目 次

巻頭言	
活動報告	
第9回磁気科学会研究会報告	2
第10回磁気科学会研究会報告	4
磁気学会との連携報告	5
国際会議報告	
ICMS2011	8
Japanese-French High Field Research Collaboration Workshop	9
MAP5	10
EPM2012	12
受賞者の声	
第1回功労賞受賞 青柿良一先生	13
会計報告	14
会則等	
日本磁気科学会 会則	16
理事会運営規則	21
表彰制度	23
役員	25
第12回磁気科学会研究会講演予稿集	27

卷頭言

副会長(分科会統括)米竹 孝一郎

「日本磁気科学会」が発足してから今年で 7 年となりました。本会は年会の他に「磁場発生」、「物理化学」、「高分子・材料プロセス」、「無機・金属」、「有機・バイオ」、「分離・分析」の 6 つ分科会による講演会が企画されています。基本的には年に 2 つの分科会が開催されておりますので、分科会も 3 巡目に入ります。本会は様々な分野から構成されていることから、分科会は当該分野におけるより深い研究交流のために極めて重要であるとともに、会員増強にも一役買っております。従って分科会の活動は学会を支える大きな原動力であり、今後の益々の発展を期待するところです。

高分子・材料プロセス分科会が私の所属する主たる分科会になりますが、有機材料を扱う私どもにとってNMRは合成した有機化合物のキャラクタリゼーションには欠かせないツールであり、また固体NMRやESRも有機化合物の構造解析に盛んに利用されておりなじみ深い装置です。このように反磁性材料を扱っている我々も古くから「磁場」の恩恵を受けてきました。磁性材料の発展に伴いNMRの性能も格段に向上して、合成化学の発展に大きく貢献しております。さらに液晶やゲルなど機械的には配向構造を形成し難いソフトマターの分野において、高次構造制御やX線構造解析用試料の作製などに磁場を利用する例も多くみられるようになりました。近年は有機エレクトロニクス分野において、励起状態の解明に用いる例もみられるようになり、有機材料への応用範囲がさらに広がりつつあります。有機半導体、有機太陽電池の分野でも薄膜内の結晶の配向制御に早くから磁場配向の手法が注目されてきましたが、プリンタブル、ロールツーロールといった有機エレクトロニクスが目指す連続工程にはまだまだ高価であり、今後の開発が望まれます。

本稿を書いている最中に山中氏のノーベル賞受賞というニュースが入ってきました。山中氏はそのインタビューの中で資金集めに苦労された経験談を語られ、基礎研究への支援の重要性やポストドクの雇用問題にも触れてその改善をあらためて訴えておられました。訥々と語るその姿に共感を覚え、高い志と不屈の精神を持って研究を続ければ必ず報いがあることに勇気づけられた方も多いと思います。競争的資金においては応用研究でないとなかなか受け入れられない状況にあり、研究者にとって外部資金導入が大きなストレスになっていることも事実であります。本会においても遠い将来を見据えた研究に打ち込んでいる研究者が沢山おられますが、この度のノーベル賞が基礎研究に従事している研究者に朗報となることを願ってやみません。

磁気科学研究は「場」を大きく変えた中で行われているだけに、これからも様々な発見があることは疑いの無いところです。会員の皆様の益々のご発展を祈念いたします。

第9回研究会報告 無機金属分科会

「パルス磁場研究の新たな展開と磁気科学への応用」 大阪大学 植田千秋

無機金属分科会では、第6回・日本磁気科学会年会に先立って、表記タイトルの研究会を 東京大学・山上会館において、約50人の参加者を得て開催しました。磁気科学の分野は、新 しい磁気的効果を科学として定着させるという点で、大きな成果を上げてきました。新たな 磁気効果を探る研究では、時として最初の計画よりも磁場強度を増やしたい場面に遭遇しま す。しかしこの分野で超強磁場を用いた研究はあまり見られません。今日、強磁場を比較的 容易に発生する方法として、パルス磁場が挙げられます。そこでこの研究会では、パルス超 強磁場の分野で先端的な成果をあげておられる研究者に講師をお願いし、パルス磁場の有 用性に焦点をあてた講演をしていただきました。同時に磁気科学の分野ですでにパルス磁場 を有効に活用しておられる研究者に、最新の成果を紹介していただきました。

プログラム

2011年 9月26日

9:55~「パルス強磁場開発の最前線」金道浩一(東京大・物性研)

10:30~「パルス強磁場を用いた物性研究と将来計画」萩原政幸(大阪大)

11:05~「パルス磁場を利用したファラデー回転観測とイメージングへの展開」

諏訪雅頼 (大阪大)

11:25~「移動式パルスマグネットの開発と化学・生物系研究へのパルス強磁場の適用」 浜崎亜富 (信州大)

11:45~「パルス磁場を用いた新規磁性形状記憶合金の物性研究」

左近拓男(秋田大)、野尻浩之(東北大)、鹿又武(東北学院大)

11:20~ 総合討論

金道氏は、100テスラの磁場強度を非破壊で達成するために東大物性研で進められているプロジェクトを紹介し、さらに磁気科学の分野で応用の可能性の高いロングパルスの有用性を示しました。 萩原氏は、パルス強磁場発生法の原理について解説したのち、その活用例として磁性物理の分野での最新の成果を提示しました。 左近氏は、新規の磁性形状記憶合金の高速磁場応答性に関する研究に、パルス強磁場が有効であることを示し、さらにパルス強磁場が一般の研究室にも導入可能である実例を紹介しました。 諏訪氏は、ファラデー回転を用いた新しいイメージング装置を紹介し、小さな分析空間に強磁場を導入するうえで、パルス磁場が有効であることを示しました。 浜崎氏は、一般の実験室で強磁場を手軽に導入するために構築した移動式パルスマグネットの性能と、その応用の可能性について講演しました。

このように日本では、世界に先駆けてパルス強磁場の研究・開発が盛んであり、それらの成果を国内の研究会として、いちどきに聞くことができたのは幸運なことだったと思います. これが将来、磁気科学の研究領域をさらに大きく広げる端緒となれば幸いです.

磁場発生分科会研究会報告

東北大金研 渡辺和雄、小黒英俊

日本磁気科学会磁場発生分科会と、東北大学金属材料研究所強磁場センターの合同研究会が2011年10月27,28日に東北大学金属材料研究所本多記念館で行われた。テーマを「高温超伝導マグネット応用技術に関する若手研究会 - 安定性・機械特性・コイル化など-」とし、特に現在市販化まで進み、強磁場中でも超伝導特性の優れたREBCO系超伝導線材(Coated conductor と呼ばれるテープ状の線材)に焦点を当てた研究会とした。特に、日本では東北大金研、NIMS、東大物性研、阪大極限センターが一体となり、オールジャパン体制で次世代強磁場マグネットの開発を計画している。その中でも、50Tハイブリッドマグネットや、25T無冷媒超伝導マグネットは、これまで以上に磁気科学の発展に寄与するマグネットとなることが予想される。そして、これらのマグネットは上記のREBCO線材を使用することで実現が可能となり、今後の強磁場マグネットにとって非常に重要な役割を担う線材である。

ところが、本線材はコイル化技術の面で様々な問題があり、マグネット応用への道は険しい。この問題に対して研究を進めている研究者同士で、高温超伝導マグネット技術の現状に関して議論し、問題意識の共有、問題解決への道を模索するため、本研究会を行った。特に今回は、今後の研究開発を担う若手の研究者を集め、活発な議論を行った。議論はREBCO線材が持つ問題を満遍なく網羅しており、機械特性(引張り、剥離の問題)、遮蔽電流、含浸剤クエンチ保護の問題など問題とその解決策等の講演がなされた。

コイル化されて使用する際には、単純に線材で測定する条件と異なる点があり、その中に磁場分布が挙げられる。この磁場分布により、コイルの上下端ではテープ線材のテープ面方向に電磁力が加わるため、超伝導層が剥離する問題があり、最近分かっている最も大きな問題点として挙げられていた。この問題に対し、含浸方法の改良、もしくは絶縁材の改良により解決できることが示されたことは、高温超伝導マグネット開発に大きな前進があったことを示す重要な結果であった。

最後には、未だ明確な答えの出ていないクエンチ保護の問題に関して、マグネットがクエンチした際にどのように焼損を防ぐことができるかに関しての議論を行った。現状では線材に多量の Cu を安全のために付け加えることが有効だと考えられるが、空間電流密度が下がる問題があり、バランスが難しい問題となる。本研究会での議論を含めても、現在は答えのない問題であるクエンチ保護の問題であるが、こうしたディスカッションを続けることが、少しでも前進するためには必要なことではないかと思う。

研究会の後には東北大金研強磁場センター会議室にて懇親会が開かれた。同世代の若手研究者同士が集まっていたことで、懇親会での話も盛り上がり、横のつながりが強くなった印象を受けた。このようなつながりを作ることができたことが、本研究会の最も大きな成果だったといえる。

日本磁気学会との連携についての報告

物質・材料研究機構 廣田 憲之

本会では、2008年から日本磁気学会(MSJ)との連携をスタートさせた。

2008 年には MSJ の第 32 回学術講演会において国際シンポジウムを共催し、本会の第 3 回年次大会において共催セッションを実施した。2009 年 8 月には MSJ 強磁場応用専門研究会と本会の物理化学分科会の共催で、草津温泉において水に関する研究会(本会第 5 回研究会)を実施した。2010 年には、MSJ 第 171 回研究会において本会メンバーを中心に生体磁気のトピックスを特集したほか、大阪大学において開催された本会第 8 回研究会を共催、MSJ 第 34 回学術講演会における国際シンポジウムの 1 つを本会メンバーによる講演で企画した。前回の報告以降では、2012 年 5 月に MSJ 第 184 回研究会を本会協賛の下、本会会員を中心に磁気分離の特集を組み、最新の研究状況を紹介していただいた。本研究会の内容については、本稿の末尾に記載しておく。また、10 月に開催されたアジア磁気学会連合(Asian Union of Magnetic Societies, AUMS)の国際会議 ICAUMS において、High Magnetic Field Application のセッションを設け、木村会長と西嶋副会長に Invite 講演を行なって頂いた。なお、この会議では、本会会員は MSJ 正会員扱いで参加登録できる措置が取られた。

MSJ の活動の柱の一つは、年1回開催される学術講演会であるが、この他に、年6回学会本体が主催する研究会が開催される。本会はこの MSJ 主催の研究会を毎回協賛しているため、本会会員は MSJ 研究会に正会員扱いで参加できる。さらに、特定の専門分野について議論するために6つの専門研究会が組織されており、それぞれ年5回程度の専門研究会を開催しているが、MSJ では、本会との交流のチャンネルとして、強磁場応用専門研究会を設置しており、毎回、本会とも関連するトピックスを取り上げた企画を行なっている。こちらは参加無料で、会員でなくても参加を歓迎している。これらの研究会に興味をお持ちの方は、是非、積極的にこの連携を利用していただきたい。

