

目 次

巻頭言	1
活動報告	
第 20 回磁気科学会研究会報告	3
第 11 回磁気科学会年会報告	4
International Workshop on Recent Progress of Magneto-Science	5
日本磁気学会との連携	8
国際会議等参加報告	
25 th International Conference on Magnet Technology	11
留学体験記	12
開催案内	
第 12 回磁気科学会年会	15
第 21 回磁気科学会研究会	16
EPM 2018	17
受賞者の声	
第 6 回優秀学術賞受賞 米村弘明先生	19
第 6 回功労賞 受賞 渡會 仁先生	20
会計報告	21
事業計画	23
会則等	
日本磁気科学会 会則	25
理事会運営規則	30
表彰制度	32
役員	34
第 20 回磁気科学会研究会予稿集	35
第 21 回磁気科学会研究会予稿集	43

巻頭言

日本磁気科学会会長 山本 勲（横浜国立大学）

会員の皆様におかれましては益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

本会は 2006 年に設立され 12 年目を迎えました。これも会員皆様のボランティア的なご支援のおかげであると感謝しております。昨年は 10 周年を記念して海外の研究者をお招きし、年会を開催しました。本会とタイアップして行われる 2 つの国際会議（ICMS と MAP）も磁気科学に直接的に関連する研究発表の場としてすっかり定着した感があります。このように国際的な研究協力や情報交換の中から新しいヒントが生まれ、新しい研究が数多く芽生え、発展していると言っても過言ではありません。これからも国内外のリンクを広げて行くことが本会及び本会の研究分野の発展につながると思っております。

本会の研究分野である磁気科学のみならず科学の発展には裾野を広げる必要がありますが、理科離れが深刻な問題として提起されています。理科離れは好き／嫌いの、あるいは得意／不得意の二極化とも言えます。小さい頃に自然界に不思議を感じても、小学校の理科で興味を抱いたとしても、近代の中等教育（理科、物理、化学の授業）はで深い興味へ発展させるようなことは難しいので、我々高等教育に携わる者はそれぞれでできることを考えて行く必要があります。

国や企業の研究所では様々な公開イベントが開催されているようですが、少し前から大学でも 8 月を中心にオープンキャンパスという高校生向けのイベントが開催されるようになりました。本学でも模擬講義や研究室紹介など「強磁場」を高校生へ紹介する機会が少なからずあります。砂鉄や磁性流体などを用いて、磁場を間接的に見せることができます。写真は千円ほどで購入できる砂鉄時計です。時計としては役に立ちませんが、底にネオジム磁石が仕込んであり、初めて見る方には興味を持って頂けます。また、最近のスマートフォンには高感度のホール素子が組み込まれており、それを利用した磁場計測アプリが無料でダウンロードできます。超電導磁石に近寄ると地磁気の何十万倍ものテスラオーダーの磁場が表示されます（スマホが壊れるので近寄り過ぎに注意してください）。さらに磁気力もいろいろな手段で見せることが可能ですが、紙面の都合上、またの機会にしたいと思います。本会では、学術研究とは趣を異にする面白いデモンストレーション方法などの情報を web ページで公開していますが、もっと情報交換できるような場が本会にあっても良いと思います。



写真 1. 磁気砂時計.

第 20 回磁気科学会研究会報告

名古屋工業大学 飯國 良規

2017 年 8 月 7 日（月）に名古屋工業大学 19 号館 602 室において、分離・分析分科会主催による第 20 回研究会を開催した。本研究会では「磁気分離・分析の展開と応用」と題して、磁気分離・分析技術の実用化や社会貢献に焦点をあてた 3 件の講演により最新の成果を紹介していただいた。

当日は、台風 5 号が接近により段々と風雨の強まる生憎の悪天候だったが、約 20 名の参加者を得て、活発な討論が行われた。

日時：2017 年 8 月 7 日

場所：名古屋工業大学 19 号館 602 室

プログラム

13:00-13:05 開会の挨拶

飯國良規 (名古屋工業大学)

13:05-13:55 「磁場で切り拓く新しい微粒子分析の世界」

河野 誠 (カワノラボ)

交代・休憩

14:00-14:50 「血中循環腫瘍細胞の磁気分離精製に向けた

温度応答性／磁性複合機能粒子」

淵上輝頭 (名古屋工業大学)

交代・休憩

14:55-15:45 「磁気分離を用いた福島汚染土壌の減容化の試み」

西嶋茂宏 (福井工業大学)

河野氏は、ベンチャー企業として磁化率測定に基づく微粒子評価法を事業化されており、本法を用いた各メーカーのトナーや化粧品に含まれる様々な微粒子の測定例とそこから評価される微粒子特性についてご紹介をいただいた。淵上氏は、生体細胞の磁気分離には重要な役割を果たす磁性ナノ粒子について、温度により磁気ナノ粒子の凝集を制御し細胞の回収率の向上を可能とする温度応答性磁性ナノ粒子についてご講演をいただいた。西嶋氏は、放射性物質を吸着させた粘土を磁気分離により回収することで福島汚染土壌の減容化する方法の実用化を進めてられており、これまでの取り組みと実用化へ向けた現状についてご講演をいただいた。講師の先生方には異なる手法、視点からのご講演をいただき、磁気分離・分析の現状と今後の可能性への理解が深まり、大変有意義な研究会となった。

2016 年度日本磁気学会 MSJ との連携についての報告

吉野電化工業、早稲田大学、物質材料研究機構 杉山 敦史
埼玉県庄和浄水場 森本 良一

日本磁気学会（MSJ）の活動は、年 1 回開催される学術講演会、年 6 回の MSJ 主催研究会、年 1 回の岩崎コンファレンス、教育活動としてサマースクールと初等磁気講座を年 1 回開催、そして本「強磁場応用専門研究会」を含む 8 つの MSJ 専門研究会がそれぞれ開く年 4～6 回開催の専門研究会です。

強磁場応用専門研究会は、日本磁気科学会メンバーを中心に、2008 年以降、MSJ と連携するための窓口として設立されました。MSJ で扱う磁気は多岐分野に渡っています。磁気と磁気科学の共有領域の学術講演も増えてきています。

MSJ 専門研究会は、会員・非会員問わず各分野研究者の参加を歓迎しています。これら研究会に興味をお持ちの方は、是非とも URL (<http://www.magnetism.jp/>) を参照ください。

岩崎コンファレンスは、垂直磁気記録を作った岩崎俊一博士が日本国際賞受賞を記念して賜った寄付に基づいて始まった会です。磁気及び磁性に関する科学と技術の開拓と深化並びにその社会統合について議論する場として企画されています。本コンファレンスも研究会と同様に、境界領域の研究者が集う場を提供しています。

論文投稿についても、MSJ 刊行の Journal of the Magnetism Society of Japan、Transactions of the Magnetism Society of Japan 等を磁気科学分野研究周知と発展の手段として利用検討いただければ幸いです。

さて、次表は 2016 年に開催した 4 回の研究会の講演者と講演タイトルをまとめたものです。まずはご講演くださった先生方に感謝を申し上げます。そして本年も、会開催のために、日本磁気科学会会長をはじめ、廣田先生（NIMS）、本会メンバーの多くの方のご支援をいただきました。第 37 回は、公募により選出された第 40 回日本磁気学会学術講演会シンポジウム「磁気配向」を兼ねています。本シンポジウムは、世話人として堀井先生（京大）にご活躍いただきました。いずれの研究会においても活発な議論が交わされましたこと報告いたします。

表 1 2016 年度強磁場応用専門研究会開催概要（敬称略）

会名 開催日（場所）	講演題目（講演時間）	講演者（所属）
第 40 回日本磁気学会学術講演 会シンポジウム "Recent Progress in Magnetic Alignment Techniques" 兼 第 37 回強磁場応用専門研究会 2016 年 9 月 7 日 （金沢大学角間キャンパス 自 然科学研究科棟）	7aD-1 Magnetic alignment: method and its applications to structure analyses (45min.)	T. Kimura (Kyoto Univ.)
	7aD-2 Liquid Crystal Electrochemical Polymerization under Magnetic Field (30min.)	H. Goto (Univ. of Tsukuba)
	7aD-3 Control of crystallographic orientation in bulk ceramics by colloidal processing in a high magnetic Field (30min.)	T. Suzuki (NIMS)
	7aD-4 Micro-domain control toward new lasers (30min.)	T. Taira (NINS)
	7aD-5 Crystal alignment by imposing a magnetic Field during solidification (30min.)	K. Iwai (Hokkaido Univ.) T. Hagio (Nagoya Inst. Tech.)
	7pD-1 Effect on unsteady flow on a particle orientation process in rotating container under high magnetic Field (30min.)	T. Ando (Nihon Univ.) N. Hirota (NIMS) M. Inoue (Nihon Univ.) R. Jonishi (NIMS)
	7pD-2 Measurement and control of biological microcrystals by magnetic Field and light (30min.)	M. Iwasaka (Hiroshima Univ.)
第 39 回強磁場応用専門研究会 2017 年 3 月 19 日 （大阪大学東京ブランチ（日本橋）912 会議室）	超電導機器社会実装への挑戦（120 分）	西嶋茂宏 (阪大)
第 40 回強磁場応用専門研究会 2017 年 3 月 25 日 （首都大学東京南大沢キャンパス 9 号館）	磁気めっきー新しいデンドライト成長機構（90 分）	三浦 誠 (北海道職業大)
第 41 回強磁場応用専門研究会 2017 年 3 月 25 日 （大阪大学大学院 工学研究科 A1 棟）	交流電磁場の溶鋼中介在物除去への応用（120 分）	丸山明日香(北大)

国際会議参加報告 MT-25

東北大金研 高橋 弘紀

25th International Conference on Magnet Technology (MT-25) が 2017 年 8 月 27 日から 9 月 1 日にかけてオランダのアムステルダムで開催された. この会議は 2 年毎に開催されており, 近年では, マルセイユ (2011 年), ボストン (2013 年), ソウル (2015 年) で開催されてきた. この会議で扱う内容は, 文字通り磁場発生技術全般に関するトピックスであり, 対象とする磁石も永久磁石, 常伝導磁石, 超伝導磁石, ハイブリッド磁石, パルス磁石と多岐にわたる. それぞれの磁石に関する導体材料や要素技術の開発から, 大型マグネットの建設やテストに関する報告などが対象となっている. 今回の会議での発表件数は 800 件 (口頭 197 件, ポスター 603 件) に及び, 24 カ国からの参加者があったとのことである. 筆者の印象として, 中国からの参加者が多いように感じていたが, 主催者発表によれば, やはり中国からの参加者が最多で 279 名 (29.7%), 次いで韓国が 155 名 (16.5%), 日本 109 名 (11.6%), アメリカ 107 名 (11.4%) の順となっている. 実に日本の 2.5 倍の参加者が中国からあったことになる. これは, 中国の強磁場施設 (パルス@武漢, 定常@合肥) が順調に運用され, 強磁場関連分野でのアクティビティが非常に高くなっているのが現れた結果だと考えられる. 実際, 中国の定常強磁場施設 (中国科学院強磁場科学センター, CHMFL) は 2016 年 11 月にハイブリッドマグネットで 40 T の磁場発生に成功し, 現状でアメリカの NHMFL に次いで世界で 2 番目に強い定常強磁場を発生する施設となっている. また, 常伝導磁石でも 25.2 MW の電力を投入することで 38.5 T を発生できるとのことであった.

次回の MT-26 は 2019 年 9 月 22 日から 27 日にかけてカナダのバンクーバーで開催される予定である (<http://mt26.triumf.ca/>). MT の扱う分野は, 磁気科学会でいえば磁場発生分科会が守備範囲とするところとなるが, 来年開催される予定の分科会研究会にも会員の皆様から多くの参加をお願いしたい.

最後に, アムステルダムの印象などを少し. 会場となったカンファレンスセンターは中心街から南に位置し, 観光客はあまりおらず静かなところだった. 通りは車道と歩道の間に自転車道が整備されており, 車やトラムよりもベルを鳴らしながら爆走する自転車が怖かった. また, 駅のチケットセンターのおばちゃんなど, 接した人たちは皆親切な印象を受けた. 今回の旅の一番の思い出は, フライトがキャンセルになったおかげで, ベルギー・ブリュッセル空港からアムステルダムのスキポール空港までをタクシーで移動したことである. 料金はもちろん航空会社持ちでした.



アムステルダムの街並み.

新米ポスドクの留学体験記

広島大学 大学院先端物質科学研究科 水川友里

2016 年 3 月下旬、英国ヨーク大学に訪問したことをきっかけに、2016 年 7 月から 2017 年 2 月までの約 8 か月間、英国に留学させて頂けることになりました。海外で研究を学ぶ事は以前から希望しており、やっと念願叶ったというわけです。しかし、先に申しておきますと“留学”というのは予期せぬトラブルとハプニングの連続です。思った通りには進みませんでした。これから留学を考えている方・興味のある方の参考になれば、ここに経験したこと・失敗したこと等を書き記したいと思います。

● 留学準備事始め

留学が決定して、まずビザの申請という壁が立ちました。周りで英国に留学した人はいなかったの、ネット情報を頼りに自分が当てはまるビザの種類を探るところから始まりました。私の場合は、“アカデミックビジター”か“Tier5”という種類のビザでした。ビザ申請は厳しい・面倒という噂は前々から聞いていましたが、これは事実です。何よりも書類（約 19 種類+英訳した書類）を揃えるのに非常に時間がかかります。申請の事前準備では、必要書類の漏れや間違いがないように、文字通り心を砕きながら準備しました。しかし無事申請を終え、届いたビザを見ると大使館のミスで渡航期間に誤りがあり、再度発行することになってしまいました。しかも、ミスの修正+返送途中でパスポートの行方が分からなくなった影響で渡航の日程が大幅に遅れ、予定の 3 週間後に出発ということに。結局、4 月の終わりに準備し始めて、手元にビザが届くまで 3 か月もかかりました。とにかく一番大変だったのは、英訳した各必要書類を全て用意することでした。

苦労したビザ取得でしたが、ヒースローで入国審査に臨んだ時、ビザ取得にかかった時間の 1/25920 の時間で審査は終了しました。このように、自分の予期せぬところでハプニングが起こり、予定が大幅に狂うことがあるのだということを、英国渡航前に身を持って経験しました。ビザだけは、かなり早めに取得することをお勧めします。（英国の場合、入国期間が決まっているので、あまり早めに取得することもできません。）

● 仮宿生活と家探し

渡英して、3 週間程度は仮宿（大学のアコモデーション）での生活でした。私が家探しを始めた時期は、新入生の入学準備期間と被っていたので、家を見つけるまでに非常に時間がかかりました。最初はネットで物件情報を集め、気になる物件は片っ端



ヨーク市街の活気溢れる様子

からメールで連絡を取っていましたが、個人契約だと面白いくらいに返事が返ってきません。イギリスでは不動産会社ではなく個人同士の契約の方が主流で、そちらの物件数の方が多いです。そこで、研究室のメンバー達に相談したら“電話じゃなきゃなかなか返事来ないよ”とのこと。仕方なく、pay as you go（必要分だけお金をチャージして使用できる）携帯を1台購入しました。その時、携帯にお金をチャージしたいと言ったら、店員さんは丁寧に携帯の充電方法を説明してくれました。それもそのはずで、Charge は主に充電することを指し、携帯にお金を入れることはTop-Up と言うらしいです。この時初めて学びました。携帯を手に入れたからはスムーズに下見の予約が取れるようになったものの、下見前に部屋を先取りされることが何回か続き、やっと契約することができました。

● ハウスメイト&研究生達との留学生活

研究室では、私以外にも訪問に来ていた台湾の留学生達や日本の学生達も居て、非常にぎやかに過ごせました。新しいメンバーが入ってくると、隣の研究室のメンバーも交えて皆で食事に行くなど、日本に比べて研究生同士の交流が盛んでした。また研究するに当たって、装置の使い方や学内システムの利用方法、新しく学ぶ予定であった半導体知識について色々教わるなど、研究員2名の方には大変お世話になりました。

またハウスメイトたちとの共同生活も充実したものとなりました。ハウスメイトは私含め7人で全員社会人でしたので、帰宅・食事時間もバラバラで、1日で顔を合わせる機会が少なかったのは多少寂しかったです。トラブルもあり、真冬に家のボイラーが壊れ、1週間程度部屋のヒーター無し・風呂無しの生活を強いられたり、台所が共用で食材がいつの間にか無くなったり、水回りの掃除で揉めたりすることもありました。しかし、皆で食事や飲みに出かけたり、クリスマスは全員でディナー後にプレゼントを交換したりと、トラブルがあっても皆と共同生活を楽しめたことは非常に良かったと思います。

