いCO₂透過係数を示した。373 K、2 kPa、0 % RHの条件下でCO₂透過係数30000 Barrer・CO₂/N₂選択率200を示し、従来高分子膜の性能上限を大幅に上回る。[Pro]⁻塩のCO₂吸収量は[Gly]⁻塩より少なく、[Pro]⁻塩の粘度は[Gly]⁻塩や[Ala]⁻塩よりも高い^{59, 64)}。[P₄₄₄][Pro]膜が高性能である要因の解明が待たれる。

4.2節で述べたように、カルボキシレート系イオン液体はCO₂吸収後に粘度が増加しづらく、CO₂吸収熱もアミノ酸系イオン液体よりも低いことから、室温域でも高いCO₂透過選択性を示すことが期待される。Shiら及びSantosらはイミダゾリウム及びアン

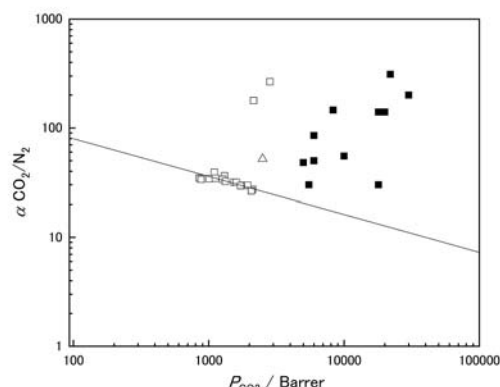


図6 化学吸収性イオン液体を用いたSILMのCO₂透過係数(P_{CO_2})とCO₂/N₂選択性($\alpha_{\text{CO}_2/\text{N}_2}$)の関係: ■: アミノ酸系, □: カルボン酸系, △: アゾレート系。

モニウムをカチオンとする酢酸系イオン液体について、そのCO₂/N₂及びCO₂分離特性を調べた⁶²⁾。298–333 K、0 % RHの条件下で、CO₂透過係数は852–2114 Barrer、CO₂/N₂選択率は26–39であり、そのCO₂分離特性は[P₄₄₄][Gly]SILMより優れており、高分子膜の性能上限とほぼ同等であった。Huangらはジカルボン酸であるマロン酸・マレイン酸をアニオンとするアンモニウム系イオン液体膜(313 K、10 kPa、飽和加湿)が、CO₂透過係数2147・2840 Barrer、CO₂/N₂選択率178・265であったと報告している⁶³⁾。また、アゾレート系イオン液体もCO₂吸収後に水素結合ネットワークを形成せず、CO₂吸収熱は-50 kJ (mol-CO₂)⁻¹程度であることが知られている⁴³⁾。例えば、323 K、5 kPa、0 % RHの条件下で[P₄₄₄][2-CNpyr]SILMはCO₂透過係数2500 Barrer・CO₂/N₂選択率52を示し、こちらも高分子膜の性能上限と同等のCO₂透過選択性であった⁶¹⁾。一方、[P₄₄₄][2-CNpyr]SILMのCO₂透過係数の温度依存性は小さく、373 Kで2500 Barrer程度であり、同温度では[P₄₄₄][Gly]SILMの方が高いCO₂透過係数を示す。このように、化学吸収性イオン液体を適切に選択することで、低CO₂分圧の混合ガスであっても、幅広い温度範囲において優れたCO₂分離特性を示すSILMとなりうる。

6. おわりに

本稿では、イオン液体のCO₂吸収特性及びイオン液体膜のCO₂分離特性を解説した。物理吸収性SILMについては報告例が多く、イオン液体の分子構造とSILMのCO₂分離特性との関係は体系的に整理されつつあるが、経験に基づく分子設計が多い。今後は、機械学習による多目的最適化などインフォマティクスを活用した分子設計により、より高性能なイオン液体膜

が迅速に開発されることが望まれる。一方、化学吸水性 SILM については、一部のイオン液体に研究が偏っており情報が限られている。イオン液体膜による CO₂ 分離回収コストを低減するには、CO₂ 透過流束を増加する必要があり、薄膜化が重要な課題となる。3 節で述べたように化学反応速度などの寄与が大きくなるため、平衡論だけでなく、速度論にも注目した分子設計が必要となろう。また、いずれのイオン液体膜についても、実プロセスにおける夾雑成分の影響や長期安定性は重要な課題である。パリ協定に定められた気温上昇の抑制目標を達成する上で、短期的には大規模発生源からの CO₂ 回収有効利用及び貯留技術が、長期的には大気中の CO₂ を回収する Direct Air Capture and Carbon Storage などのネガティブエミッション技術が不可欠とされている。イオン液体膜の研究がさらに発展し、これら CO₂ 回収技術のキーテクノロジーになることを期待したい。

【参考文献】

- 1) イオン液体研究会監修, 「イオン液体の科学—新世代液体への挑戦」, 丸善 (2012)
- 2) 渡邊正義監修, 「イオン液体研究最前線と社会実装」, シーエムシー出版 (2016)
- 3) S.D. Hojniak, A.L. Khan, O. Holloczki, B. Kirchner, I.F.J. Vankelecom, W. Dehaen, and K. Binnemans, *J. Phys. Chem. B* **117**, 15131 (2013).
- 4) S. Hanioka, T. Maruyama, T. Sotani, M. Teramoto, H. Matsuyama, K. Nakashima, M. Hanaki, F. Kubota, and M. Goto, *J. Membr. Sci.* **314**, 1 (2008).
- 5) J.J. Close, K. Farmer, S.S. Moganty, R.E. Baltus, *J. Membr. Sci.* **390**, 201 (2012).
- 6) Z. Dai, R.D. Noble, D.L. Gin, X. Zhang, L. Deng, *J. Membr. Sci.* **497**, 1 (2016).
- 7) S.A. Stern, *J. Polym. Sci., Part A-2* **6**, 1933 (1968).
- 8) J.G. Wijmans, R.W. Baker, *J. Membr. Sci.*, **107**, 1 (1995).
- 9) B. D. Freeman, *Macromolecules*, **32**, 375 (1999).
- 10) R. Rea, M.G. Angelis, M.G. Baschetti, *Membranes* **9**, 26 (2019).
- 11) S.N.V.K. Aki, B.R. Mellein, E.M. Saurer, and J.F. Brennecke, *J. Phys. Chem. B* **108**, 20355 (2004).
- 12) M.J. Muldoon, S.N.V.K. Aki, J.L. Anderson, J.K. Dixon, and J.F. Brennecke, *J. Phys. Chem. B* **111**, 9001 (2007).
- 13) T. Makino, M. Kanakubo, Y. Masuda, and H. Mukaiyama, *J. Sol. Chem.* **43**, 1601 (2014).
- 14) T. Makino, M. Kanakubo, T. Umecky, A. Suzuki, T. Nishida, and J. Takano, *Fluid Phase Equilib.* **360**, 253 (2013).
- 15) T. Makino, M. Kanakubo, and T. Umecky, *J. Chem. Eng. Data* **59**, 1435 (2014).
- 16) D. Almantariotis, T. Gefflaut, A.A.H. Padua, J.-Y. Coxam, and M.F. Costa Gomes, *J. Phys. Chem. B* **114**, 3608 (2010).
- 17) T. Makino, M. Kanakubo, T. Umecky, and A. Suzuki, *J. Chem. Eng. Data* **58**, 370 (2013).
- 18) T. Makino, M. Kanakubo, and T. Umecky, *J. Chem. Eng. Data* **59**, 1435 (2014).
- 19) T.K. Carlisle, J.E. Bara, C.J. Gabriel, R.D. Noble, and D.L. Gin, *Ind. Eng. Chem. Res.* **47**, 7005 (2008).
- 20) S.M. Mahurin, T. Dai, J.S. Yeary, H. Luo, and S. Dai, *Ind. Eng. Chem. Res.* **50**, 14061 (2011).
- 21) Y. Deng, P. Husson, A.-M. Delort, P. Besse-Hoggan, M. Sancelme, and M.F. Costa Gomes, *J. Chem. Eng. Data* **56**, 4194 (2011).
- 22) S.G. Kazarian, B.J. Briscoe, and T. Welton, *Chem. Commun.* 2047 (2000).
- 23) T. Seki, J.-D. Grunwaldt, and A. Baiker, *J. Phys. Chem. B* **113**, 114 (2009).
- 24) R. Babarao, S. Dai, and D.-e. Jiang, *J. Phys. Chem. B* **115**, 9789 (2011).
- 25) J. Jacquemin, P. Husson, V. Majer, and M.F. Costa Gomes, *J. Solution Chem.* **36**, 967 (2007).
- 26) A.H. Jalili, A. Mehdizadeh, M. Shokouhi, A.N. Ahmadi, M. Hosseini-Jenab, and F. Fateminassab, *J. Chem. Thermodyn.* **42**, 1298 (2010).
- 27) J. Jacquemin, P. Husson, V. Majer, and M.F. Costa Gomes, *Fluid Phase Equilib.* **240**, 87 (2006).
- 28) J. Jacquemin, M.F. Costa Gomes, P. Husson, and V. Majer, *J. Chem. Thermodyn.* **38**, 490 (2006).
- 29) X. Huang, C.J. Margulis, Y. Li, and B.J. Bern, *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 17842 (2005).
- 30) E.D. Bates, R.D. Mayton, I. Ntai, and J.H. Davis, *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 926 (2002).
- 31) H. Yu, Y.-T. Wu, Y.-Y. Jiang, Z. Zhou, and Z.-B. Zhang, *New J. Chem.* **33**, 2385 (2009).
- 32) B.E. Gurkan, J.C. de la Fuente, E.M. Mindrup, L.E. Ficke, B. F. Goodrich, E.A. Price, W.F. Schneider,

