

Adsorption News

Vol. 34, No. 3 (October 2020)

通巻 No.134

目 次

○巻頭言.....	2
「新しい学会様式」	松田 亮太郎
○特別寄稿.....	3
「ハニカム博士になった冒険少年 ～ハニカム吸着ロータ開発物語～」	岡野 浩志
○奨励賞受賞記念寄稿.....	10
「磁性イオン液体の示す反強磁性相互作用の起源と 『機能性液体』の可能性」	二村 竜祐
○関連学会のお知らせ.....	17
○追悼記事.....	18
F. Rodriguez-Reinoso 教授逝く	金子 克美
○維持会員一覧.....	19

日本吸着学会
The Japan Society on Adsorption

巻 頭 言

新しい学会様式

名古屋大学大学院工学研究科 松田 亮太郎



昨年は11月に名古屋大学東山キャンパスにて第33回日本吸着学会研究発表会のお世話をさせていただきました。220名を超える方々にご参会いただき、討論および交流を「密」に行っていただけたことに対して、改めて感謝と御礼を申し上げます。

さて、今年になり新型コロナウイルスが全世界的に猛威を振るっており、日常が一変してしまいました。ご関係者の方に大きな災禍が無いことをお祈りしております。4月の緊急事態宣言にともなう、名古屋大学でも講義はすべてオンラインとなり、研究室は閉鎖され、教育・研究活動は大きく制限される事態となりました。教員も学生も、慣れないオンラインでの講義に対応するため、自粛期間中は、かなり疲れたという印象です。5月末に感染者数が落ち着いてからは、おそるおそる活動をしておりますが、元の状態に戻るには、数年単位の長い時間がかかりそうです。

このような状況の中、研究発表会をはじめ、本学会の対面でのイベント活動がほぼすべて中止となり、現在、運営委員会では大阪大学の上田先生の指揮のもと、コロナ禍において、どのような活動が可能で、学会の活力をいかに維持していくかが議論されております。運営委員会の議論については別途ご報告があるかと思っておりますので、僭越ながら個人的な考えを少し述べさせていただきます。

現在、最も懸念されることの1つは、学生の意欲の低下です。在宅におけるオンラインだけの長時間の講義と、過剰な課題に対し、大学で学ぶ意義が感じられず、多数の休学者や退学者が出て来ることが懸念されています。このような状況が続く、次の時代の学問や科学技術を担う人材が失われてしまつては、日本社会にとって大きな損失になるのではと危惧しています。

国際的な活動や交流がほぼ途絶えていることも深刻です。全世界的に出入国規制が強化され、国際学会が軒並み開催できなくなっていますが、国際会議特有の時差の問題はオンラインでの開催をも困難にしています。東京が昼の12時のとき、ロンドン3時、ニューデリー8時半、北京11時、サンフランシスコ19時、ニューヨーク22時です。ある程度地域を絞らないとどこかの地域は深夜の講演会となってしまいます。また、ほとんどの外国人留学生・教員・研究員が日本へ

入国できずに宙に浮いた状態で、実際、私の研究室に5月に着任予定であったインドからの准教授の先生の来日も未定となっています。

このように状況は厳しいものではありませんが、嘆いていても仕方がないので、なんとか状況を打開しなければなりません。従来型の講演会や討論会が難しい以上、やはり、バーチャル空間での会議と交流を充実させるしかないかと思えます。先日、延期となった国際会議MOF2020の関連イベントとして登壇予定だった1時間半の講演を、オンラインにて実施する機会がありました。なるべく実際のビデオなどで興味を引くような工夫をして講演を行ったのですが、そんな些細なことが霞むような、オンライン講演会の新しい形だと感じさせられたのは、実行委員長のKaskel教授の司会技術の高さでした。オンライン講演会場が開場するとともに、続々と入室する聴講者に対し、「Welcome! ○○さん!」「どこから来た?」「何に興味がある?」「どんな事を聞きたい?」など次々と声をかけて盛り上げ、講演が終わった後も、講演中の質問を拾い上げ、質問者と講演者の間に立って、両者に声をかけ、討論を活発にしていきました。画面に向かって孤独に話す時間は無味乾燥ですが、この講演会は講演者としても楽しいものでした。聴講者の顔が見えず物理的な距離がある一方、直接的に声をかけやすく、心理的な距離を詰めやすい事を利用した、新しい講演会の形だと感銘を受けました。

「禍を転じて福と為す」学会活動においても、コロナ禍における新しい価値を創造し、それを提供していくのではないのでしょうか。

氏名 松田 亮太郎

所属 名古屋大学大学院工学研究科 教授

略歴 2005年3月 京都大学大学院工学研究科 単位認定退学(同年5月 博士(工学))

2005年4月 JST CREST 研究員

2006年3月 九州大学先端物質化学研究所 助手

2008年4月 JST ERATO グループリーダー

2013年4月 京都大学 iCeMS 特定准教授

2015年11月 現職

特別寄稿

ハニカム博士になった冒険少年

～ハニカム吸着ロータ開発物語～

株式会社 西部技研 岡野 浩志



1. はじめに

私は2019年取締役開発本部長を定年退任しました。退任講演のPPTに翌年文章を加え「ベンチャー社長と冒険少年」を自費出版し、それを読まれた児玉先生よりご依頼有り学会会員向けに書き直し寄稿しました。

私が西部技研に入社したのは43年前です。入社後の4年程は会社も私も吸着とは無縁な、パートまで含めて社員20数名のベンチャー企業でした。現在は海外グループ6社、合計社員約600名の、ハニカム吸着をコア技術とするグローバル企業に成長しました。吸着に全く関係の無かった私や西部技研が、吸着に深く関わるようになった経緯をお話ししたいと思います。

2. 冒険少年

私の少年時代はモノ作りが好きで、小舟や飛行機、弓矢、ボウガン、マジックハンドなど色々なものを作りました。試薬を購入してロケットの火薬調合実験も、あるとき暴発して両手に大けが、警察沙汰寸前に、とんでもない冒険少年でした。危険な？遊び好きが高じて鉄棒や床運動に夢中になり体操部を創立しましたが器具が不足し、平行棒は竹で原寸大に作って練習しました。

当時日本の造船は世界一で、出身地の因島や周辺の島には日立造船や大小10数社の造船工場が有り、将来は造船関係にと、高校は機械科造船コースに進みました。造船工場の即戦力として船舶専科、設計、機械加工実習の他、ガス切断、アーク溶接等の実学を叩き込まれました。バイク修理も自学で覚え、ポンコツを安価に入手修理しては友人に販売していました。

大学は九産大工学部機械科に進みました。卒論は伊

東繁研究室（隈社長の教え子、熊大衝撃・極限環境研究センター長）に入りました。歴代先輩卒論生が成しえなかった衝撃波管実験装置用の急速開口弁を、アイデアから設計製作実験まで成功させ、その切っ掛けで西部技研につながっていきます。

就職は、繰り返しのような仕事ではなく、卒論の経験から研究開発のような仕事に就きたいと思いながらも決まらず、研究生で残留しました。このような吸着はおろか化学工学とも無縁の私が、どのようにしてハニカム吸着博士になれたのか？

3. ハニカムとの出会い

最初に、現在西部技研のコア技術になっているハニカム吸着体応用技術について説明します。ハニカムロータを応用した全熱交換器や乾式除湿機はスウェーデンのカルムンタース氏の発明です。アスベスト製のハニカムに水ガラスを含浸させ、塩化カルシウム液で中和、固化させて、最後に塩化リチウムを含浸したロータを用います。全熱交換用ロータは塩化リチウムが過剰吸湿流出しないよう少な目に含浸して潜熱交換性能を付加します。除湿用ロータは、全熱交換ロータよりも多目の塩化リチウムを含浸して、除湿性能を付加します。私の入社当時の箱崎本社には、φ500のムンタースロータがありました。ハニカムは見事なもので、別世界の最先端技術物体のように思われました。その数年後そのムンタースロータを凌駕する、革新的な吸着系の全熱交換やハニカム除湿ロータを開発できるとは夢にも思っていませんでした。

4. 入社当時の西部技研

私の入社前の西部技研は、オイルショックによる倒産寸前から、工場人員をリストラして全熱交換器の国産化開発に生き残りを掛け、通産省技術改善費補助金等を得て1975年製品化に成功し販売を開始していました。

全熱交換器国産化の反響は大きかったのですが、本格的に量産する工場や資金、営業力、人、隈利實社長の言葉を借りれば「何もかも」不足していました。1977年西部技研は日鉄鉱業と隈特許の実用化共同開発をすることになり、機械や装置を考えて作れる即戦力として私が中途採用されたのです。私が入社した当時西部技研は、九大工学部正門前の通りの千早寄りに100mほどの場所にありました。(図1写真と絵で再現)正面玄関は九大側で、図の正面に九大の塀が見えます。



