

準静的磁場による磁化過程における熔融超伝導バルク磁石の 温度変化と磁場特性

岡 徹雄^{*1,†}, 横山 和哉^{*2}, 藤代 博之^{*3}, 能登 宏七^{*3}

Temperature Changes and Magnetic Properties of Melt-textured Superconducting Bulk Magnets in the Magnetizing Processes using Quasi-static Magnetic Fields

Tetsuo OKA^{*1,†}, Kazuya YOKOYAMA^{*2}, Hiroyuki FUJISHIRO^{*3} and Koshichi NOTO^{*3}

Synopsis: The temperature changes and magnetic-field trapping behaviors of melt-textured, single-domain Sm-Ba-Cu-O bulk superconductors have been precisely investigated for magnetizing processes by means of quasi-static magnetic fields such as field cooling (FC) and zero field cooling (ZFC). The experiments were conducted in the temperature range of 40–80 K by simultaneously measuring both the temperature and magnetic flux density. According to the balance of heat generation and drainage, the temperature evolution profiles show distinctive behaviors of the invading and exhausting magnetic fluxes into and out of the HTS bulk magnet. The average temperature change during the FC process reached the maximum value of 4.63 K when the sweep rate was 11.3 mT/s and the initial temperature was 45.6 K. In the ZFC process, both the temperature and magnetic flux density kept increasing gradually even after the external magnetic field stopped growing at 5 T in the ascending field process. The highest temperature rise due to the flux motion reached 4.6 K even when the sample was magnetized with at sweeping rate of 11.3 mT/s. As the behavior of temperature rise was different between the ascending and descending field processes, it is suggested that the magnetic fluxes in the processes invade and diffuse under different heating characteristics.

Keywords: magnetic field, bulk superconductor, field cooling, zero field cooling, refrigerator

1. はじめに

熔融法で製造され、おもに $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ (RE は Y, Sm, Gd であり RE123 と略記される) と $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ (RE211) を主成分とする酸化物高温超伝導化合物の粗大な結晶は超伝導バルク磁石とも呼ばれ、外部から印加された磁場を捕捉するといわゆる超伝導永久磁石として機能することが知られている^{1, 2)}。この磁石が発生できる磁場は最大 16 T あるいは 17.24 T と報告されており^{3, 4)}、これらのデータはバルク磁石が磁場中でその超伝導状態に冷却された場合(磁場中冷却法、Field cooling, FC

法と略す)の性能である。これらの性能を得るためには、励磁過程の強力な磁場による破壊からバルク磁石を守るために、機械的に補強する技術が不可欠である。同時に、磁場を取り去る際にこの準静的な磁場を用いても、磁束の運動による発熱が無視できないことも報告されている^{4, 5)}。

バルク磁石を励磁する方法としてはパルス着磁法 (Pulsed field magnetization, PFM 法) があるが、磁束の激しい運動によって大きな発熱が観測され、このことが FC 法に比べて捕捉磁場性能に劣る最大の要因になっている^{6, 7)}。PFM 法による発熱はフラックスジャンプによって高速に飛び込む磁束によると報告されているが⁸⁾、磁場の振る舞いはパルス磁場を印加する前の磁場分布を強く反映するため、繰り返し着磁を行うことが有効である⁹⁾。また、その際の温度を積極的に制御することも試みられている¹⁰⁾。PFM 法に関して現在報告されている捕捉磁場性能の最高値は藤代らによる 5.2 T である。ここでは磁場侵入による発熱を巧妙に抑制する工夫がなされており、バルク磁石に反復して印加する前の磁場分布を M 字型とすることが重要であると報告している¹¹⁾。

ゼロ磁場冷却法 (Zero field cooling, ZFC 法) は PFM 法を準静的な磁場で行った場合に相当し、すでに超伝導状態にある

Received October 10, 2009

^{*1} 新潟大学

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050
Niigata University, 8050 Ikarashi-Ninocho, Nishi-ku,
Niigata 950-2181, Japan

^{*2} 足利工業大学

〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1
Ashikaga Institute of Technology,
268-1 Omae-cho, Ashikaga, Tochigi 326-8558, Japan

^{*3} 岩手大学

〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5
Iwate University, 4-3-5 Ueta, Morioka, Iwate 020-8551, Japan