- and J.F. Brennecke, *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 2116 (2010).
- 33) B.F. Goodrich, J.C. de la Fuente, B.E. Gurkan, Z.K. Lopez, E.A. Price, Y. Huang, and J.F. Brennecke, *J. Phys. Chem. B* **115**, 9140 (2011).
- 34) T. Makino, M. Kanakubo, E. Kamio, H. Takaba, and H. Matsuyama, *Fluid Phase Equilib.* **420**, 89 (2016).
- 35) A. Yokozeki, M.B. Shiflett, C.P. Junk, L.M. Grieco, and T. Foo, *J. Phys. Chem. B* **112**, 16654 (2008).
- 36) T. Makino, T. Umecky, and M. Kanakubo, *Ind. Eng. Chem. Res.* **55**, 12949 (2016).
- 37) G. Gurau, H. Rodriguez, S.P. Kelley, P. Janiczek, R. S. Kalb, and R.D. Rogers, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 12024 (2011).
- 38) T. Makino, T. Umecky, Y. Kameda, and M. Kanakubo, 6th International Congress on Ionic Liquids, Korea (2015).
- 39) M. Kanakubo, T. Makino, and T. Umecky, *J. Mol. Liq.* **217**, 112 (2016).
- 40) C. Wang, H. Luo, D. Jiang, H. Liand, and S. Dai, *Angew. Chem. Int. Ed.* **49**, 5978 (2010).
- 41) C. Wang, H. Luo, H. Li, X. Zhu, B. Yu, and S. Dai, *Chem. Eur. J.* **18**, 2153 (2012).
- 42) C. Wang, X. Luo, H. Luo, D. E. Jiang, H. Li, and S. Dai, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 4918 (2011).
- 43) B. Gurkan, B.F. Goodrich, E.M. Mindrup, L.E. Ficke, M. Massel, S. Seo, T.P. Senftle, H. Wu, M.F. Glaser, J.K. Shah, E.J. Maginn, J.F. Brennecke, and W.F. Schneider, *J. Phys. Chem. Lett.* **1**, 3494 (2010).
- 44) S.M. Mahurin, J.S. Lee, G.A. Baker, H. Luo, and S. Dai, *J. Membr. Sci.* **353**, 177 (2010).
- 45) S.M. Mahurin, T. Dai, J.S. Yeary, H. Luo, and S. Dai, *Ind. Eng. Chem. Res.* **47**, 7005 (2011).
- 46) P. Scovazzo, *J. membr. Sci.* **343**, 199 (2009).
- 47) S.M. Mahurin, J.S. Yeary, S.N. Baker, D.-e. Jiang, S. Dai, and G.A. Baker, *J. Membr. Sci.* **401-402**, 61 (2012).
- 48) J.E. Bara, C.J. Gabriel, T.K. Carlisle, D.E. Camper, A. Finotello, D.L. Gin, and R.D. Noble, *Chem. Eng. J.* **147**, 43 (2009).
- 49) L.M. Robeson, *J. Membr. Sci.* **320**, 390 (2008).
- 50) J.-R. Li, R. J. Kuppler, and H.-C. Zhou, *Chem. Soc. Rev.* **38**, 1477 (2009).
- 51) A. Finotello, J.E. Bara, D. Camper, and R.D. Noble, *Ind. Eng. Chem. Res.* **47**, 3453 (2008).
- 52) D. Camper, C. Becker, C. Koval, and R. Noble, *Ind. Eng. Chem. Res.* **44**, 1928 (2005).
- 53) L. Ferguson, and P. Scovazzo, *Ind. Eng. Chem. Res.* **46**, 1369 (2007).
- 54) P. Scovazzo, *J. Membr. Sci.* **343**, 199 (2009).
- 55) S.S. Moganty, and R.E. Baltus, *Ind. Eng. Chem. Res.* **49**, 9370 (2010).
- 56) M.M.F. Hasan, R.C. Baliban, J.A. Elia, and C.A. Floudas, *Ind. Eng. Chem. Res.* **51**, 15642 (2012).
- 57) T.C. Merkel, H. Lin, X. Wei, and R. Baker, *J. Membr. Sci.* **359**, 126 (2010).
- 58) S. Kasahara, E. Kamio, T. Ishigami, H. Matsuyama, *Chem. Commun.* **48**, 6903 (2012).
- 59) S. Kasahara, E. Kamio, T. Ishigami, H. Matsuyama, *J. Membr. Sci.* **415-416**, 168 (2012).
- 60) S. Kasahara, E. Kamio, H. Matsuyama, *J. Membr. Sci.* **454**, 155 (2014).
- 61) S. Kasahara, E. Kamio, A. Otani, H. Matsuyama, *Ind. Eng. Chem. Res.* **53**, 2422 (2014).
- 62) E. Santos, J. Albo, A. Irabien, *J. Membr. Sci.* **452**, 277 (2014).
- 63) K. Huang, Z.-M. Zhang, Y.-Z. Li, Y.-T. Wu, X.-B. Hu, *J. Membr. Sci.* **471**, 227 (2014).
- 64) B.F. Goodrich, J.C. de la Fuente, B.E. Gurkan, D.J. Zadigian, E.A. Price, Y. Huang, and J.F. Brennecke, *Ind. Eng. Chem. Res.* **50**, 111 (2011).