● 英国での生活を終えて

私が英国に滞在した期間はたったの8か月でしたが、本当に様々な事を学び、体験しました。日本では普通に難なく熟せることでも、国が異なるだけで一気にハードルが上がり、かつ問題が起きたら普段以上に積極的に行動に移さないと全て滞ることがわかりました。原因は言語の壁だけではなく、文化・習慣など、理由は多岐に渡りますので、その都度素早く最善の判断をする臨機応変さも必要です。また、英語力は留学に行ったから上達するのではなく、行って実際に話してみると意思疎通に時間がかかるため（同じ英語でも、相手の出身国によって聞き取りやすさ、伝わりやすさが全く異なります）、積極的に学ばざるを得ないという状況に追い込まれるから、通常より上達するのだと思います。ですので、自己研鑽に励みたい方は是非留学をお勧めします。実生活では経験し得ない側面からも、己を鍛え上げられます。現在日本に帰国して、本当に日本という国は住みやすい国だと改めて実感しますが、もし叶うならまた海外での研究生活ができればな、とも思います。

最後となりましたが、私に留学の機会および執筆の機会を与えて下さった先生方に深く感謝申し上げます。

開催案内 第12回日本磁気科学会年会

実行委員長(京都大学) 堀井 滋

12回目を迎える磁気科学会年会は、近畿支部担当として京都大学で開催されます。開催日程などは以下の通りです。

第12回日本磁気科学会年会

会期：平成29年11月14日(火)～16日(木)

会場：京都大学 百周年時計台記念館 2階国際交流ホール

(吉田キャンパス内、606-8501 京都市左京区吉田本町)

京都大学での開催は2012年以来であり、会場は京大のシンボルである時計台です。本年開催の年会においては、

○特別講演の開催

○学生向け紅葉鑑賞ツアー

を企画しております。特別講演では、強磁場発生をキーワードに、最近著しい進展のありました超伝導電磁石の分野から淡路先生(東北大学)を、近畿支部管内を拠点とされている渋谷様(JASTEC)をお迎えし話題提供していただきます。また、正会員が総会で議論している時間は学生会員には空き時間となることから、ブラタモリ京都編で有名となりました「まいまい京都」さんからガイドさんを派遣していただき、学生向けの紅葉鑑賞ツアー(※)を企画しております。(※)現時点では予定であり、内容が変更となる可能性があります。

磁気科学を深め、また究められるような活発な議論を展開しつつ、紅葉シーズンの京都を楽しめる場となることを期待しております。皆様の積極的な講演申込および参加登録をお待ちしております。なお、講演申込、参加登録に関する日程は以下の通りです。

講演申込、参加登録開始

8月 1日(火)

講演申込締切

9月19日(火)

要旨提出、事前参加登録、振込締切

10月 3日(火)

日程の詳細・プログラムなどは現地実行委員会ホームページ

<http://www.device.energy.kyoto-u.ac.jp/mssj12/index.html>

で随時公開していきますので、こちらをご覧ください。



京都大学 百周年時計台記念館。 左：春、右：新緑の季節。

開催案内 第21回研究会（無機・金属分科会）

物質・材料研究機構 鈴木 達

「磁場を用いた微構造制御」

2017 年の第21 回研究会（無機・金属分科会）は第12 回日本磁気科学会年会（2017 年11月14日（火）～16日（木）京都大学）の最終日スケジュールの中に組み込んで開催いたします。

プロセス中に磁場が物質へ与える影響は様々に存在し、それらを駆使することにより材料の微構造や自己組織化を制御することが可能となってきました。そのためのプロセス開発と磁場作用の基礎研究に関して、新進気鋭の3人の講師の方にお話しをして頂く機会を得ました。参加費は無料となっていますので、是非ともご参加下さい。

11 月 16 日（木）京都大学・百周年時計台記念館

講演 1 13:30-14:15

「多層グラフェン被覆粒子を用いた低磁場配向プロセスによる高機能性材料開発」

高橋拓実（神奈川県立産業技術総合研究所）

講演 2 14:15-15:00

「手を触れずに物体を動かす ～自己組織化・磁場・光を巧みに利用した新技術～」

池添泰弘（日本工業大・創造システム工学科）

講演 3 15:00-15:45

「鉄系合金の相変態およびセメンタイト析出に及ぼす磁場効果」

寺井智之（大阪大学大学院・マテリアル生産科学専攻）

9th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM 2018)

京都大学 安田秀幸

EPM2018 が、来年 10 月に日本で開催されます。ぜひ、研究成果の発表、参加をご検討ください。

会議名： 9th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM 2018)

日時： 2018 年 10 月 14 日～18 日

場所： 兵庫県立夢舞台国際会議場

URL: <http://www.epm2018.org>

Welcome to the 9th EPM conference

Electromagnetic Processing of Materials (EPM) has been widely applied for improving properties of materials and it is also expected to be extended to various materials processes due to unique advantages of electromagnetic interactions. The research field of EPM covers liquid metal processing, casting and solidification of metallic alloys, induction heating, fabrication of inorganic / organic crystals, plasma processing, recycling and separation. This conference is traditionally open for any kind of materials processing involving electric and / or magnetic fields. It brings together leading academics, researchers and engineers from industry, and commercial software developers. Any suggestions on the topics and the session are appreciated for fruitful meeting.

The series of EPM conferences was initiated in 1994 by Prof. S. Asai (Japan) and Prof. M. Garnier (France). It takes place every three years alternating between Europa and Asia (Nagoya 1994, Paris 1997, Nagoya 2000, Lyon 2003, Sendai 2006, Dresden 2009, Beijing 2012, Cannes 2015).

The venue of the 9th EPM conference is Awaji Yumebutai international conference center (Awaji Island, Hyogo, Japan). Awaji Island is the largest island in the Seto Inland Sea, being connected to Kobe by the longest suspension bridge in the world (Akashi Kaikyo Bridge) and is also connected to Tokushima by another long bridge (Naruto Bridge). The conference venue is surrounded by a rich natural environment and has easy access from Kansai international airport, Shin-Kobe station (super-express trains), downtown of Kobe (20km), Osaka (40km) and Kyoto (70km).

We are looking forward to welcome you in Awaji Island, Hyogo, Japan.

The EPM2018 Organizing Committee



9th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM 2018)

京都大学 安田秀幸

EPM2018 が、来年 10 月に日本で開催されます。ぜひ、研究成果の発表、参加をご検討ください。

会議名： 9th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM 2018)

日時： 2018 年 10 月 14 日～18 日

場所： 兵庫県立夢舞台国際会議場

URL: <http://www.epm2018.org>

Welcome to the 9th EPM conference

Electromagnetic Processing of Materials (EPM) has been widely applied for improving properties of materials and it is also expected to be extended to various materials processes due to unique advantages of electromagnetic interactions. The research field of EPM covers liquid metal processing, casting and solidification of metallic alloys, induction heating, fabrication of inorganic / organic crystals, plasma processing, recycling and separation. This conference is traditionally open for any kind of materials processing involving electric and / or magnetic fields. It brings together leading academics, researchers and engineers from industry, and commercial software developers. Any suggestions on the topics and the session are appreciated for fruitful meeting.

The series of EPM conferences was initiated in 1994 by Prof. S. Asai (Japan) and Prof. M. Garnier (France). It takes place every three years alternating between Europa and Asia (Nagoya 1994, Paris 1997, Nagoya 2000, Lyon 2003, Sendai 2006, Dresden 2009, Beijing 2012, Cannes 2015).

The venue of the 9th EPM conference is Awaji Yumebutai international conference center (Awaji Island, Hyogo, Japan). Awaji Island is the largest island in the Seto Inland Sea, being connected to Kobe by the longest suspension bridge in the world (Akashi Kaikyo Bridge) and is also connected to Tokushima by another long bridge (Naruto Bridge). The conference venue is surrounded by a rich natural environment and has easy access from Kansai international airport, Shin-Kobe station (super-express trains), downtown of Kobe (20km), Osaka (40km) and Kyoto (70km).

We are looking forward to welcome you in Awaji Island, Hyogo, Japan.

The EPM2018 Organizing Committee



磁気科学との出会いと感動を求めて

崇城大学 米村弘明

この度は、日本磁気科学会の優秀学術賞という名誉ある賞を受賞させていただき、審査委員および共同研究者の皆様にご心より御礼申し上げます。

私は九州大学工学部合成化学科の時に、私の指導教官である松尾先生の研究室に入りました。その時が磁気科学（スピン化学）との出会いになります。最初は、私はスピン化学の研究に携わっておらず、4年生からM1の11月まで学会で発表できる研究成果が得られませんでした。受賞講演の時に話した様に、シクロデキストリン（CD）を用いるアイデアが浮かび、擬ロタキサン型のCD超分子において非常に大きな磁場効果を昭和62年の12月の夜に観測しました。その時に味わったわくわくする感動を今でも覚えています。この成果をM2の春に日本化学会春季年会（青山学院大学）で発表した時が学会デビューでした。

M2で行っていた研究が面白いので、博士課程に残って引き続き研究するつもりでした。ご縁があり修士課程修了後に助手に採用され、アカデミックポジションに着くことができました。平成4~6年の3年間、重点領域「分子磁性」の第4班における公募研究で研究代表者として、スピン化学に関する研究を行いました。その時に、谷本先生、山口先生、尾関先生、山本先生、若狭先生、藤原（昌）先生、藤原（好）先生と研究領域の同じ班で研究させていただきました。今ではあり得ませんが、私は当時博士を持っていないのに関わらず、松尾先生の代わりに「分子磁性」における著名な先生方と同じ研究領域に研究代表者として参画させていただきました。次に、山口先生が領域代表を務めた特定領域「強磁場新機能」にも参画させていただき、強磁場を用いた磁気科学に関する研究に携われる機会をいただきました。上記での大変貴重な経験が持てた事が私の現在の研究の糧になっています。

これまで私が経験した研究において、予想を裏切られた時に素晴らしい研究成果が得られる事を体験しています。例えば、 β -CDはドナー分子と包接複合体を形成するが α -CDでは形成しないので、 β -CDのみ磁場効果が観測され、 α -CDでは観測されないであろうと予測しました。しかし、 α -CDの方にも磁場効果が観測されました。そこから、上記の擬ロタキサン型のCD超分子形成が判明しました。予想を裏切られた研究結果には、時々その奥にある新たな真実に出会えると信じています。最近、世の中の風潮が実用化に近い応用研究が重宝され、短期間で成果が得られる研究に研究者が集中しています。

受賞した時の所属は九州大学でしたが、今年度の4月より熊本の崇城大学工学部ナノサイエンス学科の教授として新しく研究室を立ち上げ、新しい事にチャレンジしていく所存です。最初に経験した素晴らしい研究結果が得られた時に得た当時のわくわくする感動を再び新天地で味わえるように、「すべての現象には理由がある」をもっと「stay hungry stay foolish」の精神で、食欲に常識にとらわれず新たな真実に気づくように、時間をかけ腰を据えて学生達と一緒に研究を行い、今後の研究生生活を楽しもうと思っています。

微力ですが、日本磁気科学会に貢献できるよう精進していくつもりです。今後も変わらぬご指導ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

磁場の魅力

大阪大学 INSD 渡會 仁

「磁場」という言葉は、惹きつけられることの喩によく使われます。私の学部・修士時代（昭和 43-45 年度）は、東北大学の小泉正夫先生のもとでフラッシュ閃光法によるナフタレン誘導体の蛍光消光と T-T 吸収の関係を研究しておりましたが、当時、長倉研のグループが、三重項状態を磁場で分裂させて測定したというニュースが研究室の話題となっておりました。修士を修了後、分析化学講座に職を得て液液分配と溶媒抽出法の研究を行いました。そのうち、液液界面の役割が気になってきましたが、折よくアリゾナ大学のフライザー先生のもとで液液界面の研究を行うこととなり、そこで界面の役割に開眼いたしました。帰国後は、秋田大学でひたすらその研究を行いました。自由な環境であったため、閃いたことは何でも試しておりましたが、その一つに、磁性ナノ粒子を含む金属抽出性マイクロカプセルの合成や、金属イオンの電気泳動への磁場効果がありました。しかし後者は計画が未熟であったため、明確な結果は得られませんでした。当時の発想としては、教科書で学ぶ均一溶液の化学にないものは「界面」と「外場」であり、これを取り入れたら化学はもっと面白くなると考えておりました。それで、大阪大学では、この二つの視点を明確にした分析化学の研究を行うこととしました。埼玉の研究会の懇親会で初めてお目にかかった北澤宏一先生に、磁場を利用した新しい分析法を研究したいんですというようなことをお話ししましたが、おそらくそれがご縁で、北澤先生の未来開拓研究に加えていただき、超電導磁石を購入して、木村恒久先生のグループで磁気科学の新たな分野について勉強させていただきました。今回、栄えある第 6 回功労賞をいただきましたが、これは全く北澤先生のお蔭であると感謝しております。科学者が「磁場」に対して持つイメージは、おそらく分野により異なると思いますが、分析化学におけるその魅力を言うならば、まず電気分析化学との対比を挙げざるを得ません。分析化学の大先生である池田重良先生は、電子は分析試薬の一つであるとして明快な講義をしておられました。これは光化学におけるフォトンにおいても同様です。いずれもモルという物質質量で扱うことができます。一方、磁気科学において、物質質量に比例する量は磁化率やヴェルデ定数ということになりますが、これらの測定から濃度を決定する方法は、未だ十分に開拓されたとは言えません。電場に比べ磁場の浸透力は極めて優れており、様々な媒体中でのナノ粒子やマイクロ粒子の磁気泳動による分離・定量は更に進めたい課題です。また、磁気光学的効果も、その分析化学的利用には大きな魅力があります。電気分析化学では、電位と電流の関係をボルタモグラムとして計測しますが、磁場と磁化を測定する磁化曲線の分析化学的応用も、大変魅力的な研究課題です。北澤先生と最後にお話したのは磁気年会でしたが、実は液液界面の磁気研究を考えていましたと言いましたところ、磁気 Kerr 効果はどうですかとのご示唆をいただき、背中を押していただきました。すでに私は退職の身ではありますが、ようやく液液界面の磁気 Kerr 効果の測定装置を組み立てましたので、あのときの北澤先生に向かって、いずれ結果をご報告したいと思っております。

2016 年会計報告

信州大学 浜崎 亜富

2016 年の収入および支出は、下記の通りであることをご報告いたします。

日本磁気科学会 2016年 会計報告書

収入の部					決算額				
予算額					¥3,245,000				
会費					¥770,000				
	正会員	¥5,000	104	¥520,000		正会員	¥5,000	100	¥500,000
	学生会員	¥0	58	¥0		学生会員*	¥0	37	¥0
	賛助会員	¥50,000	5	¥250,000		賛助会員	¥50,000	5	¥250,000
					会費(滞納分) 正会員				
					¥5,000 59 ¥295,000				
					雑費(利息) 一般財源				
					¥33				
					褒章財源				
					¥14				
前年度繰越 一般財源					¥2,045,000				
褒章財源					¥130,000				
特別収入 余剰金繰り入れ					300000				
2016年収入					¥770,000				
支出の部					決算額				
予算額					¥3,245,000				
年会補助金					¥400,000				
印刷費					¥150,000				
	送料	¥300	100	¥30,000	印刷費				
研究会補助金					¥183,060				
	第17回研究会			¥100,000	研究会補助金				
	第18回研究会			¥100,000		第17回研究会			¥71,720
	第19回研究会			¥100,000		第18回研究会			¥82,060
WEBサーバー						第19回研究会			¥80,392
¥30,000					WEBサーバー				
事務局業務委託費					¥18,360				
¥120,000					事務局業務委託費 コネクト 2015年4~12月				
予備費(研究会・年会補助費など)					¥196,299				
¥100,000					MSSJ事務局				
					¥120,000				
					委員会開催部屋代				
					¥11,000				
					交通費				
					¥27,408				
					雑費(振り込み手数料など)				
					¥2,808				
褒章費用					¥32,168				
¥50,000					繰越金				
繰越金					¥2,115,000				
2016年支出					¥1,130,000				
					2016年支出				
					¥3,851,839				
					¥1,070,394				

* 年会 (@つくば) の参加者数を記載しています。

上記の通り会計報告をいたします。

財務 浜崎 亜富

適正に執行されていることを確認いたしました。

監事 尾関寿美男

監事 木村恒久

2017 年 事業計画

事務局長 安田 秀幸

本学会会則第 13 条に基づき、2016 年第 3 回理事会、および 2016 年総会において、2017 年 1 月から 12 月までに以下の事業を行うことが議決により承認された。

