

---

**東北大学 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター**  
**High Field Laboratory for Superconducting Materials, IMR, Tohoku University**

---

(1) スタッフ

センター長・教授: 渡辺和雄  
准教授: 木村尚次郎、淡路 智  
助教: 高橋弘紀、小黒英俊  
技術職員: 佐々木嘉信、伏見和樹  
秘書2名、学生: 博士課程2名、修士課程4名、学部2名

(2) センターの簡単な紹介

強磁場超伝導材料研究センター(以下強磁場センター)では、30 Tハイブリッドマグネットをはじめとし、28 T無冷媒ハイブリッドマグネット、18/20 T超伝導マグネットを含む3台の超伝導マグネット、20 T無冷媒超伝導マグネットを含む8台の無冷媒超伝導マグネットなど、それぞれ特徴を有する強磁場マグネット群を用いて、強磁場を用いた物性研究、超伝導材料研究、磁気科学等の幅広い研究分野をカバーしています。これらの装置は全国共同利用設備として開放され、日本国内だけでなく海外の研究者が自由に利用でき、約80を越えるグループが現在登録されています。強磁場センターの職員は、以下に述べるようなオリジナルな研究を実施しつつ、上記マグネットの維持管理から、共同利用研究を推進する役目も担っています。一方で、東北大学工学研究科応用物理専攻の協力講座として、総勢9名の学生を抱える研究室としての一面も有しています。強磁場センターが実施している研究は、大きく分けて以下の4つに分類されます。

(a) 強磁場マグネット開発(淡路、小黒、高橋)

強磁場センターでもっとも重要な強磁場発生装置としてのマグネット開発を行っています。中心となるのは、高強度 Nb<sub>3</sub>Sn 線材・導体、高温超伝導線材開発に基づいた無冷媒超伝導マグネット開発ですが、ハイブリッドマグネットに用いる大電力水冷銅マグネット開発も行っています。装置の欄に述べるような独創的なマグネット開発を行うと共に、電磁力対策・安定性・クエンチ対策などのマグネット技術としての基礎的な技術開発も実施しています。

(b) 超伝導材料開発(淡路、小黒)

高強度 Nb<sub>3</sub>Sn 線材開発、高温超伝導線材特性評価として、強磁場マグネット開発に必要な、線材の機械特性、臨界電流特性を中心とした物性研究を実施しています。必要に応じて、SPring8の放射光やJ-PARC及び原子力機構の中性子を用いたひずみ評価も行い、超伝導線材における基本的な物性機構解明にまで踏み込んだ研究を行っています。これらの超伝導材料研究は、a) のマグネット技術との連携により、超伝導マグネット開発の両輪をなします。

(c) 強磁場物性研究(木村、高橋)

光を中心とした強磁場・極低温を用いた物性研究を実施しています。フラストレーション系、強相関係、マルチフェロイックなど、広い意味の磁性体を対象に、可視光、ラマン分光、電子スピン共鳴(ESR)などを駆使しての磁場誘起現象を明らかにします。

また、強磁場・極低温研究として、28 T無冷媒ハイブリッドマグネットと希釈冷凍機を組み合わせた研究も行っています。2次元電子系の分数量子ホール効果や、強相関物質の低温物性研究など、東北大極低温科学センターと協力して実施しています。

(d) 磁気科学(木村、高橋)

磁場中の結晶成長や状態図などの研究を実施しています。磁性が関連する材料は、磁場中で状態図が大きく変化したり、結晶成長機構が変化します。これらの現象は主に、自由エネルギーにゼーマンエネルギーが寄与すること、さらには材料中の拡散反応によって大まかには理解できます。この現象を用いて、新しい材料合成方法を確立すべく、磁場中電気炉、磁場中示差熱分析、磁場中X線回折、高温磁化測定装置等を駆使しながら研究を推進しています。現在対象としている材料は、炭素鋼・アモルファス材料・磁気冷凍物質・磁性材料などです。さら

