

Adsorption News

Vol. 31, No. 2 (July 2017)

通巻 No.121

目 次

○巻頭言.....	2
「吸着学会事務局を担当して」	遠藤 明
○吸着クロニクル.....	3
マレーシアでの研究・教育生活、マレーシアから見た日本	吉田 弘之
○吸着基礎シリーズ.....	11
X線／中性子散乱法の基礎と吸着系への適用	飯山 拓
○国際会議参加報告.....	21
COPS-XI に参加して	能登原展穂
○会告.....	22
第 27 回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催のお知らせ	
第 31 回日本吸着学会研究発表会のお知らせ	
○関連学会のお知らせ.....	25
○維持会員一覧.....	31

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

吸着学会事務局を担当して

産業技術総合研究所 遠 藤 明



昨年4月より日本吸着学会事務局を担当しております産業技術総合研究所の遠藤です。今号より編集を担当されている松本副会長より巻頭言の執筆を依頼されました。吸着学会に入会して10年と少しの私が巻頭言を書くことになるなど夢にも思っていなかったのですが、松本先生より「本会の状況も理解され、吸着学会の組織・体制・雰囲気などにもいろいろとお考えがあると思います。それらを踏まえて事務局長として吸着学会に対する思い、期待などを書いてください」とのお言葉をいただき、僭越ながらお引き受けさせて頂くことにしました。

飯山先生より事務局を引継いでから1年と少しがたち、ようやく折り返し地点を過ぎたところではありますが、多くの会員の方と関わる経験をさせて頂いています。事務局の仕事をしていてよく感じるものの一つに、いい意味でも悪い意味でも吸着学会の運営は「個人依存度が大きい」という思いがあります。小規模な学会であるがゆえの機動力があってスピーディな運営が可能である反面、学会のアクティビティを維持するために、多くの方々が献身的な協力をされ、時には過度の負担が個人に集中してしまう、といった現実があります。ある程度は仕方のないこととも思いますが、もう少しスマートな学会運営はできないものでしょうか。すぐに答えの出ることではありませんが、継続的にみんなで考えていくべき課題であると思います。学会の運営はあくまで「裏方」の仕事ですので、運営自体についてはできる限りシンプルにできるよう、スリム化を図っていくべきでしょう。これまで学会に蓄積されてきた情報（会員管理、様々な規程、過去の多量の文書類など）を大胆に整理し、誰が事務局をやってもスムーズに引き継げるような体制を整えていきたいと思っています。（なかなか手をつけられないまま1年が過ぎてしまいました……）

これまで多くの先輩方が巻頭言などでも述べられているとおり、会員数300人程度のミニ学会としての吸着学会には、「吸着」というキーワードを絆として、理学系から工学系までの研究者・技術者が集うちょうどいい規模感のサロンとしての役割があると思います。私は産総研に就職して初めて吸着という研究分野に関わりました。出身研究室の仲間がいるわけでもなく、

当初は周りを見ても知らない人ばかり、吸着について全くの素人という状況でしたが、多くの先生・先輩方にご指導頂いたおかげもあり、吸着関連の研究を長く続けることができ、気がついたら研究者としての自分のメインテーマが「吸着」になっていました。これから新たに吸着コミュニティに入ってくる若手の皆さんが、同じようなこと感じられるような場として、吸着学会が益々発展していくことを切に願っています。そういった意味でも、もっと「気軽に」運営に参加できる体制の構築は重要なことだと思います。

一方で、学会の外に対しては、「吸着」というものをもっとメジャーにしたい、という思いもあります。これまで産総研での職務として、多くの分離技術に関するプロジェクト化や実用化研究に関わってきましたが、「吸着」を一般の方にアピールしようと思うとなかなか難しい。自分にとっては、基礎科学から実用プロセスまで、幅広いスペクトルで研究が展開できる非常に魅力的な研究分野なのですが、どうも一般の人に話をするときには悔しいかな“地味”なイメージがあるようです。これからも「吸着ってなに？」という人にもわかりやすく、興味を持ってもらえるような説明ができないものかと考えつつ、自身の研究や学会活動を発展させていけたら、と思っています。

思いつくままに個人の勝手な思いを述べさせて頂きましたが、ここに書かせて頂いた思いを胸に、残りの事務局任期を全うしたいと思っています。引き続きご指導・ご協力をお願いいたします。

氏名	遠藤 明
所属	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 材料・化学領域研究戦略部 企画室長
略歴	1998年3月 東京大学大学院工学系研究科 博士課程修了 1998年4月 通商産業省工業技術院 物質工学工業技術研究所入所 2006年4月 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 化学システムグループ長 2017年4月 現職

吸着クロニクル

マレーシアでの研究・教育生活、 マレーシアから見た日本

Three years in Malaysia: Research and Education

大阪府立大学名誉教授
吉田 弘之
Hiroyuki Yoshida

1. はじめに

私は、2010年3月末63歳で大阪府立大学を定年退職しました。その後3年契約で大阪府立大学特認教授として主に企業との共同研究を実施しました。この間、学生とは関わりがなく、卒研生や院生との楽しい研究がもう一度出来ないものか、と夢のようなことを考えていました。すると退職間近の2012年秋に Universiti Putra Malaysia (略称 UPM) の工学部長と化学環境工学科長二人が訪ねてきて是非にと教授職のオファーがありました。渡りに船と深く考えずにその場で受け入れました。2013年7月に Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, UPM に着任しました。

勃興の国、異文化の国での3年余りの单身生活は単に教育研究の延長にとどまらず貴重な経験となりました。大学のシステムも日本とかなり異なっていました。国民の勢い、若者の勉学意欲、向上心の強さ、目の輝き、底抜けの明るさ、長上への礼、感服でした。日本の現状と比べ感ずるところ大でした。ここでは、これらの一部を紹介させていただきます。何らかのご参考になれば幸いです。

2. マレーシアの大学、特に UPM について

マレーシアでは5つの大学が研究型、他は教育型です。UPM は研究型大学の一つです。研究型大学はどこもそれほど変わらないと思いますので UPM の概略を説明させていただきます。UPM はクアラルンプール中心から急行電車で20分ぐらいのやや郊外といったところにあり、工・農・医・薬・経など17学部からなる国立総合大学です。

学長は州の首長 (Sultan)、教員から選挙で選ばれた副学長が実質の学長です。教員は約2千人、後述しますがほぼ半数が女性で、仕事の上での男女の差は全く意識の外にありました。事務職員・技官は約2千人、学生は3万人弱、大学院まで充実しています。博士課程学生は大部分中近東特にイランからの留学生でした。



写真1 工学部メインビルディング



写真2 学内の一コマ

マレーシアの大学は広大な面積を有していますが、中でも UPM が最も広く 1200 万 m^2 という途方もない広さでした。スクールバスが7~23時まで学内を巡回し、バス停がいくつもありました。また、市内に住む学生を送迎するためのスクールバスも同時時間帯市内各ポイントと大学を巡回していました。このようなことからマレーシア政府の人材育成にかける意欲が相当なものであることがうかがえます。

教育は前後期2学期制で、新学期は太陽暦9月から始まります。授業時間は8時から22時まで1コマ1時間ごとに区切られ、休憩は13時から1時間、18時以降は補講や大学院の講義用です。1つの科目は通常週に1時間と2時間の2回、計3時間を教えます。各コマの間には休憩がなく、教員学生は瞬間的に入れ替わります。科目数を増やすには有効な方法だなと感心したり驚いたりしました。学生は相当数の科目を取る必要があり、宿題もかなりの量が出されていました。それぞれ、ノートパソコンを持ち歩き、場所を問わず暇があればキーボードをたたいて宿題やレポートをこなしていました。工学部の池に面した広いオープンフロアや廊下、講義室の前などには大小の机といすがおかれ、空き時間それらに座って熱心に勉強している学生の姿は非常に印象的でした。日本の大学にこういう机や机が各所に置かれているだろうか？置かれているとしても日本の学生はこれほど熱心に勉強するだろうか？考えさせられました。

大学の暦ですが、学期には太陽暦が使われています。しかし多くの行事は陰暦 (ヒジュラ暦) に基づいてお



写真3 ラマダン明けの教職員パーティー

り、そのため非常に複雑になっています。この陰暦は日本や中国のそれとは異なり、月の満ち欠けのみに基づいています。つまり、赤道付近では季節がないため、うるう月などの修正が不要で、太陽暦との間に年11日のずれが生じます。私が赴任した2013年の断食ラマダンは太陽暦7月11日から1か月でしたが今年は5月26日からになっています。

教職員、学生の医療費は無料です。学内に医学部の診療所があります。重病の場合、大学病院に無料で入院できます。教職員の場合、家族も無料、退職後も大学で診てもらえば無料です。なんと元教授ならば夫婦とも大学病院の特別室で生涯無料で治療してくれるとのこと、うらやましいかぎりです。

3. 教職員の構成

教員は、ほとんどがイスラム教徒です。申し訳程度に各学科1～2名の非イスラム（主に中国系マレーシア人）の先生を雇用していました。また、各学科に数名の外人教員（イスラム教徒）が雇用されていました。マレーシア人は雇用時自動的にテニユアをもらえますが、外人は地位、業績に関係なく2年ごとに契約更新となります。不景気にはこの契約教員から首を切るシステムになっています。

私の学科は、学部学生数が1学年約40～50名に対し、Academic StaffはProfessor 7名(6)、Associate Professor 9(2)、Lecturer 14(7)、Teaching Assistant 4(1)、Tutor 4(2)で、Support Staffは、Science Officer 2(0)、Secretary 1(0)、Administrative Staff 1(0)、Assistant Engineer 7(6)でした。()内の数字は男性の数です。他学科もほぼ同様の構成と考えられます。これらは日本の大学に比べかなり充実した内容と思われます。

4. 教員の教育・研究業績の詳細な数値化による評価

着任したとき、工学部長から、「教授には3種類、Full Professor、Research Professor、Visiting Professor



写真4 私の教えたクラスの期末試験風景

があるが、Full Professorでやって欲しい。ただ、日本と異なり、教育研究の評価が厳しく各自パソコンから個人の教育研究にかかわる詳細な情報を学内ネットに入力しなければならない。この作業は大変だけれど、若い者に手伝わせるので大丈夫。」と言われFull Professorを受け入れました。入力項目は多数あり、また細部にわたっていました。作業に慣れておらず、かつ人任せの私には入力していない箇所が多くあったため、合計点数は実際より低く出ていたと思われます。私は2～3年のことなので気にもしませんでした。長く勤める人にとってはかなり気になる場所です。同僚からは、教育研究にかかわるあらゆる書類をpdfで保管しておき、これを証拠として添付する、それゆえ相当の時間がとられ研究の障害にさえなっている、などの不満を多く聞かされました。良い点数が出る入力ノウハウもあるらしい、果たして正確に業績評価ができているのか、などの声もありました。事務方はネットで集まってきた膨大なデータや添付書類をいちいちチェックし真偽を確かめた上でコンピュータに計算させるため、こちらも非常に時間と労力がかかることでした。これはもちろんUPMに限らず10年ほど前から国の方針により行われています。「過ぎたるは及ばざるがごとし」の感はかなりありましたが、この緊張感のゆえに教育研究の業績が上がっているのも事実であろうと思いました。

5. 講義

私は、4回生の科目を各学期1科目担当しました。“Water and Wastewater Engineering”、“Solid Waste Engineering”などです。2年目は同じ講義で楽が出来ると思っていましたが、期待外れですべて違う科目を担当させられました。講義はパワーポイントで行います。準備に相当時間をとられましたが、学生は私の講義をエンジョイしながら目を輝かせて聞いてくれましたし、非常に明るくて人懐っこく質問もどんどんしてきました。マクロからミクロへ、基礎から応用へ、化学反応や生物反応を含めた物質収支やエネルギー収支に基づく数学、日本の最先端技術の紹介など、学生の意欲につられこちらも次々と講義内容を充実させてい



写真5 初年度から最後まで一緒に過ごした院生達
とLecturer Dr. Shamsul (前列左)

きました。物質収支と生物反応式から活性汚泥法による都市下水処理槽の設計計算を、また、物質収支とエネルギー収支、化学反応式から廃棄物発電を組み込んだごみ焼却炉の設計計算も教えました。設計値と実プラントのデータを比較してかなりの精度で計算できることがわかると本当に目を輝かせて喜んでいました。吸着・イオン交換も基礎の相当深いところから最先端の応用まで教えました。こんな楽しい講義は日本では経験したことはありませんでした。

授業が終わると、毎回、全員私のところまでやって来て列を作って一人一人“Thank you very much, Professor. Bye!”などと言って帰ります。また出張などで休講を予告すると、拍手喝采して喜ぶはずとの期待は完全にはずれました。代講日をいつにするかとの質問から始まり、学生が空き教室の調査と予約（18時以降になる）を喜んで引き受け、あっという間に相談がまとまりました。いずれも日本では考えられない姿でした。

テストは中間と期末の2回実施しました。日本と違って、問題と解答を予め教務担当教員に提出して内容のチェックを受けます。問題は英語とマレー語で、学生の解答は英語でと決められています。問題用紙は事務部で印刷され厳重に金庫に保管されます。試験の当日に担当教員がサインして受取り、試験場に持って行きます。試験場では補助2名（学科の技官）が付き、まるで日本の入試のような雰囲気でした。成績ですが、私の場合、最高難度の問題（担当委員が難度を評価）を出しましたが、満点が数名、ほとんどが90点以上でした。

講義に使ったパワーポイントなどの印刷物、学生の出席表、中間・期末テストの問題と出題教員による解答、成績表、成績上中下各3人の答案用紙、学生の講義への評価（アンケートを集計したもの）などは講義ごとにファイルし学科事務室で保管されます。

余談になりますが、講義室では『男女席を同じゅうせず』、江戸時代の武家社会かと思われる風景が見られました。男子学生と女子学生はそれぞれ固まって左右別々に座る、さらにその中でイスラムと非イスラムが分かれているという不思議な風景が見られました。



写真6 社会人修士課程の学生たちと（講義終了後の記念撮影）

これは、講義室に限らず、例えば学長の訓示を教員が講堂で聞く場合も、家で行う伝統的な結婚式でも同じでした。男女が集まる公の場所では必ず見られた風景でした。

6. 卒研生の研究室への配属と卒業まで

9月、教員は新4回生に対して教員一人当たり2～3のテーマを提示します。4回生は教員に詳しく説明を聞きにいたり、昨年の卒研生の成果を調べたりして、Supervisorを決めます。

11月には、卒研テーマにかかわる文献調査や研究の方向性、計画などを評価教員数名の前で報告し、質疑応答後コメントをもらうとともに採点されます。その後、二度ほど文献調査と研究の進捗状況を教員の前で発表、質疑応答後コメントをもらい採点されます。Supervisorは担当学生の卒業研究の評価（かなり詳細な項目）を年に数度学内ネットを通じて打ち込み、卒業資格の計算に用います。

6月、学科主催の卒研発表会がポスター形式で開催されます。教員による採点評価を受け、その日のうちに金銀銅賞各2名の授賞式が学科で開催されます。後述します私の研究室の卒研生は2015年金賞一名、2016年には金賞2名、銀賞1名、銅賞1名もらいました。賞を多くとった研究室には、次の年、卒研や修士希望者が殺到することになります。

