

# 目 次

卷頭言 .....	1
活動報告	
第23回磁気科学会研究会報告 .....	2
第24回磁気科学研究会報告 .....	3
第13回磁気科学会年会報告 .....	4
磁気科学25周年企画 .....	5
日本磁気学会との連携 .....	6
国際会議等参加報告	
PARMIR2019.....	9
開催案内	
第14回磁気科学会年会 .....	10
第24回磁気科学研究会 .....	11
第25回磁気科学研究会 .....	12
MAP9 .....	13
受賞者の声	
第8回優秀学術賞受賞 福田 隆 先生 .....	15
第8回功労賞 受賞 本河 光博 先生 .....	16
磁気科学25周年・特別功労賞受賞	
和田 仁 先生 .....	19
講演奨励賞 受賞 大月 保直 氏 .....	21
学生ポスター賞 受賞 門間 啓 氏 .....	22
学生ポスター賞 受賞 大塚 隼人 氏 .....	23
学生ポスター賞 受賞 鈴木駿一郎 氏 .....	24
会計報告 .....	25
事業計画 .....	26

## 会則等

日本磁気科学会 会則 .....	27
理事会運営規則 .....	32
表彰制度 .....	34
役員 .....	35
第 23 回磁気科学会研究会予稿集 .....	37
第 24 回磁気科学会研究会予稿集 .....	

## 卷頭言

日本磁気科学会会長 安田秀幸（京都大学）

会員の皆様におかれましては、平素から日本磁気科学会の活動にご協力いただき誠にありがとうございます。

磁気科学分野を立ち上げる活動から 25 周年を迎えた 2018 年度には、第 13 回磁気科学会年会が 11 月 12 日から 3 日間、東北大学金属材料研究所において開催されました。実行委員長の淡路智先生をはじめ実行委員、北海道・東北支部の皆様に厚く御礼申し上げます。年会では多くの口頭・ポスター発表とともに、磁気科学 25 周年企画として和田仁先生には特別功労賞受賞講演をいただき、さらに設立に関わった方々から講演やコメントをいただきました。黎明期の磁気科学に関する研究活動やご苦労を知るとともに、今後の磁気科学および学会の発展を考える貴重な機会になりました。

今年度には、有機・バイオ分科会研究会が、9 月 15 日に福井工業大学福井キャンパスにおいて「生命・医療・環境に関わる磁気科学の新展開」をテーマに開催されました。第 14 回磁気科学会年会は、11 月 11 日から 3 日間、実行委員長の田中諭先生をはじめ実行委員、中部支部の皆様のご尽力により、新潟県長岡市のシティーホールアオーレ長岡にて開催されます。年会中には、磁場配向（磁気配向）をテーマとして特別講演と研究発表が予定されています。活発な議論を通じて年会が盛会になることを願っております。また、高分子・材料プロセス分科会研究会が、12 月 2 日に日本大学理工学部駿河台校舎において開催される予定です。ぜひ参加をご検討いただければと思います。なお、詳細は磁気科学会ホームページでご確認ください。2020 年には、International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP)が宮崎で開催される予定です。随時、開催情報をアップデートさせていただきますので、会員の皆様のご協力をお願い申しあげます。

先にも述べましたように日本において磁気科学を創設する活動から四半世紀が経ち、磁気科学の黎明期は遠い過去となり、ひとつの研究分野として認知される段階になりました。同時に、磁気科学に関する学術の発展・普及と産業界への貢献は、日本磁気科学会の責務であり、将来を見据えた活動を展開できればと考えております。コンパクトな日本磁気科学会では、会員からの提案をすぐに実行できる利点があり、今後の磁気科学を担う会員からの積極的な提案を期待しております。今後も、磁気科学および磁気科学会に関する忌憚のないご意見を賜れば幸甚です。

# 第 23 回日本磁気学会 磁場発生分科会研究会 開催

## 報告

物質・材料研究機構 大塚秀幸

2018 年の第 23 回研究会（磁場発生分科会）は、2018 年 11 月 14 日（水）に東北大学金属材料研究所 2 号館講堂において「磁場発生技術の最前線」というテーマで年会終了後に昼休みを挟んで開催された。

近年磁石の開発が進展するとともに、様々な磁場発生技術が新たな展開を見せている。ネオジム磁石、高温超伝導バルク磁石、高温超伝導 NMR 磁石、液体窒素冷却高温超伝導磁石など、磁場発生技術の新たな進展とその応用についての最新情報について 4 名の講師の方に講演して頂いた。

世話人による開会の挨拶に引き続き、まず KRI の山本日登志先生には、「最新のネオジム磁石の技術動向と磁石応用例」と題して、発明後 35 年間産業界、民生用に幅広く使用されているネオジム磁石について紹介して頂いた。磁気回路の設計技術の向上で 3.7Tesla の高磁場磁気回路が作成され、超伝導応用に関連して永久磁石式 MRI やバルク超伝導材と併用する電力貯蔵用フライホイール磁気浮上などが実現したことについて紹介して頂いた。

次に岩手大学の藤代博之先生には、「超電導バルク磁石の強磁場発生と補強の重要性」と題して研究の現状と、捕捉磁場向上に不可欠なバルク材の補強についての実験と解析について、さらに着磁磁場よりも強い磁場を持続的に発生するハイブリッド型超電導バルク磁石レンズ(HTFML)についても紹介して頂いた。

NIMS の西島元先生には、「液体窒素 RE-Ba-Cu-O 超伝導コイルの NMR 応用可能性」と題して、RE-Ba-Cu-O (RE=希土類) 超伝導線材を用いて製作したダブルパンケーキコイルを 6 個積層し、フランジに SS400 を用いることで 67K で 1.5T を安定に発生するマグネットを製作したことについて紹介して頂いた。

最後に NIMS の松本真治先生には、「HTS-NMR システムに向けた LTS/HTS 磁石開発」と題して、JST S-イノベ（戦略的イノベーション創出推進プログラム）における高温超伝導材料を利用した次世代 NMR 技術の開発について紹介して頂いた。

最新の磁場発生技術とマグネットに関して非常に興味深い話しを聞くことができた。これらの技術を利用した新たな研究が展開されることが期待できる。

# 有機・バイオ分科会研究会開催報告

神戸大学 井原一高

2019年9月15日福井工業大学において、有機・バイオ分科会研究会を開催した。テーマとして「生命・医療・環境に関わる磁気科学」を掲げ、学際領域にも関わらず着実な発展を遂げている生命、医療そして環境分野における磁気科学について、分子レベルのナノスケールから、医療・環境等のマクロスケールまで多様なステージでの新しい展開について、3件の講演が行われた。

最初に「磁性細菌における磁気微粒子の合成機構とバイオ計測への応用」と題して、東京農工大学大学院工学研究院の新垣篤史准教授より講演があった。細胞内に酸化鉄や硫化鉄の磁気微粒子を合成する磁性細菌について説明があり、特に磁気微粒子の合成機構について最新の研究トピックも併せて解説があった。合成された磁気微粒子は有機薄膜で覆われ、化学合成の磁気微粒子とは異なる特徴を持つことと、計測や再生医療分野への応用について紹介があった。特に応用の可能性については複数の質問が出され、関心の高さがうかがえた。

続いて「磁気力制御による低侵襲がん治療への取り組み」と題して、大阪大学大学院工学研究科の秋山庸子准教授より講演があった。低侵襲かつ副作用の少ないがん治療法として磁気力制御による新生血管閉塞療法について紹介がなされた。磁場発生源から離れた標的部位に強磁性粒子を選択的に集積させ、さらに不可逆に凝集させる必要性から、外部磁場の設計と磁性粒子の制御が求められ、動物実験を含めた今後の展開についても紹介がなされた。

さらに「微生物を利用した水処理技術への磁気分離活用の新展開」と題して、宇都宮大学大学院工学研究科の酒井保藏准教授より講演があった。都市下水処理等で広く使用される微生物プロセスである活性汚泥法に磁気力を援用させた磁化活性汚泥法について、原理から応用まで詳細な説明があった。様々な処理対象について豊富な知見があり、従来の活性汚泥法の課題である余剰汚泥の発生やバルкиングを解決した水質浄化が可能であることから、特に社会実装について質問が多く寄せられた。

今回の研究会は3連休における地方開催であったにも関わらず、25名を超える参加者がおり、いずれの講演でも活発な討議が行われた。

最後に、福井工業大学での開催にあたり、同大学工学部西嶋茂宏教授および三島史人教授にご尽力頂いたことを記して謝意を表します。

# 第 13 回日本磁気科学会年会

実行委員長(東北大学) 淡路 智

第 13 回日本磁気科学会年会は、東北大学金属材料研究所のリニューアルした講堂と隣接したラウンジスペースにおいて、平成 30 年 11 月 12 日（月）から 14 日（水）の日程で開催されました。今回、講演は 56 件あり、そのうち口頭講演 21 件、ポスター講演 35 件でした。初日は 12 時 30 分から実行委員長の開会挨拶の後 9 件の口頭発表が行われ、休憩を挟んでポスター発表を行いました。2 日目は、5 件の口頭発表の後、学会賞授賞式と受賞講演が行われました。2018 年度の褒賞は、「無拡散型ならびに拡散型固相変態に及ぼす磁場効果」に関し福田隆氏（大阪大学）が優秀学術賞を、「磁気科学黎明期における学術的貢献」に関し本河光博氏（東北大学名誉教授）が功労賞を受賞されました。さらに、磁気科学会発足 25 周年を記念して、初代学会会長の和田仁氏に特別功労賞を贈り特別講演の後に「磁気科学 25 周年討論会」が開催されました。討論会では学会に貢献の大きい青柿良一氏（職業大、物材機構）、山口益弘氏（故国大）、浅井滋生氏（名古屋大）の 3 名から、磁気科学会の成り立ちから今に至る歴史について講演がなされました。その後の懇親会は近くのイタリアンレストラン Barbaresco で行われ、学会長の挨拶後和田氏の乾杯で始まり大いに盛況となりました。最後は次回実行委員長の田中氏（長岡技科大）から挨拶を頂き終了しました。最終日の 14 日は 7 件の口頭発表の後、各賞の発表と授与式が行われ、研究奨励賞に東北大の大月保直氏が、学生ポスター賞に京都大の門間啓氏、信州大の鈴木駿一郎氏、同大塚隼人氏の 3 名が受賞され、玉虫塗り複合ボールペンが副賞として贈られました。さらに年会終了後 10 月 14 日（水）午後には磁場発生分科会（大塚委員長）企画第 23 回研究会を実施しました。詳細は研究会報告に譲りますが、今回は様々な磁場発生方法について焦点を当て、ネオジム磁石、高温超伝導バルク磁石、高温超伝導 NMR 磁石、液体窒素冷却高温超伝導磁石について講演が行われました。

最後に、第 13 回年会開催にあたりご尽力頂いた現地実行委員の茂木巖氏（東北大金研）、高橋弘紀氏（東北大金研）、押切剛伸氏（山形産技短大）、三浦誠氏（北海道能開大）、武内裕香氏（室蘭工大）、小野寺礼尚氏（茨城高専）の皆様に感謝申し上げます。



図、2018 年度優秀学術賞、功労賞、特別功労賞受賞者の記念撮影（左から各賞を受賞した福田氏、本河氏、和田氏と山本学会長。）

# 日本磁気科学会と日本磁気学会との連携について

首都大学東京 山登正文

日本磁気学会 (MSJ) では「磁気記録」, 「ハード・ソフト磁性材料」, 「磁気物理」, 「薄膜・微粒子・多層膜・人工格子」, 「スピニエレクトロニクス」, 「計測・高周波デバイス」, 「パワーマグネティクス」, 「生体磁気・医療応用」と, 基礎分野から応用に至るまで多様な分野を取り扱っています。MSJ には、今後の応用磁気研究の発展を期するために、特定のテーマの活性化ならびに萌芽的な研究テーマの育成を目的とした専門研究会が設けられています。現在 5 専門研究会が活動中で、その中の一つに「強磁場応用専門研究会」があります。強磁場応用専門研究会は、新磁気科学研究会発足当時から強磁場応用研究をけん引してきた日本磁気科学会のメンバーを中心に、日本磁気科学会と MSJ との連携を目的に設立されました。2018 年度は杉山先生, 青柿先生, 廣田先生を中心に企画いただき, 第 47 回から第 50 回までの専門研究会（第 47 回は MSJ 主催シンポジウムとして）を開催しました。

今後とも研究会の共催や講演依頼などで連携およびご協力をよろしくお願ひいたします。

日本磁気学会 強磁場応用専門研究会

<https://www.magnetics.jp/special/kyojiba/>

第 42 回日本磁気学会学術講演会シンポジウム 第 47 回専門研究会 (2018.9.11)

日本大学理工学部駿河台キャンパス

“Magneto morphological control in material processing”

- Magnetic effects on crystallization by LLIP method  
I. Yamamoto<sup>1</sup>, T. Okabe<sup>1</sup>, M. Tatara<sup>1</sup>, Y. Chiba<sup>1</sup>, T. Onotou<sup>1</sup>, N. Hirota<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Yokohama National Univ., <sup>2</sup>NIMS)
- Numerical simulation on structure formation of magnetic particles under magnetic fields  
T. Ando<sup>1</sup>, D. Katayama<sup>1</sup>, N. Hirota<sup>2</sup>, O. Koike<sup>3</sup>, R. Tatsumi<sup>4</sup>, M. Yamato<sup>5</sup> (<sup>1</sup>Nihon Univ., <sup>2</sup>NIMS, <sup>3</sup>Product Innovation Association, <sup>4</sup>Univ. of Tokyo, <sup>5</sup>Tokyo Metropolitan Univ.)
- Liquid Crystal Magneto-Electropolymerization  
H. Goto (Univ. of Tsukuba)
- Composite Coatings Utilizing Magnetically Fixed Particles  
J. Sasano, T. Ebitani, T. Yamamoto, S. Yokoyama, M. Izaki (Toyohashi Univ. Tech.)
- High Magnetic Field Effect on Copper Electrodeposition and Anodic Dissolution  
Y. Oshikiri<sup>1</sup>, M. Miura<sup>2</sup>, S. Takagi<sup>3</sup>, T. Asada<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Yamagata Coll. of Indust. Tech., <sup>2</sup>Hokkaido Polytechnic Coll., <sup>3</sup>Fukushima Univ.)
- Concept and Procedure for the Synthesis of Uniform Nanoparticles in Liquid Phase with Large Quantity  
A. Muramatsu (Tohoku Univ.)

