

同時発表：  
筑波研究学園都市記者会（レク）  
文部科学記者会、科学記者会、鉄鋼研究会、  
重工工業研究会、大阪科学・大学記者クラ  
ブ、大阪鉄鋼記者連絡会、神戸市政記者ク  
ラブ、神戸民間放送記者クラブ、神戸経済  
記者クラブ、鉄友会（以上、資料配布）



KOBELCO

JEOL



## 世界最高磁場<sup>\*</sup>の NMR 装置（1020MHz）の開発に成功

～高温超伝導体の応用が決め手 新薬創製・新物質開発の高速化にむけて大きな前進～

配布日時：2015年7月1日14時

国立研究開発法人 物質・材料研究機構（NIMS）  
国立研究開発法人 理化学研究所（理研）  
株式会社神戸製鋼所（神戸製鋼）  
日本電子株式会社（JEOL）  
国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）

### 概要

国立研究開発法人物質・材料研究機構、国立研究開発法人理化学研究所、株式会社神戸製鋼所および株式会社 JEOL RESONANCE（日本電子株式会社の連結子会社）からなる研究チームは、国立研究開発法人科学技術振興機構 先端計測分析技術・機器開発プログラム「超 1 GHz-NMR システムの開発」の一環として、1020MHz という世界で最も強い磁場を発生できる超高磁場 NMR（核磁気共鳴）装置の開発に成功しました（図 1）。また、この装置を使って実際に測定を行い、従来の NMR に比べて感度と分解能が著しく向上していることを確認しました。

NMR 装置<sup>①</sup>はタンパク質などの生体高分子の立体構造解析、有機化学や材料研究など幅広い分野で使用されています。特に新薬創製のためには欠かすことのできない装置の一つです。新薬の開発にはより速く正確にタンパク質の構造を決定することが重要であり、このためには NMR 装置の性能向上が必要不可欠です。そのような中、NMR 装置においては磁場強度が重要な指標の一つとなっており、磁場 1000MHz を超える熾烈な開発競争が行われてきました。かねてから、高温超伝導技術を用いれば 1000MHz を超えられると考えられていましたが、高温超伝導体は割れやすく加工しにくいなど様々な課題があり世界的にも長期間実現には至っていませんでした。

本研究チームは、1988年に NIMS で開発された高温超伝導体を線材化するなど複数の新技術の開発を経て、このたび NMR 装置として世界最高磁場となる 1020MHz を達成しました。構想から 20年。東日本大震災で被った完成直前の損壊による開発中断、世界的なヘリウム供給危機、さらにはチームリーダーの急死など、度重なる苦難を乗り越えた末、建設開始後 8年を経て今回の目標達成に至りました。

超高磁場 NMR は、構造生物学、分析化学、材料工学などの諸分野に大きく貢献することが期待されます。また、NMR は磁場発生装置の中では最も精密な性能が要求される装置であり、NMR 開発で培われた高温超伝導技術は、MRI（核磁気共鳴画像法）、核融合、リニアモーターカー、超伝導送電線などさまざまな先端機器に応用可能です。

本研究成果の一部は、2015年5月15日に Journal of Magnetic Resonance 誌に掲載されたほか、NMR 分野最大の国際会議（Experimental Nuclear Magnetic Resonance Conference、4月19-24日米国で開催）や「第57回固体 NMR・材料フォーラム（2015年5月21日開催）」において発表されました。



図 1：今回開発した 1020MHz-NMR 装置のうち超伝導磁石の部分。高さ約 5m、重さ約 15 トン。この中に高温超伝導体で作られたコイルが入っています。液体ヘリウムを使って冷却しています。

## 研究の背景

NMR は物質の分子構造、原子の結合状態や運動状態などを調べることができる分析装置です。今までに普及している NMR の代表的応用例は、医薬品や食品における分析業務やタンパク質などの有機化合物の研究開発です。現状の NMR は感度と分解能の点でまだ不十分であり、大きな改善の余地を残しています。NMR の感度と分解能が向上すれば、従来は分析困難だった複雑な構造を持つ生体物質や、無機物を含む各種材料などが詳細に分析できるようになり、優れた医薬品や革新的材料の開発につながります。NMR の感度と分解能は磁場が高ければ高いほど向上するので、磁石の性能を上げて磁場を強くすることは、感度と分解能の両方を一度に改善させることができる最も有力な方法です。