詳しい情報は以下の URL で入手することができる。

http://www.magnetics.jp/

今後も、両学会の連携を通じ、知見を共有することで相乗効果が得られることを期待したい。

日本磁気学会第 184 回研究会・第 20 回強磁場応用専門研究会報告「強磁場を利用した物質分離技術」

日 時: 2012年5月25日(金)13:00~17:00

場 所: 中央大学駿河台記念館

参加者: 24名

1. 「磁気分離技術の近代史と世界の現状」 渡辺恒雄 (首都大) まず、磁気分離の作用原理、特徴的要素、実用化の留意点などの基本事項が解説され、そ の後、磁気シーディング法、高勾配磁気分離、磁場発生源のバリエーションなどの要素技術が紹介された。歴史的な観点では、1970年頃までの鉱物資源の選別回収を中心とした第1期、90年頃までの強磁性微小粒子の除去を軸とする資源回収への適用が進んだ第2期を経て、現在は、要素技術の進展により弱磁性かつ小粒径粒子や水中電離物質の分離が可能となったことで、環境浄化等への適用が進む第3期を迎えている。世界的には日本が大幅にリードする現状で、近年、アジア地域での研究が活発化し始めているという。

- 3. 「磁気力制御技術とその産業応用」 西嶋茂宏 (阪大) 従来の高勾配磁気分離に磁気アルキメデス分離を組み合わせることで実現する新しい応用について紹介があった。高勾配磁気分離では、磁気フィルター上に磁気力を利用して被分離物質を集めるが、磁気アルキメデス分離では、磁気力と重力を重畳することで、物質ごとの分離が可能であり、より磁化率の小さな物質の分離に有効である。ガラス精密研磨用の酸化セリウムの回収へ適用したケースでは、共存する鉄系凝集剤を高勾配磁気分離で分離し、その後、磁気アルキメデス分離によりシリカとアルミナを回収することで、磁気的性質で中間に位置する酸化セリウムの回収が可能になるという。この他、蛍光体の分離、ガラスの色別分離や放射性土壌の除染についてのトピックスが紹介された。
- 4. 「磁化活性汚泥法〜活性汚泥の磁気分離と種々の水処理プロセスへの活用」 酒井保藏 (宇都宮大) 磁気分離を用いた新しい水処理法である磁化活性汚泥法について紹介された. 一般的な生物学的水処理法である活性汚泥法では、微生物により水を浄化した後、浄化された水から

磁気分離を用いた新しい水処理法である磁化活性汚泥法について紹介された。一般的な生物学的水処理法である活性汚泥法では、微生物により水を浄化した後、浄化された水から微生物を分離する操作が必要となる他、増殖した微生物である余剰汚泥を引き抜く必要があるなど、管理がデリケートでコストもかかる。これに対し、磁化活性汚泥法では、活性汚泥がマグネタイトをよく吸着する性質を利用して磁性を付与し、磁気分離により浄化水からの微生物分離を行なう。従来法に比べ、高濃度の微生物回収も可能なため、微生物量を増やすことができ、有機物の処理能力が向上することで、余剰汚泥の生成量をほぼゼロに抑える事ができる。このため管理が容易でコストも低減できる。パイロットプラントでの実証試験も進んでおり、今後の実用化が期待される。

5. 「磁性吸着剤と高勾配磁気分離による浄水処理と資源回収」 三浦大介 (首都大) 高勾配磁気分離による水処理に関し、有価資源回収の例として下水中からのリンの回収、有害物質除去の例として、難分解性溶存有機物であるフミン酸と、アンモニア態窒素、水銀の分離について、それぞれ効果的な磁性吸着剤と磁気分離システムの検討を行なった結果が紹介された. 磁性吸着剤として、リン回収ではジルコニウムフェライトを、フミン酸、アンモニア態窒素、水銀の分離には、それぞれヤシ殻活性炭由来の、磁性メソポーラスカーボン、ナノマグネタイト、磁性活性炭を用い、100 μm 径の磁性細線フィルタを使用、1~2 T 程度の磁場を印加することで良い分離性能が得られたという.

6. 「環境リスク低減のための抗生物質の磁気分離」

井原一高 1 , 豊田 淨彦 1 , 梅津一孝 2 (1 神戸大, 2 帯広畜産大) 畜産業において使用される抗生物質の量はヒトに投与されるよりも多く,畜産廃水・廃棄物を通じて環境中に排出されやすい状況にあり,そのリスクが懸念されている。そこで,畜産廃水からの動物用抗生物質の磁気分離について検討した結果が紹介された。国内使用量の多いテトラサイクリン系およびセファロスポリン系抗生物質を対象とし,電気化学反応による磁気シーディング法を用いて磁気分離性能を評価したところ,いずれの場合も80~90%の分離が実現し,この方法による分離が有効であることが確認されたという。今後は,排出源である施設に設置できる連続処理型の磁気分離装置開発が課題となるということであった。

国際会議報告 ICMS2011 (Shanghai & Xi'an)

信州大学 浜崎亜富・尾関寿美男

International Conference on Magneto-Science 2011 (ICMS 2011) が 2011 年 10 月 9 日から 15 日まで、中国の上海と西安で Prof. Zhongming Ren と Prof. Peng Shang がチェアとなって開催された。この国際会議は 2005 年に科研費特定領域研究「強磁場新機能の開発」の一環で、山口益弘先生をチェアとして横浜国立大学で開催された国際シンポジウム International Symposium on Magneto-Science を起源とし、今回は 2005 年の会議から通算 4 回目の開催となった。特に今回は 10 月 9 日から 12 日午前までが上海の上海大学で行われ、12 日午後の

飛行機で内陸部の西安に移動し、引き続き西北工業大学で15日までWorkshop for Young Researchers と銘打った若者向けのセミナーが開催されるという、ICMSではこれまでに例のない形態で行われた。参加者は上海が105名、西安が76名で、61名が双方ともに参加した。日本からは26名が双方、あるいはどちらかに参加したほか、開催国の中国からは同じく50名が参加した。他は、ロシア15名、フランス8名、ドイツ6名、インド5名、アメリカ、イギリス、ベルギーがそれぞれ2名、オランダ、サウジアラビア、スペイン、スロバキア、モロッコがそれぞれ1名であった。

上海大学では通常のカンファレンスが行われ,口頭では3会場に分かれて83件(うち Plenary lecture 3件),ポスターでは2会場に分かれて63件の講演があった。このうち日本からの発表は21件であった。磁場関連の幅広い分野の研究発表が行われ,活発な議論が行われた。ラボツアーでは,大学の研究施設を幅広く見学したほか,磁場中で鋳造を行う施設も見学した。

西北工業大学での Workshop for Young Researchers では、6名の先生より、磁気科学についてのわかりやすい講義をいただいた。中国の学生が多数聴講しており、貪欲に質問していたのが印象的であった。これに先駆けて開かれたシニアフォーラムでは、磁気科学の将来的な展望や研究施設ネットワークの構築などについて意見交換を行った。

次回の会議は Prof. Beaugnon のお世話で, 2013 年 にフランスで開催される。







上写真:上海大学の会場 中写真:西北工業大学の会場

下写真; 西安の鐘楼

強磁場関連国際共同研究に関する日仏ワークショップ 東北大金研 淡路 智

Japanese-French High Field Research Collaboration Workshop と題する2国間ワークショップが、2012年3月29、30日にグルノーブル強磁場研究所(Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses: LNCMI-CNRS)で開催された。この会議は、日仏の強磁場関連研究者が集まり、超伝導材料・強磁場発生技術・磁気科学に関して発表し、強磁場研究における日仏の国際共同研究について議論することが目的である。

会議は、LNCMI 所長の G. Rikken 氏,物材機構強磁場ステーション長の熊倉氏,東北大学金研強磁場センター長の渡辺氏による各定常強磁場施設の紹介から始まった。LNCMI は、43T ハイブリッドマグネット開発についての概要説明の他に、グルノーブル強磁場施設と中性子・放射光施設間の約 1km を結ぶ 60,000A のケーブル計画などの紹介があった。物材機構と東北大は、日本の定常強磁場施設を共同で建設する計画や、15MW-47T ハイブリッドマグネット開発について紹介した。

その後、強磁場超伝導マグネット開発に関する講演が、CEA Saclay、物材機構、東北大などから行われた。ここでは、主に強磁場マグネット開発を意識した高温超伝導コイル開発状況について、集中した議論が行われた。CEA-Saclay と CNRS は、現在進行中のプロジェクトとして高温超伝導 Dipole マグネット ($B_{max}=6$ T)や 5MJ-高温超伝導 SMES の開発状況について、物材機構は 1.3GHz-NMR マグネットのための YBCO コイル開発や BSCCO 線材開発について、東北大は YBCO コイルと高強度 Nb₃Sn ケーブルコイルの高電磁力試験についてそれぞれ紹介した。高温超伝導マグネット開発は、今後の強磁場マグネットやそれをベースとした応用機器開発において、非常に重要な技術であるとの認識が高く、その高い能力を生かした設計指針やクエンチ対策などについて、各グループが独自に技術開発を行っている状況である。この点に関して、継続的な議論をお互いに持つことが必要であり共同研究の重要性を確認した。

2日目は、LNCMIの E. Beaugnon 氏及び物材機構の廣田氏から最近の磁気科学に関する 講演が行われた。Beaugnon 氏は、MHD 効果・磁場中電気化学(Magneto-Electrochemistry)・ 強磁場金属学(Magneto-Metallurgy) など、LNCMIにおける磁気科学関連の最近のアクティビ ーティについて紹介したほか、 ф52mm-30T 水冷マグネット用の 1400°C の電気炉を作製中 であることを示した。廣田氏は、磁場中の結晶成長などのその場観察について紹介し、銀 の電析成長における磁場効果がリアルタイムで観測できることを報告した。さらにミクロ ンサイズのその場観察が可能となると説明した。これらは、金属の電析やタンパク質結晶 の溶液成長における磁場効果研究に用いる予定とのことである。

ワークショップ最後には、LNCMI・物材機構・東北大の3施設間の国際共同研究について、その具体的な内容を議論し、すでに締結済みのLNCMI-物材機構、東北大-物材機構間の共同研究覚え書きに加え、LNCMI-東北大間の覚え書きを取り交わした。これにより3施設間の共同研究体制が整った。次回は、2013年に仙台で開催することとなった。

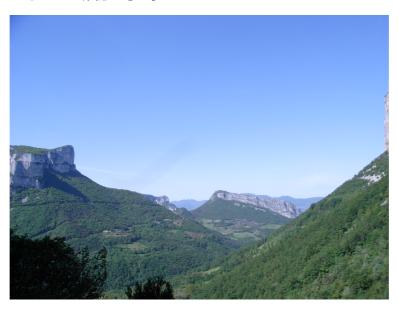
MAP5 (Grenoble-Autrans, France) 報告

物質・材料研究機構 廣田 憲之

The 5th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP5) が2012年5月13日から17日まで、フランス・グルノーブル近郊の美しい山村オートランで開催された。本国際会議は、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)と2年ごとに開催されており、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、やや材料科学や物性物理寄りのトピックスを中心として扱っている。今回はCNRS-LNCMI / Universite Joseph FourierのProf. Eric BeaugnonとCNRS-CRETAのDr. Sophie Rivoirardがチェアを務め、2回目のグルノーブル開催ということで、場所をグルノー

ブルを見下ろすベルクール山系に位置するオートラン移して行なわれた。

参加者数は45名ほど、口頭講演のみで構成され30件の研究発表が行なわれた。会議は Magneto-electrochemistry, Solidification, In-situ measurements and technique, Torques and forces, Solid state effects, Nucleation / suspensionの6つのセッションから構成され、それぞれのセッションにつき1件の招待講演(50分)と3~5件の一般講演(20分)が行なわれた。日本からは12件の発表があったが(全員が本会会員)、うち4件が招待講演で、依然として、質・量ともに日本がこの分野を牽引している状況が続いている。ただし、もう一つの極といえるフランスがホストだったということで、配慮もあったようである。ここで個別の講演に関して紹介することはしないが、これまで、この会議に参加していなかったベルギーのセラミックス材料プロセスのグループから3件の講演があり、材料プロセッシングへの磁場利用の裾野が確実に広がっていることが確認できた。