第 48 回専門研究会 (2018.10.19)

大阪大学大学院 工学研究科 A1 棟 113 号室

共催 低温工学・超電導学会 2018 年度 第 1 回 磁場の多様性と利活用に関する調査研究会, 応用物理学会 磁気科学研究会

- Magnetic separation: a new route for material recycling  
Sophie Rivoirard (CNRS/ Institut Néel)

第 49 回専門研究会 (2019.3.5)

大阪大学大学院 工学研究科 M3 棟 4 階会議室

共催 低温工学・超電導学会 2018 年度 第 2 回 磁場の多様性と利活用に関する調査研究会, 応用物理学会 磁気科学研究会

- 磁気分離と電気パルス粉碎を用いた金属製錬副産物の高度資源化  
久保 裕也 (福岡工大)

第 50 回専門研究会 (2019.3.28)

大阪大学 東京ブランチ (東京・日本橋) 912 会議室

共催 低温工学・超電導学会 2018 年度 第 2 回 磁場の多様性と利活用に関する調査研究会, 応用物理学会 磁気科学研究会

- 私の物理学・医学・磁気科学・生命科学の研究を振り返って  
飯野正昭 (千葉工業大))

# 国際会議報告 PAMIR2019

東北大金研 茂木 巍

The 11<sup>th</sup> International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD が 2019 年 7 月 1~5 日、  
ランス大学の Chopart 教授とグルノーブルの Alemany 教授のお世話で、フランス・シャンパニュ地方の街ランスの国際会議場にて開催された。並行して Magneto-Science と題された若手研究者向けの講義形式のサマースクールも同じ会場で催された。参加者は約 150 名、フランス、ドイツ、ラトビアなどヨーロッパの研究者がほとんどで、アジアからは日本人 3 名、中国人数名ほどであった。PAMIR 会議は 3 年毎に開催され、研究者同志の親交を深める目的で、初期の頃は、小さな村の人里離れたホテルに泊まり込んで行われていた。最近は必ずしもそうではないが、一緒に食事することが仲良くなる近道ということで、ランチにはフランス風の弁当が用意され、会場内で参加者が食事を共にした。

会議は電磁流体力学の基礎研究から、電磁および磁気プロセッシング、磁気電気化学、磁性流体まで幅広い分野を網羅しており、さらに、前回から熱音響学や宇宙利用へとテーマを広げている。筆者にとってこの会議の特筆すべき点は、磁気電気化学のセッションが設けられていることである。ここで発表することで、世界の磁気電気化学者にアピールできるし、最新の動向を知ることもできる。そのような機会を与えてくれる唯一の会議である。今回も、フランス、ドイツ、ポーランド、スロバキアなどの磁気電気化学研究者と旧交を温めることができた。

ランスはシャンパニュ・アルデンヌ地方の中心都市で、シャルル・ド・ゴール空港から TGV で 35 分という便利な場所にある。世界遺産のランス大聖堂は歴代フランス国王の戴冠式が行われたとのことであるが、観光客には、シャガールのステンドグラスがあることで有名である。会議中日のエクスカーションでは、もう一つの世界遺産サンレミ教会を訪ね、有名なシャンパンセラー Pommery (写真) の見学と試飲を行った。暗い階段を地下深く降りていくと、そこは天然の冷蔵恒温室となっており、何万本というシャンパンのボトルが貯蔵されていた。中には東京の有名ホテルが契約している小部屋も見受けられた。

次の PAMIR 会議は 2022 年、イギリスで開催予定とのことである。



お城のような Pommery シャンパンセラー。

# 開催案内 第 14 回日本磁気科学会年会

実行委員長 長岡技術科学大学 田中 諭

14 回目を迎える磁気科学会年会は、中部支部担当として長岡で開催されます。開催日程などは以下の通りです。

## 第 14 回日本磁気科学会 年会

会期：令和元年 11 月 11 日（月）～11 月 13 日（水）

会場：シティホールプラザ アオーレ長岡 ホール A 及びホワイエ

（新潟県長岡市大手通 1 丁目 4 番地 10）

長岡での開催は初めてとなります。会場は駅からスカイデッキ経由で徒歩 3 分の便利な場所です。会場となる施設は、行政からバスケットボールなどのスポーツやイベントが開催されるなど市民に広く親しまれているところです。周囲には山本五十六や河合継之助ゆかりの博物館もあり歴史も感じていただけると思います。

本年の講演会では初の試みとして、磁場利用の一つである「配向」をテーマとしたシンポジウムを期間中に開催します。配向の原理から最近の話題まで、木村恒久先生（京都大学）、山本勲先生（横浜国立大学）をお招きし、話題提供していただくとともに、有機・無機・金属・バイオなど多岐にわたる分野での配向やその評価、応用を中心に講演をラインアップし、次世代の磁気応用へ向けた活発な議論ができればと考えております。一般講演・ポスターも例年と同様に募集します。皆様の日頃の研究の成果について皆様とご議論いただくことで、磁気科学の深化の場となることを期待しております。皆様の積極的な講演申込および参加登録をお待ちしております。

講演申込、参加登録に関する日程は以下の通りです。

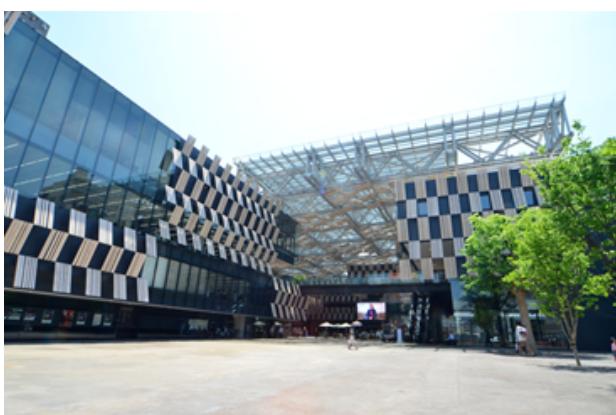
講演申込、参加登録開始 8 月 5 日（月）

講演申込締切 9 月 14 日（土）

要旨提出、事前参加登録、振込締切 10 月 4 日（金）

日程の詳細・プログラムなどは現地実行委員会ホームページで公開していますのでこちらをご覧ください。

[https://mst.nagaokaut.ac.jp/ceramsci/14th\\_mssj/index.html](https://mst.nagaokaut.ac.jp/ceramsci/14th_mssj/index.html)



会場：アオーレ長岡

# 速報、開催地決定！ MAP9、2020年6月に宮崎で開催

物材機構 廣田 憲之

The 9th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP9) が 6 年ぶりに日本で開催されることになりました。

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)、2012 年 Autrans (France)、2014 年 Okinawa (Japan)、2016 年 Providence (RI, USA)、2018 年 Grenoble (France) と 2 年ごとにアメリカ、フランス、日本の順に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、やや材料科学や物性物理、分析化学寄りのトピックスが中心となります。

今回の 6 年ぶりの日本開催にあたり、本会会長の安田秀幸先生を中心として、準備を進めております。

本稿執筆時点では詳細が確定していませんが、開催地は宮崎市青島の ANA Holiday Inn Resort MIYAZAKI でほぼ決まり、開催時期は 2020 年 6 月 2 日(火)～5 日(金)または 6 月 16 日(火)～19 日(金)のどちらかになりそうです。

ホームページもまだ開設できておりませんが、詳細等が決まりましたら、順次、メーリングリスト等で会員の皆様にもお知らせします。

磁気科学分野の 3 大国際会議の一つである MAP を磁気科学研究発祥の地(と自負しているのですが)である日本で開催する機会です。会議の成功には、皆さんのご協力が必要です。また、磁気科学分野の海外の最新研究動向を知ることのできるまたとない機会でもあります。是非、皆様の温かいご支援と、積極的なご参加・ご協力を願い申し上げます。

# 磁性関係の単位について

大阪大学 福田 隆

このたびは第8回優秀学術賞を受賞させていただき大変光栄に存じます。今回、「受賞者の声」を磁気科学年会誌に掲載していただけるとの連絡を受けたとき、質量の定義が国際キログラム原器からプランク定数を用いたものに変わるということが新聞で報道されました。これで、人工物に依存する単位が消え、SI基本単位はすべて普遍的な物理量に基づく定義に改められることになるとのことです。最近は学術雑誌もSI単位を使うよう指示しているものが多くあり、今後はSI単位系に統一されると思いますが、磁性関係ではその移行が遅く、単位換算が面倒なことがしばしばあります。

SI単位系では磁場 $H$ の単位はA/mです。私も、少し前まではA/mを使用して投稿していました。ところが学会発表でA/mを使うと、「A/mは磁場の単位として正しいが、その単位では値が直感的に理解できない」と何度も言われました。そこで最近は磁場を表すときには $\mu_0H = 4T$ などと書くことにしています。このようにすると、 $H$ の単位としてはA/mとSIを遵守し、 $\mu_0H$ の値としては多くの人に馴染み深いTとできます。磁気科学会では磁束密度 $B$ を使う方が多くおられるように思います。しかし鉄合金のように、磁化の大きな物質を取り扱う場合は、 $B$ と $\mu_0H$ は別物として区別しないと混乱を生じてしまいます。

磁化については、非常に多くの単位が論文で使われています。SI単位系、MKSA( $E-H$ 対応)単位系、CGS単位系のそれぞれに、単位体積当たり、単位質量当たり、モル当たり、式量当たり、原子1個当たり、磁性原子1個当たりの磁化などがあります。それぞれ考えがあって、これら多様な単位が使われているのでしょうか、ある程度は統一されるべきかと思います。多くの場合、体積よりも質量の方が正確に測定できるので、個人的にはSI単位系の質量磁化(Am<sup>2</sup>/kg)で表した値が、物性データとしては後々最も使いやすいのではないかと思います。この単位で表した数値はemu/gで表した数値と同じ値となります。emu/gで表した質量磁化は、過去の文献で膨大なデータの蓄積がありますので、これらの文献データと直接値を比較できるという意味においてもAm<sup>2</sup>/kgは便利な単位だと思います。また $M-H$ 曲線の囲む面積をとりエネルギーを求める際も、横軸を $\mu_0H(T)$ とし、縦軸を $M(Am^2/kg)$ としておくと、面積の単位はJ/kgとなり、わかりやすいと感じています。

磁化の単位としてSI単位系のA/mを使うことに反対している人もおられるようです。磁化に対して磁場と同じ次元を与えていることが気に入らないようです。その方たちから言わせるとA/mを密度で割ったAm<sup>2</sup>/kgも良くないということになるかもしれません。しかし、SI単位への統一は、いろんな分野の人が集まって決めたことであり、少々気に入らなくても、それに対して頑固に反発するのは、閉鎖社会を作っているように感じてしまいます。

この原稿の執筆中に、JMT10Tをお譲りするとのメールが磁気科学会のメーリングリストに流れました。若手に使っていただきたいとのことが書かれていました。その通りだと思います。斬新な発想をもつ若手の活躍により磁気科学会の分野を盛り上げていただきたいと思います。

# 金研における磁気科学実験の追想

東北大名誉教授 本河光博

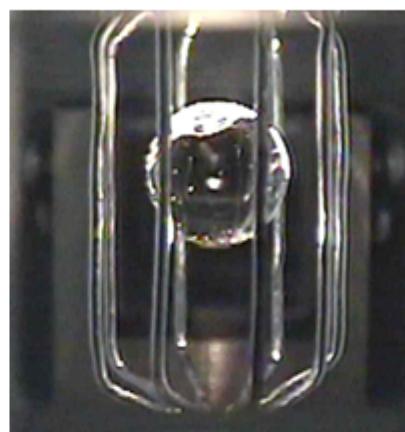
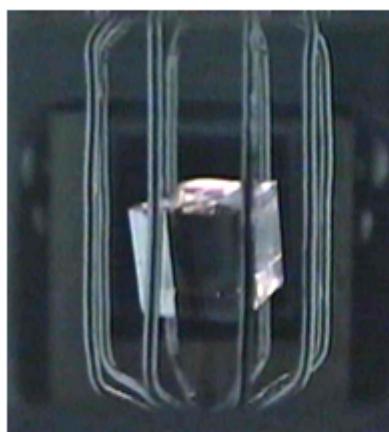
昨年の11月初め、東北大金研の淡路智氏より、私に日本磁気科学会功労賞をやるから12日から金研において催される日本磁気学会に出席してくれとの依頼が突然飛び込んだ。私はこの学会から功労賞をいただくほど功績があったとは思えないので多少躊躇したものの、久しぶりに仙台へ行く機会ができたことがうれしくて、喜んでこの申し出を受けることにした。授賞理由は、どうも私自身の研究内容というよりは、CRESTなどを通じて間接的に何らかの寄与があったと評価されたようである。以下はその時の講演内容を記したものである。これは学術的というより私事の回想であることをお許し願いたい。

