

2009.12 発行

財団法人岡山工学振興会編

E-mail: ofst@cc.okayama-u.ac.jp

URL: <http://www1a.biglobe.ne.jp/ofst/>

## 新概念のパーソナル小型 NMR 装置用マグネットの開発

岡山大学大学院 自然科学研究科 産業創成工学専攻 准教授 金 錫範

### 1. はじめに

水の水素原子核は、強磁場中に置かれるとスピンにより分子が磁場方向に沿って揃い、これに対して直角方向へ高周波の均一磁場を印加すると特定周波数でスピンの共鳴を起こす。このような現象を核磁気共鳴(NMR; Nuclear Magnetic Resonance)と言い、この核磁気共鳴現象を利用した診断や分析装置(NMRやMRI装置)が開発されている。NMR用マグネットとしては、永久磁石、常電導マグネット、超電導マグネットの3種類があるものの、超電導マグネットが主流となっている。その理由は、化学構造の分析精度を向上させるためには、磁場強度の増大、高い磁場均一性と共に時間的安定性が要求されるからである。NMR用マグネットを超電導線材(NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn)で作製することにより、200MHz~750MHz(磁場強度 4.7T~17.6T)の高精度な NMR 用マグネットが市販されている。一方、20T を越える NMR 用マグネットの開発は、日米の国立研究機関で進められてきて、米国の国立高磁場研究所(NHMFRL)を中心として25T(1.066GHz) NMR マグネットの開発が行われている。

現在、光学顕微鏡や x-ray 装置などは、医者や研究者にとって非常に身近なものとなり、いつでも簡単に使用できるため、診断や研究において非常に役に立っている。一方、タンパク質などの機能や構造解析に有効なツールとして注目されている NMR 診断装置は、まだ非常に高価・大型であるために、大きい病院や大学などで設置されてはいるものの、個人が自由に使える装置とは言えない。もし、安価・小型で、さらに簡便な方法で使える NMR 装置が開発され、研究室ごと、または各個人が自由に使えるようになると、高性能 NMR 診断装置に持っていく前の基礎診断や判断などが可能となるため、医学分野をはじめ幅広い分野において急速な進展が得られると考えられる。そこで、本研究では、高温(酸化物)超電導体の強力な捕捉磁場を利用して小型で安価な NMR 用マグネットを開発することによって、コンパクトで持ち運べるパーソナル NMR 装置の開発を目的としている。

### 2. 小型 NMR 用マグネットの概念

開発する小型 NMR 装置の基礎概念図を Fig.1 に示す。開発する NMR 用マグネットは、積層された高温超電導バルク体、または超電導薄膜によって構成されている。本研究で開発する NMR 装置は、酸化物超電導体の強力な捕捉磁場を利用するものであり、外部磁場印加装置である励磁用の超電導マグネットの室温空間に低温容器に入った NMR 用マグネットを配置して磁場中冷却方式(FC法: Fieldcooling Method)を採用して酸化物超電導体を着磁させる。酸化物超電導体が着磁された後は、

低温容器ごと励磁用マグネットから取り出して NMR 用マグネットとして使用することが可能となり、マグネット用の高温超電導の外径は 100mm 以下になると思われるため、低温容器を含めても装置は非常に小型になる。本研究の当面の目標は、直径 20mm の球状測定空間に 4.7T (200MHz 相当)の均一磁場を発生させることであり、上記の目標を達成させるためには、酸化物超電導薄膜の性能向上を始め、マグネットの形状および冷却方法などの最適化が必要になると思われる。

