

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20540335
 研究課題名（和文） パルス強磁場下交流比熱測定装置開発とスピン系高速緩和・過渡現象の直接観測
 研究課題名（英文） Development of AC calorimetry under pulsed high magnetic field and direct observation of transient phenomena in spin system
 研究代表者
 稲垣 祐次（INAGAKI YUJI）
 九州大学・工学研究院・助教
 研究者番号 10335458

研究成果の概要（和文）：パルスマグネットを用いた高速磁場掃引下における交流比熱測定プローブの開発を行い、数キロヘルツの最高交流周波数を達成した。これにより定常磁場では到達不可能である40テスラ以上の強磁場領域にわたって磁場の関数として連続的な比熱の観測が可能となる。本研究によって確立された測定手法は今後の強磁場物性研究においてスタンダードな手法として用いられ、更なる成果が得られるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：We have succeeded in observing the specific heat under pulsed high magnetic field up to 40 T, which is not reached using the steady magnet, by developing the newly designed AC calorimeter. This provides new research field in high magnetic field region.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：強磁場、比熱

1. 研究開始当初の背景

パルスマグネットによって作り出される超強磁場領域では、観測時間の制限から測定可能な物理量が限定される。実際、現在までに行われている測定は、磁化、電気抵抗、ESRなどが主で、熱量に関する測定例は極めて少ない。

物性研究の立場から言えば、上記に加え、エントロピー、相転移に関する情報が得られれば、更なる物性の発展、新奇物性の開拓が加速されるものと期待される。

そこで申請者は従来からパルス磁場中物性測定、比熱測定に深く携わってきた経緯もあり、高速磁場掃引中における比熱測定技術の開発を着想した。

世界的に見ても前例のない新たな試みである。

2. 研究の目的

本研究ではパルスマグネットを用い、定常磁場では到達不可能な強磁場領域における

比熱測定を実現すべく、測定手法の開発を行うものである。

のみならず、パルス磁場の高速掃引性に着目し、時間軸を意識した緩和、過渡現象を直接観測することをも目的とし、磁場の関数として連続的に比熱を観測することを目指すものである。

3. 研究の方法

比熱測定には一般に断熱法、緩和法、交流法がある。本研究目的に即して考えれば、断熱法は測定時間の制限が絶望的に不可能である。緩和法は工夫次第で測定可能であるが、パルス磁場の波形に、ほぼ定常とみなせるフラットな領域を作り出す必要があること、加えて、1掃引で1点測定しか行えないなど、こちらも本研究には不向きである。

上述したように、本研究では磁場の関数として連続的に比熱を観測したい為、交流法を採用した。交流法では試料をオンオフで交流加熱し、オン時の温度上昇分を比熱に換算する手法である。時々刻々と変化するパルス磁場中においては、測定周波数の高周波化（即ち高磁場分解能化）が最重要課題となる。

本研究では数キロヘルツを目標とし、プローブの開発、最適化を計ると同時に、国内強磁場施設（図1）を利用しつつ、また、超低温物性測定の専門家であり、研究分担者である河江准教授と密に連携し、効率よく研究を遂行した。

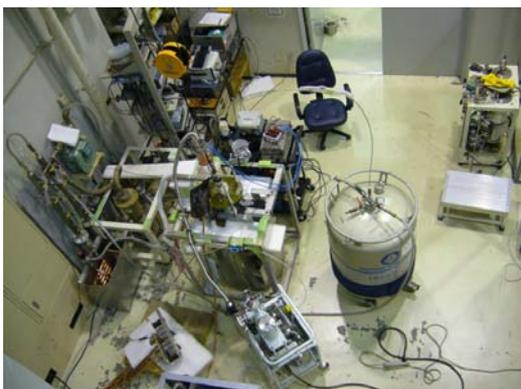


図1 パルス強磁場中交流比熱測定。東京大学物性研究所 国際超強磁場施設 金道グループ。

4. 研究成果

トライ&エラーを重ねて最終的に交流比熱測定周波数の向上に成功し、熱伝導度の高い金属系の試料の場合で数キロヘルツを達成した。これは例えばパルス幅100ミリ秒で10テスラの磁場中なら単純計算で10

00 Gauss以下の磁場分解能に相当する。

図1に実測の生データを示す。測定条件は温度4.2ケルビン、最高磁場15テスラ、パルス幅は40ミリ秒（片道20ミリ秒）で、測定試料は PrCo_2Si_2 である。

まず、磁場上昇過程と下降過程で異なる波形が得られている点に注目していただきたい。両方で大きなピークが観測されているのは磁気熱量効果によるものであるが、観測されているピーク位置が異なる。即ち、磁場上昇過程と下降過程で履歴性が観測されており、このことから相転移の性格が理解できる。