7. 大学院生の学位取得

大学院は修士課程2年、博士課程3年があります。両課程とも入試はありません。Supervisorが途中で院生の学位取得能力なしと判断すると説得して中退させます。

学位を取得するには講義等の単位取得に加え、修士は論文1報、博士は3報が学術誌に掲載されていることが条件でした。したがって、修士の場合でも単位取得後すぐに卒業できるケースは皆無に近く、一旦就職し、学術誌に論文が掲載された後、修士論文草稿を大学に提出、Supervisor、Co-Supervisorを除く学内3名、学外1名の審査委員による審査、公聴会での質疑応答を経て、①受理、②修正後受理、③大修正（再実験、追加実験を含む）後再審査、④不可、のいずれかの判定を受けます。なお、Supervisorを審査委員会に入れる大学もあります。



写真7 第1実験室（装置は大阪府立大学から移管）



写真8 分析室（装置は大阪府立大学から移管）



写真9 共同研究のLecturer Dr. Razif(右から5人目)と院生達

博士課程は取得条件である掲載済み論文の数が修士課程と異なる程度でほぼ同じプロセスで審査されます。

私も学内外から修士や博士の審査をかなり依頼されました。学位論文草稿が送られてくると審査のフォーマットに従い各項目について意見を書き返信することになりますが、締め切りまでの日数が短く、他の仕事と重なって大変だった思い出が何度かあります。私はまじめにかなりの量の意見書をかきましたが、審査会に出てみると意見をあまり書いていない委員も多く、こんなものかと落胆した記憶があります。

もう一点、是非紹介したいのが「社会人修士課程」です。これは学部卒の社会人が働きながら1年間で修士号を取る、かなりハードなコースです。私の学科では毎年20名前後の入学者がいました。年齢的には20代後半から40歳前後まででした。約7割が女性で多くは既婚でした。一人の先生が土曜日の13～19時と日曜日の9～19時の2日間連続で1科目の集中講義をします。

学生はこのような講義を決められた単位の数だけ受講しなければなりません。私も1科目担当しましたが、こんな長時間の講義をしたのは初めてで、途中で演習を課してその間こちらは少し休憩しても、講義が終われば声は枯れ、くたくたでした。学生は働きながら、ある期間ほぼ毎週土日受講しないといけませんので、かなりハードです。講義期間が終われば各科目の試験があります。さらに普通の修士課程の学生と同様に修士論文を提出しないといけません。ただし、前述の普通の修士課程で要求される学術誌1報掲載済みの縛り

はありません。研究は主に講義期間中に方向性、計画、文献調査などの準備をし、教員の前で数回プレゼンをして質疑応答、コメントをもらい採点を受けます。実際の研究は講義期間終了後の土日や休日、勤務が終わってからの夜に大学研究室で集中的に行います。教員はそれぞれ1～2名の研究を指導します。研究テーマを持ってくる学生、先生からテーマをもらう学生、様々でした。私は3年間で4人（うち女性3人）の学生の指導をしました。全て既婚者でした。一人は専業主婦で赤ちゃんを連れてきていました。一年の最後に半日かけて口頭発表会が2会場で行われ、質疑応答採点され、優秀な2人が賞をもらいます。私の学生も一人受賞しました。どの学生も非常に熱心で意欲、向上心にあふれていました。相当ハードであったはずなのに皆底抜けに明るい。ここでも勃興の国の若者のたくましい姿に触れ、日本でこのような意欲にあふれた学生がこんなにたくさんいるだろうかという思いが募りました。

8. 研究

まずお伝えしなければならないのは、大学から研究費の支給はゼロということです。全て国や大学に申請して取ってこないと研究はできません。着任して初めてこのことを知りました。私は国の補助金約400万円を獲得するのに約10か月を要しました。

私の場合、大阪府立大学在職中に外部資金で購入した備品（測定装置、反応装置、吸着装置など）のうち5年以上古いものの一部や実験器具類などをUPMに



写真 10 国際会議場からブトラジャヤ中心部を望む

移管（寄付）することを大阪府立大学が認めてくれました。そのため、わずかの消耗品費で何とか研究を続けることが出来ました。もし、マレーシアの大学に就職を希望される場合、研究費の確保が一つの大きなポイントです。

マレーシアではパーム油の製造が盛んで輸出量は世界1位です。製造プロセスはかなり古く、改良の余地が多くあると直感しました。さらに廃棄物の処理には多くの問題が横たわっていました。私は、持ってきた装置でできそうなテーマ、亜臨界水処理によるパーム老木（約25歳で伐採、大量発生）の資源エネルギー化、パーム実の絞りがす繊維からの油の回収・資源化、パーム油製造後の汚泥や下水汚泥の資源化、生分解性プラスチックの製造、などから手がけました。大学は、第1～3実験室、分析室、学生居室を与えてくれました。研究室は、初年度、卒研4名、博士課程院生1名、Lecturer1名でスタートしました。2年目には卒研3名が修士課程に残り、さらに、一緒にやりたいという先生も出てきました。3年目には、直属Lecturer2名、共同研究Associate Professor2名、共同研究Lecturer2名、博士課程院生3名（直属1名）、修士課程院生8名（直属5名）、4回生数名の大所帯になりました。マレーシアの指導方法（学生に任せる）とは異なる日本流（？）（毎月1回緊張感の中、全卒研・院生を集め、それぞれにプレゼンさせ、考察と方向性を議論する。それ以外に適宜個人的にディスカッション）で鍛えあげました。学生は最初戸惑ったようですが、このやり方を喜び楽しみにして、みるみるうちに成長し、いくらでも伸びていく感じがしました。

私の契約期間は2年でした。家内は初めから大反対でしたし、姉や兄は赤道付近での単身生活の身を案じ早く辞めて帰って来いと、やいのやいの催促でした。私の直属卒研・院生はすべて女性でした。契約期間が終わる少し前に、もうすぐ帰ると彼女らに言ったところ、突然全員が目や鼻が真っ赤になり涙が溢れ

出で「帰らないで欲しい」、「いや、帰る」の押し問答になりました。結局、「どうしてもというならせめてあと1年いて欲しい」、ということで決着しました。女性に泣いて頼まれると断れません。ただ、Full Professorとして若い先生と同じことをするには体力的にかなりきつくなっていましたので、最後の1年は休みが多く取れ講義はなく研究だけすればよいVisiting Professorに変えてもらいました。

9. 友遠方より来る

滞在中、日本の友人の先生や事務官などがマレーシアでの仕事の後立ち寄ってくれました。吸着学会・豊橋技術科学大学の松本明彦先生も訪ねてくれました。大変うれしい時間を過ごすことが出来ました。また、大阪市立都島工業高等学校は日本の文科省からSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の指定を受けていますが、その活動の一環として昨年、UPM見学、教員・院生の前での研究発表、パーム農園視察、パーム油からのバイオディーゼル油製造プラント見学、森林研究所視察に来ましたが、学科として全面的に協力させていただきました。高校生が大変喜んでくれたと聞き一同大変うれしく思いました。

10. マレーシアから日本を見て

勃興の気概と勢いに満ちたマレーシアとバブル以降低迷する日本の現状に対して感ずるところが多々あり、危機意識すら感じました。それらを少し述べます。

10.1 国づくり

現在のマレーシアは明治時代の日本のようなもの。国づくりの勢いはバブルではないかと思わせる激しさが感じられ、2020年には先進国入りを果たす、としています。しかし、多くは既に先進国だと豪語していました。イスラム教徒が75%以上、その宗教的なまとまりと強い精神的基盤に支えられ、400人種以上からなる多民族国家を『マレーシアは一つ』という標語で束ね、アジアで安定した愛国心の強い信頼できる国として、ゆっくりとしかし着実に発展していくように見えます。

「430年間の植民地、永遠に植民地かほとんど諦めかけていた時、日本軍がシンガポールをわずか3週間で落としイギリス人を追い出してくれた。以来、日本に対する感謝と敬愛の念を国民は今なお強く持っている」と多くのマレーシア人に言われました。

1963年マレーシア連邦成立、1965年シンガポールが分離独立。1981～2003年、偉大な政治家マハティール首相により現在のマレーシアが創られました。彼が首相になってすぐ来日、当時の首相中曽根氏と会談、企業誘致を頼んだところ中曽根元首相はその場で松下幸之助氏に電話、幸之助氏はその場で快諾。昔は胸の



写真 11 休暇で家内とボルネオへ：サビ島でパラセーリング

すくような決まり方をしたものです。成果はたった一社かと馬鹿にした人達は腰を抜かしたそうです。松下が来るということは関連会社がたくさんついてくるといことで、数千人の雇用を創出。その後多くの日本企業誘致の礎となりました。これが2番目の日本へ感謝だそうです。1991年には30年間の国家運営の基本方針「ビジョン2020」を示し、前述の2020年先進国入りを果たすという大目標を打ち立てました。1992年「もし日本なかりせば」演説、しかし残念ながらわずか10年後には「日本もはや反面教師」発言となりました。また、彼の「ルックイースト政策」により、多くの国費留学生を20年計画で日韓台の大学に送りこみました。UPMでも日本で学位を取った40歳前後の教員が多くいました。マハティール氏は現在91歳。日本への強い思い（最近では叱咤激励）を込めた著書や取材録が多くあります。今もお元気で活動され、私が在職中UPMにも講演に來られました。

10.2 都市計画と観光立国

マレーシアは430年間植民地であったため、観光資源となるようなオリジナルな古い建物などは皆無です。そこで、クアラルンプールなどの大都市は工夫を凝らしたデザインの建造物をつくり観光資源にしています。この最たるものがマハティール前首相の提唱によるブトラジャヤへの首都移転計画（1995～2020）です。マレーシアにある湖や池の多くは錫鉱露天掘りの跡に水がたまってできた遺産です。この湖をうまく利用し、地形を変え、中心に首相官邸、モスク、大通り両側の官公庁の建物、周りには大企業の本社ビル、数々の橋、国際会議場、大きく取り巻く政府役人の閑静な戸建て住宅やマンション。建物や橋は一つとして同じデザインがないユニークな現代美術でした。モスク以外は全てマレーシア人による設計建設であると誇らしげに話

していました。観光バスが多数訪れ、池には多くの遊覧船が頻繁に往来していました。日本の大都市では同じような高層ビルが林立しているだけです。日本が観光立国を目指すのであれば完敗だなと強烈なパンチをくらわされた思いでした。

キャメロンハイランドの茶畑は観光で有名です。海外からの観光客がたくさん来ていました。標高1500m、茶畑の緑が広がり涼しく心安らぐ所でした。紅茶を始め関連商品もどんどん売れていました。日本にこのような茶畑はたくさんありますが、観光資源を兼ね外国人観光客をどんどん集めるほどの意欲や工夫を示しているところはまだありません。

私は和歌山の白浜が好きで良く行きますが、素晴らしい海と温泉を持ちながら凋落の一途です。わずかにアドベンチャーワールドのパンダで持っているようなものです。マレーシアの海に行きますと海はもちろん美しいですが、加えてパラセーリング、海中散歩など様々な工夫がいっぱいで徹底的に遊ばしてくれました。決して安くはないのに大人気で切符がどんどん売れていました。観光資源の少ないマレーシアが、持っているものを最大限生かして喜んでもらおうとする態度はリピーターや外人観光客の増加につながり、まさに顧客満足度の観点がいかに重要であるわかりました。

マレーシア人は韓国と日本は観光先として同等と考えており、どちらに旅行するかと問われれば韓国に行くと言います。韓国はどこへ行ってもハラールフード（イスラム教徒が食べられる食品）をおいしく食べられるが、日本ではいまだに見つけるのが難しい、というのが彼らの印象です。これが日本の顧客満足度に対する意識の低さ、グローバル化への対応の遅れ、研究不足を示す最たる例で残念でなりません。

10.3 技術立国日本はグローバルの視点と顧客満足度が欠如

大型ショッピングモールがあちこちにあり、新しいモールもどんどん建っていました。AEONもありました。まさにバブルの様相を呈していました。どこもワンフロアを全て電気製品売り場に使っていました。着任した2013年、それを見て愕然としました。携帯、スマホ、パソコンなどの店舗はほぼ9割がSAMSUNGの店で自社とApple製品を主に販売していました。テレビ、エアコンなどの家電製品も8割がSAMSUNG製で、日本製品は片隅に追いやられている感じでした。

日本製品は良いが高い。車以外は売れが悪い。とは言っても何故急激にこれほど劣勢に転じたのか。私は、前述のグローバル化と顧客満足度に対応できていないためと考えます。

スマホの例をあげます。2013年、着任してまぶびっくりしたのが、あちこちでB6版くらいの大きさ

のタブレット端末で電話をしている姿でした。大学の教員、ビジネスマン、お店の従業員など、主に仕事に使っていました。イヤフォンとマイクがセットで本体と Bluetooth でつながっていました。メールはもちろんデータの共有もしていました。旅行に行った時、ガイドもそれを持っており、本店との連絡、旅行者名簿、旅程、地図などすべての最新情報が共有されていました。

ディスプレイの文字は小さいですが拡大しなくても読めました。SAMSUNG 製でした。SAMSUNG は心憎いほど顧客のニーズにこたえるべく様々な種類のスマホを用意していました。当時 iPhone や SONY の XPERIA はサイズが一種類でしかも高価でした。学生は安い SAMSUNG 製スマホを持っていました。形や大きさは学生の財力により多種多様でした。

マレーシアで売っている SONY のカメラに内蔵されている言語は当時日本語だけでした。私は CANON 製のプリンターを買いましたが英語が入っているだけでした。日本製以外では、内蔵している多くの言語から好きな言語を選べるのが常識です。

一つ救われた思いがしたのは計算機です。工学部の学生は全員計算機を持たねばなりません、全て CASIO 製でした。

日本人スタッフが海外各地に派遣されています。なぜ彼らは、派遣地において顧客が何を求めているかを真剣に研究し、それを報告提案しないのでしょうか。SAMSUNG 社員はそれを確実にしており、またそれに答えた技術開発をしているからこそ売れているのだと思います。現場にこそ新しいテーマがあります。日本人の洞察力や知ろうとする意欲は既に劣化しているのでしょうか。

日本の農業製品は安全と美味しさでは世界一です。マレーシアの果物はトロピカルなものを除いてはまずいです。例えばリンゴは小さくまずい、たまたま「富士」と書かれたマレーシアのリンゴより少し大きいものを見つけ買ってみました。まさに日本のリンゴの味でとてもおいしく、はまってしまいました。しかし日本のリンゴより小さいのでおかしいなと思い調べてみると中国製と分かり買うのを止めました。日本の農産物は高い技術で生まれた安全安心、世界一おいしい製品です。どの国でも富裕層はたくさんおり、良ければ高くても絶対に売れます。もっと自信をもって売りに出るべきと歯がゆく思いました。後継者がいないので東南アジアに行ってその技術を教えるようなことは止めて、国の政策で日本人後継者を育て、この素晴らしい農業製品を世界に送り出す努力をもっとすべきです。売れば後継者は自然に生まれます。



写真 12 学科の教員が送別会をしてくださいました。お別れに日本の伝統文化『折り鶴』の折り方を伝えました。

一人のマレーシアの友人が、CASIO の G-SHOCK という高級時計を買って見せに来ました。彼は怒っていました。「Made in Japan はどこにあるんだ。部品ごとに作られた国が違うではないか。私は全ての部品が日本で作られた本物の CASIO G-SHOCK が欲しい。もっと高くても買う。値段が問題ではないのだ。」と。これも日本のこれから生きる道の一つのヒントと思いました。

10. 4 人口問題と子育て環境の整備

マレーシアの人口は約 3120 万人（マレー系 67%、中国系 25%、インド系 7%）、労働人口が不足し約 400 万人の低賃金外国人労働者の雇用により経済活動が成り立っています。