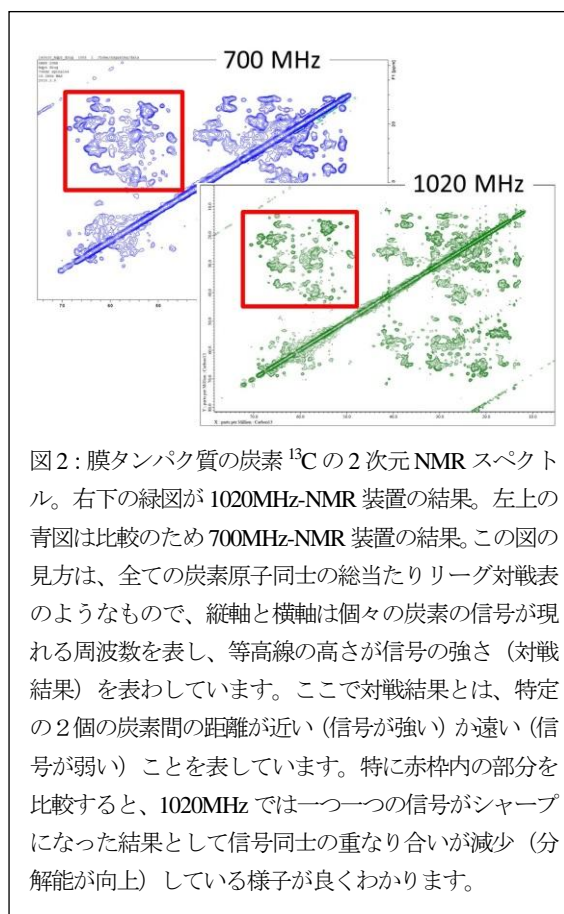
従来の NMR 磁石<sup>②</sup>は金属系超伝導体で作った線材を多層コイル構造に巻いて作られています。現在実用化されている金属系超伝導体は 2 種類あり、ニオブチタン (NbTi) という合金系の超伝導体と、ニオブ 3 スズ (Nb<sub>3</sub>Sn) という化合物系の超伝導体です。これらの金属系超伝導体は到達できる最高磁場に技術的な限界があり、900MHz を超えたあたりから限界領域に入ってきて、1000MHz が上限であると考えられています。実際、NIMS と神戸製鋼が開発した 920MHz (2001 年) と 930MHz (2004 年) およびドイツが開発した 1000MHz (2009 年) などが金属系超伝導体の限界領域に到達した開発例です。

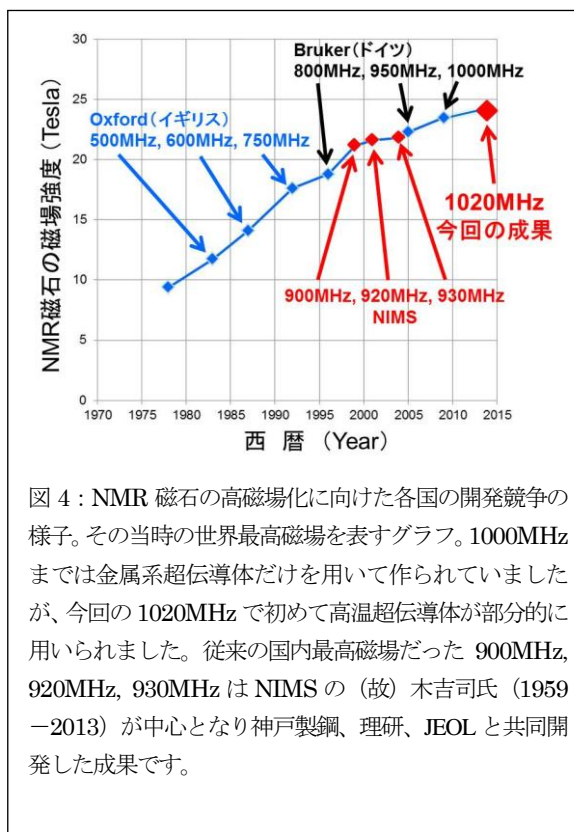
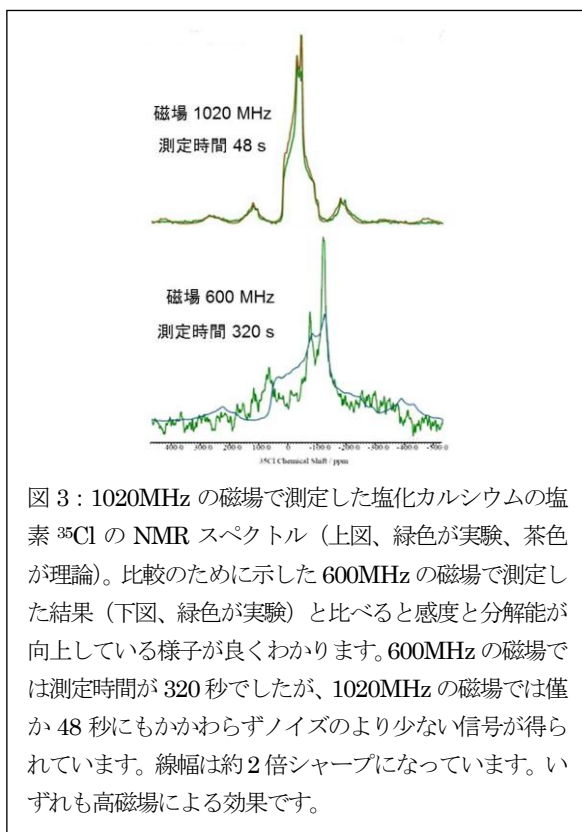
この 1000MHz という磁場限界を超えるには、金属系超伝導体に代えて、セラミックスの一種である高温超伝導体を用いることが唯一の解決方法であることが当初から分かっていました。高温超伝導体を用いれば 1500MHz も不可能ではないと考えられていますが、セラミックであるため割れやすい性質があり、また線材のつなぎ目が超伝導となる超伝導接続<sup>③</sup>の技術がなく永久電流<sup>④</sup>による運転が不可能であることなど、高温超伝導体に特有の様々な技術的困難があります。そのため高温超伝導体発見 (1986 年) から 20 年以上が経っても、NMR 磁石への応用は世界中で誰も実現できずにいました。

