目　次

巻頭言

青年老いやすく学成り難し

埼玉大学　理学部　中林誠一郎

何年か前に、「強磁場下の物質と生体の挙動」という研究グループに加わった事がある。これが御縁で、磁気科学会の末席に名前を連ねているわけだが、たいした仕事をおこなったわけでもないので、いささか据わりが悪い。

そんな事情で、本文は、いわば通りすがりの旅行者の印象録といった素性の文章である。

大昔、高校の物理は、あまり面白くはなかった。必要に迫られて、問題を解く解き方は、身につけたものの、しみじみとした納得感は得られなかった。大学は、判断保留のまま、化学に入った。化学の方が、物理よりも仕事の間口が広いと思ったからである。化学に入ってはみたものの、有機化学がダメだった。なるほど色が変わったり、結晶が出たりの実験は面白かったけれども、背後にあるのであろう理屈がいささか貧弱に見えた。大学１年の当時、面白がったのは、微分方程式などの応用数学だった。

サボり大学生ではあったけれど、易しい力学や電磁気の話を聞いてみると、どうやら現象の記述は、微分方程式で書くらしい事が判った。現象を式に落とし込めれば、あとは、力業で解けばいいらしい事も判ってきた。化学でも、矢印やポチポチだけの世界ではなく、量子力学が背後に控えていて、美しい世界のように思えてきた。

こんな事情で、専門は物理化学を選び、かつ、量子化学はあまりに高級そうだったので自分で太刀打ちできる自信が無く、界面を仕事場として現在にいたる。今では、自分で実験をおこなう事は、ほとんど無いが、卒論以来４半世紀は、装置を作るのが好きだった。けっきょく動かないジャンクもたくさん作ったが、正しく自然の声を拾ってくれる装置ができてデータを纏めてみると、自然は嘘をつかないと実感できて、安心した。当時は、自分の机の 10 メーター周囲が、関心領域で、社会などという概念はなかった。

今から思えば、興味本位に喰い散らかしてきた残滓が論文と言う事なのだろう。磁場は、10T と言っても系に与える効果は少ない。しかしながら、内部までジワッと効くところが電場とは異なる。非線形系など、大数則の破綻する系で、何か面白そうな事はないものかと考えてはみたものの、良い知恵も浮かばず現在にいたる。時々、昔みた黒沢明の映画、「椿三十郎」というのを思い出す。たわいのないスジではあったが、三船敏郎が、渋く「もうすぐ四十郎」と言うのが懐かしい。還暦を身近にして思えば、あの頃はまだ若かったのである。

埼玉大学のような小規模校は、種々の淘汰圧に晒され、若い人でも、昔のような暢気な生活はできない。「昔は良かった」とは、典型的な年よりの繰り言だが、そんな事を言いたい気もする。同時に、未だに統一感のある自然観が持てないマダラボケの頭を、のんびり本でも読んでシャキッとさせたくも思う。

年老いて道遠し。縁あって、この雑文を読んでくれた若手研究者の遊興戒めにでもなれば、望外の幸せである。

第 17 回研究会報告 無機・金属分科会

「磁場と材料組織制御」

大阪大学　植田千秋

無機・金属分科会では、表記タイトルの研究会を、安田秀幸（京都大学)、福田隆（大阪大学)、植田千秋（大阪大学）の各氏を世話人として企画し、2016 年 1 月に大阪大学の材料開発物性記念館において開催しました。当日は、無機金属分野における磁気的効果に関する最新の成果が紹介され、10 名近い大学院生を含む約 30 名の参加者を得て、活発な討論が行われました。

日時：2016 年 1 月 14 日
場所：阪大吹田キャンパス　材料開発・物性記念館

プログラム
13:40～「マルテンサイト変態に及ぼす温度、応力、磁場、静水圧の影響」
掛下知行（大阪大学大学院・工学研究科）
14:30～「希土類系高温超伝導体の磁気異方性と二軸磁場配向」
堀井滋　（京都大学大学院・エネルギー科学研究科）
15:40～「強磁場を利用した軟磁性 Fe 基アモルファス合金の結晶化制御」
小野寺礼尚　（茨城工業高等専門学校・機械システム工学科）

掛下氏は、いまだ未解決であるマルテンサイト変態の機構を解明するのに、外場の作用が重要であることを示し、その中で磁気的効果の研究が解明に大きく寄与したことを紹介しました。堀井氏は、希土類系高温超伝導体の実用化には結晶粒の二軸配向が重要であることを示し、その実現に向けて行なった回転磁場法による研究の成果を報告しました。小野寺氏は、強磁場中で常磁性アモルファス合金から強磁性α-Fe を結晶化させた場合に見出された効果について報告し、さらに磁場による結晶化制御の可能性について紹介しました。
講師の先生方には、各々の専門分野について、初歩的なところから分かりやすく解説していただきましたが、それに呼応して、学生の皆さんから多くの熱心な質問やコメントがあり、この分野の将来に向けて、心強いものを感じることができました。

第 18 回日本磁気科学会研究会

-第 5 回高分子・材料プロセス分科会-　報告

首都大学東京　山登正文

平成 28 年 7 月 15 日（金）に首都大学東京　秋葉原サテライトキャンパスの会議室において第 18 回日本磁気科学研究会-第 5 回高分子・材料プロセス分科会-を実施した．この研究会は高分子・材料プロセス分科会主催の研究会であり，応用物理学会磁気科学研究会との共催で実施した．

研究会の主題は「物質の移動・配列・配向」である．非接触を特徴とする磁気プロセスは磁気トルクによる配向制御や磁気力による物質移動制御などで有効である．今回はシミュレーションから実験系，大学から企業と幅広い分野の方々に最新トピックスについてご講演頂き，材料プロセスへの磁気プロセスの応用について多角的な討論を行うことを目的に主題を設定した．

講師には物質材料機構の岡田秀彦先生，アイシン・コスモス研究所の牛島栄造先生，日本大学の伊掛浩輝先生，徳島大学の森篤史先生といった各分野で精力的にご活躍されている先生方にお願いした．

岡田先生には「流体中の物質の磁気力による運動の研究」というタイトルで，牛島先生には「磁場を使った微粒子配列とその応用」というタイトルで，伊掛先生には「強磁場照射によるポリ乳酸配向フィルムの作製」というタイトルで，森先生には「磁場中調製によるシリカゲル中における構造異方性の発現の解明に向けて」というタイトルでご講演いただいた．いずれのご講演に対して活発な議論が続き，改めて磁気プロセスの有効性について共通理解が深まったとものと思われる．

会場が秋葉原駅前という立地条件もあってか，本研究会は非常に盛会であった．日本磁気科学会会員以外にも多数ご参加いただき，特に企業からの出席者が多かったことも印象的である．今後，磁気プロセスが多くの企業で検討されるきっかけになることを願いたい．

開催報告　第 10 回日本磁気科学会年会

実行委員長（広島大学）　藤原　好恒

記念すべき 10 回目となる 2015 年の日本磁気科学会年会（中国・四国・九州支部担当）は，以下の会期・会場で開催されました。

会期：2015 年 10 月 27 日（火）
会場：信州大学理学部（長野県松本市）

今回は磁気科学研究分野の国際学会である International Conference on Magneto-Science 2015 (ICMS 2015)（10 月 27 日（火）～31 日(土)，長野県松本市，ホテルブエナビスタ松本）が同じく松本市で開催されることになっていたため，多くの方々に両方の学会に参加していただけるように連続する日程での開催となりました。信州大学の皆様には国際学会の運営で大変なところ，本年会開催に多大なお力添えを頂き感謝に堪えません。

例年に比べ本年会への参加者数（52 名）は限られてしまいましたが，素晴らしい自然環境と歴史ロマンあふれる城下町の松本にて例年通り活発な討論ができましたことは，これもひとえに学会役員はじめ会員の皆様，そしてご参加いただきました皆様のお力添えのおかげと感謝しております。

学生ポスター賞には，以下の 2 名の学生さんが受賞されました。

田村零央　氏（名工大院工）
「マイクロチップ分析のための導電性/非導電性二層マイクロフローにおける電磁泳動微粒子フォーカシング」
山田恵理子　氏（広大院理）
「強磁場微小重力環境における麹菌の糖化力向上に関する研究　その３」

一方，以下の先生方の授賞講演が併せて行われました。

優秀学術賞
木村史子　先生　（京都大学）
堀井　滋　先生　（京都大学）
「三軸磁場配向の材料科学への応用と回折法による検証」

功労賞
上野照剛　先生（東京大学名誉教授）
「生体磁気科学分野の創成および学術的貢献」

次回 2016 年の第 11 回年会はつくば市にて開催されることになりましたが，ますます活発な年会となりますことを祈念いたします。

2015年度日本磁気学会MSJとの連携についての報告

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構　杉山 敦史
埼玉県庄和浄水場　森本 良一

日本磁気学会（MSJ）は，創設40年を迎えました．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，青柿代表世話人（職能開発総大，NIMS）の下，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．MSJの磁気･磁性と磁気科学の共有領域の学術講演も増えてきました．このため本年度から強磁場応用専門研究会は他MSJ専門研究会との連携を開始しました．今後のMSJ専門研究会と日本磁気科学会の連携参考として，8つのMSJ専門研究会名を次に列記します．

- ナノマグネティックス専門研究会
- 磁気工学専門研究会
- スピンエレクトロニクス専門研究会
- 化合物新磁性材料専門研究会
- 強磁場応用専門研究会
- 光機能磁性デバイス・材料専門研究会
- エネルギーマグネティックス専門研究会
- 超高感度マイクロ磁気センサ専門研究会

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.magnetics.jp/）を参照ください．また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．

さて，本年も廣田氏（NIMS）の力添えで強磁場応用専門研究会を4回開催しました．次表は4回の講演者と講演タイトルをまとめたものです．第35回は第207回MSJ主催研究会としても開催しました．これら会では，本会メンバーの多くの方のご尽力を頂き，活発な議論が交わされました．

表 1　2015 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	講演者（所属）
第 34 回強磁場応用専門研究会	2016 年 3 月 10 日（早稲田大学研究開発センター）	液-液界面における結晶化に対する強磁場効果	山本 勲（横国大）
		強磁場中コロイド成形による配向セラミックスの作製とその特性	目 義雄（物材機構）
日本磁気学会第 207 回研究会 / 第 35 回強磁場応用専門研究会 / 第 58 磁気工学専門研究会	2016 年 3 月 18 日（早稲田大学研究開発センター）	磁気力による流体中の物質の運動の解析	岡田 秀彦（物材機構）
		磁気分離による水処理の新たな領域開拓の可能性	酒井 保蔵（宇都宮大）
		マイクロフルイドチップのための溶液駆動への磁場利用	青柿 良一（物材機構）
		電気化学における磁気対流と電析への効果	森本 良一（埼玉県庄和浄水場）
		化学反応，溶液構造への磁場効果	若狭 雅信、矢後 友暁（埼玉大）
第 36 回強磁場応用専門研究会	2016 年 3 月 25 日（大阪大学大学院工学研究科 A1 棟）	反磁性マイクロマニピュレーションによる魚類由来グアニン結晶の光反射特性評価	水川 友里（広島大）
		磁場配向微結晶を用いたタンパク質の結晶構造解析	津久井 秀（京大）
第 37 回強磁場応用専門研究会	2016 年 3 月 30 日（大阪大学大学院工学研究科 A1 棟）	藻類の微結晶による異方的光散乱の磁気的解析	宮下 惟人（広大）
		電磁泳動力を利用する液中微粒子分析法の開発	飯國 良規（名工大）
		埼玉県における CEMS 開発説明：電池材料への磁場利用の討議	杉山 敦史（早大）

開催報告　ICMS2015

信州大学　尾関 寿美男
勝木 明夫
浜崎 亜富

The International Conference on Magneto-Science 2015 (ICMS2015) が平成 27 年 10 月 27 日（火）～31 日（金）に長野県松本市のホテルブエナビスタにおいて開催されました。

ICMS は 2005 年に横浜で開催された The International Symposium on Magneto-Science を起源とし、国際会議 The International Conference on Magneto-Science が 2007 年に谷本能文先生をチェアとして広島で開催されました。その後は多くの方がご存知のとおり，2009 年のオランダ（ナイメーヘン），2011 年の中国（上海，西安），2013 年のフランス（ボルドー）と 2 年に一度行われ，今回は 8 年ぶりに日本で開かれました。

ICMS2015 の参加者数は 65 名で、このうち海外からの参加者は 19 名でした。内訳は，日本 46 名、中国 11 名、イギリス 2 名、オランダ 2 名、フランス 2 名、ベルギー1 名、ロシア 1 名でした。講演は Keynote が 7 件、一般口頭発表 27 件，ポスター発表 31 件で、5 日間（うち、初日はウェルカムパーティーのみ）にわたって熱い議論が交わされました。エクスカージョンでは松本市内の酒蔵を訪れたほか、旧中山道の宿場町である奈良井宿では和の雰囲気を味わいました。その後に開催されたバンケットと共に、国際交流を深めるよい機会になったものと思っております。

次回は Chopart 先生をチェアとして、平成 29 年にフランスのランスで開催されます。

ポスターセッションの光景

酒蔵にて

奈良井宿

MAP7 (Providence, USA) 開催報告

物材機構　廣田 憲之

7th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP7)が 2016 年 6 月 15 日(水)から 18 日(土)までの日程でアメリカ合衆国・ロードアイランド州・プロビデンスのブラウン大学にて開催された。

MAP は第 1 回が 2004 年に Tallahassee (FL, USA)で開催され、その後、2006 年 Grenoble (France)、2008 年 Tokyo (Japan) 、2010 年 Atlanta (GA, USA)、2012 年 Autrans (France)、2014 年 Okinawa (Japan)と 2 年ごとに米・仏・日の持ち回りで開催されているもので、同じく隔年で開催されている ICMS(International Conference on Magneto- Science)と比較すると、若干、材料科学や物性物理寄りのトピックスが中心となる。今回は、ブラウン大学の Prof. James Valles がホストとなり、私も Co Director として開催させていただいた。

MAP としては初の 4 日間開催となった今回、口頭講演 27 件、ポスター講演 6 件の研究発表が行われた。比較的ゆとりのある日程であったため、一般口頭講演でも 30 分、招待講演では 45 分の講演時間があり、じっくりと話を聞き、深い議論を行なうことができた。現在もホームページで参加者リストや要旨を閲覧することができるが、そのリストによると、参加者は 34 名。ただし、これは登録・発表を行なった人数で、実際にはブラウン大学からの参加者を含め、おおよそ 40 名程度、日本以外で開催される MAP としては標準的な規模だった。日本からは本会会員を中心にアカンパニーも含めて 23 名と最多で、この分野における日本の貢献度の高さが示された形となった。会期が決まるのが比較的直前だったことで、既に予算計画が固まって身動きの取れなかったフランスは 1 名のみの参加となったのは残念であった一方、近年の MAP や ICMS では Valles さんのみだったアメリカから 5 名の参加があったのは好材料といえた。特に、磁気アルキメデス効果を利用したポータブルな密度測定装置の開発が、いいレベルになっていたのは大変興味深かった。

日本からは 6 名の学生さんが参加してくれていて(他、中国から 1 名)、彼らも会議を大変盛り上げてくれた。小規模な学会で、海外の研究者とも親しく話す機会に恵まれ、学生さんたちにとってもいい経験となったのではないかと思う。そこで、参加してくれた学生さんたちに感想を書いて頂いたので、次ページ以降、50 音順で紹介したい。