私は1994年4月に縁あって東北大金研の磁気物理学研究部門に着任した。それまでの私の研究テーマは主としてパルス強磁場を使ったミリ波、サブミリ波領域での磁気共鳴と磁性体の磁化測定であった。私はそれ以前在籍した阪大、神戸大で、物理の研究はパルス強磁場の方が定常強磁場より効率がいいし、あらゆる測定が可能であると確信していた。そして正直なところ定常強磁場で行う実験にはあまり興味を持っていなかった。着任1年後、付属強磁場超電導材料研究センターのセンター長を仰せつかった。使命は、当時多くの付置センターがそうであったように10年时限がついており、2001年にはこのセンターが廃止になる宿命にあったのを、存続させることであった。そのためにはまず、東北大学から文部省に出す概算要求に高い順位にしてもらう必要があった。時の所長に、概算要求を早く出せと言われて、事務局へ出かけて行き、「金研強磁場でこんな物理ができます」と言ったら、一蹴されてしまった。つまり、「物理は理学部、金研は材料」というという訳で、すごすごと引き上げてきた。材料には全く素人の私に何をやれというのか、自問自答の日が続いた。これが図らずも私が磁気科学と関係を持つことになるきっかけであった。当時研究室の助手であった茂木巖氏がすでに磁場中で銀の結晶がデンドライト結晶になることを見つけていて、銀の花と称して磁気科学の分野では大きな話題になっていた。しかしそれだけではとても概算要求の目玉になるとは思えなかった。また当時センター専任助教授であった渡辺和雄氏が新しい超伝導線の開発やヘリウムフリーマグネットの開発を行っていた。これは文字通りセンターの名称そのものの研究であるのでもちろん大きな目玉であったが、もう一つ何かほしかった。そんなあるとき東大の北澤宏一氏がグルノーブルの強磁場で水を浮かせたという話を教えてくれた。迂闊にも私はそれを知らなかつたのである。金研でも早速試してみるとちゃんと水は浮いた。渡辺氏の勧めでマスコミに売り込んだ。しかし水が浮いたって何も面白いことは無い。そんな折、当時東工大セラミック研の所長であった旧知の澤岡昭氏が、宇宙微小重力の材料プロセスへの応用に関する研究会にさそってくれた。その中に、微小重力下で溶融ガラスの蒸気から完全球の微粒子を作る研究があった。これこれと思ってそのグループを誘い込んだ。悪く言えばパクリである。やって来たのは神戸大時代の私の研究室の学生であった北村直之氏であった。彼は大阪工業試験所（現産総研関西センター）に勤めていてガラスの研究をやっていた。丁度そのころ科学技術振興

事業団（現科学技術振興機構）のCRESTがスタートし、その中の「極限環境状態における現象」という研究領域で、私が代表者となり「研究課題 強磁場における物質の挙動と新素材の創製」が採択され1997年11月から5年間、割と大きな研究費をいただくことができた。その時の計画書には次のように書かれている。「東北大学金属材料研究所の30テスラハイブリッド磁石を用いて、水を磁場中で浮かせるという興味深い実験を行い成功した。この実験は重大な意味を含んでいる。即ち、磁場によって分子一つ一つにかかる反発力と重力がバランスをとって浮くわけであるが、これはまさに無重力状態と同じである。しかもロケットで宇宙空間へ行くよりはるかにコストは低い。また自由落下で作られる無重力状態よりもはるかに時間が長い。宇宙空間での物質合成に関して既にいくつかの計画があるが、それらが実験室で可能になる。また純粋の無重力状態と違って、多くの分子に見られるように反磁性帶磁率に異方性があると、配向効果が伴う。また物質によって反磁性帶磁率や比重が異なるため二つ以上の成分を混在させるとそれぞれに対する浮力も異なる。したがって宇宙空間とはひと味違う物質の合成、結晶成長、反応が可能となる」。

CRESTの採択は客観的評価として文部省に受け入れられ、また宇宙実験を比喩に持ってきたことは文部省にも分かりやすかったと見え、渡辺氏のヘリウムフリー超伝導磁石の開発という地道な研究と抱き合わせで無事概算要求が通り、2001年から新センターとしてスタートした。おまけに教授1、助教授1、助手1、計3人の教官ポストを純増でつけてもらうことができ、従来の助教授1、助手1と合わせて、1,2,2の体制ができた。とはいものの、裏には金研所長や本部事務局の並々ならぬ努力があったことは否めない。むしろそちらの方が大きかったのではないかと思われる。

この時行われた磁気浮上実験のハイライトは、図のように立方体のガラスに炭酸ガスレーザーの波長10ミクロンの赤外線を照射し、磁気浮上状態で溶融し、球形になるのを直接観測した映像であろう。本来の目的はこの状態で球状微粒子を採取し、それを放射化して



Levitating glass cube (left) and globe melted by CO<sub>2</sub> laser.

癌の治療に使うということであったが、最初興味を持っていた製薬会社が計画を中断したため最終成果ができるまでに至らなかったのは残念であった。またニュートンのリンゴの落下の観測に対し、重力に反して浮上してくる様子を見ようと思い、東大の小石川植物園にあるニュートンのリンゴの木に成ったリンゴを手に入れたが、すでに腐りかけていたのと若干サイズが大きすぎてマグネットに入らなかったので、市場で姫リンゴを買ってきて磁気浮上させた。でも講演を頼まれたときは話を面白くするために、ニュートンのリンゴと偽った。でももう時効としてお許し願いたい。その他幾つかの例が金研強磁場センターのホームページで見ることができる。

<http://www.hflsm.imr.tohoku.ac.jp/cgi-bin/index.cgi?num=81106164822>

これを契機として私に、従来行なってきたパルス強磁場による磁性研究に加えて、定常強磁場による磁気科学という研究分野が加わった。北澤氏を研究推進委員長とする未来開拓事業「強磁場下での物質および生体の挙動」の研究推進委員の一人に加えてもらい、北澤氏監修の「磁気科学」という本にも執筆した。パルス強磁場と定常強磁場の両方に通じているということで、岩波書店から依頼されて「強磁場をつくる」という本を出し、定年後「Physics in high magnetic fields (Report on Progress in Physics 67 (2004)1995-2052)」というレビューぺーぺーも書かせてもらった。また山口益弘氏の特定領域研究「強磁場新機能の開発」の評価委員もさせていただいたし、2006年3月にグルノーブルで開かれた「MAP2」では「Magnetic Levitation and Its Applications」というタイトルでレビュートークをさせてもらった。2006年6月には、私が組織委員長となり Research in High Magnetic Fields という国際会議を仙台で開き、当然その中にも磁気科学のセッションを入れた。そして最大の財産は、磁気科学に携わる多くの優れた研究者の知古を得たことであろう。学会や研究会などの議論は楽しい思い出として残っている。それにしても北澤氏を早く失ったことは痛恨の極みである。この分野における彼の寄与は計り知れない。彼のスケールの大きな発想はこの分野をもっと発展させたであろう。

今回の学会に合わせて、常磁性体の磁気浮上に関して若干考えてみた。常磁性体の帶磁率は反磁性体より 10 倍は大きいので、縦方向には数テスラの磁場で安定点がある。したがって通常の超伝導マグネットでも浮いてしかるべきである。しかしながら、中心より半径方向に磁場が強くなつてゆくため、中心に安定点がなく試料はマグネットの内壁にくっついてしまう。これをキャンセルするために逆向きの磁場を出すコイルを内挿することが考えられるが、計算してみて非常に難しいことが分かる。マグネットの内径の 1/10 の範囲ならば半径方向の磁場変化が、その時の磁場の 1/1000 程度、すなわちミリテスラ程度になるので可能性はある。それでも内装コイルの銅線の発熱が大きく、内装コイルを冷却するための工夫が必要であり、かなり難しい。マグネットの内径の 1/50 まで小さくすると可能性は大きくなる。しかし実現するためにはかなりボアの大きいマグネットが必要である。

最後に、私はもうすでに過去の人間であるが、今回の学会に出席の若い人たちには今後の活躍を期待してやまない。まだまだやることはあって興味深い結果が皆さんを待つてのことであろう。

# 磁気科学～何処から・何処へ～

日本磁気科学会 初代会長 和田 仁

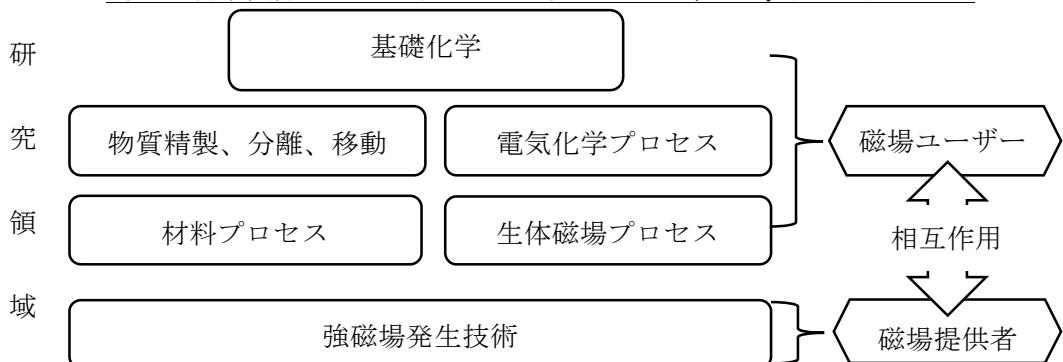
## 日本磁気科学会の黎明期

1986年12月5日	Boston MRS 酸化物超伝導の確認報告 ⇒ [世界的な高温超伝導フィーバー]
1988年1月	国際超電導産業技術センター（ISTEC）設立
1989年4月	超伝導マルチコアプロジェクト（～2001年）
1993年12月	磁気科学に関連するワークショップ
1996年1月	JST 各種反応・プロセスにおける磁気効果に関する研究
1997年4月	Tsukuba Magnet Laboratory (TML/NRIM) 開設 11月 新磁気科学研究会／新磁気科学シンポジウム
1999年4月	JSPS 未来開拓学術研究推進事業「強磁場下の物質と生体の挙動」 11月 新磁気科学国際シンポジウム'99 (Omiya, Japan)
2002年	JSPS 特定領域研究 「強磁場新機能の開発」 「磁気科学」(監修 北澤宏一、編著 尾関寿美男、谷本能文、山口益弘)
2006年4月	日本磁気科学会発足

1986年12月5日の夕刻、若き日の北澤宏一先生（東大）がボストンMRSにおいて臨界温度30Kに達する酸化物超伝導体を報告しました。この瞬間が磁気科学にとってのビッグバンであったと言うのは強弁にすぎるでしょうか。それに続く世界的な高温超伝導フィーバーを経て、液体ヘリウムを必要としない、すなわち、通常の研究室にも導入できる超伝導磁石が開発されました。先生は、この磁石によって広い分野の研究者が強い磁場(>2T?)を容易に利用できるようになれば新たな学術領域が生まれるのではないかと期待し、“磁気科学”という概念を提唱しました。1993年の暮れには初の磁気科学ワークショップが開催されました。その頃、私は金属材料技術研究所（NRIM）において超伝導のプロジェクトを推進し、世界最強の磁場施設（Tsukuba Magnet Laboratory=TML）を統括する立場でした。磁気科学は私には新しい利用分野の動きと映り、施設にとって新しい研究ニーズが期待できると判断しました。そこで、当学会の前身である新磁気科学研究会の設立と活動に積極的に参加するとともに、TMLの強磁場磁石群を磁気科学の研究に活用したいと考え、当時同僚であった木吉 司さん（故人）、松本真治さん達には大いに活躍していただきました。

磁場が関係する学術分野は昔から存在しています。我々の磁気科学がその存在を主張するには、磁場のユーザーと提供者の間に新しい相互作用が発生することだと確信しました。新しい相互作用こそが磁気科学のembryoをnucleusへと育て上げるのです。私は1999年11月、大宮の新磁気科学国際シンポジウムで、偶々、セッション構成を担当しました。「基礎化学」、「物質精製・分離・移動」、「電気化学プロセス」、「材料プロセス」、「生体磁場プロセス」の5つの磁場利用領域を設定し、磁場提供領域として強磁場発生技術を提案しました。この領域区分は、当学会の現在の分科会の構成にある程度反映されています。

## 新磁気科学国際シンポジウム'99 (Nov. 24-26, Omiya) のセッション



研究会（および後の学会）の国際的な活動を豊かにしたのは、浅井滋夫先生主導の EPM (Electromagnetic Processing of Materials) や山口益弘先生達を中心とする ICMS (International Conference on Magneto-Science)との強い結び付きでした。TML と海外の磁場発生施設との交流ネットワークもこの国際化に多少貢献できていたかもしれません。

その後、北澤先生監修による学術書「磁気科学」の編著に携わった先生方を始めとする多くの人々の熱意と尽力の結果、2006年4月に日本磁気科学会が発足しました。以上が当学会の黎明期に関する、いささかバイアスの掛かった私のまとめです。

磁気科学という momentum が生まれて 4 半世紀が経過しましたが、この歴史的な時点で名譽ある表彰を受けるのが私であるというのは面映ゆい限りです。むしろ、momentum を維持し続けた会員の皆さんへの献身的努力に、私から感謝と敬意を捧げたい心持です。

私は強い磁場の発生技術を研究の中心に置いていました。そもそも、場というものは何らかの現象・効果があつて顕在化するものであり、本質的に passive です。私にとって磁場を重要な要素とする磁気科学が様々な学術領域を受け入れて領域横断型になるのは必然です。現在もそうですが、研究会の時代から、年次大会は全員、全セッション参加が基本型となっています。これはもしかすると本学会の先進性の表徴なのかも知れません。学術の融合は急速に進み、従来の領域はどんどん姿を変えています。会員の方々には領域を超えたコラボレーションを貪欲に追及していただきたいものです。そこにこそ真に新しい研究ニーズの発掘があるはずです。さらに、囚われない好奇心を武器として、分野を問わず面白い研究をしている人を世界中から探しては如何でしょう？

学会の運営・管理に皆さんの苦労が尽きることはないと思いますが、若い人が楽しむことのできる自己表現の場を提供し続けていただくよう心から願っています。それが実現すれば、本学会の最大の強みになるのではないかでしょうか？



# 日本の磁気科学に貢献できるだろうか

東北大学金属材料研究所 大月保直

日本磁気科学会第 13 回年会において研究奨励賞を受賞し、「受賞者の声」を執筆させていただきましたことになりました。投票をしていただいた先生方と、研究のご指導をしていただいている木村尚次郎 先生に深く感謝を申し上げます。

私が磁気科学分野に踏み込んだ経緯をお話しますが、先ず、学部で研究室配属されたとき私は極限環境の物理を学びたいと考えて博士後期課程を視野に入れた大学院進学を決めました。極限環境と一言にいっても極低温、超高压、パルス・定常強磁場と様々あります。この中で私は強磁場を選択し現所属の金属材料研究所に進学しようと決めましたが、理由はおそらく、極低温、超高压は多粒子の中で統計的に現れた、直感的に言えばぼんやりした環境であるのに対し、強磁場は磁束が~本(~T の密度で)集まつた、と言うようなはっきりと電子や物質との相互作用を考えられる環境であることであったと考えられます。

私の中の知識として、1800年代にH. Ørstedが直流電流による人工的な磁場を観測したことから始まり、これにM. Faradayによる電磁誘導の発見、J. Maxwellによる電磁気理論の発展が続き、J. Ewingによる1 Tを超える電磁石の実現から磁気科学は本格的に始まったかと思います<sup>[1]</sup>。ヒトはTオーダーの磁場を発生させることで磁場をテクノロジーの中の制御パラメータとして取り入れ、また、P. Kapitsaによるより深く磁性を理解するための強磁場発生の努力は磁気科学を大きく発展させました。今回の年会における功労賞受賞の本河先生のご講演でもお話ししていましたが、磁気科学の普及はこの国、日本でも早期に行われ、現在では世界有数の定常強磁場超伝導マグネットが物質・材料研究機構、東北大金属材料研究所に置かれ、またパルス強磁場用のメガバンクコンデンサが大阪大学、東大物性研究所に置かれています<sup>[2]</sup>。これらの施設は日本の磁気科学発展の大きなアドバンテージとなるでしょう。巨大な磁場発生施設は維持費も運転費も大きく、常に停止の危機に晒されているかもしれません、多くの最先端の研究を力強く支え、その成果に支えられています。私も磁性物理の研究者としての道を歩み、願わくばマグネットを支える柱の一本となり、後世の日本の研究者のためにもマグネットの稼働を継続させたいです。2019年開催予定の学生主体の磁気科学研究会にもお声かけを頂いておりますので、まずは、これに参加することから磁気科学発展の礎になる取り組みを始めてみたいと思います。当たり障りのないことをなんとなく書いただけの文章になってしましましたが、最後までお読みいただきありがとうございます。

今後も日本の磁気科学の継続的発展に貢献できるよう尽力いたします。

草々不一

参考文献[1] 伊達宗行, 極限の科学, 講談社 (2010).