## 研究内容と成果

本研究チームは、割れやすい高温超伝導体を用いた NMR 磁石を実現するために、厚み約 5mm で総延長約 3km の高温超伝導線材を、直径約 10cm、長さ約 1m のコイル状に巻く特殊な巻線技術を開発しました。このコイルは永久電流による運転ができないため、常に電源から電流を流し続ける必要がありますが、NMR は磁場の変動があると測定できないので特別に安定度の高い電源と磁場安定化装置を開発しました。また、NMR は磁場が空間的に不均一だと測定できないため、高温超伝導磁石が作り出す不均一な磁場を補正して均一にする必要がありました。そこで、鉄片を使った磁場補正装置を新たに開発しました。これらの様々な新規技術と装置を開発した結果、世界で初めて高温超伝導体を用いた NMR 磁石の開発に成功しました (図 1)。そして、その磁石を用いた装置で、世界最高磁場となる 1020MHz の磁場の発生および NMR 測定に成功しました。実際にたんぱく質と無機物を測定したデータから、1020MHz-NMR 装置は従来装置よりも性能が向上していることが確認できました。(図 2-3)

今回用いた高温超伝導線材は、ビスマス (Bi) 系超伝導体の一種である Bi2223 と呼ばれる超伝導線です。Bi 系超伝導体は NIMS の (故) 前田弘氏 (1936-2014) が世界に先駆けて 1988 年に開発した高温超伝導体の一種です。その後、様々な改良が繰り返され、電流密度はこの 20 年間で 10 倍以上向上してきました。今日では住友電気工業株式会社が製品化に成功しています。今まで高温超伝導体は広く普及するには至っていませんでしたが、今回の成功により NMR の高磁場化に応用できる道が切り拓かれたこととなります。





## 今後の展開

今後、高磁場 NMR は、従来のようなタンパク質や有機化学の枠にとらわれず、無機物も含む材料科学全般への展開など新しい役割が期待されており、日米欧が開発競争をしています (図 4)。すでに欧州では 1200MHz-NMR の開発プロジェクトが始動しているとアナウンスされています。また米国でも、1200MHz 級の次世代 NMR 開発の提案が全米科学アカデミーから政府に対して答申されています。

我が国では 1200MHz 級 NMR の開発はまだ計画立案段階ですが、現在日本は二つの点で優位に立っています。一つ目は、高温超伝導線材の性能と実績において日本企業が最も優れていることであり、二つ目は日本だけが高温超伝導体を用いた NMR 磁石を実際に開発した経験を持つことです。これらの優位性を活かし発展させるための次期計画を立案中です。

また、高温超伝導体に期待されているニーズは、必ずしも高磁場化だけではなくて、磁石の小型化や超大口径磁石の実現等々、多様化したユーザーニーズに幅広く応えられることにも大きい価値があります。今後は、高温超伝導体を用いた多様な NMR 磁石や MRI 磁石の開発が加速すると考えられます。