1. 第 12 回年会
近畿支部の主催により京都大学で開催する。
2. 第 20 回研究会
分離・分析分科会的主催により開催する。
3. 第 21 回研究会
無機・金属分科会的主催により開催する。
4. 会誌発行
第 11 巻を発行する。
5. 総会
会則第 20 条により総会を開催し、第 22 条に従って事業報告および会計報告等を行う。本年は年会の会期中に行う。
6. 学会表彰
第 7 回優秀学術賞および第 7 回功労賞の選考に先立ち、本会表彰規定および表彰内規を見直す。規定および内規に従い選考を行い、年会において授賞式を行う。
7. 共催、協賛、後援等
日本磁気学会主催の研究会（年 6 回）、応用物理学会磁気科学研究会等の国内外の関連する団体とタイアップして学会および研究分野の発展をはかる。

以上

第1章 総則・目的・事業

第1条 この団体は日本磁気科学会（以下本会）という。

2 本会の英文呼称は **The Magneto-Science Society of Japan** とする。

第2条 本会は磁気科学を研究している、あるいは興味を持つ国内外の個人および諸団体の相互の連絡を促進し、国内外の磁気科学の発展とその成果の普及に務め、学術・教育・産業・環境・資源・医療・福祉などの各分野に寄与することを目的とする。

第3条 本会は、前条の目的を達成するために、次の事業を行う。

- (1) 磁気科学に関する研究集会を開催する。
- (2) 磁気科学に関する図書を発行する。
- (3) 磁気科学の研究を促進するための必要な事業を行う。
- (4) 磁気科学の成果を普及するための必要な事業を行う。

第4条 この会則の実行に必要な規則の制定・改廃は理事会が行う。

第5条 本会のすべての会議は議事録を作成し、事務局が保管する。

第2章 会員

種類

第6条 会員は、国籍または本拠の存在する国は問わず、次の4種類とする。

- (1) 正会員
- (2) 学生会員
- (3) 賛助会員
- (4) 提携会員

2 正会員は本会の事業に参加する研究者・技術者・教育者およびその他の個人とする。

3 学生会員は本会の事業に参加する大学および大学院に在学中の者とする。

4 賛助会員は本会の事業に協力する営利団体とする。

5 提携会員は本会の事業に協力する非営利団体とする。

入会

第7条 本会に入会しようとするものは、別に定める規則によって事務局に申し込み、理事会の承認を得なければならない。

2 会員は別に定める規則により入会金・会費を納めるものとする。納入した入会金・会費は払い戻さない。

権利

第8条 会員は次に掲げる権利を有する。

- (1) 本会の催す研究集会での発表およびその他の行事への参加
- (2) 本会に対する希望を申し出てその審議を求めること
- (3) 本会の発行する図書への寄稿

退会・除籍・除名

第9条 会員は別に定める規則により会長に届け出て退会することができる。

2 会員は死亡し、または失踪宣言を受け、または賛助会員または提携会員である団体が解散したときはその資格を喪失し、除籍となる。

3 会員が次の事項に該当するときは、会長が除名することができる。

- (1) 正当な理由なく会費等を1ヵ年以上滞納したとき
- (2) 本会の名誉を傷つけ、理事会の承認後、総会において除名の決議が行われたとき

第3章 組織

役員

第10条 本会に次の役員を置く。

- (1) 理事（会長）1名
- (2) 理事（副会長）3名以内（うち事務局長1名）
- (3) 理事（上記(1),(2)以外）理事全員で25名以内
- (4) 監事2名以内
- (5) 顧問 若干名

2 役員は無給とする。

3 理事および監事は総会において正会員中から選任する。

理事・監事の選任の方法は別に定める規則による。

理事会

第11条 理事会は理事および監事により構成される。

2 理事は互選により会長を選出する。

3 理事・監事の任期は1月1日から翌年の12月31日までの2年間とする。

4 理事・監事は再任ができる。ただし、連続して就任できる期間は3期6年までとする。

5 監事は理事を兼ねることができない。

第12条 会長は本会を代表し、会務を総理する。

2 会長は総会および理事会を招集してその議長となる。

3 会長は副会長を指名する。

4 副会長は会長を補佐し、会長の指示により、または会長に事故あるときは、その職務を代行する。

5 事務局長は、会長の指示により、本会の事務及び事務局委員会を掌理する。

6 その他の理事は、会長の指示により会務を担当する。

7 監事は本会の会計と業務を監査する。

第13条 理事会は、この会則に定める総会の権限であるもの以外の次の事項を議決し執行する。

- (1) 事業計画および収支予算
- (2) 事業報告および収支決算
- (3) 会員の入退会
- (4) 諸規則の制定および改廃
- (5) その他重要な事項

第14条 理事・監事が次の事項に該当するときは、総会の議決に基づいて解任・交代することができる。

- (1) 一身上の都合により役員の任を続けられないとき
 - (2) 心身の障害のために職務の執行に耐えないとき
 - (3) 職務上の義務違反または役員たるにふさわしくない行為があるとき
- 2 任期の途中で新しく選任された役員の任期は前任者の残余の期間とする。

顧問

第15条 顧問は、会長が有識者の中からこれを委嘱する。

- 2 顧問の任期は、委嘱した会長の任期と同じとする。
- 3 顧問は再任ができる。
- 4 顧問は他の役員を兼ねることができない。

第16条 顧問は、会長の求めに応じて意見を述べることができる。

- 2 顧問は随時、会長に対して意見具申ができる。

事務局

第17条 本会は会長の下に事務局を置く。

- 2 事務局は事務局長(理事・副会長)が管理する。
- 3 事務局の運営は別に定める規則による。

支部

第18条 本会は理事会の下に支部を置き、各地域において本会の事業を促進する。

- 2 会長が理事のうちから支部長を指名する。
- 3 支部の設置・運営は別に定める規則による。
- 4 必要に応じて国外に支部をおくことができる。

分科会

第19条 本会は理事会の下に分科会を置き、各分科における研究を促進する。

- 2 会長が理事のうちから分科会長を指名する。
- 3 分科会の設置・運営は別に定める規則による。
- 4 必要に応じて時限的な分科会を設置することができる。

第4章 総会

第20条 総会は正会員によって構成される。

- 2 通常総会は毎年1回、会長が招集する。
- 3 臨時総会は次の場合に会長が招集する。
 - (1) 会長がこれを必要と認めたとき
 - (2) 正会員の5分の1以上からあらかじめ議事を示して請求されたとき

第21条 会長が総会の議長となる。

- 2 会長の指名により、会長以外の者が総会の議長となることができる。
- 3 総会は正会員の2分の1以上が出席しなければ議事を開き議決することはできない。
- 4 正会員は書面あるいは書面に替わるものをもって会議に出席することができる。
- 5 総会の議事は出席者の過半数をもって決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 6 総会は郵便・電子メール等による通信媒体を利用して開催することができる。

第22条 総会は、理事会から提出される次の事項を議決する。

- (1) 理事・監事の選任
 - (2) 事業報告および収支決算
 - (3) 事業計画および収支予算
 - (4) その他理事会において必要と認めた事項
- 2 総会は、正会員の5分の1以上からあらかじめ請求された議事を審議する。

第5章 資産および会計

第23条 本会の会計年度は毎年1月1日にはじまり12月31日に終わる。

第24条 本会の資産は次のとおりである。

- (1) 入会金および会費
- (2) 事業に伴う収入
- (3) 資産から生じる果実
- (4) 寄付金品
- (5) その他の収入

第25条 本会の資産は理事会の議決を経て会長の指示の下で事務局長が管理する。

第26条 本会の事業計画および収支予算は、毎会計年度の開始前に、会長の指示の下に事務局長が起案し、理事会の議決を経て、総会にて承認を受けなければならない。

2 本会の収支決算は、毎会計年度の終了後に、会長の指示の下に事務局長が作成し、理事会の議決を経て、総会にて承認を受けなければならない。

第6章 著作権

第27条 本会の発行する出版物ならびに Web サイト等に記載された各種記事の著作権は本会に属するものとする。また、転載の希望がある場合は所定の様式の転載許可申請書を提出すること、ならびに

完全引用の場合は内容に関して一切の改変を認めないこと、部分引用の場合は完全な引用情報を付すことを条件に転載を認める。ただし、これらの各種記事の著者が自己引用する場合はこの限りではない。

第 7 章 会則の改廃および解散

第 2 8 条 本会則を改廃するには理事会の提案により、総会で過半数の同意がなければならない。

第 2 9 条 本会を解散するには理事会の提案により、総会で 4 分の 3 以上の同意がなければならない。

補則

- 1 本会は 2006 年 4 月 1 日に発足する。
- 2 発足時から 2006 年度通常総会が開催されるまでの間は旧新磁気科学研究会の会則および人事を援用する。
- 3 本会則に関わらず、2007 年度の会費を事前に徴収するものとする。

以上

日本磁気科学会 理事会運営規則

2007/06/06理事会決定

総則

第1条 本規則は、日本磁気科学会会則に従い、日本磁気科学会理事会(以下、理事会という)の運営に関して制定するものである。

第2条 理事会に関わる事務は事務局が処理する。

会議の開催

第3条 理事会は会長が招集し、その議長となる。

2 会長の指名により、会長以外の者が理事会の議長となることができる。

3 議長は、原則として、年1回以上、理事会を開催しなければならない。

4 議長は、理事および監事の2分の1以上により請求されたときには理事会を開催しなければならない。

5 理事会の議決は、理事および監事の2分の1以上の出席があった場合のみ有効とする。

6 理事および監事は、議長ないし理事または監事の1に委任状を託して議決を委任することができる。

7 理事会は郵便・電子メール等による通信媒体を利用して開催することができる。

8 議長は、必要あるときは理事と監事以外の者を理事会に参加をさせ、意見を聴取することができる。

会議の議決

第4条 理事会の議事は出席者の過半数をもって決し、可否同数のときは議長の決するところによる。

2 第3条8項により参加した者は議決権を有しない。

理事の職務担当

第5条 理事の職務担当は次のとおりとする。

(1) 会長

(2) 副会長(①事務局長、②分科会総括、③会長が指示する職務)

(3) 支部長(①北海道・東北支部、②関東支部、③中部支部、④近畿支部、⑤中国・四国・九州支部)

(4) 分科会会長(①物理化学分科会、②高分子・材料プロセス分科会、③無機・金属分科会、④有機・バイオ分科会、⑤分離・分析分科会、⑥磁場発生分科会)

(5) 特定事項担当(①産学官連携、②国際会議)

(6) 事務局委員会(①事務局長((2)の①に同じ)、②財務委員長、③広報委員長、④企画委員長)

(7) その他、会長が指示する職務

2 理事は複数の職務を担当することができる。

支部

第6条 支部の事業は支部長が統括する。

2 支部長の下に支部組織を設け、その形態および運営は支部において決定する。

3 支部に関わる事務は支部組織が処理する。

4 支部における事業は次の事項とする。

- (1) 支部地域における磁気科学の振興
- (2) 支部地域における本会会員の増員
- (3) 本会年次大会の実行

第7条 支部の事業計画および予算収支は、毎会計年度の開始前に支部が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 支部の事業実績および収支決算は、毎会計年度の終了後に支部が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

分科会

第8条 分科会の事業は分科会会長が統括する。

- 2 分科会に分科会組織を設ける。その形態および運営は分科会において決定する。
- 3 分科会に関わる事務は分科会が処理する。
- 4 分科会における事業は次の事項とする。
 - (1) 磁気科学の各分科における学術の振興
 - (2) 磁気科学の各分科における本会会員の増員
 - (3) 学術集会の企画と実施

第9条 分科会の事業計画および予算収支は毎会計年度の開始前に分科会が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 分科会の事業実績および収支決算は毎会計年度の終了後に分科会が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

年次大会

第10条 年次大会は理事会が決定した実行委員長の下に次の事項を実行する。

- (1) 年次大会の企画、準備、広報、実施
- (2) 年次大会のための実行委員会の構築
- (3) その他の年次大会実行に関わる諸事項

第11条 年次大会の事業計画および予算収支は、年次大会の開始前に実行委員長が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、大会開催に関して緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 年次大会の事業実績および収支決算は、年次大会の終了後に実行委員長が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

特設の作業部会

第12条 理事会は、第5条(1)-(7)以外の職務について必要に応じて理事会の下に特別の事項を担当する作業部会(以下、部会という)を設置することができる。

- 2 部会主査は、第5条(7)に基づき、会長が理事の中から指名する。
- 3 部会の運営に関する事項は別に定める規定による。

規則の改廃

第13条 本規則の改廃は理事会が行い、総会で報告する。

以上

日本磁気科学会 年会における優良若手研究発表に対する表彰制度

2007/06/06理事会決定

賞の名称 : 研究奨励賞 (35歳以下)、学生ポスター賞

受賞対象者 : 以下の条件すべてを満たすもの

- 1) 日本磁気科学会 会員
- 2) 日本磁気科学会 年会で筆頭著者として研究発表を行なった者
- 3) 当該年会開催年度の4月2日時点で35歳以下の者(研究奨励賞)または、博士課程以下に在学する学生(学生ポスター賞)
- 4) 過去に該当する賞を受賞したことがないもの。

審査方法 : 講演発表申込時に、本人により審査希望の申請を受け付ける。その際、研究奨励賞については、本人に自身の発表する研究に関するアピール文を記入させる。

プログラム委員会が、1人の申請者につき、3名の審査員を日本磁気科学会会員の中から指名する。ただし、発表の共著者、申請者と同一機関に所属するものは、審査を行なうことができない。

各審査員は、提出された要旨、年会における申請者本人による講演について、定められた様式に基づき、審査・採点する。

なお、採点結果の提出は、年会終了後1週間以内とする。

採点結果は、表彰選考委員会にて集計し、授賞者を選考する。

表彰選考委員会メンバーは当該年会のプログラム委員長が指名する。

授賞者数は、発表申込件数に依存して、その最大数を決定する。

研究奨励賞、学生ポスター賞ともに、年会における全体の発表数50件につき1件の割合を最大数の目安として選考する。ただし、基準を満たすものが少ない場合には、その数を減じ、基準を満たすものがない場合は、授賞なしとする。

審査内容 : 要旨、プレゼンテーション、本人の寄与、研究の新規性、意義、質疑応答、総合評価。総合評価以外の各項目は5段階、総合評価は10段階で評価し、さらにコメントをつける。

受賞者の発表 : 表彰選考委員会で受賞が決定したものについては、学会発行のニューズレターに掲載することで発表し、賞状と副賞を郵送にて授与する。

その他 : 学生の発表であっても、特に優秀と認められる場合は、研究奨励賞の授与対象となる。

日本磁気科学会 学会表彰規定

(2011 年 5 月 30 日理事会決定)

改訂(2017 年 3 月 30 日理事会決定)

第1条 (総則) 日本磁気科学会は、本会の賞を設け、本規定によって授与する。

第2条 次の3種の賞とし、毎年1回表彰する。

1. 優秀学術賞 賞状並びに記念品
2. 研究奨励賞 賞状並びに記念品
3. 功労賞 賞状並びに記念品

第3条 (優秀学術賞) 磁気科学分野において独創的かつ優れた研究業績を挙げた研究者に授与する。

第4条 (研究奨励賞) 年会において優秀な発表を行った若手に授与する。従来の、講演奨励賞・ポスター賞を引き継ぎ、その規定に従う。

第5条 (功労賞) 学会活動および磁気科学分野の普及に貢献した、あるいは当該分野で顕著な業績をあげた研究者に授与する。

第6条 (表彰の件数、人数) 優秀学術賞の授賞件数は毎年原則 1 件以内、功労賞は毎年原則 1 名とする。優秀学術賞の受賞者は 1 件につき複数名も可とする。

第7条 (選考委員会) 受賞候補者選考のため、表彰内規に従い選考委員会を設ける。委員は理事会の承認を得て、会長が委嘱する。

第8条 (受賞候補者の推薦) 会員(賛助会員を含む)は、優秀学術賞、功労賞の受賞候補者として適当と思う者を、選考委員会に推薦することができる。この場合は、自薦も認められる。

第9条 (受賞の決定) 選考委員会は、受賞候補者を選考し、会長に報告する。会長は理事会の議決により受賞を決定する。

第10条 (本規定の変更) 本規定の変更は理事会の議を経て行う。

附 則 この規定は2017年3月31日より実施する。

日本磁気科学会役員 (2017 ～ 2018)