参考文献[2] 強磁場フォーラム HP / フォーラムについて (2018).

(<http://www.issplabs.mgsl.himag-forum/about.html>)

# 学生ポスター賞を受賞して

京都大学 農学研究科 門間啓

京都大学 生物纖維学研究室修士課程 1 年の門間啓と申します。この度は日本磁気科学会の学生ポスター賞という栄誉ある賞をいただきまして、光栄に思っております。ご指導いただきました木村恒久先生、和田昌久先生、久住亮介先生をはじめとして、研究にあたりお世話になった皆様に厚くお礼申し上げます。今回の受賞にあたり、記事の執筆の機会をいただきましたので、これまでの研究生活とそこから感じたこと、そして今後の抱負について綴らせていただきたいと思います。

私は農学部森林科学科を卒業して、現在は農学研究科森林科学専攻の生物纖維学研究室に所属しております。学部での授業では、木質材料の性質や環境問題など、磁気科学とはかけ離れた分野を学んでおりました。学部 4 年生のときに現在の研究室に配属され、はじめて磁気科学というものに触れました。森林→木質材料→構造解析→結晶→磁場配向・磁気科学という連想ゲームのような流れから磁気科学にたどり着き、はじめはわからないことばかりでしたが、今では磁気科学の面白さにとりつかれています。自分の所属する学科の中でもっと磁気科学が広まることを望んでおります。

私がこれまで研究をしててもっとも感じたことは、様々な分野の知識を合わせることが新しい発見につながるということです。私は今回、「磁場配向微結晶懸濁体の *in situ* 固体 NMR」という内容で発表をさせていただきましたが、この研究は磁気科学と分析化学の知識を組み合わせて新たな手法を提案しています。また、実験に必要な装置を用意する上で、コンピューターソフトを用いた設計の技術を身に着けたり、電子回路の組み立てに専門の方のお力を借りたりして研究を進めてきました。このことから私は、研究をしていくうえで多くの人が力を合わせ、様々な分野の知識を持ち寄ることが大事なのではないかと考えるようになりました。今回の学会では多くの方が発表を聞きに来てくださいり、たくさんの助言をいただけました。自分の所属する学科とは違った専門の方々の視点からいただいた指摘は、普段なかなか得ることができない貴重なもので、これから的研究にとって大きな力になると思います。

今後の抱負といたしましては、先ほど述べたように、専門分野の垣根を越えて幅広い知識を取り入れながら研究を進めていきたいと考えています。まずは修士課程の残り一年間で、少しでも多くのことを学んでいきたいです。また逆に、自分の持つ知識をほかの研究者の方に広めていくことで、科学全体の発展に少しでも寄与できたらと考えています。特に磁気科学会の皆様とはこれからも多くのお話をさせていただきたいです。今後ともよろしくお願ひいたします。

最後になりますが、今回の学会で発表のみならず、レセプションなどの場で多くのお話をできることは非常に楽しい思い出となりました。このような機会を与えてくださいました実行委員の皆様、学会に参加された皆様、参加の機会を与えてくださった研究室の先生方に深く感謝申し上げ、結びとさせていただきます。

# ポスター賞受賞を記念して

信州大学 大学院総合工学系研究科 大塚隼人

この度は学生ポスター賞を頂き誠にありがとうございます。昨年度は研究奨励賞を頂き、ポスター賞に応募したものまさか受賞するとは思っていなかったので、信じられないという気持ちが強いですが、二つの賞を受賞でき大変光栄に思います。ご選出いただきました審査員の皆様に御礼申し上げます。また研究をご指導してくださった尾関先生をはじめ助言をいただきました飯山先生と浜崎先生に感謝申し上げます。昨年も受賞の際に執筆の機会を与えていただき、これまでの研究生活の回想を記しました。今回は私が取り組んでいる研究を簡単に紹介させていただきます。

我々の研究室ではこれまで水や高分子、脂質膜などの反磁性物質への磁場効果を研究してきました。その一例として私はイオン液体を扱っています。イオン液体は近年注目を集め、盛んに研究がなされていますがその歴史は意外と古く、最初の報告は 1914 年に Walden 反転の発見で知られる Paul Walden によってなされました<sup>[1]</sup>。この時合成された“イオン性液体”は融点が 13~14 度の硝酸エチルアンモニウムです。のちにいくつかのイオン性液体が合成されましたがこれらは化学的な安定性が低く取り扱いが難しいことから、長い間日の目を見ませんでした。イオン性液体の発見から約 80 年後、取り扱いの容易なイオン液体の発見<sup>[2]</sup>を契機に様々な分野での応用研究が活発化しました。イオン液体はカチオンとアニオンの組み合わせによって物性を変えられるためデザイナー液体と呼ばれていますが、現在でも構造と物性の明確な相関は得られていません。またイオン液体は水と同じように結晶多形を有し、非常に広い過冷却域をもつなど、不思議な挙動を示す物質です。

反磁性のイオン液体 *N,N,N-*トリメチル-*N*-プロピルアンモニウム ビストリフルオロメタノスルホニルイミド (TMPA TFSI) に 3 T 程度の磁場を印加すると電位発生や磁化変化を伴う相の形成が見出されました。磁場の印加による TMPA TFSI の相の形成はアニオンの配座の変化によって引き起こされていると考えられ、低磁場と高磁場に現れる 2 つの液相のヴェルデ定数は異なる値を示しました。また高磁場の液相を瞬間凍結した固相は、低磁場の液相を瞬間凍結した固相とは異なる融解挙動を示し、磁場の印加による液-液相転移が示唆されました。磁場で誘起される反磁性物質の液-液相転移はこれまで報告がありません。今後もイオン液体の磁場誘起液-液相転移のメカニズム解明を目指して研究を続けていきます。

最後に今回の磁気科学会年会は東北大学の金属材料研究所で開催されましたが信州大学の学生一同は初めての金研訪問だったため、会期中に強磁場センターの見学を茂木先生にお願いしたところ快く受け入れてくださいました。この場を借りて御礼申し上げます。案内をしていただいた大月様と三井先生にも感謝申し上げます。来年も年会で皆様にお会いできることを楽しみにしております。

[1] P. Walden, *Bull. Acad. Imper. Sci. (St. Petersburg)*, **1914**, 8, 405-422.

[2] J. S. Wilkes and M. J. Zaworotko, *J. Chem. Soc., Chem., Commun.*, **1992**, 13, 965-967.

# 学生ポスター賞受賞をモチベーションに

信州大学 鈴木駿一郎

この度は第13回日本磁気科学会年会において、学生ポスター賞をいただき大変光栄に感じます。ご指導いただいた信州大学の尾関先生や浜崎先生、並びに審査委員会の皆様や発表に興味を持っていた方々に厚く御礼申し上げます。

尾関先生から託されたこの「磁気処理水」に関するテーマは非常に興味深く、また難しいものでした。現象は確認されるものの、それを理論的に解釈するにはいくつものハードルがありました。しかしこのような難題に対して、3年間と言う短い期間でどれだけ真理にたどり着けるかと言う挑戦は私にとってとても刺激になりました。既存の理論や方法論を模索しては自身の実験系に当てはめ解釈を深めていくことを何回も繰り返しました。そのようにして少しづつ進展しては、新たな問題に直面してきました。このような経験をしていく中で「サイエンス」の考え方方が養われ、探究心のままに研究活動ができたのではないかと考えています。難題に直面したときこそ自分自身で「工夫」のし甲斐があり、それでも解決できないときには先生方や研究室の仲間、学会等で意見交換をする中で活路を見出ことありました。周囲の方々のサポート無くしてこの結果はありませんでした。このように糾余曲折を経て必死にたどり着いた結論に対してポスター賞という一つの評価をいただけたことは、自信につながりました。

話は少し変わりますが、私には夢がありました。それは「教員」になる事です。そのためにも大学に進学しました。その時点では学部で卒業して教員と考えていましたが、4年次の進級で尾関・浜崎研究室に配属されて考えが少し変わりました。その当時は座学やテストなどあまりモチベーションが上がらず成績も良くはありませんでした(笑)。しかし研究室に入り「磁場」や「水」と言った漠然と何やら面白そうな研究に直面したことにより研究にのめり込みました。そして大学院に進学し、もっと研究を続けたいとも思うようになりました。研究室生活で科学に必要なモノの考え方やアプローチの仕方を学ぶことができました。この経験は教員になるために必要な資質だとも思います。特に高校であれば「理科教育」を施すにあたりそのような考え方を養う必要があります。この研究生活でこの理科教員としての資質を育めたのは私にとって非常に強みになりました。そして日本磁気科学会のようなアットホームな雰囲気の学会で様々な研究者や先生方、他大学の学生の皆さんと交流し議論を深められた経験は何にも変えがたい財産でもあります。来年度からは高校の教員として働くことになりますが、研究生活で得られた経験を生徒たちに還元できるよう努力して参りたいと思います。そして将来、生徒たちがこのような研究の最先端を担っていくように大学との架け橋になれたらとも考えています。

最後に、これで研究とは離れた生活になるとは思いますが、この磁気科学の界隈にまた関わることを願います。最後まで読んでいただきありがとうございました。末筆ながら磁気科学の分野の益々のご発展をお祈り申し上げます。

日本磁気科学会 2018年 会計報告書

収入の部

予算額	¥4,593,219
会費	¥775,000
正会員	¥5,000
学生会員	¥0
賛助会員	¥50,000
前年度繰越	¥3,818,219
2018年収入	¥775,000
支出の部	
予算額	¥4,593,219
年会補助金	¥400,000
印刷費・送料	¥200,000
研究会補助金	¥200,000
第22回研究会	¥100,000
第23回研究会	¥100,000
WEBサーバー	¥30,000
褒章費用	¥50,000
事務局経費	¥120,000
予備費	¥100,000
繰越金	¥3,493,219
2018年支出	¥1,100,000

決算額	¥4,113,236
会費	¥295,000
正会員	¥5,000
学生会員	¥0
賛助会員	¥50,000
会費(滞納分) 正会員	¥5,000
雑費	¥17
前年度繰越	¥3,818,219
2018年収入	¥295,017
支出の部	
決算額	¥4,113,236
年会補助金	¥33,390
印刷費	¥148,500
研究会補助金	¥51,616
第22回研究会	¥51,616
第23回研究会	¥0
WEBサーバー	¥0
褒章費用	¥118,172
盾・賞状	¥51,948
旅費補助	¥61,040
会議室	¥5,184
事務局経費	¥120,000
雑費	¥2,808
繰越金	¥3,638,750
2018年支出	¥474,486

上記の通り会計報告をいたします。

財務 廣田 龍之 

適正に執行されていることを確認いたしました。

監事 三浦 美男 

監事 梶下 知行 

# 2019年 事業計画

事務局長 茂木 巍

本会会則 13 条に基づき、2018 年理事会、および 2018 年総会において、2019 年 1 月から 12 月までに以下の事業を行うことが議決により承認された。

## 1. 第 14 回年会

中部支部の主催により長岡市で開催する。

2019 年 11 月 11 日から 13 日 長岡市シティーホール・アオーレ長岡

## 2. 第 24 回研究会

有機・バイオ分科会の主催により開催する

2019 年 9 月 15 日 13:30 ~ 16:10 福井工業大学

## 3. 第 25 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. 会誌発行

第 13 巻を発行する。

## 5. 総会

会則 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。  
これらは年会の会期中に行う。

## 6. 学会表彰

第 9 回優秀学術賞および第 9 回功労賞に関して、規定および内規に従い選考を行い、  
年会において授賞式を行う。

## 7. 共催、協賛、後援等

日本磁気学会主催の研究会（年 6 回）、応用物理学会磁気科学研究会等の国内外の関連する団体と協力して学会および研究分野の発展をはかる。

以上

## 第1章 総則・目的・事業

第1条 この団体は日本磁気科学会(以下本会)という。

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

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

第3条 本会は、前条の目的を達成するために、次の事業を行う。

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

第4条 この会則の実行に必要な規則の制定・改廃は理事会が行う。

第5条 本会のすべての会議は議事録を作成し、事務局が保管する。

## 第2章 会員

### 種類

第6条 会員は、国籍または本拠の存在する国は問わず、次の4種類とする。

- (1) 正会員
  - (2) 学生会員
  - (3) 賛助会員
  - (4) 提携会員
2. 正会員は本会の事業に参加する研究者・技術者・教育者およびその他の個人とする。
  3. 学生会員は本会の事業に参加する大学および大学院に在学中の者とする。
  4. 賛助会員は本会の事業に協力する営利団体とする。
  5. 提携会員は本会の事業に協力する非営利団体とする。