図1 1977年当時の西部技研本社

その後日鉄鉱業から合弁会社設立の話があり1978年に合弁会社(株)日本サーモラングを設立することになります。しかしオイルショックを乗り越え、やっと新製品「サーモラング」が軌道に乗り始めた矢先に次の危機が迫ってきます。

5. 新型アルミ製吸着式全熱交換ロータ開発

合弁会社がスタートしたものの、その後西部技研が開発した技術が吸収され、会社が消滅する計画が分かり合弁解消に動きます。1980年韓国への全熱交換器製造技術輸出で急場を凌ぎながら、輸出機械を2ライン制作し1ラインを自社用に残して望みをつなぎます。私は片段加工機(2号機)を設計、製作、技術指導しました。

1981年合弁解消できたものの、アスベスト使用禁止令に対応して共同開発した新型全熱交換ロータの生

産は契約で禁止され、生産する物が有りません。1981年の夏の終わりのころ、隈社長から「シリカゲル粉末と接着剤を混ぜてアルミシートに塗る機械を考えるように」と指示されました。後から聞いた話では、合弁解消契約の禁止条件を「難燃紙製～」に限定するよう必死で交渉した抜け道があったのです。私はアルミ製吸着式全熱交換ロータ開発の可能性、困難性について考えてみました。シリカゲルのタイプは？シリカゲル粉末を混ぜる接着剤の種類は？濃度が高いとシリカの性能が出ない？濃度を薄くすると剥離強度は？粉末の配合割合は？など因子が多く、はたして性能が出せるか試作回数や実験時間を考えると、混ぜて塗る方法では泥沼に入りそうに思えました。時間も資金も余裕がありません。 どうする？

そうだ！ 接着剤とシリカゲル粉末を混ぜるのではなく、アルミシート表面に接着剤を塗って、シリカゲル粒子をサンドペーパーのように接着すれば？接着剤は原液で良いので接着力は強く、希釈水は不要なので乾燥時間も短縮できる。またシリカゲルの表面が接着剤に覆われないので吸湿性能は阻害されない。高性能が出るよう最適化試作や性能試験も少なくすむと考えました。

接着剤を塗ったアルミシートにシリカゲル粒子を降り掛け接着後余分な粒子を取り除き、次に反対面を同様に2面処理する連続処理装置の構想設計をしました。がかなり大きな機械になります。 どうする？ 「そうだ！ 接着ローラを二組向き合わせて接触させた隙間からアルミ箔を上を引き上げる方法で接着剤を両面塗布し、さらにシリカゲル粒子を両側から吹き付ければ裏表同時処理できる。」粒子の吹きつけは送風機の吸い込み口にシリカゲル粒子をばらばらと落とすとうまくいきそうでした。アルミシートにシリカ粒子を吹付け接着後、上に引き上げながら乾燥して半乾燥状態で下に反転させ、追加乾燥して巻き取る方法でかなりコンパクトに設計製作出来ました。結果的にはアルミ箔に接着したシリカゲル粒子が水分を吸って乾燥速度が速まると共に、表面のシリカゲル粒子層により、乾燥状態が不十分でも、反転ローラに接着剤が付着しないので処理速度を上げられるという想定外の効果も重なり、生産性の高い量産機械が2～3ヶ月という短期間で開

発できたのです。

1982 年春に販売開始した新開発の HI・PANEX-AL は独創の製法が奏効してか、非常に高性能で、新日本サーモラングの新難燃紙ロータより、一クラス小型のロータで全熱交換性能や圧力損失が同等というほど高性能だったのです。老舗 BI 社の新型アルミ製吸着ロータも問題外でした。

緒方会長（隈智恵子常務の叔父）が来社されたある日、いつものように工場を巡回され、私に会うなり「あなたは功労者ですよ！」と力をこめて言われ、私は咄嗟のことで何か分かりませんでした。しかし後に「サーモラング物語」¹⁾を読んで当時の記憶と状況を重ね合わせて述懐すると、逼迫した経営状況の中で HI-PANEX-AL は、まさに最終回の起死回生逆転ホームランであったのかと思ひ至ったのでした。

HI-PANEX-AL を製品化してから 20 年ほど経ったある日、NEFF (Nationaler Energie-Forschungs-Fonds) のテストレポートが西部技研にもたらされました。デンマーク NOVENCO 社の来訪です。NOVENCO 社は他社の全熱交換器を、世界旅行用豪華客船の客室空調用として、1 隻当り 100 台近く採用していましたが、潜熱交換性能が悪いということで 4 隻クレームになり、潜熱交換性能の良いロータを捜していた所、上記のテストレポートを見出して弊社にコンタクトしてきたのです。

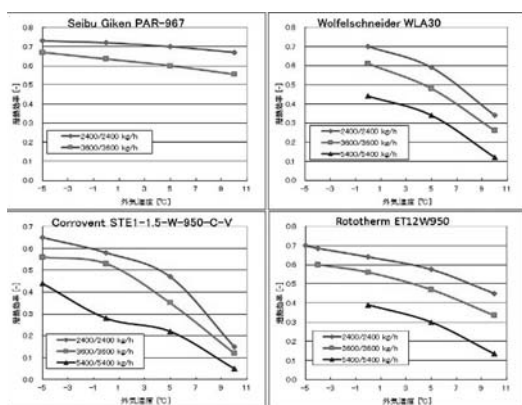


図2 全熱交換器の性能比較（左上が Seibu-Giken）

他社のロータは外気温度の低いときはロータ内部での結露現象に助けられて潜熱交換効率は良いのですが、外気温度が高くなるにつれ結露現象が低下して、潜熱交換性能が、つまり全熱交換性能が極端に低下するの

です。その点 HI-PANEX-AL は図2左上のように外気温度が高くなっても高い潜熱交換性能を発揮していることから、NOVENCO 社は代替ロータとして白羽の矢を立てたのです。他にも海外他社製の全熱交換ロータを性能試験比較することもありましたが、HI-PANEX-AL が最も高性能でした。さらにその後臭気を吸着移行させない HI・PANEX-ION へと進化させ、2004 年に吸着学会の技術賞をいただきました。



写真1 焼損した除湿ロータ

6. ハニカム除湿ロータ開発

6.1 クレーム多発の塩化リチウム乾式除湿ロータ

ここからは除湿ロータ「SSCR」開発の話をしてします。

写真1は1980年に電磁銅板会社に、銅板の防錆用として納入していた除湿ロータの、2回目の焼損クレームの写真です。対策に新しく開発した「焼成不燃化アスベストロータ」に交換しました。

アスベストペーパーは90%以上が無機物で、紙に火を点けても決して着火せず、空焼き処理と称して、段成形品を高温炉に通して炭化する、難燃化処理をしていたにもかかわらずロータは燃えたのでした。それも紙等有機物の発火温度よりも70～80℃低い運転温度なのに。

6.2 クレームや失敗開発から知識の集積

除湿ロータ開発の課題はこれだけでなく次々とクレームが発生し、その対策を検討実施しながら、ついに世界初のシリカゲル吸着式ロータを開発するに至るのは、これから4年後のことです。

私は西部技研入社後、毎年革新的な開発テーマを与えられて取り組みました。経営が綱渡り状態で、公的

研究開発費を得るための革新的なテーマでもあり、製品化に結びつかなかったテーマが多いですが、それらの研究開発から得られた知識やノウハウが集積して、やがて本当に革新的なロータを開発することになります。

6.3 次々と浮かんでくる新しいアイデア

当時主流の塩化リチウム乾式除湿機では、前段で冷却除湿した高相对湿度処理空気を除湿ロータに直接導入することはタブーでした。確実にトラブルやクレームの原因になるからです。必ずプレヒータで再熱して相对湿度75%以下にしてロータに導入しなければなりません。

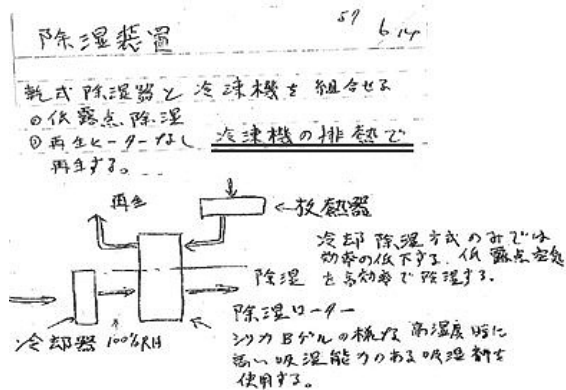


図3 HP 排熱再生アイデアカード (1982年)