ベルクール山系のエクスカージョンにて遠景の山を望む

オートランは1968年のグルノーブルオリンピックでも、ノルディックスキーの会場になるなど、クロスカントリースキーのメッカである。会議が開催された春の季節は緑が美しく本当に気持ちの良い時期だった。日本からグルノーブルへ行くのもなかなかの長旅だが、さらにそこからバスを乗り継いで1時間かけてようやくたどり着く場所で、日本からご参加くださった会員諸氏には深く感謝したい。5月13日の午後に会場に集合した後は、エクスカージョンとラボツアーのためにオートランを離れる17日朝まで、美しい自然に囲まれ、文字通り寝食を共にし、缶詰状態、散歩でセッションに戻るのが遅れると、「〇〇がまだ戻っていないようだから、もう少し待っていよう」などと言われるくらいアットホームな雰囲気で、食事の際にはおいしいワインも供され、これで議論・親交が深まらないわけがない。非常に充実した有意義な会議だったと思う。

会議期間中の議論により、次回のMAP6は日本で開催されることになった。開催場所は現時点では決定していないので、まだここで報告することはできないが、かなり南の方で開催することになりそうである。会員の皆様には、ぜひ、いろいろな形でご協力を頂ければ幸いである。



エクスカージョンで訪れたコランシュ洞窟

国際会議報告 EPM2012

東北大金研 強磁場センター 博士過程1年 小野寺礼尚

2012 年 10 月 22 日から 26 日の会期で、7th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM2012)が中国、北京にて開催された。この EPM は材料の電磁プロセッシングに関する国際会議であるため、製鋼や連続鋳造などの鉄鋼関連技術や非鉄を中心とした凝固プロセスのセッションが主流であると感じた。会議には中国国内の東北大学、上海大学、大連理工大学といった大学の学生も数多く参加しており、その内の多くが口頭発表で健闘していた。その姿を見て筆者は参加登録時に口頭かポスターか?で迷わずポスターを選択したことを多少後悔した。しかしながら、いざポスターセッションが始まると、隣り合った学生や似通った研究分野の学生と議論をする有意義な時間を過ごし、幾人かの海外研究者にも研究をアピールし興味を持ってもらう機会を得ることができた。

会議最終日の夕食は、本会議の Chairman で中国東北大学の学長でもある赫冀成先生と浅井滋生先生による食事会に日本人参加者一同がご招待いただき、素晴らしい食事とお酒を堪能することが出来た、会期中の食事を全てホテルでまかなっていた筆者にとってはこの日の夕食は格別なものとなった。

赫先生、浅井先生にはこの場を借りて改めてお礼申し上げます.

次回の EPM は 2015 年にフランスのニースで開催される予定である.



食事会後の記念撮影

磁気電気化学ことはじめ

職業能力総合大学校 青柿良一

このたびは、磁気科学会の第一回功労賞をいただくという名誉にあずかり、みなさまに 一言お礼申し上げます。

思い起こせば、磁気科学と私の最初のかかわりは卒業研究生として北沢先生の研究を引 き継いだときですから、もうかれこれ40年以上も前のことになります。当時は、東大工 学部五号館の地下に進駐軍から研究用に寄贈されたという大きな電磁石が置いてあり、北 沢先生はその電磁石を使って溶融塩電解中の溶融鉛電極の運動を制御するという研究をさ れていました。電磁石は絶縁が不良な部分があったり、直流電源の性能が不調だったりし て扱いには苦労しました。北沢先生は、その後、電気化学をはなれて固体物理のほうへ進 まれ、後年、高温超電導の分野で素晴らしい業績を上げられたことは、皆さんもよくご存 じと思います。その当時、先生は修士論文を書き上げられた直後で、直筆の論文を渡され て読むようにいわれ、難しい式を前にして意味が分からず、頭をかかえたことを思い出し ます。そうこうしているうちに、大学を揺るがすような大事件、いわゆる東大闘争が起こ りました。ちょうど四年生だった私は仲間と一緒にそちらのほうにのめり込んでいき、気 が付いたら全く卒業研究をしないまま学年末を迎え、このままでは卒業できないという事 態になっていました。このときは北沢先生の尽力で無事卒業にこぎつけました。人気のな い休みの日に実験室に忍び込んで実験をするなど、いま思い出しても懐かしい思い出です。 その後、北沢先生は MIT に留学することになり、私のほうはまたもや学業以外の道に没 頭するようになっていました。そうこうしているうちに、気がつけばはや修士3年となり、 再びあとがない状態になっていました。実は、北沢先生のやっていた実験を理論化するの が修士論文のテーマで、このテーマは自主的に自分で決めたものでした。当時は、この「自 主的」という言葉がはやりでしたが、今思い出してもよく恩師である向坊先生が許してく れたものだと思います。その中身は磁場中での液体金属電極の電磁流体力学的挙動を解析 するというものでした。ほったらかしておいて最後に何とかしようという性格は今も治り ませんが (この原稿も締め切り前日に書いています)、このときは札付きの暴力学生と思わ れていたものですから事態は深刻で、周りからは「自主的に」退学するように何度も勧め られました。こちらも退学届を懐に入れて、1月の寒い実験室でがんばりましたが、問題が 複雑すぎて手に負えません。どうしようか困っていたところ、同僚の水崎君(卒業後、東 北大教授)が、問題をもっと簡単にしてはどうかとアドバイスしてくれました。今でも、 感謝する次第です。論文提出期限まであと 2 週間というきわどいところで、液体電極をや めて固体電極にして電解質溶液の挙動だけを追跡するようにしたわけです。その結果、現 在、電気化学における電磁流体力学効果と呼ばれる現象が見つかり、それを定式化するこ とでなんとか卒業にこぎつけました。世の中は広いもので、当時ほかにもカナダで Fahidy 先生、フランスで Olivier 先生と、ほかに二人も独立で似た研究をしていることがわかった のは、ずっと後のことです。以上が私の磁気電気化学始まりの顛末です。

平成 23 年度 会計報告

物質・材料研究機構 廣田 憲之

平成23年度の収入および支出は下記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 2011年度 会計報告

予算額		_	¥3,610,099
会費			¥1,130,000
正会員	¥5,000	90	¥450,000
学生会員	¥1,000	30	¥30,000
<u> </u>	¥50,000	13	¥650,000
前年度繰越			¥2,480,099
支出の部 予算額			¥3,610,099
		New Cold Street	NAME OF BRIDE PARTY OF THE PART
年会補助金			¥400,000
印刷費			¥200,000
研究会補助金			¥200,000
	第9回研究会		¥100,000
	第10回研究会		¥100,000
WEBサーバー			¥30,000
事務局業務委託費			¥300,000
又供弗/III 内人 左	全補助費など)		¥100,000
予備費(研究会・年金	女間別見(なこ)		¥100,000

11. Mr 47			
決算額			¥3,556,099
会費			¥1,076,000
正会員	¥5,000	103	¥515,000
学生会		61	¥61,000
賛助会		10	¥500,000
雑費			¥464
前年度繰越			¥2,480,099
決算額			V0.550.000
			¥3,556,099
年会補助金			¥270,000
印刷費			¥132,825
研究会補助金			¥196,760
	第9回研究会		¥97,000
	第10回研究会	2	¥99,760
WEBサーバー			¥17,850
事務局業務委託費	ł		¥345,612
雑費			¥10,110
繰越金			¥2,582,942

上記の通り会計報告をいたします。

会計廣田影之屬

適正に執行されていることを確認いたしました.

監事者桥良一篇篇

監事 左本能文象

また、平成23年度より創設された褒章に関する口座の収入および支出は下記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 2011年度 会計報告

収入の部	
決算額	¥500,000
北澤宏一先生よりのご寄付	¥500,000
雑費	¥0
前年度繰越	¥C
支出の部	
決算額	¥500,000
褒章費用	¥74,100
雑費	¥420
繰越金	¥425,480

上記の通り褒章基金の会計報告をいたします.

会計廣田 惠之圖

適正に執行されていることを確認いたしました。

監事青柿良一意

\$ 后本能源

日本磁気科学会 会則

2006/11/16総会決定

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。
- (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 会則の改廃および解散

第27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28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。

2011,2012 年 日本磁気科学会理事・監事

木村恒久(京大院農・教授)	会長
米竹孝一郎 (山形大院理工・教授)	副会長 (分科会統括)
西嶋茂宏 (大阪大院工・教授)	副会長(事務局長)
渡辺和雄 (東北大金研・教授)	支部長(北海道・東北)
	分科会長 (磁場発生)
中林誠一郎 (埼玉大院理工・教授)	支部長 (関東)
岩井一彦(名古屋大院工・准教授)	支部長 (中部)
安田秀幸(大阪大院工・教授)	支部長 (近畿)
米村弘明 (九大院工・教授)	支部長(中国・四国・九州)
茂木 巌 (東北大金研・助教)	分科会長 (物理化学)
山本 勲 (横国大院工・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)
岩坂正和 (千葉大院工・准教授)	分科会長 (有機・バイオ)
藤原好恒 (広島大院理・准教授)	分科会長(分離・分析)
勝木明夫 (信州大教育・准教授)	特定事項 (国際会議)
清水健司 (岩手大院工・教授)	特定事項 (産学連携)
木村亨 (ポリマテック)	特定事項 (産学連携)
藤原昌夫(広島大院理・助教)	特定事項 (国際会議)
武田真一(磁気制御技術研究会)	特定事項 (産学連携)
広瀬量一(JASTEC)	特定事項 (産学連携)
廣田憲之(物材機構・主任研究員)	事務局委員会 (財務)
高橋弘紀 (東北大金研・助教)	事務局委員会 (広報)
櫻井智徳 (京大生存研・特定准教授)	事務局委員会(企画)
青柿良一 (能産大・教授)	監事
谷本能文(大阪大谷大・教授)	監事

第 12 回日本磁気科学会研究会 - 物理化学分科会 - 応用物理学会・磁気科学研究会 第 1 回講演会

「磁気科学の新展開」

予稿集

2012年11月19,20日

於:京都大学 北部総合教育研究棟 益川ホール

第 12 回日本磁気科学会研究会 -----物理化学分科会-----応用物理学会・磁気科学研究会 第 1 回講演会

「磁気科学の新展開」

近年の強磁場環境を利用した研究はこれまでにも増して著しく且つ多岐に渡り進展しています。応用物理学会・磁気科学研究会と日本磁気科学会・物理化学分科会との共催の研究会を開催します。最近の「磁気科学の新展開」として「配向・配列制御」および「新奇効果」に焦点を当て、日本磁気科学会年会 (11/20 午後~)に合わせる形で開催します。今回は 2 部制の講演会とし、磁気科学の新しい潮流を詳細に理解できる機会となっています。第1部「磁場配向・配列の基礎から新技術まで」では、この分野について網羅的且つ詳細に理解できるよう講義形式の講演をお願いしています。奮ってご出席ください。

日時:第1部:11月19日(月)午後1時~午後5時15分、

第2部:11月20日(火)午前9時~午前12時

場所:京都大学 北部総合教育研究棟 益川ホール (京都市左京区北白川追分町)

参加費:無料(両学会非会員でも無料)

プログラム

第1部「磁場配向・配列の基礎から新技術まで」

13:00~13:05 はじめに 堀井 滋(高知工科大学)

13:05~13:50 磁場配向の原理 木村恒久(京都大学)

13:50~14:35 磁場配向:結晶はどのような挙動を示すのか?