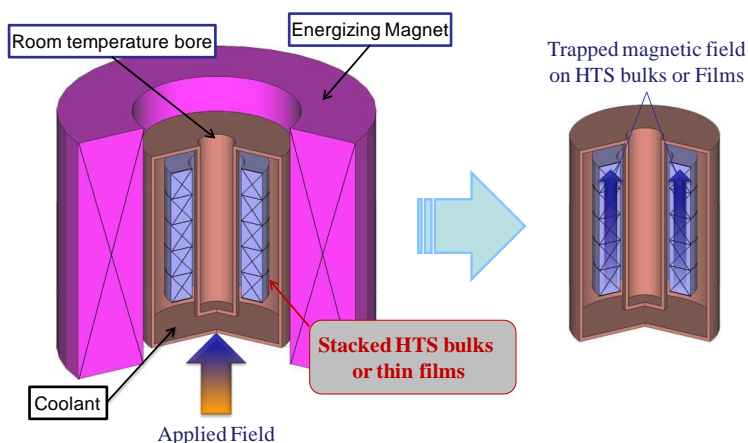


Fig. 1 開発する小型NMR用マグネットの概念図

### 3. 現在までの研究内容

#### (1) 高温超電導バルク体による NMR 用マグネット

現在開発されている高温超電導バルク体の性能は、一個のバルク体で最大数 T の磁場を捕捉させることが可能である。しかし、本研究では、リング状のバルク体を必要とするため、試料測定空間に 4T 以上の高磁界を発生させるためには、複数個のバルク体を積層する構造が必要となる。実験に用いた高温超電導バルク体の写真を



GdBCO Bulks (OD60mm, ID20mm)

Fig. 2 実験に用いた高温超電導バルク体の写真

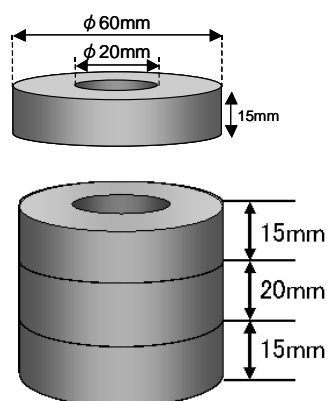


Fig. 3 単一および積層された高温超電導バルク体の諸元

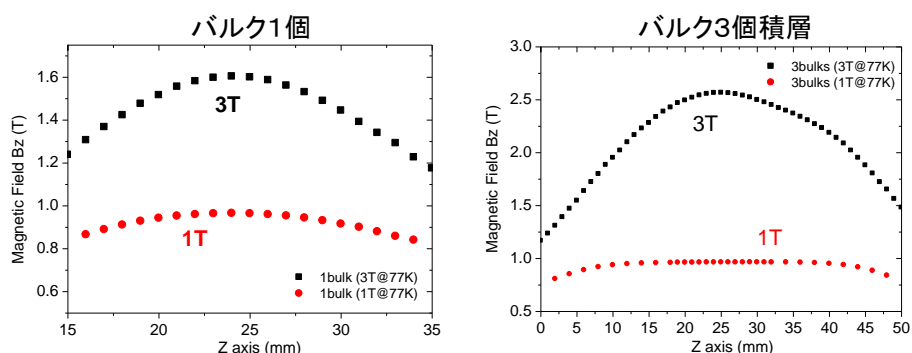


Fig. 4 単一および3個積層された高温超電導バルク体の捕捉磁場による内部高さ方向での磁場強度分布 (液体窒素中測定)

Fig.2 に、1 個のバルク体と3個積層したときの諸元を Fig.3 に示す。そして、単一のバルク体と3個積層したバルク体について、液体窒素中 (77K) で 1T と 3T の励磁磁場を印加した際における内部中心の高さ方向の磁場強度分布を Fig.4 に示す。図より、単一のバルク体より積層することによってより高い磁場を発生させることがわかる。また、同じ 1T で励磁された場合においては、磁場の空間均一度が優れていることが明らかになった。しかしながら、3個積層した場合においても液体窒素温度でのバルク体の臨界電流密度の制限により3Tですでに飽和していることが明らかになっている。そこで、バルク体の臨界電流密度を上げるために液

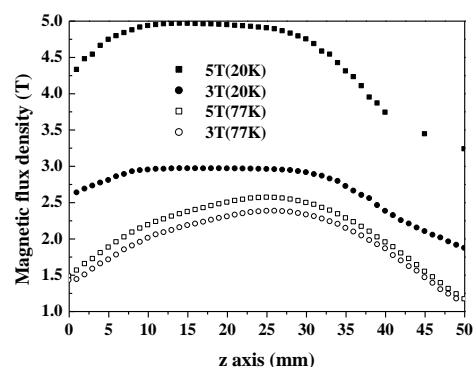


Fig. 5 20Kおよび77Kにおける3個積層されたバルク体による内部高さ方向への磁場強度分布

体窒素温度より低い 20K での実験を行った。20K での実験は、GM 冷凍機による伝導冷却運転により行った。Fig.5 に 20K での実験結果と比較のために液体窒素中での測定結果を示す。Fig.5 に示した結果より、現在開発されているバルク体を用いても運転温度を下げることによって当面の目標である、4.7T の磁場強度を発生させることが可能であることが示された。