氏名：牧野 貴至

所属：(国研) 産業技術総合研究所

材料・化学領域 化学プロセス研究部門
コンパクトシステムエンジニアリンググループ研究グループ長

氏名：河野 雄樹

所属：(国研) 産業技術総合研究所

材料・化学領域 化学プロセス研究部門
コンパクトシステムエンジニアリンググループ主任研究員

会 告

日本吸着学会大学院生研究奨励賞について

日本吸着学会は、将来の日本の吸着関連分野を支える人材育成のため、吸着関連の研究で博士号取得を目指す学生会員の研究中間成果と今後の研究計画に対して審査を行い、優秀と認めたものに対して研究奨励賞を授与して研究を支援します。

募集要項

応募資格：将来の日本の吸着科学の発展に貢献する意思を持った、吸着関連のテーマにより国内外の大学において博士課程の研究を行う学生会員。

(指導教員が吸着学会正会員の場合は学生会員扱い(会費無料)となります。そうでない場合は入会申し込みが必要(年会費 3000 円)です。)

奨励金額：15 万円

審査方法：研究概要、これまでの吸着学会研究発表会での発表状況、当学会による支援の必要性等により審査を行い、最大 3 名程度の方に授与を行います。

受賞の条件：支援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. 採択テーマ、および氏名は“Adsorption News”およびホームページに掲載します。
2. 学位取得時に、本会機関紙“Adsorption News”に研究概要をご寄稿いただきます。
3. 学位取得前に研究を終了したり、テーマを変更する場合には、奨励金の返還をしていただく場合があります。
4. 採択された方の同奨励賞への再度の応募はできません。

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. 所属・学年・学位取得見込み年月・博士課程入学年月、3. 連絡先(住所、所属(研究室名まで記入))、TEL、FAX、e-mail アドレス、4. 指導教員氏名、5. これまでの日本吸着学会研究発表会における発表履歴、6. 他の経済支援状況(学術振興会特別研究員、育英会奨学金など) 7. 研究テーマ 8. 研究概要(1000 字程度)

応募先および問い合わせ先：

日本吸着学会総務担当 飯山 拓 e-mail : info@j-ad.org

応募締切：2021 年 6 月末日 必着

※本年度は国際交流スカラーシップ(吸着関連国際学会の参加登録料の援助)の募集は行なわない予定です。

2021 年度日本吸着学会賞受賞候補者推薦のお願いと要領

日本吸着学会は、吸着科学の発展に貢献のあった個人、団体に学会賞を授与しています。

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

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

2021 年秋に開催予定の第 34 回研究発表会会期中に執り行います。

●受賞講演

学術賞および奨励賞の受賞者は、2021 年秋開催予定の第 34 回研究発表会において、それぞれ受賞特別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（問合せ先）

応募書類は事務局宛てにお送りください。

〒390-8621 長野県松本市旭 3 - 1 - 1 信州大学理学部

日本吸着学会総務担当 飯山 拓

(電話：0263-37-2469 FAX：0263-37-2559 E-mail：info@j-ad.org)

※メール添付による応募書類提出を推奨します。但し、大きなサイズのファイルは送受信に支障が出る場合がございますので、送信後、受信確認のメールが届かない場合は別途ご連絡下さいますようお願いいたします。

●推薦締切

2021 年 6 月末日（必着）

関連学会のお知らせ

化学工学会 86 年会 国際シンポジウム 「The Leading Edge Technology of Material Structure Control for Functional Expression」

日時：2021 年 3 月 22 日（月、予定）

（化学工学会 86 年会のシンポジウム（オンライン開催）の一つとして開催）

実施方法：Zoom を使ったオンライン開催

主催：化学工学会材料・界面部会

オーガナイザー：

GOTOH Takehiko (Hiroshima Univ.),

NAGAO Daisuke (Tohoku Univ.)

YAMAMOTO Tetsuya (Nagoya Univ.)

概要：

We will hold an international symposium on the synthesis of structurally controlled 3D materials and their applications. We invite Prof. Pil Jin Yoo of Sungkyunkwan Univ. Korea who has won 2020 The SCEJ Award for Outstanding Asian Researcher and Engineer for the keynote speech of this symposium. We also invite domestic and foreign researchers working on the synthesis of organic polymer and organic-inorganic-highbred materials to discuss about the synthesis of structural control materials such as thin films, particles, zeolites, MOF, and the latest research trends in their application to energy devices, electronics, optical materials and so on.

本シンポジウムは、エネルギーデバイス・電子材料・光学材料等への応用を目的とした高分子や有機・無機ハイブリッド材料に関する最前線の研究に関して、アジア圏の気鋭の研究者による招待・依頼講演で構成され、化学工学会 86 年会のシンポジウムの一つとして開催されます。

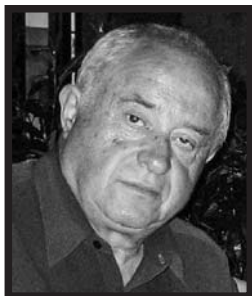
招待講演では化学工学会アジア賞を受賞された Prof. Pil Jin Yoo (Sungkyunkwan Univ., Korea) をお迎えします。

問い合わせ先：

（公社）化学工学会材料・界面部会 石飛宏和・松川博亮

E-Mail：scej-dmi@ci.tus.ac.jp

追 悼



追悼 Klaus K. Unger 名誉教授

日本吸着学会会長 松本 明彦
(豊橋技術科学大学 教授)

ドイツ・マインツ大学名誉教授 Klaus Unger 先生が2020年10月7日に84歳でお亡くなりになりました。亡くなる数日前まではお元気だったそうです。大変残念です。衷心よりお悔やみ申し上げます。

Unger 先生は1936年にドイツのツヴィッカウにお生まれになりました。ツヴィッカウは戦後東ドイツでしたが、彼はドイツ分断前に西側におりダームシュタット工科大学で学位とハビリテーション(教授資格)を取得しました。1977年からマインツ大学教授として活躍され、2001年に大学を定年退職した後はダームシュタットの Merck KGaA でプロテオミクスのための蛋白質の分離・精製と高速液体クロマトグラフィー HPLC 用の固定相の研究が続けられました。

Unger 先生は HPLC の分離科学とシリカ系多孔体合成の異なる2つの分野で世界的に著名でした。彼は多孔性シリカの HPLC 固定相への応用に興味を持ち、多孔性シリカの粒子径・細孔径・表面化学組成がクロマト分離能におよぼす影響と、これらの制御による分離の高性能化・最適化について研究しました。多孔性シリカ固定相への関心はその後のゼオライトやメソ多孔性シリカなどの研究へ発展しました。彼は、クロマト分離特性と多孔体の細孔構造の相関を解明するために1970年代後半から多孔性シリカ、ゼオライトの吸着特性化の研究に取り組み、当時の西ドイツの大学の吸着研究を牽引しました。同時期に IUPAC の多孔体の特性化委員会委員に就任し、1987年には故 Ken Sing 教授(イギリス)、Jean Rouquerol 教授(フランス)

と共に第1回の Characterization of Porous Solids (COPS)を開催しました。その後 COPS は故 Francisco Rodriguez-Reinoso 教授(スペイン)も加わって3年毎に開催され続けており、西ヨーロッパを中心とする吸着コミュニティの形成に大きく貢献しています。こうして吸着研究の拠点を築いた Unger 先生は1992年に日本初の開催となった FOA 4に参加しました。彼はそれまでも HPLC に関する共同研究や国際会議参加のために京都に毎年来ていましたが、吸着研究者としての彼と本会のかかわりはこれが最初でした。