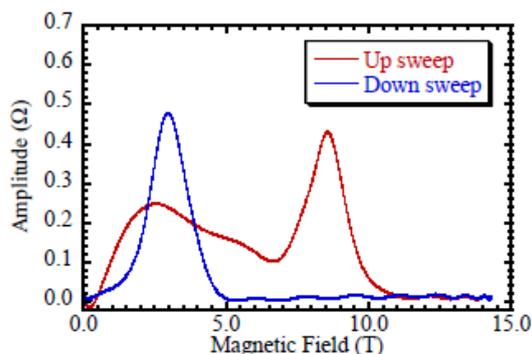


図1 15テスラパルス磁場中における交流比熱測定例。磁場上昇（赤線）、下降過程（青線）。

また、交流加熱による試料の温度変化の振幅が明確（図2インセット拡大図参照）に観測されている。交流法では、この振幅が比熱に相当する量である。図2では磁場分解能は1テスラ程度であるが、実際にはロックインアンプを用いることで、より高周波で測定を行い、振幅の変化を磁場の関数として観測することが可能である。

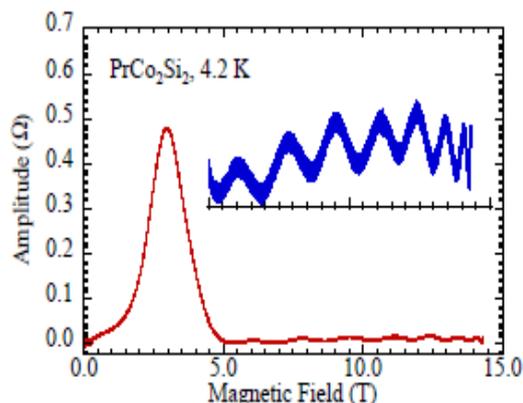


図2 パルス磁場中における交流比熱測定例。磁場上昇過程のみ。インセットは縦軸を拡大したもの。

研究期間内で当初計画した目標をほぼ達成することが出来たわけであるが、本研究で達成された測定技術により、これまで手付かずであった強磁場未踏領域におけるエントロピーや相転移に関する詳しい知見が得られることになり、事実上、今後の更なる発展、成果が期待され、強磁場物性研究に大きく貢献するものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Yoshiaki Sato, Hiroki Morodomi, Koichiro Ienaga, Yuji Inagaki, Tatsuya Kawae, Hiroyuki S. Suzuki and Takahiro Onimaru
「New phase diagram of PrPb₃ in [100] magnetic field」
J. Phys. Soc. Jpn.、査読有、79、2010、93708-937011.
- ② Hiroki MORODOMI, Koichiro IENAGA, Yuji INAGAKI, Tatsuya KAWAE, Masayuki HAGIHALA, X. G. ZHENG,
「Specific heat study of Geometrically Frustrated Magnet Clinoatacamite Cu₂Cl(OH)₃」
Journal of Physics: Conference Series、査読有、Vol.200、2010、032047-8.
- ③ Yuji Inagaki, Osamu Wada, Koichiro Ienaga, Tatsuya Kawae, Yasuo Yoshida, Takayuki Asano, Yuji Furukawa, and Yoshitami Ajiro
「Magnetic Phase Diagram of DMACuCl₃」
Journal of Physics: Conference Series、査読有、150、2009、42067-42070.
- ④ T. Kawae, K. Yaita, Y. Yoshida, Y. Inagaki, M. Ohashi, G. Oomi, K. Matsubayashi, T. Matsumoto and Y. Uwatoko
「Development of pressure cell for specific heat measurement at low temperature and high magnetic field」
Review of Scientific Instruments、査読有、80、2009、25102-25106.

[学会発表] (計3件)

- ① Yuji Inagaki, Koichiro Ienaga, Tatsuya Kawae, Akira Matsuo, Koichi Kindo
「AC Calorimetry under pulsed Magnetic Field」
The International Conference on Magnetism (ICM2009)
Karlsruhe, Germany, July 26-31, 2009.
- ② Yuji Inagaki, Osamu Wada, Koichiro Ienaga, Tatsuya Kawae, Yasuo Yoshida, Takayuki Asano, Yuji Furukawa and Yoshitami Ajiro
「Magnetic Phase Diagram of DMACuCl₃」
25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25)
Amsterdam, Netherlands, August 6-13, 2008.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 祐次 (INAGAKI YUJI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：10335458

(2) 研究分担者

河江 達也 (KAWAE TATSUYA)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30253503

(3) 連携研究者

()

研究者番号：