岩井一彦(北海道大学)

14:35~14:45 休憩

14:45~15:30 レアアース含有物質における結晶場相互作用と磁気異方性

加藤宏朗(山形大学)

15:30~16:15 絶縁物における反磁性異方性の発生機構 植田千秋(大阪大学)

16:15~17:00 強磁場下における物質間相互作用による自己組織的構造形成

廣田憲之(物材機構)

17:00~17:15 斜方晶 FeSi₂の三軸配向組織制御と焼結体の作製

中塚憲章 (大阪大学)

第2部「新奇磁場効果の探索」

9:05~9:10 はじめに 茂木 巖(東北大学)

9:10~9:50 強磁気力場を利用したタンパク質結晶化

沼本修孝(京都大学,現:東京医科歯科大学)

9:50~10:30 電気化学反応に見られるイオン空孔の役割 杉山 敦(早稲田大学)

10:30~10:40 休憩

10:40~11:20 磁性ソフトマテリアルの可変弾性とその応用 三俣 哲(山形大学)

11:20~12:00 Bi-Mn系の平衡状態に対する強磁場効果 三井好古(東北大学)

問合せ先: 堀井滋 (horii.shigeru@kochi-tech.ac.jp), 茂木巖 (mogi@imr.tohoku.ac.jp)

磁場配向の原理

京都大学 木村恒久

1. はじめに

磁気科学を志す学生さんたちに、磁場配向の原理について分かりやすく講義調に解説して欲しいとの依頼を研究会から受け、僭越にもお引き受けした。原理自体は決して難しいものではなく、力学⁽¹⁾、電磁気学⁽²⁾、統計力学⁽³⁾、結晶学⁽⁴⁾、流体力学⁽⁵⁾、テンソル^(4,6)の初歩的知識があれば容易に理解できる。しかしこれらの学問分野のどの部分が磁場配向の理解に必要かは、初学者には分かりづらいかもしれない。本解説では学生の皆さんが全体像を把握できるように、磁場配向の原理を鳥瞰図的に解説するよう試みた(細かな事柄につてはあまり触れていないので、別途独学されたい。磁気科学の成書として、文献 7, 8, 9 を挙げておく)。なお本稿では、反磁性物質の磁場配向に限定して話を進める。

2. 磁化率異方性

配向させたい物質は、異方性を持っている必要がある。異方性には磁化率異方性と形状 異方性がある。

磁化率異方性を持つ物質の典型例として結晶を挙げることができる。一軸性結晶(正方晶、三方晶、六方晶)、二軸性結晶(斜方晶、単斜晶、三斜晶)は、磁化率異方性を持っている。立方晶は磁気的に等方的である。磁化率テンソルの3つの主値は、一軸結晶では一つが異なり、二軸性結晶では3つとも異なる。立方晶では3つとも同じ値である。主軸の方向と結晶軸の方向の関係は結晶系により決まる。例えば、単斜晶では、結晶の2回軸が磁化軸の一つに一致し、斜方晶では3つの磁化軸は、結晶軸に対応する^(4,10)。

液晶ドメインも磁化率異方性を持つ⁽¹¹⁾。ドメイン中では個々の分子が配向の秩序度を有しているので、分子の磁化率異方性がドメインの異方性を通じて反映される。

高分子短繊維も、磁化率異方性を持つ;繊維軸方向とそれに直交する方向で磁化率の値が異なる。高分子繊維では繊維軸方向に分子鎖が配向しているので、モノマー単位がもつ磁化率異方性が繊維の異方性として反映される。分子鎖の配向は結晶配向である必要はなく、非晶の配向でも構わない。

上記の結晶、液晶、繊維の磁化率異方性の起源は、化学結合の磁化率異方性に起因する⁽¹⁰⁾。 もっと一般的には電子分布の異方性に起因する。古典論的、量子論的に、あるいは半経験 的に磁化率および磁化率異方性を計算する方法が知られている⁽¹⁰⁾。分子レベルの異方性が、 結晶、液晶、繊維といった固有の対称性により平均化された結果が各々の相の磁化率異方 性を与える。例えば、液相あるいはガラスでは分子レベルでの磁化率の異方性は平均化され、磁化率は等方的になる。

棒状や円盤状粒子のように、形状異方性を持つ粒子は、物質固有の磁化率異方性の他に、 形状異方性に基づく磁化率異方性を持つ⁽⁹⁾。磁場印加により誘起される磁気モーメントの大 きさが、磁場に対する粒子の方向により異なるために生じる。この効果は強磁性体では反 磁場効果とよばれ大きな値を持つが、反磁性体では小さい。

3. 磁気エネルギー

物質に磁場を印加すると、物質は磁気エネルギーを得る:

$$E = -\frac{V}{2\mu_0} {}^{\mathrm{t}} \mathbf{B} \mathbf{\chi} \mathbf{B} \tag{1}$$

ここで、 μ_0 は真空の透磁率、 \mathbf{B} は印加磁場強度である。 \mathbf{t} は転置を示めす。V 及び χ は物質の体積及び磁化率テンソルである。 \mathbf{B} を \mathbf{T} 、 χ を体積磁化率(無次元)、 μ_0 を $\mathbf{H/m}$ 、V を \mathbf{m}^3 の単位で表すと、エネルギーは \mathbf{J} の単位で与えられる。

例えば静磁場中に置かれた一軸異方性の物質のように単純な場合には、物質の主軸系を用いると式(1)は単純な形で表すことができる。しかし二軸性結晶の動的磁場中で配向を記述するような場合には、オイラー角 $^{(1)}$ を用いて χ を実験室座標系で表現したほうが取り扱いが容易になる。主軸系で表現された χ は、座標変換 Λ を用いて実験室座標系での表現 $\chi_{labo}=^t \Lambda \chi \Lambda$ に変換される $^{(4,12)}$ 。

印加磁場には静磁場、回転磁場、変調磁場等がある。静磁場下では容易軸(χ_1)が一軸配向する。回転磁場下では困難軸(χ_3)が磁場回転面に垂直に配向する。変調磁場は種々のバージョンがあるが、 χ_1 、 χ_2 (中間軸)、 χ_3 軸(χ_3 < χ_2 < χ_1)を 3 次元配向させる。

磁場配向は、磁気エネルギーのミニマムに、磁化軸が束縛されるために生じると理解される。例えば、 $\chi_3 = \chi_2 < \chi_1$ なる一軸性結晶はz軸方向の静磁場下に置かれると、

$$E_{\rm S} = -\frac{VB^2}{2u_0}(\chi_1 - \chi_2)\cos^2\theta \tag{2}$$

なる磁気エネルギーを得る $^{(13)}$ 。ここで θ は χ_1 軸が静磁場 \mathbf{B} となす角度である。この式は χ_1 軸が磁場方向に束縛されていることを示す。束縛の程度 $(\cos^2\theta$ の係数)が、物質の体積Vと、磁化率差(異方性磁化率)に比例することが分かる。

回転磁場等の動的磁場では、 \mathbf{B} が時間に依存する。従って、エネルギーも時間に依存する。しかし磁場の時間変化が粒子の運動に対して十分に速い場合($\mathbf{R}\mathbf{R}\mathbf{R}$: Raped Rotation Regime⁽¹⁴⁾)には、粒子は時間平均された磁場を感じているとみなせるので、粒子は、一周期にわたって時間平均したエネルギーを持つと考えることができる。例えば、 $\chi_3 < \chi_2 = \chi_1$ の一軸性結晶が高速の回転磁場下に置かれると、以下の時間平均エネルギーを持つ⁽¹⁴⁾:

$$E_{\rm R} = -\frac{V}{4\mu_0} (\chi_2 - \chi_3) B^2 \cos^2 \phi \tag{3}$$

ここで ϕ は χ_3 軸が磁場回転軸となす角度である。この式は χ_3 軸が磁場回転軸方向に束縛されていることを示す。交流磁場のために、実効値(2次の項の係数)が静磁場に比べ半分になっている。楕円磁場等、その他の3次元配向を誘起する動的磁場 $^{(12)}$ の場合にも同様の考察が成り立つ。

4. 磁気トルク

結晶に磁場を印加すると結晶中に磁気モーメントが生じる:

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{B} / \mu_0 \tag{4}$$

これに磁場が作用しトルクが生じる⁽¹⁵⁾:

$$\mathbf{N} = V\mathbf{M} \times \mathbf{B} = V(\mathbf{\chi} \mathbf{B}) \times \mathbf{B} / \mu_0 \tag{5}$$

例えば静磁場中におかれた $\chi_3 = \chi_2 < \chi_1$ なる一軸性結晶に作用する磁気トルクは

$$\mathbf{N} = \frac{VB^2}{\mu_0} (\chi_1 - \chi_2) \cos \theta \sin \theta \,\mathbf{\omega} \tag{6}$$

で示される $^{(13)}$ 。 ω は χ 1軸と磁場に直交する単位ベクトルである。

5. 流体力学的トルク

磁気トルクは復元力的に作用するので、磁場下に置かれた粒子の回転は振動的である。 粒子を取り囲む媒体の粘性により、振動は減衰し最終的にエネルギーミニマムに落ち着く。 減衰が支配的な場合には、振動せず単純に減衰する。減衰の源となる流体力学的トルクは

$$\mathbf{M} = -\eta \mathbf{L} \mathbf{\Omega} \tag{7}$$

により記述される $^{(16)}$ 。ここで Ω は粒子の回転ベクトル、Lは流体力学的テンソルで、粒子の形状に依存する $^{(16,17)}$ 。球粒子の場合には等方テンソルとなる $(L=8\pi a^3, a:$ 球の半径 $^{(5)}$)。 粒子の慣性モーメントが無視できる場合には、粒子の回転運動は微分方程式

$$\mathbf{M} + \mathbf{N} = 0 \tag{8}$$

を解くことにより求めることができる(15,18)。

この方程式は決定論的で、熱搖動の効果は考慮されていない。粒子サイズが十分大きい場合にはこの解で十分だが、粒子サイズが小さく、Brown 運動が支配的になる場合にはその効果を取り込んだ議論が必要である。

6. 熱搖動の効果の導入-平衡状態-

決定論的方程式の解は、エネルギーミニマムを与える角度になる(静磁場あるいは RRR 条件下)。エネルギーミニマムの谷が非常に深ければ、あるいは温度が十分低ければ実質上、 谷のまわりでの熱ゆらぎは無視できるが、そうでない場合には配向ゆらぎを考慮する必要 がある。

平衡状態での配向角度の分布は、Boltzmann 因子により記述される。エネルギーを角度の 2次の項までで近似すると、確率分布は Gauss 分布になる。その場合、ゆらぎの 2 乗平均は 2次の項の係数の逆数に比例して、例えば静磁場配向の場合

$$<\theta^{2}> = \frac{\mu_{0}k_{B}T}{VB^{2}(\chi_{1}-\chi_{2})}$$
 (9)

と書ける。この式より、温度が低く、粒子体積が大きく、磁場強度が強く、磁化率異方性が大きいほどゆらぎは小さくなることは明らかである。動的磁場を用いた3次元配向の場合には、ゆらぎは異方的になる。