そのためか、マレー系はほとんどが結婚し、今でも一夫婦 4～5 人の子供をもうけます。ほとんどが共稼ぎ、しかし女性たちは「そんなことは当たり前、医者があるが無理だと止めるまで生みます」と平然と言っている。私の在籍した化学環境工学科の教員ですら、世界人口増加の環境に及ぼす影響などには全く無関心で子供の数を自慢していました。大学在学中に結婚して子供を育てながら通学する女子大生もかなりいました。私の研究室の修士の学生も 3 人結婚し、一人は子育てしながら現在投稿論文を書いています。

大学には、保育所が学部 1 つ、大きな幼稚園が大学に一つあります。職場での子育てに対する対策は整っています。どうしようもない時は大学に連れてきて自分の部屋で遊ばせたり講義中は同僚に面倒を見てもらったりしていました。

小学校から 18 歳まで、子供 5 人までは以下に示すような国の援助があります。公立の小学校（6 年間）と中学校（3（lower）+ 2（higher）の 5 年間）は年間 100 RM（RM はリンギット、マレーシア通貨単位で大雑把に 1 RM = ¥30）以下です。その後、大学予備教育 1～1.5 年（200 RM）を経て大学に入ります。無料に近いです。大学・大学院は有料です。

なお、マレーシアの教育課程（6, 5, 1.5, 4 年）は戦前の日本の（6, 5, 2, 4）過程とほぼ同じです。極めて優れた日本の教育システムがマレーシアで継承

されていることに感動するとともに、日本も早くこれに戻さねば人材育成の面でも負けてしまうという強い焦りを感じました。

小学校は校舎が人数分の半数しかないため午前組と午後組に分かれて通います。空き時間は塾に通い勉強します。また中学生も授業が終わってから塾通いです。子供の数が多いにもかかわらず、住宅街で子供をほとんど見かけないのは、この教育熱心のためかと納得しました。

日本は、出生率が低下し危機的状況にあります。子育てしやすい環境造りは、日本は上記の通りマレーシアより数段劣っています。マレーシアのような政策を展開しない限り日本の人口問題は解決しないと思います。一方、子を産むことへのマレー女性の圧倒的迫力は勃興の国の勢いからなのか、どこからくるのかと深く考えざるを得ませんでした。なお、マレーシアのイスラム教は避妊を認めていますので宗教上の制約からではありません。

中国系は、日本同様出生率は低く一人子がほとんどでした。あるマレー系教授は、このまま行けばすぐに中国系の割合が10%以下になり喜ばしいことだ、と言っていました。

10.5 素晴らしい若者たち

前述したように、大学生は男女とも底抜けに明るく礼儀正しい。向上心が旺盛で目を輝かせて講義を聞いていました。熱心に勉強し継続力もかなりありました。暇を見つけては持ち歩いているノートパソコンに宿題やレポート、予習復習の入力をしていました。大学の外に出ればどうでしょうか。電車に乗れば若者は率先して老人や妊婦に席を譲っていました。私は、急行電車でよくクアラルンプールに行きましたが、いつも満員でした。しかし、若者が必ずすぐ席を譲ってくれました。遠くの席からわざわざ呼びに来てくれたこともありました。一度も立ったままでクアラルンプールに行ったり帰ってきたりしたことはありません。日本では、若者はスマホや化粧に熱心で、席を譲るなどは既に大昔の話になってしまいました。

マレーシアは親も子も先生を敬う心は今なお強く、モンスターペアレンツなどは存在しません。これは敬虔なイスラム教徒の故なのか国民性なのか不明ですが、少なくとも日本の跡をたどることがないことを祈りたいものです。

11. おわりに

マレー人の多くは、顔やしぐさが日本人と大変似ていました。家に入れば玄関で靴を脱ぎ裸足かスリッパに履き替えます。ホテルもそうしないといけませんでした。家でする伝統的な結婚式に招待されて初めて知りましたが、床に丸い座布団を敷きその上で男性があ

ぐらかき女性は正座する姿に大変驚きました。これらは大昔からあった習慣とのことです。つい最近まで高床式の本造住宅に住んでいましたが、それが日本の弥生時代の住居、正倉院や神社によく似ている、など、日本人のルーツはマレー人ではないかと思ったくらいです。非常に親近感の持てる国でした。

しかし、前述したようになりに違うところも多々ありました。日本は戦後、愛国心と言えば右翼と言われ国を愛する気持ちがゆがめられてきました。自虐性に陥り、国旗掲揚も国歌斉唱も嫌う、こんな国は日本だけでしょう。国あつての企業、大学、個人です。マレーシアの大学は全寮制で、愛国心、愛校心が徹底的に叩き込まれるようです。このような若者が世に出ると人材不足もあり卒業後すぐに重要な役割が与えられ、意気揚々とそれをこなして成長していきます。若者だけではありませんが「日本など何するものぞ」の気概があります。我々はもっと外に出て出来ればしばらく住み、欧米のみならずアジアの人々とも接触、理解し、良い事はどんどん取り込みながら自己啓発し国も組織も個人もオリジナリティーを高めていくことが大事ではないでしょうか。



吉田 弘之
大阪府立大学名誉教授

- 1974年 大阪府立大学大学院工学研究科博士課程化学工学専攻単位取得退学
- 1974年 同工学部（化学工学科）助手、講師、助教授を経て
- 1995年 同工学部教授
- 2000年 大学院の改組により、同大学院工学研究科教授
- 2006年～2010年 同21世紀科学研究機構資源循環工学研究所所長（兼務）
- 2010年3月 定年退職、大阪府立大学名誉教授
- 2010年4月～2013年3月 同21世紀科学研究機構特認教授
- 2013年7月～2016年10月 Contract Professor, Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia
- 2001～2003年 日本吸着学会会長
- 2005～2007年 化学工学会分離プロセス部会部会長
- 2009～2010年 化学工学会副会長
- 2010～2016年 NPO 法人テクノメイトコープ理事長

吸着基礎シリーズ

X線／中性子散乱法の基礎と 吸着系への適用

Fundamental of X-ray/neutron scattering and
diffraction and application to the characterization
of adsorption systems

信州大学理学部
Faculty of Science, Shinshu University

飯山 拓
Taku Iiyama

1. はじめに

一般に多孔体のキャラクタリゼーションにはまず窒素分子等をプローブとした吸着等温線測定が用いられる。これは多孔体の「吸着能」を調べるには当然ながら極めて合理的な方法である。多孔体の表面構造が均一であることは少なく、多孔体は表面官能基をはじめとする化学的な組成の不均一性や、細孔径のばらつき、表面のラフネスなどを伴う。プローブである吸着分子は、これらの不均一性をありのままに捉える。多孔体表面に表面官能基や表面構造欠陥が存在し、そこが強い吸着サイトとなっていれば、吸着分子はごく低圧でそのサイトに捉えられ、I型の等温線の立ち上がり部分にその情報が現れる。またメソ孔性多孔体において、細孔径がばらついていたたり、径が一部で狭くなっているネックが存在していれば、メニスカスの形成・消失条件が変化して、IV型の等温線の立ち上がり位置やヒステリシス形状に影響が現れる。表面に電気的な極性が存在しているかどうかは、極性分子の吸着等温線にその特徴が現れるであろう。

しかし、これらの吸着量測定から得られる情報は多孔体中の孔、細孔側の情報に限られる。多孔体は、固体部分とその空隙である細孔部分から成っており、この2相が（時間的には固定されているものの）極めてミクロなオーダーで混合している系とみなすことができる。近年作成されている多孔体は物質中の細孔の開発が極めて進んでおり、空隙部分の体積分率 ϕ_v は高表面積活性炭では7割、集積型金属錯体では9割にも及んでいる。固体表面はバルクに比べ不安定であることがよく知られているが、これらの多孔体は2000 m²/g以上にもなる極めて広い比表面積を、体積分率では1～3割程度しかない固体部分が支えているわけで

ある。「表面」をはさんだ空隙側、細孔側だけでなく、固体側の形状や原子構造を理解することは、多孔体の成り立ちを理解し、吸着現象をとらえるうえで重要であると考えられる。

吸着等温線以外の方法で、吸着系の情報を得ようという試みは本シリーズの前稿¹⁾にあったように、吸着熱測定や各種の分光法の適用がある。吸着量測定や吸着熱測定のようなマクロな測定法ではなく、分光法や散乱法のミクロな測定法を吸着系に適用する場合には、細孔が固体に囲まれた「隠された空間」であることが問題となる。分光法はプローブである電磁波と試料の間のエネルギーのやり取りを見る方法であるから、IR等の電磁波は必然的に固体部分によって吸収（散逸）してしまい、細孔中の吸着分子や、吸着分子と表面の間の結合等の情報を見るには困難が伴う。本稿で扱うX線／中性子散乱法は、プローブであるX線や中性子が試料中の原子によって方向だけを変化させる「散乱」現象を利用する。X線や中性子は物質とのエネルギーのやり取りが少ないために、種々の試料に対して高い透過性を持つ。そのため、得られる情報は物質全体の情報であり、吸着系に適用した場合は、物質の外縁近傍だけでなく、固体部分全体、さらに細孔中の吸着相の情報を多く含んでいる。なお、電磁波等のプローブを物質に照射してその応答をみる種々の測定法のうち、プローブと試料の間でエネルギーのやり取りがあるものを分光（spectroscopy）法、ないものを散乱（scattering）法と呼び、散乱現象のうち散乱されたプローブが干渉によって強め合ったり弱めあったりする（とくに強め合う条件がピークを成す）場合を回折（diffraction）法と呼ぶ。

散乱・回折法は、プローブ（X線、中性子）が試料中の原子とエネルギーのやり取りをせず（波長や速度を変えず）方向を変化させた際に、個々の原子の位置の違いによって生じる位相差を捉える方法である。従って、得られる情報は原子の「位置」に由来する情報である。この情報は結晶構造のような原子オーダーの情報だけでなく、特に小角領域では粒子の形状、大きさ、密度、物質の混合状態などの情報が含まれている。一方でエネルギーに由来する情報、例えば分子間相互作用等の情報は（直接には）含まれていない。また、中性子の適用で原子種に関する情報は得られるものの、その正確な識別は不得手である。さらに少なくとも秒オーダー以上の情報を積算する方法であるので、動的な情報も含まれない。このあたりの利点・欠点を理解して、他の測定法と組み合わせて使うことが必要であると思われる。

結晶性の多孔体であるゼオライトや集積型金属錯体では、回折法から得られる結晶構造は極めて重要で基本的な情報である。本稿では、それ以外の「乱れた系」への適用を中心に、以上のような特徴を持つX線・中性子による散乱／回折法の基本的な原理や解析法を解説する。吸着系は一般に「複雑」であり、適切なモデル化を行い解析法を適用する必要がある。しかしながら、これらの適用によって得られる情報は、他のマクロな測定法や分光法にはない独自の情報であり、新しい視点からの理解を可能としてくれるものと思われる。

2. 散乱・回折法とは

よく知られている Bragg の式

$$\lambda = 2d \sin\theta \quad \dots(1)$$

からもわかるように、散乱法では、散乱角 2θ と対応する実空間の距離（ここでは面間隔） d の間につきの関係が成り立っている。

$$\frac{1}{d} = \frac{2 \sin\theta}{\lambda} \quad \dots(2)$$

すなわち、広角領域では短い距離に対応した情報が、小角領域では長い距離に対応した情報が得られる。

また式(2)の右辺に 2π を乗じた量は散乱ベクトルまたは散乱パラメータと呼ばれ、散乱角 2θ に代わりよく用いられる。本稿では q とするが、 Q , s , あるいは k も記号としてよく用いられる。

$$q = \frac{2\pi}{d} = \frac{4\pi \sin\theta}{\lambda} \quad \dots(3)$$

q を使うことによって、異なる波長 λ で測定された回折データも同じ横軸で表すことができる。また、回折における倍角、3倍角（面間隔が $1/2$, $1/3$ の面。例えば (002) 面に対する (004) 面、(006) 面）が、 q 軸では最初のピーク位置のちょうど2倍、3倍の位置に現れるようになる。

X線回折で最もよく用いられるのは $\text{CuK}\alpha$ 線 ($\lambda = 0.1542 \text{ nm}$) であり、 $2\theta = 5 \sim 90^\circ$ が $q = 4 \sim 60 \text{ nm}^{-1}$ に相当する。より波長の短い $\text{MoK}\alpha$ 線 ($\lambda = 0.07107 \text{ nm}$) を使えばより大きな q の領域 ($q = 8 \sim 120 \text{ nm}^{-1}$)、すなわちより小さな構造の測定が可能となる。逆に波長の長い $\text{FeK}\alpha$ 線は小さな q 領域を精密に測定するのに有利である。ただし、物質透過度は波長の短いもののほうが高いので、($\text{MoK}\alpha > \text{CuK}\alpha > \text{FeK}\alpha$)、透過法での測定は波長の短いもののほうがより行いやすい。本稿では扱わないがX線よりもずっと波長の長い可視光を用いる光散乱法は小さな q 、すなわち大きな構造 ($100 \text{ nm} \sim 10 \mu\text{m}$ 程度) を対象とする。

中性子や電子線による回折法では、粒子が速さ v で運動するときに持つ波動性（ド・ブロイ波）より

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

（ここで m は粒子の質量、 h はプランク定数、 E は粒子の運動エネルギー）であり、この λ を式(3)に代入すると、同じ q 軸で回折プロファイルを表せる。物質構造解析には実験用原子炉から得られる中性子を減速し、 λ を原子間距離程度とした中性子線が用いられる。茨城県の共用実験施設 J-PARC で供されるパルス中性子を用いた方法では、線源に様々な速度の中性子が含まれるために、非常に広い q 範囲の測定が可能である。

広角領域の情報は原子間距離のオーダーの情報である。図1のように、結晶であれば広角領域にはシャープなピークが現れ、それぞれのピークが異なった指数で表される「面」に対応している。これらのピークから結晶構造が得られる。アモルファスや液体などの構造的に乱れた系では、ブロードなメインピークとそれに続く波状のプロファイルが現れ、フーリエ変換を経ることで原子・分子の並びの情報である動径分布関数が得られる。アモルファスや液体の構造は完全に乱れているわけではなく、隣の分子までの距離や、隣接分子数は大体定まっている。また隣接分子だけでなく、2つ隣り、3つ隣り（第2、第3隣接分子）あたりまでは通常識別可能である。このような秩序性を「短距離秩序性」といい、対称性の良い分子の場合はその範囲は $2 \sim 3 \text{ nm}$ にもおよぶ。動径分布関数は、このような短距離秩序構造の定量的な記述法である。

一方、おおむね 2θ が 5° 以下の散乱角度領域には、図2のような小角散乱とよばれる角度 0 を中心としたぼんやりとした散乱が現れる。この散乱には原子間距離に比べるとずっと大きな構造、 $1 \sim 100 \text{ nm}$ くらいの原子の「かたまり」の大きさや形、密度の情報が含まれている。隣接分子間距離に相当するような短い距離の構造情報を得るための方法としてはXRDや