しかし私は、もし塩化リチウムを使用しない吸着式除湿ロータを開発できれば、ロータの性能が少々悪くても、前段で冷却除湿後の低温の、100% 近い高相对湿度空気を直接導入できることで除湿性能が向上し、ヒートポンプの排熱を利用することによる省エネ性まで合わせると、先行するメジャーメーカーに対抗できる除湿機が開発できるのではないかと考えました。しかし当時の西部技研はそれを実現できる研究開発費も、時間も、技術もありませんでした。今必要なのはクレームの無い、来月、半年後に売れるロータを開発する事でした。私は新しいアイデアや思いをアイデアカード（図3）に書き残すことで自分を納得させるようにしました。いつかそのアイデアを再浮上させ、実施できる日が来るのを夢見て。

前述の、1980年の電磁鋼板会社向け塩化リチウム乾式（アスベスト）除湿ロータの焼損対策で、なんと

が不燃化ロータを開発し、いよいよ拡販段階になったのですが、次は除湿剤塩化リチウムによるトラブルに泣かされることになります。

6.4 悪魔の仕業

1981年に旭化成坂ノ市工場に納入した焼成不燃化アスベストロータが、納入1年後に紙粘土のように柔らかくなり、ハニカムが変形して空気が通らなくなったのです。その工場には発電所があり、排ガスに含まれる酸性ガスに侵食されたに違いないと、強酸液に漬ける等破損現象の再現を試みましたがハニカムは全くこわれません。原因不明のままロータ交換しましたが、驚いたことに、今度は1ヶ月もしないうちに同じ現象が起きたのです。悪魔の仕業か？ 再生風量不足？ 塩化リチウム液のキャリーオーバーも酷かったので、再生送風機を強力なものに交換しただけで再度原因不明のまま仕方なくロータ交換しました。この後クレームは再発しませんでした。この「悪魔の仕業」ロータ崩壊の原因が、塩化リチウムの液化移動濃縮と、再結晶化応力による破壊と分るのは2年後の1984年のことです。

当時、発電所排ガスのNOxによる大気汚染が問題となりセラミック触媒担体の開発テーマで1984年に通産省の開発資金を得ることに成功しました。このテーマは最終的には大企業との開発競争に負け、製品として日の目を見ませんでした。新除湿ロータの基材になるセラミックハニカムを生産する技術につながりました。

6.5 ハニカムの中で吸着材を合成する発想

ゼオライト抄きこみセラミックペーパー製除湿ハニカム開発をしたことがありますが、いろいろ困難が有り頓挫しました。この経験から、ハニカムのマトリックス中で吸着材を合成して固定することが出来ないか考え遊びで実験していました。前述の触媒担体開発真っ最中でしたが、社長より本業に影響のない範囲でなら他の事（吸着ロータ）をしても良いと許可をいただき残業時間で色々試みました。

6.6 シリカゲルハニカム合成法発明の切っ掛け

当時家族で買い物に出ると必ず書店の専門書コーナーに立ち寄って興味を引く技術書を探すのが楽しみでした。1984年の3月、柳井弘著 吸着工学要論という本を見つけました。その本には探していたシリカゲル等、吸着材の合成工程が記述されており、宝物を見つけたように喜んで購入して帰りました。早速その本を参考に、水ガラス液に希硫酸を混合してみると、希硫酸を入れた途端に塊になって想像したシリカゲルは出来ませんでした。うまく混合出来る様になると透明でさらさらのゾル液が出来ます。時間経過に従って次第に粘度が上がり、やがて傾けても動かなくなります。さらに時間がたつとさらに硬くなって、ビーカーをはじくと「カーン」と澄んだ音がする透明な硬い寒天状のゲルになります。それを水洗して乾燥すると縦横高さ方向が半分に、体積では1/8位に収縮して割れ、破碎状のガラスのようなシリカゲルが出来たのは感動的でした。「これだ!」と思って混合したばかりのさらさらのゾル液を、セラミックペーパーに含浸して乾燥してみたのですが、乾燥すると紙の中や表面でシリカゲルが乾燥収縮してバラバラに割れ、砂状になってザラザラと脱落してしまいました。

色々なシリカゲル合成処理方法を試しながら、同時に試作品の評価方法も考えました。湿度センサの検定方法の飽和塩法からヒントを得て、石油缶に飽和塩の入ったビーカーと試作品を入れて蓋をし、翌日に重量増を計って吸湿量を計測しました。数種類の飽和塩により、1週間くらいかけて次々に吸着等温線を計っていくのです。さらに測定速度が向上しデータが安定する様に、台所用プラスチック容器と観賞魚用のエアポンプを組み合わせた平衡吸湿量評価装置を製作して、実験がスムーズに出来る様になりました。設備も資金も不足している時期です。工夫して小遣い程度の予算で評価装置を作成したのは、手前味噌ながら私の自慢です。

6.7 セレンデピティー (Serendipity) 的発明

セレンデピティー的発明とは、失敗の中から「おや?」と思い、気づきを得て至る発明で、ペニシリン、ダイナマイト、ゴムの加硫、トランジスタ、テフロン

等有名な多くの発明例があります。だれでも同じものや現象を見たり経験したりしていることなのに、その中から気づき、ヒントを得て発明するのは一種の才能だと思います。Louis Pasteur の格言のように、普段から四六時中強い関心を持って、感度の良いアンテナを広げておかなくては見逃してしまいます。私は化学素人でありながら、吸着材を合成する化学反応に大変興味を持っていましたので、色々な実験を、無駄だろうと思いつつもどうなるだろう? というワクワク感で興味を持って次々と失敗し、失敗から考えて進歩を繰り返し、ついにブレイクスルーに至ったのです。

シリカゲルハニカム合成はまさに Serendipity 的発明でした。最初の方法がうまく行かなかったので、専門書の中の球状シリカゲルの製法にも着目して、レシピに添って実験しましたがやっぱり失敗でした。しかしこのとき購入した薬品が後のブレイクスルーにつながっていきます。

この頃、先にセラミックペーパーに水ガラス液を含浸しておいてから希硫酸に浸漬反応させる方法を工夫して幾らか良くなったので、吸湿性能評価装置で評価していました。まだまだシリカゲルの付き量が少ない、しかも弱い。そこでペーパーに水ガラスを含浸後乾燥濃縮して希硫酸に漬けるとどうなるだろう? 幾らか強く性能も少し上がり希望を持ちました。でも「大量の希硫酸を手作業主体の生産現場で使うのは危険だ。どうしよう?」と思いながら実験していました。もし良い物が開発できても、多額の設備投資や、安全面で問題があると製品化は困難です。できるだけ現行の製造ラインを利用してできる方法を意識して進めました。

ある日、全熱交換ロータの製法がハニカムに水ガラスを含浸乾燥後、塩化カルシウム液に浸漬中和硬化して製作することから、遊びで塩化カルシウム液の代わりに先の実験で入手していた別の薬品の液に浸漬処理してみました。強度は弱く、また遊びで終わるかに思われました。しかし試しに吸湿量を計てみると、それまでの試作品の2倍以上の吸湿性能であることが分かりびっくりしました。

試行錯誤の入口は教科書どおりのシリカゲルの製法からでしたが、色々興味本位で「やってもムダな事」をしているうちに少しくま行って、工場で生産でき

るような製法にだんだんと近づけていきました。失敗するだろう「やっても無駄なこと」を繰り返し、失敗しているうちに、ついに Serendipity 的発明に至ったのです。

1984 年の秋、私は写真 2 の $\phi 60$ mm 位のロータを手巻きで試作し、使い古した上皿天秤とヘアドライヤーを持って社長室に報告に行きました。試作ロータに冷風を流せばロータは重くなり、熱風を流せばあっという間に軽くなります。何度でも。隈社長はにわかに信じられなかったのです。なぜなら私が化学の素人というだけでなく、最終的に行き着いた製法が全熱交換ロータの製法と、簡単に言えば反応液の違いだけであつたからです。「そのような簡単な方法で出来るなら M 社が先に発明しているはずだ。何か決定的な欠点があるのではないか。」私はその日からこの新ハニカムが本当に間違いの無い、すばらしいものであるということを実証することや、製法、製造条件の研究に没頭していきました。