### 入会

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

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

### 権利

第8条 会員は次に掲げる権利を有する。

- (1) 本会の催す研究集会での発表およびその他の行事への参加
- (2) 本会に対する希望を申し出てその審議を求める事
- (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、もしくは、会員資格を停止することができる。

- (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、本会の事務およ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 顧問は隨時、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持って会議に出席することができる。
- 5. 総会の議事は出席者の過半数をもって決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 6. 総会は郵便・電子メール等による通信媒体を利用して開催することができる。

第 22 条 総会は、理事会から提出される次の事項を議決する。

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

第 5 章 資産および会計

第 23 条 本会の会計年度は毎年 1 月 1 日にはじまり 12 月 31 日に終わる。

第 24 条 本会の資産は次のとおりである。

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

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

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

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

第 6 章 著作権

第 27 条 本会の発行する出版物ならびに Web サイト等に記載された各種記事の著作権は本会に属するものとする。また、転載の希望がある場合は所定の様式の転載許可申請書を提出すること、ならびに完全引用の場合は内容に関して一切の改変を認めないこと、部分引用の場合は完全な引用情報を付すことを条件に転載を認める。ただし、これらの各種記事の著者が自己引用する場合はこの限りではない。

## 第 7 章 会則の改廃および解散

第 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) 分科会会长(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 前項に限りなく、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长が統括する。
- 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 前項に限りなく、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する諸事項

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

#### 特設の作業部会

- 第12条 理事会は、第5条(1)-(7)以外の職務について必要に応じて理事会の下に特別の事項を担当する作業部会(以下、部会という)を設置することができる。
- 2 部会主査は、第5条(7)に基づき、会長が理事の中から指名する。
  - 3 部会の運営に関する事項は別に定める規定による。

#### 規則の改廃

- 第13条 本規則の改廃は理事会が行い、総会で報告する。

以上

# 日本磁気科学会 学会表彰規定

(2011年5月30日理事会決定)  
改訂(2017年3月30日理事会決定)

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

**第2条** 次の3種の賞とし、毎年1回表彰する。

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

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

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

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

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

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

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

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

**第10条** (本規定の変更) 本規定の変更は理事会の議を経て行う。

附 則 この規定は2017年3月31日より実施する。

## 日本磁気科学会役員 (2019 ~ 2020)

役職	理事・監事(機関・職)
会長	安田秀幸 (京都大学工学研究科・教授)
副会長(分科会統括)	岩井一彦 (北海道大学工学研究科・教授)
副会長(事務局長)	茂木 嶽 (東北大学金属材料研究所・助教)
支部長(北海道・東北)	淡路 智 (東北大金属材料研究所・教授)
支部長(関東)	後藤 博正 (筑波大数物系・准教授)
支部長(中部)	田中 諭 (長岡技術科学大学・准教授)
支部長(近畿)	諏訪 雅頼 (大阪大学理学研究科・助教)
支部長(中国・四国・九州)	小山 佳一 (鹿児島大学理工学研究科・教授)
分科会長(物理化学)	奥村 英之 (京都大学工学研究科・准教授)
分科会長(高分子・材料プロセス)	伊掛 浩輝 (日本大学理工学部・准教授)
分科会長(無機・金属)	鈴木 達 (物材機構・グループリーダー)
分科会長(有機・バイオ)	井原 一高 (神戸大農学研究科・准教授)
分科会長(分離・分析)	飯國 良規 (名古屋工業大学・助教)
分科会長(磁場発生)	渋谷和幸 (JASTEC、ソリューション推進部)
特定事項(国際会議)	安藤 努 (日本大学生産工学部・教授)
特定事項(国際会議)	浜崎亜富 (信州大学理学系・准教授)
特定事項(国際会議)	秋山庸子 (大阪大学工学研究科・准教授)
特定事項(国際会議)	櫻井智徳 (岐阜医療科学大・教授)
特定事項(国際会議)	米村弘明 (崇城大学工学部・教授)
特定事項(产学連携)	杉山 敦史 (吉野電化工業 株式会社)
特定事項(产学連携)	玉川 克紀 (株式会社 玉川製作所)
特定事項(产学連携)	牛島 栄造 ((株)アイシンコスモス研究所)
事務局委員会(財務)	廣田 憲之 (物材機構・主幹研究員)
事務局委員会(広報)	三井 好古 (鹿児島大院理工・准教授)
事務局委員会(企画)	岩坂正和 (広島大学RNBS・教授)
監事	山本 黙 (横浜国立大学工学研究院・教授)
監事	藤原好恒 (広島大学理学研究科・准教授)

# 第 23 回日本磁気科学会研究会

「磁場発生技術の最前線」

予稿集

2018 年 11 月 14 日

於：東北大学金属材料研究所 2 号館講堂

主催：日本磁気科学会 磁場発生分科会

## プログラム

11月14日（水） 13:20～16:20

13:20-13:25 開会の挨拶

大塚秀幸 (NIMS)

13:25-14:05 「最新のネオジム磁石の技術動向と磁石応用例」

山本日登志 ((株)KRI)

14:05-14:45 「超電導バルク磁石の強磁場発生と補強の重要性」

藤代博之 (岩手大学)

休憩

15:00-15:40 「液体窒素 RE-Ba-Cu-O 超伝導コイルの NMR 応用可能性」

西島 元(NIMS)

15:40-16:20 「HTS-NMR システムに向けた LTS/HTS 磁石開発」

松本真治 (NIMS)

16:20 閉会

# 最新のネオジム磁石の技術動向と磁石応用例

## Technology Trend of Recent Neodymium Magnet and its Applications

山本日登志 (株) KRI  
°Hitoshi Yamamoto KRI Inc.  
ymmt-hts@kri-inc.jp

### Abstract:

High performance Nd (Neodymium) magnets and its application are introduced and it is proposed to implement a permanent magnet magnetic circuit generating a few tesla field and pulse magnetic measurement apparatus generating a 8 tesla for the preliminary experiment.

**Keywords:** high magnetic field, magnetic circuit, Nd magnet, pulse magnetic measurement apparatus,

### 要約

高性能永久磁石とその応用例を紹介している。永久磁石磁気回路で高磁場が達成出来る可能性を紹介、また磁石測定に通常使用されているパルス磁場測定装置を用いると 8 Tesla のパルス磁場が発生出来るので、磁場配向、磁場印加等の予備実験に簡単に短時間で使用出来る有効な手法かと提案している。



HDDの小型化の推移

1954年:IBMが世界初のHDD(RAMAC)を発売 大型冷蔵庫サイズ



5.25" HDD  
1980年登場  
ディスク径:130mm  
ディスク枚数:8~4



3.5" HDD  
1982年登場  
ディスク径:95mm  
ディスク枚数:8~2



2.5" HDD  
1986年登場  
ディスク径:65mm  
ディスク枚数:2~1

1" HDD  
2000年登場  
ディスク径:20mm  
ディスク枚数:1

KRI

### History of Permanent Magnet KRI



Prof. Kotaro Inoue  
Inventor of Epoxy Magnet  
“father of permanent magnet”



Dr. Masato Sagane  
Inventor of NdFeB magnet



Prof. Tokuhichi Mishima  
Inventor of MK steel



Prof. Yogoro Kato  
Prof. Takeshi Takemoto  
Inventor of OP magnet

### 磁場配向は永久磁石磁気回路で簡単に出来る(2) KRI

#### 2) 磁場印加による生体への活性化確認



ネオジム磁石

ヨーク材(SS-400)

##### 磁場印加に関する各種パラメータ設定

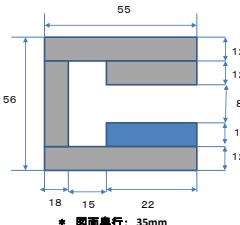
<パラメータ例>

- ・静磁場、パルス磁場、交流磁場
- ・磁場強度
- ・照射時間
- ・吸水に関するパラメータ  
(ターゲットの吸水時間、  
水への磁場印加など)

<評価> 生体の酵素活性など

参考: 磁場強度の計算事例  
ネオマグ(株): <http://www.neomag.jp>

## T大学向けC型Nd磁気回路A



- 磁石材質: 40MG以上
- 磁石寸法: 12x22x35mm
- 磁場方向: 12mm
- 磁石表面処理:
- 簡易防錆処理(スプレー塗装等)
- ヨーク材: SS-400相当材
- 使用温度: 常温
- 用途: 磁石粉末磁場配向用

### 磁場解析結果(参考)

- $B_g = 7,400 \text{ G}$
- $P_c = 2.44$
- 計算式: Neomag Web  
[http://www.neomag.jp/mag\\_nabi](http://www.neomag.jp/mag_nabi)

### 高感度VSM(振動試料型磁力計)による磁気測定例の紹介

KRIフェロ&ビコシステム研究部にて2016.11月にVSMが導入されましたのでご紹介します。

#### 特徴

- 感化感度が非常に高い。
- 常磁性、反磁性体も一網打尽可能
- 液体窒素温度から500°Cまで連続測定可能
- 直流電場中での加熱もしくは冷却実現

#### VSM-5型仕様

最大感度:  $F_z = 70\text{mT}$   
感化感度:  $<10^{-11}\text{emu}$   
温度(下限): -196°C~+70°C  
電場(下限): -100V~+100V  
電場(上界): +100V~+100V  
電流(下限): DC, 0.1~100A, 100A~400A  
電流(上界): DC, 0.1~100A, 100A~400A



#### 從来の測定実施使用例(装置メーカ他情報):

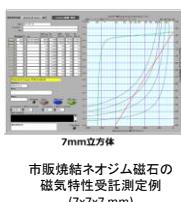
1. Ni-H電池中の残存微量Niの検出
2. 製菓、食品工程中に混入する極微量Fe,ステンレスの検出
3. 樹脂成型プロセス中の強磁性不純物の検出
4. Fe系合金の磁場中熱処理効果の研究
5. 食品(にんにく等)や医療への磁場処理効果の研究

Ni-H電池中の残存微量Niの検出(試験)  
純Ni(99.99%)の感度を $54.39(\text{emu/g})$ 、通常感度; $1 \times 10^{-4}(\text{emu})$ として計算すると  
可燃性出感度はシングル重量を100mg、10mgとした場合:

必要重量(mg)	100	10
検出感度(ppm)	1.84	18.4



### 磁場配向はパルス磁場でも可能か?(3)



温度可変パルス励磁型BHTレーザ  
最大磁場: 8Tesla  
パルス幅: 約16ms  
測定温度: 室温から200°Cまで可能  
コイル内径: φ26mm

\* 少量試料数: 無料にて磁場処理します。お問合せ下さい



### 磁場照射による植物・微生物への展開



#### <KRIにおける磁場照射酵素活性検討>

1) 実験結果 磁場印加条件の好適化によりLOX活性低減の可能性が見られた。



### 磁場配向の評価はVSMで簡単に出来る(1)

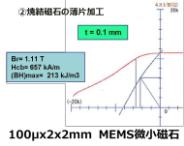


- 最大磁界 約17kOe
- 磁化感度が非常に高い。 $(1 \times 10^{-5}\text{emu})$
- 常磁性、反磁性体でも測定可
- 低温(液体窒素温度) ~900°C連続測定可
- 直流電場中での加熱、冷却処理可
- 電磁石 360°回転

<評価例>  
NI-H電池中の残存微量Niの検出(試験)  
純Ni(99.99%)の感度を $54.39(\text{emu/g})$ 、通常感度; $1 \times 10^{-4}(\text{emu})$ として計算。  
⇒ 可能な検出感度は試料重量100mg時に、 $1.84\text{ppm}$ 以上。

測定実施例;  
1. Ni-H電池中の残存微量Niの検出  
2. 製菓、食品工程中に混入する極微量Fe,ステンレスの検出  
3. 樹脂成型プロセス中の強磁性不純物の検出  
4. Fe系合金の磁場中熱処理効果の研究  
5. 食品(にんにく等)や医療への磁場処理効果の研究

\* VSM; 振動試料型磁力計



### 磁場配向の評価はVSMで簡単に出来る(2)



磁気異方性の高い物質を事前の磁気測定から選定

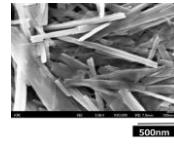
↓ 磁場印加

↓ 一軸配向

↓

・熱伝導率の異方性  
・誘電率の異方性  
・光化学的性質の異方性化

高熱伝導率フィラー: AlN, BN, MgO, SiC



\* VSM; 振動試料型磁力計

### 磁場照射による植物・微生物への展開



#### <KRIにおける磁場照射酵素活性検討>

1) 実験



<試料前処理>  
①ドライ状態  
②ウェット状態

<試料>  
国産大麦, 麦芽

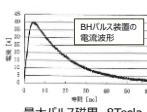
<磁場処理方法>  
①磁気回路による静磁場照射  
条件→時間  
②BHパルス装置を用いたパルス磁場照射  
条件→印加磁場  
(直流水流源を使用した静磁場に比べ、  
強磁場を基準することが可能。  
変動磁場の影響も期待)



2) 評価

- ①粗酵素液の調製  
乳鉢で粉砕した麦芽。大麦を抽出液(0.1 mM DTT を含む50 mM LiCl緩衝液(pH 6.0))1 mlを加え、4°C条件下で1時間抽出(15分間に30秒攪拌)した後、15,000 rpm、5分間の遠心分離によって得た上清を粗酵素液とした。
- ②リボキシゲナーゼ活性の測定  
粗酵素液0.8 mlに抽出液(1 μMメチレンブルーを含む8 mMリール液)0.2 mlを加え、35°Cで20分間反応した後、660 nm の吸光度を測定し、吸光度の低下程度(遮色程度)によってLOX酵素活性を評価した。

\* 大関ら (育種学研究9: 55~61 (2007))



### 永久磁石の高性能磁場設計の歴史

1. 1970年代: リング型永久磁石設計  
(K.Halbach, LBL その他研究グループ)
2. 1983年: ネオジム磁石発明  
(住友特殊金属、佐川他)
3. 2001年:  
3.1Tesla, gap=3mm 東大他  
4.4Tesla, gap=6mm 放医研  
5.0Tesla, gap=0.15mm ESRF(仏)
4. 2004年  
5.5Tesla, gap=1mm USA某大学

## 永久磁石の高性能磁場設計の歴史(2)

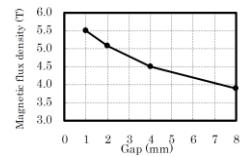
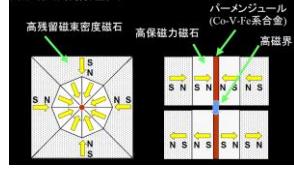
### 実現のポイント

1. 高性能ネオジム磁石の特性向上
2. 永久磁石の磁束の集中 例: 放射状配列
3. 高飽和磁化Js(Co-Fe-V合金)材料の併用
4. 磁石減磁を抑える設計技術
5. 高精度磁場計測技術
6. FEM磁場解析による最適磁気回路設計

## 永久磁石の高性能磁場設計の歴史(3)

### 設計例の紹介

磁気回路構造図



### 医療用画像診断装置(MRI)



0.4Tesla オープンタイプ MRI\*



MRI用磁気回路の例

- 永久磁石MRIの歴史:  
1987年、世界初のNd磁石MRI第1号が製造  
発生磁場: 0.2tesla
- 磁気回路構造: 当初4本柱から現在は1本柱の  
オープンタイプが考案実用化
- Nd磁石: 1~2トン/台
- 設置台数: 国内約2,000台

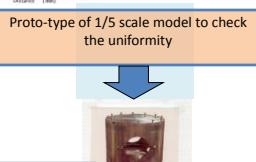
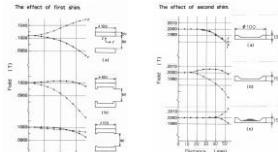
- MRI写真提供:  
日立メディコ(株)

## Permanent Magnet Type MRI KRI

Technology of 3-D magnet simulation and tough shimming work



4 Pillar type MRI magnetic Circuit



Proto-type of 1/5 scale model to check the uniformity

3D Field uniformity no less than 100ppm or better !!