最後に、フレンドリーな雰囲気づくりや、ニューポートへのエクスカージョン、ニューイングランド名物のクラムベイクパーティの企画など、ホスピタリティあふれる対応で参加者を楽しませてくれた James Valles さんと、会議を盛り上げて下さったすべての参加者にこの場を借りて深く感謝したい。

MAP7 と狙い

信州大学　大塚　隼人

今年の六月にブラウン大学で開催された MAP7 に参加しました。MAP への参加は一昨年沖縄で開催された MAP6 に続き、二回目の参加でした。ブラウン大学はさすがは Ivy league の大学と思わせる、趣のある建造物が美しい自然の中に並ぶ素敵な大学でした。（かの有名なハリウッド女優のエマ・ワトソンはブラウン大学で学位を取得したそうです。）なかでも中庭の広い芝生で学生たちが読書や歓談している姿が印象的でした。

国際学会で初の口頭発表ということもあり、準備に追われ十分な下調べをせず渡航したため、会場に到着するまで大変な苦労をしました。ボストンに前泊し、朝の電車でプロビデンスに向かい会場を目指したのですが、まさかあんなに駅から遠いとは・・・。到着したころには汗だくでした。少し迷ったこともあり、到着が開始 15 分前であったため、別行動で会場に向かっていた浜崎先生が心配してるのではと思っていたのですが、まさかの会場一番乗りでした。

初日は"Soft materials in high magnetic fields"のセッションから始まり、"Phase formation and crystallization in high magnetic field"のセッションと続き、参加人数は三十名ほどの比較的小規模な会でしたが、朝から激しい議論が繰り広げられました。午前の二つ目のセッションでは自分の発表もあり、緊張はしましたが何とか発表を終えることができました。

学会初日のプログラムを終え、大学で夕食をとったのち、何人かの学生や先生方とホテルマンの勧めで omni hotel 近くの Union Station Brewery という地ビールを提供しているお店に行きました。そこでは約十種類の地ビールがあり、ビールと一緒に一番人気というパン風のプレッツェルを頂きました。お酒を片手に話で盛り上がっているうちに夜も更け、11 時頃にはお開きになり私はお店から歩いて 15 分ほどのホテルへと戻りました。道中キャッチの男性に「呑んでいきませんか」と声をかけられました。翌日も朝から学会があるため誘いを断りその場を後にしたのですが、少し歩いていると先ほどの男性が追いかけてきて、ホテルまで送って行ってくれるとのこと。怪しいとは思いながら断るのも面倒だったので一緒に歩いていました。ホテルに着き、「ありがとう」と別れを告げ、軽いハグをしてお別れかと思いきや、なかなか私を放してくれません。相手を振り払いホテルの部屋へと戻り(笑)。

MAP は昨年松本で行われた ICMS とは扱っているトピックスが少し違い、材料プロセッシングへの磁場の応用をメインに磁場中で起こる新規の現象など、興味深い研究発表が数多くなされました。参加人数こそ多くはなかったものの、少数精鋭で深い議論が行われていました。また遠足では別荘地としても名高いニューポートを訪れ、風光明媚な海岸やヨットが並ぶ港湾などの美しい風景を見たり、Banquet では人生初のロブスターを頂いたりとセッション以外でも楽しみの多い学会でした。

来年は ICMS がフランスで開かれるので、フランスでも国際会議が盛大に行われることを期待し、皆様にお会いできるのを楽しみにしています。

MAP7 の思い出

横浜国立大学　尾野藤哲也

MAP7 に参加して早くも数ヶ月､思い返すと会期中は英語でのやりとりが多かったので、発表することだけでなく、発表を聞くだけでも一杯一杯な状態だったなと感じています。書いておいたメモを見直すと、自分の発表に対していろんな観点から意見や改善点を頂けていて、現在進めている実験に深く関係している事柄も多く、参加して本当によかったと思います。一つ心残りなこととして、せっかく多岐にわたる研究分野の方がいらっしゃっていたので、ただ参加するだけでなく議論に加わるかたちで参加できればよかったです。

発表以外の時間では海外に行くこと自体が初めてでしたので、とにかくなにをするにしても新鮮で楽しいことばかりでした。行く先々でお土産を購入したことは良い思い出です。特にブラウン大学の購買で購入したマウンテンパーカーは今でもお気に入りです。

初めての国際学会

鹿児島大学小山・三井研究室　小林　領太

私にとって MAP7 は初めての国際学会でした。そして初めてのオーラル発表が国際学会ということもありとても緊張しました。英語で自分の伝えたいことがどこまで伝わるか、また質問の内容を聞き取れるかなど、多くの不安の中自分の発表の順番になりました。正直なところ自分の発表までの発表は全く頭に入りませんでした。そして実際、発表してみて、質問を全く聞き取れないことと質問の内容に答えるだけの語彙力が無いことを痛感しました。しかし、多くの方々の助けもあり、なんとか無事発表することができました。２週間前にオーラル発表ということを知り、ポスター発表だと勝手に思っていた自分にとっては非常に驚きましたが人数が少ないということもあり､M１ではなかなか経験できない国際学会でのオーラル発表ができたのは本当にいい経験になりました。多くの先生方や学生

て非常に有効な議論ができました。また研究に対するモチベーションの向上につながりました。磁場を用いて、自分たちとは違う分野の研究の発表もあり、普段はあまり他分野の

研究を聞く機会が少ないためとても新鮮でした。そして Excursion ではたくさんの別荘や観光地をまわり日本とは違った文化に触れる機会にもなりました。学会を通して勉学だけでなく多くのことを学べました。次の機会があれば参加したいです。

挑戦を終えて

横浜国立大学　千葉　能久

私は国内の学会にも参加したことがなく、MAP7 が学外への初めての発表の場でした。ですので、MAP7 への参加は私にとって挑戦でした。MAP7 に参加する前、実験や発表練習、授業を休ませていただく際の手続きや課題、参加させて頂いている最中も、英語での会話や発表、討論など慣れていなく大変なことはたくさんありました。しかし、国際会議で発表を行うという大変貴重な経験をさせていただき、MAP7 をやり遂げたことが現在の自分の自信になり、その後行われている様々な発表の場を乗り越える支えとなっております。

特に私はポスター発表だったので、多くの研究者の方々と自分の研究結果について討論することができ、自分の足りない実験や考察を浮き彫りにすることができました。出てきた課題を基に現在も実験を行っています。会議自体では、今回は参加している人数が少ないためか一人当たりの時間が長く、研究をより深く理解することができましたが、できればもっと多くの人に参加していただいて、もっと多くの研究内容を知りたかったです。発表の中でもやはり同じ分野を研究している他大の同世代の学生達の発表は、大変刺激になりました。研究発表以外でも、ニューポートへの観光やバンケットなど和やかな雰囲気でとても楽しませていただきました。他大学や研究所で働かれている方に自分の将来の進路についての相談にものっていただき、貴重なご意見を伺うことができました。

修士 1 年という早い時期に国際会議に参加させていただき、世界の研究者の方々と討論をさせていただけたことは、今後の研究するうえで大変貴重な経験になりました。今後も研究を続け、また機会があればぜひ参加させて頂きたいです。

MAP7

日本大学大学院　中山　麗

MAP7 は, 私にとって初めて 1 人で参加した国際学会でした. アメリカ本土に行くことや, 飛行機の乗り継ぎもはじめてのことでしたので，緊張していたなと今でも思い返します.

いつも参加している学会とは異なり，MAP7 では学会会場が 1 会場のみであることから，全ての講演を拝聴でき，また，参加人数も比較的少なく，そのため，発表時間内で議論が満足に終わらない場合も，休憩時等に再び議論を行う場面が多々みられたような気が致します．大きな学会では，“発表時間を乗り切れば終わり”というような発表ケースも多くみられるため，まだまだ知識が足りない私にとってそのような貴重な討論の場を頂けたことは今後の自分自身の研究への励みに繋がりました.

最後に，１人で参加するにあたり，お世話になりました首都大学東京の山登先生，物質・材料研究機構の廣田先生をはじめとする日本磁気科学会の先生方，また MAP7 に参加された全ての方々に感謝致します．本当にありがとうございました.

MAP7 参加の感想

広島大学　博士課程後期 1 年　針田光

2016 年 6 月 15 日～18 日にアメリカ･ブラウン大学で開催された MAP7 に参加しました。私自身，国際会議は 2014 年の MAP6（沖縄）と 2015 年の ICMS（松本）に参加したこともあり，3 度目の参加となりました。当初，同行する予定であった先生が行けなくる，発表前に発表用のポスターを紛失するなどのハプニングに見舞われましたが，学会に参加した多くの方々に助けられ，無事発表することができました。

今回の会議の印象としては，思っていたより小規模で驚きました。また，参加者の大部分が日本人で食事の席で飛び交う言語も日本語とアメリカにいるにもかかわらずホームにいるような気分でした。あらためて，磁気科学という分野が日本で盛んに研究されているということを実感しました。そして，私がアメリカに滞在している間は天候も穏やかで Excursion で訪れたニューポートも非常に楽しかったです。しかし，その一方で英語力不足を実感する場面も多々あり，自身の勉強不足を痛感しました。

私自身英語圏へ行くことが初めてだったこともあり，良いことも悪いことも含めて非常に貴重な経験をすることができたと思います。あらためて，現地でお世話になった方々に御礼申し上げます。

開催案内　第11回日本磁気科学会年会

実行委員長　（物質・材料研究機構）　目　義雄

第1回年会を物質･材料研究機構で開催以来10年が経過しました。10周年を記念として、海外からの 5 名を加え、歴代の会長と本年度の学会賞受賞者とで、国際会議も併催することにしました。開催場所は、第1回と同じ場所、物質・材料研究機構（NIMS）千現地区第一会議室　(茨城現つくば市)です。千現地区は、つくば TX のつくば駅から徒歩でも 15 分の距離です。

NIMS は、金属材料研究所と無機材料研究所が合併して、15 年前に出来た国立研究開発法人です。本年は、前者が設立されてから60年、後者が50年、そして本年10月より理研、産総研とともに特定研究開発法人に選定され、NIMSにとっても記念の年に当たります。

年会では、22 件の口頭発表と 37 件のポスター発表、国際会議では 12 件の招待講演があります。プログラムは、次のように予定しています。多くの方の参加をお願いするとともに、発表と活発な質疑を通し、世界唯一の強磁場に関する学会である日本磁気科学会が、その成果と技術の将来を世界に発信し続けて行くことを祈念しています。

11 月 15 日(火)
9:20-12:20　年会口頭発表
13:20-15:00　年会口頭発表
15:20-17:20　ポスター発表（ポスター掲示は翌日も）
17:30-18:30　理事会
19:00-21:00　国際会議 Welcome Reception　(＠カフェベルガ)
11 月 16 日(水)
9:00-12:00　年会口頭発表
13:00-16:30　国際会議招待講演
16:40-17:00　表彰式
17:00-18:00　総会
18:30-20:30　Banquet　(＠レスポワール)
11 月 17 日（木）
9:00-12:00　国際会議招待講演
Closing Remark
13:00-15:30　第 19 回研究会 (有機・バイオ分科会)「細胞・生体と磁気」
15:30-16:00　表彰式 ＆ 閉会セレモニー

開催案内　第 19 回研究会（有機・バイオ分科会）

世話人（広島大学）　藤原　好恒

2016 年の第 19 回研究会（有機・バイオ分科会）は第 11 回日本磁気科学会年会（2016 年 11 月 15 日（火）～17 日（木），物質･材料研究機構（茨城県つくば市））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。参加費は無料となっています。

第 19 回研究会（有機・バイオ分科会）
「細胞・生体と磁気」
会期：2016 年 11 月 17 日（木）13:00～15:30
会場：物質･材料研究機構（茨城県つくば市）
　　　第 11 回日本磁気科学会年会開催会場
講師，演題およびタイムスケジュール：
　　13:00-13:05　開会の挨拶　(世話人・座長：藤原好恒)
　　13:05-13:50　櫻井智徳　先生（岐阜医療科学大学）
　　　　　　　　「培養細胞に見られる強定常磁場の作用」
　　（交代・休憩時間 5 分）
　　13:55-14:40　前田公憲　先生（埼玉大学）
　　　　　　　　「動物の磁気感受と分子システムの磁場効果」
　　（交代・休憩時間 5 分）
　　14:45-15:30　樋脇　治　先生（広島市立大学）
　　　　　　　　「経頭蓋磁気刺激における刺激部位推定システムの開発と
　　　　　　　　　経頭蓋磁気刺激を用いた脳機能ダイナミクスの解明」

最近の日本磁気科学会年会では細胞・生体を用いたあるいはそれらに関連した研究報告が以前よりは少なくなった感があります。しかしながら，人類は必ず地球外環境で長期にわたり生活し，そしてやがて世代交代までも行う時代がそれほど遠くないところに来ていると考えます。地球外環境は，磁気の強度・種類・分布などが地球のそれと異なることが大いに考えられ，その場合に現れる細胞・生体に及ぼす影響・効果そしてそれらを応用に用いることは，研究対象として重要であり興味が尽きません。

そこで，積極的にそして継続して細胞・生体に対する磁気の影響・効果・応用に関わってこられ，大変興味深い成果を報告されてきている研究者の方々に話題を提供していただきたく，このたびの研究会を開催する運びとなりました。他にも大変興味深い研究をされている研究者のお話も併せて拝聴すべきところですが，限られた会期枠の中での開催ゆえにご容赦ください。是非多くの方々にご参加いただければ幸いです。

ICMS2017 開催日程決定！ 2017 年 10 月 23－27 日

物材機構　廣田 憲之

International Conference on Magneto-Science が2017年10月23日(月)から27日(金)までの日程でフランス・ランス(Reims)において開催されることとなりました。

多くの方がご存知と思いますが、2年に一度開催される磁気科学分野最大のこの国際会議のルーツは日本にあります。2005年に横浜で開催されたInternational Symposium on Magneto-Scienceを起源とし、2007年に広島で開催された会議で現在の名称へ変更、この時に谷本能文先生をチェアとするInternational Organizing Committeeが組織されたことにより隔年で継続的に開催することになったものです。その後は、2009年 Nijmegen、2011年 上海・西安、2013年Bordeauxを経て、2015年は尾関寿美男先生がチェアを務められ松本で開催されました。来年はランス大学のJean-Paul Chopartさんをチェアとして、再びフランスで開催されます。

開催場所は、市街地の中心部、過去にはフランス王の戴冠式に使用され、現在は世界遺産になっている大聖堂の隣にあるPalais du Tauという施設です。ぜひこの機会に、歴史ある美しい街であるとともに、シャンパーニュの都としても知られるランスで世界の磁気科学研究者と交流を深め、最新の情報を収集しませんか？

ホームページが開設されましたら、会員メーリングリストでお知らせします。

タンパク質結晶と磁場配向

京大院農　木村史子

タンパク質の機能特に酵素の働きを理解するためにはその 3 次元構造（立体構造）を知る必要がある。酵素の立体構造が分かれば酵素の活性部位の構造が分かり、活性部位（鍵穴）に鍵と鍵穴の関係でフィットするような分子（鍵）を合成することができる、あるいは既に存在する分子から検索することもできる。そのようにして得られた分子を用いれば、酵素の働きを阻害する薬を開発することが可能になる。このように、タンパク質の構造解析は医学、薬学特に創薬分野で非常に重要である。