7. 熱搖動の効果の導入-過渡的状態-

外場存在下での過渡的状態における取り扱いにはいくつかある。(1) 配向角の分布関数

に対する回転拡散方程式を解くことにより分布関数の時間発展が記述される⁽¹⁹⁾。この方程式は、平衡状態(定常状態)では、Boltzmann 分布を与える。(2)Langevin 方程式⁽³⁾は決定論的運動方程式にランダム力の項を加えたものである。(3)Monte Carlo 法は、コンピュータシミュレーションで用いられる方法である。熱揺動を含む過渡的状態の記述は、磁場を取り除いた後の配向緩和や、RRR条件以外でのゆらぎの解析にも有用である。しかしながら、平衡状態でのゆらぎに限れば、調和ポテンシャル中でのゆらぎの解析で十分である。

8. まとめ

本稿では、磁場配向の原理について述べた。本稿が学生の皆さんの理解の一助となることを期待したい。

参考文献

- 1. H. Goldstein 他著、矢野忠他訳「古典力学(上、下)」原著第 3 版、吉岡書店 (2009).
- 2. R. P. Feynman 他著、宮島龍興訳「ファインマン物理学 III 電磁気学」岩波書店 (1969).
- 3. M. Doi "The Theory of Polymer Dynamics", Clarendon Press, Oxford (1986).
- 4. J. F. Nye "Physical Properties of Crystals", Clarendon Press, Oxford (1984).
- 5. 今井功著「流体力学(前編)」、裳華房 (1973).
- 6. 安達忠次「ベクトルとテンソル」、培風館 (1957).
- 7. 北澤宏一監修「磁気科学」、アイピーシー (2002).
- 8. M. Yamaguchi, Y. Tanimoto, Eds., "Magneto Science", Kodansha Springer (2006).
- 9. S. Asai "Electromagnetic Processing of Materials", Springer (2012).
- 10. A. Weiss, H. Witte 著、徂徠訳「磁気化学」、みすず書房 (1980).
- 11. P. G. deGennes and J. Prost "The Physics of Liquid Crystals", Clarendon Press, Oxford (1993).
- 12. T. Kimura and M. Yoshino, Langmuir 21, 4805 (2005).
- 13. T. Kimura, Polym. J. 35, 823 (2003).
- 14. T. Kimura, Jpn. J. Appl. Phys. 48, 020217 (2009).
- 15. S. Tsukui and T. Kimura, Jpn. J. Appl. Phys. 51, 057301 (2012).
- 16.日本流体力学会 流体力学ハンドブック、丸善
- 17. F. Perrin, J. Phys. Radium 5, 497 (1934).
- 18. T. Kimura, M. Yoshino, T. Yamane, M. Yamato, and M. Tobita, Langmuir 20, 5669 (2004).
- 19. M. Yamaguchi, S. Ozawa, and I. Yamamoto, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 080213 (2010).

磁場配向:結晶はどのような挙動を示すのか?

北海道大学 岩井一彦

1.緒言

金属、セラミックス等、様々な材料の機能向上を図る上で、結晶配向は有力な方法の一つである。一般に結晶配向は圧延やテープキャスティングによって行われるが、前者はセラミックスへの適用が、後者はバルク作製が困難である。一方、数テスラの静磁場または時間変動磁場を結晶に印加する手法により非磁性結晶の並進、回転運動を自在に操ることが可能である。強磁場による結晶配向法は結晶構造や形状の異方性に基づくものであり、非磁性粒子を一様かつ高度に一軸配向させることが可能であるため、構造材料、熱電変換材料、生体材料などの組織制御法として応用が期待される。そこで、磁場印加下での結晶配向挙動に関する理論解析について報告する。

2.静磁場による結晶配向

密度ρの球状単結晶を密度が等しい液体(粘性係数η)に浮遊させ、磁場 H を印加する系を考える。静磁場下での結晶配向挙動は、慣性項を省略すると以下の式で表される。

$$\tan \theta = \tan \theta_0 \exp \left(-\frac{t}{\tau_s} \right) \qquad \tau_S = \frac{6\eta}{\Delta \chi \mu_0 H^2}$$
 (1), (2)

ただし、 μ_0 は真空の透磁率、 θ は磁場と結晶の磁化容易軸とがなす角度、 $\Delta\chi$ は磁化容易軸と磁化困難軸の磁化率差であり、時刻 t=0 のときの磁場と磁化容易軸のなす角を θ_0 とした。

3.時間変動磁場による六方晶(xc<xa)の一軸配向

粘性係数 η の液体に異方性磁化率 $\chi_c < \chi_a$ の球状単結晶を浮遊させ、角速度 ω で x-y 面内を回転する磁場 H(t)を印加する系を考える。結晶は磁場と同一速度で回転する場合(同期モード)とそうではない場合があるが、ここでは前者について述べる。単結晶 c 軸の単位ベクトル c(t)と z 軸のなす角を $\theta(t)$ 、時刻 t=0 のとき $\theta=\theta_0$ を初期条件とすると、配向挙動は次式で与えられる。

$$\tan \theta = \tan \theta_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_R}\right) \quad \tau_R = \frac{2\tau_S}{1 - \sqrt{1 - 4(\tau_S \omega)^2}}$$
(3), (4)

4.結言

(2)式、あるいは(4)式に物性値、操作条件を代入することで、およその配向時間が推定可能である。

レアアース含有物質における結晶場相互作用と

磁気異方性

山形大学大学院理工学研究科 加藤宏朗

一般に希土類元素(レアアース)を含む物質は、永久磁石を初めとして外部磁場に対して大きな感受性を示す。この性質は高温において磁気的秩序が熱ゆらぎによって失われた状態においても、磁化率の異方性として特徴づけられ、外部磁場による配向に寄与する。本稿では、その機構の詳細について考察する。

1. 希土類元素の磁気的性質

周期律表でIIIa族に属する Sc, Y および原子番号 57 のLa から 71 の Lu までのランタノイドを総称して希土類と呼ぶ。通常,3 価のイオン状態が安定である。希土類元素の磁気モーメントはその 4f 電子に起因するが,4f 軌道が $5s^25p^6$ 閉殻の内側にあることが大きな特徴である。このためFig.1に示すように,4f 電子の存在確率は 3d 電子系に比べて原子核に近い位置で極大値を示す。すなわち Fe や Co などの 3d 電子系では,3d 軌道が外側にあるために,周りの原子からの電場(結晶場)の影響を強く受けたり,周りの原子との軌道の重なりが大きいために,3d 電子固有の軌道磁気モーメントを喪失する傾向をもつ。これに対し,希土類元素の 4f 電子軌道は内側にあるために,外部からの結晶場の影響を受

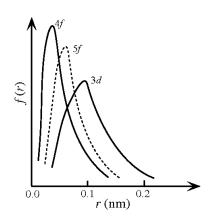


Fig. 1. 3*d*, 4*f* および5*f* 波動関数の動径部分.

けにくく, たとえ金属的な化合物になっていても自由イオンに近い状態を維持しており, 4f 電子に固有な大きい軌道磁気モーメントを持っている.

2. 4f 電子分布の対称性

4f 電子はFig. 2のように、その電子数に応じて特徴的な空間分布 (1) を示す. すなわち 7 個の 4f 電子をもつ Gd^{3+} イオンの場合には、 $m_z = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$ の 7 つの 4f 軌道が、7 つの上向きスピンをもつ 4f 電子でちょうど満たされるため、軌道磁気モーメントが打消しあってゼロになる。 それ故 4f 電子の存在確率は、Fig. 2(c)のように球形の分布をしている。これに対し例えば、 Nd^{3+} (4 f^3)、 Sm^{3+} (4 f^3) および Dy^{3+} (4 f^9) の場合は、その 4f 電子数に応じて異なる大きさの軌道磁気モーメントをもつため、結果的にそれらの 4f 電子の空間分布は Fig. 2(a)、(b) および(d)のように対称軸である z軸に関して、球対称から伸びたり縮んだりするのである。重要なことは、観測される 4f 電子の磁気モーメントは、そのスピン成分と軌道成分が合成されたものであり、その方向は z軸に平行であるということである。この

ように磁気モーメントが異方的に広がった電子雲と一体になっていることが大きな磁気異方性を生む原因となる.

3. 結晶場中の希士類イオンと磁化容易軸

Fig. 3は希土類を含む金属間化合物結晶における電荷分布を模式的に示したもので,正の電荷をもつ希土類イオンが a 軸方向には密に,c 軸方向では相対的に離れて並んでいる場合を示している。中心にある希土類イオンの 4f 電子雲は周りのイオンからの電場(結晶場)を感じて,その安定方向が決まる。すなわち,4f 電子雲の形が球対称よりも縮んだイオン $(Nd^{3+}, Dy^{3+}$ など)ではFig. 3(a)のように,矢印で示した磁気モーメントが c軸を向くほうが安定になる。その理由は負の電荷をもつ 4f 電子が c 面内方向に伸びていて,隣接する正電荷に近いため,静電エネルギーを得

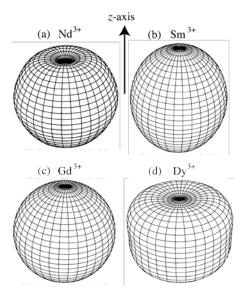


Fig. 2. 3 価の希土類イオンの 4f 電荷分布.

するからである. 同じ理由で球対称よりも伸びたイオン $(Sm^{3+}, Er^{3+} \text{ など})$ では、Fig. 3(b) のように磁気モーメントの安定方向、すなわち磁化容易軸が c 面内の a 軸方向になる.

多くの希土類化合物では、このような結晶場相互作用による4f電子準位のエネルギー分裂幅は1000 K程度の大きさに達する. このことは、それらの物質における磁化率の異方性が1000 K程度の高温まで維持される可能性を示唆している.

(1) J. Sievers: Z. Phys. B - Condensed Matter, **45** (1982) 289.

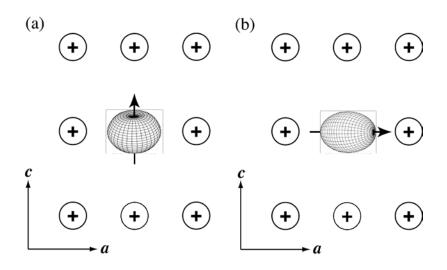


Fig. 3. 結晶中の希土類イオンとその磁気モーメント方向の模式図. 正電荷をもつ希土類イオンが a 軸方向で密に配置されている. (a) Nd^{3+} , Dy^{3+} など4f 電子雲の形が球対称よりも縮んだ場合. (b) Sm^{3+} , Er^{3+} など球対称よりも伸びた場合.