役職	理事・監事(機関・職)
会長	山本 勲 (横浜国大院工・教授)
副会長(分科会統括)	大塚 秀幸 (物材機構・主席研究員)
副会長(事務局長)	安田 秀幸 (京大院工・教授)
支部長(北海道・東北)	淡路 智 (東北大金研・教授)
支部長(関東)	後藤 博正 (筑波大数物系・准教授)
支部長(中部)	田中 諭 (長岡技科大院工・准教授)
支部長(近畿)	堀井 滋 (京大院エネ科・准教授)
支部長(中国・四国・九州)	米村 弘明 (崇城大工・教授)
分科会長(物理化学)	奥村 英之 (京大院エネ科・准教授)
分科会長(高分子・材料プロセス)	伊掛 浩輝 (日大理工・准教授)
分科会長(無機・金属)	鈴木 達 (物材機構・グループリーダー)
分科会長(有機・バイオ)	井原 一高 (神戸大院農・准教授)
分科会長(分離・分析)	飯國 良規 (名工大工・助教)
分科会長(磁場発生)	大塚 秀幸 (物材機構・主席研究員)
特定事項(国際会議)	安藤 努 (日大生産工・教授)
特定事項(国際会議)	諏訪 雅頼 (阪大院理・助教)
特定事項(産学連携)	杉山 敦史 (吉野電化工業 株式会社)
特定事項(産学連携)	玉川 克紀 (株式会社 玉川製作所)
特定事項(産学連携)	木村 亨 (ポリマテック・ジャパン株式会社)
特定事項(産学連携)	牛島 栄造 (株式会社 アイシンコスモス研究所)
特定事項(産学連携)	渋谷 和幸 (JASTEC、ソリューション推進部)
事務局委員会(財務)	廣田 憲之 (物材機構・主幹研究員)
事務局委員会(広報)	三井 好古 (鹿児島大院理工・准教授)
事務局委員会(企画)	茂木 巖 (東北大金研・助教)
監事	尾関 寿美男 (信州大理・教授)
監事	掛下 知行 (阪大院工・教授)

日本磁気科学会 理事会運営規則

2007/06/06理事会決定

総則

第1条 本規則は、日本磁気科学会会則に従い、日本磁気科学会理事会(以下、理事会という)の運営に関して制定するものである。

第2条 理事会に関わる事務は事務局が処理する。

会議の開催

第3条 理事会は会長が招集し、その議長となる。

2 会長の指名により、会長以外の者が理事会の議長となることができる。

3 議長は、原則として、年1回以上、理事会を開催しなければならない。

4 議長は、理事および監事の2分の1以上により請求されたときには理事会を開催しなければならない。

5 理事会の議決は、理事および監事の2分の1以上の出席があった場合のみ有効とする。

6 理事および監事は、議長ないし理事または監事の1に委任状を託して議決を委任することができる。

7 理事会は郵便・電子メール等による通信媒体を利用して開催することができる。

8 議長は、必要あるときは理事と監事以外の者を理事会に参加をさせ、意見を聴取することができる。

会議の議決

第4条 理事会の議事は出席者の過半数をもって決し、可否同数のときは議長の決するところによる。

2 第3条8項により参加した者は議決権を有しない。

理事の職務担当

第5条 理事の職務担当は次のとおりとする。

(1) 会長

(2) 副会長(①事務局長、②分科会総括、③会長が指示する職務)

(3) 支部長(①北海道・東北支部、②関東支部、③中部支部、④近畿支部、⑤中国・四国・九州支部)

(4) 分科会会長(①物理化学分科会、②高分子・材料プロセス分科会、③無機・金属分科会、④有機・バイオ分科会、⑤分離・分析分科会、⑥磁場発生分科会)

(5) 特定事項担当(①産学官連携、②国際会議)

(6) 事務局委員会(①事務局長((2)の①に同じ)、②財務委員長、③広報委員長、④企画委員長)

(7) その他、会長が指示する職務

2 理事は複数の職務を担当することができる。

支部

第6条 支部の事業は支部長が統括する。

2 支部長の下に支部組織を設け、その形態および運営は支部において決定する。

3 支部に関わる事務は支部組織が処理する。

4 支部における事業は次の事項とする。

- (1) 支部地域における磁気科学の振興
- (2) 支部地域における本会会員の増員
- (3) 本会年次大会の実行

第7条 支部の事業計画および予算収支は、毎会計年度の開始前に支部が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 支部の事業実績および収支決算は、毎会計年度の終了後に支部が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

分科会

第8条 分科会の事業は分科会会長が統括する。

- 2 分科会に分科会組織を設ける。その形態および運営は分科会において決定する。
- 3 分科会に関わる事務は分科会が処理する。
- 4 分科会における事業は次の事項とする。
 - (1) 磁気科学の各分科における学術の振興
 - (2) 磁気科学の各分科における本会会員の増員
 - (3) 学術集会の企画と実施

第9条 分科会の事業計画および予算収支は毎会計年度の開始前に分科会が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 分科会の事業実績および収支決算は毎会計年度の終了後に分科会が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

年次大会

第10条 年次大会は理事会が決定した実行委員長の下に次の事項を実行する。

- (1) 年次大会の企画、準備、広報、実施
- (2) 年次大会のための実行委員会の構築
- (3) その他の年次大会実行に関わる諸事項

第11条 年次大会の事業計画および予算収支は、年次大会の開始前に実行委員長が起案し、理事会の承認を得なければならない。

- 2 前項に関りなく、大会開催に関して緊急に必要とされる事業は、会長の承認の下に行うことができる。
- 3 年次大会の事業実績および収支決算は、年次大会の終了後に実行委員長が作成し、理事会の承認を受けなければならない。

特設の作業部会

第12条 理事会は、第5条(1)-(7)以外の職務について必要に応じて理事会の下に特別の事項を担当する作業部会(以下、部会という)を設置することができる。

- 2 部会主査は、第5条(7)に基づき、会長が理事の中から指名する。
- 3 部会の運営に関する事項は別に定める規定による。

規則の改廃

第13条 本規則の改廃は理事会が行い、総会で報告する。

以上

日本磁気科学会 学会表彰規定

(2011 年 5 月 30 日理事会決定)

改訂(2017 年 3 月 30 日理事会決定)

第1条 (総則) 日本磁気科学会は、本会の賞を設け、本規定によって授与する。

第2条 次の3種の賞とし、毎年1回表彰する。

1. 優秀学術賞 賞状並びに記念品
2. 研究奨励賞 賞状並びに記念品
3. 功労賞 賞状並びに記念品

第3条 (優秀学術賞) 磁気科学分野において独創的かつ優れた研究業績を挙げた研究者に授与する。

第4条 (研究奨励賞) 年会において優秀な発表を行った若手に授与する。従来の、講演奨励賞・ポスター賞を引き継ぎ、その規定に従う。

第5条 (功労賞) 学会活動および磁気科学分野の普及に貢献した、あるいは当該分野で顕著な業績をあげた研究者に授与する。

第6条 (表彰の件数、人数) 優秀学術賞の授賞件数は毎年原則 1 件以内、功労賞は毎年原則 1 名とする。優秀学術賞の受賞者は 1 件につき複数名も可とする。

第7条 (選考委員会) 受賞候補者選考のため、表彰内規に従い選考委員会を設ける。委員は理事会の承認を得て、会長が委嘱する。

第8条 (受賞候補者の推薦) 会員(賛助会員を含む)は、優秀学術賞、功労賞の受賞候補者として適当と思う者を、選考委員会に推薦することができる。この場合は、自薦も認められる。

第9条 (受賞の決定) 選考委員会は、受賞候補者を選考し、会長に報告する。会長は理事会の議決により受賞を決定する。

第10条 (本規定の変更) 本規定の変更は理事会の議を経て行う。

附 則 この規定は2017年3月31日より実施する。

日本磁気科学会 年会における優良若手研究発表に対する表彰制度

2007/06/06理事会決定

賞の名称 : 研究奨励賞 (35歳以下)、学生ポスター賞

受賞対象者 : 以下の条件すべてを満たすもの

- 1) 日本磁気科学会 会員
- 2) 日本磁気科学会 年会で筆頭著者として研究発表を行なった者
- 3) 当該年会開催年度の4月2日時点で35歳以下の者(研究奨励賞)または、博士課程以下に在学する学生(学生ポスター賞)
- 4) 過去に該当する賞を受賞したことがないもの。

審査方法 : 講演発表申込時に、本人により審査希望の申請を受け付ける。その際、研究奨励賞については、本人に自身の発表する研究に関するアピール文を記入させる。

プログラム委員会が、1人の申請者につき、3名の審査員を日本磁気科学会会員の中から指名する。ただし、発表の共著者、申請者と同一機関に所属するものは、審査を行なうことができない。

各審査員は、提出された要旨、年会における申請者本人による講演について、定められた様式に基づき、審査・採点する。

なお、採点結果の提出は、年会終了後1週間以内とする。

採点結果は、表彰選考委員会にて集計し、授賞者を選考する。

表彰選考委員会メンバーは当該年会のプログラム委員長が指名する。

授賞者数は、発表申込件数に依存して、その最大数を決定する。

研究奨励賞、学生ポスター賞ともに、年会における全体の発表数50件につき1件の割合を最大数の目安として選考する。ただし、基準を満たすものが少ない場合には、その数を減じ、基準を満たすものがない場合は、授賞なしとする。

審査内容 : 要旨、プレゼンテーション、本人の寄与、研究の新規性、意義、質疑応答、総合評価。総合評価以外の各項目は5段階、総合評価は10段階で評価し、さらにコメントをつける。

受賞者の発表 : 表彰選考委員会で受賞が決定したものについては、学会発行のニューズレターに掲載することで発表し、賞状と副賞を郵送にて授与する。

その他 : 学生の発表であっても、特に優秀と認められる場合は、研究奨励賞の授与対象となる。

日本磁気科学会役員 (2017 ～ 2018)

役職	理事・監事(機関・職)
会長	山本 勲 (横浜国大院工・教授)
副会長(分科会統括)	大塚 秀幸 (物材機構・主席研究員)
副会長(事務局長)	安田 秀幸 (京大院工・教授)
支部長(北海道・東北)	淡路 智 (東北大金研・教授)
支部長(関東)	後藤 博正 (筑波大数物系・准教授)
支部長(中部)	田中 諭 (長岡技科大院工・准教授)
支部長(近畿)	堀井 滋 (京大院エネ科・准教授)
支部長(中国・四国・九州)	米村 弘明 (崇城大工・教授)
分科会長(物理化学)	奥村 英之 (京大院エネ科・准教授)
分科会長(高分子・材料プロセス)	伊掛 浩輝 (日大理工・准教授)
分科会長(無機・金属)	鈴木 達 (物材機構・グループリーダー)
分科会長(有機・バイオ)	井原 一高 (神戸大院農・准教授)
分科会長(分離・分析)	飯國 良規 (名工大工・助教)
分科会長(磁場発生)	大塚 秀幸 (物材機構・主席研究員)
特定事項(国際会議)	安藤 努 (日大生産工・教授)
特定事項(国際会議)	諏訪 雅頼 (阪大院理・助教)
特定事項(産学連携)	杉山 敦史 (吉野電化工業 株式会社)
特定事項(産学連携)	玉川 克紀 (株式会社 玉川製作所)
特定事項(産学連携)	木村 亨 (ポリマテック・ジャパン株式会社)
特定事項(産学連携)	牛島 栄造 (株式会社 アイシンコスモス研究所)
特定事項(産学連携)	渋谷 和幸 (JASTEC、ソリューション推進部)
事務局委員会(財務)	廣田 憲之 (物材機構・主幹研究員)
事務局委員会(広報)	三井 好古 (鹿児島大院理工・准教授)
事務局委員会(企画)	茂木 巖 (東北大金研・助教)
監事	尾関 寿美男 (信州大理・教授)
監事	掛下 知行 (阪大院工・教授)

第 20 回日本磁気科学会研究会

「磁気分離・分析の応用と展開」

予稿集

2017 年 8 月 7 日

於：名古屋工業大学 19 号館 602 室

主催：日本磁気科学会 分離・分析分科会

プログラム

8月7日（月） 13:00～15:45

13:00-13:05 開会の挨拶

飯國良規（名古屋工業大学）

13:05-13:55 「磁場で切り拓く新しい微粒子分析の世界」

河野 誠（カワノラボ）

交代・休憩

14:00-14:50 「血中循環腫瘍細胞の磁気分離精製に向けた

温度応答性／磁性複合機能粒子」

淵上輝頭（名古屋工業大学）

交代・休憩

14:55-15:45 「磁気分離を用いた福島汚染土壌の減容化の試み」

西嶋茂宏（福井工業大学）

磁場で切り拓く新しい微粒子分析の世界 Novel Microparticle Analysis Method by Magnetophoresis

○河野誠、森清香（株式会社カワノラボ）

○Makoto Kawano, Sayaka Mori (KawanoLab,inc.)

E-mail: kawano@kawanoparticle.com

Abstract:

In recent years, various particulate materials have been used in various fields, and its high precision has remarkable. However, particle size measurement is mainstream in the particle evaluation technology, and direct observation by image analysis by various microscopic images, indirect measurement by dynamic light scattering or laser diffraction method, etc. is used. It is the present situation. The microscope observation is inefficient in evaluating many particles and there is a problem such as dynamic light scattering and the like can calculate only a distribution according to the analytical formula.

On the other hand, Giddings et al. proposed a method of separating particles by giving an external field in the fluid, and from the volume magnetic susceptibility measurement of single particles using magnetophoretic method, we measured the solvent adsorption amount of particles and the surface modification amount have been developed.

Magnetic susceptibility is mainly used for evaluating the physical properties of inorganic compounds, but our company has focused attention as an analytical index of particles. The magnetic susceptibility is a fixed physical quantity for each substance, and even a mixture such as a particle shows a value proportional to the constituent elements and types. Therefore, the magnetic susceptibility of the particle contains the composition information of the whole particle. Recently, it is adapting to the living cells on our analysis. In this presentation, we introduce the possibilities widely from analysis of general industrial materials to cells.

Keywords: high magnetic field、 magnetic susceptibility、 particle analysis

1. 概要

近年、様々な粒子材料が各方面で用いられており、その高精度化も目覚ましい。しかしながら、その粒子の評価技術は粒径測定が主流であり、各種顕微鏡画像による画像解析による直接観察か、レーザー式の動的光散乱法もしくはレーザー回折法等による間接測定が用いられているのが現状である。顕微鏡観察は多くの粒子を評価するには効率が悪く、動的光散乱等では解析式に則った分布を取ることしかできないなど課題がある。また、異物分析や分散性評価といった項目は粒径測定だけでは判断できないといった問題がある。一方、Giddingsらは流体中で外場を与えて粒子を分離する手法を提唱し¹⁾、我々は磁気泳動法を用いた単一粒子の体積磁化率測定から粒子の溶媒吸着量や表面修飾量などを測定する手法を開発してきた^{2)~7)}。磁化率は主に無機化合物の物性評価として使われているが、弊社では粒子の分析指標として着目している。磁化率は物質ごとに決まった物理量であり、粒子のような混合物であっても構成元素と種類に比例した値を示す。従って、粒子の磁化率は粒子全体の組成情報を含んでいる。最近では、細胞に適応してその分析に取り組んでいる。今回の発表では、一般的な工業材料の分析から細胞まで幅広くその可能性について紹介する。

2. 測定原理

1) 粒子の体積磁化率測定

粒子の体積磁化率 χ_p は、粒子の磁気泳動速度 v_p と粒子径 r から求めることができる (Eq. 1)。

$$v_p = \frac{2(\chi_p - \chi_f)r^2}{9\eta\mu_0} B \left(\frac{dB}{dx} \right) \quad (1)$$

ここで、 χ_f は溶媒の体積磁化率(無次元)、 η は粘度、 μ_0 は真空の透磁率、 $B(dB/dx)$ は磁場勾配を表す。一方、体積磁化率は加成性が成り立つという性質を持つ(Eq. 2)。例えば、粒子Pの表面を体積磁化率 χ_s の分子でコーティングした際、コーティング体積を V_s とし、バルク部分をそれぞれ χ_B 、 V_B 、そして粒子

が溶媒中に分散した場合にその溶媒の体積磁化率と溶媒の吸着体積を χ_M と V_M とすると、その加成性から

$$\chi_p V_p = \chi_B V_B + \chi_s V_s + \chi_M V_M \quad (2)$$

と表すことができる。従って、粒子の体積磁化率 χ_p と粒子の体積 V_p を求めることで、溶媒の吸着体積や粒子表面被覆量（被覆体積）を評価することができる。

3. 磁場を用いた色材の評価

まず、磁化率を用いてトナー粒子を評価した例を示す。トナーは複雑な化成品であり、トナーの評価法を開発することは、様々な材料評価に繋がると考えられる。まず、トナー粒子を水に分散させ、その溶液を磁気回路内(gap 0.4 mm 最大 3 T)に導入し、磁気泳動法によって各粒子の体積磁化率を測定した。

Fig. 1 は、黒のトナー粒子を測定した例で、粒子径に対して依存性が見られた。これは、比表面積に依存することから表面状態に関連した傾向がみられると考えられる。これをトナーの色毎や製法毎に比較すると、一定の傾向がみられた。製法による変化が見られたことから、単なる粒度分布評価に比べ、成分情報が得られる本測定法の利点が活かされる良い例と考えている。