写真 2 SSCR ロータ試作第一号

新ロータの製品名 SSCR は、Seibu-giken、Silica gel、Ceramic、Rotor のアルファベットの頭文字から隈社長と決めたものです。隈社長は M 社にも売り込もうとしました。しかし提供ロータの評価も良く価格問い合わせ等あったものの制約しませんでした。スウェーデンと米国にも PAT 出願しましたが、各国特許庁に無効資料を提供するなど権利範囲を弱体化させ、隙間をついて 4～5 年後にシリカゲル系ロータを上市してきたのです。

6.8 界面反応法シリカゲル

化学素人の私が発明したシリカゲル合成法は、専門

家からすれば「訳の分からないもの」かもしれませんが、実用で役に立てばそれ以上のものは無いと思っていました。しかし最近になってこの革新的なシリカゲル合成法に相応しい言葉を見つけました。「界面反応法」です。

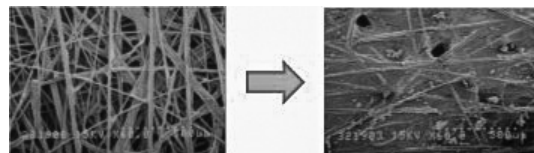


図 4 界面反応法によるハニカムシリカゲル

水ガラスと希硫酸を混合したゾル液中のシリカが均一に、徐々に重合ゲル化していく従来の「ゾルゲル法」と全く異なり、「界面反応法」はハニカムに水ガラスを含浸乾燥した後、硫酸塩の液に浸漬して、界面から水ガラスの内部へ徐々に反応が進んでいきます。この反応中濃縮固化した水ガラスは硫酸塩との浸透圧差により、水分を吸収して某潤するか又は逆に収縮しながら、活着ているように反応が進んでシリカゲルに変化していくのは大変興味深い化学反応現象です。(図 4、図 5)

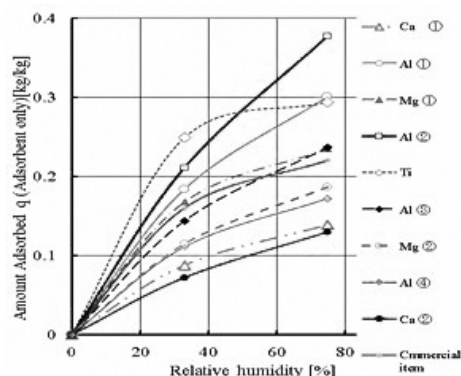


図 5 試作品の吸着等温線

6.9 世界最高のハニカム除湿ロータ

性能試験用に移動型の小型除湿機を製作し、空気条件を作る装置が無くても、外気の一年間の温湿度変化を利用し、特に人手やコストを掛けず性能試験を進めました。

当時塩化リチウム乾式除湿機市場のトップ 2 である、M 社と D 社の除湿ロータを入手して性能試験評価をしたことが有ります。SSCR はこの他社ロータと同等以上の除湿性能であることが分かりました (図 6)。吸

着式の特徴が特に低湿度（低露点温度）側の除湿性能が抜群に良かったのです。冷却除湿後の再熱も不要なのでさらに性能向上し、リチウム電池工場ドライルーム向け等、その後どんどん拡大して行く低露点除湿市場で圧倒的な強みになって行く事になります。

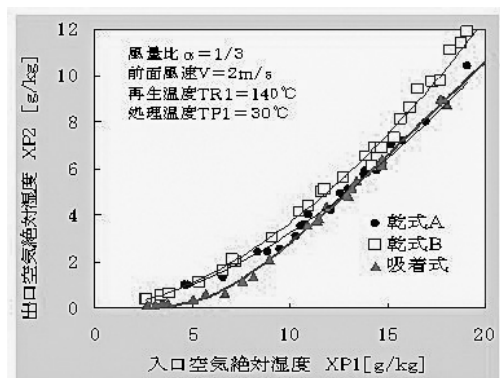


図6 他社乾式除湿ロータとの性能比較

製品競争力の基本は品質、コスト、納期ですが、SSCRはその何れにも依存しない画期的な競争力のある除湿ロータでした。SSCRは従来の塩化リチウム乾式除湿ロータの欠点を総て解決したのです。

7. シリカゲル+ゼオライトハイブリッドロータ

さらに高性能なロータ開発に挑みました。SSCRは従来の塩化リチウム乾式除湿ロータより低露点除湿性能が優れていましたが、さらに低露点性能が優れているゼオライトとのハイブリッド化を考えました。SSCRの基礎開発で集積されてきた知識から、ゼオライトが分解しない条件で水ガラスに混合しておいて、ハニカムロータに含浸乾燥後、次はゼオライトが分解劣化しない反応条件でシリカゲルを合成する方法を考案し、1985年にシリカゲルとゼオライトのハイブリッドロータSZCRを開発しました。この技術はVOC濃縮ゼオライトロータUZCRに発展していく事になります。1992年に日本吸着学会から技術賞を頂きました。

8. 博士号取得

1987年から製造部の工場長を経験、1997年に開発部に復帰して研究開発や学会活動を始めました。1998年、隈智恵子新社長の勧めで博士号に挑戦することになりました。隈利實社長が博士号を取得されたとき、「次は君だ」と言われていたこともあり、故人の遺志

でもありました。私には一生博士号というものに縁がないと思っていましたので、夢のような話です。それまでの研究結果をまとめ、デシカント空調では広瀬先生や児玉先生及び、同研究室出身の金俣力さん他開発部員の協力を得て、2001年に博士号を取得することができました。

9. 終わりに

研究の予算が無い、場所が無い、時間が無い、何が無いとお悩みの皆さん、どのような環境下でも知恵で切り開けると希望を持っていただけたなら幸いです。

人生を振り返ってみれば、当時の西部技研に入社したこと自体が冒険であり、その後の長い冒険の始まりでした。2019年春に、定年後長年の夢であったバイクで、37日間14118km日本一周し、これまでの冒険に一区切り付けました。さて次はどんな冒険をしようか？

【参考文献】

- 1) 村岡克紀, サムライベンチャーの流儀, 幻冬舎ルネッサンス, 2012

氏名 岡野 浩志

所属 株式会社西部技研

略歴 1977年3月 九州産業大学工学部機械工学科卒業

1977年7月 (株)西部技研入社

1997年 取締役開発本部長

2001年 熊本大学大学院博士課程修了

2019年 取締役定年

2020年 (株)西部技研監査役

奨励賞受賞記念寄稿

磁性イオン液体の示す反強磁性相互作用の起源と『機能性液体』の可能性

Configurational evidence for the antiferromagnetic interaction in magnetic ionic liquids and the potential of ionic liquids as functional materials

信州大学 理学科 化学コース
Department of Chemistry, Faculty of Science,
Shinshu University

二村 竜祐
Ryusuke Futamura

はじめに

まず、昨年度の日本吸着学会におきまして研究奨励賞をいただきました件につきまして、日本吸着学会関係者様に厚く御礼申し上げます。受賞対象研究は「ナノ空間で同種イオンが形成する超イオン状態の解明と電場印加 in-situ X 線散乱測定法の開発」です。こちらの研究の詳細につきましては、2019 年発行の Adsorption News 内のフロントラインにて解説させていただきます¹⁾。奨励賞受賞記念寄稿とのことですので、対象研究の話をすべきとも考えましたが、話の内容が繰り返になってしまうのと、皆様に最近の研究について知っていただきたいという思いがありますので、本稿では別の話題について書かせていただきます。別の話と書きましたが、最近我々が精力的に研究を行っておりますイオン液体の話ですので、奨励賞の研究とまったく関係がないというわけではありません。どうかご容赦いただければと思います。

1. イオン液体について

イオン液体は室温付近で融解する室温溶融塩を指し、不揮発性・熱安定性・高い電気伝導性など、水や有機溶媒とは異なるユニークな物性を有している。そのた

め『第三の溶媒』として注目を集めており、スーパーキャパシタや溶媒抽出など様々な応用分野での利用が期待されている^{2),3)}。最近我々は、イオン液体がナノカーボン細孔中において、同種イオンが近接した超イオン状態を形成することを報告し、高エネルギー密度と高出力を併せ持つスーパーキャパシタの開発のための重要な知見を得ている^{1),4)}。

さらに、イオン液体は有機カチオンと無機アニオンからなる有機無機ハイブリッド材料でもあり、デザインーソルベントとして期待されている。イオン種として、ゲスト包接能を有するクラウンエーテルなどを部分骨格として有するイオンを導入することにより、様々な機能性を有する液体材料の開発が可能となる^{5),6)}。2004 年に Hamaguchi らは磁気モーメントを有するイオンである FeCl_4^- を陰イオンとして含むイオン液体を合成し、室温で常磁性を示す磁性イオン液体を報告した⁷⁾。磁石に引きつけられる液体は、磁性流体⁸⁾や液体酸素などが知られているが、磁性イオン液体は先の二つの物質とは異なり、純粋な液体（混合物でない）でかつ室温で磁石に引き付けられる液体である。磁性イオン液体は磁気分離や磁気浮遊密度測定などの応用で期待される新規材料である^{9),10)}。