タンパク質の構造を知る方法には、液体 NMR 法、X線結晶解析、中性子結晶解析及びクライオ電子顕微鏡法（cryo-EM）[1-2]がある。液体 NMR 法では、タンパク質は溶液状態で測定するので、結晶化が必要でない。しかし、分子量が 2 万程度以下の小さなタンパク質しか構造解析できない。一方、X線結晶構造解析では分子量 100 万程度までの大きなタンパク質の構造解析が可能である。一般的には、in-house の X 線回折装置を用いれば 50 μm 程度の大きさの結晶から、放射光を用いれば 20～30 μm 位の大きさの結晶から X 線結晶構造解析を行うことができる。放射光施設の X 線自由レーザー（X-ray Free Electron Laser）を用いれば 5 μm 程度の小さな結晶から結晶構造解析が可能である。一方、中性子結晶構造解析では X 線構造解析より大きい mm オーダの結晶[3]が必要である。このように X 線や中性子線を用いた構造解析にはタンパク質の結晶化が必須であるが、cryo-EM については結晶が必要でない点では液体 NMR と同じである。分解能については、X 線構造解析では 1 Å を切る例がある[4]のに対し、今のところ cryo-EM は数 Å を切っていない。

タンパク質の結晶化は一般的に大変困難である。結晶化条件が見つかっても結晶成長させて構造解析に適した大きさの結晶に成長させるのに長時間かかる場合がある。大きな結晶を得ることが出来ないが、数 μm 程度の大きさの結晶が得られ事もある。

数 μm 程度の大きさの結晶が得られた場合、粉末結晶構造解析を行う事が出来る。[5] しかし、タンパク質は格子が大きいため、多くの回折点がオーバーラップする。そのため、結晶パラメータの決定が難しく、正確な構造を見つけることが困難なことがある。ところで、数 μm 程度の大きさの結晶があれば磁場により微結晶を 3 次元配向（擬単結晶化）させることが可能である。[6]　我々は低分子結晶の擬単結晶を用いて、結晶系の決定だけでなく[7]、立体構造を決めることに成功している。[8]　現在は大きな分子であるタンパク質をターゲットとして擬単結晶法の有用性を示そうとしている。この擬単結晶は大きな結晶を必要とする中性子構造解析には特に有用であると考えている。

参考文献

1. X.-C. Bai, et al., Trends in Biochemical Sciences, 40, 49-57(2015).
2. A. des Georges, et al., Cell 167 145-157(2016).
3. T. Yokoyama et al., Journal of Structural Biology 177, 283–290 (2012).
4. Y. Hirano et al. , Nature, 534, 281-284 (2016)
5. I. Margiolaki, and J. P. Wright, Acta. Cryst., A64, 169-180(2008).
6. T. Kimura, et al., Langmuir, 22, 3464-3466 (2006).
7. K. Matsumoto, et al., Cryst. Growth Des., 14, 6486−6491(2014).
8. C. Tsuboi et al., CrystEngComm, 18, 2404–2407(2016).

伝導冷却式超伝導電磁石と向き合う

京都大学　堀井　滋

このたびは、優秀学術賞という栄誉ある賞を賜り、日本磁気科学会の会員各位および共同研究者各位に心より御礼申し上げます。出張で偶然(？)お会いした編集担当 T 先生から本欄執筆のリマインドがあり、執筆に至る現在（10 月中旬）まで一週間ほど執筆内容について悩みました。本稿では、受賞に至る研究成果を生み出してくれた伝導冷却式超伝導磁石の維持・管理についての「内向け」の経歴を話題にしたいと思います。

本学会では、24 時間 365 日稼動の伝導冷却式超伝導磁石で実験を行っている会員も多くいらっしゃると思います。使用するマグネット (東芝→JASTEC→JASTEC＋住重)や勤務地(東大→高知工大→京大)が変化しながらも、筆者もユーザーの一人として研究を続けています。私がユーザーとなったのが 2001 年で、「外向け」にはこの 15 年間がそのまま磁場配向に関する研究経歴となります。一方、「内向け」には、安定的に成果を出すために、時には悪戦苦闘しながら、超伝導磁石と向き合い維持・管理してきた 15 年でもあります。維持・管理として、まず冷凍機関係の定期交換が思い浮かびますが、個人的には移設作業(３度)と電気設備定期点検に伴う計画停電対応(年１回)の２つが印象深い出来事です。

前者の移設作業については、移設費を抑えるため高圧 He ガスを含んだフレキシブルチューブ(フレキ)の脱着および高圧 He ガスの充填を自力でできるようにしました。これで、パワーゲート・エアサス付きトラックのチャーター費用だけで移設できます。但し、ここに至るまでに、フレキのはずし方を間違えて内部の He ガスをすべてリークさせてしまった恥ずかしい失敗経験を経ています。後者については、停電中のコイルの温度上昇を最小限にするために、これまでの 14 回のほぼすべてに立ち会ってきました。いずれの勤務先においても基本的な点検に要する時間は朝 8 時頃～夕方 5 時頃です。ただし、東大では予備系統を保有しており、系統切り替えによる朝夕一時間ずつの停電で済みました。このおかげで翌日には普段通りに使えました。一方、高知工大、京大には、予備系統設備がないため、停電開始直前にマグネットを停止し(早い復旧を期待しつつ)午後から待機することになります。高知工大では停電(お盆の時期に行われる)の終了時刻が決められていなかったため、予定終了時刻よりも大幅にずれ込んだときには暑さともどかしさを感じることもありました。これはほんの一例で、紙面では書ききれない悲喜こもごもの「内向き」エピソードをもつ研究設備はあまりないのではないでしょうか。これについて、共感する方がいるのか、もっと良い管理の方法があるのか、など興味深いところです。

超伝導磁石の冷却にかかわる維持・管理をさらに楽なものにするには、まず超伝導線の運転温度の高温化による冷凍機の要求仕様緩和だと考えます。高温超伝導と磁場配向に関わる研究者であり、伝導冷却式超伝導磁石の維持管理にも 15 年関わってきた者として、この要求仕様の緩和につながるような安価で高温動作する高温超伝導線の開発にこれからも注力する所存です。今後ともご指導・ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

なお、本稿の筆を置いた週末、再び超伝導磁石と向き合う日(15 回目の停電)を迎えます。

生体磁気と脳磁気科学を楽しむ

東京大学　名誉教授　上野照剛

このたび、日本磁気科学会から功労賞を頂きました。大変光栄に存じます。私はもともと電子工学を学び、磁気アナログ記憶素子の研究で、九州大学から学位を頂きました。45年も前のことです。恩師は、磁気増幅器と磁気センサーで世界の磁気応用の分野を牽引しておられた原田耕介先生でした。研究の厳しさ楽しさ、独創性につての潔癖なまでの厳しさと忍耐の後の発見の醍醐味を原田先生から伝授していただいたことは、何にも代えがたい財産でした。

私は、その後、ヒトの脳に興味を覚えて、脳波・脳磁図の研究と神経の磁気刺激の研究に取り組みました。それと同時に、磁気と生体とのかかわり合い全般について、霧深い森の中をさまようように、なにやかやと探検していたようです。生体磁気の分野は、今もまだ分かからないことがいっぱいですが、45 年前はもっと分らないことだらけでした。幸いよき共同研究者や学生に恵まれ、生体磁気の森の探索を楽しんでくることができました。その中で、いくつかの発見や発明と生体磁気の科学としての体系化に少しでも貢献できましたことは、大変幸せだったと思っています。関係各位の皆様に感謝します。

振り返って当時のことなどを思いますと、楽しいことだけではありませんでした。研究テーマを違った分野に変えた途端、戸惑うことばかりでした。5 年間はこれといった成果は出ませんでした。今どき、5 年も論文が出なかったら、次のポジションを探すのは至難の業です。論文がなくても、その途中で何かいいことを目指して筋のいい研究をやっているようだと成長の芽を育てて、長期的展望で評価する仕組みが必要であることを感じる今日この頃です。幸いなことに、私の場合は、学位論文後、これといった成果が上がらなかったにもかかわらず、助教授にして頂きました。当時の教授陣に感謝するばかりです。

さて、そうこうするうちに、ぽつぽつと成果がでてくるようになりました。たとえば、脳波・脳磁図の二次元トポグラフィー、神経の新しい磁気刺激法、モーゼ効果と呼ばれる磁気による水の二分、磁気による細胞の成長制御、8 字コイルによる局所的経頭蓋的磁気刺激 TMS (Transcranial Magnetic Stimulation)、インピーダンス MRI (Magnetic Resonance Imaging)、それに、最近は、高周波磁場によるフェリチンの鉄イオンの放出と取り込みの制御などです。これらの中で、8 字コイルによる TMS は脳科学や臨床で広く普及していることを嬉しく思います。また、インピーダンス MRI など電気的情報の新しいイメージング技術や高周波磁場と鉄イオンの関連などの研究は、脳磁気科学の新しい展開を開くものと大いに期待しています。

以上簡単ではありますが、功労賞を受賞しての喜びと感謝の言葉を述べさせていただきました。有難うございました。会員の皆様の益々のご活躍ご発展とご多幸をお祈りします。

2015 年会計報告

信州大学　浜崎 亜富

2015 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 2015年 会計報告書

収入の部

予算額				¥3,915,551
会費				¥720,000
	正会員	¥5,000	104	¥520,000
	学生会員	¥1,000	0	¥0
	賛助会員	¥50,000	4	¥200,000
前年度繰越				¥3,195,551
		2015年収入		*¥720,000*

決算額				¥3,866,079
会費				¥670,000
	正会員	¥5,000	80	¥400,000
	学生会員*	¥1,000	(18)	¥0
	賛助会員	¥50,000	5	¥250,000
会費（滞納分）	正会員	¥5,000	4	¥20,000
雑費（利息）				¥528
前年度繰越				¥3,195,551
		2015年収入		*¥670,528*

支出の部

予算額		¥3,915,551
年会補助金		¥400,000
印刷費		¥150,000
研究会補助金		
	第15回研究会	¥100,000
	第16回研究会	¥100,000
WEBサーバー		¥30,000
事務局業務委託費		¥300,000
予備費（研究会・年会補助費など）		¥100,000
繰越金		¥2,735,551
	2015年支出	*¥1,180,000*

決算額		¥3,866,079
年会補助金		¥102,441
印刷費		167,400
研究会補助金		
	第15回研究会	¥68,330
	第16回研究会	−
WEBサーバー		¥18,360
事務局業務委託費		¥113,750
委員会開催部屋代		¥4,800
交通費		¥924
通信・宅配費		¥3,456
雑費（振り込み手数料など）		¥1,512
繰越金		¥3,385,106
	2015年支出	*¥480,973*

＊ 2015年学生年会費は年会(@松本)の収入に計上しました。

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

2015 年の褒章に関する口座の収入および支出は，以下のとおりであることをご報告いたします。

日本磁気科学会　褒章口座 2015年　会計報告書

決算額	**¥195,212**
雑費（利子）	¥32
前年度繰越	¥195,180

決算額	**¥195,212**
褒章費用	¥53,123
繰越金	¥142,089

上記のとおり会計報告を致します。

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

2016 年 事業計画

事務局長　山本 勲

本会会則第 13 条に基づき、2015 年第 5 回理事会及び 2015 年総会において、2016 年 1 月から 12 月までに以下の事業を行うことが承認された。

1. 第 11 回年会
   関東支部の主催により物質・材料研究機構（茨城県つくば市）で 11 月に開催する。
2. 第 17 回研究会
   無機・金属分科会の主催により開催する。2015 年に行わなかった研究会である。
3. 第 18 回研究会
   高分子・材料プロセス分科会の主催により開催する。
4. 第 19 回研究会
   有機・バイオ分科会の主催により開催する。
5. 会誌発行
   第 10 巻を発行する。
6. 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。2016 度は総会を年会の会期中に行う。
7. 学会表彰
   本会表彰規定に従い第 6 回優秀学術賞、第 6 回功労賞、2016 年若手奨励賞の選考を行い、年会において授賞式を行う。

以上

日本磁気科学会 会則

2013/11/26

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) 磁気料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。
⑴ 会長がこれを必要と認めたとき
⑵ 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。
⑴ 理事・監事の選任
⑵ 事業報告および収支決算
⑶ 事業計画および収支予算
⑷ 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２８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２９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、基準を満たすのもが少ない場合には、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

（平成 23 年 5 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．若手奨励賞　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 （若手奨励賞） 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） 授賞件数は毎年原則 1 件以内 （受賞者は 1 件につき複数名も可とするが、最大 3 名以内）、功労賞は毎年原則 1 名とする。

第７条 （選考委員会）受賞候補者選考のため、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 2011 年 5 月 30 日より実施する。

日本磁気科学会役員（2015～2016）

理事・監事（機関・職）	役職
掛下　知行（大阪大院工・教授）	会長
中林　誠一郎（埼玉大院理工・教授）	副会長（分科会統括）
山本　勲（横国大院工・教授）	副会長（事務局長）
岩井　一彦（北海道大院工・教授）	支部長（北海道･東北）
目　義雄（物質・材料研究機構・ 先端的共通技術部門・ユニット長）	支部長（関東）
勝木　明夫（信州大全学教育・教授）	支部長（中部）
堀井　滋（京都大院エネ科・准教授）	支部長（近畿）
小山　佳一（鹿児島大理工・教授）	支部長（中国・四国・九州））
廣田　憲之（物質・材料研究機構・ 先端的共通技術部門・主任研究員）	分科会長（物理化学）
山登　正文（首都大学東京都市環境・准教授）	分科会長（高分子・材料プロセス）
植田　千秋（大阪大院理・准教授）	分科会長（無機・金属）
藤原　好恒（広島大院理・准教授）	分科会長（有機・バイオ）
藤原　昌夫（広島大院理・助教）	分科会長（分離・分析）
大塚　秀幸（物質・材料研究機構・ 元素戦略材料センター・主席研究員）	分科会長（磁場発生）
若狭　雅信（埼玉大院理工・教授）	特定事項（国際会議）
横井　裕之（熊本大院工・准教授）	特定事項（国際会議）
櫻井　伸一（京都工繊大工芸科学・教授）	特定事項（国際会議）
秋山　庸子（大阪大院工・講師）	特定事項（国際会議）
諏訪　雅頼（大阪大院理・助教）	特定事項（国際会議）
杉山　敦史（早稲田大理工・准教授）	特定事項（産学連携）
玉川　克紀（玉川製作所）	特定事項（産学連携）
木村　亨（ポリマテック株式会社）	特定事項（産学連携）
浜崎　亜富（信州大理・助教）	事務局（財務）
高橋　弘紀（東北大金研・助教）	事務局（広報）
櫻井　智徳（岐阜医療科学大放射線・教授）	事務局（企画）
尾関　寿美男（信州大理・教授）	監事
木村　恒久（京都大院農・教授）	監事

