物性研究所における非破壊パルスマグネットを用いた研究の現状

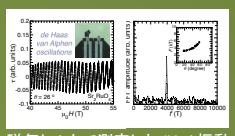
東京大学物性研究所 国際超強磁場科学研究施設
金道浩一、徳永将史、近藤晃弘、三宅厚志、小濱芳允、川口孝志、松尾晶、
坂井義和、大矢孝一、赤木暢、木原工、岩浅歩、望月健生、河智史朗、秋葉和人、渋谷純平

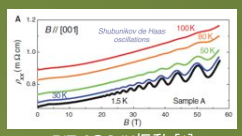
東京大学物性研究所の非破壊パルスマグネットによる磁場発生およびパルス強磁場下での物性測定技術の進展を概観し、
その中から元素戦略プロジェクトへの応用も期待されるイメージングおよび磁気熱量効果の測定について紹介する

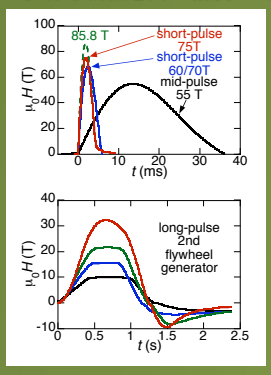
Field Generation & Experimental Techniques

磁場発生
- パルスマグネット用に開発された高強度・高電気伝導度の銅銀線を使用
- 単一コイルとして世界最高の85.8Tの磁場発生に成功
- 用途に応じて3種類のパルス幅のマグネット（short/mid/long）

物性測定
- 磁化、磁気抵抗（直流／交流）、電気分極、トルク、磁歪、表面インピーダンス、光学スペクトル、磁気熱量効果・比熱、偏光顕微鏡観察、X線回折（@Spring-B or KEK）、etc…
- 多様な物性を高い精度で測定可能


磁気トルクで測定したdHvA振動

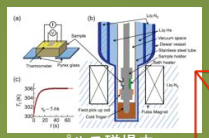

BiTeIのSdH振動 [1]



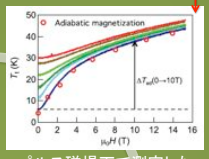
物性研究所の主な非破壊パルスマグネット

magnet type	Bmax	duration
Short-pulse (Capacitor Bank: CB)	75 T 60 T	4 ms 4–8 ms
Mid-pulse (CB)	55 T 70 T	36 ms 36 ms
Long-pulse (Flywheel: FW)	36 T 60 T	1000 ms 1000 ms
Multistage (CB+CB)	87.7 T 100 T	1 ms 1 ms?

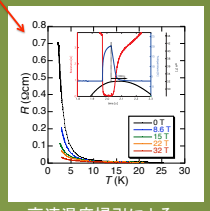
黄色は計画中

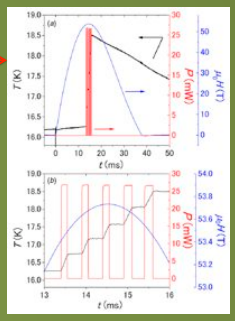

パルス磁場中
高速熱測定系の模式図 [2]

様々な発展



パルス磁場下で測定した
$Gd_3Ga_5O_{12}$の磁気熱量効果 [2]


高速温度掃引による
パルス磁場下の抵抗測定 [3]

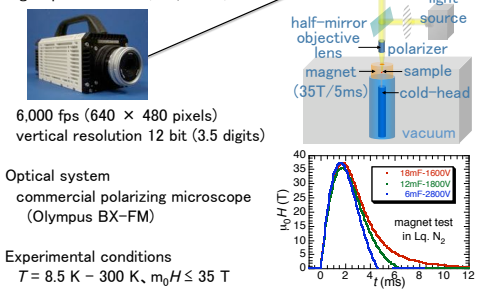

パルス強磁場下の比熱測定 [4]

Imaging system

パルス強磁場 ＋（偏光）顕微鏡 ＋ ハイスピードカメラ
→ 強磁場下の世界を可視化
画像強度は12bitのデジタル信号で記録 ・・・ 定量的解析可能
観測例
- 光学的手法による磁性ガーネットの局所磁化測定（～10μm角）
- 鉄系超伝導体簿物質における軌道秩序の磁場融解
- メタ磁性形状記憶合金における磁場誘起構造相転移

＋磁気光学インジケータ → 磁区・電流分布の可視化も可能（弱磁場のみ）

高速イメージングのセットアップ [5]



Magnetocaloric effects

パルス磁場による高速磁場掃引・・・断熱条件の実現に有効
＋ 高速温度計測 → 磁気熱量効果の高精度測定

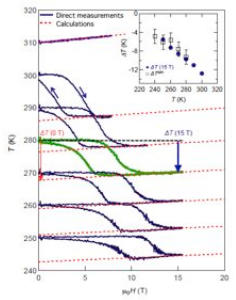
磁気熱量効果を用いた磁気冷却
- ガスの圧縮・膨張システムより高効率
- エアコン、冷蔵庫、水素の分離、・・・への応用可

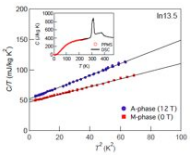
大きな効果を得るには大きなスピンエントロピーS_Mが必要

$$S_M = R\ln(2J+1)$$

モーメントJの大きい磁性体：希土類
多自由度結合によるスピン系を超えた巨大磁気熱量効果の実現へ

メタ磁性形状記憶合金における負の磁気熱量効果の観測 [7]

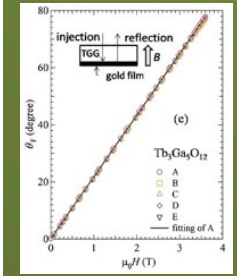




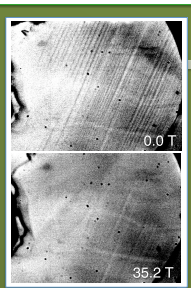
各エントロピーの寄与
S_{mag} = −29 J/kgK
S_{lat} = 51 J/kgK
S_{ele} = 1.2 kJ/kgK
∴格子系が支配的

NiCoMnIn系ホイスラー合金
（低温）常磁性単斜晶→（高温）強磁性正方晶
で巨大な負の磁気熱量効果
希土類フリーの磁気熱量物質

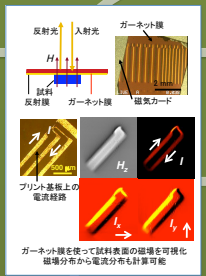
パルス強磁場下で磁気熱量効果を直接測定
強磁場下の比熱測定と合わせて各エントロピーを算定



光学的手法による磁性ガーネットの
局所磁化測定



鉄系超伝導体簿物質における
軌道秩序の磁場融解



磁気光学イメージング法による
磁化／電流分布の可視化（弱磁場のみ）

<references>
[1] H. Murakawa *et al.*, Science 342, 1490 (2013).
[2] T. Kihara *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 84, 074901 (2013).
[3] K. Mochizuki *et al.*, unpublished.
[4] Y. Kohama *et al.*, Meas. Sci. Technol. 24, 115005 (2013).
[5] I. Katakura *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 81, 043701 (2010).
[6] M. Tokunaga *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 81, 063703 (2012).
[7] T. Kihara *et al.*, Submitted.