このようにイオン液体をはじめとする『機能性液体』の可能性が高まる一方で^{7),11)}、液体構造の研究は結晶構造解析と比べるとマイナーな域を出ない。また、本稿で述べるように液体構造解析の一般的な手法である動径分布解析では、イオン液体のような多成分系の詳細な構造解析において困難が伴う。しかし、機能性液体の特長や機能性の微視的な評価には詳細な構造解析が必要不可欠となる。

最近我々は、X 散乱測定と分子シミュレーションを組み合わせた手法であるハイブリッドリバースモンテカルロ (HRMC) 法により磁性イオン液体構造について詳細に検討を行い、磁化率測定で観測される負の Weiss 温度の起源である磁性イオンの会合構造形成を明らかにした¹²⁾。本稿では液体構造解析における

HRMC 法の長所を含め、この研究の詳細について紹介する。

2. 実験及びシミュレーション

本研究で用いたイオン液体は、磁性を有する陰イオンである FeCl_4^- を含む、1-Ethyl-3-methylimidazolium tetrachloro ferrate (>98.0%, 東京化成工業(株)製 EMI- FeCl_4) 及び 1-Butyl-3-methylimidazolium tetrachloro ferrate (>98.0%, 東京化成工業(株)製 BMI- FeCl_4) である。ボロシリケート製のガラスキャピラリー (直径 $\phi = 0.7 \text{ mm}$, 厚さ $t = 0.01 \text{ mm}$) に各磁性イオン液体を導入後封管し、SPRING-8 の BL02B2 ビームラインに持ち込み透過法にて X 線散乱測定を行った ($\lambda = 0.07997 \text{ nm}$)。温度調節はビームライン備え付けの N_2 ガス吹付装置にて行い、80 K から 523 K の温度範囲においての X 線散乱測定を行った。

X 線散乱プロファイルの詳細な解析には HRMC 法を適用した¹³⁾。HRMC 法ではモンテカルロ法で用いられる試行の採択率 P_{acc} を、シミュレーションにより得られる構造関数 $i_{\text{sim}}(s)$ と実験値 $i_{\text{exp}}(s)$ との残差二乗和 χ^2 を用いて以下の式のように変更する。

$$P_{\text{acc}} = \min \left[1, \exp \left(-\frac{\chi_{\text{new}}^2 - \chi_{\text{old}}^2}{w_x} \right) \times \exp \left(-\frac{E_{\text{new}} - E_{\text{old}}}{k_B T} \right) \right]$$

ここで E はシミュレーションで得られる系の内部エネルギー、 k_B はボルツマン定数そして T はシミュレーションセルの温度である。これにより X 線散乱測定から得られた構造情報と分子シミュレーションによる分子間相互作用の両面から最適化された三次元構造について詳細な検討を行える。

内部エネルギーの計算では、イオン間の相互作用としてレナード・ジョーンズ (LJ) ポテンシャルおよび点電荷間の Coulomb ポテンシャルを加味した。Coulomb ポテンシャルの遠距離項は Ewald の方法により算出した¹⁴⁾。シミュレーションセルには x , y , z 方向に周期境界条件を有する立方体セル ($6 \times 6 \times 6$

nm^3) を用いた。カチオン・アニオンの分子モデルを図 1 に示した。298 K での各磁性イオン液体のシミュレーションにおける分子数 (EMI- FeCl_4 : 610 ペア, BMI- FeCl_4 : 526 ペア) は室温におけるバルクの液体の密度より算出した^{15), 16)}。各イオンの LJ パラメータ、点電荷及び詳細なシミュレーション条件については引用文献を参考にされたい¹²⁾。



図 1 磁性イオン液体の分子構造モデル

3. 室温における磁性イオン液体の構造

本研究で用いた EMI- FeCl_4 と BMI- FeCl_4 はどちらも FeCl_4^- をアニオンとして有する磁性イオン液体であり、それぞれのカチオンはイミダゾリウム環における 1 位の N にエチル基 (EMI) またはブチル基 (BMI) が結合した構造をしている (図 1)。両者は後述の通りお互いによく似た X 線散乱プロファイルを示すが熱的な特性には違いがあり、EMI- FeCl_4 は 291 K に融点を持つのに対し、BMI- FeCl_4 は低温でも結晶化せずガラス状態となる¹⁷⁾。

図 2 に 298 K における EMI- FeCl_4 と BMI- FeCl_4 の X

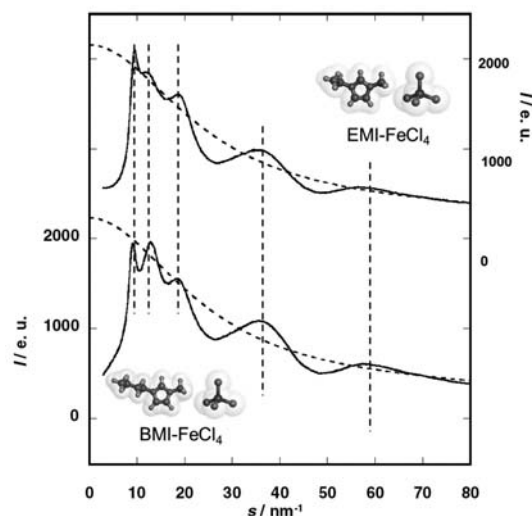


図 2 298 K における (上) EMI- FeCl_4 と (下) BMI- FeCl_4 の X 線散乱プロファイル

線散乱プロファイルを示した。横軸は散乱パラメータ $s (= 4 \pi \sin \theta / \lambda)$ で示してある。液体やアモルファスのX線散乱プロファイルは、結晶による回折パターンと異なり、なだらかな減少曲線（破線で示した曲線）の上に構造の規則性に由来する干渉項の波が足し合わされた曲線となる。EMI-FeCl₄ と BMI-FeCl₄ のX線散乱プロファイルは、どちらも $s < 20 \text{ nm}^{-1}$ に3つのピークが見られ、お互いよく似た散乱プロファイルとなった。これら3つのピークは、イオン間の隣接構造に由来し、2つのイオン液体でピーク位置やピーク強度比に違いが見られた。このことはEMIとBMIにおけるアルキル基の鎖長によって、イオンの隣接構造に違いがあることを意味している。

詳細な構造の解析のために、HRMC シミュレーションを行った結果を図3、4に示す。図3、4はそれぞれEMI-FeCl₄ 及びBMI-FeCl₄ についての結果である。図3(a) および図4(a) は、X線散乱プロファイルの干渉項をフーリエ変換して得られる動径分布関数と、HRMC シミュレーションから得られた動径分布関数の比較である。どちらのイオン液体についても、シミュ

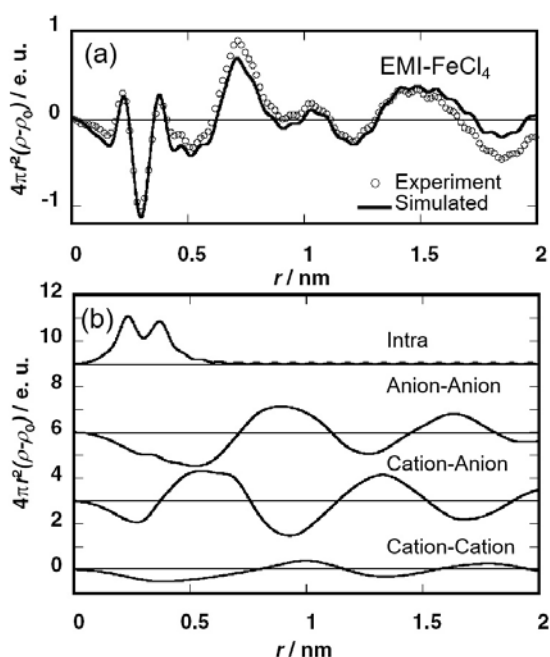


図3 (a) EMI-FeCl₄ のX線散乱測定から求めた動径分布関数とHRMCシミュレーションから得た動径分布関数の比較 (b) HRMCシミュレーションから得られる成分別の動径分布関数