第 17 回日本磁気科学会研究会

「磁場と材料組織制御」

予稿集

2016 年 1 月 14 日

於：大阪大学吹田キャンパス　材料開発・物性記念館

主催：日本磁気科学会　無機・金属分科会

プログラム

1 月 14 日（木）

13：40～　「マルテンサイト変態に及ぼす温度、応力、磁場、静水圧の影響」
掛下知行（大阪大学大学院・工学研究科）

14：30～　「希土類系高温超伝導体の磁気異方性と二軸磁場配向」
堀井滋　（京都大学大学院・エネルギー科学研究科）

15：40～　「強磁場を利用した軟磁性 Fe 基アモルファス合金の結晶化制御」
小野寺礼尚　（茨城工業高等専門学校・機械システム工学科）

マルテンサイト変態に及ぼす温度、応力、磁場、静水圧の影響

大阪大学　大学院工学研究科　マテリアル生産科学専攻　掛下知行

いくつかの金属・合金およびセラミックスで見られるマルテンサイト変態は ”原子の拡散を伴わずにその連携的な運動により引き起こされる一次の構造相転移”である。マルテンサイト変態は固相における一次相転移の物理を明確に出来る現象として、多くの金属学者はもちろんのこと物理学者や数学者などにより今日盛んに研究が行われている。また、マルテンサイトは構造材料である鋼を強化する相として見いだされたこと、また、機能性として注目を集めている形状記憶効果や擬弾性と関連していること等から実用面からも非常に重要であり、多くの研究がなされてきた。

ところで、マルテンサイト変態に関する数多くの研究結果を考慮すると、M変態は結晶学的ならびに組織学的にはかなり良く解明されていると思われる。しかしながら、マルテンサイト変態が、なぜ、どのようにして起きるのかという基本的な問題、すなわちマルテンサイト変態の平衡および非平衡熱力学ならびに電子論を含む変態の起源に関する問題は、マルテンサイト変態がおそらく非線形性の強い一次相転移のため、多くの研究がなされているにもかかわらず依然未解決のままであり、その解明は今後の最重要課題となっている。この問題は先にも述べたように一次相転移の物理を明確にするという意味で極めて重要であり、単にマルテンサイト変態に限る問題ではないと考えられる。

そこで我々は、外場として磁場ならびに静水圧を用いマルテンサイト変態に及ぼすこれら外場の影響を調査し、これまで調べられて来ている温度・応力の効果の結果を考慮に入れて上述した課題を明確にすることを目的とした。

これまでの我々研究において、磁場ならびに静水圧は相安定を支配する外場のひとつであり、自由エネルギー変化を通して、マルテンサイト変態を利用した構造・機能材料に極めて重要となる固相変態における変態温度、組織とその配向ならびにカイネティクスに影響を及ぼすことを明らかにしてきた。本講演では、 主にマルテンサイト変態に及ぼす磁場の影響について紹介する。具体的には、変態に及ぼす熱力学的解釈の後、Fe 系合金のマルテンサイト変態温度の磁場依存性および Fe のγ-α拡散変態温度の磁場依存性ならびに強磁性形状記憶合金の相変態温度の磁場依存性について紹介する。そこでは、強制体積磁歪ならびに結晶磁気異方性が変態温度に極めて重要であることを述べる。

また、生成したマルテンサイト組織のフラクタルディメンジョンは 1.8 次元であり、それは拡散変態（1.6 次元）とは異なる。さらに、磁場は方向性を有するため、材料の異方的な組織形成に有用であることを紹介する。具体的には、

強磁性形状記憶合金では、磁場により双晶組織が再配列し、それにともない巨大な磁場誘起ひずみが発生することならびに Fe-Pd 系合金や Co-Pt 系合金における不規則-規則変態に磁場を印加して熱処理を施すと、磁場方向を磁化容易軸とする単結晶に近い組織が形成されることについて紹介する。これらの配向には、結晶磁気異方性とひずみの dipole-dipole 相互作用が極めて重要である。

さらに、本講演では、上述したマルテンサイト変態に及ぼす磁場効果の結果を解析して、その核生成に関しての一考察を紹介する。 そこでは、これまで変態過程が異なると考えられてきた等温変態と非等温変態がともに熱性化過程であると仮定すると統一的に解釈できることを述べる。また、解析の結果、核生成の大きさは、立方体で表すと一辺が約 2nm となる。

一方､2 次に近い変態を示すマルテンサイト変態の起源について第一原理計算を行い、考察した結果を紹介する。具体的には、Fe-Pd および Fe_3Pt(いわゆる、fcc－fct 変態)系に生成するマルテンサイトの起源は、バンドヤーン・テラー効果であること、また、Ti-Ni 合金の母相から生成する変調構造相は、フェルミ面のネスティングによるものと推論した。

さらに最近の研究である、マルテンサイト変態における巨大ひずみの出現と臨界温度の存在について紹介する。そこでは、フォノンの軟化が著しい伸びと関連していることならびに臨界点の存在の確認ができたことと関連していることについて述べる。

最後に、現在、欧米で活発な議論がなされている、カロリック効果についても併せて紹介したい。

希土類系高温超伝導体の磁気異方性と二軸磁場配向

Tri-axial magnetic alignment and magnetic anisotropies in rare-earth-based cuprate superconductors

°堀井 滋(京都大学大学院エネルギー科学研究科)
°Shigeru Horii (Dept. Energy Sci., Kyoto Univ.)
E-mail: horii@energy.kyoto-u.ac.jp

希土類(RE)系高温超伝導体は、液体窒素温度(77.3 K)以上の 90K 級の高い超伝導転移温度を有し、77K においても磁場に対する優れた臨界電流特性を示すことから、冷却コストが低い液体窒素で動作するバルク磁石や薄膜線材の実用化が期待されている。Fig. 1 に RE 系高温超伝導体のうち、実用材料である $REBa_2Cu_3O_y$ (RE123)の結晶構造を示したが、高温超伝導物質は一般に超伝導性を担う CuO_2 面(//*a,b* 軸)とブロック層が *c* 軸方向に堆積した異方的な結晶構造を持ち、CuO_2 面に平行方向の臨界電流特性が垂直方向のそれと比べて圧倒的に高い。また、CuO_2 面内においても粒界弱結合が存在し、2 つの結晶粒間の接合角度が増加すると超伝導電流での送電性能に相当する臨界電流密度 (J_c) が著しく低下する [1] という高温超伝導特有の問題(具体的には、10 度ずれると約 1/10 に低下してしまう。)が RE123 で報告されている。従って、高温超伝導体における J_c の最大化には、*c* 軸配向に加えて *ab* 面内における二軸の整列(二軸配向)が必要である。

現在用いられている配向制御法は、エピタキシー技術を基盤とした薄膜法や溶融凝固法が用いられている。特に、高効率超伝導送電線や高磁場発生用超伝導電磁石の素線となりうる高温超伝導線材の場合、RE 系ではエピタキシャル成長を利用した薄膜型線材、ビスマス系は圧延法による一軸配向性の Powder-In-Tube 線材であるが、両線材において線材としての送電能力を表す臨界電流(I_c)は結果として同程度であり、77 K・自己磁場における I_c (1 cm の線材幅当たり)はおおよそ 200 A～500 A である。これは、高 I_c の決定因子である超伝導層の高配向性と大きな断面積(厚み)を両立した高温超伝導線材が存在していないからである。

当研究グループは、最近新たなに登場した二軸結晶配向技術として回転変調磁場を用いた磁場配向法 [2,3] に着目し、高配向性と厚みを両立した高温超伝導線材の創出を目指している。磁場配向法には、二軸結晶配向のほか、室温プロセス、非真空プロセス、コロイドプロセスとの融合可能、などの利点がある。しかし、この磁場配向技術を RE 系高温超伝導体に適用するにあたっては、例えば以下の静磁場中での配向条件

$$\frac{B^2}{2\mu_0}\Delta\chi\cdot V > k_B T \qquad (1)$$

を見てみると、系の磁気異方性および磁場印加条件を理解する必要があることがわかる。さらに、回転変調磁場に展開した場合、磁気異方性は三軸結晶磁気異方性を、磁場印加条件は磁場だけでなく回転・静止の条件を考慮する必要がある。ただ、現状として、室温での三軸結晶磁気異方性や双晶を含む RE123 の結晶粒レベルでの磁気異方性は良くわかっていないことから、弱磁性物質である RE 系高温超伝導体

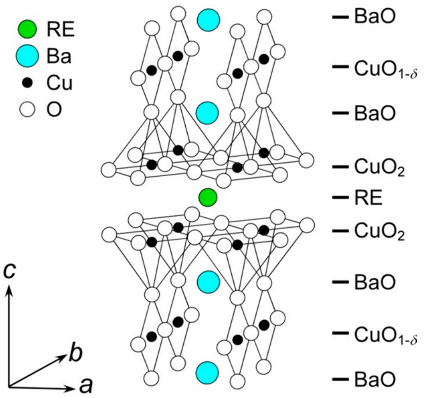

Fig.1 Crystal Structure of RE123.

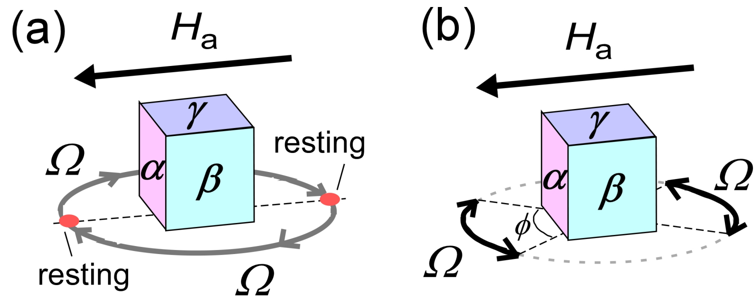

Fig. 2 Schematics of two different types of modulated rotation magnetic fields.
(a) unidirectional intermitted rotation type and (b) oscillation type.

の強磁場発生装置を利用した回転変調磁場中での配向挙動を実験的に理解する必要がある。これを踏まえ、当研究グループは RE 系高温超伝導体を対象として以下のような研究に取り組んでいる。

１．双晶フリーの $RE_2Ba_4Cu_7O_{15-y}$ (RE247) [3]・$REBa_2Cu_4O_8$ (RE124) [4,5] 粉末の配向挙動

２．斜方晶対称場における RE イオンの三軸磁気異方性

３．高い磁気異方性[4,5,6]を有する Er124 を用いた二軸磁場配向成型体の試作

４．双晶を含む RE123 の磁場配向挙動と結晶粒レベルの磁気異方性制御法の探索

本講演では、まず、原理証明実験として１および２について述べ、斜方晶をもつ RE247 と RE124 は高い配向度で二軸配向することや RE イオンの中でも特に重希土類イオンが高い三軸磁気異方性を有することを示す。

さらに、次の話題として、３について紹介する。磁場配向技術で高温超伝導体の実用化につなげるには、配向制御に加えて粒間結合の実現も不可欠であり、技術的にはエポキシ樹脂中での粉末配向のステージから磁場中コロイドプロセスを利用した配向セラミックス作製のステージへ引き上げることが求められる。このことを考慮に入れ、双晶組織を形成しない RE124 相のうち、低磁場で最も高い面内配向度を示し、超伝導 CuO_2 面が磁場回転方向に対して平行方向に整列する Er124 相の粉末を含むスラリーを用いて、2 種類の異なる回転変調磁場(Fig. 2)下で作製した Er124 配向成型体の作製を試みた。試料回転方式での配向成型体作製のおいては、エポキシ樹脂中での配向と大きく異なり、磁場印加法やスラリーの粘性などによって配向度が大きく変化する[7]ことを示す。

最後の話題は、実用材料である RE123 相の二軸磁場配向に関するものである。この RE123 超伝導体は酸素不定比性による正方晶-斜方晶構造相転移が起こり、この物質の結晶粒には双晶組織が導入される。これは結晶粒レベルの磁気異方性の低下もしくは消失に直結する。この系における二軸磁場配向に関する原理証明実験についても紹介する。

本研究の一部は村田学術振興財団の助成によって行われた。

参考文献

[1] Dimos *et al*., *Phys. Rev. Lett*. **61** (1988) 219.
[2] Kimura *et al*., *Langmuir* **22** (2006) 3464.
[3] Fukushima, Horii *et al*., *Appl. Phys. Express* **1** (2008) 111701.
[4] Yamaki, Horii *et al*., *Physica C* **471** (2011) 872 – 875.
[5] Yamaki, Horii *et al*., *Jpn. J. Appl. Phys.* **51** (2012) 010107.
[6] Horii *et al*., *J. Appl. Phys.* 115 (2014) 113908.
[7] 堀井ら, 低温工学 49 (2014) 3. (解説記事)

強磁場を利用した軟磁性 Fe 基アモルファス合金の結晶化制御

茨城工業高等専門学校　小野寺礼尚

はじめに

磁性アモルファス合金は高透磁率，低保磁力の優れた軟磁気特性のため，変圧トランスや発電機，電気モータのコイル鉄心や磁気シールド，磁気センサなど幅広い応用がされている．主構成元素を鉄とした Fe 基アモルファス合金の場合，高飽和磁化による大幅な鉄損の抑制が可能なため，変圧トランスのコイル鉄心として，従来の鉄心材料である電磁鋼板からの置き換えが現在進められている．

その一方で，軟磁性アモルファス合金を適切な熱処理で結晶化させたナノ結晶合金[1]はアモルファス合金を上回る優れた軟磁気特性を有することが知られており，その発見以降，アモルファス合金は軟磁性ナノ結晶合金の前駆体として結晶化制御が盛んに研究されるようになった．

ナノ結晶合金の磁気特性はその特異な微細組織と密接に関係しており，その特徴として，20 nm 以下の超微細強磁性結晶粒が高密度に分散していること，さらにそれらの結晶粒間には熱処理によって結晶化しなかった残留アモルファスの存在があげられる．この合金の優れた軟磁気特性の起源は Herzer によるランダム異方性理論[2]によって理解されており，強磁性結晶粒のサイズがおよそ 20 nm 以下でそれぞれの結晶磁気異方性の向きがランダムであることが必要であると考えられている．

従って準安定状態であるアモルファス合金を熱処理することで，本来の安定相である強磁性結晶の晶出，すなわち結晶化を制御し，粒径の均一化，晶出結晶粒の組成制御を達成することで軟磁気特性のさらなる向上が期待できる．優れた軟磁気特性と高い飽和磁化を併せ持つためには，結晶化によって得られる結晶相として α-Fe が望ましいため，Fe 基アモルファス合金がナノ結晶合金の前駆物質として採用されている．これまで，アモルファス前駆体の組成および結晶化のための熱処理条件を最適化することで微細組織を制御し，ナノ結晶合金の軟磁気特性改善が行われてきたが，これらの手法による磁気特性改善は近い将来限界を迎えることが想像に難くない．

一方，磁気科学分野では，有機物質の結晶成長制御および，金属材料の相変態制御が強磁場印加の効果として見出されてきた．これらの研究成果はアモルファス合金の結晶化において，その核形成および粒成長を強磁場印

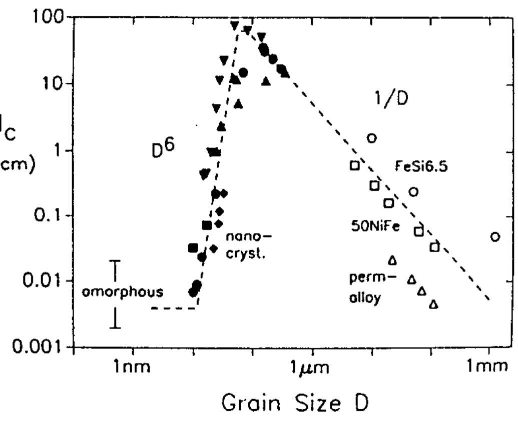

図1　一般的な軟磁性材料の保磁力における結晶粒径依存性[2]．▲: Fe-Nb-Si-B, ●: Fe-Cu-Nb-Si-B, ◆: Fe-Cu-V-Si-B, ■: Fe-Zr-B, ▼: Fe-Co-Zr, (△, □): Ni-Fe alloys, ○: Fe-Si6.5wt% alloy