Unger 先生は学生や共同研究者たちから敬愛され、皆から親しみを込めて Klaus と呼ばれていました。彼の指導は学生や我々に対して研究の目的と計画の大枠を示すだけで自由に研究させるというスタイルでした。結果をまとめて彼に相談に行くと、いつも熱心に議論に応じて下さり、押さえるべきポイントを的確に示されました。研究を離れると父親や友達のような方でした。夏はスウェーデン南部の森の中にある別荘兼セミナーハウスに研究室の学生・OB/OG を集めて合宿を開催し、勉強会は当然だが Social activity が大切だといってハイキングや海水浴、懇親会を企画して下さいました。懇親会には大好きなラインガウ産(ライン川マインツ下流の右岸地域)の辛口の白ワインを何ダースも持ってきてグループの皆と沢山飲んでいました。彼は皆のことを適度な距離を保ちながら気にして、必要なときは惜しみなく様々な援助をして下さいました。彼は戦後ドイツの東西分断によって弟妹と離れ離れになり、なかなか会えず寂しい思いをしたそうです。こうした思いが自分の仲間を大切にする温かい心のもとになったのかと思います。彼の逝去の報が世界中で活躍する研究室の OB/OG に流れると、直ちに何十もの追悼メッセージが届きました。いずれのメッセージも何ともし難い悲しさを共有したいという思いが込められていました。

Unger 先生はダームシュタットに学び・勤め、ライン川対岸のマインツに勤めました。ご自宅はそれぞれの場所から車で20分程度のゼーハイム＝ユーゲンハイムでした。彼はマインツ大在職時にドイツ国内外から転職の誘いを幾つも受けたものの、悉く断ったそうです。以前その理由を尋ねたら、「ここを離れたらラインガウのワインが飲めなくなるからだ。」と笑って答えていました。Klaus が隣町のミュールタールにある自然墓苑に眠るのもそれが理由なのかもしれません。

Adsorption News 総索引

～その 1 : 1987 年創刊号から 2002 年 Vol. 16 まで～

Vol. 1, No. 1 (July 1987) 創刊号

巻頭言

日本吸着学会の発足を祝って
日本吸着学会設立の経緯

会員紹介

日鉄化工機(株)

海外レポート

IUPAC 多孔体学会

Tea Break

吸着に関するアメリカ学会の動き
雑感

高石哲男

竹内 雍

原 行明

金子克美

鈴木基之

水島 清

Vol. 1, No. 2 (October 1987)

巻頭言

吸着技術と化学工業

研究ハイライト

吸着の基礎諸特性の測定

技術ハイライト

イオン交換技術の進歩

会員紹介

荏原インフィルコ(株)

Tea Break

吸着測定今昔

本棚

Fundamentals of Adsorption

海外レポート

第 18 回 Carbon Conference に参加して

中谷治夫

高石哲男

酒井重男

田村道夫

中原佳子

古谷英二

迫田章義

Vol. 2, No. 1 (January 1988) 通巻 No. 3

巻頭言

吸着科学技術の今昔

第一回研究発表会を終えて

第一回研究発表会に参加して

研究ハイライト

無機イオン交換体の開発

技術ハイライト

深冷空気分離装置と吸着技術

会員紹介

丸谷化工機(株)

海外レポート

オーストラリア出張の記

近藤精一

堤 和男

田門 肇

鈴木 喬

川井雅人

鈴木謙一郎

竹内 雍

本棚

半導体ならびに誘電体表面への吸着過程 金子克美

Vol. 2, No. 2 (April 1988) 通巻 No. 4

巻頭言

吸着技術に寄せる夢

研究ハイライト

吸着式と吸着機構

吸着ルポタージュ

日本酸素(株)大型 PSA 酸素発生装置

会員紹介

ミドリ安全(株)

Tea Break

法律とは

“脱着”と“脱離”

海外レポート

「第一回日韓合同分離技術シンポジウム」に参加して

Vol. 2, No. 3 (July 1988) 通巻 No. 5

巻頭言

基礎と応用の接点

研究ハイライト

労働環境のためのガス吸着

吸着ルポタージュ

千葉県柏井浄水場

会員紹介

オルガノ株式会社

株式会社重松製作所

Tea Break

科学する心一本質を考える

本棚

Characterization of Porous Solid

Vol. 2, No. 4 (October 1988) 通巻 No. 6

巻頭言

イオン交換雑感

研究ハイライト

高機能洗濯吸着性樹脂の開発

技術ハイライト

低温脱着溶剤回収法の経済性 原 行明、飯田泰滋

国際吸着シンポジウム (1988 年 6 月) の報告

水谷昌孝

宇津木弘

茅原一之

松田 泰

宮原昭三

原 行明

萩野圭三

茅原一之

水元和智

小口文雄

荒井康彦

古谷英二

宮原昭三

江川博明

近藤精一
6th International Conference on Surface and Colloid
Science 報告 尾関寿美男
会員紹介
東京有機化学工業株式会社 山下精一
日本ガイシ株式会社 片岡哲夫
Tea Break
技術情報の収集について 竹内勝彦

Vol. 3, No. 1 (January 1989) 通巻 No. 7

巻頭言

研究発表会私感 川井利長
日本吸着学会第2回研究発表会を終えて 茅原一之
日本吸着学会第2回研究発表会に参加して 安部郁夫
研究ハイライト
水処理活性炭の溶媒再生 田門 肇
技術ハイライト
吸着脱臭法あれこれ 水嶋 清
会員紹介
大阪ガス株式会社 総合研究所 進戸規文
千代田化工建設株式会社 橋本英樹
海外レポート
日中米吸着シンポジウム報告 佐藤禎司
NATO Advanced Study Institute on Adsorption
Science and Technology に参加して 広津孝弘

Vol. 3, No. 2 (April 1989) 通巻 No. 8

巻頭言

新会長として 竹内 雍
研究ハイライト
非2次元固体表面での電子・分子過程 金子克美
Tea Break
MACROBIOTICS: A GOOD WAY OF LIFE
Ruben D. Salazar
海外レポート
第4回太平洋化学工学会議に出席して (PACHEC
'88) 横江甚太郎
会員紹介
株式会社 ガステック
本棚
Adsorption Equilibrium Data Handbook 鈴木基之

Vol. 3, No. 3 (July 1989) 通巻 No. 9

巻頭言

学会誌の効用 原 行明
吸着討論会
研究ハイライト
PSA 操作のシミュレーションと海水ウラン回収の
為の吸着操作 茅原一之
Tea Break
学会の多面性 松村芳美
海外レポート
Third International Conference on Fundamentals of
Adsorption に参加して 吉田弘之

Vol. 3, No. 4 (October 1989) 通巻 No. 10

巻頭言

環境問題の推移 林 芳郎
研究ハイライト
非晶質複合酸化物の液相吸着特性 金子正治
吸着討論会 (1989 年 8 月) の報告 茅原一之
Tea Break 古藤信義
会員紹介
東洋エンジニアリング株式会社 (TEC)
武田薬品工業株式会社 化成品研究所

Vol. 4, No. 1 (January 1990) 通巻 No. 11

巻頭言

日本吸着学会に期待すること 岡崎守男
第3回日本吸着学会研究発表会を終えて 田門 肇
第3回日本吸着学会研究発表会に参加して 宮原昭三
研究ハイライト
モンモリロナイト系粘土鉱物の水中有機物吸着性能
浦野紘平
Tea Break
環境フィーバー 鈴木 喬
本棚 金子克美

会員紹介

ローム・アンド・ハース・ジャパン株式会社
海外レポート
ガス分離技術国際シンポジウム (LSG) に参加して
音羽利郎
第3回国際分離技術会議の概要 鈴木基之
アメリカ化学工学会 (AIChE) 1989 年会 鈴木基之