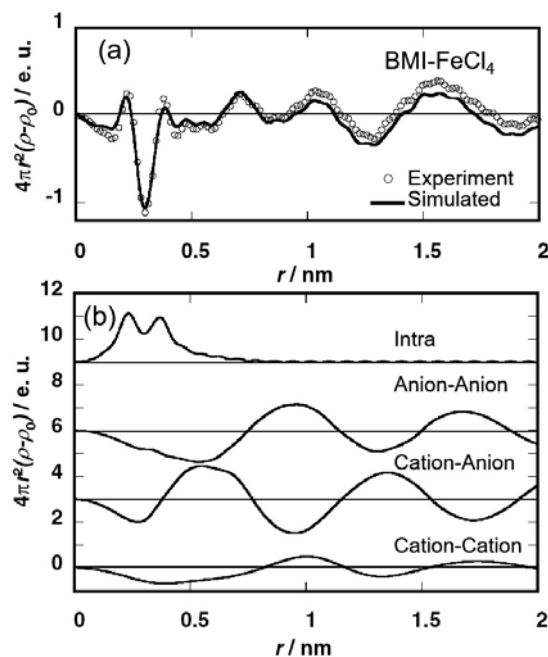


図4 (a) BMI-FeCl₄ のX線散乱測定から求めた動径分布関数とHRMCシミュレーションから得た動径分布関数の比較 (b) HRMCシミュレーションから得られる成分別の動径分布関数

レーションの結果はX線散乱プロファイルから得られた動径分布関数をよく再現しており、本法で詳細な構造解析が可能であると言える。図3、4(b)にはHRMCシミュレーションから得られる成分別の動径分布関数を示した。どちらのイオン液体でも、イオン液体に特徴的な異種イオン間と同種イオン間の隣接ピークが交互に繰り返されるクーロン相互作用による秩序構造を形成していることがわかる¹⁸⁾。またどちらのイオン液体においても、異種イオン間の第一隣接のピークは0.5 nmに位置していることもわかる。しかしながら、X線散乱プロファイルから直接得られる動径分布関数では、0.5 nmにはピークが見られず、むしろ平均密度より低い谷となっている。これは陰イオン間及び陽イオン-陰イオン間の動径分布関数の振幅が同程度であるため、波の足し合わせにより打ち消されるためである。このことは、一般的なアモルファス構造解析法である動径分布法の注意点であり、イオン液体のような多成分系の構造解析では詳細な解析に困難が伴うことを意味している。

さらに詳細なイオンの隣接構造について検討を行う

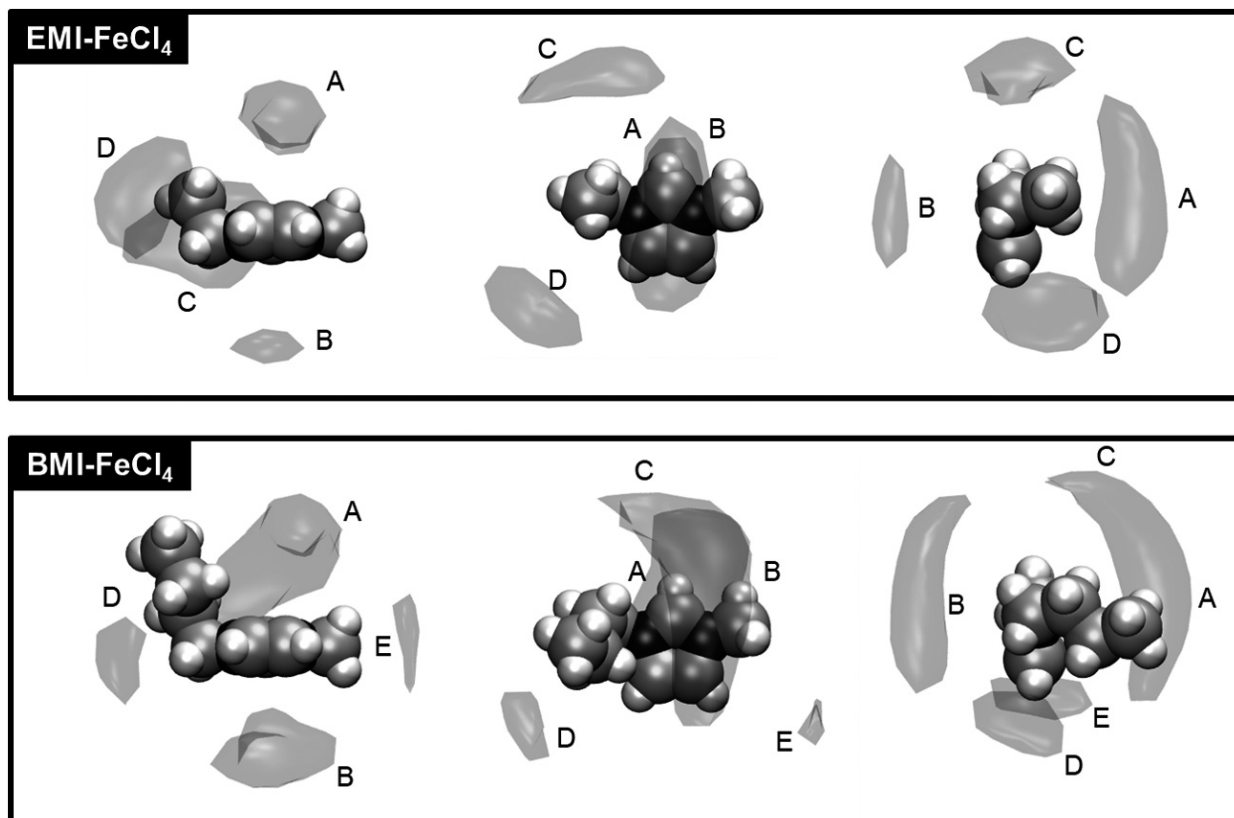


図5 (上) EMI-FeCl₄ および (下) BMI-FeCl₄ のカチオンの第一配位圏に存在するアニオンの空間分布関数

ために、陽イオンの周りの陰イオンの分布を3次的に表す空間分布関数を求め、図5に示した。図5はカチオンの1位の窒素原子の周りに存在する陰イオン(Fe原子中心)の存在割合の高い領域を示している。動径分布解析ではイオンの配位構造の3次的な描像を得ることは難しいが、分子シミュレーションと組み合わせることで、空間分布関数のように液体構造をより詳細に描写することが可能となる。図5の上下はそれぞれ、EMI-FeCl₄ 及び BMI-FeCl₄ の結果である。図5において非常に興味深いのは、EMI カチオンと BMI カチオンではアルキル側鎖長のみが異なるにも関わらず、イミダゾリウム環の周りのアニオンの分布に大きく違いが見られる点である。EMI ではイミダゾリウム環に垂直な方向(図中のA, B)に加え水平な方向(図中のC)にFeの明確な配位圏が存在している。一方でBMIについてはEMIと比べAとBのサイトが広域に広がっており、サイトAとCがつながった配位構造を形成していることがわかる。BMIが形成する

“ぼんやり”とした配位構造が、BMI-FeCl₄ が低温でも結晶化しないことに関係していると考えられる。そこでBMI-FeCl₄ の構造の温度依存性について、さらに検討を行った。

4. 低温における磁性イオン液体の構造

EMI-FeCl₄ は3.8Kに反強磁性から常磁性への転移を示すNéel点を有している¹⁹⁾。このため、低温におけるEMI-FeCl₄ の構造については数多くの報告例がある^{19)~21)}。一方で、BMI-FeCl₄ は低温でガラス状態であり、秩序磁性である反強磁性への相転移を示さない¹⁷⁾。しかし、温度に対する磁化率依存性に対しCurie-Weiss則を適用すると、負のWeiss温度を示し、ガラス状態という無秩序状態でも磁性イオン間に反強磁性相互作用が生じていることがわかる¹⁷⁾。

図6に90Kから523Kまでの温度範囲におけるBMI-FeCl₄ のX線散乱測定の結果を示した。EMI-FeCl₄ は90Kで結晶構造に由来するXRDプロファイルと