加によって制御できることを示唆していたが，これらの結晶化素過程がどのように磁場に応答するのか明らかにされてこなかった．

本研究では，これらアモルファス合金の結晶化素過程に対する強磁場効果を明らかにし，ナノ結晶合金作製プロセスにおいて強磁場による結晶化制御を実現することを目的とした．

実験

アモルファス合金の結晶化過程における強磁場の効果を明らかにするために，強磁場中での結晶化の観察を，示差熱分析および磁化測定により行った．示差熱分析では準安定アモルファス状態から安定状態へと構造緩和する際の潜熱を観察することができる．また，Fe 基アモルファス合金は一般にキュリー温度が低いため，結晶化直前の温度では通常，常磁性である．一方，結晶化により晶出する α-Fe 相はキュリー温度が高いため，アモルファス合金の結晶化は試料全体の磁性が常磁性から強磁性への変化を伴う．従って，磁化測定では，急激な磁化の増加として結晶化を観察することができる．

本講演では，$Fe_{79}Si_{12}B_9$, $Fe_{83.3}Si_{4.2}B_{12.5}$, $Fe_{83.3}Si_4B_8P_4Cu_{0.7}$ アモルファス合金の強磁場中結晶化挙動の観察を行った．$Fe_{83.3}Si_4B_8P_4Cu_{0.7}$ アモルファスにおいては，強磁場中で熱処理し $Fe_{83.3}Si_4B_8P_4Cu_{0.7}$ ナノ結晶合金の作製を行い，微細組織と磁気特性の評価を行った．

結果

上述したような常磁性アモルファス合金から強磁性 α-Fe の結晶化の場合，強磁場印加によって結晶化前後のそれぞれの相が得るゼーマン利得($-MB$)を比べると，強磁性 α-Fe の得るエネルギー利得が大きいため，磁場印加により強磁性相の結晶化が促進されることが予測される．しかしながら，実験の結果，結晶化の抑制および促進という 2 種類の異なる強磁場効果が得られた．これらの強磁場効果の発現は，アモルファス状態，結晶相それぞれの磁気モーメントおよびキュリー温度に依存することを明らかにした．

当日は，実際の実験データを交えながら，アモルファス合金の結晶化における強磁場効果の起源について紹介する．また，実際に強磁場中で作製したナノ結晶合金の磁気特性および微細組織の評価を行い，強磁場効果による結晶化制御の可能性について紹介する．

参考文献

（１）Y. Yoshizawa, S. Oguma and K. Yamauchi, J. Appl. Phys. **64** (1988) pp. 6044-6046.
（２）G. Herzer, Scri. Metall. Mater. **33** (1995) pp. 1741-1756.

第 18 回日本磁気科学会研究会
応用物理学会・磁気科学研究会　第 1 回講演会

「物質の移動・配列・配向」

予稿集

2016 年 7 月 15 日

於：首都大学東京　秋葉原サテライトキャンパス

主催：日本磁気科学会　高分子・材料プロセス分科会

共催：応用物理学会・磁気科学研究会

プログラム

7 月 15 日（金）　13:30～16:45

13：30-13：35　はじめに　山登正文（首都大）

13：35-14：20　流体中の物質の磁気力による運動の研究
岡田秀彦（物材機構）

14：20-15：05　磁場を使った微粒子配列とその応用
牛島栄造(アイシン･コスモス研)

休憩

15：15-16：00　強磁場照射によるポリ乳酸配向フィルムの作製
伊掛浩輝（日大　）

16：00-16：45　磁場中調製によるシリカゲル中における
構造異方性の発現の解明に向けて
森　篤史（徳島大）

流体中の物質の磁気力による運動の研究

Study on Material Motion by Magnetic Force in Fluid

°岡田秀彦（物質・材料研究機構）
°Hidehiko Okada
E-mail: okada.hidehiko@nims.co.jp

Abstract:
We present our simulation studies on material motion by magnetic force in fluid. We made simulation models and applied to high gradient magnetic separation and convection of protein solutions in magnetic fields.
Keywords: high magnetic field, magnetism, superconducting magnet

１．はじめに

我々は、超伝導マグネットが発生する強い磁場の新しい応用を目指して研究会はいつを進めてきた。この過程で、理論的研究として、流体内に分布する磁化の異なる物質の磁気力による運動についての流体シミュレーションを開発した[1]。本シミュレーションにより、現象の理論的な可視化が可能となり、研究開発に大きく寄与している。本報告では、具体的な応用である高勾配磁気分離とタンパク質溶液の対流の抑制についての研究開発を紹介するとともに、その中でどのようにシミュレーションが使われているかを述べる。

２．高勾配磁気分離（High Gradient Magnetic Separation(HGMS)）

現在、高勾配磁気分離を使った研究開発として、火力発電所のスケール除去用の磁気分離装置の開発を行っている。高勾配磁気分離の概略図を図 1 に示す。高勾配磁気分離は、分離対象の粒子が流れる流路内に置かれた強磁性体の細線等と、それを周囲から磁化するための磁場発生用マグネット（超伝導マグネット）から成り、磁場印加時に生じる細線の磁化によって細線近傍に発生する大きな磁場勾配による磁気力を用いて、細線表面に微粒子を捕獲する方法である。非常に強い磁気力を発生することができるため、強磁性体はもちろん常磁性体のフィルタリングなどとしても使われている。ここでは、火力発電所のボイラー給水中の鉄スケールのフィルタリング装置の開発について紹介する。

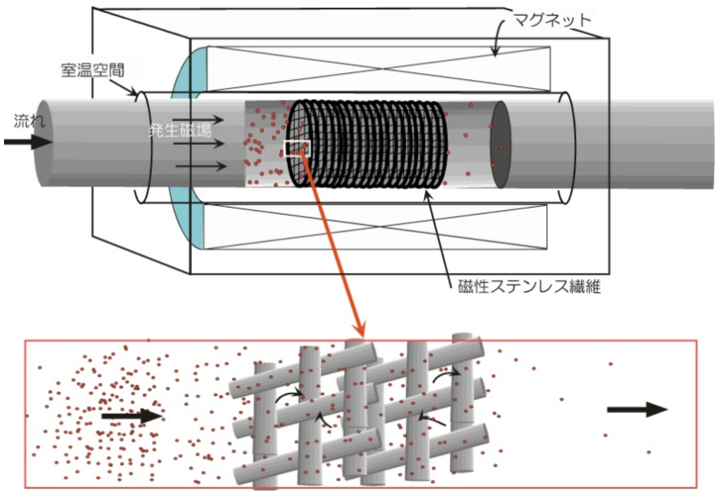

Fig. 1 Schematic illustration of High Gradient Magnetic Separation.

火力発電所のボイラー循環水中では、配管から溶け出した鉄イオンが高温高圧下（200℃、20 気圧）でマグネタイトに変わり、配管や熱交換器の内壁に付着して発電所のエネルギー変換効率を低減させる．我々は、この高温高圧下でマグネタイト粒子を分離除去できる HGMS 装置を開発しているが、対象が高温高圧であるため、実験を頻繁に行えないためシミュレーションによる解析も重要な手段となっている．現在は、室温実験、高温実験、シミュレーションを組み合わせて、装置開発を行っている[2]。

3. タンパク質結晶化装置

たんぱく質の構造を精確に知るためには X 線解析に良質のタンパク質結晶を試料として用いる必要

がある。良質の結晶を得る方法の一つとして、溶液の対流を抑制する宇宙の微小重力環境下での結晶生成が有効と考えられている。より容易に良質の結晶を得るために、同じ環境を地上で実現するとされる高磁気力により重力の影響を抑制する微小重力環境が提案された。

図 2 に我々が開発したタンパク質結晶化装置用の超伝導マグネットの写真を示す。マグネットの室温ボア中にタンパク質溶液を入れた結晶化セルと、セル内を直接観測するための磁場中観測装置が置かれている。結晶化セルは透明なプラスチックで作られたプレート上に複数個作られ、磁場中観測装置により側面から内部を観測できるようになっている。プレートはボア内に縦方向に積層できるため、一度に数百のセルで結晶化実験が可能となる。また、磁場中観測装置によりセル内のタンパク質溶液をマグネット内から取り出すことなく、すなわち実験環境を大きく変えることなく、結晶化の状況を知ることが可能となった。しかし、溶液内の対流の様子やタンパク質の濃度分布などは観測することができないため、磁気力によってどの程度対流が抑制されるかシミュレーションにより対流の影響を評価した[3]。

Fig. 2 A photograph of the superconducting magnet for the protein crystal formation system.

[引用文献]

[1] Hidehiko Okada, Kazunari Mitsuhashi, Takeshi Ohara, Evan Whitby, Hiroshi Wada, Separation Science and Technology, 40, No.7 (2005) 1567-1584.

[2] Nobumi Mizuno, Fumihito Mishima , Yoko Akiyama, Hidehiko Okada, Noriyuki Hirota, Hideki Matsuura, Tatsumi Maeda, Naoya Shigemoto, Shigehiro Nishijima IEEE Trans. Appl. Super. 25 3(2015) 3700804

[3] H. Okada, N. Hirota, S. Matsumoto and H. Wada, Journal of Applied Physics 113, 073913(2013)H. Okada, N.

磁場を使った微粒子配列とその応用

株式会社アイシン・コスモス研究所　牛島栄造
E-mail: ushijima@ai-c.aisin.co.jp

近年、ナノテクノロジーは国家の重要な分野として推進されている[1]。その中でも活況を呈している領域の一つにナノ粒子の創製および、ナノ粒子の構造化による機能発現がある。それらの応用先はバイオセンサ、触媒、磁気記録媒体など多岐に渡っており、有望なシーズ技術であると考えられる[2]。そのナノ粒子に関連する領域の中から研究対象として微粒子配列制御技術に絞り、先行研究を調査したところ、磁場分布がミクロンオーダで制御された場を用いることにより、微粒子のマイクロパターニングする手法に技術的な魅力を持った[3]。ここ数年はこの手法により微粒子を高精度にパターニングし、新たな効果や機能を発現させることを目的に研究を行っている。

ここで、粒径が 1μm よりも小さい微粒子を単層直線または、ドットに整列させるには磁場分布をナノオーダにしなければならない。従来の手法は磁場分布を発生させる磁気モジュレータとして磁化率の異なる２種類の薄膜を交互に積層させたブロックを採用していた。しかし、膜厚をナノオーダに薄くしたブロックを作製することは技術的に難しく、磁場分布のサイズダウンに限界があることから、新たな手法を取り入れる必要があった。その手法としてナノパターン基板の作製には高結晶の微細パターンを確実に再現性よく作ることができるトップダウン的な微細加工技術の中から、実験を効率的に進めるためナノインプリント技術を選択した。ナノインプリント技術により加工を行った結果、溝深さが約 40nm、溝の間隔が約 300nm の Line and Space が形成されたナノパターン基板の作製に成功した。作製したナノパターン基板表面の近傍に分布する磁束密度を推測するため、磁場シミュレーションを実施したところ、一様磁場内では基板表面から 100nm 程度離れた領域内に磁束分布の乱れが生じ、磁束密度が不均一になっていることが分かり、ナノデザイン磁気モジュレータを製作することができた[4]。また、磁気力顕微鏡でナノパターン部分の磁束密度分布を計測したところ、パターンに沿った磁気分布が形成されている様子を観察し、外部磁場を必要としない新しいナノデザイン磁気モジュレータも取得することができた[5]。

超電導磁石を使って一様磁場内に、作製したナノデザイン磁気モジュレータを配置し、その表面に金ナノ粒子(粒径：100nm)分散溶液を滴下した。溶媒を乾燥させた後にナノデザイン磁気モジュレータの表面を観察したところ、特定の領域に分布していることを確認した。磁場シミュレーションや溶質と溶媒の磁化率差を考慮すると、微粒子を磁場によりパターニングできる可能性を示せた[4]。また、外部磁場がない環境下で製作したナノデザイン磁気モジュレータの表面にポリスチレン粒子（140nm）分散メタノール溶液を滴下した。溶媒を乾燥させた後にナノデザイン磁気モジュレータの表面を観察したところ、特定の領域に分布していることを確認した。よって、外部磁場を必要としない新しいナノデザイン磁気モジュレータでも微粒子をパターニングできる可能性を示せた[5]。

本講演では、上記に述べているナノデザイン磁気モジュレータの製作とそのナノデザイン磁気モジュレータを使った微粒子のパターニングについて、これまでに得られた成果を紹介しつつ、この技術の応用についても述べる予定である。

参考文献

[1]　科学技術基本計画,文部科学省, http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html（参照 2016 年 06 月 22 日）
[2]　ナノ粒子への挑戦-超微粒子創成と機能発現の最新動向-,東レリサーチセンター(2010).
[3]　Tsunehisa Kimura, Masafumi Yamato, Akihiro Nara: Langmuir, **20**, 572-574 (2004).
[4]　E. Ushijima et al., The proceedings of 7th International Workshop on Materials and Processing in Magnetic Fields, (2016).
[5]　E. Ushijima et al., The Proceedings of 6th International Conference on Magneto Science, (2015) 88-89, Matsumoto.

強磁場照射によるポリ乳酸配向フィルムの作製
Preparation of Poly(L-lactic acid) Oriented Films under the High Magnetic Field

°伊掛浩輝，臼井修一，谷口宗志，森野淳史，中山麗，小出優一郎，室賀嘉夫（日大理工）；
高橋弘紀，渡辺和雄（東北大金研）
°Hiroki Ikake, Shuichi Usui, Takashi Taniguchi, Atsushi Morino, Rei Nakayama, Yuichiro Koide,
Yoshio Muroga (College of Science and Technology, Nihon University)
Kohki Takahashi, Kazuo Watanabe (Institute for Materials Research, Tohoku University)
E-mail: ikake.hiroki@nihon-u.ac.jp

Abstract:

We aim to create the polymer materials with the high degree of orientation: f_c and crystallinity: X_c under the high magnetic field. In this study, we prepared the oriented poly(L-lactic acid) films with applied the magnetic field. We clarified that it is possible to control the values of f_c and X_c using residual crystalline in melting condition. Furthermore, it made possible for us to select the direction of crystalline orientation of PLLA films by setting appropriate the direction of magnetic field.