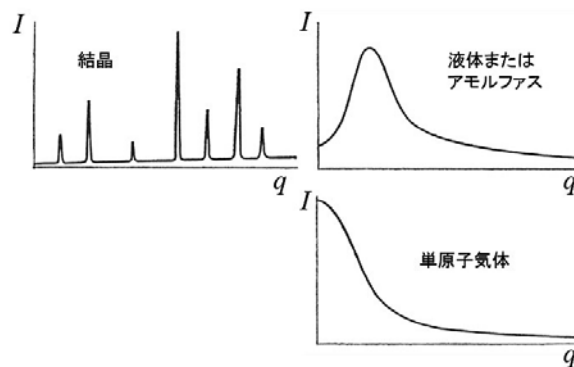


図1 相と広角領域のX線回折図の形状²⁾

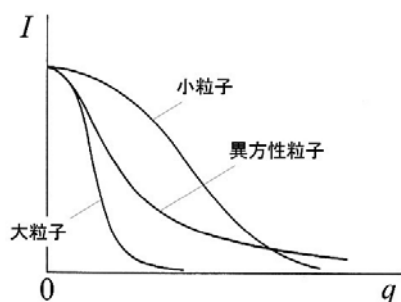


図2 小角散乱強度の概形⁴⁾

EXAFS、またIR吸収スペクトルなどがあるが、このようなメソスコピックな距離の構造情報を得るための実験手段は少ない。小角散乱法はこのような隠されたディメンジョンを探る数少ない測定法である。

微粒子系であれば、微粒子そのものがこの「原子のかたまり」に相当する。吸着系の場合は固体部分と空隙（細孔）の密度のコントラストが小角散乱を引き起こす。孤立粒子系に比べ解析は困難だが、そのプロファイルには固体部分と空隙の大きさや形、その密度差の情報が含まれている。分子吸着法が分子がアクセスできる空間の情報のみを引き出すのに対して、散乱法は物質全体の密度のコントラストを捉えるので、吸着分子がアクセスできない細孔（クローズドポア）の情報も得ることが可能である³⁾。

中性子は線源が極めて限られるという問題があるものの、原子種によって散乱強度が異なるという大きな特徴がある。X線は物質中の電子によって散乱されるので、散乱強度は原子に含まれる電子数の2乗に比例する。よって物質中に含まれる原子のうち原子番号の小さいもの、特に水素原子は見えにくい。中性子は原子核によって散乱され、その散乱強度は原子種によってまちまちである。原子核に固有の散乱能を散乱長という（散乱強度は散乱長の2乗）。中性子を用いることによって、X線では見えない水素を含む軽元素の位置を捉えることが可能となる⁵⁾。また、核種によって散乱長が異なるので、同位体比（例えばH/D比）を変えたコントラスト変化法により原子識別や特定の相の識別が行える。Findeneggらはメソポーラスシリカ中の界面活性剤のミセルについて、溶媒（水）の散乱長密度を変えることでミセルのみの構造情報を取り出し検討している⁶⁾。

広角領域の回折現象、小角領域の散乱現象とも、分子が吸着している状態のin situ測定を行うことによって、多孔質固体中の固体部分と空隙部分の情報だけでなく、吸着相の情報を得ることも可能である。分子充填過程にある吸着系は、固体（多孔体を構成する

固体原子部分）、気体（未吸着の空隙）、液体（吸着相）、の3相混合系とみなすことができる。これらの3相は1～10 nm程度のオーダーで混合していると考えられ、吸着系は微小な固気／固液／気液界面が高い密度で混合した系と見ることもできる。著者が行ってきたいいくつかの検討についても紹介する。

2-1. 散乱・回折法の原理

はじめに散乱・回折法の原理について述べる。いま、波長が等しい2つの波を足し合わせることを考える（図3）。波Aと波Bは、位相が $\pi/2$ （90°）ずれており、両者を足し合わせると波Cが得られる。このような波長の等しい波の足し合わせは、ベクトルを使って考えると直感的に理解しやすい。波A、BをそれぞれA'、B'のように、同じ速度で単位円上をぐるぐると回るベクトルで表すことを考える。先に示した波形はこのベクトルの投影として表される。ここでベクトルA'とB'をベクトルの演算記法に従って足し合わせると、ベクトルC'＝ベクトルAと比べ位相が $\pi/4$ （45°）ずれ、長さが $\sqrt{2}$ 倍－が得られる。ベクトルC'の投影は波形Cと一致しており、波の足し合わせはこのようにベクトルの足し算として考えることができる。この方法は波を複素数表示にしたものと対応している。

$$f \exp(i\phi)$$

(f は振幅（矢印の長さ）、 ϕ は位相差)

実際に観測される電磁波の強度は、足し合わせたベクトルの長さの2乗に比例する。位相のずれが π （180°）であれば反対向きで長さの等しいベクトルの

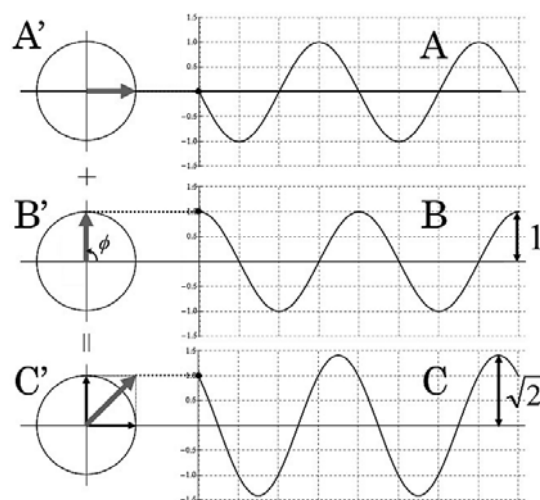


図3 波長のそろった波の足し合わせ
波の足し算 $A + B = C$ はベクトルの和
 $A' + B' = C'$ として理解できる

足し合わせに対応し、波の和は0となる。

2-2. 結晶の場合

X線を用いたもっとも一般的な構造解析手段であるX線回折(XRD)は、物質中に含まれる周期構造を捉える。結晶中の周期構造はミラー指数を持つ格子面として表現される。図4はBraggの式を説明する際に用いられる模式図である。いま、原子A, B, Cが含まれる面間隔 d の格子面に対し、X線の入射方向と散乱方向がBraggの条件(式(1))を満たしているときの波の足し合わせについて考えてみよう。原子AとBの間で生じるX線の光路差は $2d\sin\theta$ であり、これがX線の波長 λ と一致している。すなわち、Bの位相はAに比べちょうど1周期分(2π)だけ遅れ、ベクトルの方向はAと同じ方向を向く。C原子の位相はAから2周期遅れ、やはり同じ方向を向く。以降、結晶が続く限り同じ向きのベクトルが重なる。また、Aから面に水平な方向に移動した位置にあるA'はAと光路差が生じないので、このベクトルも同じ方向を向く。結局、Braggの条件を満たしているときは、格子面上に存在しているすべての原子のベクトルの向きが揃うこととなる。

格子面上にない原子の位相差は、面から垂直な方向の距離だけで決まる。例えばAから $d/2$ 離れているDでは半波長分(π)、 $d/3$ 離れているEでは $1/3$ 波長分($2\pi/3$)の位相差が生じる。結晶の単位格子中の原子数は例えば体心立方では2、面心立方では4というように定まっているから、単位格子内の原子についてベクトルを足し合わせてその長さを2乗すれば、その格子面の相対強度が求まる。X線の場合各原子の

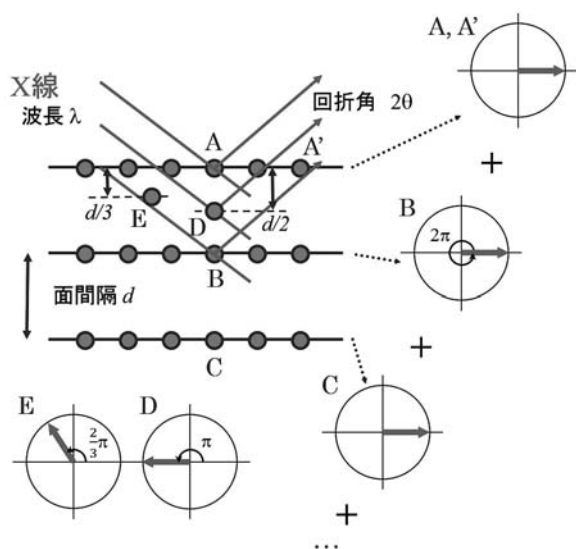


図4 結晶による回折
単位格子内の全原子からの波を足し合わせる

ベクトルの長さはその原子の電子数とすればよいが、実際には電子雲の広がりのために原子内で回折が生じ角度に応じて減衰するので、電子数に代わり原子散乱因子 $f(q)$ を用いる。図1の気体の散乱は原子1個からの散乱 $f^2(q)$ に対応している。 $f(q)$ は原子種に固有でデータ集⁷⁾から得ることができる。中性子の場合にはベクトルの長さとして散乱長 b を用いる。これは核種に固有の値⁸⁾で角度依存性はない。

体心立方格子における(100)面の回折のように、ベクトルの和がちょうど打ち消しあって0となってしまう場合がある。これは消滅則として知られている。消滅則は晶系と格子のタイプ(体心立方等)によって決まり、その推定に利用される。

以上のベクトルの足し合わせを数式で示しておく。単位格子内の a 軸、 b 軸、 c 軸方向の分数座標 (u, v, w) にある原子(例えば単位格子の中心にある原子の場合、 $(u, v, w) = (1/2, 1/2, 1/2)$)のミラー指数 (hkl) 面の回折における位相差 ϕ は

$$\phi = 2\pi(hu + kv + lw)$$

となるという便利な関係式があるので、単位格子分のベクトルの長さの和 F はX線の場合

$$F_{hkl} = \sum_j^N f_j(q) \exp\{2\pi i(hu_j + kv_j + lw_j)\}$$

となる。 $|F_{hkl}|^2$ がピークの相対強度となる²⁾。

結晶ではBraggの式を満たす角度においてのみ波の振幅は足し合わされ、非常に強く、かつシャープな回折ピークが観測される。 (hkl) 面の面間隔 d_{hkl} は単位格子によって決まるので、回折ピークの位置(角度)は「単位格子の大きさ」と「形」だけで決まる。一方、単位格子内の原子の位置により (hkl) 面に対するベクトルの向きが決まるので、回折ピークの強度は「単位格子内の原子の詰まり方(位置)」によって決まる。

式(1)で述べたように、面間隔 d と $\sin\theta$ は反比例するから、小さな距離の構造情報は広角側に、大きな距離の構造情報は低角側に現れる。一般には結晶の回折ピークは $2\theta > 10^\circ$ 以上の広角領域に現れるが、近年開発が進んでいる規則性メソ細孔性シリカや、集積型金属錯体(PCP, MOF)などは $d = 2 \sim 5$ nm程度の間隔の大きな周期構造を持つため、対応する回折ピークは $2\theta = 1 \sim 5^\circ$ の小角領域に現れる。

結晶粉末から得られる回折プロファイルから、単位格子中の原子の位置を解析する方法としてリートベルト法がある。実際に適用する際には、ピークの位置関係から晶系を推定し、元素比や密度の情報によって単位格子中の原子種、原子数を決定、その後リートベル

ト法によって単位格子中の原子位置を推定することとなる。解析手順や注意点は成書を参考されたい⁹⁾。

2-3. ピーク幅と結晶の大きさ

結晶粒子の大きさと回折ピークの半値幅には関係があり、次のシェラー（Scherrer）式として知られている^{10,11)}。

$$D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\beta_{\frac{1}{2}} \cos \theta_B}$$

ここで $\beta_{\frac{1}{2}}$ はラジアン単位で表したピークの半値幅、 D は対象となるピークの面に垂直な方向の結晶粒子（結晶子）の大きさである。粒子径が小さいほど、ピーク幅が広がる。 θ_B は Bragg 角（回折角の半分）、 λ は波長である。 K は形状因子と呼ばれ $K=0.9$ 、グラフェンのような 2 次元結晶では $K=1.84$ が使われることが多い^{11,12)}。

この関係は図 5 のように理解できる¹³⁾。Bragg の条件を満たす場合は前述のように格子面上にあるすべてのベクトルが同じ向きを向くが、Bragg 角からわずかに小さい角度では、1 周期ごとにわずかなずれ（ δ ）が生じる。結晶の大きさが無限であればほんの僅かなずれでもベクトルの総和は 0 となるが、実際には結晶の大きさには限りがあるので、少しずれただけではベクトルの和は 0 とならない。結晶が小さいほど、ベクトルの和が 0 となるまでの角度のずれは大きくなる（半値幅が広がる）。

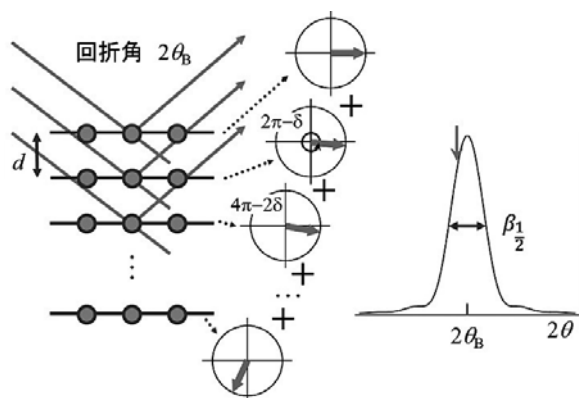


図 5 Bragg 角よりわずかに小さな角度での回折

この原理は後に述べる小角散乱と類似しているが、この方法は結晶構造の周期性を利用しているので、結晶の大きさだけではなく、結晶構造の乱れの情報が重なって現れてしまう。高次の回折（例えば (411) 面のような）では格子面に平行な方向の結晶の乱れも影響してピークはブロード化しやすい。また、ピークの広がり装置のスリット幅などにも影響されるので注意が必要である。

2-4. 動径分布関数

図 1 に示したように、アモルファスや液体は結晶とは全く異なったブロードな回折形状を示す。これは前述のように、短距離秩序性を持っていることの反映である。アモルファス中に距離 r の原子対が存在すると、回折図に $\sin(qr)/(qr)$ の波形が現れる^{11,14)}。図 6 のように、距離の異なる複数の原子対が存在すれば、それぞれの r に対応した波が重なることとなる。小さな r の原子対は周期の長い波（実線）、大きな r の原子対は周期の短い波（破線）となる。これらの波は原子自身による散乱 $f^2(q)$ とともに現れるので $f^2(q)$ を引き、フーリエ変換をすることで、距離 r にどれくらいの数の原子対が存在しているかを表す動径分布関数が得られる。後で中性子回折から得られた動径分布関数の例を示す。

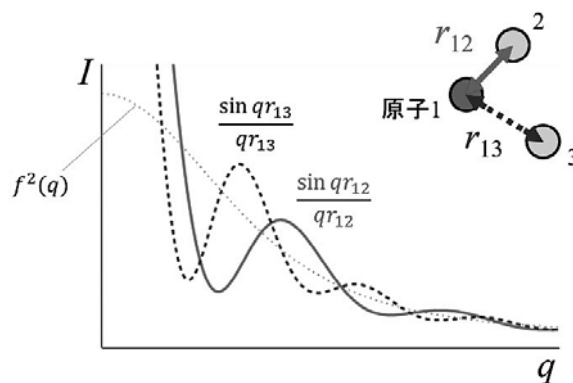


図 6 特定の距離の原子対がある場合の回折図

2-5. 小角散乱

X 線小角散乱は図 2 に示したような散乱角 $2\theta < 5^\circ$ 程度の小角領域に現れる $2\theta = 0^\circ$ を中心とした緩やかな散乱現象である。この方法では前述の回折現象で得られる物質中の周期構造ではなく、物質の内部に存在するコロイドオーダー（数 nm から数 μm 程度）の密度のゆらぎが捉えられる。いま、図 7 のように、物質中に周辺よりも密度が高い領域（あるいは粒子）があるとしよう。ここに X 線が照射された際に、粒子の上端 A と下端 C で、1 波長分程度しか光路差が生じないような極めて小さな散乱角 2θ に散乱される X 線の強度について考える。粒子の上端 A で散乱される X 線を基準に考えると、A 点より距離 x だけ下にある B 点で散乱される X 線はいくらか長い距離を進むので、位相にわずかにずれが生じる（位相のずれは $4\pi x \sin\theta/\lambda$ ）。このずれは粒子内の図中垂直下向きの距離 x に比例して大きくなり、粒子の下端 C 点で最大となる。この時、この粒子全体からの散乱強度の大きさは粒子内の各点