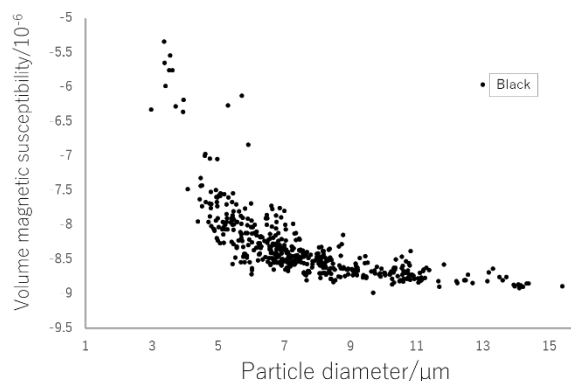


Fig.1 Volume magnetic susceptibility of black toner particles

4. 結語

体積磁化率による粒子評価は、まったく新しい評価手法であり未知の部分も多いのが実情である。しかしながら、従来の粒子分析法に比べ、成分に関連した情報が得られるという利点があり、今後の研究の発展によりさらに応用範囲が広がるものと考えている。特に、細胞分析など非破壊での測定に大きな可能性がある。

参考文献

- [1] J. C. Giddings, Unified Separation Science, John Wiley, New York (1991)
- [2] Y. Iiguni and H. Watarai, J. Chromatogr. A, 93, pp.1073-1093, (2005).
- [3] H. Watarai and M. Namba, J. Chromatogr. A, 961, pp.3-8, (2002)
- [4] M. Suwa and H. Watarai, Anal. Chem., 73, pp.5214-5219, (2011)
- [5] M. Kawano, and H. Watarai, Analyst, 137, pp.4123-4126, (2012).
- [6] M. Kawano, and H. Watarai, Anal. Bioanal. Chem., 403, pp.2645-2653, (2012).
- [7] M. Kawano, J. L. Young, H. Watarai, Anal. Sci. 26 pp.1211-1213, (2010)

血中循環腫瘍細胞の磁気分離精製に向けた温度応答性／磁性複合機能粒子

Thermo-responsive magnetic composite particles designed for isolation and purification of circulating tumor cells

○ 湧上輝顕 (名古屋工業大学)

°Teruaki Fuchigami (Nagoya Institute of Technology)

E-mail: fuchigami.teruaki@nitech.ac.jp

Abstract:

Analysis of circulating tumor cells (CTCs) is useful in consequently treatment monitoring and metastasis. Magnetic separation has already been commercialized for a cell isolation, however, non-uniformities in cell capture and cell loss during rinsing process often become problems for CTCs isolation because of extremely low abundance of CTCs. Additionally, magnetic nanoparticles remaining on CTCs can affect cell analysis, therefore both high-efficiency CTC enrichment and purification is still challenging. Thermo-responsive magnetic particles composed of iron oxide particles, streptavidin and thermos-responsive polymer were fabricated for purification of CTCs. Controlling an amount of streptavidin on a surface of the conjugates, capture efficiency of CTCs increased from 25 to 60%. Observing the lung cancer cells motion under microscope, the thermo-responsive conjugates captured and released cancer cells by changing temperature from 37°C to lower temperatures. According to these results, the thermos-responsive conjugates has an advantageous for the high-efficiency enrichment and the purification.

Keywords: magnetic cell isolation, cell purification, thermos-responsive polymer, circulating tumor cells

1. 緒言

近年、細胞の分離技術の発展により、濃度の低さ（1-10 個/末期がん患者血液 1ml）から検出が困難であった血中循環腫瘍細胞（以下：CTC）の解析が行われるようになり、CTC 解析が転移性がんの検査方法として有効であることがわかってきた。しかし、早期がん診断においては、多量の血液試料から短時間で CTC を分離できる技術が現在も必要とされている。これは末期がんに比べ早期がんでは血中の細胞数がより少なく、また CTC が極めて不安定であるためである。細胞に吸着する抗体と、抗体に吸着する磁性微粒子を血液試料に加え、永久磁石などの外部磁場によって細胞を濃縮する免疫磁気分離法では、数十 ml の血液を一度に処理できるが、細胞を標識する際の洗浄操作毎に不定量の細胞試料を失う。Prof. Wang グループは、洗浄操作を用いない磁気標識手法と特殊な磁気分離デバイスを用いることで 10 ml/hour で 90%以上の CTC 分離効率を達成している。^[1]しかしこの手法では、洗浄によって取り除かれるはずであった余剰の抗体と磁性ナノ粒子から凝集体が形成され、細胞表面および細胞懸濁液中に多くの磁性ナノ粒子凝集体が残存してしまうために、CTC 解析用のマイクロチップを閉塞し、診断に向けた十分な解析ができないという問題がある。Shuang らは、温度変化により親水-疎水性が変化する温度応答性高分子とマイクロ流路を組み合わせることで、90%以上の CTC を余分な粒子等が吸着していない状態で分離することに成功しているが、流速・流量が小さいため血液試料の処理に長時間を要する。^[2]そこで本研究では、CTC の高効率・短時間分離と磁性微粒子と細胞の吸脱着が可能なプロセスの構築を目的として、温度応答性高分子と酸化鉄ナノ粒子、アビジンを組み合わせた複合粒子を作製し、温度変化による肺がん細胞との吸脱着反応について検討した。

2. 実験方法

共沈法により合成した酸化鉄ナノ粒子懸濁液 (0.1-1.0 mg/ml) と温度応答性ポリマー Poly(N-isopropylacrylamide-co-acrylic acid)、以下 Poly(NIPAM-co-AA) の水溶液 (0.1-1.0 wt.%) を混合し酸化鉄ナノ粒子集積体を作製した。生体分子認識性を付与するために、集積体をリン酸緩衝生理食塩水 (PBS) に分散させ、ストレプトアビジンヒドラジドを加えて 2-10 時間、4-37°C の温度範囲で反応させた。ストレプトアビジンの吸着量は、蛍光色素で標識したビオチンと結合させ、マイクロプレートリーダーを用いて蛍光強度を測定し評価した。細胞分離能評価として、血液試料とバッファー溶液との混合溶液中に肺がん細胞 (H1650 肺がん細胞株) を 100 個程度懸濁させ、ビオチン結合抗体 (anti-EpCAM) を 2.5 ml 加えて 4°C で 1 時間攪拌した後に、得られた磁性ナノ粒子集積体を加えて 36.5°C または 4°C で 1 時間攪拌した。その後、磁気分離用の基板 (Magsifter)^[1] に 10 ml/hr の速度で血液試料を流し、基板上に補足された細胞数をカウントした。得られた磁性ナノ粒子集積体の構造を TEM により観察し、粒子径を動的光散乱法により測定した。

3. 結果と考察

Fig. 1 は 0.1 mg/ml のナノ粒子懸濁液と 0.1 wt.% の Poly(NIPAM-co-AA) 水溶液を混合して得られた酸化鉄ナノ粒子集積体である。平均一次粒子径 14 nm の酸化鉄粒子が凝集し 200 nm 程度のコアが形成している様子が観察された(Fig. 1a,b)。ヒドラジド反応によりストレプトアビジンを結合させ、蛍光色素標識ビオチンと反応させた集積体の蛍光強度測定結果を Fig. 2 に示す。ヒドラジド反応を行った全ての試料から蛍光が観測されストレプトアビジンの結合が確認できた。また、37℃で反応させた試料はわずかに高い蛍光強度を示した。本実験で用いた温度応答性ポリマーは 32℃以上で疎水性を示す。したがって、37℃の PBS 中でストレプトアビジンヒドラジドとの反応サイトであるイソプロピルアクリルアミド(疎水基)が集積体表面により多く露出したために、多くのストレプトアビジンが結合したと考えられる。Fig. 3 に細胞分離実験の結果を示す。集積体作製時の酸化鉄ナノ粒子懸濁液濃度とポリマー溶液濃度を調整することにより、集積体の二次粒子径を 150-2000 nm 程度まで制御した。粒子径が増大するにしたがって、細胞回収率も増大し、最大で 20%程度の回収率が得られた。また、細胞回収時の温度を 4℃に変えたところ細胞回収率が減少した。これは Fig.4 に示すように、温度応答性高分子の構造変化によって細胞認識性が変化したためであると考えている。これらの結果より、細胞分離に温度応答性磁性複合粒子を用いることで、細胞と磁性粒子を非侵襲的に吸脱着できると考えている。

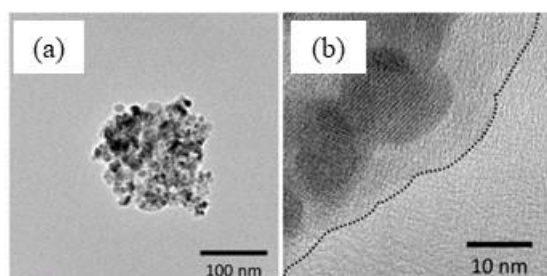


Fig. 1. (a, b) TEM images of the iron oxide nanoparticle-assembly fabricated by mixing 0.1 mg/ml of iron oxide nanoparticle-suspension and 0.1 wt.% of Poly(NIPAM-co-AA) solution. Black broken line in Fig.1(b) showed the outermost surface of polymer shell.

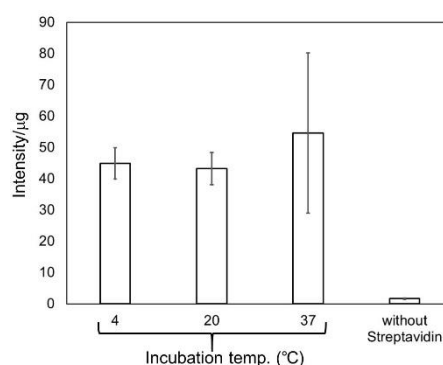


Fig. 2. Fluorescent intensity of the iron oxide nanoparticle-assemblies conjugated with/without streptavidin at various temperature. These particles were reacted with fluorescent dye-biotin.

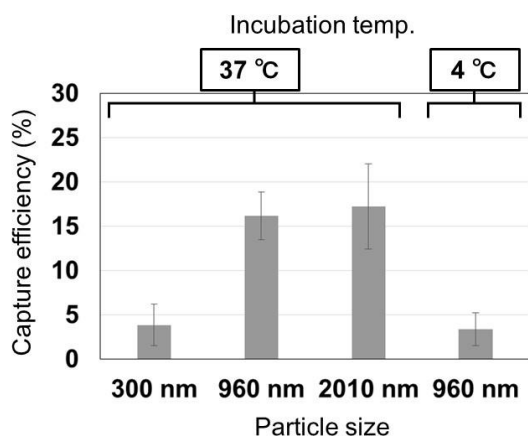


Fig. 3 Cell separation experiment at 37 and 4°C using Streptavidin/p(NIPAM-co-AA)/IONPs composites with various size.

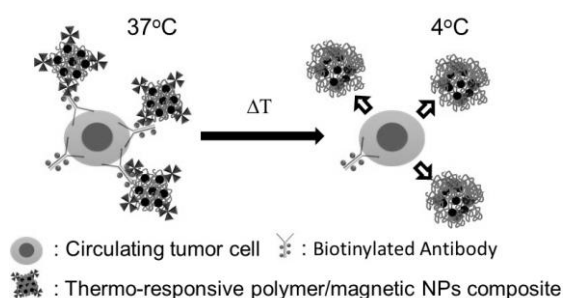


Fig. 4 Schematic illustration of cell purification using thermo-responsive magnetic particle. Cell capture and release can be controlled by temperature change

【参考文献】

- [1] Christopher M. E. et al., *Lab Chip*, **14**, 78-88 (2014)
- [2] Shuang H., et al., *Adv. Mater.*, **25**, 1547-1551(2013)

本研究は、JSPS 科研費 15H06260 の助成を受けたものである。

磁気分離を用いた福島汚染土壌の減容化の試み Volume Reduction of Contaminated Soil by Magnetic Separation

西嶋茂宏（福井工業大学）

Shigehiro Nishijima (Fukui University of Technology)

E-mail:nishijima@fukui-u.ac.jp

Abstract:

It is currently a serious problem that a large amount of contaminated soil with the radioactive substances was discharged. We have proposed a new method to reduce the volume of the contaminated soil by the magnetic separation. In this study, the possibility of volume reduction of Cs contaminated soil was investigated by using high gradient magnetic separation (HGMS). It was found that 2:1 type clay mineral that strongly adsorbs Cs shows paramagnetism whereas 1:1 clay and silt that release Cs easily show diamagnetism. This suggests the applicability of HGMS for reducing volume of contaminated soil.

Keywords : Magnetic separation, Cesium contaminated soil, Volume reduction, 2:1 type clay,

1. はじめに

福島原子力発電所事故後の除染作業によって発生する汚染土壌は、2200 万 m³ に及ぶと推定されている。全量を中間貯蔵施設に移送する計画になっているが、最終処分まで考えるとその減容化は必須であり、減容化手法の確立が求められている。基本は、分級により粒径が大きな砂れき分（数百 μ m 以上。放射能濃度が低い）で、それらを取り除くことにより減容化は可能である。しかしながら粒径の小さなシルト・粘土分が多い土壌では、あまり有効でないことは明らかである。さらなる減容化のためには、シルト・粘土分を対象とした減容化手法を開発することが必要であると考えられる。

2. 磁気分離法を用いた減容化の考え方

我々が提案している分離法は、湿式分級で得られる放射能濃度の高いシルト・粘土分に磁気分離を施し、放射能濃度の高い 2:1 型粘土を選択的に分離する手法である (Fig. 1) 粘土鉱物はその構造によって、1:1 型と 2:1 型の 2 種類に分類されるが、Cs は 2:1 型粘土鉱物の層間に強固に固定される。しかも 1:1 型粘土鉱物は反磁性であるが、2:1 型粘土鉱物は常磁性である。このため高勾配磁気分離法を利用すれば Cs を強く吸着した 2:1 型粘土のみを分離することができると期待される。

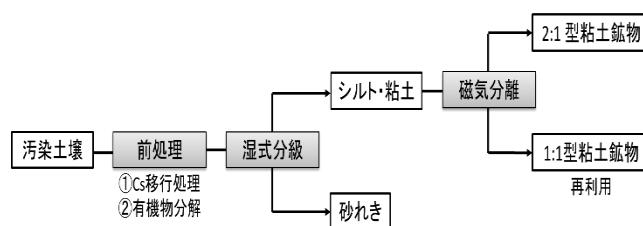


Fig. 1 Separation flow of 2:1 type clay mineral.

3. シルト、粘土の磁化率

表 1 に微粒成分のシルトと粘土の磁化率を示した。セシウムを強く吸着する 2:1 粘土鉱物は、イライトとバーミキュライトである。セシウムを容易に離脱する粘土はカオリナイトである。またシルト成分はセシウムを容易に離脱する。表から分かるように、セシウムを強固に吸着する成分はすべて常磁性を示し、容易に離脱する成分は反磁性を示すことがわかる。このことから、シルト・粘土の混合物より、2:1 粘土鉱物を分離すると、土壌の減容化に資すると期待される。

Table 1 Magnetic susceptibility of each component of soil.