Keywords: High Magnetic Field, Poly(L-lactic acid), Crystalline Orientation, Annealing Process

１．はじめに

磁場の持つ透過性の良さから，試料サイズや形状に依存せずに，様々な試料に対して磁場を応用することができる．高分子においても例外で無く，山登らの研究グループ[1]をはじめ，強磁場印加を用いた高分子の高次構造制御について多くの研究報告がある．我々の研究グループにおいても，半結晶性高分子であるポリ-L-乳酸 (PLLA) に着目し，PLLA フィルムの磁場配向化を試みている．PLLA はバイオマスプラスチックの一つで，生分解性を有し，廃棄後の環境負荷が小さいことから関心が持たれ，実用化の近い高分子として知られている[2]．しかし，PLLA の結晶化速度は遅く，耐熱性などに課題点もある[3]．そこで，我々は PLLA 結晶に強磁場を印加することで，高次構造を効果的に制御することで，結晶配向化の制御と結晶化の促進をめざしている．本報告では，結晶化の促進と配向制御に必要となる，磁場配向および熱処理条件について検討する．

２．ポリ-L-乳酸フィルムの結晶配向化

２．１　ポリ-L-乳酸フィルムの調製

PLLA の合成は L-ラクチドを原料に，開環重合によって PLLA 粉末を得た[4]．得られた PLLA の粘度平均分子量 M_v は 2.9×10^4，光学純度は 96%であった．一方で，市販の PLLA も用いるが，それは Sigma-Aldrich 製で $M_v=7.4\times10^4$，光学純度 97%のものを用いた．本報では，合成，市販品に係わらずクロロホルムをキャスト溶媒に PLLA フィルムの作製を行った．PLLA 0.8mg をクロロホルム 80mL に溶解し，これをガラスシャーレに展開して，暗所室温下で静置し，溶媒を除去することで PLLA フィルム (平均フィルム厚み: 約 0.10±0.02mm) を得た．物性測定には適宜熱養生をしたものを試料として用いた．

２．２　ポリ-L-乳酸フィルムの磁場配向化

磁場配向には冷凍機冷却超伝導マグネット[東北大学金属材料研究所所有 15T-CSM (磁束密度 13T), および 10T100-CSM (同 10T)]を用い，強磁場印加中でのフィルムの熱処理に同研究所所有の強磁場中熱処理装置を用いた．配向度 (f_c) は X 線広角回折 (WAXD) [PANalytical 製全自動多目的 X 線回折装置 X´Pert PRO MPD]を用い，回折強度$I(\varphi)$の方位角φ依存性から，次式により求めた．

$$f_c = \frac{(3\langle\cos^2\varphi\rangle-1)}{2} \qquad (1)$$

$$\langle\cos^2\varphi\rangle = \frac{\int_0^{\pi/2} I(\varphi)\cos^2\varphi\sin\varphi d\varphi}{\int_0^{\pi/2} I(\varphi)\sin\varphi d\varphi} \qquad (2)$$

２．３　ポリ-L-乳酸フィルムのアニーリングプロセス　Fig.1 に PLLA フィルムの温度プログラムを示す．温度プログラムのスタート(①)は，室温(25°C)とし，昇温速度を毎分 10°C として加温した(②)．次に，③において，T=160~185°C で 60 分間等温保持することで PLLA 結晶の溶融と熱養生 (融け残り結晶の作製) をし，その後，毎分 1°C で徐冷し，140°C で 60 分間等温結晶化し，再び PLLA の結晶化を促した[3] (④)．その後，毎分 1°C で室温まで冷却した．③での融け残り結晶の作製は，結晶状態の保持と

溶融の中間的な状態を形成することが目的で，冷却時の結晶核として作用させる．このため，PLLA の融点 (T_m = 175°C) 近傍の 160~185°C とした．一方で，③で 60 分間経過後，クエンチした PLLA フィルムの DSC 測定を行った．T_m 以下の熱処理では，PLLA 結晶が融解しないため T_m 近傍まで DSC 挙動は平坦な軌跡を描く．これに対して，180 と 185°C では，双方とも 100°C 付近に PLLA の再結晶化に伴う発熱ピークが観測され，さらに昇温することで，他の温度と同様に結晶融解に伴う吸熱ピークも観測された．これらの吸熱ピーク開始温度は，T_m 以下で熱処理したフィルムと比べて低い温度域から始まり，ボトム温度は他の条件と差異がなかった．これは昇温時の再結晶化程度では十分な結晶化が進行せず，結晶厚みの薄い PLLA 結晶も含まれ，これが融解開始温度の低下を招いたものと推察している．したがって，T_m 直上で熱処理することで，磁場配向に有効な融け残り結晶が形成されるのではないかと考え，我々は③の温度を 180°C として PLLA 結晶の磁場配向を行った．

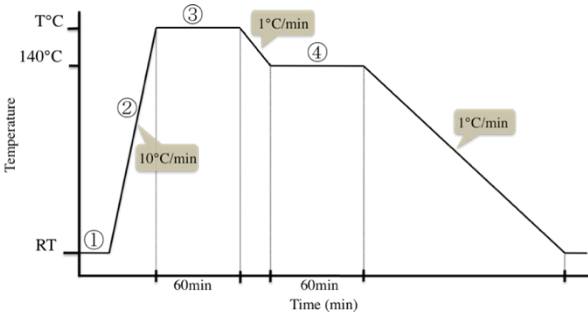

Fig.1 Annealing process of PLLA films, magnetic field is applied through the process.

２．４　ポリ-L-乳酸の磁場配向化

PLLA フィルムの面外方向に磁場を印加したときの WAXD 測定の結果を Fig.2 に示す．PLLA のα晶に基づく(110)，(200)，(203)面の回折ピーク[5]が観測される．試料ステージを 90°ごとに 360°まで回転をさせると，16.8 と 19.2°に現れるピーク強度が 90°周期で変動した．そこで，このフィルムの方位角度依存性について検討した (Fig.3)．13T の磁場を照射しつつ熱処理したフィルムと熱処理のみ行ったフィルムを比較する．磁場を印加しないフィルムでは方位角に依存性は無いが，印加したフィルムでは 90°周期で回折強度が変化し，方位角 0，180，360º で強度が低下し，逆に 90，270º で強度が増加した．このことから，磁場印加することで，磁場配向が起き，PLLA 結晶が磁場方向に対して平行に配向することが示唆された．配向したフィルムの配向度を式(1)および(2)で見積もったところ約 40%であった．次に，既報[6]の熱処理条件で，10T で PLLA フィルムの面内方向に磁場を印加したときの方位角依存性についても検討した．面外方向の際と同様に，磁場印加したフィルムでは 90°周期で回折強度が変化した．このことから，面内方向の場合においても磁場配向が生じ，回折強度の周期性挙動から，面内配向においても磁場印加方向に平行に PLLA 結晶は配向することが示唆された．配向度は約 25%と磁場強度が小さい分，配向度に低下が見られるが，磁場配向が生じることが確認できた．これらの結果から，強磁場を印加することで PLLA 結晶の配向化が起こることが示唆された．配向方向は磁場方向に対して平行であり，印加方向を適宜選択することで面内方向，面外方向にも配向制御できることが示された．

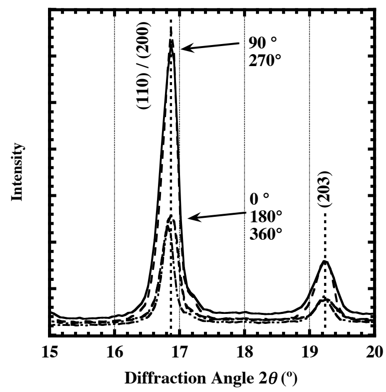

Fig.2 WAXD patterns of the oriented PLLA films.

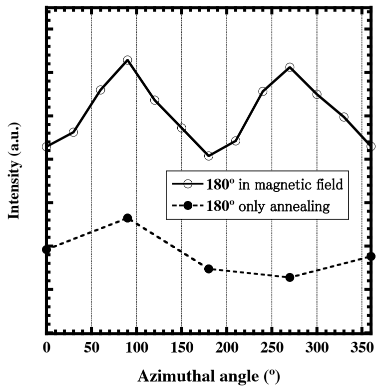

Fig.3 WAXD (110)/(200) intensity along the azimuthal angle for the oriented film and the only annealing film.

３．まとめ

PLLA 結晶溶融時の融け残り結晶を活用することで，PLLA 結晶の磁場配向化が起こることが示唆された．磁場の印加方向を適宜選択することで配向方向の制御が可能であり，これまでの成型技術では不可能であったフィルムの厚み方向にも配向制御ができる可能性を見出すことができた．

参考文献

[1] 山登正文，高分子論文集, 61, 433-441 (2004).

[2] 木村良晴，他：高分子先端材料 One Point 5，天然素材プラスチック；望月政嗣，他：バイオプラスチックの高機能化・再資源化技術

[3] M. Yamato, Y. Kudo, K. Takahashi, K. Watanabe, N. Kawamoto, *Chem. Lett.*, **40**, 765-767 (2011).

[4] Y. Koide, H. Ikake, Y. Muroga, S. Shimizu, *Polym. J.*, **45**, 645-650 (2013).

[5] P. Pan, B. Zhu, W. Kai, T. Dong, Y. Inoue, *Macromolecules*, **41**, 4296-4304 (2008).

[6] 中山麗，伊掛浩輝，栗田公夫，清水繁，胡桃聡，鈴木薫，高橋弘紀，渡邉和雄，高分子論文集, **72**, 661-666 (2015).

磁場中調製によるシリカゲル中における構造異方性の発現の解明に向けて
Toward Elucidation of Structural Anisotropy in Silicagels Arisen due to Preparation in Magnetic Field

°森篤史（徳島大学）
°Atsushi Mori (Tokushima University)
E-mail: atsushimori@tokushima-u.ac.jp

Abstract:

In a crystal growth using silica hydrogels prepared in a magnetic field (*B*) as media of growth, $PbBr_2$ nanocrystallites whose axes aligned along the direction of *B* were observed. It is suggested that structural anisotropy was brought by effects of the magnetic field. We performed birefringence measurement and scanning microscopic light scattering (SMILS). It was concluded that Pb(II)-doped silica hydrogels prepared in magnetic field exhibited a positive birefringence with the optic axis along the direction of *B*. In particular, good proportionality between the birefringence Δn and *B* was observed and the positive birefringent samples were classified into two classes with respect to the proportional constant. By comparison between crystallite shape, the characteristic length in SMILS data, and dimension of nanocrystallites formed by electron irradiation to died silicagel sampes, we have conclusion that micropores are elongated parallel to the magnetic field.

Keywords: silica gels, anisotropy, birefringence, porosity, high magnetic field

１．はじめに

磁場中で調製したシリカゲルを媒質として結晶成長を行ったところ、結晶成長中に磁場を印加していないにもかかわらず、方位をそろえたナノクリスタリットの集合体が形成された[1]。Fig. 1 は、ナノクリスタリットの集合体の透過型電子顕微鏡（TEM）像である。これは、磁場中調製によりシリカゲル中に構造異方性が生じたことを示唆している。更には、無磁場下で調整したシリカゲルを用い、磁場中で結晶成長を行っても、Fig. 1 のようなナノクリスタリットの集合体は形成されない。シリカ高分子鎖だけでなく、添加した鉛(II)も反磁性を示す。従って、シリカ高分子鎖の磁場配向について、直感的な描像を描くことはできない。未知の配向機構に新しいサイエンスが潜んでいる可能性がある。更に、未知の機構を解明した次には、新しい技術開発や産業分野の展開が待っているかもしれない。

機構解明に向け、構造異方性の同定のために研究を進めている。2008 年に複屈折測定と走査型顕微光散乱（SMILS）による研究を行った[2]。その研究から最新の研究までのレビューを行う。本稿のタイトルが示すように、構造異方性解明に向けて取り組んでいる最中であり、完結した研究の報告とはなっていない。複屈折測定の結果を中心に記述した後、異方性多孔構造についての結果の紹介を中心に行う。

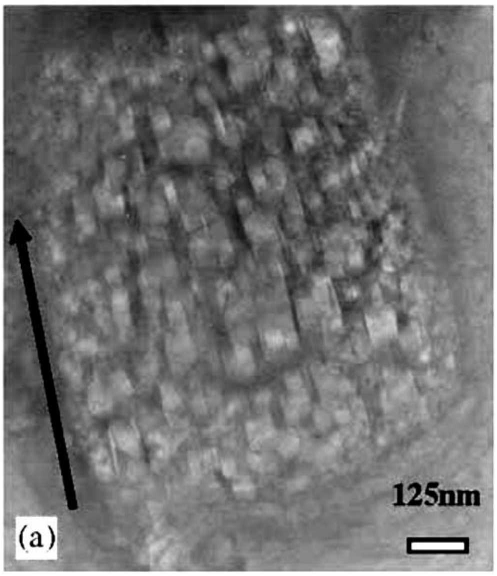

Fig. 1 An TEM image of aligned nanocrystallites of PbBr2 in a silica hydrogel prepared in magnetic field (Fig. 3(a) of Ref. [1] was carried here and adjusted contrast).

２．材料

メタケイ酸ナトリウムを強酸性に保つと、次の過程によりゲル化が起きる。まず、下の反応により、モノケイ酸が生じる

$$Na_2SiO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Na^+ + Si(OH)_4 + 2OH^-$$

シラノール基とモノケイ酸の反応による付加縮合によりシリカ高分子鎖が成長する。

$$\text{-O-Si-O-Si-OH} + Si(OH)_4 \rightarrow \text{-O-Si-O-Si-O-}Si(OH)_3 + H_2O$$

弱酸性条件では、クラスター生成し、ゲル化が起きない。本研究の契機となったゲルを媒質として用いた結晶成長

の研究では、鉛(II)を含んだシリカハイドロゲルの上に臭素を含んだ溶液を注ぎ、ゲル中での反応により臭化鉛(II)を生成させている[1][3][4]。鉛(II)のソースとしては、硝酸鉛(II)水溶液を用いているが、メタケイ酸ナトリウム水溶液に硝酸鉛(II)水溶液を加えると、クラスターが生成し、白濁してしまう。

本稿で報告する複屈折に関するサンプルは、メタケイ酸ナトリウムを出発原料とし、ゲル化に必要に強酸性に保つためには濃酢酸を用いた。以前の研究の材料の調製手順は次の通りである[1][3][4]。メタケイ酸ナトリウム水溶液は、50g のメタケイ酸ナトリウム九水和物を 103ml の脱イオン水で溶解させて作製した（約 1.7M）。7.5ml のメタケイ酸ナトリウム水溶液を同量の脱イオン水で希釈し、攪拌しながら 15m の濃酢酸を加えた。更に攪拌しながら 1M の硝酸鉛(II)水溶液を加え、2 時間攪拌を続けた。初期の研究でも、最近の研究でも薬品の分量比はこれらと同じとした[2][5][6]。薬品は和光純薬から購入した（メタケイ酸ナトリウム九水和物 199-02445、酢酸 017-00251、硝酸鉛(II)124-00612）。磁場中調製したシリカゲルを用いた結晶成長では、その後強磁場中で 1 週間静置してゲル化を行った[1][4]。異方性同定のための研究では、混合溶液をサンプルセルに移してから強磁場下に置いた。複屈折測定のためのサンプル作製では、断面が 10mm×10mm の直方体の石英製のセルを用いた[6]。攪拌時間と磁場中での静置時間も同じである。磁場の強さは、B = 10 T までとした。強磁場環境は、東北大学強磁場センターの共同利用のものを使用した（JMTD-10100M、Japan Magnet Technologies Co.）。

３．複屈折測定法

本稿で報告する結果は、セナルモン法による複屈折測定を行ったものである。偏光顕微鏡に付属のセナルモンコンペンセーターを装着した測定では、数度の消光位の変化を正確に検出することは困難である。そこで、検光子の方位角 θ の関数として光強度 I を測定し次式によってフィッテングを行った[2]。

$$I(\theta) = A_1 \cos(2\theta - \delta) + A_2 \tag{1}$$

Fig. 2 に $I(\theta)$ の測定結果の例を示した。この例では、フィッテングの結果は δ = -7.22° である。複屈折による位相差 δ [rad]から、リターデーション（optical path length）$\Gamma = \Delta n d$（Δn は複屈折の大きさ、d はサンプルの厚さ）を求める。

$$\delta = 2\pi \frac{\Gamma}{\lambda} \tag{2}$$

λ は、測定に使用した光の波長である。水銀ランプの場合は λ = 546 nm で、本稿の結果はそれを用いたものである[2][5][6]。λ =546 nm 程度の場合、1° の消光位の測定はナノメーターオーダーのリターデーションに相当する。今の場合 d ～10mm なので、10^{-7} のオーダーの Δn に相当する。