† E-mail: okat@eng.niigata-u.ac.jp

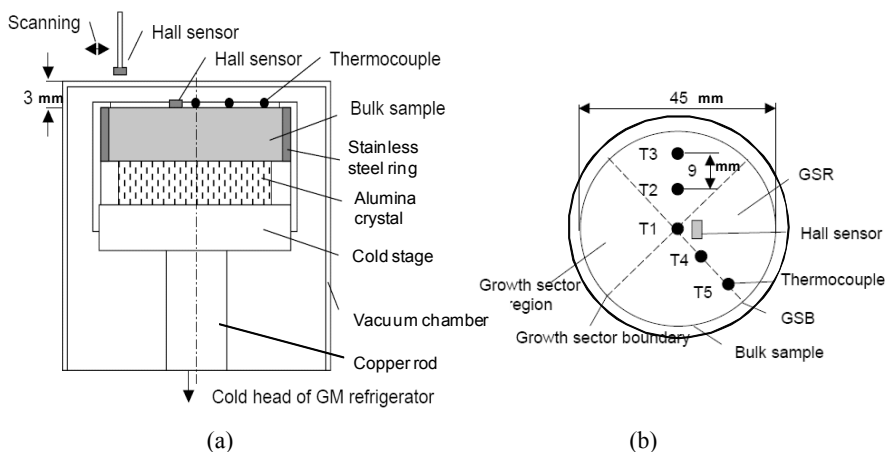


Fig. 1 Illustrations of the magnetic pole of the experimental setup containing a HTS bulk magnet (a), and the positions of the thermocouples and a Hall sensor on the bulk magnet surface (b).

バルク磁石を比較的低い磁場変化速度 (Sweep rate) で励磁する方法である。PFM 法よりもはるかに低速で侵入する磁束による試料の磁化挙動とその際の発熱を評価することができる。バルク材料の磁場捕捉をホール素子で測定する手法は多結晶ですでに確立され、臨界状態モデルによく整合することが知られていることから¹²⁾、バルク磁石表面の捕捉磁場測定と温度測定を関連づけることができる。本研究では、準静的な磁場による励磁過程での発熱と温度上昇を系統的な測定データとして総括することを目的とする。励磁法として FC 法と ZFC 法を取り上げ、それらの磁化過程を通じて、小型冷凍機を用いた極低温でのバルク磁石への磁場の侵入挙動を、温度変化と捕捉磁場の観点から実験的に評価する。

2. 実験方法

2.1 超伝導バルク磁石とその実験装置

Fig. 1 に実験装置を示す。溶融法により同和鉱業によって作成された磁気的に単一な Sm 系バルク磁石が、以下に示す FC 法と ZFC 法による励磁実験に用いられた⁵⁾。真空容器の内部に装填されたこのバルクの寸法は直径 45 mm、厚さ 15 mm である。試料はステンレス (SUS304) のリングに埋め込んで補強し、熱伝導に優れるアルミナ単結晶のブロックを介して銅のコールドステージに取り付けられた。これらは GM 冷凍機のコールドヘッドに接続されて排熱されるが、その冷凍部 (コールドヘッドと呼ぶ) には制御用の温度計とヒータが取り付けられている。ヒータは試料を磁場印加前の初期温度に調整するが、励磁中は試料の温度上昇によりその出力は止まり、励磁後は初期温度に向けて温調される。冷凍機はアイシン精機製 GR103 であり、1 kW の入力で 77 K において 15 W の冷凍出力をもつ。

バルク磁石の表面には 5 本の銅-コンスタンタン熱電対 (T1-T5 で示す) がバルク磁石表面の Fig.1 (b) に示す位置に貼付された。それらの温度は結晶成長を示す跡 (Growth sector boundary, GSB と略す) とその間の領域 (Growth sector region,

GSR) の 2 つの領域で測定された。バルク磁石に印加される磁場の変化はその表面の中心近傍に貼付したホールセンサ (F.W.Bell, BHT921) により測定された。

2.2 測定方法

FC 法の場合、バルク磁石が搭載された磁極は超伝導ソレノイド磁石のボア内部に挿入され、その常伝導状態で 5 T の磁場を印加されたまま、 T_c 以下の所定の温度まで冷却された。こののちそれぞれの磁場変化速度で磁場をゼロまで減衰したのちに、ボアの外部に取り出して磁極表面の磁束密度をホールセンサを走査して測定した。準静的な磁場の印加には直接冷却式の超伝導ソレノイド磁石 (JASTEC, JMTD-5T100) が用いられた。

ZFC 法の場合、すでに超伝導状態にあつて着磁されていないバルク磁石に対し、準静的な磁場を各々の磁場変化速度で印加していく。最大 5 T の磁場に保ったのち、同一の磁場変化速度でゼロ磁場まで減磁するプロファイルに従う。FC 法ならびに ZFC 法それぞれの場合、励磁開始の温度はコールドヘッドを 38 K、40 K、50 K、60 K のいずれかに設定した。ここではこれらを冷却温度と定義する。一方、これらの冷却温度に対し、バルク磁石の表面に設置された 5 本の熱電対の平均温度はそれぞれ 45 K、48 K、57 K、68 K である。また、磁場変化速度は 2.53 mT/s、5.06 mT/s、11.3 mT/s の中から選ばれた。

Table 1 Temperature changes at the center of the surface during FC magnetized bulk magnet

Sweep rate (mT/s)	Initial temperature (K)	Time (s)	Temperature change (K)
11.3	57.7	520	5.5
5.06	58.0	1069	3.6
2.53	57.3	2095	2.5