## (2) 高温超電導薄膜による NMR 用マグネット

現在市販されている高温超電導バルク体は非常に高価であるため、開発する小型 NMR 用マグネットの低コスト化を目的として高温超電導薄膜によるマグネットの開発も同時に行っている。本研究では、持ち運べる NMR 用マグネットの開発を目的としており、最終的には数千枚の酸化物超電導薄膜を積層することで実現できると考えている。そこで、まず、本研究の実現可能性を確認するために 500 枚の酸化物超電導薄膜を用いて試験的検討を行った。この試験用マグネットに用いられた酸化物超電導薄膜は、厚み 75nm の配向 Ni 金属基板上に、厚み 0.8 $\mu\text{m}$  の YBCO 層を蒸着した次世代線材用の酸化物超電導薄膜であり、試料薄膜の臨界電流密度は 2.2~2.5MA/cm<sup>2</sup> のものである。Fig.6 に試料薄膜の形状と寸法および励磁磁場 0.1T によって試料薄膜に捕捉された磁場分布を示す。Fig.6 の捕捉磁場分布の測定結果から、内側の磁場分布が円形ではなく長方形になっていることが明らかである。この原因としては、Ni 金属基板の結晶方位を配向させるために行う圧延プロセスにより長方形の結晶が形成されているためであると考えられる。そこで、試料薄膜の圧延方向と圧延方向の垂直方向への臨界電流を測定した結果、臨界電流の大きさ比は、およそ 10:8 であることが明らかになった。このような臨界電流の異方性は、線材応用においてはそれほど問題にならないが、本研究のような捕捉磁場を利用する場合においては非常に大きい問題となる。従って、今回の試験では円形の発生磁場を得るために正方形の試料薄膜を圧延方向に対して 22.5° ずつ回転させながら積層させた。500 枚の試料薄膜を積層した試験用 NMR マグネットの高さは 41mm であり、液体窒素冷却によるマグネット内部中心での高さ方向磁場分布と高さ中心での 2次元磁場分布を Fig.7 に示す。液体窒素温度での試料薄膜の J<sub>c</sub>-B 特性により、捕捉磁場によるマグネット内部発生磁場の強度は目標値よりかなり低いものの比較的円形の磁場分布が得られた。従って、目標値の発生磁場強度を得るためには、より高性能の超電導薄膜を使用するか、液体窒素温度より低い温度で励磁させて使う必要があると思われる。最後に、薄膜 NMR 用マグネットを用いて液体ヘリウム中 (4.2K) で行った実験では 2.35T の磁場強度を得ている。

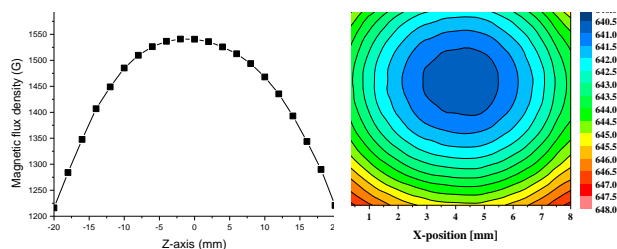
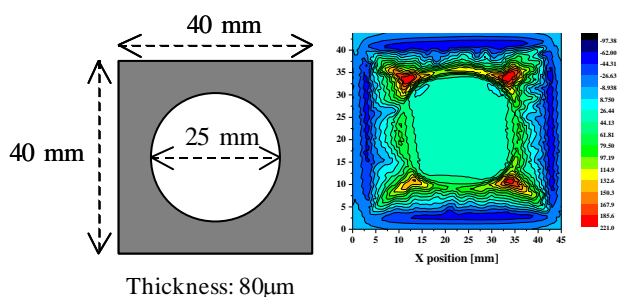


Fig. 6 実験に用いたYBCO薄膜の形状と捕捉磁場分布

Fig. 7 薄膜NMR用試験マグネットの高さ方向への磁場強度分布と中心高さでの2次元磁場分布

## 4. 謝辞

このたびは、未熟なものでありながら内山勇三科学技術賞を頂きまして誠に光栄だと思っております。本研究は世界で初めて試みる研究であり、これからの研究成果を私自身も非常に楽しみにしており、本研究への支援を心から感謝しています。この紙面を借りまして内山工業様および選考委員会ならびに関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