フィッテングのために、検光子の方位角 θ を 10° づつ変えて光強度 I を測定した。強度 I は、一つの θ について 2 分程度掛けてフォトンカウント（/100ms）を行い、平均と揺らぎを求めた。0～180° 間での角度について測定するためには、1 時間弱を要する。サンプル内の 1 点について 1 回の測定では不十分なので、この方法は大変時間を要するものである。最初の論文は、2008 年に出版している[2]。その結果を正すのに 6 年を要した[6]。この困難の解決については、最後に述べる。

４．複屈折測定の結果

初期の研究では、ホウケイ酸ガラス製の円筒型のセルを用いた。調製時に印加した磁場の方向を光学軸とするような負の複屈折性の結果を得た[2]。シリカ高分子鎖のイントリンシックな複屈折が正ならば、磁場に対して垂直にシリカ鎖が配向することになる。鉛(II)を添加しない場合には複屈折性は生じないため、シラノール基と鉛(II)イオンが形成する何らかの複合構造がキーとなっているのであろう。垂直配向を説明できるもっともらしい機構を考えることはできた。ところが、この結果はホウケイ酸ガラス製のセルを用いたことが不適切だったためであった[5]。

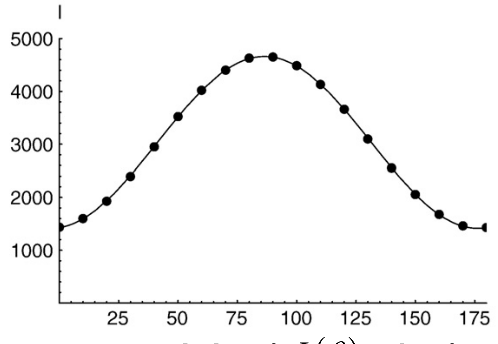

Fig. 2 A typical plot of $I(\theta)$ with a fitting curve by Eq. (1) (carried form Ref. [2]).

石英製のセルを用いた結果を Fig. 3 に示す[6]。測定データは、二つの正の負屈折性を示すグループ、非複屈折性のグループ、負の複屈折性のグループに分類できる。複屈折 Δn が 10^{-7} のオーダーであることから、第３章の方法によらなければこの結果を得ることはできなかったと言える。特筆すべきことは、正の複屈折性を示すグループについて、複屈折 Δn と調製時に印加した磁場の大きさ B の間に良い比例関係が成り立つことである。負の複屈折のデータは誤差も大きく、ホウケイ酸ガラスによる不適切なアーティファクトと同質なものの影響かも知れない。負の複屈折のデータは除外して考える。磁場中調製により非複屈折状態（no）と二つの正の複屈折状態（posi#1 および posi#2）が現れたと考えられる。

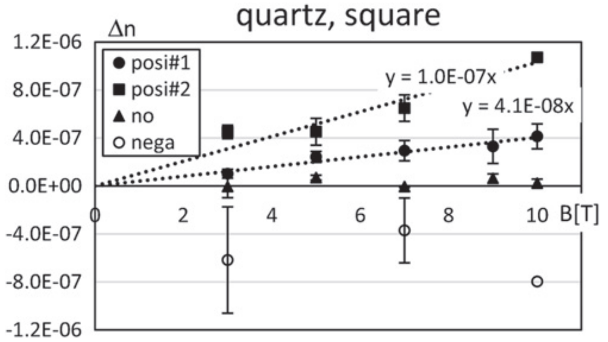

Fig. 3 Birefringence Δn v.s. strength of magnetic field B (carried form Ref.[6]).

５．異方的多孔構造

Fig. 1 のナノクリスタリットの TEM 像を画像解析し、クリスタリットの大きさを見積もった（Fig. 4）。長軸が百数十から数百ナノメーター、短軸が数十ナノメーターであった。2008 年に行った SMILS による電場の自己相関関数の緩和時間の逆数を散乱ベクトルの大きさの二乗に対してプロットし、ストークス・アインシュタインの関係式によって特徴的長さに直すと、長軸の長さと同じオーダーであった[7]。乾燥シリカゲルに電子線を照射すると鉛(II)ナノクリスタリットあるいはナノクラスターが析出した[8]。このサイズは、短軸の長さとほぼ同じだった。

ゲルを媒質とした結晶成長においては、一つの原料がゲル中を拡散し、もう一つの原料のところへ達して反応をするような機構が本質である。一方、電子線照射による結晶析出は、金属イオンの電子線照射による還元が基本的な機構である。従って、前者では物質移動がゲルの構造異方性ないしはポアの異方性の影響を直接受ける。ナノクリスタリットはポアに沿って成長しすると予想できる。それに対し、後者では物質移動はナノクラスターの析出には関係しない。等方的に成長するナノクラスターのサイズは、ポアの短軸のサイズで制限される。ポアは、ナノクラスターの成長の上限を与えるに過ぎないことから、ナノクラスターのサイズをポアサイズとするのは、アンダーエスティメートとなる。しかし、ミクロポアが磁場印加方向に引き伸ばされているという結論は確かであろう[8]。

６．考察

非複屈折性、Δn -B の比例係数の小さな正の複屈折性、Δn -B の比例係数の大きな正の複屈折性の 3 状態が現れたことは、逐次相転移の可能性を示唆している。B の小さな領域では非複屈折性の状態が安定状態であると考えるのが自然であろう。磁場を強めると、比例係数の小さな正の複屈折の状態が安定状態となり、更に強めると比例係数の大きな正の複屈折の状態が安定状態となることが想像できる。ところが、Fig. 2 では、2 つの正の複屈折性の状態について、広い範囲で比例関係が良く成り立っている。共存領域の端では、準安定相の状態方程式は安定相側へ曲がるものであるが、その兆候は捕らえられていない。更に測定データの数を増やし、確率分布 $\Pr\left(\Delta n\right)$ を得ることが良いと考えている。B を変えると、確率分布における準安定なピークと安定なピークが入れ替わることが観察されると予想する。

Fig. 2 で非常に良い比例関係が見られることは、複屈折材料として Δn のデザインが可能であることを示唆している。そのためには、もちろん安定状態の領域の決定が必要である。シリカをベースとしていることから、耐薬品性や耐熱性に富む。また、ハイドロゲルつまりソフトマターであることから、加工性に富む。これらの両方を兼ね備えることは、他の材料に対しての優位性である。添加している金属が毒性の強い鉛(II)であることは、材料としては欠点である。他の金属の添加を検討中である。反磁性を示す

Fig. 4 Result of particle analysis of the TEM image of Fig. 1(carried form Ref. [7]).

鉛(II)イオンよりも、強磁性を示す金属イオンの方が効果が大きいことが期待できる。鉄(III)を添加すると濃黄色を呈してしまうので、薄ピンク色を呈するマンガン(II)の添加を試みているところである。また、メタケイ酸ナトリウムを出発原料とした場合は、ナトリウムを含んだ材料となってしまう。オルトケイ酸テトラエチルを出発原料とする研究も開始している。

乾燥シリカゲルへの電子線照射による鉛(II)ナノクリスタリット析出においては、ナノクリスタリットの結晶性がゲル調製時に印加した磁場の強さによって制御できることを明らかにした[8]。磁場の強さが強い場合は電子線回折パターンには明確なデバイリングが見えていた。磁場の強さが弱い場合は、アモルファスを意味する回折パターンであったり、結晶性の悪さを表すような不明瞭なデバイリングであった。しかし、結晶性を定量化することは行っていない。つまり、結晶性を磁場の強さの関数としてプロットしていないので、可能性を示したに過ぎない。しかし、ゲルの調製時に印加した磁場の強さによって析出物の結晶性を制御する、新しい技術の発展の可能性がある。

６．おわりに

まず結論を述べる。

１．磁場中調製鉛(II)添加シリカゲルは、磁場印加方向を光学軸とするような正の複屈折性を示す。
２．複屈折と磁場の間に良い比例関係が成り立った。
３．比例係数に関して、正の複屈折性のサンプルは二つのクラスに分類できる。
４．磁場中調製鉛(II)添加シリカゲル中のミクロポアは、磁場方向に引き伸ばされる。

１および４結論は、必ずしもシリカ高分子鎖が磁場に対して平行に配向することを意味しない。ポアを形成するシリカ高分子鎖が、ポアの延伸方向に平行か垂直なのかについての情報はない。

確率分布 $\mathrm{Pr}(\Delta n)$ を得るためには、測定データ数を増やすことが必須である。本稿で記述した方法では、Δn 軸の解像度は十分であるが、測定に時間を要することが致命的である。既に検光子の回転を自動化し、検光子の方位角を光強度を同時に計算機に取り込むセットアップを完成させている[9]。更に、検光子の回転を自動化することにより、測定できるリターデーションの精度を一桁改善することに成功している。正確に言えば、第3章で言及したナノメーターのオーダーのリターデーションを 0.1nm のオーダーまで測定できるように改善した訳で、感度を一桁改善したことになる。この方法では、時間をほぼ十分の一短縮することができる。測定点一つに対して 1 分程度で 19 の方位角についての測定が終了する。データの数を一桁増やすことができることになり、Δn のヒストグラムを作成することが可能である。

シリカゲルが骨格であることである最大の優位性の耐熱性について、今後の計画について述べる。本稿では、ハイドロゲルについての複屈折の結果を報告した。シリカ高分子鎖自体は、耐熱性にすぐれていたとしても、高温環境では溶媒である水は蒸発してしまう。溶媒が蒸発すれば、ゲルの構造が変化し、複屈折も変化してしまう。つまり、複屈折材料としての安定性に乏しい。これを解決するために、イオン液体による溶媒置換を計画している。イオン液体は耐熱性でありかつ不揮発性であるから、溶媒の蒸発を防ぐことができ、材料として安定化する。高温環境下だけでなく、高真空下の厳しい環境での使用が可能となる。イオン液体による溶媒置換により、ゲルは収縮や膨張する。従って、溶媒置換後の Δn を B の関数として得ることが Δn のデザインのためには必要となる。更に、混合イオン液体による溶媒置換において、混合比を変えることによる調製も有効であろう。

謝辞

本研究の一部は、東北大学強場センターの共同利用を利用して実施した。共同研究者の方々に感謝する。一部の研究計画は、日本板硝子材料工学助成会の助成を受けて進行中である。また、他の一部の研究計画は、池谷科学技術振興財団からの助成を受けてスタートしている。

参考文献

[1] T. Kaito, S.-i. Yanagiya, A. Mori, M. Kurumada, C. Kaito, and T. Inoue: *J. Cryst. Growth*, **289**, 275-277 (2006).
[2] A. Mori, T. Kaito, and H. Furukawa: *Mater. Lett.*, **62**, 3459-3461 (2008).
[3] H. Kusumoto, T. Kaito, S.-i. Yanagiya, A. Mori, and T. Inoue: *J. Cryst. Growth*, **277**, 536-540 (2005).

[4] . Kaito, S.-i. Yanagiya, A. Mori, M. Kurumada, C. Kaito, and T. Inoue: *J. Cryst. Growth*, **294**, 407-410 (2006).
[5] R. Tomita, A. Mori, M. Yamato, H. Furukawa, and K. Takahashi: *World J. Eng.* **7**, suppl. 2, 518-519 (2010).
[6] A. Mori, T. Kaito, H. Furukawa, M. Yamato, and K. Takahashi: *Mater. Res. Exp.* **1**, 045202 (2014).
[7] A. Mori, T. Kaito, and H. Furukawa: *Coll. Surf. A*, **482**, 464-467 (2015).
[8] T. Kaito, A. Mori, and C. Kaito: *J. Chem. Chem. Eng.*, **9**, 61-66 (2015).
[9] A. Mori and R. Tomita: *Instr. Sci. Tech.*, **43**, 379-389 (2015).

第 19 回日本磁気科学会研究会

「細胞・生体と磁気」

予稿集

2016 年 11 月 17 日

於：物質・材料研究機構

主催：日本磁気科学会　有機・バイオ分科会

プログラム

11 月 17 日（木）　13:00～15:30

13：00-13：05　開会の挨拶　藤原好恒（広島大学）

13：05-13：50　「培養細胞に見られる強定常磁場の作用」
櫻井智徳（岐阜医療科学大学）
交代・休憩

13：55-14：40　「動物の磁気感受と分子システムの磁場効果」
前田公憲（埼玉大学）
交代・休憩

14：45-15：30　「経頭蓋磁気刺激における刺激部位推定システムの開発と
経頭蓋磁気刺激を用いた脳機能ダイナミクスの解明」
樋脇　治（広島市立大学）

培養細胞に見られる強定常磁場の作用
Effects of Strong Static Magnetic Fields on Cultured Cells

°櫻井智徳、唐澤玲子、長元志高（岐阜医療科学大学）；廣田憲之（物質・材料研究機構）
°Tomonori Sakurai, Reiko Karasawa, Yukitaka Nagamoto (Gifu University of Medical Science)
Noriyuki Hirota (National Institute for Materials Science)
E-mail: tsakruai@u-gifu-ms.ac.jp

Abstract:

Magnetic resonance imaging (MRI) has been introduced to many hospitals as a non-invasive diagnostic tool. A strong static magnetic field is one of key components of MRI and the magnetic flux density used for static magnetic fields becomes higher to realize higher resolution and sensitivity. However, information on the effects of strong static magnetic fields on biological systems is still lacking. For example, International Agency for Research on Cancer (IARC) evaluated the carcinogenic risks to humans of static magnetic fields and classified into group 3, not classifiable as to its carcinogenicity to humans. We have studied the effects of strong static magnetic fields using cultured mammalian cells such as insulin-secreting cells, osteoblast cells, muscle satellite cells, or cancer cells. In this meeting, we will mention the cell orientation, migration and invasion.