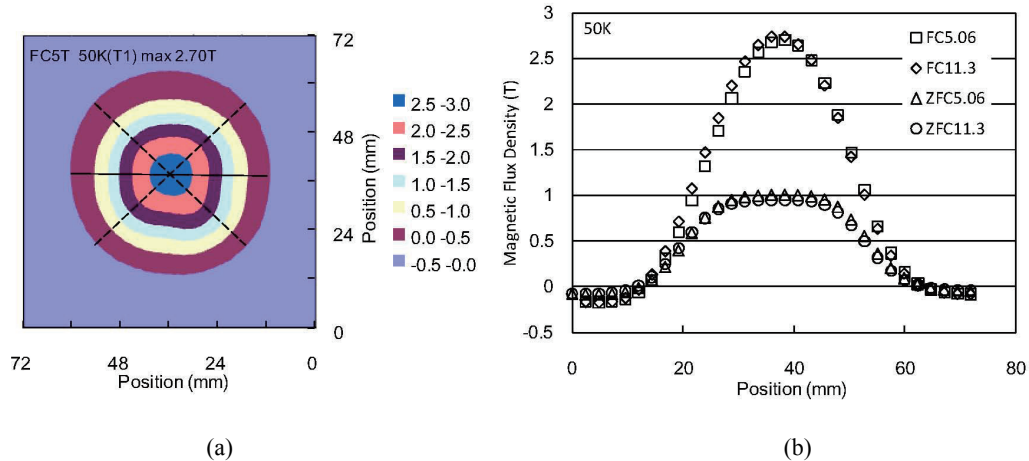


Fig. 2 Magnetic field distribution measured on the magnetic pole surface activated by the FC process (a), and a cross-section of the magnetic distribution as compared to those of ZFC (b).

3. 実験結果と考察

3.1 準静的な磁場を用いた励磁での磁場捕捉性能

Fig. 2(a)に、本実験で準静的磁場の印加によって励磁したバルク磁石の磁場分布の一例を示す。グラフは熱電対 T1 の位置で 50 K から、磁場変化速度 5.06 mT/s で 5 T まで FC 法によって励磁した後の捕捉磁場分布を、真空容器外部から測定した結果である。測定位置は容器外面から 0.5 mm、バルク磁石表面から 3.5 mm の距離にある。最大 2.70 T の磁場を発生しているが、バルク磁石に特有の同心円状の磁場分布を呈す。図中に破線で示す GSB 上の磁場分布は若干外側に張り出し、この部分での臨界電流密度 J_c が他の部分より優れていることを表している。

Fig. 2(b)に、FC 法と ZFC 法による励磁後の磁場分布を示す。それぞれの磁場変化速度を 5.06 mT/s と 11.3 mT/s とし、磁場分布の最大点を通る断面 (図中の実線) の磁場分布を表記

した。FC 法によれば、捕捉磁場分布は円錐状で、内部に誘導される電流が円形に流れる様子を示す。一方、ZFC 法では中央部分が平坦な台形になり、バルク磁石への磁場の侵入が十分でないことを伺わせる。

3.2 磁場中冷却 (FC) 法での温度と磁場の变化

Fig. 3 に、FC 法での磁場変化速度を 11.3 mT/s とし、冷却温度 38 K からのバルク磁石表面での温度変化を、Fig. 1(b) に示す位置 T1-T5 で測定した結果を示す。図にはバルク磁石の表面中央付近で測定した磁場変化を同時に示す。計測された温度は熱電対ごとに若干の分布がありその較正は完全ではないが、磁場の減衰に呼応して温度は一斉に上昇し、その際の磁束の流出に伴って大きな発熱が起こっていることを示す。温度上昇が減磁過程の当初から始まるのは、減磁開始と同時にバルクの端面から磁束が流出しだすことを表している。また、磁場変化の速度が一定であるにも関わらず、測定された減磁速度が一定でないのは、試料中央部付近での磁場変化が端面のそれに

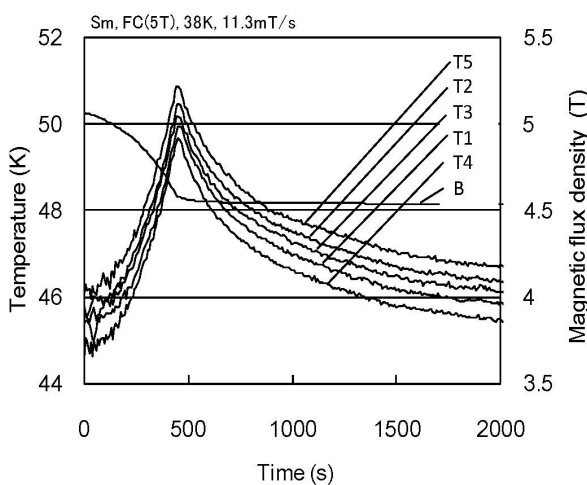


Fig. 3 Temperature changes measured on the bulk magnet sample surface (thermocouple T1) during the FC process.