		Magnetic susceptibility[-]
Silt	Quartz	-2.1×10^5
	Feldspar	-1.3×10^5
Clay	Illite	3.1×10^4
	Vermiculite	2.6×10^4
	Kaolinite	-1.7×10^5

4. おわりに

福島の汚染土壌の減容化のためのスキームのなかで、高勾配磁気分離法の適用の可能性が見えてきた。また、汚染土壌を磁気分離に供するための前処理の必要性を含めた全体の処理フローの中での磁気分離法の位置づけとともに実用化の可能性をも含めて報告する。

本研究は、大阪大学工学研究科環境エネルギー工学専攻で実施した研究をまとめたものである。

第21回 日本磁気科学会研究会

「磁場を用いた微構造制御」

予稿集

2017 年 11 月 16 日

於：京都大学・百周年時計台記念館

主催：日本磁気科学会 無機・金属分科会

プログラム

11月16日（木）

- 講演 1 「多層グラフェン被覆粒子を用いた低磁場配向プロセスによる
高機能性材料開発」
高橋拓実（神奈川県立産業技術総合研究所）
- 講演 2 「手を触れずに物体を動かす ～自己組織化・磁場・光を巧みに
利用した新技術～」
池添泰弘（日本工業大・創造システム工学科）
- 講演 3 「鉄系合金の相変態およびセメントイト析出に及ぼす磁場効果」
寺井智之（大阪大学大学院・マテリアル生産科学専攻）

グラフェンの巨大磁気異方性が駆動する微粒子の低磁場配向

独立行政法人 神奈川県立産業技術総合研究所 ○高橋 拓実

1. 緒言

磁場を用いた配向法は、結晶の磁気異方性を利用することから、非接触かつ原料と製品の形状の制約なしに精緻な配向制御が可能という優れた手法である。しかしながら、立方晶系を除く多くの材料は、わずかな反磁性の磁気異方性を示し、これを配向させるためには、超伝導磁石級の高磁場が必要となる。高磁場利用に関して、とりわけ大型部材を取り扱うことが多いセラミックス産業においては、プロセスと材料の社会実装化を妨げる巨壁である。したがって、社会実装性という観点から、配向に要する磁場は、常伝導磁石級(0.5~1T)の低磁場が望まれている。

配向制御のためには、配向の起源である磁化エネルギーの異方性 ΔE が熱擾乱エネルギー kT よりも十分に大きくてはならない。 ΔE は、(1)式で表すことができる。

$$\Delta E = -\frac{1}{2\mu_0}\Delta\chi B^2 V \cdots(1)$$

ここで、 $\Delta\chi$ は粒子の磁化率異方性[-]、 B は磁束密度[T]、 V は粒子体積[m³]である。(1)式より、所望の低磁場で十分な大きさの ΔE を得るためには、粒子の $\Delta\chi$ あるいは V を大きくしなければならない。セラミックス分野では、焼成プロセスで緻密な微構造を形成するために、焼結性の良いサブミクロンからミクロンオーダーの微細な粒子からなる粉体を原料として用いる必要があるため、粒子の粗大化は望ましくない。また、ガラスのように磁気異方性のない物質の磁場配向は原理上、不可能である。しかしながら、十分な大きさの ΔE が生じるだけの巨大

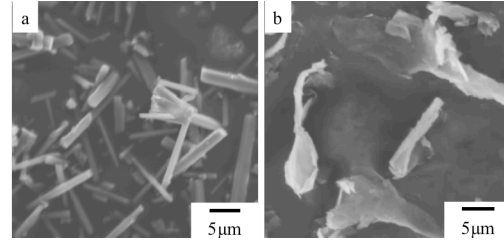


Fig.1 Morphology of (a) synthesized β -Si₃N₄ particles and (b) commercial

な磁気異方性という、新たな機能性を粒子に付与することができれば、原理上、配向不可能な等方体を含め、多種多様な材料で配向材料が低磁場で作製できるはずである。

多層グラフェン(ランダム積層とグラファイトの両方を含む)は、 c 軸方向に大きな反磁性磁化率を示し、かつ $\Delta\chi$ が大きいことから、ネオジム磁石からなる磁気回路中でも容易に c 軸が磁場印加方向に対して垂直に配向することが報告されている。このことから、配向させたい粒子の表面に対して、磁気異方性を発現できるように異方的に多層グラフェンを被覆できれば、多層グラフェンの $\Delta\chi$ に起因して複合粒子が低磁場でも容易に配向すると考えられる。

β -Si₃N₄ は、 c 軸方向に a 軸方向の約 3 倍の高熱伝導率を示し、さらに機械的強度も優れることから、近年、SiC パワーデバイス用放熱基板への応用が期待されているセラミックス材料である。しかしながら、通常のセラミックスプロセスで得られる Si₃N₄ セラミックス中の β -Si₃N₄ 粒子の結晶方位はランダムであるので、本来の高い熱伝導率を発現できない。したがって、本来の高熱伝導率を発現するために、板厚方向への高度な c 軸配向制御が望まれて

いる．そこで本研究では， β 窒化ケイ素 (β - Si_3N_4) 柱状粒子に対して多層グラフェン被覆処理を行い，これを種粒子として c 軸配向 Si_3N_4 セラミックスを作製することを目的とした．

2. 実験方法

β - Si_3N_4 種粒子は， α - Si_3N_4 (宇部興産製 SN-E10)， Y_2O_3 ， MgO を原料としてボールミル混合し，乾燥後，保持温度 1900°C ，保持時間 1-2h 熱処理して合成した．合成した β - Si_3N_4 種粒子とグラフェンナノパウダー (EM Japan 製 G-13L) の形態を Fig.1 に示す．これらの原料粉を機械的粒子複合化装置 (ホソカワミクロン製 NOB-130) に所定量いれてプレミックスを行い，その後 3kW で 10 分処理して複合粒子を作製した．蒸留水に分散剤を溶解させた溶媒をスターラー攪拌しながら，作製した複合粒子と α - Si_3N_4 (宇部興産製 SN-E10)， Y_2O_3 ， HfO_2 ， SiO_2 を投入した後，超音波ホモジナイザーで 30min 処理してスラリーとした．調製したスラリー 4ml をモールドにいれ，0.4-10T の静磁場中で自然乾燥させながら成形した．乾燥後，成形体を保持温度 1900°C ，保持時間 6h，0.9MPa の N_2 中の条件でガス圧焼結を行った．複合粒子の形態と焼結体の微構造は，走査型電子顕微鏡 (SEM) にて観察した．また，複合粒子の元素分析はエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) にて行った．被覆粒子の被覆形態は，走査型プローブ顕微鏡のダイナミック・フォース・モード (DFM) で行った．多層グラフェンの結晶性はラマン分光法にて評価した．配向評価は X 線回折装置にて行った．

3. 実験結果と考察

Fig.2 は Fig.1 で示した β - Si_3N_4 種粒子に対して多層グラフェンを被覆した複合粒子の SEM

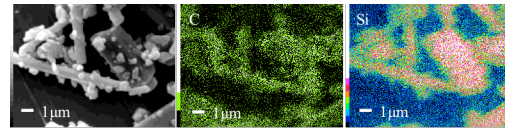


Fig.2 EDS images of morphology of graphene coated β - Si_3N_4 seeds

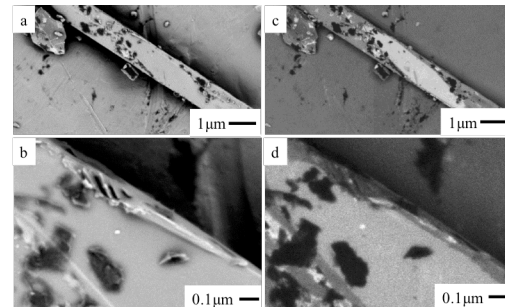


Fig.3 Back scattered electron images of morphology of graphene coated β - Si_3N_4 seeds (a) and (b) are topographic image, (c) and (d) are composition image

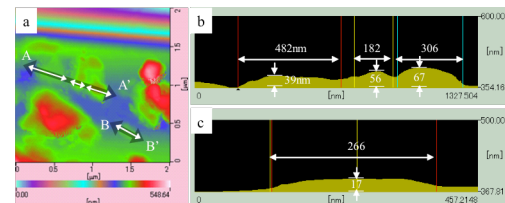


Fig.4 DFM images of surface of graphene coated β - Si_3N_4 seeds (a) is topographic image, (b) and (c) are cross section image

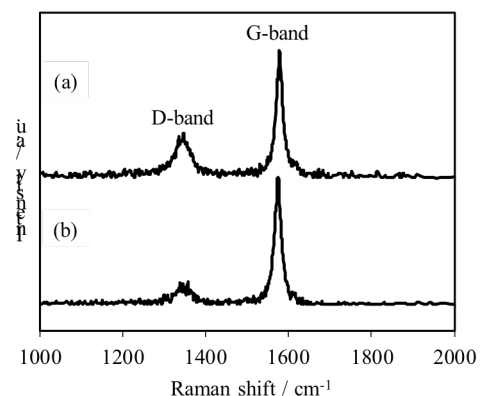


Fig.5 Raman spectra of (a) graphene on the β - Si_3N_4 particle and (b) raw graphene powder

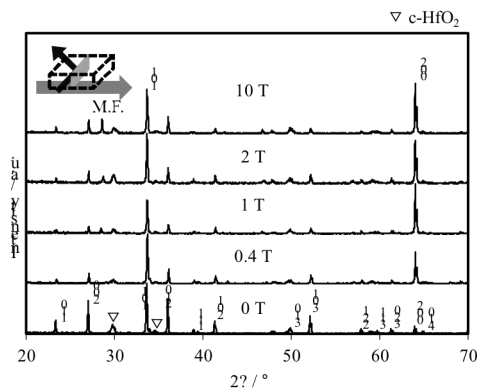


Fig.6 XRD patterns of Si_3N_4 ceramics including $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ seed particles ($\alpha=4.4$) prepared at from 0 to 10 T

写真であり、さらに C と Si について元素分析を行った結果である。Fig.2 より、 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 種粒子表面に C が検出され、多層グラフェンが均一に被覆されていることがわかった。

Fig.3(a)(b)は複合粒子の二次電子像、(c)(d)は反射電子像である。Fig.3(c)に示すように、複合粒子の表面上にコントラストが認められることから、明るい領域は $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 表面、暗い領域は多層グラフェンが被覆されているものと考えられる。さらに、Fig.3(a)の一部を拡大した Fig.3(b)を比較してみると、 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 種粒子表面に剥離しかけているシート状粒子の端面を確認することができた。さらに、同じ場所を反射電子像で観察 (Fig.3(d)) してみると、シート状粒子のコントラストは暗く、多層グラフェンであることが示唆された。また、シート状粒子の剥離部に注目すると、Fig.3(c)において明るく観察されていた $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 表面の露出部と思われる領域と、同様のコントラストで観察された。以上の結果から、多層グラフェンは $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 種粒子表面にさまざまな厚さで被覆されていることが示唆された。

Fig.4(a)は、複合粒子の表面を DFM 像であり、(b)(c)はそれぞれ走査箇所断面である。

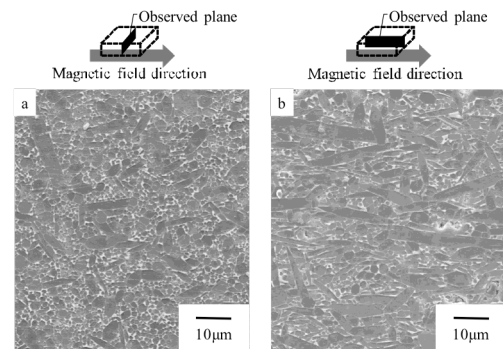


Fig.7 Microstructures of Si_3N_4 ceramics prepared at 1 T observed by using SEM
(a) Plane normal to the magnetic field
(b) Plane parallel to the magnetic field

Fig.4 から、被覆粒子は厚さ数十 nm、側長数百 nm であることがわかった。Fig.1(b)の原料として用いたグラフェンナノパウダーの形態から、多層グラフェンは機械的処理により、破壊と剥離を繰り返しながら被覆されていることが示唆された。Fig.5 は、原料として用いたグラフェンナノパウダーと、複合粒子表面のラマンスペクトルである。Fig.5 より、機械的処理後もグラフェン構造に由来する G バンドのピーク強度は高く、複合化後も結晶性が維持されていることがわかった。

Fig.6 は、複合粒子を種粒子として添加したスラリーを 0.4-10T の静磁場中で成形し、焼成して作製した c 軸配向 Si_3N_4 セラミックスの XRD パターンである。測定面は図中に示した。Fig.6 より、0.4T という低い磁場でも、 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 粒子の c 軸が磁場と平行方向に顕著に配向していることがわかった。

Fig.7 は、1T の静磁場中で成形し作製した c 軸配向 Si_3N_4 セラミックスの微構造写真である。観察面は図中に示した。Fig.7 より、磁場に平行な面において、柱状の $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 粒子が磁場と平行に配向した緻密な構造が観察された。また、磁場に垂直な面では、柱状粒子の底面

が多く観察された。β-Si₃N₄粒子単体では、*c* 軸は磁場と垂直方向に配向 ($|\chi_c| > |\chi_a|$) するため、*c* 軸配向制御には高磁場かつ回転磁場が必要である。一方、グラフェンの *a* 軸は磁場と平行方向に配向 ($|\chi_a| > |\chi_c|$) する。したがって、本結果から、多層グラフェンを被覆することにより母体となる β-Si₃N₄ 粒子の配向性を制御し、低磁場かつ静磁場での *c* 軸配向を実現できたといえる。

4. 結論

機械的処理により、多層グラフェンが被覆された β-Si₃N₄ 種粒子を作製することに成功した。さらに、複合粒子を添加したスラリーを低磁場かつ静磁場中で乾燥成形し、通常の焼成プロセスを経ることで、緻密な微構造をもつ *c* 軸配向 Si₃N₄ セラミックスを作製することに成功した。

5. 謝辞

本研究成果の一部は JSPS 科研費 26820299 の助成を受けたものです。記して感謝の意を示します。

手を触れずに物体を動かす

～自己組織化・磁場・光を巧みに利用した新技術～

日本工業大学 池添泰弘

【はじめに】

私が磁場を用いた研究を始めたのは大学院修士課程に進学したときである。先生に「大学院ではどんな研究がしたいか？」と尋ねられ、「磁気科学をやらせてください」と即答したのがきっかけである。現在 NIMS で御活躍中の廣田先生が、当時は研究室の博士課程の先輩で、「モーゼ効果」と呼ばれる面白い現象を見せてくれた。超伝導磁石のボア中で水面が凹むのを初めて見たときには「これがモーゼ効果か！」と感激した記憶がある。

超伝導磁石の磁場は、ちょっと油断しようものなら、椅子やガスボンベなどの重量物ですら動かしてしまうほど強烈だが、小学校の理科教材などで使われる永久磁石のような弱い磁場しか発生しない磁石を用いても、十分に磁場の面白さを体験できる。例えば、下敷きの上にクリップを付けた人形を置いておき、下敷きの裏に隠した磁石を使って自由に動かすことだってできる。このように私たちが磁場を使って物体を操作したいとき、その物体を磁石に直接触れさせる必要はない。磁場の面白さはいろいろ挙げられるが、「何か見えない力で物体を動かすことができる」ということが、真っ先に挙げられるのではないだろうか？魔法使いやマジックショーの面白さにも通ずるものがあり、だれもが一度は「一体何がどうなっているんだ？」と考えたことがあるに違いない。そこで本稿では、「手を振れずに物体を動かす」ことについて議論を進めていく。なお、せっかく機会を頂いたので、磁場を使った話をする前に表面張力を利用した船の話も簡単にご紹介したい。ここでは、ずいぶん昔から知られているような現象の中にも、まだ興味深いサイエンスが潜んでいる、というお話をご紹介します。続いて、磁場を使って物を動かす話に移る。磁石を手にとって動かして物体を動かすわけではなく、磁石は動かさずに、光を点けたり消したりすることで物を動かしてみよう、という話である。ここで紹介する技術は、磁気浮上させた物体を、可逆的に、しかも全く手を振れずに操作することを可能にする。ごく最近見出した現象であるので、まだ、基本的な実験しかできていないが、この技術は磁気浮上に全く新しいパラメーターを導入することになり、画期的な技術革新へつながると期待している。

【有機金属錯体を用いた自立運動型化学モーター】

一つ目の話題は、おもちゃの船（樟脳船, camphor boat）のことである。X線回折の研究でノーベル賞を受賞した William Henry Bragg も、その著書 "Concerning the Nature of Things (1925)" の中で、水の表面張力の不均一性が物体の運動を引き起こすことを明記している。我々は、これを化学モーターと呼んでいるが、上のように液体の表面張力に関連した運動については、水面だけでなく、水と油の界面での表面張力の不均一性を利用した化学モーターの研究や⁽¹⁾ 触媒反応を利用した化学モーターの研究^(2,3) なども盛んにおこなわれている。いずれも電流を流したり燃料を燃やしたりすることなく物体を動かすことができるの

がポイントである。

本稿で扱う化学モーター(図 1)は二つの物質から構成される。一つは有機金属錯体 (Metal Organic Frameworks, MOF) で、金属イオンと有機物で作られた多孔性物質である。金属イオンと有機配位子の組み合わせは無限にあり、物質の分離や貯蔵など様々な用途への応用が期待され、この 20 年ほどで驚異的な勢いで研究が拡大している。もう一つはジフェニルアラニン (Diphenylalanine, DPA) である。必須アミノ酸の一つであるフェニルアラニンが二つつながったジペプチドである。アミロイドβペプチドに含まれるペプチドモチーフ FF ("F" はフェニルアラニンを表すアルファベットで "FF" は DPA に相当する) がアミロイドβペプチドの凝集体の生成に関与していると考えられているが、この凝集体こそがアルツハイマー病を引き起

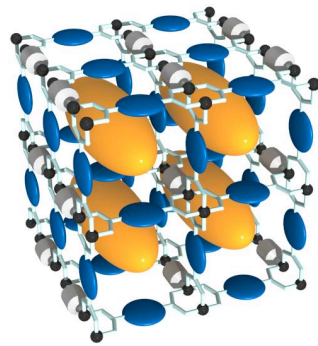


図 1 DPA-MOF 複合体の模式図。Cu-JAST1 と呼ばれる MOF の空孔中 (1 辺が 0.75 nm 程度) に DPA 分子を導入した。黄色い物体が DPA を表す。