「平成 21 年度特別研究 (内山勇三科学技術賞) 受賞者」

## 1. 学術研究集会・学術講演会の助成

平成 21 年度の学術研究集会・学術講演会の助成（第 4 回助成分）の申請件数は 5 件でした。この分野の選考は、研究助成選考委員会、第 2 選考委員会（委員長 高橋則雄 岡山大学教授）により行われ、下表のとおり決定いたしました。

研究集会名	主催団体名	世話人
日本物理学会第 65 回年次大会	社団法人日本物理学会	(岡山大学) 大嶋 孝吉
第 52 回有機電解合成公開セミナー	有機電解懇話会	(岡山大学) 田中 秀雄
微粒子プラズマと周辺科学の新展開	岡山大学	(岡山大学) 鶴田 健二
第 3 回進化計算フロンティア研究会	日本人工知能学会進化計算フロンティア研究会	(岡山大学) 半田 久志
第 22 回バイオエンジニアリング講演会	日本機械学会バイオエンジニアリング部門	(岡山理科大学) 林 紘三郎

## 2. 学術研究集会等のお知らせ

- ☆ 名称 **第 22 回バイオエンジニアリング講演会**  
主催 日本機械学会バイオエンジニアリング部門  
内容 バイオエンジニアリング（生体医工学）に関する最新研究を情報交換する場として産業・医療・福祉の向上に寄与することを目指し、関連する 79 もの多岐にわたる研究テーマについて講演・発表・討論を行う。  
日時 平成 22 年 1 月 9 日（土）～ 1 月 10 日（日）  
場所 岡山理科大学 25 号館 1,3,4,5,7,8 階教室等  
問合せ先 岡山市北区理大町 1-1 〒700-0005 電話 (086) 256-9403  
岡山理科大学工学部生体医工学科 林 紘三郎
- ☆ 名称 **第 52 回有機電解合成公開セミナー**  
主催 有機電解懇話会  
内容 Electroorganic synthesis Reference Files (EOS-RF) の情報を基に、最新の有機電解合成の進歩について、別紙に掲げる主題のセミナーを行う。  
・ 消耗電極を用いる電解反応(VI)                      ・ Chiral 化合物の電解反応(IV)  
・ アルコール・エーテル類の電解酸化(VI) ・ 電解触媒反応(II)  
・ 含ハロゲン化合物の電解還元(XX)                      ・ 含硫黄・セレン・テルル化合物の電解酸化(XI)  
日時 平成 22 年 1 月 25 日（月）  
場所 岡山大学大学院自然科学研究科棟第 2 講義室  
問合せ先 岡山市北区津島中 3-1-1 〒700-8530 電話 (086) 251-8072  
岡山大学大学院自然科学研究科 田中 秀雄
- ☆ 名称 **第 3 回進化計算フロンティア研究会**  
主催 日本人工知能学会進化計算フロンティア研究会  
内容 近年、進化計算の応用に対する関心がたいへん高まっている。進化計算フロンティア研究会は、平成 21 年 4 月に発足した新しい研究会である。過去 2 回の研究会では 100 名弱の参加者を集め、最新の研究成果が発表され活発な議論がなされている。

日時 平成22年3月5日(金)～3月6日(土)  
場所 岡山大学工学部4号館  
問合せ先 岡山市北区津島中3-1-1 〒700-8530 電話(086)251-8250  
岡山大学大学院自然科学研究科 半田 久志

☆ 名称 **日本物理学会第65回年次大会**

主催 社団法人日本物理学会

内容 全国から約5,000人におよぶ物理学研究者および院生を集め、宇宙、素粒子から物性、材料の分野を含む最新の研究成果発表を行う。また市民講演会では、前国立天文台台長の海部宣男先生とノーベル物理学賞の小柴昌俊先生に、宇宙物理の最前線と夢のお話をして頂く。

日時 平成22年3月20日(土)～3月23日(火)