1

### 1.4-1.6Tesla級高磁場勾配ネオジム磁選機の設計例

#### 磁気分離

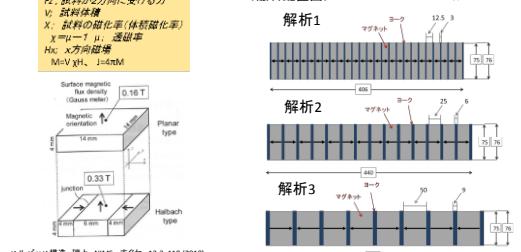
x方向磁場Hxがz方向に磁場勾配があると  
その磁性体にz方向の移動力が働く

$$F_z = V \chi H_x \frac{\partial H_x}{\partial z}$$

$F_z$ : 磁石から方向に受けける力  
 $V$ : 磁石体積  
 $\chi$ : 磁石磁化率(体積磁化率)  
 $H_x$ :  $x$ 方向磁場  
 $M = V \chi H_x$ ,  $J = 4\pi M$

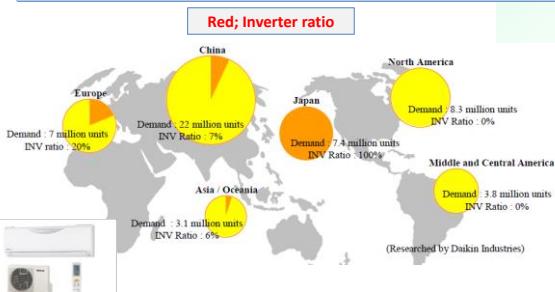


<磁石配置図>



Jpn is the top runner of inverter air-con using  
(PM)permanent magnet ;NdFeB magnet

Red; Inverter ratio



Inverter air-con can save electric power of 30-40% reduction level  
compared with conventional on-off air-con

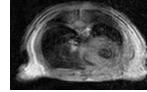
### 超小型永久磁石MRIは既に商品化されている



永久磁石MRI  
磁場: 0.3Tesla



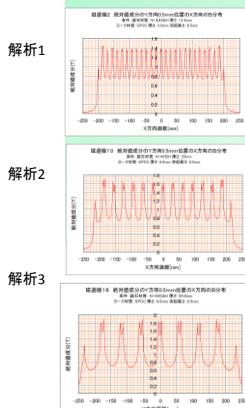
リュウマチ



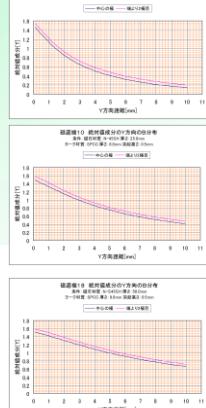
納豆

MR technology; [www.mrtechnology.co.jp](http://www.mrtechnology.co.jp) (茨城県つくば市)  
約20年前から小型MRI装置を開発、販売、社長・浜師智之

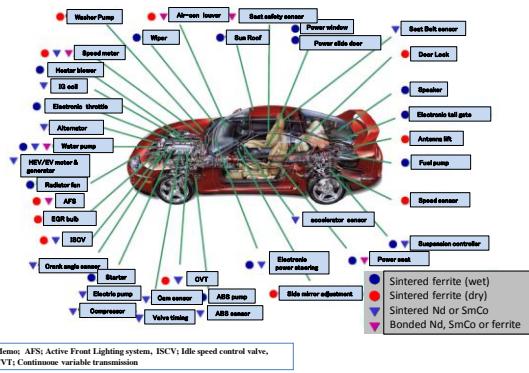
#### 磁場解析結果



#### RI



### Massive application of permanent magnets in a car



KRI

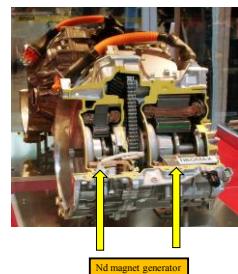
### HEV(Hybrid Electric Vehicle) & EV

KRI

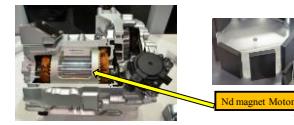


### HEV(Hybrid Electric Vehicle) & EV

#### PRIUS Hybrid system



#### EV and Nd magnet



1

### Future application; Wind mill generator

KRI



Type	Horizontal Type
Blade	<b>3</b>
Blade diameter)	<b>15m</b>
Hub height	<b>22m</b>
Rated power	<b>40KW</b>
Generator	<b>NdFeB magnet</b>
Rated speed	<b>11m/sec</b>



# 超電導バルク磁石の強磁場発生と補強の重要性

## High magnetic field generation in bulk superconductor reinforced with metal ring

藤代博之（岩手大学理工学部）

Hiroyuki Fujishiro (Iwate University, Faculty of Science and Engineering)

E-mail: fujishiro@iwate-u.ac.jp

### Abstract:

We have established the numerical simulation technique for the electromagnetic, thermal and mechanical properties of REBaCuO superconducting bulk with finite height during field-cooled magnetization (FCM), in which the bulk was reinforced by metal ring. Using the technique, the optimum structure of the metal ring reinforcement was proposed to avoid the mechanical fracture of the ring bulk for the 9.4 T (400 MHz) NMR bulk magnet, and of the disk bulk to achieve the trapped field higher than 20 T. This technique can be applicable to realize the high field bulk magnets.

### 1. はじめに

REBaCuO 系超電導バルク (RE: 希土類元素) は、磁場中冷却着磁 (FCM) により強磁場を捕捉することが可能であり、現在では Nd-Fe-B 系永久磁石の 30 倍以上強力な 17.6 T (テスラ) の疑似永久磁石が実現され [1]、真空容器表面でも 5 T を越える擬似永久磁石装置が実現している。この強力疑似永久磁石は、従来型の磁石 (永久磁石、電磁石、超電導コイル磁石) では実現できない磁場範囲と価格・サイズを有し (Fig. 1 参照)、エネルギー分野、環境浄化分野、NMR、医療分野などへの新しい応用が始まっている。しかし、着磁時の電磁応力のために脆性セラミックス材料である超電導バルクは破壊するため、金属リング等の機械的補強が不可欠であるが、系統的な応力解析が存在しないため、超電導バルクの優れた特性から予想される 20 T 以上の捕捉磁場を実現できていない。本発表では、これまでの着磁技術に関する多くの研究実績を基礎に、数値シミュレーションによる有限長超電導バルクの着磁時の電磁応力解析、及び耐電磁力補強の最適設計の結果を報告する。

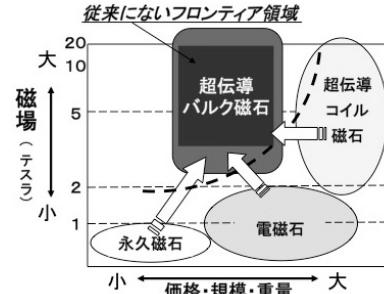


Fig. 1. Comparison of various magnets

### 2. 着磁時の電磁応力、冷却圧縮応力、及び金属リングの補強に関する解析

従来のフープ応力や補強効果の推定は、無限長超電導バルクを着磁した際の応力を解析式を用いて求めていたが、現実の超電導バルクの厚さは有限であり、有限長ソレノイドコイルを用いて FCM 着磁を行うため、有限要素法を用いて FCM 着磁における応力シミュレーションを行った [2-4]。REBaCuO 系超電導リングバルク (外径 64 mm, 内径 40 mm) をソレノイドコイル (外径 150 mm, 内径 100 mm) を用いた FCM 着磁について、3 つのモデルについて検討した。case A は、無限長コイルを用いて無限長リングバルクを FCM 着磁する場合、case B は有限長バルク (厚さ 20 mm) を無限長コイルで FCM 着磁する場合、case C は有限長バルク (厚さ 20 mm) を有限長コイル (高さ 100 mm) で FCM 着磁する場合である。それぞれのバルクの外周に厚さ 5 mm の金属リング (アルミニウム) を装着した。バルクの超電導特性は臨界電流密度  $J_c = 4.8 \times 10^8 \text{ A/m}^2$  一定とする Bean model を仮定した。印加磁場  $B_{ex} = 4.7 \text{ T}$  とし、10 ステップでゼロになる FCM 着磁を行い、捕捉磁場と超電導電流の分布を計算した。応力解析では、バルク及び金属リングの力学パラメータ (ヤング率、ポアソン比) を代入し、電磁気的節点力からフープ応力  $\sigma\theta^{FCM}$  分布を計算した。また FCM 着磁で

は、バルクと金属リングの熱収縮係数の違いにより室温からFCM温度までの冷却による熱的フープ応力 $\sigma\theta^{\text{cool}}$ も印加されるため、実際に印加されるフープ応力 $\sigma\theta^{\text{total}}$ (= $\sigma\theta^{\text{FCM}} + \sigma\theta^{\text{cool}}$ )も計算した。解析にはPHOTO THERMO, PHOTO ELAS (PHOTON, Japan)を用いた。

Fig. 2に3つのケースにおいて $B_{\text{ex}} = 4.7\text{ T}$ 印加の最大フープ応力 $\sigma\theta^{\text{FCM}}(\text{max})$ のFCMステップ依存性を、アルミ合金リングがある場合(w/)と無い場合(w/o)について示す。リングバルクの場合、 $\sigma\theta^{\text{FCM}}$ は最内周表面( $r = 20\text{ mm}$ )で最大となり、外周方向に向かって小さくなる。case A~Cのいずれの場合も、アルミ合金リングがある場合の方がバルクに加わる $\sigma\theta^{\text{FCM}}(\text{max})$ が約20%低下することが分かる。また $\sigma\theta^{\text{FCM}}(\text{max})$ の値は、有限長バルク(case B, C)の方が無限長バルク(case A)より大きく、ステップ依存性も異なるが、この原因是各ステップにおける捕捉磁場と電流分布の違いで説明することが出来る。

Fig. 3にcase Cにおいてアルミ合金リングを装着したリングバルクを300 Kから50 Kに冷却した場合にバルク内に発生する熱的フープ応力 $\sigma\theta^{\text{cool}}$ のz依存性を示す。 $\sigma\theta^{\text{cool}}$ は中心部( $z = 0\text{ mm}$ )では大きな圧縮応力が加わるが、バルク表面に近づくにつれて圧縮応力(冷却嵌め効果)が減少し、最表面では大きな引っ張り応力が加わることが分かった。

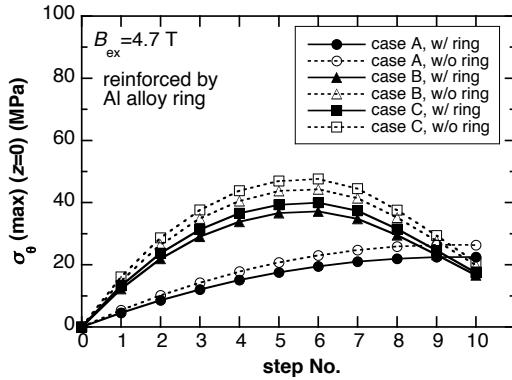


Fig. 2. Time step dependence of the maximum electromagnetic hoop stress,  $\sigma_\theta^{\text{FCM}}(\text{max})$ , in the ring bulk with (w/) and without (w/o) the aluminum alloy ring during FCM from  $B_{\text{ex}} = 4.7\text{ T}$  for all cases.

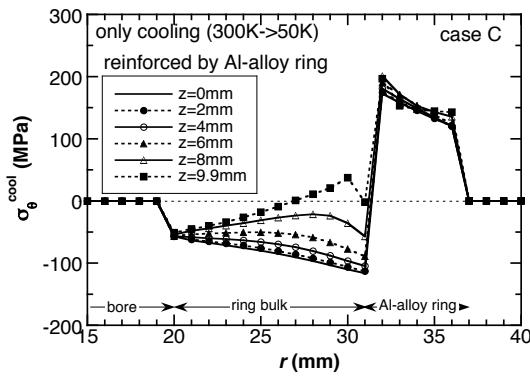


Fig. 3. The radius ( $r$ ) dependence of the thermal hoop stress,  $\sigma_\theta^{\text{cool}}$ , for the finite ring bulk reinforced by an aluminum alloy ring for each  $z$ -position under cooling from 300 K to 50 K.