こす。したがって、DPA は医学的な見地から盛んに研究されてきた化学物質である。最近では、その自己組織化能力とそれに伴って引き起こされる強誘電体としての性質なども注目されており、物理や化学の観点からも盛んに研究されている。そして、今回ご紹介する化学モーターは、MOF を筐体に、DPA を燃料に使用したものである。⁽⁴⁾

MOF の細孔内に DPA を入れたもの (MOF-DPA 複合体) を EDTA の水溶液に浮かべると、MOF を構成している銅イオンが EDTA に奪い取られて MOF が壊れる。同時に DPA は水面に放出されることになる。DPA は疎水性が強いため、水面に吸着して水の表面張力を下げる。DPA の放出は、全方位に対して完全に均一になることはないので、DPA-MOF 複合体粒子の周辺では表面張力が不均一になり、最も表面張力が下がったところから表面張力が高い所に向かって、表面が広がるような動きがみられる。テレビコマーシャルで台所用の洗剤を水面に 1 滴たらした時に、勢いよく外側に向かって水面が広がるような水面の運動が見られるのと同じである。結果的に、この界面の動きに乗って DPA-MOF 粒子は表面張力の高い方に引っ張られて動きまわるというわけである。ここで、「これが DPA-MOF 複合体モーターが動く仕組みの全てである」と言ってしまうと、DPA-MOF 複合体の運動の原理は樟脳船と全く同じで何ら面白みがない。しかし、実は DPA-MOF 複合体は異常なほど長い時間水面を動き続けることがわかり、このことから新しいエネルギー変換の仕組みを見出すことができた。

ちなみに、冒頭のキーワードとして自己組織化を挙げているが、DPA は自己集合体を作る能力が非常に高い。TEM などの観察により(図 2)、DPA は水面に放出されるとすぐに再結晶化することが明らかになった。

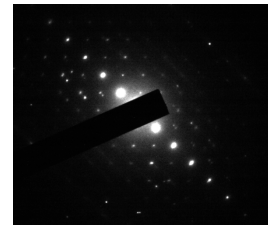
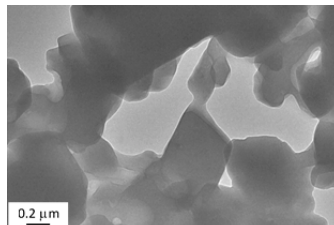


図 2 水面から採取された DPA 結晶の TEM 像(左)と電子線回折像(右)。

この時、結晶は 1 μm ほどに成長する。分子の大きさを 1 nm とすれば、1 μm

の立方体の結晶の中には、 10^9 個の分子が含まれるが、水面を占める面積は $1\mu\text{m}$ 四方なので 10^6 個分しかない。もし、結晶化が起こらず、放出された分子がそのまま分子 1 枚の厚みの単分子膜として水面を覆うならば、結晶のサイズの 1000 倍もの広い

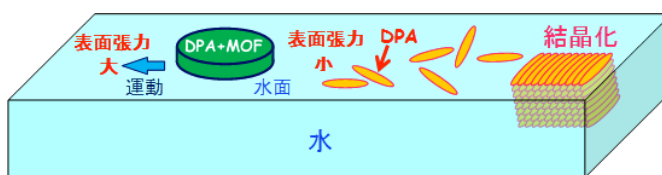


図3 水面での DPA-MOF 複合体の運動と DPA 分子の結晶化の模式図。

面積の水面が分子によって覆われてしまう。しかし、結晶化が起こると、水面は長時間清浄な状態が保たれる。したがって、DPA が放出されたときに、DPA が吸着する余地が残されていて、水の表面張力の勾配も維持でき、運動が継続される。つまり、この運動には、DPA 分子による表面張力の低下と結晶化の 2 つの段階が含まれるため、エネルギーの変換効率が非常に高くなり、長時間運動が観測されたというわけである。このモーターは、マイクロ発電システム⁽⁵⁾や、走化性モーター⁽⁶⁾などへの応用も可能で、新しいタイプの化学モーターとしても興味深い。

従来、自己組織化（ここでは主に分子の自己集合化）の研究は、集合体を作る方法や、得られた集合体の利用法についての研究が主であった。本研究では、エネルギーを取り出すための手段として自己組織化を用いた。最近、我々は、化学反応や触媒の研究でも、分子の自己組織化による系のエネルギーの低下を利用して、反応の解析に役立てることを報告しており、自己組織化現象の応用範囲を広げつつある。⁽⁷⁻⁹⁾

【磁場と光を用いた物体の非接触操作】

次に紹介するのが磁場と光を用いて物体を動かす技術である。ここで扱われる物体は強磁性体ではない。つまり、最初に紹介したような「クリップを使って物体を動かす話」とは大きく異なる。ここで扱う反磁性や常磁性の物質は、磁化率の大きさが非常に小さく、普通の永久磁石を近づけても、磁場への応答を観察するのはほぼ不可能と言っていい。とはいえ、そのような物質でもわずかながら磁場に応答する。1991 年⁽¹⁰⁾にはフランスの E. Beaunon と R. Tournier が、27 T もの強磁場を発生しうるハイブリッド磁石を用いて水を磁場で浮かすことに成功した。しかし、水のように比較的反磁性の強い物質でも、市販の超伝導磁石で磁気浮上を実現するのは通常不可能である。その困難を打ち破る手法として、我々は磁気アルキメデス効果⁽¹¹⁾を提唱し、磁氣的な浮力を導入すれば弱い磁場空間でも磁気浮上が可能であることを明らかにした。このことにより、磁気浮上技術は世界に普及し、特に Harvard 大学の G. M. Whitesides らの研究室では、様々な磁気浮上の応用技術が永久磁石を使った磁気浮上装置で実現されている。⁽¹²⁻¹⁴⁾

磁気浮上の特徴は、浮上位置が物体の密度と磁化率で一意的に決まっていることで、このことが磁気分離や反応プロセスの解析を可能にした。しかしながら、浮上位置の変化を受動的な立場で解析することはできても、能動的に位置を変えることは私の知る限りほとんどない。そのような中で、2014 年に Harvard 大学の Subramaniam⁽¹⁵⁾らが、浮上した物体を能動的に非接触で動かすことができることを実証した。彼らは、磁石をもう一つ持っていて、浮上位置周辺の磁場分布を変調して物体を動かしている。この技術は、複数の物体が

同じ環境下であれば、それらはすべて動くことを意味する。したがって、ある特定の物体だけを動かすのは不可能である。

一方、レーザーを使った光ピンセット技術は、すでに市販されているものがあり、マイクロメートル程度のものを集光したレーザーを用いて非接触で動かすことができる。この技術は、複数ある中でも特定の物体のみをピックアップできるという利点があり、細胞を操作するような場面では非常に有用な技術であると考えられる。ただし、レーザーを集光する必要があるため、物体にダメージを与える可能性がある、また、基本的に顕微鏡下でしか扱えない、というデメリットもある。

これらをまとめると、磁場は広い空間で使える利点があるが、変調できる領域も広範囲となってしまう、複数物体の中から個別に物体を扱うことは難しい。一方で、光ピンセットは、微小領域で光強度を変調することによって個別に物体を操作することができるという利点を持つが、広い空間を扱うことを苦手としている。そこで、この両者を組み合わせれば、広い空間で個別に物体を非接触で操作することが可能になるのではないかと考えた。

我々は、光によって磁性が変化する光磁性材料を利用することで、物体の操作ができると考えた。すでに、プルシアンブルーの微粒子に波長 532 nm のパルスレーザーを照射することでフェリ磁性を発現させて磁性変化を起こすことができることが知られており、磁場中でプルシアンブルーの粒子の運動制御についての報告⁽¹⁵⁾がある。ただし、室温では非可逆的な変化しか得られない。一般に、光磁性材料は低温での磁性制御はよく知られているものの、室温で大きな磁性変化があるものはあまりなさそうである。これは、数 T の磁場中でも電子のゼーマンエネルギーが室温の熱エネルギーに比べて非常に小さいことから理解できる。そこで、我々は他の光磁性材料として蓄光材料に着目した。

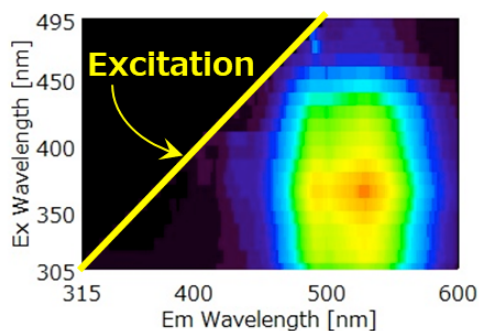


図 4 様々な波長(黄色の線)で励起したときの発光スペクトルのマッピング。

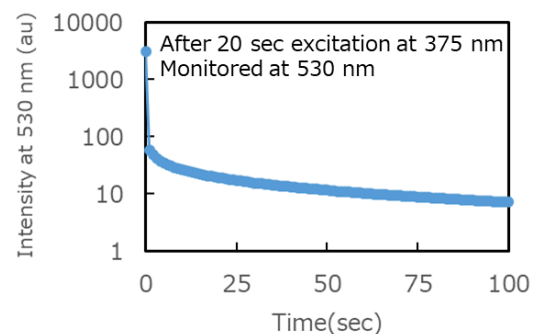


図 5 375 nm で 20 秒間励起した後の 530 nm の光の発光強度の時間変化。

蓄光材料を光励起するとその状態が非常に長時間保持されるため、発光が長時間観察される。我々は、市販品である SrAl_2O_4 や $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ に 1% 程度含まれている Eu に着目した。図 4 は様々な波長の光で $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$ を励起したときの発光スペクトルで、図 5 は、同材料を波長 375 nm の励起光で 20 秒照射した後、波長 530 nm の光の発光強度の時間変化を表したものである。最初の数秒で、発光強度は 100 分の 1 ほどに減少するが、その後はあまり変化せず残光が観測される。材料に含まれている Eu には、価数の異なる 2 種類のイオン、 Eu^{2+} と Eu^{3+} 、が存在し、各イオンの持つ磁気モーメントは、それぞれ $8.0 \mu_B$ と $3.4 \mu_B$ である。

SrAl_2O_4 を光励起すると、この二つのイオンの濃度が変化し、基底状態よりも励起状態の方がより反磁性的になることが予想される。また、図 5 にあるように蓄光材料の励起状態の寿命は非常に長いため、基底状態と励起状態では時間的に有意に差が現れると予想される。

実験では、蓄光材料を一旦磁気浮上させ、その後、光照射の ON と OFF を交互に繰り返して、試料内部の磁性変化に伴う物体の位置変化の観測に取り組んだ。試料は、 $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu,Dy,B}$ の粉末を光硬化性のアクリル樹脂中に埋包させたもので、蓄光材料と樹脂の重量比が 2 である。この試料片（ $\sim 2\text{ mm}$ ）を 47.3 g/L の GdCl_3 水溶液に入れ、NIMS にあるヘリウムフリーの超伝導磁石(垂直室温ボア、直径 100 mm)の中で磁気浮上状態を実現させた。物体の浮上位置が物体の磁性変化に対して最も敏感に応答する場所は、磁場と磁場勾配の積(BdB/dz)の大きさが最大となる場所であり、その場所に光照射前の物体が磁気浮上するように中心磁場強度を設定した($B=12.54\text{ T}$)。光照射には、中心波長 375 nm の LED を用い、20 秒間照射 (ON) 後に 60 秒間切る(OFF)というプログラムを 30 回繰り返した。図 6 は、ボア中に入れた試料を水平方向からビデオ撮影したものの各時間におけるスナップショットである。撮影のため、中心波長 630 nm の LED は常時点灯した状態にある。この結果から、光を照射すると、磁場強度が弱いところに向かって試料片は動き、光を切ると徐々に元に戻ろうとする様子がわかる。注目すべき点は、試料の発光が光を切った後も続いていることで、このことが、試料が元の位置に戻るスピードを遅くしていることになる。光を再び ON にすると、試料は再び上昇し始める。この過程は何度でも繰り返され、図 7 にあるように、可逆的な運動が見られる。

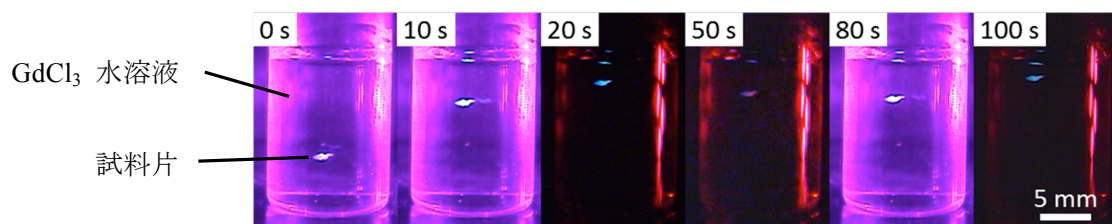


図 6 光励起 ON(20 秒)と OFF(60 秒)の繰り返しによる蓄光材料の位置変化の様子。磁場中心は写真の下およそ 150 mm の位置にあり、磁場強度は 12.54 T 。

運動の細かい様子は、まだ解析を終えていないが、これを細かく解析することによって、励起/緩和と運動の関係を定量的に議論できるはずである。本稿では、一つのサンプルの話しかしていないが、今回紹介した光による磁性制御は、他の物質でも可能である。また、この技術を制御するパラメーターは非常に豊富で、光の強度や波長、励起のための照射時間、試料の Eu ドープ量、など多くの物性値を変えることができる。また、サンプル自体も柔らかいゲルや、異種物質が混在したサンプルなどを用意することができるので、浮上物体を非接触で曲げたり伸ばしたりすることが可能で

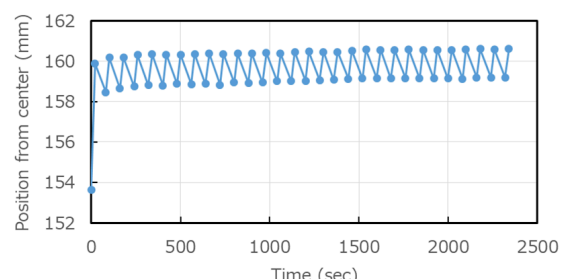


図 7 光の ON(20 秒)と OFF(60 秒)の繰り返しによる蓄光材料の位置変化の様子をプロットとしたもの。このグラフ中では ON と OFF の切り替え時の位置データを直線結んでいるのが、実際の途中の運動は直線的ではない。

あろう。人間の手のような動きをするソフトマテリアルを作ることでもできそうである。いずれにしても、我々の常識である「触って動かす」という思い込みを捨てると、多くの有効な使い方が生まれてきそうな新技術である。

【謝辞】

本稿の内容は、松井宏教授（コーネル大学）、北川進教授（京都大学）、植村卓史准教授（京都大学）、廣田憲之氏（NIMS）、大澤正久教授（日本工業大学）らとの共同研究、ならびに日本工業大学大学院生の岡野佑亮君と種部千遥さんの研究によるものです。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 61K05006 の助成を受けて行われました。ここに深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- (1) M. M. Hanczyc, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 9386-9391 (2007).
- (2) R. F. Ismagilov, et al., *Angew. Chem.* **114**, 674-676 (2002).
- (3) W. F. Paxton, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 9386-9391 (2007).
- (4) Y. Ikezoe, et al., *Nat. Mater.*, **11**, 1081-1085 (2012).
- (5) Y. Ikezoe, et al., *Adv. Mater.*, **27**, 288-291 (2015).
- (6) Y. Ikezoe, et al., *Nano Letters*, **15**, No. 6, 4019-4023 (2015)
- (7) Y. Maeda, et al., *PLoS ONE*, **11**, No. 4, e0153700 (2016)
- (8) Y. Maeda, et al., *ChemNanoMat*, **2**, No. 5, 419-422 (2016)
- (9) Y. Ikezoe, et al., *ChemNanoMat*, **1**, No. 5, 319-323 (2015)
- (10) E. Beaugnon & R. Tournier: *Nature*, **349**, 470 (1991)
- (11) Y. Ikezoe, *Nature*, **393**, 749-750 (1998)
- (12) A. Winkleman et al., *Anal. Chem.* **79**, 6542-6550 (2007)
- (13) K. A. Mirica et al., *Adv. Mater.* **23**, 4134-4140 (2011)
- (14) J. W. Hennek et al., *Adv. Mater.*, **27**, 1587-1592 (2015)
- (15) A. B. Subramaniam, et al., *Proc. Nat. Acad. Sci.* **111**, 12980-12985 (2014)
- (16) M. Suwa and H. Watarai, *STAM* 1656-1657 (2004)