場所 岡山大学理学部、教養教育棟、工学部

問合せ先 岡山市北区津島中3-1-1 〒700-8530 電話(086)251-7827

岡山大学大学院自然科学研究科 大嶋 孝吉

☆ 名称 **微粒子プラズマと周辺科学の新展開**

主催 岡山大学

内容 半導体プロセス中の微粒子(ダスト)の観測・制御から出発した微粒子プラズマの科学は、ソフトマターのモデル系として、さらには国際宇宙ステーションにおける相転移現象観測など、新たな展開をみせつつある。本研究会では、この分野の研究者のみならず、理学・工学における様々な周辺分野の研究者との集中的討論により、当該分野の今後の展開を議論する。

日時 平成22年3月24日(水)～3月25日(木)

場所 未定

問合せ先 岡山市北区津島中3-1-1 〒700-8530 電話(086)251-8142

岡山大学大学院自然科学研究科 鶴田 健二

✿ **ほっと交流会**

「岡振サロン」では毎月第2金曜日に色々な方に「ほっとな話題」を提供していただき、気軽に意見を交わす「ほっと交流会」を開催しています。お気軽にご参加下さい。

平成22年1月8日(金) 18:00～

講師 岡山大学 名誉教授 笹岡 英司

「ガス中に含まれる金属水銀蒸気の除去方法の開発」

○場所：岡山大学新技術研究センター1F、参加費(軽食付)：賛助会員：800円、非会員：1,000円

✿ **平成22年度 学術研究助成、国際研究集会等派遣助成、学術研究集会・学術講演会への助成の予定**

平成22年度公募要項は3月発行の本財団ニュースに掲載します。

お問合せ先：Tel, Fax: 086-255-8311

財団事務局 E-mail: ofst@cc.okayama-u.ac.jp

URL: <http://www1a.biglobe.ne.jp/ofst>

## (財)岡山工学振興会賛助会員の募集について

(財)岡山工学振興会は、平成元年2月3日に設立された特定公益増進法人です。本財団は、理工学に関する研究を進行するとともに、先端技術の向上を目指した大学と産業界等との連携をはかり、もって学術および技術開発の進展に寄与することを目的としています。

そのために次のような事業を行います。

- (1) 理工学に関する研究の助成と研究者の要請援助
- (2) 理工学に関する研究調査およびその斡旋
- (3) 理工学に関する研究成果の普及
- (4) 先端技術研究に関する情報の収集および提供
- (5) 理工学に関する教育研究機関と地域社会との連携交流事業

当財団が今後事業活動の発展、充実を図っていくためには、基金の充実を緊急の課題と致しております。このため、広く関係各位のお力添えを賜りたく、当財団の寄付行為第32条に定めている賛助会員の募集とその充実を計画いたしております。

本会の趣旨にご賛同のうえ、是非とも賛助会員をお引き受け頂き、ご支援賜りたくお願い申し上げます。

### ◆賛助会とは・・・

本財団の目的に賛同し、その事業に協力する法人または個人で組織する会です。本財団の寄附行為第32条には、次のように定められています。

「この法人の目的に賛同する法人または個人であって、理事会の定める賛助会費を納付したものの、または特別の寄附を行ったものを賛助会員とする。」

### ◆賛助会員の特典

- 1 研究課題および研究者についての各種の情報（最新の研究年報等）が提供されます。
- 2 講演会、セミナーに参加できます。  
国の内外から第一線の研究者を招き、理工学分野で話題となるトピックスについての講演会やセミナーを開催します。  
「バイオテクノロジー」「ネットワーク技術」「ナノテクノロジー」「高速デジタル技術」など、先端技術の研究成果と今後の展望について、研究者の生の声をお伝えします。
- 3 各種学会が開催するセミナーあるいは特定分野における短期の技術者養成を行える研究室などを紹介し、若手技術者の養成を援助します。
- 4 技術相談のお世話をします。工学的な立場からのアドバイスを希望されるときには、その相談に応じます。
- 5 産学交流に協力できます。共同研究、委託研究等についても、緻密な人的ネットワークを駆使して適切な研究者を紹介します。

上記の他、賛助会員に有意義な事業の企画について、各位からご提言賜れば幸いです。

### ◆申し込み手続き

- 1 (財)岡山工学振興会事務局までご連絡いただければ、「賛助会員申込書」をご送付します。

電話/Fax : (086)255-8311      e-mail : ofst@cc.okayama-u.ac.jp

- 2 賛助会費（年額）  
(1) 法人会員 1 □      50,000 円      1 □以上  
(2) 個人会員 1 □      5,000 円      1 □以上