Vol. 4, No. 2 (April 1990) 通巻 No. 12

巻頭言

Adsorption News の役割 松村芳美

研究ハイライト

炭素系吸着剤の表面改質と吸着特性

—表面化学構造と吸着—

萩野圭三

技術ハイライト

展着活性炭によるガス精製

糸賀 清

Vol. 4, No. 3 (July 1990) 通巻 No. 13

巻頭言

新時代への提言

水嶋 清

研究ハイライト

吸着と付着

堤 和男

技術ハイライト

フローマイタロカロリメトリーによる研究

仲井和之

Tea Break

どちらが長く

飯田泰滋

海外レポート

英、西独、仏の吸着科学関係の研究室を訪問して

石川達雄

本棚

鈴木 喬

会員紹介

住友重機械エンパイロテック株式会社

Vol. 4, No. 4 (October 1990) 通巻 No. 14

巻頭言

吸着の意義と役割

宇津本弘

研究ハイライト

酸化還元反応をとまなう金属イオン吸着

大井健太

技術ハイライト

窒素 PSA の最近の動向

回丸 猛、松浦哲彦

会員紹介

協和化学工業株式会社

Tea Break

空気・酸素・環境

若泉 章

学位紹介

峰元雅樹

海外レポート

IUPAC-5ymposlum on Characterization of Porous Solids に参加して

佐藤 健

Vol. 5, No. 1 (January 1991) 通巻 No. 15

巻頭言

開発科学と後処理科学

鈴木 喬

第2 鷗吸着討論会に参加して

吉間弘之

吸着シンポジウムの報告

安部郁夫

Tea Break

PSA 談義

鈴木謙一郎

研究ハイライト

吸着性指標 AI とその利用

安部郁夫

技術ハイライト

溶滞回収装置の最近の動向

峰元雅樹

会員紹介

二村化学工業株式会社

海外レポート 1

Ralph Iler Memorial Symposium on the Colloidal Chemistry of Silica に参加して

神鳥和彦

海外レポート 2

「第2 回日韓合同分離技術シンポジウム」に参加して

泉 順

Vol. 5, No. 2 (April 1991) 通巻 No. 16

巻頭言

気体吸着等温線の測定

直野博光

第4 回日本吸着学会研究発表会を終えてい

阿部正彦

吸着学会奨励賞を受賞して

金子克美

茅原一之

吉田弘之

研究ハイライト

キトサンの吸着・イオン交換分離への応用

吉田弘之

技術ハイライト

セラミック繊維ペーパーコルゲート製品について

隈利 実

会員紹介

第一燃料工業株式会社

Tea Break

煙草のけむり

原 行明

Vol. 5, No. 3 (July 1991) 通巻 No. 17

巻頭言

吸着学会雑感

堤 和男

論説

酸素事業と地球環境問題

関 宏次

技術ハイライト

半導体工場におけるプロセスガスの末端精製技術

野村三千昭

研究ハイライト

五酸化バナジウム球形微粒子と水との相互作用

橘高茂治

本棚
会員紹介
大平洋金属株式会社.

鈴木基之

Vol. 5, No. 4 (October 1991) 通巻 No. 18

巻頭言

地球環境対策と炭素質吸着剤の役割 石丸公生
日本吸着学会第5会研究発表会に関するお知らせ

研究ハイライト

多孔質国体内における拡散 古谷英二
技術ハイライト

合成吸着剤の分離精製への応用 渡辺純哉

会員紹介

東洋カルボン株式会社

Tea Break

熱力学的日本人論 鈴木 喬

海外レポート

第2回日中米吸着シンポジウムに参加して 森 友男

第2回日中米吸着シンポジウムに参加して 清田佳美

第4回世界化学工学会議 (Fourth World Congress of Chemical Engineering) に参加して 中野義失
お知らせ

Vol. 6, No. 1 (January 1992) 通巻 No. 19

巻頭言

国際吸着会議を迎えて 鈴木基之
第3回吸着討論会に参加して 宮部寛志
第2回吸着シンポジウムに参加して 迫田章義
国際イオン交換会議 '91 (ICIE '91) を終えて

上松敬禱

研究ハイライト

多孔体のなかの物理吸着現象 盛岡良雄

本棚 類家正稔・金子克美

海外レポート

アリカンテ大学訪問記 中山祐輔

Tea Break

「おいしい空気」と「おいしい水」と活性炭 徳満修三

Vol. 6, No. 2 (April 1992) 通巻 No. 20

巻頭言

活性炭と共に45年 北川睦夫

研究ハイライト

アパタイトへの分子吸着の赤外分光による研究

石川達雄

Tea Break

マクスウェルの魔物

若泉 章

技術ハイライト

LO-FIN PAS (新型水素 PSA)

山口俊雄

日本吸着学会奨励賞を受賞して

安部郁夫

峯元雅樹

日本吸着学会技術賞を受賞して

(株)ガステック

日鉄化工機(株)

Vol. 6, No. 3 (July 1992) 通巻 No. 21

巻頭言

環境雑感

土屋宏夫

第4回国際吸着会議が開催されました

研究ハイライト

無機粉体表面上の吸着水膜の物性

近沢正敏

技術ハイライト

吸着と品析技術を組み合わせた新しいリン除去プロセス 上甲 勲

Vol. 6, No. 4 (October 1992) 通巻 No. 22

巻頭言

吸着とイオン交換

鈴木 喬

第5回日本吸着学会研究発表会報告

金子正治

第4回吸着シンポジウム報告

尾関寿美男

研究ハイライト

高压下の吸着

小沢泉太郎

会員紹介

新日本製鉄株式会社

海外レポート

表面の不均一性に関する国際会議

新田友茂

本棚

まだ手に入る吸着関連のパイプル

金子克美

Vol. 7, No. 1 (January 1993) 通巻 No. 24

巻頭言

K.K.Dの吸着装置

山本高敬

日本吸着学会第6回研究発表会を終えて

遠藤 敦

平成4年度吸着学会奨励賞・技術賞

研究ハイライト

多孔質シリカへの高分子吸着

川口正美

技術ハイライト

ドライクリーニング用溶剤回収装置とその吸着材の
選定について 前田武士
会員紹介
株式会社神戸製鋼所

Vol. 7, No. 2 (April 1993) 通巻 No. 25

巻頭言

会長に就任して 岡崎守男
研究ハイライト

コロイド次元分子集合体を用いた高次ろ過法
阿部正彦

技術ハイライト

高表面積活性炭の製造プロセス 音羽利部
日本吸着学会奨励賞を受賞して 古谷英二
田門 肇
日本吸着学会技術賞を受賞して 大阪ガス株式会社
株式会社西部技術
日本ベル株式会社
丸谷化工機株式会社