に、20 Tを越える強磁場中では、大きな磁場勾配を用いて水やガラスなどの反磁性物質を磁気浮上させた微小重力環境をもちいた材料開発研究も実施しています。

### (3) 特徴ある装置と最近のトピックス

強磁場センターには、紹介欄に述べたように多くの強磁場マグネットがあり、それぞれの特徴を生かした計測装置があります。例えば、磁化測定や電気抵抗などの基本測定は、ほとんどのマグネットが可能ですし、極低温や高温環境も整備され、30 mKから1200°Cまでの広い温度領域をカバーしています。また、独創的な装置としては5 T スプリット型無冷媒超伝導マグネットと組合わせた強磁場 X線回折装置があります。本装置は4 Kから700 Kまでの広い温度範囲かつ、5 Tまでの磁場中で粉末 X線回折測定が可能となっています。これらの装置及びマグネットの多くはセンターで開発してきたものですが、すべてを紹介するには紙面が足りませんので、最近のトピックスとして28T無冷媒ハイブリッドマグネットと20 T無冷媒超伝導マグネットを以下に紹介します。

#### (a) 28 T 無冷媒ハイブリッドマグネット

高強度Nb<sub>3</sub>Sn線材を用いた360 mm室温ボアの9 T大口径無冷媒超伝導マグネットと、8 MW-19 T大電力水冷銅マグネットを組み合わせ、28 Tを32 mmの室温空間に発生させます。無冷媒超伝導マグネットは、超伝導コイルを小型冷凍機を用いて熱伝導で冷却するタイプのマグネットです。液体寒剤を必要としない最近普及した超伝導マグネットです。本装置は、4台の4 K-GM冷凍機を用いて冷却され、2個の外層NbTiコイルと2個の内層CuNbTi/Nb<sub>3</sub>Snコイルから構成されています。写真中央の青色が本マグネット、奥には30 Tハイブリッドマグネットも写っています。写真手前に見える赤茶色枠のラックは、希釈冷凍機のカスタムガスハンドリングシステムです。希釈冷凍機との組み合わせにより、28 Tまでの強磁場で、30 mKまでの極低温環境の実験が可能となっています。最近の、高移動度を有するMgZnO/ZnO薄膜を用いた分数量子ホール効果の実験では、1/3の分数量子状態の観測に成功しました。



図1 HM室の様子。中心の青い装置が28 T無冷媒ハイブリッドマグネット、奥の銀色は30 Tハイブリッドマグネット。手前左の赤茶色枠ラックは希釈冷凍機のカスタムガスハンドリングシステム。

#### (b) 20 T 無冷媒超伝導マグネット

20 T無冷媒超伝導マグネットは、NbTi、高強度CuNbTi/Nb<sub>3</sub>Sn、銀シースBi2223の3種類のコイルで形成され、それぞれ独立な電源で運転されます。特に、高温超伝導マグネットを用いた実用超伝導マグネットとしては世界初と言えます。2002年に、本マグネットは18 T無冷媒超伝導マグネットとして開発されましたが、2013年に性能と強度の向上した新しいBi2223線材コイルへ置き換えることでアップグレードし、20 Tの磁場発生に成功しました。このマグネットは52 mmの室温ボアを有し、強磁場電気炉や強磁場示差熱分析と組み合わせられ、磁場中材料合成に用いられる他、磁化測定やNMRなどの物性研究にも利用されようとしています。

ヘリウムの枯渇問題が深刻化しつつある昨今、液体ヘリウムを必要としない無冷媒超伝導マグネットは、改めてその価値が見直されています。強磁場センターではこの独創的な無冷媒超伝導マグネット技術と、強磁場用超伝導材料開発・評価を通じて、より高度な強磁場マグネット開発を推進しています。将来的には、上記のマグネット開発に加えて30 T無冷媒超伝導マグネットや50 T無冷媒ハイブリッドマグネットなどへの展開について、物材機構や東大物性研・阪大極限などと連携をとりながら、日本の定常強磁場分野の発展に寄与していく予定です。

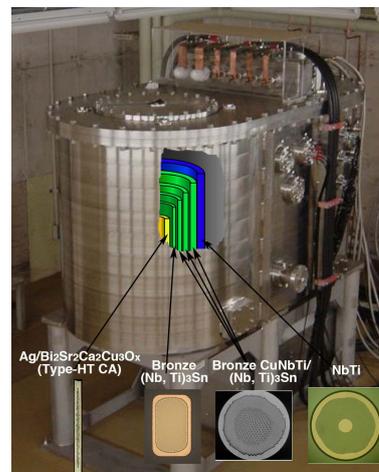


図2 20 T無冷媒超伝導マグネットの写真と内部イメージ。下方の写真は、用いた線材の断面。

### (4) 連絡先、ホームページアドレス等

〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1

東北大学 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター  
淡路 智

<http://www.hflsm.imr.tohoku.ac.jp/>