絶縁物における反磁性異方性の発生機構

大阪大学大学院理学研究科 植田 千秋

酸化結晶の場合,電子分布の異方性の原因として第一に考えられるのは,原子間を結合させる電子軌道である.そこで結晶の単位格子内に含まれる個々の化学結合が,結合方向を主軸とした 1 軸性の異方性を有すると仮定し,測定値の解析を進めた.⁽³⁾ 結合一本当りの異方性 Δ χ $_{B0}$ は,結合方向,およびそれに垂直な方向の磁化率を各々 χ $_{B0}$ 川, χ $_{B0}$ として Δ χ $_{B0}$ = χ $_{B0}$ \parallel = χ $_{B0}$ = χ $_{B0}$ = χ $_{B0}$ = χ = χ

$$U_{B0} = - (1/2) B^{2} \{ \chi_{B0\perp} + \Delta \chi_{B0} (a^{2} \alpha^{2} + b^{2} \beta^{2} + c^{2} \gamma^{2}) \}$$
 [1]

で表される。ただし結晶の磁気的主軸を座標軸として、磁場 B および結合方向の単位ベクトルを(a, b, c)および (α, β, γ) で表す。上式に従うなら、結晶の磁気主軸間に発生する単位格子当りの結晶の Δ χ_{DIA} 値は、次の関係を満たす。

$$\Delta \chi_{\text{DIA}}[x-y] = \Delta \chi_{\text{BO}} (\Sigma \alpha^2 - \Sigma \beta^2)$$
 [2]

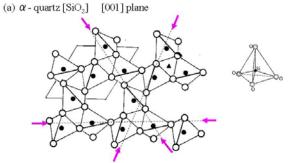
$$\Delta \chi_{DIA}[y-z] = \Delta \chi_{BO} (\Sigma \beta^2 - \Sigma \gamma^2)$$
 [3]

$$\Delta \chi_{\text{DIA}}[z-x] = \Delta \chi_{\text{BO}} (\Sigma \gamma^2 - \Sigma \alpha^2)$$
 [4]

ただし Σ は、単位格子内のすべての結合に関する足し合わせを示す。解析では酸化結晶を構成する代表的な化学結合として、水素結合、酸素 4 配位 $[T0_4]$ 内の T-0 結合、 6 配位 $[M0_6]$ 内の M-0 結合に着目し、各々で測定値と計算値の比較を個別に行った。その結果、いずれの結合についても式[2]-[4]の関係がよく再現された(χ ;献(3)の Fig.2 参照)。上記の比較で得られた正相関の傾きから、結合一個当りの反磁性異方性が、水素結合: $-1.1x10^{-30}$ emu、 $[T0_4]$ T-0 結合: $-3.7x10^{-30}$ emu、 $[M0_6]$ M-0 結合: $-0.32x10^{-30}$ emu と推定された。これらの値がいずれも負号となるのは、結合軌道が bond 方向に対し垂直方向に分布する事と整合する。

ことが知られている. $^{(2)-(4)}$ 従って室温で半径 1μ m の酸化結晶を部分整列させる場合, Δ $\chi_{\rm DIA}$ が上記の 10^{-8} – 10^{-10} emu/g の範囲にああるとして, B=0. $2\sim2$ T の磁場強度で実現することになる. $^{(3)}$ ただし立方晶および非晶質粒子の配向は, 現時点では, 除外する.

上記のように、化学結合が磁気的主軸の方向へ選択配向して配置することによって、多くの結晶の Δ χ_{DIA} が生みだされている。このことは、定性的には、結晶中の原子配置だけからも推定できる。例として α -quartz [SiO₂] の構造を見ると α 軸方向の α 本の [SiO₄] 鎖を構成する α 4 面体が全て α 軸方向に少しだけ圧縮されてい



(b) Gypsum [CaSO₄ 2H₂O] [001] plane

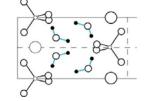


図 1

る [図 1 (a) の矢印方向]. ⁽³⁾ この結果,全ての Si-0 結合の方向は,球対称から $\pm c$ 軸方向へわずかに配向している.これが c 軸を不安定軸にする原因となる.生セッコウ [CaSO $_4$ 2H $_2$ O] の場合には水分子の 0-H 結合が,図 1 (b) のようにいずれも (001) 面にほぼ平行である.測定の結果,安定軸は (001) に垂直な方向にあった.解析を行なった他の結晶でも同様の考察ができる. ⁽³⁾ 但し,このモデルは古典的な反磁性の描象によるもので,全ての物質の Δ χ $_{DIA}$ がこれで説明できるかは必ずしも自明ではなく,今後の研究課題である.

前述の磁気回転振動に基づく Δ χ_{DIA} 測定は,mm サイズより小さい結晶には適応できない.しかし無機物質の中には微結晶でしか存在しないものが数多く存在し,現状ではこれらの物質の正確な Δ χ_{DIA} を得ることは難しい.これが Δ χ_{DIA} 測定値の集積を遅らせ,その発生機構の研究を妨げる要因の一つとなっている.

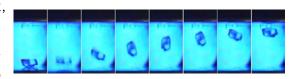


図2μg 下で観察した方解石粒子の磁気回転振動 (時間間隔 0.034 秒)。磁場は図の上下方向 (B=0.2T)。

また、結晶の実効的な磁気異方性がサイズの減少と共に文献値から逸脱する例が報告されているが、この場合、磁場配向の解析には、分散粒子の実際のサイズでの実効的な Δ_{χ} 値が必要となる。これらの問題を解決するため、前述の回転振動を μ g 空間で実施し、粒子結晶の微弱な磁気的トルクでも回転振動が実現する装置を新たに開発した。方解石の sub-mm 結晶で観測した回転振動の例を図 2 に示す。調和振動の公式に、この観測から得た振動周期、I/m 値(単位質量当りの慣性モーメント)および磁場強度のみを代入する事で、 Δ_{χ} DIA が得られる。すなわち測定では試料の質量を測定する必要がなく、観測が可能な限り原理的には無制限に小さな粒子の Δ_{χ} DIA が検出できる。将来、ナノ領域で単一粒子の Δ_{χ} DIA が検出されれば、それはサイズ減少に伴う粒子の構造変化を直接観察する手段の一つになりえる。

参考文献 (1) L. Pauling,: J. Chem. Phys. 4 (1936) 672.

- (2) C. Uyeda, T. Takeuchi, A. Yamagishi & M. Date: J Phys Soc Jpn., 60 (1991) 3234.
- (3) C. Uyeda: Phys. Chem. Miner. 20 (1993)77; C. Uyeda et al,: Appl. Phys. Lett. 28 (2005) 094103.
- (4) various papers that appear in "Magneto-science" (Kodansha-Springer, Tokyo, 2006).

強磁場下における物質間相互作用による自己組織的構造形成 物質・材料研究機構 廣田 憲之

強磁場を用いると弱磁性の物質に対しても遠隔的に力学的な作用を与えることができる。物質が不均一な磁場空間中に導入された際にその物質の磁性に応じて作用する磁気力により、異方的物質の組織配向や、物質の位置制御・構造制御、物質分離が実現する。それゆえ、強磁場は各種プロセスの非接触制御手段としての利用が期待されている。

多粒子で構成される系を微視的な視点で考えたとき、高磁場下では各粒子が磁化され、 粒子内に磁気モーメントが生ずる(誘起磁気双極子)。この磁気モーメントがある程度の大 きさになれば、相互に影響を与え合う可能性がある。粒子の配置や、磁場の印加方向に依 存して、この相互作用は引力とも斥力ともなりえ、これを用いる事で、多粒子系の構造制 御が期待されうる。

実際、多数の弱磁性粒子を 2 次元空間に閉じ込め、磁場の印加方向を試料の存在する 2 次元面に平行・垂直のケースでその効果を観測したところ、平行に印加したケースでは、図 1 に見られるように、弱磁性粒子がチェーン状の配列を、垂直に印加したケースでは図 2 のように三角格子状の組織を形成することが確認された。これは、粒子内に誘起された磁気双極子によって、磁場が 2 次元面に平行な場合には引力相互作用が、垂直な場合は斥力相互作用が粒子間に生ずるためと考えられる。

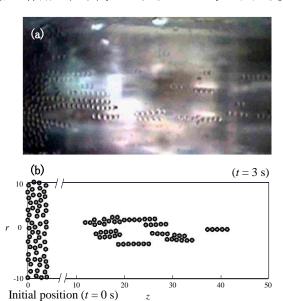


Fig. 1 Formation of the chain-like structure of glass particles (0.8 mm in diameter) under magnetic field Results of the observation (a) and the simulation based on the molecular dynamics,

Glass particles are moving from left, the center of magnetic field, to right. The manganese dichloride aqueous solution of 40wt% was used as surrounding medium to enhance the interaction.

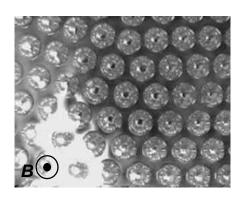


Fig. 2 Formation of triangular lattice structure of gold particles (1 mm in diameter) due to the induced magnetic dipole interactions.

Applied field was 4.9 T. The manganese dichloride aqueous solution of 40wt% was used as surrounding medium to enhance the interaction.

2つの磁気双極子間の相互作用エネルギーは次式で表される。

$$U = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\left\{ \frac{m_a \cdot m_b}{r^3} \right\} - \frac{3(m_a \cdot r)(m_b \cdot r)}{r^5} \right]$$

ここでmは試料の持つ磁気モーメント、rとrは試料間を結ぶベクトルとその絶対値である。周囲媒体の磁気モーメントの影響も考慮した上で、現実の超伝導磁石の磁場分布を仮定し、粒子間の相互作用を考慮した運動方程式を用いることにより、分子動力学法に基づくシミュレーションを行った結果、図 1(b)にも見られるように、観測された現象を再現することができた。

この現象は、原子や分子が結晶を構成するのと同様に、適切な条件を整えた上で、磁場を印加することにより、より大きな粒子についても自己組織的に構造形成させることができることを示唆している。全ての物質は磁性を有する事から、この相互作用による構造制御は非常に応用対象範囲の広いものであると考えられる。今後は磁場の空間的な分布の制御をあわせて行なうことにより、より高度な材料組織制御手法として利用することも可能になるかもしれない。材料分野における新たなプロセス制御手法として興味深い現象であると考えている。

当日は、この現象の詳細について紹介する予定である。

斜方晶 FeSi2 の三軸配向組織制御と焼結体の作製 大阪大学大学院 工学研究科 博士後期課程 中塚憲章

はじめに

結晶方位を制御することで物質の異方的な特性を積極的に利用する材料開発が行われてきている。超電導マグネットの発達にともない、これまで非磁性体として扱われてきた物質を対象に、磁場よる結晶方位制御が可能になってきた。磁気配向を利用した手法では物質の磁化率の異方性に応じて、物質の一軸あるいは二軸(三軸)[1,2]とも方位制御可能である。ただし現在のところ、焼結体など目的物質のみから構成される材料は一軸配向組織を持つものだけで達成されていた。三軸配向組織は目的物質を樹脂中に分散させた系でのみ実現されていた。本研究では、斜方晶 FeSi₂ (a=0.9863, b=0.7791, c=0.7833 nm)を対象として、結晶方位の三次元的制御(三軸配向)、ならびに、配向した粒子のみからなる焼結体の作製について報告する。

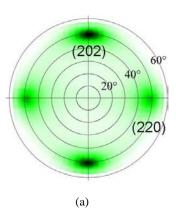
実験方法

Fe と Si の組成比が 1:2 となるような母合金をアーク溶解炉で作製し、850 度で 48h アニールした。これを粉砕した粉末 (粒径: < 45 μ m) を体積分率が約 10% となるようにエチレングリコール中に超音波を利用して分散させることでスラリーを得た。このスラリーを用いて 10T の静磁場中で首振り運動 (首振り角:135°、回転速度:12rpm) させながらスリップキャスティングし、三軸配向した粒子からなる凝集体を作製した後、通電焼結(焼結温度:900 度、焼結時間:30 分、印加圧力:約 50MPa)により焼結体を作製した。

結果・まとめ

焼結前後の斜方晶 FeSi₂ の(220)および(202)の分布をステレオ 投影図上に表したものを図 1 に示す。黒色で示した(220)および (202)の分布は焼結前(a)に比べ、焼結後(b)の方が多少広くなって いたが、つまり配向が乱れていたが、依然として三軸配向を保っていた。さらに、図 1 に示す焼結体の充填率は約 84%であり、金属光沢をもっていた。また、焼結時間の増加に伴い充填率は増加していき、最大で約 90%まで到達した。

以上より、磁気配向を利用したプロセスにおいて、目的物質の みから構成され、かつ、三軸配向組織をもつ材料が実現できるこ とがわかった。今後は三軸配向組織を持つ材料の特徴を知るため に、配向度と材料特性の関係等について明らかにしていく。



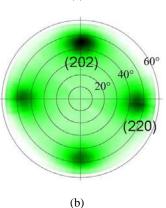


図 1 回転軸に垂直な面に おける(202),(202)の分布 (a)焼結前、(b)焼結後

参考文献 [1] T. Kimura and M. Yoshino, *Langmuir*, **21** (2005) 4805-4808.