冷却時のバルク表面での冷却嵌め効果の低減は、バルクのFCM着磁時の電磁応力によるバルクの破壊をもたらす。そこで新たな金属リング補強法を提案し、 $B_{\text{ex}} = 9.4\text{ T}$ までの着磁においても破壊しない400 MHz NMRバルクマグネットへの金属リング補強が可能であることを示した[5]。さらに、現在のREBaCuOバルクの着磁磁場の記録である17.6 Tを越える20 T以上の着磁に耐える金属リング補強方法を提案し、現在実証実験を計画している。

### 3. まとめ

これまでのREBaCuOバルクの捕捉磁場実験における応力解析は系統的に行われていなかったが、本研究により電磁界・熱・応力に対する連成解析が可能になり、補強金属リングの効果が予測できるようになった。今後は適切な機械的補強とともに、着磁時のflux jumpを回避する熱的安定性の向上を考慮することにより、近い将来、20 T着磁も夢では無いと感じている。

### 参考文献

- [1] J. Durrell *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **27** (2014) 082001.
- [2] H. Fujishiro *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **30** (2017) 085008
- [3] K. Takahashi *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **30** (2017) 115006.
- [4] K. Takahashi *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **28** (2018) 6800705.
- [5] H. Fujishiro *et al.*, Physica C **550** (2018) 52.

# HTS-NMR システムに向けた LTS/HTS 磁石開発

## Development of LTS/HTS Magnet for HTS-NMR System

松本 真治 (物質・材料研究機構)

Shinji Matsumoto (National Institute for Materials Science)

MATSUMOTO.Shinji@nims.go.jp

Development of a magnet for a next-generation HTS NMR system is currently underway. The HTS NMR system will employ HTS solenoid coils and a cryogenic probe with an HTS radio frequency coil, and enable extremely high throughput NMR measurements. REBCO and reinforced Bi-2223 conductors offer the advantages of having a higher critical current density than LTS conductors in magnetic fields above 10 T, in addition to tolerance to high tensile stress. Both of these factors are expected to reduce the volume of magnet, thus encouraging users to install higher NMR systems. A designed 800-MHz (18.8 T) magnet consists of Nb-Ti, Nb<sub>3</sub>Sn and Ni-alloy reinforced Bi-2223 layer-wound coils. The magnet will be operated in driven mode using a highly stabilized power supply.

酸化物高温超伝導（HTS）材料の最大の特徴である、10 T を超える強磁場中の、高い超伝導特性を活かし、低温（金属系）超伝導（LTS）材料では到達できない強磁場を発生させるための研究・開発が、HTS 材料の発見以来、活発に行われてきた。既に多くの成果が現れており、我が国においては、例えば、東北大学の 25-T 冷凍機冷却超電導磁石[1]、物質・材料研究機構の 1.02 GHz 核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance, NMR）磁石[2,3]を挙げることができる。

NMR 磁石の強磁場化のメリットは、NMR 信号強度の向上と NMR スペクトルの分解能の向上につながることである[4,5]。しかしながら、NMR 磁石の強磁場化にともない、特に、超伝導コイルに用いられる超伝導線材の強磁場中の臨界電流密度および耐電磁力特性の向上が求められる。HTS 線材は、これらの要求に応えることのできる材料であり、超伝導コイルの小型も期待できるものである[6-9]。

LTS NMR 磁石では、最大フープ応力を 200 MPa 程度に制限しているため、強磁場化するにつれて、スペクトロメーターの分解能は向上するが、磁石が大型化する。例えば、500 MHz (11.7 T) から 800 MHz (18.8 T) に強磁場化すると、分解能は約 2 倍になるが、重量は約 7 倍となる。最大フープ応力を 500 MPa まで許容して HTS コイルで NMR 磁石を製作すると、800 MHz 級磁石が 500 MHz LTS 磁石程度の大きさにまで小型化でき、利用者にとってのメリットとなる[10]。HTS NMR 磁石においては、現在のところ、LTS NMR 磁石のような永久電流モードのみでの運転は期待できないが、高安定化磁石用電源を採用した、電源駆動モード運転 NMR スペクトロメーターにより、タンパク質の高分解能スペクトルが得られている[11-14]。

現在、800 MHz 級 HTS-NMR システムに向け、Nb-Ti および Nb<sub>3</sub>Sn LTS 線材、Ni 合金補強 Bi 系 HTS 線材 (Bi-2223NX) を用いた LTS/HTS 磁石を開発中である。本磁石のコイル構成は、技術・コスト・実用性を考慮し、全 HTS ではなく、LTS/HTS ハイブリッド型とした。磁石は、高安定化磁石用電源による、電源駆動モードで運転する。また、液体ヘリウムの消費を抑制するために、冷凍機による再凝縮方式を採用している。HTS コイルは、テープ形状の HTS 線材によりコイルを製作されている。テープ形状線材は、パンケーキ巻に適しているが、NMR 磁石に求められる高い磁場精度、および、コイル内の接続箇所をできる限り少なくするために、レイヤー巻を採用している。テープ形状の HTS 線材を採用しているため、遮蔽電流による不整磁場の発生が予想されるが、これまでに検証してきた、磁場補正技術（磁性シム、超伝導シム、室温シム）により解消できると考えている。製作した 800 MHz 級 LTS/HTS NMR 磁石は、600 MHz 級 LTS NMR 磁石サイズまで小型化できている。現在、磁石の試運転中であり、完成後、NMR 計測に活用する計画である。

### 謝辞

本研究は、科学技術振興機構（JST）の研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム」(S-イノベ) の支援のもと、物質・材料研究機構、ジャパンスーパコンダクターテクノロジー、理化学研究所、千葉大学、JEOL RESONANCE が共同で研究を実施中であります。

### 参考文献

- [1] S. Awaji et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 24 (2014) 4302005.
- [2] K. Hashi et al.: J. Magn. Reson., Vol.256 (2015) p. 30.
- [3] G. Nishijima et al.:IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 26 (2016) 4303007.
- [4] 文献例 荒木力 MRI 「再」 入門 南江堂 (1999) p. 16.
- [5] JEOL アプリケーションノート NM-04004(10).
- [6] 大塚昭弘氏博士論文「高磁場超伝導マグネットの設計および磁場安定化技術の研究」神戸大学 (2011)
- [7] A. Otsuka et al.: TEION KOUGAKU (J. Cryo. Soc. Jpn.) Vol. 42, no. 6 (2007) p. 196.
- [8] A. Otsuka et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 18, no. 2 (2008) p. 1529.
- [9] A. Otsuka et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 20, no. 3 (2010) p. 596.
- [10] H. Suematsu: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 82 (2010) p. 185.
- [11] A. Otsuka et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 18, no. 2 (2008) p. 852.
- [12] Y. Yanagisawa et al.: J. Magnetic Resonance, Vol. 203 (2010) p. 274.
- [13] Iguchi et al.: Supercond. Sci. Technol., Vol. 29 (2016) 045013.
- [14] Piao et al.: J. Magn. Reson., Vol.263 (2015) p. 164.

# 第 24 回日本磁気科学会研究会

「生命・医療・環境に関わる磁気科学」

## 予稿集

2019 年 9 月 15 日

於：福井工業大学 福井キャンパス

主催：日本磁気科学会 有機・バイオ分科会

## プログラム

9月15日（日） 13:30～16:10

13:30 はじめに

井原一高（神戸大学）

13:35-14:20 「磁性細菌における磁気微粒子の合成機構とバイオ計測への応用」  
新垣 篤史（東京農工大学）

14:20-15:05 「磁気力制御による低侵襲がん治療への取り組み」

秋山庸子（大阪大学）

休憩

15:20-16:05 「微生物を利用した水処理技術への磁気分離活用の新展開」

酒井保藏（宇都宮大学）

16:10 閉会

# 磁性細菌における磁気微粒子の合成機構とバイオ計測への応用

東京農工大学 新垣篤史

磁石を作る細菌がいると聞くと、ずいぶん変わった生き物がいるなと思われるであろう。磁性細菌は、体の中に酸化鉄( $Fe_3O_4$ )もしくは硫化鉄( $Fe_3S_4$ )の磁気微粒子を合成する細菌である。数マイクロメートルの大きさの単細胞生物が、形や組成の制御されたわずか40 nmほどの大きさの単結晶の磁気微粒子を合成する。細菌の細胞の中では、20個程度の磁気微粒子が一列に並んでいる。顕微鏡の側で磁石を回転させながら磁性細菌を観察すると、その回転に応答して泳ぐ向きをクルクルと変える様子が観察される。細菌は、べん毛の回転を駆動力として水中を泳いでいるが、外部から加わる磁場によって体の向きが変わり、泳ぐ方向が影響を受けているのである。磁性細菌は、1975年に米国の Blakemoreにより初めて発見されて以来、湖沼、温泉、深海などの水の存在するあらゆる環境で見つかっている。筆者らは、生活用水として利用される井戸水や湧水などの我々に身近な環境からも磁性細菌を観察している。細菌の種類にも多様性があることがわかっている。細菌が磁気微粒子を合成する理由は、依然として明確にはわかっていないが、体内の磁石により地磁気の磁力線を感じし、細菌にとって生息しやすい酸素の少ない水底の環境に移動するために利用している、というのが発見当初よりの通説である。

一方で、どのように磁気微粒子を作るか、という問い合わせについては、近年理解が進んでいる。磁性細菌は、水の中に溶けている微量な鉄イオンを細胞の中に集め、結晶化することで磁気微粒子を合成する。当初は、比較的単純な仕組みで、磁気微粒子を合成することが予想されていた。しかし詳細な解析の結果、想像していた以上の高度に制御された合成機構の存在が見えてきた。磁性細菌のゲノム解析によって、磁気微粒子の合成に必要な遺伝子が見つかっている。その数は約100遺伝子であり、この内の約20遺伝子が主要な役割をしている。これらの遺伝子を設計図として作られる磁性細菌特有のタンパク質によって、磁気微粒子合成の反応場となる細胞内小胞が形成する。次に、小胞に鉄輸送タンパク質によって、小胞内に鉄イオンが取り込まれる。結晶化反応を制御するタンパク質によって、磁気微粒子が形成される。また、小胞を一列に並べるための纖維状のタンパク質の存在も明らかにされている。

このようにして細胞の中で合成された磁気微粒子は、結果的に有機薄膜で覆われることになる。この有機薄膜のついた磁気微粒子は、バイオ計測等での応用において有用であることが示されている。有機薄膜表面に多数存在するアミノ基を利用して、多様な機能分子を固定化することができる。粒子表面は負に帯電していることから粒子間に反発が生じ、水溶液中での分散性に優れる。さらに、磁性細菌の遺伝子組換えによって、脂質二分子膜に膜タンパク質を直接発現させることができ、微量環境物質の計測、創薬候補物質のスクリーニング、再生医療分野における細胞分離等への応用が可能である。また、細菌が磁気に応答して水の中を泳ぐ性質を利用して、生体内での薬の運搬（ドラッグデリバリー）が可能であることが示されている。磁性細菌の遺伝子組換えによる磁気微粒子の高機能化とその応用法の開発が期待される。

# 磁気力制御による低侵襲がん治療への取り組み

大阪大学大学院 工学研究科 秋山 庸子、桐村 誠

低侵襲かつ副作用の少ないがん治療法として、磁気力制御による新生血管閉塞療法を検討している。がんは成長するために、栄養や酸素を運ぶ血管を周囲に形成する。これは新生血管とよばれ、がん転移の原因にもなる。本研究で提案する治療法は、血管内に投与した強磁性粒子を、体外からの磁場制御により新生血管のみに集積かつ凝集させることで物理的に閉塞させ、がんの成長抑制と転移防止を目指すものである。

提案する治療法の実現のためには、磁場源から離れた標的部位に強磁性粒子を選択的に集積させ、さらに不可逆に凝集させる必要がある。これまでの研究で、集積に関しては、磁場源として小型ネオジム磁石を用いた回転磁場を印加することで、磁石から数 cm 離れた回転軸とその周辺に粒子が選択的に集積することが示されている<sup>1)</sup>。また凝集に関しては、強磁性粒子の表面修飾による磁場下での粒子の分散・凝集制御の手法を確立している<sup>2)</sup>。

実用に向けては、超電導磁石磁場源から 10-20 cm 離れた部位に粒子を集積させる必要があり、超電導磁石が必須となる。しかし、超電導磁石を用いて高周波の回転磁場を印加する手法は確立されていない。そこで、同極対向で配置した 4 つの超電導磁石と、一部開口した円筒型磁気シールド材を用いた回転磁場の印加手法を考案した。具体的には、4 つの磁石を同時に励磁した状態で、生体の外側に配置した磁気シールド材を回転させることで、開口部からの漏れ磁場により標的部位に回転磁場を印加する手法である。基礎的検討として、周波数を変化させた回転磁場下での強磁性粒子の粒子軌跡計算と、同極対向型永久磁石と磁気シールド材を用いた小規模な模擬実験を行った。初期がんへの適用を想定し、磁場回転軸上に存在する直径 10 mm の範囲に粒子を選択的に集積させることを目的とした。

粒子軌跡計算の結果、強磁性粒子は磁場の回転周波数に応じた周期で振動しながら下流へと流れしており、周期運動の振幅と血管内径の関係の制御によって集積を制御できる可能性が示された。さらに、磁気シールド材の回転速度を変化させた模擬実験により、磁場回転軸を中心とした直径 10 mm の範囲に粒子を集積させ、他の部分への集積量を低減させることができることが可能であることが示された。今後は実用体系を想定した磁場設計を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、磁気健康科学研究振興財団の助成により実施されたものである。

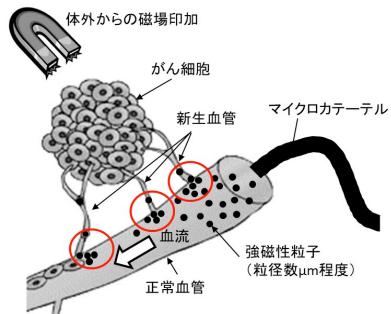


Fig.1. 提案する治療法の概念図

## 参考文献

- 1) M. Kirimura, Y. Akiyama, Journal of Physics: Conference Series, (in press).
- 2) M. Kirimura, Y. Akiyama, S. Nishijima, Progress in Superconductivity and Cryogenics, vol. 20, No.2, pp.11-15, 2018