鉄基合金の α - γ 相変態およびセメンタイト析出

に及ぼす磁場効果

大阪大学 寺井智之、山本祐義、福田隆、佐藤和則、掛下知行、井藤幹夫
新日鐵住金 米村光治
京都大学 堀井滋

固相変態は変態過程の拡散の有無により、無拡散変態（マルテンサイト変態）および拡散変態の2つに大別できる。このうちマルテンサイト変態については磁場の印加が変態温度、カイネティクスならびに変態により生じる組織に与える影響について系統的な研究が行われてきた^(1,2)。一方、マルテンサイト変態と比べて拡散変態に関する研究は非常に少ない。これは高温において拡散変態に影響を与えるだけの十分強い磁場(~10T)を印加できる実験環境が容易に利用できなかったためである。

ところで鋼を初めとする鉄基合金は強磁性を示すことが知られているが、そのキュリー温度が高く、また自発磁化が大きいため磁場印加が拡散変態に及ぼす影響を調べるのに適しており、これまでも大塚ら⁽³⁾によりマンガン鋼などを用いた先駆的な研究が行われている。これらの研究ではキュリー温度直下における磁場印加により α 相の生成量が増加することなどが報告されている。しかしながら、 α - γ 相変態温度に及ぼす磁場効果については実験的な報告がなく、さらに析出など長範囲の拡散および組成の変化を伴う拡散変態に及ぼす磁場効果についても研究がほとんどなされていない。

そこで著者らのグループでは鉄基合金(Fe-Rh, Fe-C)を用いて α - γ 相変態温度と印加磁場の関係および α 相からのセメンタイト(Fe_3C , θ 相)析出に及ぼす磁場効果について研究を行ってきた。そのうちのいくつかについて報告する。

Fe-Rh 合金は Rh 組成が増加するにつれて α - γ 相変態温度が低下するが、キュリー温度は

ほぼ一定であることが知られている。この合金に磁場を印加すると低温相および高温相の磁性により、相変態温度の磁場依存性が変化する。Figure 1 は Fe-Rh(2, 5, 10at.%Rh)合金の α - γ 相変態($\gamma \rightarrow \alpha$ 正変態および $\alpha \rightarrow \gamma$ 逆変態)温度の磁場依存性を示している。図からわかるように、Fig.1(a)-(c)の変態温度は印加磁場の2乗に比例、Fig.1(d)-(f)のそれらは印加磁場に比例して上昇しているように見える。これらの合金の各相の磁性

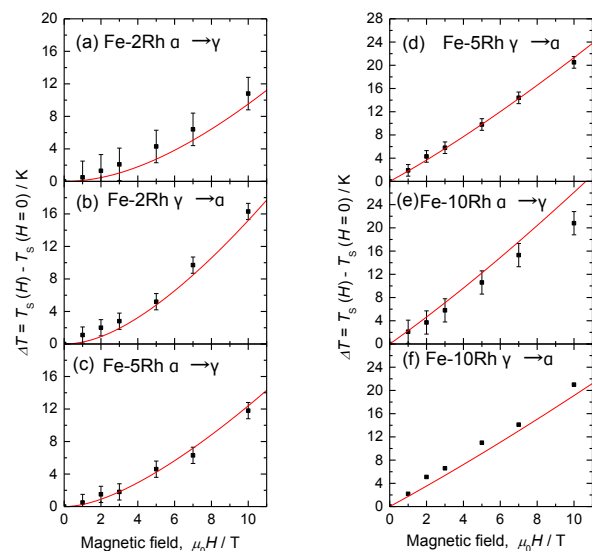


Fig. 1. Fe-Rh 合金の α - γ 相変態温度の磁場依存性.

を比較すると Fig.1(a)-(c)は α 相および γ 相がいずれも常磁性を示しているが、Fig.1(d)-(f)は γ 相が常磁性、 α 相が強磁性を示している。このことから、Fe-Rh 合金の α - γ 相変態温度は主に α 相の静磁エネルギーに依存することが示唆される。そこで、10T 以下の磁場下において相変態の駆動力およびエントロピー変化を一定と仮定し、クラジウス-クラペイロンの式をもとに変態温度の変化 ΔT を評価する式を

$$\Delta T = - \frac{\int_0^H \Delta M dH}{\Delta S} \quad (1)$$

としてその値を求める。ここで ΔM は α 相および γ 相の磁化の差、 ΔS は変態潜熱を変態温度で割った値である。VSM および DSC 測定より ΔM および無磁場における潜熱を求め、(1) 式より ΔT を求めた結果を Fig.1 に実線で示した。図からわかるように実験値を非常によく再現できることがわかる。このことより Fig.1(a)-(c)と(d)-(f)の磁場依存性の違いは ΔM の磁場依存性の違い、すなわち常磁性相の静磁エネルギーが磁場の 2 乗に比例、強磁性相の静磁エネルギーが磁場に比例することのみで説明できることがわかった。

次に、組成の変化を伴う長範囲の拡散がある場合の磁場効果について調査した。Fe-C 合金の炭素過飽和 α 相に熱処理を施すとセメンタイトが析出することが知られている。セメンタイトは鋼中に析出するもっとも一般的な炭化物であり、強磁性を示すことが古くから知られている⁽⁴⁾。しかしながら、セメンタイトは準安定相であり単結晶を育成することが困難であるため、その磁性に関する正確な物性値については明確にされていない。そこで、磁気科学的な手法を用いてセメンタイトの擬単結晶を作製し、その物性値を求めた。

まず、Fe-0.8 mass% C 合金の徐冷熱処理より析出したセメンタイトを電解析出により抽出してその粉末を粉碎後、樹脂(アラルダイト)と混練し、木村ら⁽⁵⁾の手法を用いて回転磁場下において擬単結晶を作製した。得られた擬単結晶を X 線回折によ

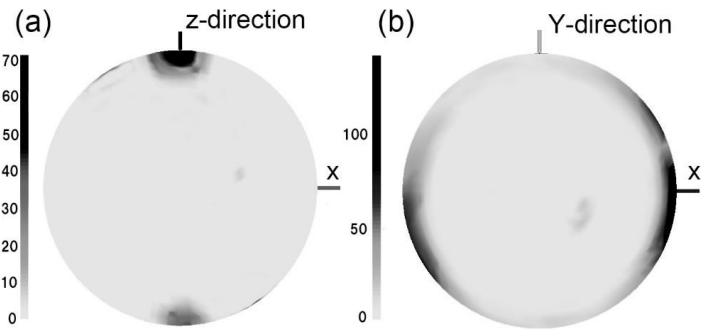


Fig. 2. (a) (200)*および(b) (002)*回折斑点の極点図.

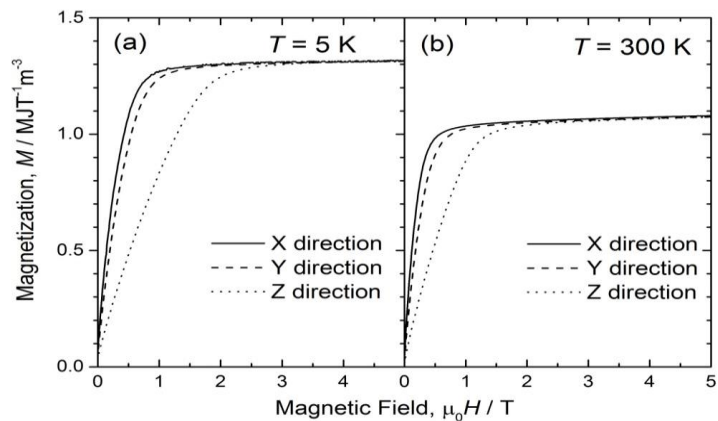


Fig. 3. (a)5K および(b)300K における磁化曲線.

り、(200)*および(002)*回折斑点の極点図を作成すると Fig.2 に示すとおりになった。図からわかるように、(200)*および(002)*回折斑点の強度分布はそれぞれ z 方向(回転磁場に垂直な方向)および x 方向(回転磁場の一時停止方向)に強いピークを持つことからセメンタイトの a 軸および c 軸がそれぞれ磁化困難軸および磁化容易軸であることならびに斜方晶構造の 3 軸が配向した擬単結晶が作製されていることがわかる。さらに擬単結晶を用いて磁化曲線を測定すると Fig.3 のようになった。図からわかるように、 x , y , z 方向の磁化曲線に差異が見られることがわかる。ここで x 方向および z 方向に a 軸および c 軸が完全に配向していると仮定して磁気異方性エネルギーを求めると $334 \pm 20 \text{ kJ/m}^3$ ($T = 5 \text{ K}$) となり、hcp-Co や MnBi の約 1/2、Ba フェライトなどと同程度になることが分かった。また、アロットプロットよりキュリー温度は 484 K 、自発磁化は 1.30 MJ/Tm^3 ($T = 5 \text{ K}$, Fe 1 原子辺り $1.80 \mu_B$) であることが明らかになった。

最後に上述の実験より得られた知見をもとに、炭素過飽和 α 相からのセメンタイト析出に及ぼす磁場効果について調査した。まず、ひずみ焼鈍法により Fe-0.01 mass%C 合金単結晶を作製して 1073 K にて 2h 溶体化処理を施したのち氷水焼き入れを行い、その後キュリー温度直下の 473 K においてそれぞれ $[111]_\alpha$ (α は α 相を示す) 方向(試料 I)と $[110]_\alpha$ 方向(試料 II)に 7 T の磁場を印加しながら 24h 等温保持を行った。ここで $[111]_\alpha$ 方向は析出し得る 12 通りのセメンタイトバリエーション(V1~V12)のうち、2 つのバリエーション(V2, V3)が磁化困難軸 $[100]_\theta$ (θ はセメンタイトを示す) かつ針状成長方向と平行関係になる。一方、 $[110]_\alpha$ 方向は 2 つのバリエーション(V4, V10)の磁化容易軸 $[001]_\theta$ が平行関係になる。磁場中および比較のため無磁場下にて析出した場合の熱処理後の

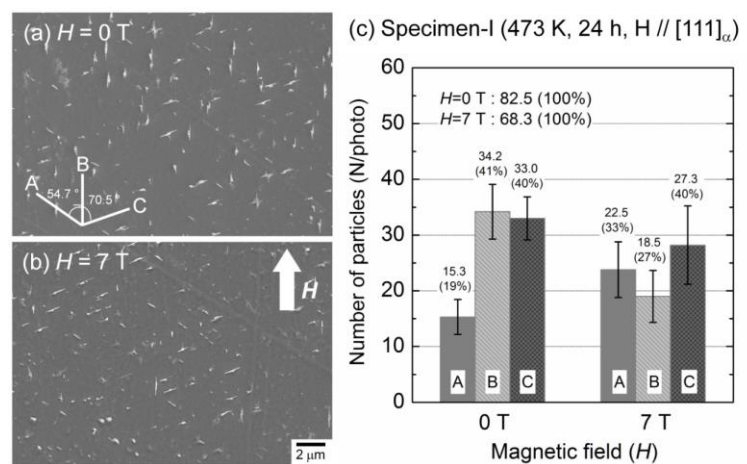


Fig. 4. (a) 0T および(b) 7T で熱処理後の試料 I 表面の SEM 像。

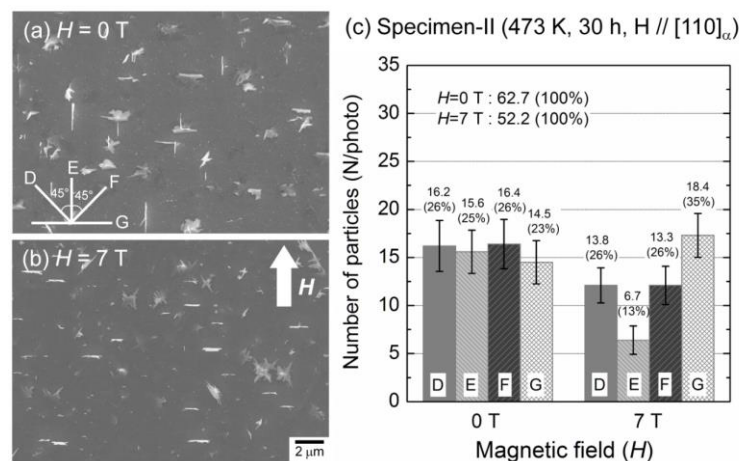


Fig. 5. (a) 0T および(b) 7T で熱処理後の試料 II 表面の SEM 像。

試料表面の SEM 像をそれぞれ Fig.4 ($H // [111]_\alpha$) および Fig.5 ($H // [110]_\alpha$) に示した。また、合わせて 12 通りのバリエーションと $[110]_\alpha$ および $[001]_\theta$ 方向がなす角度 θ_1, θ_2 ならびに SEM 写真上に示したトレース A-G との対応関係を Table 1 に示した。Figure 4 からわかるよ

うに磁場の印加によりトレース A に平行なセメンタイトの析出量が増加し、トレース B のそれは減少している。また、Figure 5 より明らかにトレース E に平行なセメンタイトの析出量が減少していることがわかる。これらのトレース A, B および E に対応するバリエーションと θ_1 および θ_2 の値を見ると磁場の印加により θ_2 の値が小さく、 θ_1 の値が大きいバリエーションの析出割合が増加していることがわかる。このことは磁場の印加により針状セメンタイトは反磁場による形状磁気異方性エネルギーよりも結晶磁気異方性エネルギーを低下させるバリエーションが優先的に析出していることを示している。

Table 1. 析出するセメンタイトバリエーション(V1-V12)と α 相の結晶方位関係ならびに(110) $_{\alpha}$, および(001) $_{\alpha}$ 面の SEM 像上のトレースの方位関係

Variant	[100] $_{\alpha}$	[010] $_{\alpha}$	[001] $_{\alpha}$	Specimen-I			Specimen-II		
				Trace on (110) $_{\alpha}$, mark	θ_1 (°)	θ_2 (°)	Trace on (001) $_{\alpha}$, mark	θ_1 (°)	θ_2 (°)
V1	[111] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}2]_{\alpha}$	[110] $_{\alpha}$	—	0	90	[110] $_{\alpha}$ E	35.3	90
V2	[111] $_{\alpha}$	$[\bar{2}11]_{\alpha}$	[011] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ B	0	90	[100] $_{\alpha}$ F	35.3	60
V3	[111] $_{\alpha}$	$[\bar{1}21]_{\alpha}$	$[\bar{1}01]_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ B	0	90	$[\bar{0}\bar{1}0]_{\alpha}$ D	35.3	60
V4	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{1}12]_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$	$[001]_{\alpha}$ A	70.5	35.3	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$ G	90	0
V5	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	[121] $_{\alpha}$	$[\bar{1}01]_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ B	70.5	90	$[\bar{0}10]_{\alpha}$ D	90	60
V6	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{2}11]_{\alpha}$	[011] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ C	70.5	35.3	$[\bar{1}00]_{\alpha}$ F	90	60
V7	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	[112] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$	—	70.5	90	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$ E	35.3	90
V8	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{2}11]_{\alpha}$	[011] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ C	70.5	35.3	$[\bar{1}00]_{\alpha}$ F	35.3	60
V9	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{1}21]_{\alpha}$	[101] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ C	70.5	35.3	$[\bar{0}10]_{\alpha}$ D	35.3	60
V10	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}2]_{\alpha}$	[110] $_{\alpha}$	$[001]_{\alpha}$ A	70.5	35.3	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$ G	90	0
V11	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	$[\bar{1}21]_{\alpha}$	[101] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ C	70.5	35.3	$[\bar{0}10]_{\alpha}$ D	90	60
V12	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$	[211] $_{\alpha}$	[011] $_{\alpha}$	$[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$ B	70.5	90	[100] $_{\alpha}$ F	90	60

以上、鉄基合金(Fe-Rh, Fe-C)の α - γ 相変態温度および α 相からのセメンタイト(Fe_3C)析出に及ぼす磁場効果に関する研究より変態温度は静磁エネルギーと比較的平易な式を用いて定量的に評価できること、また、磁場中におけるセメンタイト析出過程では形状磁気異方性エネルギーのみならず結晶磁気異方性エネルギーが重要であることを明らかにした。さらに、回転磁場を用いた擬単結晶の作製手法が従来の反磁性もしくは常磁性を示す高分子およびセラミックスのみならず、粒子の反磁場による影響が非常に大きい強磁性を示す金属材料においても適応可能であることを示した。

参考文献

- (1) T. Kakeshita *et al.*, Mater. Trans. JIM, **34** (1993) 423.
- (2) T. Kakeshita, T. Saburi, K. Kindo, S. Endo, Jpn. J. Appl. Phys., **36** (1997) 7083.
- (3) 許亜, 大塚秀幸, 和田仁, 日本応用磁気学会誌, **24** (2000) 655.
- (4) S. W. J. Smith, W. White and S. G. Barker, Proc. Phys. Soc. London, **24** (1911) 62.
- (5) T. Kimura, F. Kimura, and M. Yoshino, Langmuir, **22** (2006) 3464.