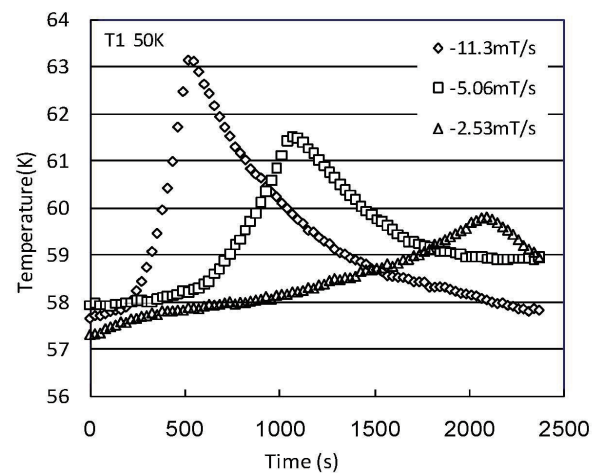


Fig. 4 Time evolutions of the temperatures at the center of the surface during the FC magnetizing process.

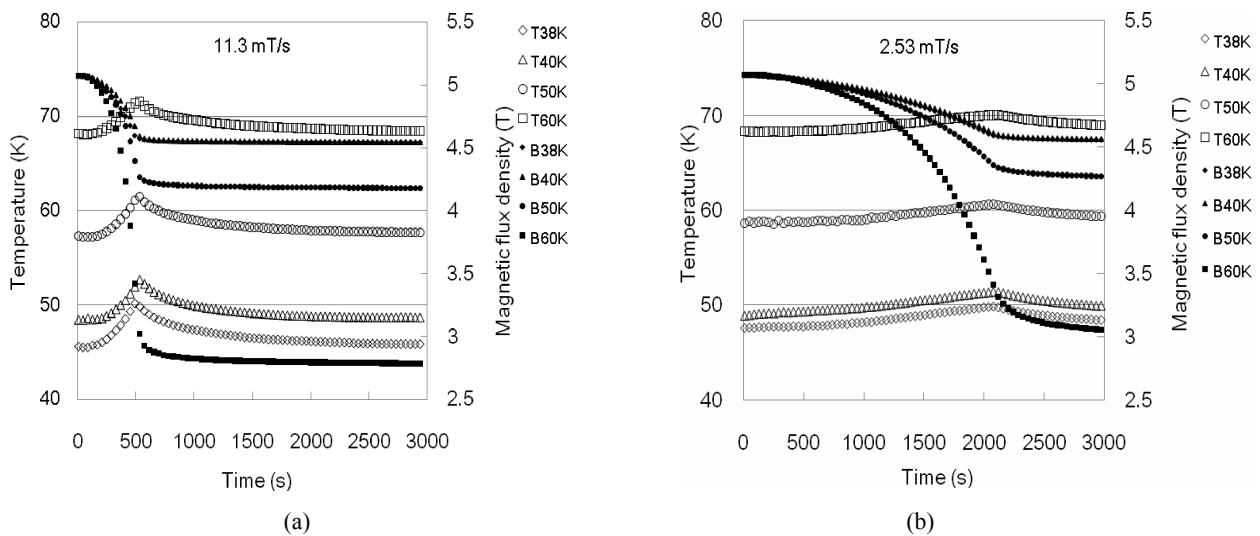


Fig. 5 Time evolutions of the average temperatures and the magnetic fields on the bulk surface by the FC process with sweep rates (a) 11.3 mT/s and (b) 2.53 mT/s.

遅れることを意味している。詳細な観察によれば、初期にその温度上昇が鈍いのは、磁束の運動による磁場変化がその減衰初期にはバルク磁石全体に及ばず、その周辺部のみの変化であることを暗示している。温度上昇が活発化する段階に至ると、試料全体で磁束が運動していることを示す。発熱はバルク磁石の周辺部から始まり、外部磁場の減少とともに試料全体に拡大するからである。磁場がゼロに到達した時点で発熱は止まって温度はピークを示すが、個々の熱電対についてそのピーク位置が同じであることは、外部磁場が停止した時点で局所的な磁束の運動がこれに呼応して止まり、ピン止め損失がゼロとなって発熱が同時に停止したためである。

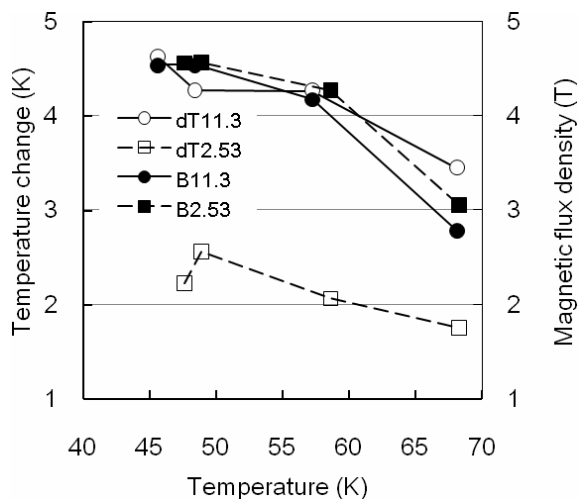


Fig. 6 The maximum values of the temperature changes and the trapped magnetic flux densities during the FC magnetizing process as a function of the sweep rates.