## 掲載論文

題目 : Achievement of 1020 MHz NMR

著者 : Kenjiro Hashi, Shinobu Ohki, Shinji Matsumoto, Gen Nishijima, Atsushi Goto, Kenzo Deguchi, Kazuhiko Yamada, Takashi Noguchi, Shuji Sakai, Masato Takahashi, Yoshinori Yanagisawa, Seiya Iguchi, Toshio Yamazaki, Hideaki Maeda, Ryoji Tanaka, Takahiro Nemoto, Hiroto Suematsu, Takashi Miki, Kazuyoshi Saito, Tadashi Shimizu

雑誌 : Journal of Magnetic Resonance (DOI:10.1016/j.jmr.2015.04.009)

掲載日時 : 2015 年 5 月 15 日 (現地時間)

※ 世界最高磁場：1020MHz（24.0テスラ） 2015年4月17日時点

### 用語解説

- (1) NMR（核磁気共鳴）：分析装置の一種。原子核が持つ磁気的エネルギーを利用して物質や分子の構造を原子レベルで調べることができる。原子核の磁気的エネルギーは、磁石から加える磁場の強さに比例して大きくなり、比例係数は原子核の種類によって予め決まっている。NMRはその磁気的エネルギーを高周波（電磁波）に変換して観測する。高周波の周波数と磁石の磁場強度が比例関係にあるため、NMRでは磁場の強さを水素核のNMR信号が見える周波数で表現する習慣がある。今回の場合は磁石の磁場強度は24Tに固定されていて、その磁場値に対応した水素核の周波数が1020MHzとなる。
- (2) NMR磁石：超伝導線を多層巻きして作ったコイルに電流を流して、中心位置に強い磁場を発生させるための装置。超伝導を維持するために液体ヘリウムを用いて極低温に冷やし続ける必要がある。他の磁石と比べ、磁場の安定度と均一度が特別に良い。
- (3) 超伝導接続：2本の超伝導線を連結した際に、つなぎ目部分も超伝導である場合に、そのつなぎ目部分を超伝導接続と呼ぶ。1個のNMR磁石を作るには数本の超伝導線を連結する必要があるため、超伝導接続で連結できれば磁石全体が完全に超伝導状態になる。
- (4) 永久電流：超伝導体は電気抵抗がゼロなので、超伝導状態のコイルに電流を流すと、その電流は減衰すること無く永久に流れ続ける。それを永久電流と呼ぶ。通常のNMR磁石やMRI磁石は永久電流によって運転されている。

### 本件に関するお問い合わせ先

（研究内容に関すること）

清水 禎（しみずただし）

国立研究開発法人物質・材料研究機構 中核機能部門 強磁場ステーション長

E-mail：shimizu.tadashi@nims.go.jp

TEL：029-863-5509

前田 秀明（まえだひであき）

国立研究開発法人理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター

構造・合成生物学部門 NMR 施設長

E-mail：maeda@jota.gsc.riken.go.jp

TEL：045-503-9267（内線：8029 または 3612）

斉藤 一功（さいとうかずよし）

株式会社神戸製鋼所 電子技術研究所 超電導研究室長

E-mail：saito.kazuyoshi@kobelco.com

TEL：078-992-5652

田中 良二（たなか りょうじ）

株式会社 JEOL RESONANCE 技術部 エキスパート

E-mail：rtanaka@jeol.co.jp

TEL：042-542-2236

(報道・広報に関すること)

国立研究開発法人物質・材料研究機構 企画部門 広報室  
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1  
E-mail : [pressrelease@ml.nims.go.jp](mailto:pressrelease@ml.nims.go.jp)  
TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

国立研究開発法人理化学研究所 広報室 報道担当  
E-mail : [ex-press@riken.jp](mailto:ex-press@riken.jp)  
TEL : 048-467-9272

株式会社神戸製鋼所 秘書広報部  
吉川賢 (よしかわけん)  
E-mail : [yoshikawa.ken@kobelco.com](mailto:yoshikawa.ken@kobelco.com)  
TEL: 03-5739-6010

日本電子株式会社 取締役兼執行役員 経営戦略室長  
大井泉 (おおい いずみ)  
E-mail : [oi@jeol.co.jp](mailto:oi@jeol.co.jp)  
TEL: 042-542-2144

国立研究開発法人科学技術振興機構 広報課  
E-mail : [jstkoho@jst.go.jp](mailto:jstkoho@jst.go.jp)  
TEL : 03-5214-8404

(JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムに関すること)  
国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)  
産学連携展開部 先端計測グループ  
E-mail : [sentan@jst.go.jp](mailto:sentan@jst.go.jp)  
TEL: 03-3512-3529