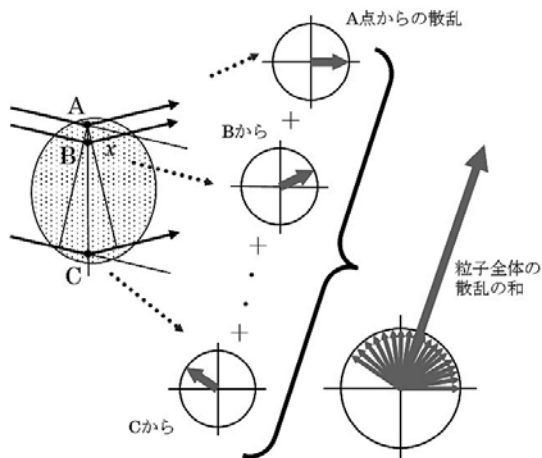


図7 粒子からのX線の散乱

からの矢印を全て加えれば良いわけだが、A点とC点の光路差が1波長以下の場合、粒子内の各点からの矢印群は図中に示したように「扇」状となり、足し合わせるとかなり長い矢印となる。散乱角を大きくしてゆくと、波のずれは次第に大きくなるので扇は開いていき、 360° まで開かれると（点Cからの波が1波長分ずれると）矢印の和、散乱強度はほぼ0となる。逆に散乱角を0に近づけてゆくと扇は閉じていき、散乱強度は増す。このようにして、角度0を頂点とする緩やかな散乱が生じる（図2）。粒子が小さい場合には角度の増加に伴う扇の開き方はゆっくりになるので、比較的広角まで散乱が続く。逆に粒子が大きい場合には扇は早く開かれ、小角で散乱は減衰する（ここでも対象物の大きさと散乱角度の逆数の関係が成り立っている）。よっておおまかには、角度0における散乱強度が上記の粒子内と周辺の密度差（密度ゆらぎ）、散乱強度ピークの広がり（半値幅）の逆数が粒子の大きさ、散乱強度形状が散乱体の形状を表していると考えることができる。

3. 解析法

ここまで、「波の重ね合わせ」である散乱・回折現象について、ベクトルの足し算を利用してその原理を説明した。次に、小角散乱を中心にいくつかの解析法を紹介したい。

小角散乱を実際に適用するには、散乱体について球や棒をはじめとする形状モデルにおいて、モデルから得られる理論散乱曲線と実験値を比較することにより、それぞれのモデルに対応した構造情報（回転半径や棒の長さなど）を得る。SAXS プロファイルには複数の異なるオーダーの構造情報が含まれている¹⁵⁾。例えば炭素材料においては小角側から広角側へと、炭素マト

リックス体（繊維状活性炭では繊維）の大きさ、形状、表面構造と、大きなオーダーから比較的小さなオーダーへと多くの構造情報が重なりつつ連なっている¹⁶⁾。物質によって成立するモデルおよび散乱角度範囲が異なることに注意が必要である。

3-1. 孤立粒子系への小角散乱の適用

1個1個がばらばらでつながっていない「孤立粒子」が生じる小角散乱については種々の解析理論が知られている。ここでいう粒子は微粒子、ナノ粒子だけでなく、たんぱく質分子のような巨大分子でもよい。モデルが適切に立てられれば、コア・シェル粒子のような異なる密度領域を持つ物質も解析可能である。また、小角散乱は密度「差」を捉えるので、吸着系のように、固体中に存在する空隙を「粒子」と見て、その情報を得ることも可能である。真空中に存在する密度 ρ の粒子と、密度 ρ の連続固体中に存在する同じ形状の空隙は、まったく同じ散乱プロファイルを示すことが知られている（Babinet の定理）^{4, 16)}。

小角散乱のプロファイルは構造に周期性がない限りピークは現れず、単調な減少曲線となる。（ただし、粒径が完全にそろっている球形粒子の場合、周期的な極大が現れる。）また異なるオーダーの構造情報が連なって現れるので、適切な解析法を適切な角度領域に適用することが必要である。孤立粒子の場合、図8のような3つの領域、I（粒子サイズの情報を含む）、II（粒子形状の情報を含む）、III（粒子の表面形状の情報を含む）に分けて考えるとよい^{15, 17)}。

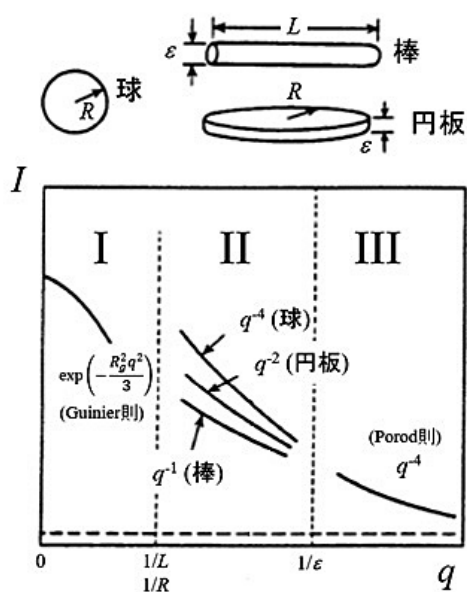


図8 小角散乱領域と得られる情報¹⁵⁾

3-1-1. 領域Ⅰ～粒子の大きさ^{4,18)}

最も小角側に現れる領域Ⅰには、粒子の大きさの情報が含まれる。Guinier 則より¹³⁾

$$\ln I(q) = \ln I(0) - \frac{1}{3} R_g^2 q^2$$

となるので、強度の対数と q^2 をプロットすると直線となり、その傾きから粒子の回転半径 (radius of gyration) R_g が得られる。この領域では粒子の形状の違いはプロファイルの違いとしては現れず、回転半径だけが得られる。粒子の形状と回転半径は対応する式があり、例えば球では $R = \sqrt{5/3} R_g$ 、薄い円板では $R = \sqrt{2} R_g$ となる。Guinier 則は小角端で成り立つ式なので、中間の領域に適用することは避けなくてはならない¹⁹⁾。(ただし、プロファイルの小角端にはダイレクトビームの影響があるので、これは除く必要がある。) 領域Ⅰと次の領域Ⅱの境目はおおむね $1/R_g$ だとされている¹⁵⁾。つまり、試料によって領域Ⅰとみなせる角度範囲は変化する。

3-1-2. 領域Ⅱ～粒子のかたち¹⁹⁾

領域Ⅱには粒子の形状の情報が含まれる。強い散乱を示す領域Ⅰのすそ野に当たる部分である。この領域の強度は粒子の形状が球であれば q^{-4} に、薄い円板では q^{-2} に、細い円柱では q^{-1} に比例して強度が減少する。よって、両対数プロットで良い直線性が得られればその傾きから粒子の形状を推定できる。さらに縦軸を円板であれば $\ln(q^2 \cdot I(q))$ 、円柱であれば $\ln(q \cdot I(q))$ として横軸を q^2 のプロットを行うことで、それぞれの小さい方のディメンジョン ϵ (円盤の厚み、円柱の太さ) に関する情報が得られる (それぞれ Thickness plot, Cross-section plot と呼ばれる⁴⁾)。

また、物質が自己相似性=フラクタルの条件を満たしていれば、両対数プロットが直線となり、傾きからフラクタル次元を得ることができる。領域Ⅱで得られるフラクタル次元は質量フラクタル (体積フラクタル) であり、次の領域Ⅲで得られる表面フラクタルとは定義が異なるので注意が必要である。質量フラクタルは粒子の形状に由来するような比較的大きなスケールでの情報であるのに対し、表面フラクタルはより小さな、表面のラフネスのようなスケールの情報であると理解すればよいと思われる。

質量フラクタル次元 D_M は、フラクタル凝集体中の任意の点を中心として、半径 r の球内に含まれる全質量 $M(r)$ が

$$M(r) \propto r^{D_M}$$

となる、という量である。領域Ⅱの散乱強度は

$$I(q) \propto q^{-D_M} \quad (1 \leq D_M \leq 3)$$

となるので、両対数プロットの傾きを -1 倍したものが D_M となる²⁰⁾。棒や円板はフラクタルではないが、棒状粒子の散乱から得られる D_M が 1、円板粒子の散乱から得られる D_M は 2 となり、形状の次元性と一致する。

3-1-3. 領域Ⅲ～粒子の表面

領域Ⅲには粒子の表面形状の情報が含まれる。Porod は、粒子の表面が平滑な場合、領域Ⅲで次の式が成立することを示した^{4,21)}。

$$I(q) \propto \frac{S}{V} \cdot \frac{1}{q^4}$$

V は粒子の体積、 S は粒子の表面積である。この場合、両対数プロットの傾きは -4 となるが、表面が平滑でない場合、 -3 まで傾きは小さくなる。表面フラクタル次元を D_s として領域Ⅲの散乱強度は

$$I(q) \propto q^{-(6-D_s)} \quad (2 \leq D_s \leq 3)$$

となり、表面が平滑な場合 D_s は 2、でこぼこが大きい場合は D_s は最大 3 となる^{16,19)}。

3-2. Debye-Bueche 法 (散乱体が孤立していない場合)²²⁾

ここまで、散乱体が孤立しているモデルについて紹介した。吸着系の場合、固体部分と空隙 (細孔部分) は両方とも孤立しておらず、いずれもつながっている場合が多い。ここでは、2 相が孤立せずに混合したモデルとして、Debye-Bueche (DB) 解析法²³⁾について説明する。孤立粒子系とは単純に対応しないが、概ね領域Ⅱに対する解析法である。

DB 理論は図 9 のように、密度の異なる 2 相が、それぞれ孤立相を作らずに混合している系をモデルとし

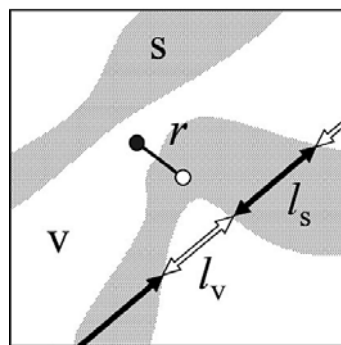


図9 Debye-Bueche 理論の構造モデル⁴⁾

で考えている。DB 理論によると $q = 0$ 近傍の散乱強度 $I(q)$ は次式で与えられる。

$$I(q) = \frac{I(0)}{(1 + \xi^2 q^2)^2} \quad \dots(4)$$

これより、縦軸を $I(q)^{-1/2}$ 、横軸を q^2 としたプロット (Debye-Bueche プロット) を行うことにより、2 つの物理量、相関距離 ξ 、および角度 0 での散乱強度 $I(0)$ を求めることができる。

$$I(0) = (\text{intercept})^{-2}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\text{slope}}{\text{intercept}}}$$

このうち $I(0)$ は系の密度ゆらぎ ($\langle (\Delta N)^2 \rangle / N$) と直接対応している²⁴⁾。相関距離 ξ は固相と空隙の「混ざり具合」を表すような量となっている。 ξ について理解するため、モデルの詳細と式(4)の導出⁴⁾について説明しよう。

図 9 において、長さ r の“測定子”を考える。この測定子をランダムに系の中においたときに、その両端 (黒丸・白丸) がどちらの相にあるかは 4 つの組み合わせがあり、固体相を s、空隙を v で表してその確率を $p_{ss}(r), p_{sv}(r), p_{vs}(r), p_{vv}(r)$ と表すことにする ($p_{ss}(r) + p_{sv}(r) + p_{vs}(r) + p_{vv}(r) = 1$)。1 つ目の点 (黒丸) を各相に見いだす確率はそれぞれの相の体積分率 ϕ_s, ϕ_v に等しい ($\phi_s + \phi_v = 1$)。2 つ目の点 (白丸) について考えるために、次のように確率関数を置き換える。

$$P_{ss}(r) = \frac{p_{ss}(r)}{\phi_s}, \quad P_{sv}(r) = \frac{p_{sv}(r)}{\phi_s}$$

$$P_{vs}(r) = \frac{p_{vs}(r)}{\phi_v}, \quad P_{vv}(r) = \frac{p_{vv}(r)}{\phi_v}$$

4 つの確率関数は独立ではなく、 $P_{ss}(r) + P_{sv}(r) = 1$ などの条件を満たさなくてはならない。整理すると、4 つの確率関数は、次のように体積分率とひとつの関数 $R_0(r)$ (規格化された相関関数) で表される。

$$\begin{aligned} P_{ss}(r) &= \phi_s + \phi_v R_0(r), & P_{sv}(r) &= \phi_v - \phi_v R_0(r) \\ P_{vs}(r) &= \phi_s - \phi_s R_0(r), & P_{vv}(r) &= \phi_v + \phi_s R_0(r) \end{aligned} \quad \dots(5)$$

$R_0(r)$ は $R_0(0) = 1$, $R_0(\infty) = 0$ となる関数であるが、DB 理論では次のように指数関数で表されると仮定している。

$$R_0(r) = \exp\left(-\frac{r}{\xi}\right)$$

図 10 に、上式で示される 4 つの確率関数の r 依存性を示す。

$r = 0$ では測定子の両端は必ず同じ相にあるため、同

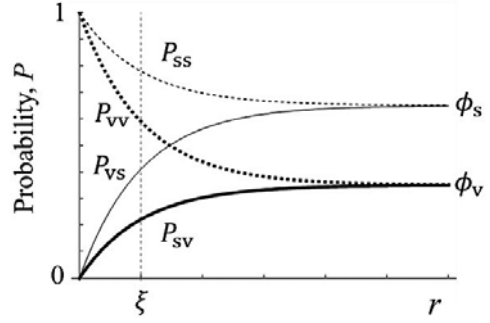


図 10 Debye-Bueche 理論における確率関数と相関距離 ξ

種相の確率関数 $P_{ss}(r)$, $P_{vv}(r)$ は 1 となり、異種相の確率関数 $P_{sv}(r)$, $P_{vs}(r)$ は 0 となる。 r が十分になると、構造の相関がなくなり、それぞれの確率関数は 2 つ目の相の体積分率に等しくなる。これらの確率関数から、散乱強度 $I(q)$ が求められる。

$$\begin{aligned} \gamma(r) &\equiv \langle (\rho(x) - \rho_0) (\rho(x+r) - \rho_0) \rangle \\ &= p_{ss}(\rho_s - \rho_0)^2 + 2 p_{sv}(\rho_s - \rho_0)(\rho_v - \rho_0) + p_{vv}(\rho_v - \rho_0)^2 \\ &= \phi_s \phi_v (\rho_s - \rho_v)^2 R_0(r) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(q) &= V \int_0^\infty 4 \pi r^2 \gamma(r) \frac{\sin(qr)}{qr} dr \\ &= 4 \pi V \phi_s \phi_v (\rho_s - \rho_v)^2 \int_0^\infty r^2 \exp\left(-\frac{r}{\xi}\right) \frac{\sin(qr)}{qr} dr \\ &= 4 \pi V \phi_s \phi_v (\rho_s - \rho_v)^2 \frac{2 \xi^3}{(1 + \xi^2 q^2)^2} \quad \dots(6) \end{aligned}$$