[2] N. Nakatsuka, et al., J. Phys.: Conf. Ser., 165 (2009) 012021.

強磁気力場を利用したタンパク質結晶化

京大原子炉(現所属:東京医科歯科大学難治疾患研究所) 沼本修孝

タンパク質は生体を構成する主要な高分子であり、その詳細な立体構造情報に基づいた 新規医薬品や機能性分子の開発が期待されている. X 線結晶構造解析法はタンパク質などの 生体高分子の構造決定に最も有力な手法であるが、高品質な単結晶を作製する必要があり、 構造決定まで長い時間を要する主な要因となっている. タンパク質の結晶化に際しては、 様々な条件を最適化する必要があるが、重力も結晶化に影響を与える条件のひとつであり、 重力に起因する結晶化溶液の対流や結晶の沈降などによって、結晶品質の低下を招く場合 が知られている. 地上の実験室では重力の影響を完全に排除することは難しいが、重力の 効果を大きく軽減する方法として、超伝導磁石の生み出す非常に強い磁気力場による磁気 力浮揚の利用が知られている. 我々はタンパク質結晶化に理想的な超伝導磁石装置を開発 し、実際にタンパク質結晶化を行ってその影響と有用性を検証している.

磁気力場中でのタンパク質結晶化について相図を作成し、磁気力を用いない通常の条件と比較したところ、磁気力場中では結晶の生じる領域が、タンパク質濃度、沈殿剤濃度ともにより高濃度の領域に移動した。また、磁気力場中では結晶析出と成長に要する時間が増大した。これらのことから、磁気力場中では、重力に起因する対流が軽減され、過度の核形成や結晶成長が抑制されたものと考えられる。すなわち、核形成の乱発によって溶液内のタンパク質が枯渇して結晶成長を阻害したり、あるいは急激な結晶成長に起因する多結晶化を抑制し、効率よく高品質な大型結晶を得られるものと期待された。

また、磁気力場中で得られた結晶の格子長が、有意に減少した場合もみられた.このとき、結晶内でタンパク質分子がより密に整列するため、タンパク質構造の一部が変化していたことも確認された.

さらに膜タンパク質の結晶化では、磁気力場中で得られた結晶のほとんどが磁場方向に平行に配向して析出していることが確認された。加えてX線回折データの自己回転関数などから、結晶中において分子内の膜貫通ヘリックスが磁場方向に平行となるように整列していることがわかった。膜タンパク質においては、膜貫通部分の構造が強い磁気異方性を生じることが以前より予想されており、静磁場あるいは磁気力場中での結晶化で特に顕著に効果が現れるものと考えられていた。われわれはこれを初めて直接観測することに成功し、また磁気力場中で得られた結晶については、わずかながら結晶のモザイク性とR値が改善されたことが認められた。

以上の結果は、いずれもタンパク質結晶の品質向上に寄与するものであり、タンパク質結晶化において、強磁気力場中での結晶化はより高品質の結晶を得るために有用な手段であると考えられる.

電気化学反応に見られるイオン空孔の役割

早稲田大学理工学術院 杉山敦史

第 1 マイクロ MHD 効果とは,10 秒程度の短い時間で生じる対称性濃度ゆらぎと第 1 マイクロ MHD 流れによる $0.1~\mu m$ 以下の三次元核の抑制効果を言い $^{2,3)}$,第 2 マイクロ MHD 効果とは 1000 秒ほどの長い時間で生じる第 2 マイクロ MHD 流れと非対称性濃度ゆらぎによる直径数 $10~\mu m$ の二次粒子の成長促進効果である $^{2,4)}$.

キラル磁気電析: 茂木らは Cu や Ag の垂直磁場中の電析で作製した電極を用いた光学異性体反応で、電析面へのキラリティ付与効果を見出した ^{5,6)}. この現象には垂直磁場中で電極の周りで生じる垂直 MHD 流れと呼ばれる巨視的回転運動と青柿らのグループによって存在が明かにされたイオン空孔が重要な働きをする. イオン空孔は電極界面での電子移行に伴う溶液側電荷の乱れにより形成され、中心の真空荷電部分を外殻のイオン雲が取り囲む構造のために潤滑作用を示す特徴がある. その大きさは重力電極を用いた硫酸銅系およ

び塩化銅系の測定から、空孔の持つ電荷数によって変化することが分かっている. 2 価のときにはおよそ直径 0.75nm, 1 価のときにはおよそ 0.4nm の値が求まり、理論値と良い一致を見ている 7-10).

図1に示すように垂直磁場中では平行磁場中と異なり、マイクロ MHD 流れは、時計周りと反時計回りの一対の垂直渦流からなる。互いに逆向きに回転する渦流はイオン空孔の潤滑作用により、低レイノルズ数であっても渦流形成を可能にしている。この垂直渦流は回転方向の他に上下方向の自由度を持っている。上下方向の

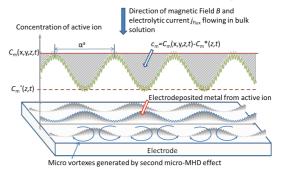


図 1 電極表面に形成する非対称濃度ゆらぎと 非対称濃度ゆらぎによって生じる第 2 マイクロ MHD の模式図 (電析の場合). 第 1 マイクロ MHD 流れは図中の非対称濃度ゆらぎ周りに生じてい る細かな対称濃度ゆらぎにより生じる.

流れの向きを考えると、下向き流れの底面では生じたイオン空孔群は外側に追い出され、上向き流れの底面では逆に中心に集められる。その結果、上向き流れの底面は摩擦面となるのに対し、下向き面の底面は摩擦なしの滑り面になる。ここで、上述の垂直 MHD 流れのような巨視的回転運動が存在すると、下向き流れは摩擦のために同じ方向に回転し、上向き流れは滑るために逆方向に回転するようになる。すなわち、図 2 に示すように、

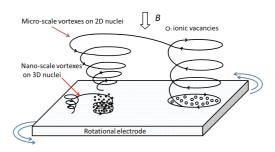


図 2 磁気電析キラル増幅電極上でのイオン空孔による渦の作用の模式図.

巨視的回転により、回転と上下方向の自由度から決まる 4 種類の渦流が下向き同方向回転と上向き反対方向の 2 種類に制限されるようになる. これは第 1 の対称性の破れと呼ばれる. 図では、非対称性と対称性ゆらぎの様子を示す.

サイクロトロン電極:垂直磁場中に置かれた一対の同軸円筒上の電極と照合極で構成されたサイクロトロン電極(CMHDE)では、電解電流が生み出すローレンツ力による円筒壁に沿った溶液の回転運動を利用してイオン空孔寿命の測定をする.磁場強度が増すにつれて回転速度が増し、イオン空孔は消滅前に電極面を覆うので、壁面は摩擦面から滑り面に変化する.このときの電解電流の磁場応答の差からイオン空孔寿命が測定される.実験結果では、反応による寿命の違いや、支持塩濃度に対する依存性が見出されている.

謝辞 当グループの研究に進めるにあたり東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究 センター,物質材料研究機構強磁場共用ステーションの磁場発生装置を使用した。また研究の一 部は文部科学省特別推進研究「電気化学デバイス工学の確立と深化」の助成を受けた。

参考文献

- (1) R. Aogaki, "Instability of nonequilibrium fluctuation in electrochemical nucleation. 1. occurrence of instability", *J. Chem. Phys.*, **103** (19), 8602-8615 (1995).
- (2) R. Aogaki and R. Morimoto, "Nonequilibrium fluctuations in micro-MHD Effects on Electrodeposition", in Heat and Mass Transfer Modeling and Simulation, ed. M. Hossain, p.189, InTech, Croatia (2011).
- (3) R. Morimoto, S. Yazawa, R. Aogaki, A. Sugiyama, M. Saito, "Effect of Magnetic Field on Copper Electroplating-Application to Through-Hole Plating", *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **59** (6), 408-414 (2008). (in Japanese)
- (4) R. Aogaki, R. Morimoto, A. Sugiyama, M. Asanuma, "Self-organization of Copper Secondary Nodules by the Second Micro-MHD Effect", ECS Trans., 13 (16), 15-24 (2008).
- (5) I. Mogi, K. Watanabe, "Chiral electrode behavior of magnetoelectrodeposited silver films", *ISIJ Int.*, **47** (4), 585–587 (2007).
- (6) I. Mogi, K. Watanabe, "Chirality of magnetoelectrodeposited Cu films", *Magnetohydrodynamics*, **48** (2), 251-260 (2012).
- (7) R. Aogaki, "Theory of stable formation of ionic vacancy in a liquid solution", *Electrochemistry*, **76** (7), 458-465 (2008).
- (8) R. Aogaki, M. Miura, Y. Oshikiri, "Origin of nanobubble-formation of stable vacancy in electrolyte solution", *ECS Trans.*, 16 (25), 181-189 (2009).
- (9) R. Aogaki, Y. Oshikiri and M. Miura, "measurement of the change in the partial molar volume during electrode reaction by gravity electrode –I. theoretical examination," *Russian J. Electrochem.*, **48** (6), 636-642 (2012).
- (10) Y. Oshikiri, M. Miura and R. Aogaki, "measurement of the change in the partial molar volume during electrode reaction by gravity electrode –II. Examination of the accuracy of the measurement," *Russian J. Electrochem.*, 48 (6), 643-649 (2012).