# 微生物を利用した水処理技術への磁気分離活用の新展開

宇都宮大学大学院工学研究科 酒井保藏

## 1. はじめに

国連が提唱する人類の持続的発展の開発目標 SDGs の中で、安全な水資源を世界中の人々が享受できる環境の実現は、直接的な目標だけでなく、健康、食糧、生活環境、水利権紛争の抑止など多くの目標に関係する重要な課題と考えられる。

地球上に水は大量に存在するが地表水（淡水）は地球上の水の 0.01% にすぎない。また水は利用後、多くの場合、汚水して廃棄され、自然水を汚染する原因となっている。利用後の水を浄化して河川に戻すことは安全な水資源の確保の最も合理的な解決策と言える。

現在、下水や有機性排水の多くは活性汚泥法で処理されている。活性汚泥法は微生物の生分解機能を利用して排水中の有機物を水と炭酸ガスに分解する方法である。安価に良好な処理水が得られる優れた方法であり、世界中で広く利用されているが、2つの課題が依然として解決されていない。一つは、浄化プロセスの最終段階で微生物と浄化された処理水を沈降により固液分離するが、微生物の比重は水とほとんど同じで、簡単、確実に固液分離できない点である。微生物の凝集性を良好な状態で維持するには高度な専門知識が必要とされ活性汚泥法の運用を難しくする原因となっている。もう一つは、余剰汚泥の発生である。微生物は汚水中の有機物を分解する際に、およそ半分の有機物を菌体として同化すると言われている。標準的な条件で活性汚泥法を運転すると、毎日、微生物が 10 ~ 20% 増殖し、プロセス内の微生物量を一定に保つため、増殖分は毎日引き抜かれる。活性汚泥法は浄化した有機物の半分は水と炭酸ガスに分解し、半分が汚泥に変換されるプロセスであるとも言える。国内の下水処理だけでも 7000~8000 万トン（濃縮汚泥 97% 水分換算）/年の汚泥が発生していると言われ、Fig. 1 に示すように産業廃棄物全体の約 20% を占める。汚泥は多量の水分を含むため、脱水・焼却のため化石燃料を消費する。国内の工場排水処理では脱水汚泥として外部委託される場合が一般的で、汚泥処分費が水処理費用の半分以上を占める場合もあると言われている。

## 2. 磁気分離活用による活性汚泥法のイノベーション

### 2.1 活性汚泥法の課題解決の原理

我々は、これらの活性汚泥法の課題を解決するために、磁気分離の活用を検討してきた。活性汚泥は非磁性であり、そのままでは磁気分離できないが、マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) を混合

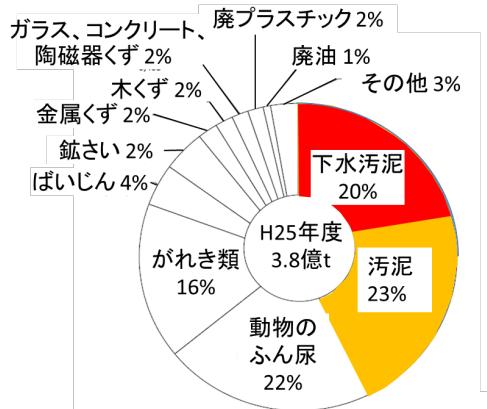


Fig. 1. H.25 年度 種類別産業廃棄物

するだけで、微生物の凝集フロック中にマグネタイトを捕捉し磁気分離可能となる。このマグネタイトを捕捉した活性汚泥は磁化活性汚泥(Magnetic Activated Sludge; 以下 MAS と省略)と呼んでいる(Fig. 2)。MAS を用い、固液分離に磁気分離を用いて、生物学的水処理法を行うのが磁化活性汚泥法(以下 MAS 法と省略)である。反応槽内で増殖した微生物も凝集性フロックを形成するものは槽内のマグネタイトを吸着し、磁気分離可能となる。MAS は磁気分離されて反応槽に戻り、増殖するが、磁性粉を吸着できない微生物は磁気分離装置を通過するため、MAS 法ではマグネタイトを捕捉できる微生物が優先的に増殖し、結果的に磁気分離がより安定する方向に進行する自律安定性を有するシステムとなっている。微生物の沈降分離では、凝集性微生物を高度な運転操作により優先的に増殖させ良好な固液分離を達成しているが、原理的に微生物フロックの密度はほぼ水と同じであり、温度変化や脱窒反応による気泡の発生、糸状菌の増殖などで沈降分離トラブルが起きやすい。磁気分離の場合、水は磁気力による牽引力を生じない一方で、強磁性粒子であるマグネタイトと一体化した MAS は磁気力で強く牽引される。MAS は水中から磁石で引き上げることができる。このとき MAS に作用する重力を 1 とすると( $\approx 1 \text{ cm}^3$  の水に加わる重力)、数倍の牽引力が作用する(Fig. 3)。沈降分離のときの水と汚泥の密度差を  $0.005 \text{ g/cm}^3$  すると、少なくとも 200 倍以上の力で汚泥を牽引していることがわかる。実際に、磁気分離装置を汚泥懸濁液が通過するときの滞留時間(分離時間)は 10 秒程度で十分な固液分離が達成できる。沈降分離は 2~3 時間の滞留時間が推奨されている。フロックに加わる重力と磁気力の違いを強く反映している。MAS 法の運転管理では良好な沈降性の維持管理が不要で、安定した固液分離が自動的に維持できる。

磁気分離による微生物の増殖の



Fig. 2. MAS の磁気シーディングと磁気分離  
活性汚泥を MAS 化し、磁気分離し引き上げるまで約 20 秒

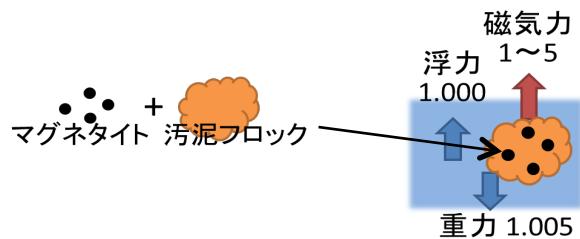


Fig. 3. 活性汚泥の磁気シーディングと MAS に加わる磁気力  
(左)マグネタイトと混合するだけで MAS となる。(右)MAS に作用する重力より大きい磁気力が発生する。

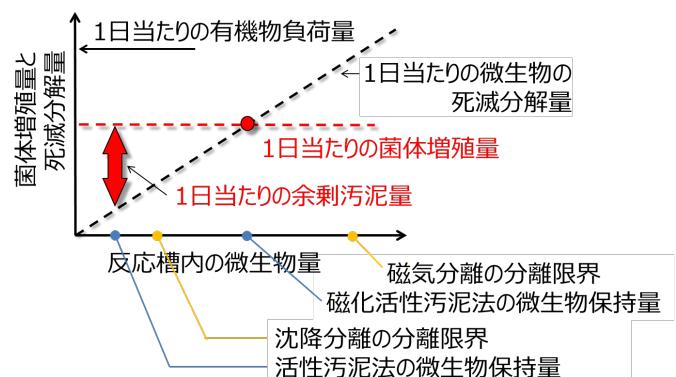


Fig. 4. MAS による余剰汚泥抑制の原理

抑制は微生物の自己消化を利用して次のように達成される(Fig. 4)。磁気分離は沈降分離に比べて5倍以上高濃度まで汚泥を濃縮できる。沈降分離では、汚泥濃度が5g/L程度で上澄水の引抜きが困難となるが、MAS法では25g/Lでも固液分離できる。活性汚泥法では、微生物は一日の処理有機物量の50~80%に相当する量が増殖し、一方で、反応タンク内の微生物の一定割合(1~7%程度)が毎日、死滅し分解して減少する。両者の差によって一般的な条件では、2g/Lの汚泥濃度で運転される標準活性汚泥法では毎日1~2割の汚泥が増殖するが、汚泥濃度が15g/L~20g/Lになると汚泥の増殖と死滅分解がバランスして微生物の増殖が見かけ上ゼロとなる。MAS法はこのような高濃度の汚泥条件でも運転できるため、余剰汚泥を原則引き抜かないで水処理を継続できる。自己消化により微生物の細胞壁などに由来する難分解性有機SSが発生するが、難分解性SSはマグネタイトを吸着しないため磁気分離を通過して流出し、反応槽内に蓄積しない。

## 2.2 MAS法の社会実装への準備

活性汚泥法は100年を超える歴史をもち、実機導入に際して、あらゆるケースに対応できる多くのノウハウが蓄積している。一方、磁気分離による生物学的水処理法は、磁気分離法、活性汚泥法、それぞれ既知の技術であるが、両者の組合せは実用例が見当たらぬ新しい技術であり、社会実装に当たっては、現地排水での連続水処理試験、パイロット試験を経て、実機の設計に必用な諸元を決定する必用がある。実用規模の大型磁気分離装置の開発も必用であった。そこで、社会実装に必用な、ベンチスケールのMAS法連続水処理試験装置、現地に移設できる可搬型のMAS法パイロットプラント、実用規模の磁気分離装置の開発を進めた。

### 2.2.1 MAS法の標準ベンチスケール実験装置の開発

Fig. 5にMAS法の標準ベンチスケール実験装置を示す。回転磁石ドラム式の磁気分離装置を備え、活性汚泥とマグネタイトを投入し、模擬排水や実排水を連続流入させるだけで直ちに、MAS法の適応性を検証できる。濃度20~30g-VSS/LのMAS懸濁液を流量10L/hまで磁気分離できる。余剰汚泥引抜きなしでの連続運転の可否、可の場合は負荷条件と平衡濃度の関係、処理水性状などを簡単に検証できる。MAS法の運転管理に特別な専門知識は不要であり、現在、栃木県内の中学生が参加してMAS法ベンチスケール実験装置運用の簡便さを検証中である。

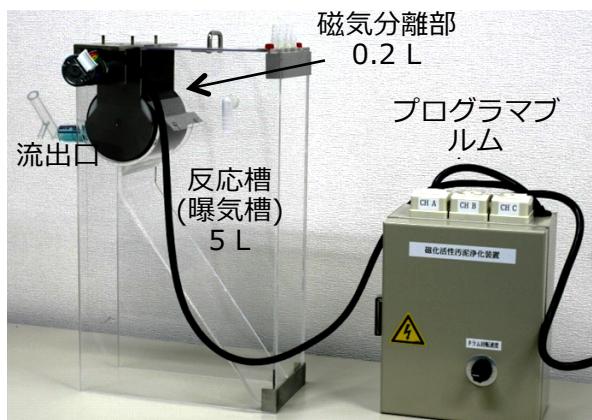


Fig. 5. MAS法の標準ベンチスケール実験装置

### 2.2.2 MAS法の可搬型パイロットプラントの開発

MAS法のパイロットプラントは下水処理場、養豚施設などに建設してきたが、実用化のステップとして考える場合、可搬型で現地に運搬し短期間で運転開始でき、終了後も簡単に撤収できるものが必用と考えられた。Fig. 6に小型の磁気分離装置と組み合わせた可搬型

パイロットプラントを示す。食品工場にユニック車で輸送し、2、3日後にはパイロットプラント試験をスタートでき、試験後は1日で撤収できた。現在、実用規模の大型磁気分離装置を上部に設置し、磁気分離性能を現場の実汚泥と大型磁気分離装置で検証できる可搬型パイロットプラントを製作中である。実際の水処理設備をMAS法で運用した場合の水処理性能をより正確に予想でき、実用施設の設計に有用であると期待されている。

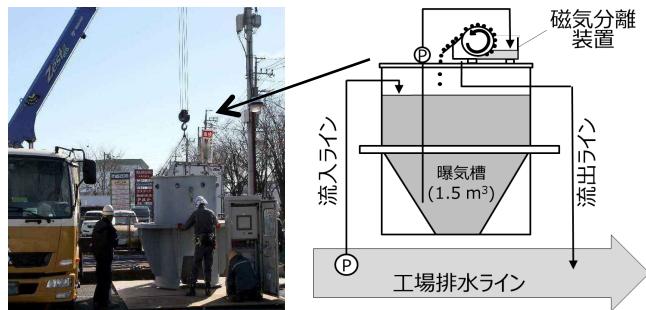


Fig. 6. MAS 法の可搬型パイロットプラント

### 2.2.3 実用規模の大型磁気分離装置の開発

MASの実用規模の磁気分離装置は開発要素が多岐に渡り、汚泥フロックのサイズも乱流による剪断力で大きく変動し、微生物凝集性の影響も受けるため複雑であり、流量やその他の条件に応じた分離装置を理論的にすることは困難と考えた。解決策として、標準的な実用磁気分離装置を製作し、実際に現地の排水でMAS法を運転し、磁気分離性能を予測し、処理水量に応じて並列運転することで実用化に対応できると考えた。Fig. 7に、実用規模の大型磁気分離装置の写真を示す。16.5 cm  $\phi$  × 150 cm の磁石ドラム 2 本から構成され、2段式となっている。下水処理を長期に渡り実施しているMASパイロットプラントで約 200m<sup>3</sup>/日の分離性能が見込めることが示された。価格も設定され、従来の活性汚泥法とのコスト比較も可能となった。分離装置として沈降槽より安価であり、設置場所の節約効果、余剰汚泥低減効果などを試算すると標準的な活性汚泥法より安価に水処理プロセスを建設できることが示唆されている。



Fig. 7. MAS 用の実用大型磁気分離装置(200m<sup>3</sup>/日, 500 万円)

### 3. MAS 法の社会実装の試み

現在、栃木県内の食品工場の協力を得て、MAS法の社会実装の検証実験を行っている。2018年10月から現地の既設活性汚泥プラントから汚泥を採取してMAS法のベンチスケール試験を現地排水を用いて長期検証中である。さらに2019年11月頃から大型磁気分離装置を組み合わせた可搬型パイロットプラント試験を準備中であり、さらに、実機でのフルスケール試験を計画中である。ベンチ実験からパイロット試験を経て実機への導入に至るMAS法の社会実装のプロセスは複数の水処理企業が見学会に参加して、進行中である。