会員紹介

富士化学株式会社

Vol. 7, No. 3 (July 1993) 通巻 No. 26

巻頭言

吸着による分子制御の未来技術への可能性
News Letter 編集長就任のご挨拶にかえて一

金子克美

研究ハイライト

気体の磁気吸・脱着 尾関寿美男

技術ハイライト

圧力スイング吸着法によるプロセスオフガスからの
二酸化硫黄の回収濃縮方法 泉 順

海外レポート

COPS Ⅲ 参加記 宮原 稔

Tea Break

自動車と吸着剤 杉浦正治

会員紹介

キャタラー工業株式会社

Vol. 7, No. 4 (October 1993) 通巻 No. 27

巻頭言

目的と論理の明確な研究の発展のための学会活動を
期待する 浦野拓平

日本イオン交換学会・日本吸着学会連合

研究発表会プログラム

技術ハイライト

ハニ カム型脱臭触媒 (AKHIII) について
神戸製鋼所 荒井喜代志

会員紹介

富士シリシア化学株式会社

海外レポート

コーネル滞在記 鈴木孝臣

Vol. 8, No. 1 (January 1994) 通巻 No. 28

巻頭言

吸着研究雑感 石川達雄

平成5年度日本吸着学会賞

第7回日本吸着学会研究発表会を終えて 金子克美

第5回国際吸着会議通信 迫田章義

研究ハイライト

吸着熱測定による粉体表面のエネルギー評価
長尾真彦

技術ハイライト

逆相液体クロマト分離系の吸着平衡と吸着速度
宮部寛志

将来構想検討委員会報告

茅原一之

海外レポート

第21回国際炭素会議 細川健次

AICHE 1993 Annual Meeting に参加して 迫田章義

Vol. 8, No. 2 (April 1994) 通巻 No. 29

巻頭言

ポスト・キャッチアップ時代の到来 武内勝彦

研究ハイライト

環境感応型高分子ゲルの吸着特性と制御性中野義夫

Vol. 8, No. 3 (July 1994) 通巻 No. 30

巻頭言

産業の空洞化と対策 青木一三

第5回国際吸着会議通信

研究ハイライト

非理想吸着溶液モデルによる活性炭-有機化合物水
溶液系の吸着平衡 福地賢治・荒井康彦

技術ハイライト

アルデヒド類用吸着材『セピオ』 野田多美夫

会員紹介

テイカ株式会社

興研株式会社

Vol. 8, No. 4 (October 1994) 通巻 No. 31

巻頭言

Techno-/Science-phobic Syndrome 広瀬 勉
日本吸着学会第 8 回研究発表会 荒井康彦
第 6 回吸着シンポジウム報告 尾関寿美男
研究ハイライト

周波数応答法による吸着速度スペクトル 安田祐介
層状シリケート から合成したメソ多孔結晶 稲垣伸二

Impressions of Japan and uniformed mesoporous materials Peter J. Branton

会員紹介

日本無機株式会社

海外レポート

第 3 回日中米吸着シンポジウムに出席して 須藤義孝
Adsorption Session in Carbon '94 (グラナダ, スペイン) に参加して 瀬戸山徳彦

Vol. 9, No. 1 (January 1995) 通巻 No. 32

巻頭言

自然科学の不均化の勧めについて 橘高茂治
平成 6 年度日本吸着学会賞
日本吸着学会第 8 回研究発表会を終えて 福地賢治・荒井康彦
日本吸着学会将来構想検討委員会中間報告の要約
将来構想検討委員会

研究ハイライト

銀交換 A 型ゼオライトの悪臭物質吸着性能 高寄裕圭

技術ハイライト

マイクロ波低温プラズマ処理した活性炭の吸着特性 山田比路史・蔵野理一・杉山和夫

会員紹介

東洋紡績株式会社

株式会社西部技研

第 5 回国際吸着会議通信

海外レポート

AIChE 1994 Annual Meeting に参加して 迫田章義

Vol. 9, No. 2 (April 1995) 通巻 No. 33

巻頭言

会長に就任して 堤 和男
研究ハイライト

誘電率測定による水の吸着状態の研究 黒田泰重

Vol. 9, No. 3 (August 1995) 通巻 No. 34

巻頭言

界 納富 優
「吸着技術」講習会の御案内
第 5 回国際吸着会議報告
堤 和男・竹内 落・尾関寿美男・安武昭典
山本修一・児玉昭雄・宮原 稔・音羽利郎
鈴木哲夫・鈴木義丈

研究ハイライト

超臨界流体相の吸着平衡シミュレーション 新田友茂

技術ハイライト

半導体製造装置用乾式排ガス除外装置
大里雅昭・森 洋一・辻村 学・福永 明

会員紹介

北炭化成工業株式会社

Tea Break

“酸素魚雷” 藤津志郎

Vol. 9, No. 4 (October 1995) 通巻 No. 35

巻頭言

吸着と触媒化学 小沢泉太郎
日本吸着学会第 9 回研究発表会
小沢泉太郎・山崎達也

研究ハイライト

ハニカムローター除湿機を用いた吸着式除湿冷房 広瀬 勉

Tea Break

吸着が生物を育ててきた 岡田英武

会員紹介

三菱重工業株式会社高砂研究所
クラレケミカル株式会社

Vol. 10, No. 1 (1996) 通巻 No. 36

Vol. 10, No. 2 (April 1996) 通巻 No. 37

巻頭言

エントロピーの世界観 安田祐介
研究ハイライト
生物活性炭法に関する研究 中野重和
アパタイトへのタンパク質吸着 神鳥和彦
技術ハイライト

深冷空気分離装置とフロン規制	中村守光・川井雅人
Tea Break	
天然ガス吸蔵材料	嘉数隆敬

Vol. 10, No. 3 (July 1996) 通巻 No. 38

巻頭言	
大学と企業との共同開発について	隈利 賓
研究ハイライト	
吸着ヒートポンプの開発	渡辺藤雄
芳香族化合物異性体の吸着分離	内田博久・荒井康彦
技術ハイライト	
炭素繊維の二次電池用途への利用	大塚清人
擬似移動層式クロマト分離の動向	松田文彦
会告	

Vol. 10, No. 4 (November 1996) 通巻 No. 39

巻頭言	
吸着学会創立 10 周年を迎えて	安部郁夫
技術ハイライト	
活性炭素繊維を用いた清酒脱色装置の開発	島崎賢司・赤尾 興
海外レポート	
COPS-IV-4th International Symposium on the Characterization of Porous Solids	吉岡朋久
Carbon '96 に参加して	半沢洋子

Vol. 11, No. 1 (February 1997) 通巻 No. 40

巻頭言	
吸着剤の「発見」と「発明」	堀井雄二
日本吸着学会第 10 回記念研究発表会報告	
日本吸着学会第 10 回研究発表会を終えて	北川睦夫・安部郁夫
研究ハイライト	
木炭による水処理	立本英機

Vol. 11, No. 2 (May 1997) 通巻 No. 41

巻頭言	
吸着学会の一層の発展を願って	鈴木基之
研究ハイライト	
吸着型等温線の簡易測定	宮部寛志
技術ハイライト	
新型重量法吸着装置	仲居和之

会員紹介	帝人側医療岩国製造所 医療第 技術開発室
研究室紹介	大阪教育大学物理化学研究室

Vol. 11, No. 3 (August 1997) 通巻 No. 42

巻頭言	
日本吸着学会・日本イオン交換学会迎合年会で新しい流れを期待	吉田弘之
国際会議報告	
P-AST97 を終えて	金子克美
第 4 回日中米吸着シンポジウムに参加して	迫田章義
第 4 回日中米吸着会議報告	神鳥和彦
研究ハイライト	
ナノ細孔内凝縮現象のモデル化とナノ細孔径評価への応用	宮原 稔
会員紹介	日本酸素株式会社
研究室紹介	明治大学理工学部工業化学科 吸着工学研究室 東京都立大学大学院 材料物性工学研究室

Vol. 11, No. 4 (February 1998) 通巻 No. 43

巻頭言	
“ナノ”の世界は吸着で	山崎典彦
連合年会「21 世紀の界面現象」報告	
平成 9 年度日本吸着学会賞	
連合研究発表会を終えて	鈴木 喬
ポスター賞	
研究室紹介	岡山大学工学部精密応用化学科 精密化学反応工学 講座 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻化学システム工学講座（分離工学分野）
海外レポート	
1997 AIChE Annual Meeting 報告	茅原一之

Vol. 12, No. 1 (April 1998) 通巻 No. 44

巻頭言	
“感動”が支える研究開発	上甲 勲
技術ハイライト	
活性炭を使用した排ガス処理について	渡部輝雄
スポットライト ポスター賞受賞者特集～その 1～	
シリンダ状ナノ細孔内凝縮モデルとナノ細孔径評価	