Fig. 4 に、バルク磁石の中心に設置した熱電対 T1 で測定した温度変化を、3 水準の磁場変化速度に関して示す。これらのデータを Table 1 に示す。このとき冷却温度は 50 K、バルク温度 T1 の初期温度は 57–58 K である。温度上昇は磁場変化速度が速いほど大きく明確なピークを示す。その温度は最大で 5.47 K になり、その 2 倍、4 倍の時間をかけてゆっくり励磁した場合の 3.58 K、2.48 K を大きく上回った。振幅の同じ磁場の印加であっても、時間当たりの投入電力は印加される時間によって変わることから、印加時間の違いから、一定の冷却能力とのバランスによって温度上昇が異なることは理解される。

Fig. 5 に 4 水準の冷却温度から行った FC 法での、5 本の熱電対の平均温度と、表面中央付近での磁束密度の時間変化を示す。Fig. 5(a) に示す磁場変化速度は 11.3 mT/s、(b) では 2.53 mT/s である。磁場の減衰過程での発熱はいずれの温度でも同様に起こり、(a) と (b) いずれも外部磁場がゼロとなる時点で温度はピークを示す。捕捉磁場は初期温度に強く依存し、低温ほど励磁後の捕捉磁場は大きい。

Fig. 6 における温度の最大値と、最終的な捕捉磁場の値を、その初期温度と磁場変化速度に対して示す。温度変化は初期

Table 2 Temperature changes (K) in the ZFC magnetizing process

Sweep rate (mT/s)	Initial temperature (K)	Temperature change (K)	Trapped field (T)
11.3	45.6	4.6	4.54
	48.4	4.7	4.54
	57.3	4.3	4.18
	68.1	3.5	2.79
2.53	47.6	2.2	4.56
	48.9	2.6	4.57
	58.6	2.1	4.27
	68.3	1.8	3.06

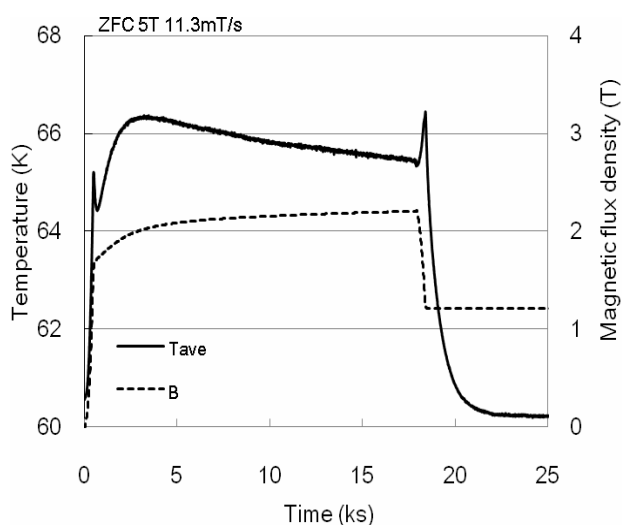


Fig. 7 Time evolution of the average temperature and the magnetic flux density measured on the bulk surface using a Hall sensor during the ZFC process.

温度に大きく依存し、低温ほど低い試料の比熱と強いピン止め力のため大きな温度上昇を示す。Fig. 2 に示すように、容器外部で測定すれば捕捉磁場に大きな違いは見られなかった。しかし Fig. 5 と Fig. 6 から、試料表面で観察すれば、60 K 以上の領域で発熱が捕捉磁場の性能に直接影響してくるようになる。

Table 2 に示すように、測定した 5 点の平均温度に関して FC 法における最大の温度上昇は、なるべく低温まで冷却し、かつ磁場変化速度が大きい場合に得られた 4.63 K である。一方、2.53 mT/s の比較的緩やかな励磁を行っても、50 K からの励磁で 2.5 K の温度上昇があることは認識しておく必要がある。

3.3 ゼロ磁場冷却 (ZFC) 法での温度と磁場の変化

Fig. 7 に、同じ試料に対して ZFC 法によって 5 T の準静的

磁場で励磁した場合の表面温度と磁束密度の時間変化を示す。グラフの横軸は ks で表記してある。コールドヘッドの冷却温度は 50 K で、このとき励磁前の 5 本の熱電対の平均温度は 60.57 K であった。磁場変化速度は 11.3 mT/s である。磁場印加の開始とともにバルク磁石の表面温度は急激に上昇し、磁束の侵入による発熱の効果を示す。外部磁場が止まると温度上昇はピークを呈する。いったん止まった温度上昇はピーク後に次第に上昇し、同時に磁束密度はクリープ現象を示してゆっくりと増加する。5T の外部磁場に曝されるが、中央付近は約 2 T であるため、試料内部への磁束侵入は継続的に起こり続ける。3 ks を過ぎると、発熱と冷却のバランスにより温度はしだいに下降に転じるが、18 ks で外部磁場が減少に転じると、磁束密度は急激に減少するとともに、試料温度は再び急上昇する。外部磁場がゼロにもどるときに温度はピークとなり、その後は初期温度に冷却される。最終的な捕捉磁場はバルク磁石中央付近で 1.21 T であった。