ここで V は比例定数、 ρ_s, ρ_v は各相の電子密度、 ρ_0 は系の平均電子密度であり、 $\langle \rangle$ は方向平均を表している。式(6)において $q = 0$ のときの散乱強度を $I(0)$ と置くと式(4)が得られる。

相関距離 ξ からは、2 つの相それぞれの平均の大きさ l_s, l_v を求めることができる。これは図 9 に示したように、系に直線を引いたときに、それぞれの相を横切際の線分の長さの平均値に相当する。2 相の場合

$$l_s = \frac{\xi}{\phi_v}, \quad l_v = \frac{\xi}{\phi_s} \quad \dots(7)$$

となる。式(7)は、係数比較から式(5)の $P_{ss}(r)$ と $P_{vv}(r)$ をテイラー展開した際の r の一次の項の係数の逆数として導かれる。

以上のように、粒子が孤立していない場合でも、Debye-Bueche プロットで直線の領域が得られれば、それに対応した密度揺らぎや相の大きさの情報を得ることが可能である。

著者らはこの方法を応用し、活性炭内の水クラスター形成過程の検討²⁵⁾やその密度の決定²⁶⁾、理論を 3 相 (固相、気相、吸着相) に拡張したクラスターの大きさの決定を行っている²²⁾。

4. 吸着系への適用の例（動径分布関数）

最期に、吸着系に対する回折法の適用の例として、活性炭細孔中の四塩化炭素 (CCl_4) 分子の構造を中性子回折で検討した結果を紹介する。 CCl_4 分子は典型的な球形分子であり、固相と液相の中間の温度領域でプラスチック・クリスタル (PC) 相を形成する。PC 相は、分子の重心位置は固定されているものの、分子は回転できるという相である。バルクの CCl_4 の PC 相は 226~250 K (昇温過程) という比較的狭い温度範囲で現れる。

我々は細孔径 1.13 nm の活性炭に CCl_4 を吸着させ、回折プロファイルを得た。1.13 nm は CCl_4 分子ほぼ 2 個分に相当する大きさである。 q の大きな領域では得られる構造情報のオーダーは活性炭中の炭素部分や空隙の大きさよりも十分に小さくなるため、活性炭と吸着相の回折強度には加成性が成り立つ。そこで我々は吸着状態のプロファイルから活性炭のプロファイルを強度補正ののちに差し引き、吸着相の構造情報を得ている。

図 11 に回折強度をフーリエ変換して得た吸着 CCl_4 の動径分布関数の温度依存性 (昇温過程) を示す。動径分布関数の横軸は原子間距離であり、縦軸は平均密度を 0 とした密度となっている。分解能は十分に高く、 CCl_4 分子中の原子の相関が近距離から順に、分子内の C-Cl、Cl-Cl、続いて隣接分子間 (0.3~0.8 nm)、

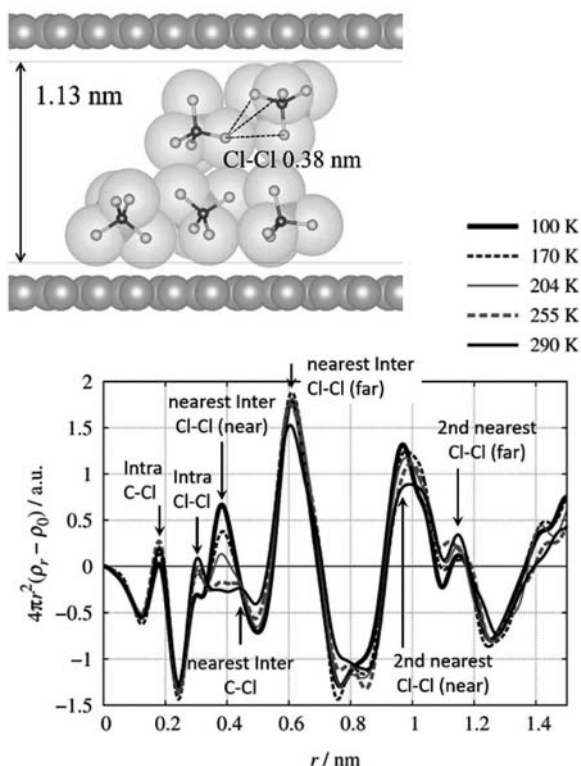


図 11 活性炭中の CCl_4 分子の模式図と動径分布関数

第 2 隣接分子間 (0.8~1.3 nm) と現れている。散乱長密度の計算から、この動径分布関数には Cl-Cl の寄与が最も多く (73%) 含まれている (次いで C-Cl 25%、C-C は 2%)。

温度依存性は $r=0.38$ nm のピークに最も強く現れている。このピークは、隣接 CCl_4 分子の、近い側にある Cl-Cl 間距離に相当する。液相、あるいは PC 相の CCl_4 分子は自由に回転できるが、結晶相では隣接する一方の分子中の Cl 原子が、もう一方の 3 つの Cl 原子の間に捉えられ、回転ができなくなる。このピークは Dore らによって、10 K まで急冷し作成されたアモルファス CCl_4 でも観測されている²⁸⁾。彼らはこの構造を inter-locking structure と呼んでいる。活性炭細孔中の 0.38 nm のピーク変化を見ると、変化は広い温度範囲で連続的に生じており、バルクの固相-PC 相の相転移温度 (226 K) よりも低い温度範囲まで変化の領域が広がっている。宮原、神田らは、細孔内の吸着相の融点はバルクに比べ、吸着分子-壁面間の相互作用が分子間相互作用よりも大きければ高温側に、小さければ低温側にシフトすることを見出した²⁹⁾。この固相-PC 相の転移の場合、カーボン壁面が CCl_4 の回転を妨げるか否かによって転移温度は変化するものと思われる。今回の結果は、カーボン壁面はなめらかで CCl_4 の回転を妨げず、より低温まで CCl_4 の回転運動が生じていることを示唆している。

回折データは長時間にわたる平均の構造情報であり、分子の運動のような動的な情報は含んでいないが、この検討では分子間の原子の相関を測定することで、細孔内の特異な分子の回転の振る舞いを捉えている。

5. まとめ

本稿では、回折・散乱法について、吸着分野の研究に役立ちそうな点を中心に、ごく基本的な概念について述べた。実際の適用の際にはより詳細な専門書等に当たる必要があると思われるが、解析法の理解の一助となれば幸いである。

回折・散乱法は、プローブとなる X 線や中性子が持つ高い物質透過性のために、吸着系全体にわたるミクロな構造情報が得られるという特徴がある。結晶に対する回折法による構造決定の有用性はここで述べるまでもないが、小角散乱測定は数 nm~数 μm のメソスコピックなオーダーの構造情報を、動径分布解析は乱れた系の定量的な構造情報を与えてくれる。これらの測定法は吸着系にも有効であると思われる。

本稿の執筆にあたっては、京都大の松岡秀樹先生、明治学院大の福山勝也先生、千葉大の西川恵子先生の

解説記事^{16, 19)}をはじめ、多くの資料を参考とさせていただいた。ここに記し、感謝申し上げたい。

[参考文献]

- 1) 延澤聡美, 類家正稔, *Adsorption News*, 30, 10, 加藤雅裕, *Adsorption News*, 31, 16.
- 2) B. D. Vullity, 松村源太郎訳, 「新版カリティ X 線回折要論」, アグネ社 (1980).
- 3) M. Ruike, T. Kasu, N. Setoyama, T. Suzuki, and K. Kaneko, *J. Phys. Chem.*, 98, 9594 (1995).
- 4) O. Glatter, O. Kratky, ed. "Small Angle X-ray Scattering", Academic Press, London (1982).
- 5) T. Iiyama, F. Fujisaki, R. Futamura, A. Hamasaki, S. Ozeki, A. Hoshikawa, T. Ishigaki, *Chem. Lett.* 41, 1267 (2012).
- 6) T. G. Shin, D. Muter, J. Meissner, O. Paris, G. H. Findenegg, *Langmuir*, 27, 5252 (2011).
- 7) C. H. MacGillavry, ed. "International Tables for X-ray Crystallography", vol. IV, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1989).
- 8) A. Dianoux, G. Lander, ed. "Neutron data booklet", Old City Publishing, Philadelphia (2003).
- 9) 泉富士夫, 「リートベルト解析のノウハウとテクニック」, <http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/rietan/fujiiozumi/rietan/know-how/know-how.html>
中井泉, 泉富士夫編, 「粉末 X 線解析の実際 (第 2 版)」, 朝倉書店 (2009), R. A. Young (Editor), *The Rietveld Method (International Union of Crystallography Monographs on Crystallography)*, Revised Ed., Oxford University Press, USA (1995).
- 10) A. L. Patterson, *Phys. Rev.* 56, 978 (1939)
- 11) 赤松秀雄, 高橋浩, 実験化学講座 (初版), 4 「固体物理学」, 4 章, 丸善 (1956).
- 12) 井田隆, 「シェラーの式の使われ方にみられる混乱について」, <http://www.crl.nitech.ac.jp/~ida/research/memo/ConfusedScherrer.pdf>, (2007).
- 13) A. Guinier, "X-Ray Diffraction In Crystals, Imperfect Crystals, and Amorphous Bodies", Dover Publications, New York (1994).
- 14) 西川恵子, 第 4 版実験化学講座, 10 「回折」, 6 章 3 節, 丸善 (1992).
- 15) 松岡秀樹, 「コロイド科学 IV コロイド科学実験法」, 3 章, 日本化学会編, 東京化学同人 (1996).
- 16) 福山勝也, 西川恵子, 「最新の炭素材料実験技術 (分析・解析編)」, 7 章, 炭素材料学会編, サイパック株式会社 (2001)
- 17) 「ポリマーアロイ」, 2. 2 節, 東京化学同人 (1981).
- 18) 角戸正夫, 実験化学講座 (初版), 4 「固体物理学」, 5 章, 丸善 (1956).
- 19) 松岡秀樹, 「小角散乱の基礎」, 日本結晶学会誌, 41, 213 (1999).
- 20) 魚住純, 朝倉利光, 「フラクタル構造の光学的性質」, 光学, 22, 8 (1993).
- 21) G. Porod, *Kolloid Z.*, 124, 83 (1951).
- 22) 飯山拓, 尾関寿美男, 炭素, 235, 275 (2008).
- 23) P. Debye, H. R. Anderson Jr., H. Brumberger, *J. Appl. Phys.*, 28, 679 (1957).
P. Debye, A. M. Bueche, *J. Appl. Phys.*, 20, 518 (1949).
- 24) H. E. Stanley, "Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena", Oxford University Press, Oxford (1971).
- 25) T. Iiyama, M. Ruike, K. Kaneko, *Chem. Phys. Lett.*, 331, 359 (2000), T. Iiyama, Y. Kobayashi, K. Kaneko, S. Ozeki, *Coll. Surf. A*, 241, 207-213 (2004).
- 26) R. Futamura, T. Iiyama, A. Hamasaki, S. Ozeki, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 14, 981-986 (2012).
- 27) M. Yoshimoto, R. Futamura, A. Hoshikawa, T. Ishigaki, T. Uchida, T. Iiyama, *Chem. Lett.*, 46, 923-925 (2017).
- 28) M. R. Chowdhury, J. C. Dore, *J. Non-Cryst. Solids*, 46, 343 (1981).
- 29) M. Miyahara, K. E. Gubbins, *J. Chem. Phys.*, 106, 2865 (1997), H. Kanda, M. Miyahara, K. Higashitani, *J. Chem. Phys.*, 120, 6173 (2004).

国際会議参加報告

COPS-XI に参加して

長崎大学大学院工学研究科
能登原 展 穂

この度、日本吸着学会国際交流スカラーシップの支援を受け、2017年5月15日から17日にかけてフランス南部のアヴィニョンで行われた11th International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS-XI) に参加し、研究発表を行いました。本会議は、吸着現象に関する最新の実験的・理論的な解析方法およびそれを応用した材料についての発表が行われるため、私の研究の材料創製に応用できる新たな知見を得ようという思いで参加致しました。

学会の口頭発表はシングルセッションで行われたため、全ての口頭発表を聞くことができました。最初は英語の発表に圧巻され十分に内容を理解することが困難でしたが、次第に少しではありますが英語に慣れ、スライドを通して講演内容が理解出来るようになりました。その中で特に、Prof. Keith Gubbins によるナノ空間における高圧場を利用した物質合成や Dr. L. Borchardt や Dr. S. Rochat らによるガス貯蔵および物質合成に関する研究発表は大変興味深く、メタンハイドレートの合成や水素貯蔵に関する現象の理論的・実験的理解が、深刻化するエネルギー問題の改善に貢献できるものと改めて実感しました。私の研究でも、エネルギー問題の改善を目指した多孔性材料を用いた電池材料の開発を行っており、これまでとはまた違った視点から物質や現象を考えるヒントを多く得ることができました。

私は「Newly developed synthesis of Si nanoparticles in carbon nanopores (カーボンナノ細孔内へのSiナノ粒子合成法の新規開発)」というタイトルでポスター発表を行いました。カーボン細孔を反応場に用いたリチウムイオン二次電池用電極材料の性能向上を目的としたものです。ポスターセッションでは私の不慣れな英語にもきちんと耳を傾けてもらい、ディスカッションもすることができました。英語での対話はまだまだ不慣れで、十分だったとは言えませんが、以前よりも落ち着いて話すことができました。さらに英会話力を向上させ、積極的なコミュニケーションがとれるようになりたいと強く感じました。

発表の時間以外にも良い経験をすることができました。私にとってヨーロッパに行くのも海外で行われる国際学会に参加するのも初めてのことでした。時差ぼけによる眠気と格闘しながらも、テレビの中だけの世界だったフランスを五感で感じることができました。特に石造りの町並みやスーパーでの商品の品揃えの多さ、特にチーズ・ワインコーナーの大きさは圧巻でした。

今回の学会は非常に多くのことを得ることができました。学会での発表はもちろんですが、世界中の研究者の研究に対する熱意や活発な議論に大きな感銘を受けました。また、海外の同世代の研究者との交流は国際学会ならではのあり、非常に新鮮でした。国際学会に参加したことで、自身の視野の狭さに気づきました。これからは視野を広く持ち、世界に目を向けて研究活動を行っていかねばならないと思いました。今回の体験を研究室の仲間にも話し、全体の士気を高めていきたいです。

最後になりましたが、本学会への参加を許可して頂いた森口先生をはじめ、会期中お世話になった瓜田先生ご夫妻、近藤先生（東京農工）、平塚先生（京大工）、平出さん（京大工）および、本学会の参加登録費を援助し、このような報告の機会を与えていただいた日本吸着学会に感謝申し上げます。ありがとうございました。



写真 学会参加者の（A）集合写真、（B）学会会場となった Palais des Papes の外観、（C）観覧スポットの一部を利用したポスター会場

会 告

第 27 回吸着シンポジウム（吸着夏の学校）開催のお知らせ

吸着分野で活躍する若手研究者の研究活動の活性化と相互の交流を目的として、吸着シンポジウム（吸着夏の学校）を 1 泊 2 日の合宿形式で開催します。今回のシンポジウムは、液相吸着の専門研究者および次世代研究を担う新進気鋭の研究者による特別講演と若手研究者によるショートプレゼンテーションで構成します。特別講演（液相吸着・次世代吸着研究）では、第一線でご活躍の講師陣による吸着関連の基礎から応用展開まで幅広い講演を予定しています。熱いディスカッションを交わし、参加者相互のつながりを強める会にしたいと考えています。大学院生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の研究者、技術者の方のご参加をお待ちしております。もちろん、ベテランの皆様のご参加も大歓迎です。