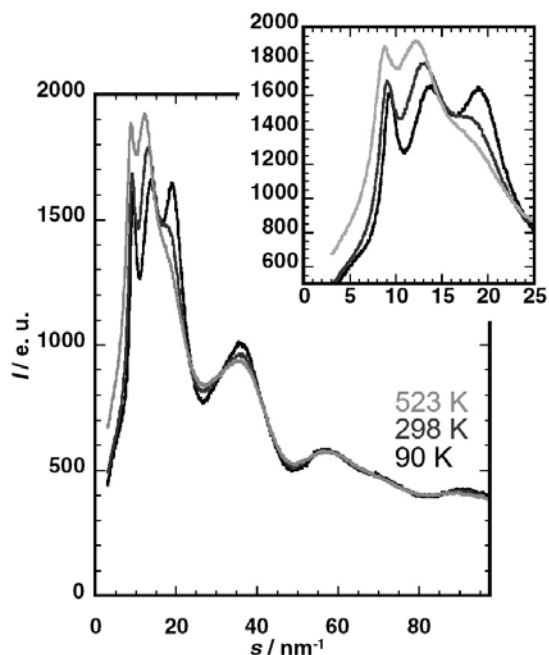


図6 BMI-FeCl₄ のX線散乱プロファイルの温度依存性

なったのに対し¹²⁾、BMI-FeCl₄は90Kでもアモルファス様のX線散乱プロファイルとなり結晶への転移を示さなかった。これはYoshidaらの示差走査熱量測定の結果と良い一致を示す¹⁷⁾。さらに、非常に興味深いことに、90Kから523Kという広い温度範囲においてX線散乱プロファイルが連続的に変化した。先に示した $s < 20 \text{ nm}^{-1}$ の3つのピークは、温度の減少によりピーク位置が高角度側へシフトした。一方で、ピーク強度については各ピークで傾向が異なり、温度の減少に対し 9 nm^{-1} と 13 nm^{-1} のピークの強度は減少した一方で、 19 nm^{-1} の強度は増加した。詳細な解析のために、HRMCシミュレーションを行い、陽イオンの周りの陰イオンの分布を3次的に表す空間分布関数の温度依存性を得た(図7)。

温度の低下により、陽イオン周りの陰イオンの分布域がより広域に広がっていることがわかる。特に90Kでは、298Kや523Kでははっきりと分かれていたイミダゾリウム環に対して垂直方向のサイトがお互いにつながっており、イミダゾリウム環の周りでの陰イオンの分布がぼんやりとしている様子がより顕著となった。このことは、BMI-FeCl₄が90Kでも結晶化

しない特徴を微視的によく描写している。

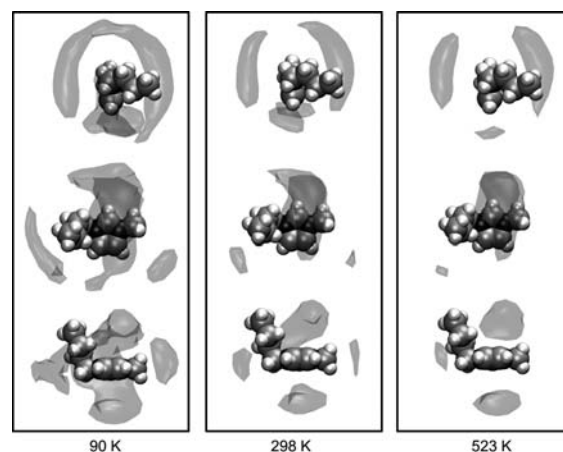


図7 BMI-FeCl₄のカチオンの第一配位圏に存在するアニオンの空間分布関数の温度依存性

5. 無秩序状態における磁性イオン間の相互作用

図8にBMI-FeCl₄のHRMCシミュレーションの結果から導出した、磁性イオン間の磁気相互作用に関する陰イオン間の動径分布関数を示した。90Kでは 0.75 nm にショルダーが現れたのに加え、 0.36 nm に隣接したFeCl₄間のCl...Cl間距離に由来するピークが現れた。このことは90KのX線散乱プロファイルにおいて 19 nm^{-1} のピーク強度が大きくなったことに由来し、ガラス状態においてFeCl₄の回転運動が凍結しFeCl₄間の明確な隣接構造が形成されていることを意味している²²⁾。FeCl₄周りのClの空間分布を求めると、ClはFe-Cl結合の延長線上ではなく、FeCl₄の四面体構造の各面の重心付近に分布していることがわかる(図8の挿入図)。さらに詳細にFeCl₄間の構造について明らかにするために、90KにおけるHRMCシミュレーション結果から、Cl...Cl間距離が 0.39 nm 以下であるFeCl₄間の会合構造に含まれるアニオン数の分布を計算した結果を図9に示す。図9より40%程度のFeCl₄イオンはネットワークを形成せず、孤立して存在していることがわかるが、50%以上がネットワークを形成しており、さらに35%以上が3つ以上のアニオンからなる会合構造を形成していることがわかる。図9の挿入図として3、4、5及び6つのイ

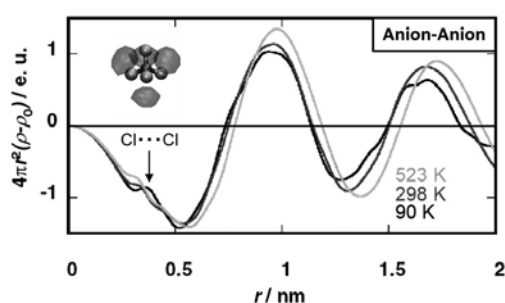


図8 HRMC から得たアニオン間の動径分布関数の温度依存性 (挿入図) アニオンの周りに存在するアニオン中の Cl の空間分布関数

オンによるネットワーク構造の例を示した。これらは Fe-Fe 間が Fe-Cl-Cl-Fe 結合を通じてジグザクのネットワークでつながれていること示しており、García-Saiz らが¹, 3-Dimethylidiazolium tetrafluoroferrate の中性子回折測定から決定した、反強磁性相互作用の J_2 (もしくは J_3) pathway とよく似ている²³⁾。つまり、低温において FeCl_4^- の回転運動が凍結することにより、Fe-Cl-Cl-Fe のネットワークが形成され、比較的近距離の FeCl_4^- 間で反強磁性相互作用が生じていることを示唆している。これらのことは、磁化率測定で観測される負の Weiss 温度をよく説明し、長距離秩序性を有していないガラス状態での磁気相互作用についてミクロな視点から明らかにした重要な結果である。

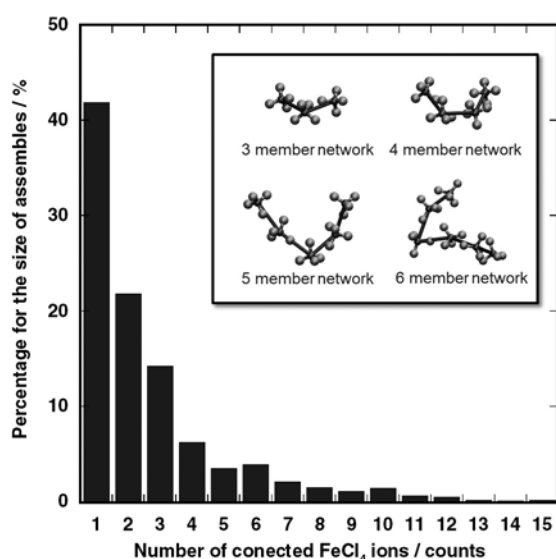


図9 FeCl_4^- アニオン間の会合構造中のアニオン数の分布 (挿入図) 3 から 6 つのアニオンからなるネットワークを持つ会合構造

5. おわりに

磁性イオン液体構造についての我々の成果について報告した。低温でガラス状態となる BMI- FeCl_4 においても、 FeCl_4^- 間には近距離の構造性があり、これが磁化率測定で観測される負の Weiss 温度の起源であることを明らかにした。最近の我々の研究では、磁性イオン液体を細孔中に導入することにより、カーボンごと磁石に引き付けられる複合材料を合成している。カーボン細孔中では液体構造だけでなく、磁気相転移挙動もバルクとは大きく異なることもわかってきている。今後のさらなる検討が必要である。

受賞対象研究や本稿で示したイオン液体の研究において、HRMC シミュレーションは実験と分子シミュレーションの橋渡しという意味合い以上に、イオン液体の様々な特徴を明らかにできる非常に有用な研究方法であることが示された。イオン液体の機能性材料としての可能性の探索のため今後さらなる研究が期待される。

謝辞

本解説における研究成果は、金子克美特別特任教授、飯山拓教授、尾関寿美男教授との共同研究に基づく結果であり、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B) (No.26870240)、若手研究(A) (No.17H04953)、基盤研究(B) (No.17H03039) 及びタカギ研究助成金の支援を受けて行われました。またシンクロトロン X 線散乱実験は、公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) の認可のもと SPring-8 の BL02B2 ビームラインにて (課題番号 No.2012B1438, No.2013B1243, No.2014A1167, No.2014B1196) 行われました。これらに対して、ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 二村竜祐 “多孔性炭素の電気伝導性に由来するイオン液体の同種イオン稠密構造” *Adsorption News* 日本吸着学会編 **32**, 10 (2019).