これらの振る舞いの詳細を磁場変化速度が 11.3 mT/s の場合について Fig. 8 に示す。Fig. 8(a) に示すように、500 s までの外部磁場の増加に伴って温度と表面の磁束密度はともに増加し、5 T に達しても、温度と同時に緩やかに上昇する。500 s で鋭いピークを示すのは、磁場侵入が停止した瞬間に、伝熱部材やバルク磁石など冷却されたすべての部分に熱が伝搬していくためであると考えられる。このことから、侵入する磁束による発熱は不均質あるいは局所的に起こっていると推察される。Fig. 8(b) に示す磁場減衰の過程では、先の FC 法と同様に磁束の流出による発熱が急激な温度上昇をおこす。同様に Fig. 9 に磁場変化速度がより緩やかな 5.06 mT/s の場合を示す。先の場合より磁場侵入が緩やかなため、5 T に達した際の温度ピークは滑らかとなる。この後に磁場のクリープ現象による侵入で温度は上昇する。Fig. 9(b) に示す減磁過程では、磁束の流出による発熱と冷凍機への排熱はバランスし、緩やかな温度低下

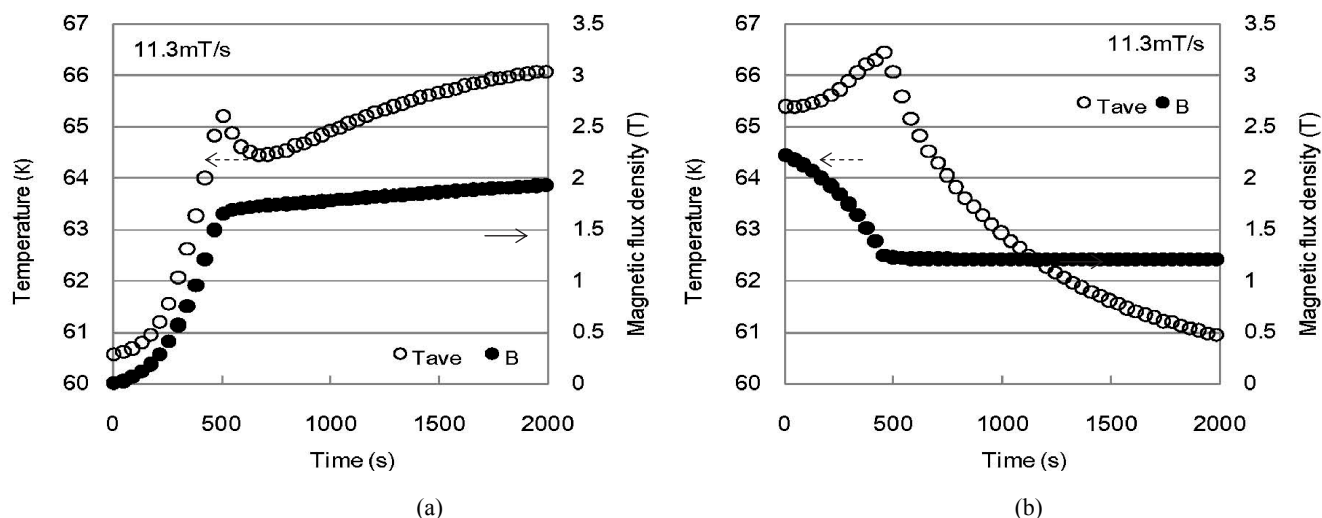


Fig. 8 Time evolutions of the average temperature and magnetic flux density during the ZFC 5 T process with a sweep rate of 11.3 mT/s in the (a) ascending and (b) descending field stages.