—MD 法およびメソポーラス シリカを用いた検証
— 神田英輝
重金属固定化能を付加した酸性ガス除去剤の開発
長津博司

寄稿

「早創期から成長期へ～名誉会員の想い～」

竹内 薙

海外レポート

CNRS-LIMSI 滞在記

児玉昭雄

Vol. 12, No. 2 (July 1998) 通巻 No. 45

巻頭言

研究の活性化

新田友茂

第 6 回国際吸着会議 (FOA 6) 特集

会国際会議に出席して

竹内 薙

会議報告

金子克美・尾関寿美男・中野義夫・茅原一之

泉 順・宮原 稔・児玉昭雄・鈴木哲夫

迫田章義・山崎誠志・望月和博

参加レポート

入江真喜・神田英輝・DongFei, Lou Hongmei

吉田将之

スポットライト～ポスター賞受賞者特集その 2～

活性炭膜によるパーバレーションとその水処理
への応用の検討

蔡 尚大

パイコンティニュアス構造を鋳型とした細孔性シリ
カの調製

相川京子

海外レポート

トルコでの Preconference 参加の記

竹内 薙

Vol. 12, No. 3 (September 1998) 通巻 No. 46

巻頭言

将来に向かって

茅原一之

第 10 回吸着シンポジウムの報告

研究ハイライト

超臨界圧力スイング吸着によるシトラスオイルの分
画法の開発

後藤元信

技術ハイライト

触媒活性炭の開発と用途

楠坂隆司

会員紹介

東ソー株式会社

研究室紹介

秋田大学工学資源学部環境物質工学科分子機能化学
講座界面触媒工学研究室

東京工業高等専門学校物質工学科化学工学研究室

Vol. 12, No. 4 (December 1998) 通巻 No. 47

巻頭言

吸着のおもしろさ

泉 順

1998 年日本吸着学会・日本イオン交換学会・日本溶
媒抽出学会連合研究発表会を終えて

吉田弘之

スポットライト～連合年会ポスター賞受賞者特集～

活性炭の水蒸気吸着における熱・物質移動機構

山本英理

排気中の有機溶剤蒸気に対する各種吸着剤の除去性
能比較

島田 潤

Vol. 13, No. 1 (March 1999) 通巻 No. 48

巻頭言

初心を忘れずに

小沢泉太郎

研究ハイライト

無機ケイ素源を用いるメソ多孔体の迅速室温合成と
吸着への応用

寺岡靖剛・森口 勇・鹿川 修

アルコール系洗浄剤回収用シリカコーティングカー
ボンの開発

川崎直人・中村武夫・安部郁夫・棚田成紀

技術ハイライト

セビオライトを用いたアセトアルデヒド吸着剤

野田多美夫

スポットライト

液相吸着平衡における圧力効果逆転現象

岩崎 訓

研究室紹介

東亜大学校工科大学化学工学科 分離工学－環境シ
ステム研究室

千葉大学理学部化学科分子化学 金子研究室
静岡大学工学部物質工学科無機材料科学講座 無機材
料研究室

Vol. 13, No. 2 (June 1999) 通巻 No. 49

巻頭言

吸着学会の運営について思うこと

田門 肇

研究ハイライト

四塩化炭素の炭素細孔への細孔径敏感充填機構のコ
ンピューター・シミュレーションによる検討

鈴木孝臣

活性炭電極を用いた希薄溶液からの電解質の除去

小田廣和

技術ハイライト

高速液体クロマトグラフィーを用いた工業的分離精製 木下 譲

スポットライト

カーボン細孔内の水分子集団構造 飯山 拓

会員紹介

鐘紡株式会社（新事業推進部ベルパール関連グループ ニューカーボンチーム）

研究室紹介

信州大学理学部化学科反応・物性化学講座
大阪市立工業研究所吸着研究グループ

Vol. 13, No. 3 (September 1999) 通巻 No. 50

巻頭言

活性炭について 田中栄治

第 11 回吸着シンポジウム報告 小沢泉太郎

研究ハイライト

ポリアミノ化多孔質キトサンビーズによる水銀（Ⅱ）の吸着 川村佳秀

技術ハイライト

分子ふるい炭と N₂PSA 性能 中村章寛

スポットライト

Molecular Dynamics Study on Selective Adsorption of Chemically Similar Compounds 王 殿霞