磁性ソフトマテリアルの可変弾性とその応用

山形大学 三俣哲

【はじめに】

磁性ソフトマテリアルは高分子ゲルやゴム、エラストマーなどの柔らかい材料に磁性微粒 子が分散された材料であり、外部磁界に応答して弾性率が変化する。この機能は力覚提示 装置やアクチュエータの材料として有用であり、振動制御^[1,2]、ハプティックデバイス^[3]、 柔らかさが変化するマウスによる力覚転送システムなどへの応用が期待されている。ゲル に磁性微粒子を充填した材料を磁性ゲル、ウレタンなどのエラストマーに充填した材料を 磁性エラストマーと呼ぶ。磁場印加により弾性率が変化する現象を磁気粘弾性効果(マグ ネトレオロジー)といい、これまで磁性エラストマーで活発に研究されてきた[4-11]。しか しながら、磁場による弾性率の変化率は高々3倍程度であり、手で触っても変化を認識する のが難しかった。また、電磁石の強い磁場を必要とすることも実用上の大きな障害となっ ていた。我々はこれまで、磁気粘弾性効果を効率良く発現させるため、柔らかい材料(マ トリックス)に多糖類ゲルやポリウレタン、磁性微粒子に強磁性体を用いた磁性ソフトマ テリアルを合成し、磁化による弾性率の変化について研究を行ってきた。これらの研究か ら、磁場を印加すると弾性率が劇的に低下する現象(負の巨大磁気弾性効果)[12-14]を見出 し、永久磁石の弱い磁場で瞬時に、かつ可逆的に 500 倍変化する磁性ソフトマテリアルを 創製した[15-18] (正の巨大磁気弾性効果)。本稿では、磁性ゲル、磁性エラストマーの磁気 粘弾性効果について解説し、その応用について説明する。

【磁性ゲルの可変弾性】

カラギーナンは寒天などと同じ多糖類の含水性ゲルである。これに酸化鉄(Fe_3O_4)を分散させたゲルの弾性率は 5kPa 程度で、磁場を印加すると 6 倍硬くなる。磁性微粒子にカルボニル鉄を用いると、高濃度でも均一に分散し、柔らかいゲルが得られる。このゲルは 500mT の磁場でせん断弾性率が 500 倍になる [15]。磁場がかかっていないとき、200 g のおもりをのせると、おもりはゲルにめり込む(図 1 右)。しかし、ゲルの下に永久磁石を置くと、おも

りをしっかり支えることができる(図 1 左)。このように、市販の永久磁石の弱い磁力(320 mT)でも 300 倍もの固さの変化を実現し、大がかりな磁場発生装置を必要としないことも大きな特徴である。60 秒ごとに磁場をオン・オフすると、複素弾性率は磁場に同期してログスケールで変化する(図 2)。磁場を印加すると磁性微粒子は磁化し、磁力線に沿って配列する。この配列によって磁性微粒子どうしが接点を形成する。その結果、粒子間

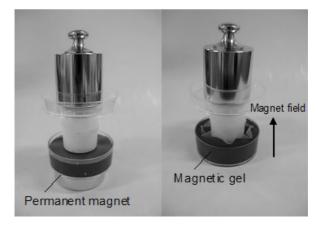


図1磁性ゲル(カラギーナン/カルボニル鉄)に200gのおもりをのせたときの様子(左)320mTの磁石あり(右)磁石なし[17]

で応力の伝達が起こり、弾性率が増加する。また、損失弾性率 G"も貯蔵弾性率と同じようにパルス的に変化する。弾性成分だけでなく粘性成分も広範囲に磁場で変化させることができる。応答速度は磁性粒子の種類や磁性粒子とゲルの組合せなどによって異なるが、500ms で倍の弾性率になる。乾燥すると使えなくなってしまうこと、力学強度が低いことが磁性ゲルの深刻な課題である。

【磁性エラストマーの応用】

マトリックスをポリウレタンにすると、ドライ環境で使用でき、かつ力学強度に優れた可変弾性材料が得られる[19-21]。弾性率の変化率は277倍で、磁性ゲルに劣らない[21]。磁性エラストマーは合成から2年以上経っても良好な磁場応答性を示す。また、90%以上繰り返し圧縮しても破壊せず、力学強度が大幅に改善された材料が得られている。冒頭で述べた応用を実現すべく企業による開発が日々進歩している。

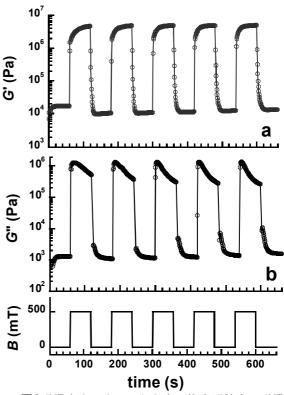


図2磁場をオンオフしたときの複素弾性率の磁場 応答性(カラギーナン/カルボニル鉄磁性ゲル)^[15] a∶貯蔵弾性率、b∶損失弾性率

【おわりに】

磁性ソフトマテリアルは可変粘弾性以外にもアクチュエータとしての機能を持つ。不均一磁場を印加すると伸縮する^[22,23]。ソフトアクチュエータとしての応用も今後ますます発展するだろう。ゲル本来の特徴である低摩擦性、生体適合性であることを最大限に活かすことで、より付加価値の高い材料が得られ、より幅広い用途に展開できると期待している。

【参考文献】

[1] S. Abramchuk et al, Polym. Adv. Technol. 2007, 18, 883. [2] S. Abramchuk et al, Polym. Adv. Technol. 2007, 18, 513. [3] T. Kikuchi et al, Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, 2010, 160. [4] T. Shiga et al, J. Appl. Polym. Sci. 1995, 58, 787. [5] M. R. Jolly et al, J. Int. Mat. Sys. Struct. 1996, 7, 613. [6] J. M. Ginder et al, Int. J. Mod. Phys. B., 2002, 16, 2412. [7] G. Bossis et al, Int. J. Mod. Phys. B., 2002, 16, 2447. [8] M. Lokander et al, Polym. Test., 2003, 22, 245. [9] M. Lokander et al, Polym. Test., 2003, 22, 677. [10] Z. Varga et al, Polymer, 2006, 47, 227. [11] A. Boczkowska et al, J. Mater. Sci., 2009, 44, 4104. [12] T. Mitsumata et al, Macromol. Rapid Commun., 2005, 26, 1538. [13] T. Mitsumata et al, J. Phys. Chem., 2006, 110, 20217. [14] T. Mitsumata et al, J. Phys. Chem., 2008, 112, 14132. [15] T. Mitsumata et al, Chem. Lett., 2009, 38, 922. [16] K. Negami et al, Chem. Lett., 2010, 39, 550. [17] K. Negami et al, e-Polymers 2011, no.34, 1. [18] 三俣哲 高分子 2010, 59, 716. [19] T. Mitsumata et al, Jpn. J. Appl. Phys., 2007, 46, 4220. [20] T. Mitsumata et al, Curr. Trends Polym. Sci., 2009, 13, 11. [21] T. Mitsumata et al, Polym. Chem., 2011, 2, 1063. [22] T. Mitsumata et al, Jpn. J. Appl. Phys., 2008, 47, 7257. [23] 三俣哲 「磁場駆動による磁性ゲルアクチュエータ」 "未来を動かすソフトアクチュエータ" 長田義仁、田口隆久監修 エヌ・ティー・エス出版(2011)

Bi-Mn 系の平衡状態に対する強磁場効果

東北大金研 三井 好古,渡辺和雄 鹿児島大理工 小山佳一 東北大院工 及川勝成

平衡状態図は、材料開発を行う上で重要な情報の1つである。磁場は、圧力や温度のように、材料の相を制御するパラメータである。磁場中材料開発の効率化のためには、系統的な実験を行い、磁場中平衡状態図を明らかにすることが必要である。

強磁性二元化合物 BiMn は T_{\sim} 628 K で強磁性から常磁性への一次の磁気相転移を伴い、 $BiMn_{1.08}$ に分解する[1]。 T_t は磁場に対し 2 K/T で上昇するという大きな磁場効果が報告された[2,3]。このことは、Bi-Mn 状態図全体が磁場によって大きく変化することを示唆している。本研究では、Bi-Mn 系の相平衡に対する強磁場効果を、強磁場中示差熱分析によって明らかにした。

強磁場中示差熱分析によって得られた BiMn の $B \le 45$ T における磁気相図を Fig.1 に示す。強磁性 BiMn→常磁性 BiMn_{1.08} への分解温度 T_t は $B \le 20$ T では 2 K/T で上昇するが、B > 20 T で磁場に対する上昇率が低下する。B = 45 T では T_t はゼロ磁場から 84 K 上昇し、714 K に到達した。 45 T 中示差熱分析によって、 T_t が T_m に接近するほど上昇する大きな磁場効果が観測された。一方、 T_t BiMn_{1.08} → T_t Mn + 液相の包晶反応温度 T_t は、 T_t 37 T 以上の磁場中でわずかに上昇した。 T_t は T_t 45 T 中で T_t 4 K 上昇し、 T_t 726 K となった。以上

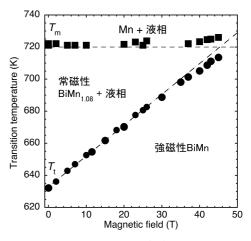


Fig.1 BiMn の磁気相図。

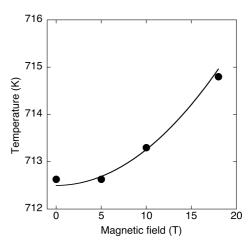


Fig.2 Bi-24at.Mn における T_{liq} の磁場依存性。

のように、常磁性の分解温度であっても磁場によって上昇することを観測した。

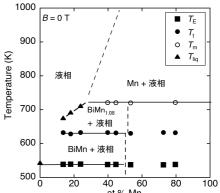
組成の異なる Bi-Mn 試料を作製し、 $B \le 18$ T の範囲で強磁場中示差熱分析を行うことで、Bi-Mn 磁場中状態図を作成した。磁場中示差熱分析によって得られたゼロ磁場と 18 T 中の Bi-Mn 状態図をそれぞれ Fig.2 (a), (b)に示す。Bi と BiMn の共晶温度 T_E や T_t , T_m 及び液相線 T_{liq} に対して、それぞれ異なる磁場効果が観測された。 $B \le 18$ T では、 T_E と T_m に対する磁場効果は観測されないほど小さいことがわかった。また、 T_t は磁場に対し 2 K/T で上昇した。 Fig.3 に Bi-24at.%Mn における T_{liq} の磁場依存性を示す。18 T を印加することで T_{liq} は 2 K 上昇し、磁場依存性は非線形であることがわかった。以上のそれぞれの分解温度に対する磁

場効果が異なることにより、磁場によって BiMn + 液相の領域が拡大し、BiMn_{1.08} + 液相 の領域が縮小した。その結果、Bi-Mn 磁場中 状態図は、ゼロ磁場における状態図と大きく 異なることがわかった。

Bi-Mn 磁場中状態図を計算した。強磁性相 である BiMn, BiMn_{1.08}の磁気エネルギーMdB (M: 磁化、<math>B: 磁束密度)を計算し、それぞれの 相のゼロ磁場の自由エネルギーに加えた。 BiMn 相の磁化は、分子場近似によってよく再 現されると報告されている[3,4]。そのため、 分子場近似によって磁化を計算し、それぞれ の相の磁気エネルギーを見積もった。計算し た Bi-Mn 磁場中状態図から求めた相変態温度 T_t と T_m の磁場依存性は Fig.1 の磁気相図を良 く再現した。また、 $B \le 18$ T における計算状態 図は、Fig.2の Bi-Mn 磁場中状態図をよく再現 した。これは、BiMn の磁化が分子場近似でよ く再現されたことによると考えられる。この ことから、磁性相の磁化を実験や計算によっ て正確に見積もることで、磁場中状態図を計 算可能であることが示された。さらに、B > 45Tにおける Bi-Mn 磁場中状態図の予測を行っ た。Fig.3 に B=49 T における Bi-Mn 状態図を示 す。49 T 中では、BiMn₁₀₈+液相の領域が消失 し、Mn と液相から BiMn_{1.08} を経ずに、BiMn を合成できることが予測された。

- [1]. T. Chen, J. Appl. Phys. 74, 2358 (1974).
- [2]. Y. Liu *et al.*, Solid State Commun., 138, 104 (2006).
- [3]. K. Koyama *et al.*, Mater Trans. 48, 3414 (2007).
- [4]. B. A. Huberman and W. Sreifer, Phys. Rev. B, 12, 2741 (1975).





(b)

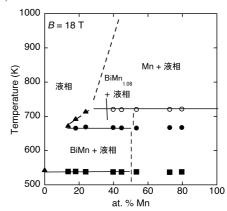


Fig.3 Bi-Mn 二元系の 0 T (a)と 18 T(b)に おける状態図。

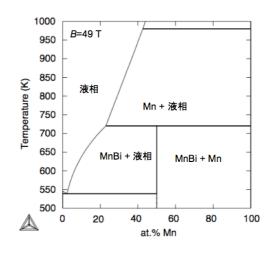


Fig.4 計算によって得られた B=49 T における Bi-Mn 状態図。