会 期：2017 年 8 月 31 日(木)～9 月 1 日(金)

会 場：ホテルメイプルイン幕張（〒262-0033 千葉県千葉市花見川区幕張本郷 1-12-1）

<http://mapleinn.co.jp/>

スケジュール：

第 1 日目 8 月 31 日(木)

12:00 受付開始

13:00 オープニングリマーク

13:10～14:10 液相吸着研究講演 【座長：森貞真太郎（佐賀大）】

1-01 レアメタル回収に向けた吸着剤の開発

（産総研）尾形 剛志

1-02 ポリオールによる金属イオンの対流輸送型吸着

（佐賀大）川喜田英孝

14:10～15:10 液相吸着研究講演 【座長：大久保貴広（岡山大）】

1-03 吸着剤の表面状態によって変化する水質汚染物質の除去特性

（千葉大）町田 基

1-04 機能性高分子を用いた液相吸着剤の開発

（佐賀大）森貞真太郎

15:20～17:00 一般講演

17:00～18:00 次世代吸着研究講演 【座長：飯山拓（信州大）】

1-05 インターカレーション化合物の NMR 解析

（岡山大）後藤 和馬

1-06 含窒素炭素材料の構造解析と触媒反応

（千葉大）山田 泰弘

18:30～20:00 懇親会

20:00～ 自由討論会

第 2 日目 9 月 1 日(金)

9:00～10:00 次世代吸着研究講演 【座長：近藤篤（東京農工大）】

2-01 π 空間へのアニオン吸着メカニズム

（岡山大）大久保貴広

2-02 XRD, HRMC による細孔内イオン液体の構造解析

（信州大）飯山 拓

10:00～11:00 次世代吸着研究講演 【座長：田中秀樹（京都大）】

2-03 充放電特性に与える炭素電極細孔構造の影響

（長崎大）瓜田 幸幾

2-04 マイクロリアクタの迅速混合を活用した多孔性錯体微粒子の合成と複合化

（京都大）渡辺 哲

11:00～12:00 次世代吸着研究講演 【座長：渡辺哲（京都大）】

2-05 MOF の細孔空間を利用した無機材料合成

（東京農工大）近藤 篤

2-06 ソフト金属有機構造体の CO₂ 吸着における自己熱補償メカニズム

（京都大）田中 秀樹

12:00 クロージングリマーク

参加費（宿泊費・食費込み）：

学生（吸着学会会員・非会員不問）5,000 円

一般（吸着学会会員、維持会員企業の方）15,000 円

一般（非会員）20,000 円

宿泊不要の一般参加者（学生以外）は上記金額から 3,000 円引いた金額となります。

この場合、2 日目朝食は参加費に含まれません。

定 員：50 名宿泊は、基本的に男女別の相部屋です。個室をご希望の場合はご相談ください。

一般研究発表：大学院生、ポスドクを含む大学、研究機関、企業の主に 20～30 代の方々によるオーラルプレゼンテーションを募集します。発表時間はディスカッションを含めて 10～15 分程度を予定しています。

参加申込方法：以下の参加者情報 1～9 をご記入の上、件名を『吸着シンポジウム参加申込』として、吸着シンポジウム実行委員会事務局宛に Email (uchida@chiba-u.jp) でお申し込みください。

参加者情報：

1. 氏名（ふりがな）
2. 所属（学生の方は研究室名まで記載）
3. 学年（学生のみ）
4. オーラルプレゼンテーション（若手発表）希望の有無
5. 性別
6. 連絡先（Email アドレス、電話番号）
7. 学生・正会員・維持会員・非会員（該当するものを残してください）
8. 年齢層（20 代、30 代、・・・宿泊の部屋割の参考にいたします）
9. その他（一般参加で宿泊不要の場合は、その旨をこの欄に記載してください）

参加申込締切：7 月 21 日(金)

問い合わせ先：事務局 内田 高代（千葉大学） E-mail: uchida@chiba-u.jp

（実行委員長大場 友則（千葉大学） Email: ohba@chiba-u.jp）

講師陣など最新の情報は、ホームページ（<http://moon.gmob.jp/ohba/adsorption2017/>や、<http://www.j-ad.org/>）で順次ご案内いたします。

第 31 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、吸着の基礎科学から応用技術にわたる最新の研究成果が討論される 1 年に一度の大会です。多数の皆様のご参加をお願い申し上げます。

主 催：日本吸着学会

会 期：平成 29 年 11 月 16 日(木)、17 日(金)

会 場：静岡市民文化会館（〒420-0856 静岡市葵区駿府町 2 番 90 号）

交通アクセス（<http://www.scch.shizuoka-city.or.jp/access/>）の詳細につきましては、ホームページをご参照ください。

宿 泊：各自で手配をお願いいたします。JR 静岡駅周辺が便利です。

講演会場：静岡市民文化会館 大会議室（口頭発表）および A 展示室（ポスター発表）

発表要領：口頭発表：講演 12 分、質疑 7 分、交代 1 分。プロジェクター（Power Point）での発表をお願いします。

ポスター発表：発表時間 1 時間 30 分。

ポスターサイズは、横 90 cm 程度、縦 120 cm 程度。

発表申込：日本吸着学会の Web サイト（http://www.j-ad.org/annual_meeting/）よりお申込下さい。

（ただし、Mac 版 Internet Explorer には対応していません。）

・参加申込（9 月 8 日締切）

申し込みサイトへのアクセスにはユーザー名とパスワードの入力が必要です。以下に従って入力してください。

ユーザー名：jsad

パスワード：gakkai 31

発表形式（口頭・ポスター）についてはご希望に添えない場合がありますので予めご了承ください。

要旨集原稿：A 4 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 E-mail の添付書類（MS Word 2000-2016、あるいは PDF 形式）として、下記実行委員会宛てお送りください。なお、学会 Web サイトに原稿のテンプレート（MS Word 2003 形式）を用意しますのでご利用ください（http://www.j-ad.org/annual_meeting/abst_template_2017.doc）。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 16 日(木) 静岡グランドホテル中島屋（<http://www.sn-hotels.com/sgh/>）
（詳細は学会会場にてご案内します。）

参加登録費：・予約登録（9 月 29 日締切）

日本吸着学会・協賛学会会員：5,000 円（官・学）、7,000 円（産）、1,500 円（学生）

非会員：8,000 円（官・学）、10,000 円（産）、2,000 円（学生）

但し、維持会員企業からの参加者については、予約登録に限り 3 名までの参加登録費を無料に致しますので、奮ってご参加をお願いします。

（web 登録時に、参加種別として「維持会員」を選択してください。）

・当日登録（9 月 30 日以降）

日本吸着学会・協賛学会会員：7,000 円（官・学）、9,000 円（産）、3,000 円（学生）

非会員：10,000 円（官・学）、12,000 円（産）、4,000 円（学生）

（要旨集のみの購入の場合は 1 冊 3,000 円）

懇親会費：・予約参加（9 月 29 日締切）

一般 6,000 円、学生 3,000 円

・当日参加（9 月 30 日以降）

一般 8,000 円、学生 5,000 円

なお、懇親会費につきましては、維持会員企業からの参加者につきましても、一般の懇親会費を頂戴いたしますのでご注意ください。

参加予約申込：

日本吸着学会の Web サイト（<http://www.j-ad.org/registration/registration.html>）よりお申込下さい。

（ただし、Mac 版 Internet Explorer には対応していません。）お申し込み後は速やかに予約参加登録費と予約懇親会費を下記銀行口座にお振込みください。（振り込み手数料は各自ご負担ください。）

振込先：・ゆうちょ銀行からお振込の場合

【記号】12370 【番号】49822641

【口座名義人】山崎 誠志（ヤマザキ サトシ）

・ゆうちょ銀行以外からお振込みの場合

ゆうちょ銀行 【店名】二三八（ニサンハチ） 【店番】238

【預金種目】普通預金 【口座番号】4982264

【口座名義人】山崎 誠志（ヤマザキ サトシ）

発表申込締切：平成 29 年 9 月 1 日(金)

要旨原稿締切：平成 29 年 9 月 29 日(金)

参加予約締切：平成 29 年 9 月 29 日(金)

実行委員会（問い合わせ・連絡先）：

〒437-8555 静岡県袋井市豊沢 2200-2

静岡理科大学理工学部物質生命科学科 山崎 誠志

E-mail：adsorption31@gmail.com、TEL：0538-45-0167、FAX：0538-45-0110

関連学会のお知らせ

第 68 回コロイドおよび界面化学討論会

主 催：日本化学会コロイドおよび界面化学部会、神戸大学工学研究科界面科学研究センター

会 期：9 月 6 日(水)～8 日(金)

会 場：神戸大学鶴甲キャンパス（神戸市灘区鶴甲）〔交通〕阪神御影・JR 六甲道・阪急六甲各駅から神戸市バス 16 系統「神大国際文化学部前」より徒歩 5 分

発表申込締切 6 月 2 日(金) 稿原稿締切 7 月 11 日(火)、参加登録予約申込締切 7 月 31 日(月)

討論主題 コロイド・界面とそのダイナミクス

Graham が提唱したコロイドの科学はその特徴を担う界面の構造や物性の研究とともに発展してきました。材料のあるところには必ず表面があり、それが相を二分することによって界面が生じることから、さまざまな学術領域の視点からコロイド・界面化学が発展し、材料開発とその物性測定法が両輪となって発展してきたといっても過言ではありません。界面物性を左右する 1～100 nm のサイズを有する材料や相界面は 1915 年に Ostwald をして「見過ごされた次元の世界」とされて以来、測定法の発展とともに極めて詳細に知られるようになり、100 年を経た現在では汎用性の高い測定機器やそれを用いた詳細な研究が次々に進められています。一方、時間的に変化するコロイド系の反応、界面の移動、スピノーダル構造を有する界面の構築、さらにそれらの特徴ある反応系など、経時的・動的な挙動を観察する方法は時間分解能の向上とともに発展の途上にあり、計算化学の発展によるシミュレーションとの併用により、新たなコロイド化学の潮流が現れつつあります。

第 68 回討論会では、「コロイド・界面とそのダイナミクス」を主題として取り上げコロイド・界面の動的挙動・反応に関わる多くの一般シンポジウムと部会員を中心とする参加者の最新の研究成果をもとに論じたいと考えています。部会員の積極的な討論へのご参加を期待しております。

発表形式：口頭発表・ポスター発表

発表主題：〔一般研究発表〕①総合セッション②分子集合体の科学と技術③組織化膜の科学と技術④固体表面・界面の科学と技術⑤微粒子とその分散系の科学⑥微粒子とその分散系の技術と応用⑦応用・開発セッション、〔一般シンポジウム〕①ソフトマター界面の基礎科学②分子シミュレーションとコロイド化学③マイクロエマルジョンを反応場とする新たなサイエンスの創成④粒子分散系がつくる新しい基礎科学と応用技術⑤信州発！異分野をつなぐコロイド・界面科学⑥界面吸着の熱力学とその研究展開⑦固体なのにゲル状態？ α ゲルの謎に迫る研究最前線、〔総合講演〕「固液界面の構造制御、観察および機能－電気化学への展開を中心に」（NIMS）魚崎浩平、「理数系科目の授業時間減少が研究開発力に与える影響を明らかに－学習指導要領の変遷と失われた日本の研究開発力－（仮題）」（神戸大学）西村和雄〔Lectureship Award 受賞講演〕P. Baglioni (Univ. Florence), J. Li (中国科学院)（総合講演・LA 講演のみ神戸大学出光佐三記念講堂において開催）

発表申込方法：下記 URL にて受付

参加登録費：予約（7 月 31 日(月)まで）：部会員 9,000 円、日本化学会会員および協賛学会員 12,000 円、一般 15,000 円、学生部会員 3,000 円、学生非会員 5,000 円、当日（8 月 1 日(火)以降）：部会員 12,000 円、日本化学会会員および協賛学会員 16,000 円、一般 18,000 円、学生部会員 5,000 円、学生非会員 7,000 円

懇親会：9 月 7 日(木)、神戸大学社会科学系アカデミア館 1 階神戸大学生協カフェテリア。会費：予約（7 月 31 日(月)まで）：一般 8,000 円（同伴 3,000 円）、学生 4,000 円、当日（8 月 1 日(火)以降）：一般 9,000 円（同伴 4,000 円）、学生 5,000 円

参加登録予約申込方法 下記 URL にて案内

連絡先：〒101-8307 千代田区神田駿河台 1-5 日本化学会コロイドおよび界面化学部会事務局

電話 (03) 3292-6163 FAX (03) 3292-6318 E-mail: dcsc@chemistry.or.jp

URL: http://colloid.csj.jp/div_meeting/68th/index.html

分離技術会講演会 VOC 類削減の規制状況と対応技術

主 催：分離技術会

協 賛：化学工学会、日本吸着学会、日本化学会、日本空気清浄協会、水環境学会、ほか

VOC 類の排出規制がなされて久しく、その後、規制に基づいて対応技術等、様々な整備がなされてきました。その後の動向を俯瞰すべく本講演会を企画いたしました。VOC 類関連規制の考え方と状況、実態と対策、分離回収技術について紹介することを目的とする講演会です。VOC 類の規制の考え方を把握したい方、VOC 類の分析、処理や事業所における VOC 対策等にかかわる方にお勧めの講習会になります。事業所の労働・安全管理者、関連分野の技術者・研究者の方々のご参加をお待ちしております。

日 時：H29 年 9 月 12 日(火) 9：50～18：00

場 所：東洋大学白山キャンパス（文京区白山 5-28-20）6 号館 6201 教室
〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20

交 通：都営地下鉄三田線白山駅 A 3 出口より徒歩 5 分、東京メトロ南北線本駒込駅より
徒歩 5 分、<http://www.toyo.ac.jp/site/access/access-hakusan.html>

講 演：1）9：50～10：50 「VOC 排出規制の考え方と状況・対策」

横浜国立大学 大学院環境情報研究院 亀屋 隆志 氏

2）分離・回収・処理技術動向

① 10：55～11：35 「吸収法：排ガス熱を有効利用した省エネルギー型 VOC 回収装置「エコトラップ」」
日本リファイン株式会社 技術本部 小田 昭昌 氏

② 11：40～12：20 「圧縮深冷凝縮法：液化回収プロセス」
株式会社モリカワ 環境機器部門 田中 将博 氏

－昼休憩－（12：20～13：20）

③ 13：20～14：00 「吸着法：シリカゲルを用いた真空再生式 VOC 回収（SES-VRU の特徴と安全性）」
システムエンジニアリング株式会社 技術部 稲川 展裕 氏

④ 14：00～14：40 「膜分離プロセス・原油吸収プロセス・タンカー出荷の安全性確保」
JFE エンジニアリング株式会社 エネルギー本部 渋谷 佳樹 氏

⑤ 14：40～15：20 「VOC 濃縮技術に関して」
ニチアス株式会社 工業製品事業本部 山名 和樹 氏

－休憩－

⑥ 15：30～16：10 「蓄熱燃焼式排ガス処理装置について」
中外エンジニアリング株式会社 営業部 水津 明彦 氏

3）16：10～16：50 「空間をもつ分子ナノカーボンの吸着剤としての可能性」

名古屋大学大学院 理学研究科

ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 坂本 裕俊 氏

4）16：50～17：30 「VOC 由来の二次生成ナノ粒子や PM 2.5 の挙動や規制、並びにモニタリング技術の開発」
工学院大学 先進工学部 並木 則和 氏