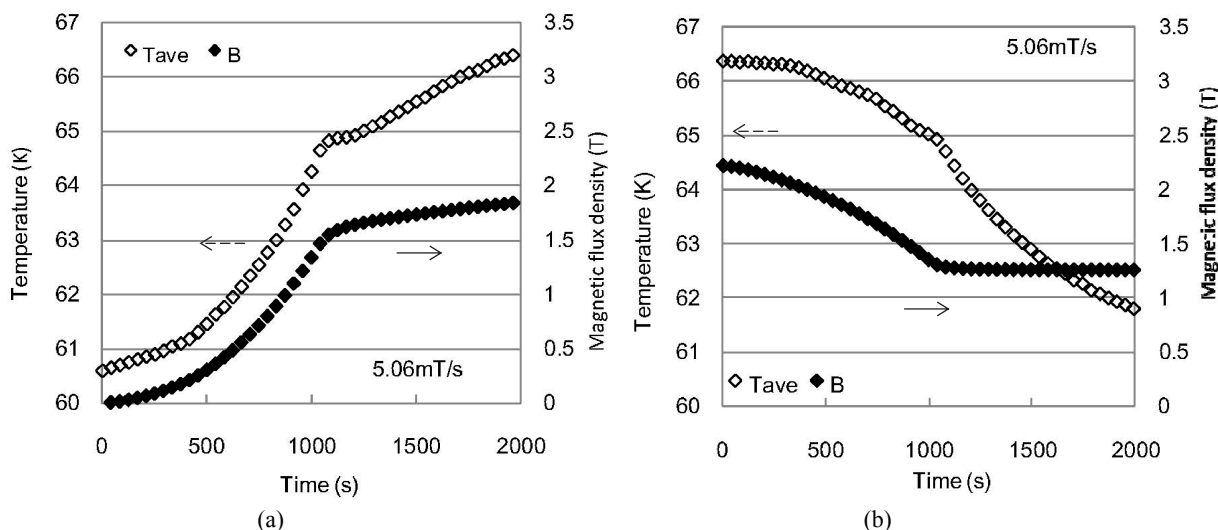


Fig. 9 Time evolutions of the average temperature and magnetic flux density during the ZFC 5 T process with a sweep rate of 5.06 mT/s in the (a) ascending and (b) descending field stages.

が続く。

これら60 K 近傍の初期温度から測定した温度変化を Fig. 10 に、そのデータを Table 3に示す。磁束クリープ段階の過程を含まず、外部磁場が変化する間だけの温度変化を、同様に50 K 近傍で実験した温度変化のデータとともに示す。増磁過程では、磁場変化速度にかかわらずに4 K 程度の温度上昇がある。いずれも磁場が5 T で停止した際の捕捉磁場はほぼ1.6 T 程度であることから、FC での減磁過程のような試料全体での磁束運動は起こらず、強く遮蔽されて、磁場分布あまり変わらないと考えられる。このことから、投入された電力量に大きな差はなく、温度上昇としては同程度となると考えられる。

これに対し、減磁過程では発熱と冷却のバランスによって温度変化は上昇と下降に分かれ、遅い減磁では排熱が支配的である。これらの結果から、磁束の侵入と流出の過程ではその振る舞いに大きな違いがあることがわかる。侵入前と流出前では4 K の温度差があるため、厳密には材料の比熱の違いを考慮する必要はあるが、冷凍機による排熱の速度はほぼ同じと考えられるから、磁束が侵入する際の発熱は大きく、流出時は小さいと言える。GSB と GSR における J_c の相違がこの点に影響すると推察できることから、5か所の熱電対による温度計測結果には、より詳細な分析が必要である。今後は磁束の侵入と流出で発熱の振る舞いが異なる点を中心にその現象を評価していくことで、準静

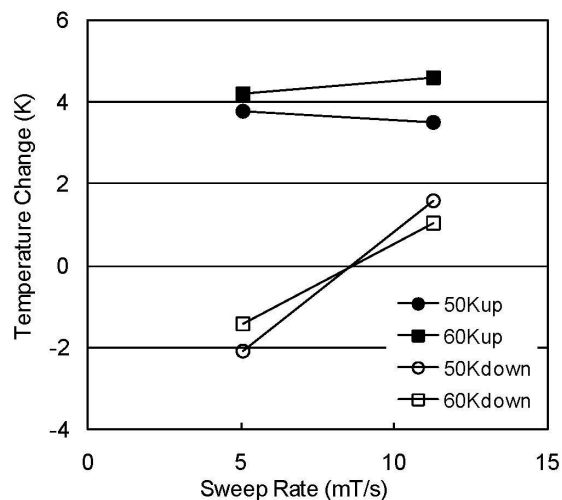


Fig. 10 The sweep-rate dependence of the temperature changes during the ZFC magnetizing process.

的な磁場の印加における磁束の振る舞いの全貌を明らかにしていく。これらのデータ蓄積によって、より簡便な着磁法としてのPFM に知見を生かし、より強力な磁場捕捉を目指すことができると考える。

4. 結論

溶融法による大型のSm系バルク磁石を冷凍機を用いて極低温に冷却し、これにFC法ならびにZFC法による励磁を行い、その温度変化と磁場捕捉の巨視的な振る舞いを、系統的な実験により評価した。初期温度45.6 Kから11.3 mT/sの磁場変化速度で、5 TのFC法によって励磁した場合、最大4.63 Kの温度上昇があったが、一方、2.56 mT/sの低速での励磁でも47.6 Kで2.23 Kの温度上昇があり、準静的磁場による

Table 3 Temperature changes (K) in ZFC magnetizing process

Sweep rate (mT/s)	Initial temperature (K)	Direction	
		H up	H down
11.3	50.7	3.5	1.6
	60.6	4.6	1.1
5.06	50.5	3.8	-2.1
	60.7	4.2	-1.4