Keywords: static magnetic fields, myogenesis, glioblastoma

１．はじめに

MRI は被ばくの心配なく三次元画像診断ができる機器として病院、診療施設等に導入されています。汎用の MRI 装置は 1.5 T の定常磁場と 60 MHz 付近の高周波電磁波を用いて磁気共鳴を生じさせて診断していますが、上級機種として 3.0 T MRI 装置を導入している施設も増え、米国では既に 6T MRI 装置が FDI の認可を受けて稼働しています。診断中、被検者は高磁束密度の定常磁場にばく露されています。高磁束密度の定常磁場は安全であると認識されていますが、科学的なエビデンスは必ずしも十分ではありません。国際がん研究機関（IARC）が定常磁場の発がん評価をグループ 3（ヒトに対する発癌性が分類できない）に分類していることはその好例です。

我々の研究室では、哺乳類由来の細胞を定常磁場中で培養することで、定常磁場の生体影響を明らかにする研究を行ってきました。本研究会では、以前、弘前大学に設置されていた最大磁束密度 10 T 装置で行った研究と、最近、物質・材料研究所にある最大磁束密度 13 T 装置を用いて行った研究について紹介します。

２．細胞配向

我々の研究室では、多くの細胞が属する単核細胞の配向ではなく、細胞融合により多核細胞が形成される系に対する配向を検討しています。成人になってからでも筋肉は、ストレッチ運動による刺激を受けた際や、筋肉障害の際には、筋肉細胞の組織幹細胞である筋衛星細胞の活性化、増殖を経て再生されます。この過程で、単核細胞の筋衛星細胞は、分化によって形成される筋芽細胞が融合することで、多核の筋管細胞に変化していきます。筋管細胞は管状の細胞であるため、細胞の縦横比が大きく、細胞の向き（並び）が観測しやすいので、配向研究に向いていると考えられます。細胞同士が融合するという、筋肉再生過程で見られる特殊な過程に定常磁場がどのような作用を及ぼすか不明瞭なので、分化誘導研究、再生研究からも興味がありました。筋衛星細胞から筋管細胞が形成される過程を強定常磁場中で行ったところ、形成される筋管細胞は、磁束密度、磁場勾配の大きさに応じて配向しました。研究会ではこの依存性に関してご紹介致します。

３．細胞遊走・浸潤

細胞が配向するには細胞の移動性がある程度確保され、細胞の移動に対して強定常磁場が影響を与える必要があると考えられます。このことは、がん細胞が転移する際は、移動性を確保し、遊走していく過程を経ることと似ています。我々の研究室では、ヒト由来のがん細胞の遊走、浸潤過程に対する強定常磁場ばく露の影響を検討しています。研究会では検討の現状をご紹介します。

動物の磁気感受と分子システムの磁場効果
Magnetoreception of Animals and Magnetic Field Effect on the Molecular Systems

前田公憲（埼玉大学理工学研究科）
°Kiminori Maeda (Department of Chemistry, Graduate School of Science and Engineering)
E-mail: kiminorimaeda@mail.saitama-u.ac.jp

Abstract:
There are various phenomena regarded as a magnetic effect on biology. In them, radical pair mechanism is considered the mechanism that alters the chemical reaction efficiency by a very weak magnetic field and the origin of the magneto reception of animals. In the present talk, the theoretical basis, the MFE of cryptochrome, and improvement of the detection technique are presented. Flavin adenine dinucleotide (FAD) is one of the most interesting co-enzyme biomolecules in related with the magnetoreception mechanism for animal navigations. Recently, the observation of the magnetic field effect (MFE) in the photo-induced intramolecular electron transfer reaction by using microscopes was demonstrated by two groups. Those results opened the space resolved MFE measurement.　We present the precise measurement of MFEs by the improved set up and discuss the probability of the application of MFEs for probing the local environment in the biological cells.
Keywords: weak magnetic field, magnetoreception of animals, magnetoreception of the molecular systems

１．はじめに

多くの動物が地磁気を利用して，その移動の道案内に利用している事は，すでに多くの観測や実験から示されている．しかしそのメカニズムについては，明らかとは言えない．特に酸化鉄の小さな棒磁石（マグネタイト）が方位磁針のようになっており，それが神経とつながっているというマグネタイト仮説と，後で述べるラジカル対仮説[1]とが，しのぎを削っている．ラジカル対機構に基づく生物の磁場効果の根源として，Shulten, Ritz らはクリプトクロムの磁場効果を提案していた[2].

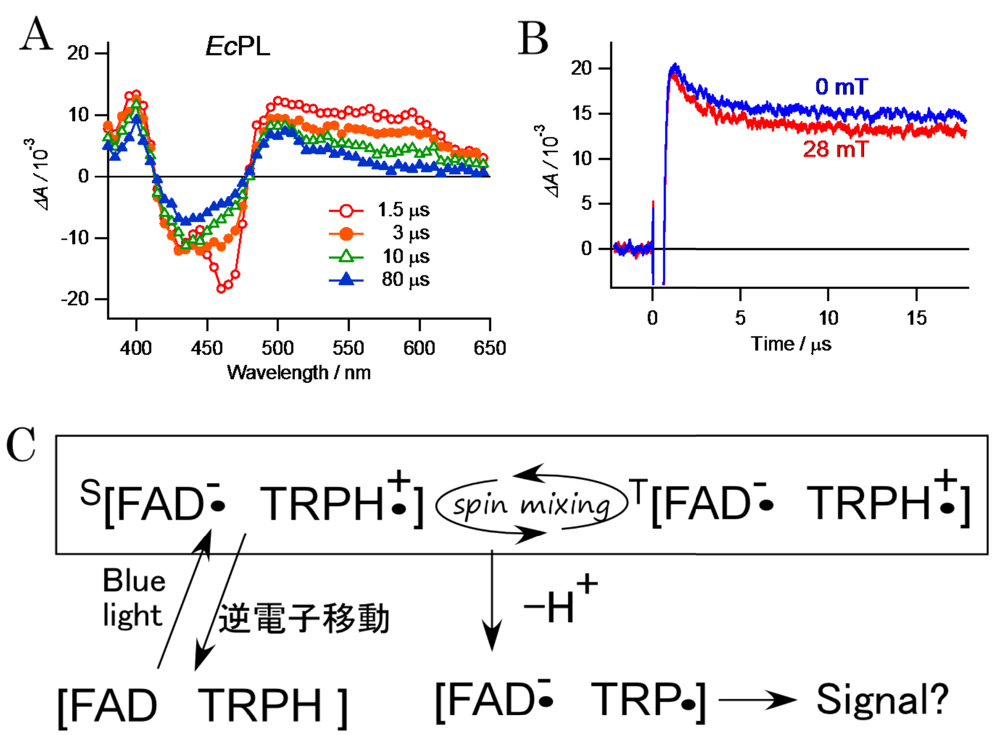

図1:（A）大腸菌フォトリアーゼのレーザフラッシュフォトリシスによる過渡吸収スペクトル．（B）510nm における過渡吸収信号の時間変化とその磁場効果．（C）過渡吸収実験とその磁場効果測定から提案される反応スキーム[5]

２　クリプトクロム類の光化学反応と磁場効果

渡り鳥のみならず多数の動物，昆虫などにおいて，ラジカル対説を裏付ける実験結果が表れている[3-4 他]．その中でいくつかの研究が，その磁気受容体として，青色受容体クリプトクロムであることを示唆している．元々，Ritzらは，鳥のコンパスの候補分子としてクリプトクロムを提案している．発表者前田らは，そのクリプトクロム類である，大腸菌フォトリアーゼや植物由来のクリプトクロムにおいて，光励起による（一重項励起状態からの）ラジカル対の形成，ラジカル対に由来する磁場効果の存在，磁場効果に対するスピンデコヒーレンスの効果の存在などを明らかにした（図1）[5].

クリプトクロム類縁体である大腸菌由来フォトリアーゼ(*Ec*PL) における時間分解過渡吸収スペクトルを Fig. 1 A に示す．励起後すぐにフラビンのアニオンラジカル $F^{\cdot -}$とカチオンラジカル $TrpH^{\cdot +}$によるラジカル対が生成するが，$TrpH^{\cdot +}$がプロトン放出による中性ラジカルに変化する．我々はその他の動物由来のクリプトクロム（ショウジョウバエ *Dm*Cry，アフリカツメガエル *Xl*Cry-DASH）についても，過渡吸収スペクトルを測定したが，定性的には同様の結果が得られている．

観測波長を 510 nm とし，過渡吸収の時間プロファイルを図1B に示す．比較的速い減衰成分と，図中ではフラットな長寿命成分が存在する．磁場(28mT)中とゼロ磁場中での時間プロファイルを図中に示す．磁場中において明らかに負の磁場効果が観測された．この結果はラジカル対が一重項励起状態から生成している事の直接的証拠である．磁場効果は速い減衰成分と同期して立ち上がる．この磁場効果と過渡吸収スペクトルから，以下のように電子スピン状態を考慮した反応スキーム(図1C)があきらかとなった．重要な事は，ラジカル対がプロトンの出し入れにより，構造変化することである．しかし，逆電子移動反応が有効に起こるのは初期に生成する $F^{\cdot -}$と $TrpH^{\cdot +}$からなるラジカル対（RP1）である．その後の構造変化により生成したラジカル対（RP2）の再結合は非常に遅く，その後の反応プロセスを待っている．この事はラジカル対ダイナミクスによる磁場効果（反応時の磁場の情報）を，長時間保持できるという面において非常に有効である．

３．新しい測定法への展開

過渡吸収法による測定は，磁場効果測定においても有効であることを前節で示したが．生体分子は多くの場合サンプルが希少であり，光反応によりサンプルを消費する場合，長時間のデータ測定による S/N 比の向上が難しい．特に磁場効果の測定においては，磁場下と参照用のゼロ磁場下での測定をほぼ同じコンディションで行う必要があり，条件の安定性が求められる．そのため，光照射を小さく抑えて，小さな過渡吸収信号を高感度で測定する必要がある．このような目的から，クリプトクロムなどのフラビン類の光化学反応の磁場効果を高感度で観測するための新しいテクニックの開発が進んでいる．それらを以下にまとめるが，これらすべてに本講演者が関与している．

１）光キャビティを用いた高感度吸収測定．光キャビティリングダウン法による高感度時間分解測定[6].

２）蛍光測定による基底状態量の変化を高感度で観測する方法論の展開．さらに蛍光測定法を共焦点顕微鏡を用いて測定することによる，微小サンプル測定[7].

３）バランス型差分検出器を用いることによる，超高感度過渡，定常吸収測定の磁場効果．（図２）

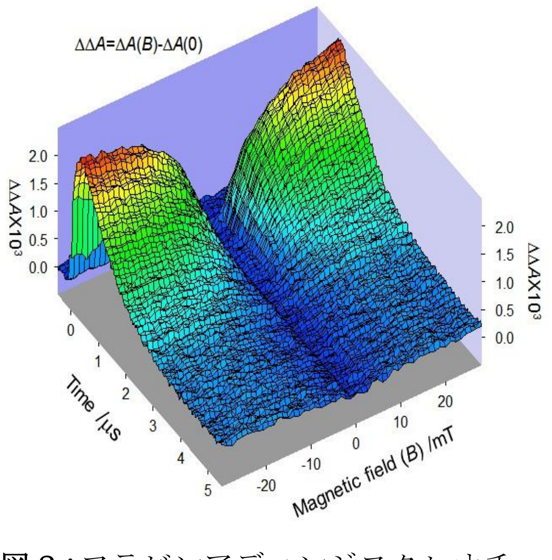

図２：フラビンアデニンジヌクレオチド（FAD）の光誘起分子内移動反応において差分検出器によって検出した時間分解磁場効果（TR-MARY）

References.

[1] K. Schulten, C. E. Swenberg, and A. Weller, *Z Phys Chem Neue Fol* **111** (1), 1-5 (1978).

[2] T. Ritz, S. Adem, and K. Schulten, *Biophysical Journal* **78** (2), 707-718 (2000).

[3] T. Ritz, et al. *Nature* **429** (6988), 177-180 (2004).

[4] R. J. Gegear, S. M. Reppert et al. *Nature* **454** (7207), 1014-U1061 (2008); R. J. Gegear, S. M. Reppert et al. *Nature* **463** (7282), 804-U114 (2010)

[5] K. Maeda, A. J. Robinson et al. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **109** (13), 4774-4779 (2012).

[6] K. Maeda, S. R. T. Neil, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **133** (44), 17807-17815 (2011). S. R. T. Neil, J. Li, *J. Phys. Chem. B* **118** (15), 4177-4184 (2014);

[7] D.A. Dodson, C.J. Wedge, et al. *Chem.Comm.* **51,** 8023-8026(2015).

経頭蓋磁気刺激における刺激部位推定システムの開発と経頭蓋磁気刺激を用いた脳機能ダイナミクスの解明

System for Accurate Estimation of Stimulation Points in Transcranial Magnetic Stimulation and Study on Brain Dynamics with Transcranial Magnetic Stimulation

樋脇 治（広島市立大学）
Osamu Hiwaki (Hiroshima City University)
E-mail: hiwaki@hiroshima-cu.ac.jp

Abstract:

Transcranial magnetic stimulation (TMS) is a method for noninvasive stimulation of cerebral cortex, and it has contributed to clinical and basic researches of brain function. We have developed the positioning system for TMS with a three-dimensional (3-D) digitizer and a multi-articular system. These systems enabled accurate estimation of the stimulating points of the cortex in TMS. We also applied TMS for dynamic interference with on-going motor control processed in the motor cortex.

Keywords: Transcranial magnetic stimulation (TMS), Motor cortex

１．はじめに

経頭蓋磁気刺激(TMS: Transcranial magnetic stimulation)は、コイルから発生したパルス磁界を頭部に照射することにより脳内に電界を誘導し、主に大脳皮質の神経細胞を刺激しようとするものである。TMS を用いれば、非侵襲･非接触で痛みを伴うことなく比較的簡便に脳の刺激を行なうことが可能である。従来、大脳皮質の運動野の TMS により誘発される筋電図を計測することにより脳･脊髄や末梢神経の機能診断が行われているが、最近では、うつ病など精神疾患の治療にも TMS が利用されるようになってきている。このように TMS は脳機能の診断･治療に非常に有用なツールであり、今後の更なる応用展開が期待されている。我々は，これまで，TMS における刺激部位を高精度に推定するシステムの開発や脳の運動制御系の解明に TMS を用いる研究を行なってきた。

２．TMS における脳の刺激部位を高精度に推定するシステムの開発

TMS では脳内に広く分布する誘導電界で脳の神経細胞を刺激するため、一般には刺激部位を正確に特定することが困難である。我々は、TMS において正確に刺激部位を推定する方法として、磁気刺激における神経細胞の興奮特性ならびに大脳皮質内の神経細胞の解剖学的特徴に基づいた手法を考案した。この手法を用いて TMS における高精度な刺激部位の推定を実現するために、脳と刺激用コイルの位置を高精度で計測するシステムを開発した。三次元空間中の脳および頭部の位置計測を行なうための三次元形状計測装置と刺激用コイルの位置計測を行うための多関節アーム装置からなるポジショニングシステムを開発した。このシステムを用いて、TMS において大脳皮質に誘起される誘導電界の分布を計算するシステムを開発した。TMS において大脳皮質の神経線維を刺激する度合は、大脳皮質表面に垂直に配列した錐体細胞の方向の誘導電界成分に比例すると考えられている。この考えに基づき、頭部3次元 MRI により誘導電界の大脳皮質の表面に垂直な成分が最大になる部位を刺激部位として推定するシステムを開発した。このシステムを用いて TMS により手の筋に誘発筋電図が出現したときの刺激部位を推定した結果、第一次運動野の手の支配領域に刺激部位が推定されることを確認し、開発システムの有効性を示した。

３． 脳の運動制御系に対する TMS の干渉

ヒトが運動を行なうとき、運動開始前に脳で運動企画が行われ、その運動企画に基づいた運動指令が第一次運動野から末梢の筋に向かって出力されると考えられている。我々は、手指の二点間到達運動を途中で停止するタスクを対象として、脳の運動停止機能に対する第一次運動野の TMS の干渉を試みた。その結果、手指の運動開始直後に運動を停止しようとしても、そのタイミングで TMS を行なったときには運動を停止できなくなることが見出された。この結果は、脳における運動企画変更プロセスに対して TMS が干渉できることを示唆している。このように TMS を用いた手技を用いれば、脳機能のダイナミックな情報処理過程に対して TMS で介入することができ、その応答を調べることによって脳機能ダイナミクスを解析できる可能性があることを示した。