5）名刺交換会

参加費：会員・共催・協賛団体会員：18,000 円、学生：5,000 円、会員外：28,000 円、同時入会：23,000 円。

※参加費は前納にて郵便振替または下記銀行にお振込みくださいますようお願い申し上げます。

郵便振替：00100-9-21052 口座名 分離技術会 みずほ銀行：神田支店 普通預金 1010899 口座名 分離技術会

申込先：参加ご希望の方は申込用紙にご記入のうえ、下記事務局まで FAX にてお申してください。e-mail でお申し込みの場合は以下の必要事項を入力の上「VOC 類講演会参加申込み」と題し送信してください。

炭素材料学会基礎講習会

「炭素材料の物性と分析方法 ー入門から応用までー」

炭素材料にかかわる科学と技術は、炭素材料の発見や開発過程を経て、さまざまな科学および技術的展開を遂げてきました。活性炭、カーボンブラック、炭素繊維などの馴染み深い材料から主に研究用途のナノカーボン類に至る多彩な材料が多岐にわたる分野で用いられています。近年炭素材料は燃料電池やリチウムイオンバッテリー、キャパシタなど人類の将来に関わるエネルギー・環境問題に対応することができるキーマテリアルとして多大な注目を集めてきました。

本セミナーでは、炭素材料を正しく理解して応用開発をめざすための分析と調製・調整の基礎知識から応用まで学べる2日のコースを企画いたしました。炭素材料に興味をもたれる方々、かかわっている方々の知識修得・確認する場として是非ご利用ください。

なお、どちらか1日を選び参加することもできます。

事前質問は、10月4日(水)まで学会HPから受け付けます。質問内容によっては回答できない場合もありますので、ご了解ください。なお、質問内容に関する秘密保持はできかねますのでご注意ください。

皆様のご参加をお待ちしております。

日 時：2017年10月12日(木) 9:30～16:40、2017年10月13日(金) 9:30～16:40

場 所：日本教育会館7階707会議室（〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-6-2）

TEL：03-3230-2831、URL:<http://www.jec.or.jp/>

主 催：炭素材料学会

協 賛（予定）：日本化学会、電気化学会、応用物理学会、日本セラミックス協会、日本表面科学会、日本吸着学会、大阪科学技術センター

定 員：100名

参加費：

＜2日コース＞ 正会員（協賛学協会含）・賛助会員 50,000円、学生会員（協賛学協会含）10,000円、非会員 75,000円、学生非会員 20,000円（消費税及びテキスト代を含む）

＜1日コース＞ 正会員（協賛学協会含）・賛助会員 30,000円、学生会員（協賛学協会含）5,000円、非会員 50,000円、学生非会員 10,000円（消費税及びテキスト代を含む）

申込方法：

郵便振替での支払を希望される方は、学会HPから9月26日(水)までにお申し込みください。クレジットカードでの決済の場合、申込登録は、10月9日(月)まで受付可能です。

学会HP：<http://www.tanso.org/contents/event/seminar/Octseminar17.html>

登録完了後、郵便振替票付請求書をお送りさせていただきます。参加費は10月4日(水)までにご納入ください（払込期日厳守）。当日の申込も会場にて受け付けております。

プログラム

＜10月12日(木)＞

9:30～10:50 ガス吸着測定による炭素細孔の構造評価（千葉大学）大場 友則
1) 吸着測定について、2) 吸着等温線の理解、3) BET解析、4) 細孔構造解析
5) 事前質問への回答

10:50～11:00 質問タイム

11:00～11:05 休憩

11:05～12:25 TEMによる炭素材料の観察と局所分析（産業技術総合研究所）吉澤 徳子
1) TEMの原理、2) 炭素材料の観察法・EDS/EELS分析法、3) ナノカーボン類の観察及

び分析、4) 試料作製方法、5) 事前質問への回答

12:25~12:35 質問タイム

12:35~13:35 昼食

13:35~14:55 炭素材料のラマン分光 (信州大学) 藤森 利彦

1) ラマン分光の基礎、2) 特殊なラマン分光測定、3) ナノカーボンのモルフォロジーとラマンスペクトル、4) 光吸収とラマン分光 - 共鳴ラマン効果 -、5) ラマン分光による炭素材料の欠陥評価と注意点面構造の評価法、6) 事前質問への回答

14:55~15:05 質問タイム

15:05~15:10 休憩

15:10~16:30 X線回折法による炭素の構造解析 (大阪ガス株式会社) 藤本 宏之

1) 炭素の基本構造と構造パラメータ、2) 学振法、3) Diamond 法、4) Hirsch 法、5) 黒鉛化度、6) 事前質問への回答

16:30~16:40 質問タイム

16:40 終了

<10月13日(金)>

9:30~10:50 炭素繊維用前駆体ピッチの調製と分析 (九州大学) 尹 聖昊

1) 原料の選定、2) 紡糸用等方性ピッチの調製、3) 原料と前駆体ピッチの分析、4) 炭素繊維の物性とピッチ組成の関連性、5) 事前質問への回答

10:50~11:00 質問タイム

11:00~11:05 休憩

11:05~12:25 X線光電子分光分析 (XPS) と赤外分光分析 (IR) による炭素材料の構造解析

(千葉大学) 山田 泰弘

1) 含酸素・窒素官能基 (XPS+IR)、2) 点欠陥、5、7 員環、 sp^2 C-H、 sp^3 C-H (XPS+IR)、3) ジグザグエッジ、アームチェアエッジ (IR)、4) 事前質問への回答

12:25~12:35 質問タイム

12:35~13:35 昼食

13:35~14:55 炭素材料の製造と物性 (産業技術総合研究所) 岩下 哲雄

1) 炭素化時の様相 (固相、液相、気相)、2) 黒鉛化の現象 (ハードカーボン、ソフトカーボン)、3) 黒鉛化による物性の変化 (電気、熱、機械的性質)、4) 事前質問への回答

14:55~15:05 質問タイム

15:05~15:10 休憩

15:10~16:30 コークス (新日鐵住金株式会社) 齋藤 公兄

1) コークス製造プロセスとその役割、2) コークスのための石炭品質評価法 (NMR 法の活用も含む)、3) コークスの品質評価法と各種分析手法 (X線 CT や顕微鏡法等) の関わり、4) 新しいコークスプロセスについて、5) 事前質問への回答

16:30~16:40 質問タイム

16:40 終了

参加申込に関するお問い合わせはこちら：炭素材料学会 基礎講習会ヘルプデスク

E-mail: tanso-desk@bunken.co.jp, FAX: 03-3368-2827

日本教育会館へのアクセス: <http://www.jec.or.jp/koutuu/index.html>

第 33 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：日本化学会、化学工学会、環境科学会、高分子学会、資源・素材学会、ゼオライト学会、電気化学会、日本海水学会、日本吸着学会、日本原子力学会、日本生物工学会、日本分析化学会、日本膜学会、日本薬学会、日本溶媒抽出学会、無機マテリアル学会、分離技術会、日本ポーラログラフ学会、環境資源学会、日本セラミックス協会、無機リン化学会（依頼中を含む）

日 時：2017 年 10 月 26 日(木)～10 月 27 日(金)

場 所：山梨大学甲府キャンパス、情報メディア館 5 階多目的ホール(講演会)、学生会館多目的ホール(ポスター)、学生会館(懇親会)、〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-4-37、電話：055-252-1111（代表）
アクセスは、山梨大学ホームページ <http://www.yamanashi.ac.jp/access-map> を参照してください。

講演申込：

・締切：2017 年 7 月 28 日(金) 17:00

・申込方法：本学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp>) のトップページ「研究発表会」からお申込みください。指定の書式に従って必要事項を入力、送信してください。

・発表形式：口頭（発表 12 分質疑応答 3 分（予定））またはポスター（90 分を予定）。

口頭発表申し込み件数が多い場合、ポスター発表に変更させていただく場合があります。

口頭発表形式：Power Point に限る。

【注】ご自身の PC 使用を原則とします。念のため、USB データ（Windows Power Point に限る）をご持参ください。

ポスター発表形式：ポスター掲示用ボードのサイズは横 90 cm、縦 180 cm（予定）です。

講演要旨：・締切：2017 年 9 月 1 日(金) 17:00

本学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp>) の「執筆要領」、「見本」に従って要旨原稿を作成してください（A4 版縦 1 枚、Word ファイルに限ります）。

参加申込：本学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp>) のトップページ「研究発表会」からお申込みください。

指定の書式に従って必要事項を入力、送信してください。

・締切：2017 年 10 月 13 日(金) 17:00（予約）予約外は開催当日に受付でお申し込み下さい。

・参加費：予約会員・協賛学会員（6,000 円）、学生（1,000 円）、会員外（7,000 円）

当日会員・協賛学会員（7,000 円）、学生（2,000 円）、会員外（8,000 円）

要旨集のみ（予定）（6,000 円）

懇親会：・日 時：2017 年 10 月 26 日(木)

・申込締切：2017 年 10 月 13 日(金) 17:00（予約）

予約外は開催当日に受付でお申し込み下さい。

・場所：山梨大学学生会館（ラウンジ）

・申込方法：本学会ホームページ (<http://www.jaie.gr.jp>) のトップページ「研究発表会」からお申込みください。

・懇親会費：予約一般（5,000 円）、学生（2,000 円）

当日一般・学生とも 6,000 円

参加費・懇親会費支払方法：

郵便振替の場合、加入者番号：00140-0-420380、加入者名：イオン交換研究発表会

銀行からの場合、銀行名：ゆうちょ銀行、支店名：〇一九（ゼロイチキュー）店（019）

預金種目：当座、口座名称（漢）：イオン交換研究発表会、

口座名称（カナ）：イオンコウカンケンキューハッピーウカイ、口座番号：420380

問い合わせ先：〒400-8511 山梨県甲府市宮前町 7-32、山梨大学大学院総合研究部附属クリスタル科学研究センターイオン交換研究発表会実行委員長

膜シンポジウム 2017 “膜を創る・知る・操る”

膜シンポジウム 2017 を下記の要領で開催します。本年度の主題は“膜を創る・知る・操る”とし、人工膜・生体膜・境界領域、さらには膜に関連した幅広い科学・技術に携わる研究者が一堂に会して活発な議論を行い、膜の科学と技術の更なる発展のための議論の場にしたいと考えています。分野を問わず、膜の科学と技術に関する基礎から応用、そして実用化から最先端までの広範囲にわたる研究成果をご発表頂きたく存じます。発表内容は、十分に討論できる内容であれば、未発表、既発表を問いません。また学生による優秀なポスター発表に対して学生賞を設けますので、学生の方々が奮ってご応募下さい。富山で皆様にお目にかかれるのを楽しみにしております。

主 催：日本膜学会

開催日：2017 年 11 月 13 日(月)～14 日(火)

会 場：富山大学五福キャンパス 黒田講堂 (〒930-8555 富山市五福 3190)

富山駅から市内電車(大学前行)乗車約 15 分→「大学前」下車徒歩 200 m→大学正門入ってすぐ右の建物(大学ホームページ <http://www.u-toyama.ac.jp/access/gofuku/> より地図参照)

発表形式：口頭発表あるいはポスター発表

(学生賞審査対象はポスター発表のみです。学生本人が実施した研究内容に限ります。また、日本膜学会第 39 年会および膜シンポジウム 2016 の学生賞受賞者は審査対象外となります。)

発表時間：口頭発表(発表 12 分、討論 8 分(予定))

ポスター発表(発表 60 分(予定)、ショートプレゼン 1 分(学生賞審査対象者のみ))

研究発表申込締切：8 月 4 日(金)必着。

以下の事項を記入の上、E-mail にて日本膜学会事務局にお申し込み下さい。

(1) 発表題目、(2) 所属、(3) 研究者名(発表者に○印、ただし発表者あるいは共同発表者に会員がいることが必須)、(4) 発表内容(150 字程度)、(5) 口頭発表、ポスター発表(学生)、ポスター発表(一般)の区別、(6) 連絡先(氏名、所属、郵便番号、住所、電話、E-mail) なお、発表申込後 1 週間以内に受付確認の返信メールが届かない場合、事務局までお問い合わせ下さい。

講演要旨締切：9 月 8 日(金)必着。執筆要領は申込者に別途連絡致します。

事前参加申込締切：10 月 13 日(金)

事前参加申込者には、要旨集を会期前に送付します。所定の振替用紙をご利用になるか、または下記振込先にお振込み下さい。振替用紙をお持ちでない方は、事務局までご申請下さい。みずほ銀行に振込の場合には、お手数ですが参加者名と要旨集送付先住所をメールにて事務局までご連絡下さい。

振込先：ゆうちょ銀行 店番：019 預金種目：当座 店名：〇一九

口座番号：0705802 加入者名：日本膜学会シンポジウム

みずほ銀行 本郷支店 口座番号：0961801 口座名：日本膜学会

参加費：主催・協賛学会員 8,000 円(当日 9,000 円)、非会員 11,000 円(当日 12,000 円)、学生 3,000 円、法人(5 名まで参加可) 30,000 円

懇親会：2017 年 11 月 13 日(月) 18 時から(予定)。会費 6,000 円(当日 7,000 円)

申込・問合せ先：〒113-0033 東京都文京区本郷 5-26-5-702 日本膜学会事務局 担当 杉山

Tel/Fax：03-3815-2818、E-mail：membrane@mua.biglobe.ne.jp

運営委員長連絡先：〒930-0887 富山市杉谷 2630 富山大学大学院医学薬学研究部

E-mail：mnakano@pha.u-toyama.ac.jp

膜シンポジウム 2017 運営委員長 中野 実

運営副委員長 吉岡朋久

維持会員一覧

維持会員として、以下の企業各社にご協力を頂いております。

(平成 29 年 7 月現在、50 音順)

株式会社アドール	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	カルゴンカーボンジャパン株式会社
カンタクローム・インスツルメンツ・ジャパン合同会社	
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
JFE スチール株式会社	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	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
日本たばこ産業株式会社	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
ミドリ安全株式会社	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 松本 明彦（豊橋技術科学大学）

委 員 伊藤 博光（豊橋技術科学大学）

上村 佳大（産業技術総合研究所）

瀬戸山徳彦（株式会社豊田中央研究所）

飛騨野龍也（太陽日酸株式会社）

大場 友則（千葉大学）

近藤 篤（東京農工大学）

田中 秀樹（京都大学）

山根 康之（大阪ガスケミカル株式会社）

（五十音順）

Adsorption News Vol.31 No.2 (2017) 通巻 No.121 2017 年 7 月31日発行

事務局 〒305-8565 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 中央第 5

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 化学プロセス研究部門内

Tel : 029-861-4653 Fax : 029-861-4660 E-mail : info@j-ad.org

編 集 伊藤 博光（豊橋技術科学大学）

Tel : 0532-44-6815 Fax : 0532-44-6929 E-mail : hiro_ito@ens.tut.ac.jp

日本吸着学会ホームページ <http://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)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Research Institute for Chemical Process Technology,

Central 5, 1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

Tel : +81-29-861-4653 Fax : +81-29-861-4660 E-mail : info@j-ad.org

Editorial Chairman

Professor Akihiko MATSUMOTO

Graduate School of Engineering, Toyohashi University of Technology

1-1, Hibarigaoka Tempaku-cho, Toyohashi 441-8580, JAPAN

Tel : +81-53-244-6811 E-mail : aki@ens.tut.ac.jp

Editor

Hiromitsu ITO, Toyohashi University of Technology

Tel : +81-53-244-6815 E-mail : hiro_ito@ens.tut.ac.jp

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