励磁でも温度上昇は無視できないことを示した。5 T で磁場増加が止まっても、磁束はクリープ現象を呈して試料内部に侵入し、この発熱が明確に観測された。FC 法と同様に ZFC 法においても、試料の温度変化は磁束の侵入による発熱と冷凍機による排熱のバランスによって支配されるが、発熱は試料内で不均質に起こっていることを示した。ZFC による60 K からの励磁では、磁束の侵入と流出の過程で磁束の挙動は相違した。

参 考 文 献

- 1) S. Wipf and H. Laquer: "Superconducting permanent magnet", IEEE Trans. Magn. **25** (1989) 1877-1880
- 2) R. Weinstein, In-Gann Chen, J. Liu and K. Lau: "Permanent magnets composed of high temperature superconductors", J. Appl. Phys. **70** (1991) 6501-6503
- 3) S. Gruss, G. Fuchs, G. Krabbes, P. Verges, G. Stover, K. Muller, J. Fink and L. Schultz: "Superconducting bulk magnets: Very high trapped fields and cracking", Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 3131-3133
- 4) M. Tomita and M. Murakami: "High-temperature superconductor bulk magnets that can trap magnetic fields of over 17 tesla at 29 K", Nature, **421** (2003) 517-520
- 5) T. Oka, K. Yokoyama, M. Kaneyama, H. Fujishiro and K. Noto: "Temperature changes in a melt-processed YBCO superconductor activated by field cooling magnetizing process", Physica C **426-431** (2005) 794-799
- 6) Y. Itoh and U. Mizutani: "Pulsed field magnetization of melt-processed Y-Ba-Cu-O superconducting bulk magnet", Jpn. J. Appl. Phys. **35** (1996) 2114-2125
- 7) H. Ikuta, H. Ishihara, T. Hosokawa, Y. Yanagi, Y. Ito, M. Yoshikawa, T. Oka and U. Mizutani: "Pulse field magnetization of melt-processed Sm-Ba-Cu-O", Supercond. Sci. Technol. **13** (2000) 846-849
- 8) X. Chaud, E. Haanappel, J. G. Noudem and D. Horvath: "Trapped field of YBCO single-domain samples using pulse magnetization from 77 K to 20 K", 8th European Conference on Applied Superconductivity, J. Phys.: Conf. Ser. **97** (2008) 012047
- 9) U. Mizutani, T. Oka, Y. Ito, Y. Yanagi, M. Yoshikawa and H. Ikuta, "Low temperature pulsed field magnetization of trapped field magnets and their applications", TEION KOGAKU **34** (1999) 654-661 (in Japanese)
水谷宇一郎、岡 徹雄、伊藤佳孝、柳 陽介、吉川雅章、生田博志:「捕捉磁場マグネットの低温パルス着磁とその応用」、低温工学 **34** (1999) 654-661
- 10) M. Sander, U. Sutter, R. Koch and M. Klaser: "Pulsed magnetization of HTS bulk parts at T<77K", Supercond. Sci. Technol. **13** (2000) 841-845

- 11) H. Fujishiro, T. Tateiwa, A. Fujiwara, T. Oka and H. Hayashi: "Record-high trapped magnetic field by pulse field magnetization using GdBaCuO bulk superconductor", Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L1221-L1224
- 12) T. Kisu, K. Enpuku, K. Yoshida, M. Takeo and K. Yamafuji: "Spatial distribution of trapped magnetic flux in the high- T_c Superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. II. Comparison with the Critical State Model", Jpn. J. Appl. Phys. **27** (1988) L1287-L1289

岡 徹 雄



昭和30年12月3日生。昭和54年京都大学工学部金属加工学科卒業。同年アイシン精機(株)に勤務。機能材料ならびに超伝導材料開発に従事。平成18年より新潟大学工学部附属工学力教育センターに勤務。専門は超伝導材料とその応用研究。低温工学協会、日本機械学会、日本金属学会、電気学会会員。博士(工学)。

横 山 和 哉

昭和46年1月17日生。平成11年新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。新潟大学大学院自然科学研究科助手、平成13年(財)いわて産業振興センター・地域結集研究員、平成16年(財)物質・材料研究機構・特別研究員を経て、平成17年足利工業大学・講師、平成21年同准教授。主として高温超伝導バルク材の着磁および応用に関する研究に従事。低温工学協会会員、電気学会会員。博士(工学)。

藤 代 博 之

昭和60年東北大学大学院工学研究科博士課程後期電子工学専攻修了。同年(財)半導体研究振興会研究員。平成元年九州工業大学情報工学部助手。平成3年岩手大学工学部助手。平成5年同助教授。平成18年同教授。専門は超伝導材料学、応用物理学。工学博士。

能 登 宏 七

昭和12年10月26日生。昭和35年富山大学文理学部卒業。昭和37年東北大学大学院理学研究科修了。同年東北大学金属材料研究所助手。昭和48年同助教授。昭和56年日米共同研究派遣研究員。平成元年岩手大学工学部教授。平成11年岩手県地域結集型共同研究事業の研究統括。平成12年より低温工学会長。平成15年岩手大学名誉教授、現在に至る。専門は超伝導材料開発など。受賞は平成3年度大山記念論文賞など。理学博士。