Vol. 13, No. 4 (December 1999) 通巻 No. 51

巻頭言

吸着技術に取り組んできて 峯元雅樹

平成 11 年度日本吸着学会賞

日本吸着学会・日本溶媒抽出学会連合年会を終えて 吉田弘之

研究ハイライト

ヒドロキシアパタイト／水界面における吸着と複合体形成 鳴林三郎

真空再生を伴う吸着（VSA）の産学共同装置開発研究 鈴木謙一郎

FOA 7 スクエア

スポットライト～連合年会ポスター賞受賞者～

新規賦活前処理法によるメソ細孔性活性炭の製作 中川究也 19

弱塩基性陰イオン交換樹脂及び PEI キトサンビーズによるクエン酸の吸着 藤原敬之

熱交換型アルミ吸着剤ハニカム積層ブロックの除湿性能と冷房プロセスへの可能性 稲葉 薫

研究室紹介

大阪電気通信大学工学部電子材料工学科・大学院工学研究科

総合電子工学専攻室谷研究室
宇都宮大学工学部応用化学科界面物理化学研究室

Vol. 14, No. 1 (March 2000) 通巻 No. 52

巻頭言

知的好奇心と水 山本周治

FOA 7 スクエア

日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿

少し早い研究回顧 堤 和男

研究ハイライト

単一シリンドー状細孔内における相転移 森重國光
動的格子変位による固体表面の吸着および触媒作用の制御 井上泰官

技術ハイライト

活性炭によるゴミ焼却炉排ガス中のダイオキシン類除去 安武重雄

研究室紹介

名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻 架谷研究室

Vol. 14, No. 2 (June 2000) 通巻 No. 53

巻頭言

改めて産官学協同 川井雅人

FOA 7 スクエア

研究ハイライト

非経験的分子軌道法を用いたシリカケル吸着質間相互作用の検討 鈴木哲夫

技術ハイライト

フェノール系活性炭の開発 丸茂千郷

研究室紹介

大阪大学大学院基礎工学研究科化学系専攻（化学工学分野新田研究室）

東京大学生産技術研究所環境化学工学グループ（鈴木・迫田・酒井研究室）

Vol. 14, No. 3 (September 2000) 通巻 No. 54

巻頭言

表面・界面、そして吸着 近沢正敏

日本吸着学会・日本溶媒抽出学会連合年会研究発表会および特別講演プログラム

FOA 7 スクエア

吸着技術講習会

報告

“The Second Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology”を終えて

大竹芳信

“The Second Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology”に参加して

吉川正晃

研究ハイライト

新規合成法を利用したメソ多孔性シリカの細孔径、
粒子形状制御と異種金属元素の導入

松本明彦

技術ハイライト

高度浄水処理用粒状活性炭の再生
PRTR・MSDS対象化学物質に関するホームページ

鈴木幸治

研究室紹介

熊本大学工学部物質生命化学科生物工学講座生物化学
工学研究室（広瀬・後藤研究室）

Vol. 14, No. 4 (December 2000) 通巻 No. 55

巻頭言

有限資源の有限循環（不条理）

阪田祐作

平成 12 年度日本吸着学会賞

奨励賞を受賞して

技術賞を受賞して

FOA 7 スクエア

第 7 回国際吸着基礎会議（FOA 7）のご案内

FOA 7 スケジュール概観

SCIENTIFIC PROGRAM（発表プログラム）

報告

第 12 回吸着シンポジウムを終えて

安部郁夫

日本吸着学会・日本溶媒抽出学会連合年会を終えて
えて

茅原一之

掲示板

平成 11 年度卒業論文・修士論文・博士論文題目の
ご紹介

Vol. 15, No. 1 (March 2001) 通巻 No. 56

巻頭言

21 世紀の新たな発展に向けて

吉田弘之

報告

“International Symposium on Physical Basis of Adsorption”を終えて

橘高茂治

学術賞受賞記念寄稿

社会的要請のための吸着技術

松村芳美

研究ハイライト

ハニカム回転除湿機を用いた吸着式デシカント空調

プロセス

児玉昭雄

スポットライト

ナノ細孔内相転移モデルの構築と検証およびナノ細
孔特性評価法への応用

神田英輝

《平成 12 年度連合年会ポスター賞受賞者特集》

海水からのリチウム回収を目的とした二酸化マンガン
系吸着剤の開発

福井健二

会員紹介

三菱重工株式会社技術本部長崎研究所化学研究室
19

Vol. 15, No. 2 (June 2001) 通巻 No. 57

巻頭言

スリムな事務局—日本吸着学会の持続的発展のため
に

寺岡靖剛

研究ハイライト

高機能メソポーラス物質の合成と吸着特性

稲垣伸二

技術ハイライト

在宅酸素療法用酸素濃縮器の改良開発

山田章生

高性能静電フィルタの開発

木村一志

Vol. 15, No. 3 (September 2001) 通巻 No. 58

巻頭言

第 7 回国際吸着会議を終えて

金子克美

第 7 回国際吸着会議 FOA 7 特集

講演内容レポート

吉田弘之・青島政之・茅原一之・松本明彦

鈴木哲夫・児玉昭雄・森口 勇・泉 順

後藤元信・宮原 稔・吉田将之

参加レポート

石川貴洋・山本拓司・大場友則・寺岡靖剛

常行俊克・本部 靖・立川裕美

第 15 回日本吸着学会研究発表会プログラム

Vol. 15, No. 4 (December 2001) 通巻 No. 59

巻頭言

工学に求められているもの

綾部孝夫

報告

第 15 回日本吸着学会研究発表会を終えて

橘高茂治

CARBON'01 に参加して

向井 紳

研究ハイライト

活性炭表面上の物理吸着種の赤外分光法による解析

山崎達也

技術ハイライト

触媒と吸着技術を併用した環境ホルモン含有排水の
処理 村松勇一、上甲 勲

スポットライト

チタニアおよび酸化鉄で架橋されたグラファイト層
間架橋多孔体の合成 西崎涼香
鉄微粒子担持活性炭の製造と高速水処理システムへ
の応用 渡辺香織 21

Vol. 16, No. 1 (March 2002) 通巻 No. 60

巻頭言

水環境工学における吸着研究雑感 湯浅 晶
第 16 回日本吸着学会研究発表会のお知らせ

会告

日本吸着学会事務局移転のお知らせ
新入会員

日本吸着学会学術賞受賞記念寄稿

吸着学会回想 鈴木基之

研究ハイライト

マンガン酸化物によるアルカリ金属イオンの電気化
学的ホストゲスト反応 加納博文
活性炭表面の合酸素官能基の XPS による定性・定
量分析の可能性 鈴木義丈

スポットライト

MCM-41 表面の酸特性 森 俊謙
本棚

Vol. 16, No. 2 (June 2002) 通巻 No. 61

巻頭言

環境浄化に寄与する活性炭吸着技術 前野徹郎
正会員 遠藤敦氏のご逝去を悼む

研究ハイライト

Carbon Whisker Membrane 迫田章義

技術ハイライト

金属酸化物系多機能材料による大気汚染物質の除去
井上聡則、山下岳史、高橋 円、堀井雄二

Vol. 16, No. 3 (September 2002) 通巻 No. 62

巻頭言

環境・エネルギー・吸着 嘉数隆敬
第 16 回日本吸着学会研究発表会プログラム

研究ハイライト

層状複水酸化物の構造設計と水処理特性 清田佳美
技術ハイライト

ゼオライトハニカムによる有機排ガス濃縮分離

杉浦 勉

掲示板

平成 13 年度卒業論文・修士論文・博士論文題目の
ご紹介

Vol. 16, No. 4 (December 2002) 通巻 No. 63

巻頭言

Adsorption News、これからの 2 年 迫田章義
吸着技術講習会のお知らせ

報告

第 13 回吸着シンポジウムを終えて 迫田章義
第 16 回日本吸着学会研究発表会を終えて

尾関寿美男

CARBON'02 に参加して 藤堂あや

第 6 回日韓合同分離技術シンポジウムに参加して
長谷川賞洋

スポットライト

水蒸気吸着ヒートポンプの吸着に伴う熱・物質同時
移動制御に関する工学的研究 山本英里
ナノ細孔における分子制約 田中秀樹

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。

(令和3年1月現在、50音順)

株式会社アドール	株式会社アントンパール・ジャパン
エア・ウォーター株式会社	MHIソリューションテクノロジーズ株式会社
大阪ガス株式会社	大阪ガスケミカル株式会社
オルガノ株式会社	関西熱化学株式会社
株式会社キャタラー	株式会社クラレ
栗田工業株式会社	興研株式会社
株式会社重松製作所	システムエンジニアリング株式会社
株式会社島津製作所	水ing株式会社
株式会社西部技研	大陽日酸株式会社
株式会社タカギ	月島環境エンジニアリング株式会社
帝人ファーマ株式会社	東ソー株式会社
東洋紡株式会社	ニチアス株式会社
富士シリシア化学株式会社	フタムラ化学株式会社
マイクロトラック・ベル株式会社	ユニオン昭和株式会社
ローム・アンド・ハース・ジャパン株式会社	

編 集 委 員

委員長 児玉 昭雄（金沢大学）

委 員 大坂 侑吾（金沢大学）

上村 佳大（産業技術総合研究所）

田中 俊輔（関西大学）

宮崎 隆彦（九州大学）

余語 克則（RITE）

加藤 雅裕（徳島大学）

近藤 篤（大分大学）

飛弾野龍也（太陽日酸株式会社）

山根 康之（大阪ガスケミカル株式会社）

（五十音順）

Adsorption News Vol.34 No.4（2021） 通巻 No.135 2021 年 1 月 30日発行

事務局 〒162-0801 東京都新宿区山吹町 358-5 アカデミーセンター

Tel : 03-6824-9370 Fax : 03-5227-8631 E-mail : info@j-ad.org

編 集 大坂 侑吾（金沢大学）

Tel : 076-264-6475 Fax : 076-264-6475 E-mail : y-osaka@se.kanazawa-u.ac.jp

日本吸着学会ホームページ <https://www.j-ad.org/>

印 刷 〒850-0875 長崎県長崎市栄町 6-23 株式会社昭和堂

Tel : 095-821-1234 Fax : 095-823-8740

General Secretary

THE JAPAN SOCIETY ON ADSORPTION (JSAD)

Academic Center, 358-5, Yamabuki, Shinjuku, Tokyo, 162-0801, JAPAN

Tel : 03-6824-9370 Fax : 03-5227-8631 E-mail : info@j-ad.org

Editorial Chairman

Professor Akio KODAMA

Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, JAPAN

Tel : +81-76-264-6472 E-mail : akodama@se.kanazawa-u.ac.jp

Editor

Yugo OSAKA, Kanazawa University

Tel : +81-76-264-6475 E-mail : y-osaka@se.kanazawa-u.ac.jp

Home Page of JSAd: <https://www.j-ad.org/>

本誌に記載された著作物を許可なく複製・公開することを禁ずる。

©2021 The Japan Society on Adsorption