- 2) M. Freemantle, An Introduction to Ionic Liquid., RSC Publishing, Cambridge (2010).
- 3) M. Armand, F. Endres, D.R. MacFarlane, H. Ohno and B. Scrosati, *Nature Mater.* **8**, 621 (2009).
- 4) R. Futamura, T. Iiyama, Y. Takasaki, Y. Gogotsi, M.J. Biggs, M. Salanne, J. Ségolini, P. Simon and K. Kaneko, *Nature Mater.* **16**, 1225 (2017).
- 5) Y. Oba, M. Okuhata, T. Osakai, T. Mochida, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20**, 3118, (2017).
- 6) T. Ogoshi, N. Ueshima, T. Yamagishi, Y. Toyota, M. Matsumi, *Chem. Comm.* **48** 3536, (2012).
- 7) S. Hayashi, H. Hamaguchi, *Chem. Lett.* **33** 1590 (2004).
- 8) A. Mertelj, D. Lisjak, M. Drofenik, M. Čopič, *Nature* **504** 237 (2013).
- 9) K.D. Clark, O. Nacham, J.A. Purslow, S.A. Pierson, J.L. Anderson, *Anal. Chim. Acta* **934** 9 (2016).
- 10) D.K. Bwambok, M.M. Thuo, M.B. J. Atkinson, K.A. Mirica, N.D. Shapiro, G.M. Whitesides, *Anal. Chem.* **85** 8442 (2013).
- 11) N. Giri, M. Pópolo, G. Melaugh, R. Greenaway, K. Rätzke, T. Koschine, L. Pison, M. Gomes, A. Cooper, S. James *Nature*, **527**, 216, (2015).
- 12) R. Futamura, Y. Takasaki, H. Otsuka, S. Ozeki, K. Kaneko, T. Iiyama, *J. Mol. Liq.* **311**, p 113321 (2020).
- 13) T.C. Petersen, I. Yarovsky, I.K. Snook, D.G. McCulloch and G. Opletal, *Carbon* **41**, 2403 (2003).
- 14) M.P. Allen and D. Tildesley, Computer Simulation of Liquids Clarendon Press, Oxford (1987).
- 15) P. Scovazzo, C.A.M. Portugal, A.A. Rosatella, C.A. M. Afonso, J.G. Crespo, *J. Colloid Interface Sci.* **428** 16 (2014).
- 16) Q.-G. Zhang, J.-Z. Yang, X.-M. Lu, J.-S. Gui, M. Huang, *Fluid Phase Equilibria*, **226** 207 (2004).
- 17) Y. Yoshida, G. Saito, *J. Mater. Chem.* **16** 1254 (2006).
- 18) K. Fujii, Y. Soejima, Y. Kyoshoin, S. Fukuda, R. Kanzaki, Y. Umebayashi, T. Yamaguchi, S. Ishiguro and T. Takamuku, *J. Phys. Chem. B* **112**, 4329 (2008).
- 19) I. de Pedro, D.P. Rojas, J. Albo, P. Luis, A. Irabien, J.A. Blanco, J.R. Fernández, *J. Phys. Condens. Matter* **22** 296006 (2010).
- 20) I. de Pedro, D.P. Rojas, J.A. Blanco, J.R. Fernández, *J. Magn. Magn. Mater.* **323** 1254 (2011).
- 21) T. Bäcker, O. Breunig, M. Valldor, K. Merz, V. Vasylyeva, A.-V. Mudring, *Cryst. Growth Des.* **11** 2564 (2011).
- 22) M. Yoshimoto, R. Futamura, A. Hoshikawa, T. Ishigaki, T. Uchida, T. Iiyama, *Chem. Lett.* **46** 923 (2017).
- 23) A. García-Saiz, P. Migowski, O. Vallcorba, J. Junquera, J.A. Blanco, J.A. González, M.T. Fernández-Díaz, J. Rius, J. Dupont, J.R. Fernández, I. de Pedro, *Chem. Eur. J.* **20** 72 (2014).



二村 竜祐
信州大学
理学部化学コース
博士（理学）
助教

2012年 信州大学総合工学系研究科博士課程修了
同年 信州大学エキゾチック・ナノカーボンの
創成と応用プロジェクト拠点 博士研究員
2015年 信州大学環境・エネルギー材料科学研究
所 博士研究員
2018年 同特任助教
2019年 信州大学理学部化学コース 助教

関連学会のお知らせ

膜シンポジウム 2020 “ブレイクスルー”

主 催：日本膜学会

日 時：2020 年 11 月 12 日(木)・13 日(金)

場 所：オンライン開催

テーマ：“ブレイクスルー”

本年度の主題は“ブレイクスルー”とし、人工膜・生体膜・境界領域における様々な分野の研究者が垣根を越えて深く交流することで、各々の視点から新たな“ブレイクスルー”を見出し、“膜学”のさらなる発展に寄与することを目的とします。本会の理念である人工膜・生体膜・境界領域の融合を目指し、膜に関連する幅広いカテゴリーに属する研究者・技術者が一堂に会して、活発に意見を交換し合い、“膜学”を新たなステージへと押し上げる突破口についての議論を行う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まで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。詳細は膜シンポジウム 2020 のウェブサイトをご覧ください。<http://www.maku-jp.org/symposium/>

参加費：

第 1 次事前参加登録および支払期間：2020 年 9 月 14 日(月)～10 月 12 日(月)

主催・協賛学会員 8,000 円、学生 5,000 円、非会員 25,000 円、法人（5 名まで参加可、日本膜学会法人会員の企業様に限ります。事前割引はありません。）30,000 円

第 2 次事前参加登録および支払期間：2020 年 10 月 19 日(月)～11 月 5 日(木)

主催・協賛学会員 9,000 円、学生 6,000 円、非会員 26,000 円、法人（5 名まで参加可、日本膜学会法人会員の企業様に限ります。）30,000 円

懇親会：開催しません。

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

E-mail:membrane@mua.biglobe.ne.jp

追 悼

F. Rodriguez-Reinoso 教授逝く

信州大学 先鋭材料研究所 金子 克美

F. Rodriguez-Reinoso 教授（アリカンテ大学、スペイン）が2020年8月25日に亡くなりました。日本最員の Rodriguez-Reinoso 教授（Paco と呼ばせて頂きます）が急に逝去されたことは、未だに信じられない状態です。5月20日に娘さんの結婚式の写真を送ってくれた時に、放射線治療で上手に治療が進みそうだというメールも受け取り、安心し、かつ素晴らしい Paco の大家族の写真を見て嬉しく思いました。一方、私は自粛期間の反動で6月から極度に忙しくなり、Paco とのメールのやり取りが止まっていました。8月24日の週にはメールで様子を聞こうと思っていた矢先に悲しい知らせが届きました。Paco は細孔性カーボン創製とその細孔のキャラクタリゼーション、ならびに細孔性カーボンの触媒特性の研究を通じて、“活性炭を科学する”ことの大切さを明確にしてくれた科学者です。特に CO₂ 吸着がウルトラミクロ細孔のキャラクタリゼーションに必須であることを明らかにしました。彼とは1987年の第一回の COPS-I（吸着材料および吸着機構に関する国際会議：Characterization of Porous Solids; Unger 教授が Bad Soden で開催）で知

り合いになりました。私はその頃国際的な活動を始めたばかりでしたが、彼は最初から親しく接してくれました。1994年夏に文部省短期在外研究員としてインペリアルカレッジ（Dr. D. Nicholson）で分子シミュレーションを学んだ後に、アリカンテ大学に1週間滞在しました。Paco は私と家族にビーチ近くの彼の家を貸してくれました。彼と家族は観光客が少ない少し離れたセカンドハウスに移ってくれました。2002年に Paco はアリカンテ大学で COPS-VI を開催しています。Paco と深く共同研究を実施したのは、JST-MINECO のナノテクノロジーに関する Concert project（2009-2012）の時です。実はこの共同研究は優れた業績を挙げたということでスペインの MINECO に表彰されました。私が長野に移ってから Paco は4回ほど長野に来てくれています。昨年11月には信州大で、4日間連続で細孔性カーボンと吸着に関する講義をしてくれました。少し元気がなかったので、彼は既に具合が悪かったかもしれません。今年2月にポルトガルでのナノテクノロジーの会議に短期間参加し、アリカンテに1泊して帰ってきました。COVID-19 がヨーロッパではやり始めていたので、キャンセルしづらい講演でしたが、上記学会をキャンセルしようか迷っていました。Paco の強い勧めに従い彼に会っておいて幸いでした。2019年5月に Paco と共同編集で出版した Nanoporous Materials for Gas Storage（Springer）が良い記念になってしまいました。



1987年 COPS-Iにて



2013年 信州大にて

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2年10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.3 (2020) 通巻 No.134 2020 年10月 27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。

©2020 The Japan Society on Adsorption