

歪みゲージを用いた様々な材料の低温熱収縮測定

20215002 藤代・内藤研究室 青木亮汰

1.はじめに

REBaCuO (RE:希土類元素) 超電導バルクは 17 T を超える捕捉磁場を達成していることから、強力な磁場発生源として超電導リニアやフライホイールへの応用が期待されている。しかし、REBaCuO 超電導バルクは脆性材料で破壊強度が約 50MPa と低く、捕捉磁場の増大により内部を流れる誘導電流との相互作用に伴うローレンツ力によってバルクの破壊が生じる。REBaCuO 超電導バルクを破壊から防ぐための補強法として金属リングを用いた外部補強がある。超電導バルクの周りを金属リングで囲み、冷却時に金属リングから加わる圧縮応力によって超電導バルクの破壊を防ぐ補強法である。この補強効果を検証するためには冷却時に超電導バルク及び金属リングにかかる応力の測定が必要である。

超電導バルクへの応力により生じる歪みを測定する方法として歪みゲージがある。歪みゲージは試料の伸縮を電気抵抗の変化として示すセンサーで試料に接着して使用する。取扱いが比較的容易な測定方法である一方、抵抗箔の電気抵抗の温度依存性に個体差があることから誤差が生じる。したがって、測定精度の向上には測定値の較正が必要になる。

本研究では、熱膨張・熱収縮が非常に小さい石英を用いて歪みゲージの電気抵抗の較正曲線を作成し、ステンレス鋼 (SUS304)、YBaCuO 超電導バルクの温度変化に伴う熱収縮を測定した。

2.実験方法

測定には低温用歪みゲージ(CFLA-1-350-11、東京測器研究所)を使用した。試料として石英、ステンレス鋼(SUS304)、YBaCuO 超電導バルクを使用した。歪みゲージを各試料に低温用接着剤を用いて接着し、その後クランプを用いて 24 時間加圧、固定した。各試料は冷凍機のコールドステージを用いて 300 K から 50 K に 0.5 K/min で冷却を行い、温度測定には白金・コバルト温度計及び Cernox 抵抗温度計を使用した。冷却中の歪みゲージの電気抵抗を四端子法で測定した。印加電流は 0.3 mA であった。

また、測定値から各試料の熱収縮率を導出するため式(1)～(3)を使用した。式(1)は試料の伸縮による歪みゲージの電気抵抗の変化 dR を示し、SGRTY は試料に接着した歪みゲージの電気抵抗を示す。式(2)は石英に貼りつけた歪みゲージの電気抵抗の補正值 RTY(Q') を示す。SGRTY_{300K}、RTY_{300K} はそれぞれ試料、石英に貼りつけた歪みゲージの 300 K における電気抵抗を示す。式(3)は熱収縮率 dL/L を示し、F はゲージ率を示し歪みゲージの長さと電気抵抗の変化の比例定数である。

$$dR = SGRTY - RTY(Q') \quad (1)$$

$$RTY(Q') = \frac{RTY(Q) \times SGRTY_{300K}}{RTY(Q)_{300K}} \quad (2)$$

$$\frac{dL}{L} = \frac{100}{F} \frac{dR}{SGRTY} \quad (3)$$

(1)～(3) 歪みゲージで測定した電気抵抗から熱収縮率 dL/L の導出に使用した式

3. 実験結果

図1に石英に貼りつけた歪みゲージの電気抵抗の温度依存性を示す。計4回の測定値を1から4とし、その平均値をaverage1とした。average1と測定値1から4の相対誤差は最大で0.06%程度であり、これは歪みゲージの電気抵抗の温度依存性に個体差があるために生じたと考えられる。

図2にステンレス鋼(SUS304)に貼りつけた歪みゲージの電気抵抗の温度依存性を示す。2回の測定をそれぞれ1、2、その2回の平均値をaverage2とした。温度の低下とともに電気抵抗も減少した。これは温度低下に伴うステンレス鋼(SUS304)の収縮が要因である。

図3にステンレス鋼(SUS304)、YBaCuO超電導バルクの熱収縮率の温度依存性を示す。ステンレス鋼(SUS304)の熱収縮率の測定値と文献値はほぼ一致した。ステンレス鋼(SUS304)の熱収縮率はYBaCuO超電導バルクと比較して低い値を示した。このことからステンレス鋼(SUS304)の金属リングとして使用した場合、熱圧縮応力がREBaCuO超電導バルクにかかると考えられる。

4. 結論

本研究では、歪みゲージを使用して石英、ステンレス鋼(SUS304)、YBaCuO超電導バルクの300 Kから50 Kまでの熱収縮を測定した。ステンレス鋼(SUS304)の熱収縮率の測定値の文献値はほぼ一致した。また、ステンレス鋼(SUS304)、YBaCuO超電導バルクの熱収縮率の温度依存性の違いから、YBaCuO超電導バルクを補強する金属リングとしてステンレス鋼(SUS304)を利用した場合、冷却時に熱圧縮応力がYBaCuO超電導バルクに加わると考えられる。

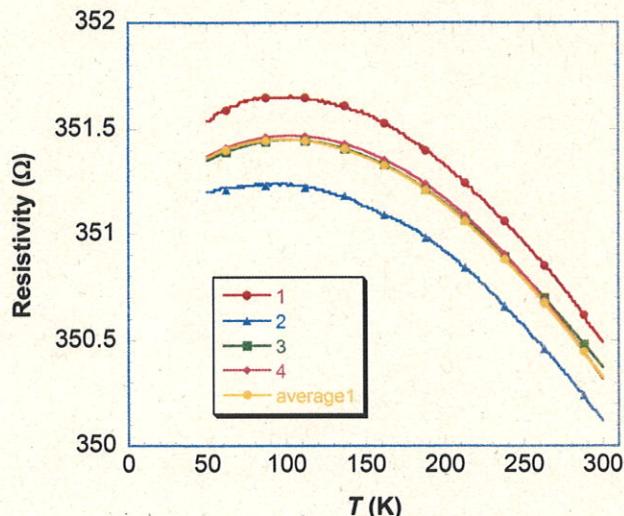


図1 石英に貼りつけた歪みゲージの電気抵抗の温度依存性

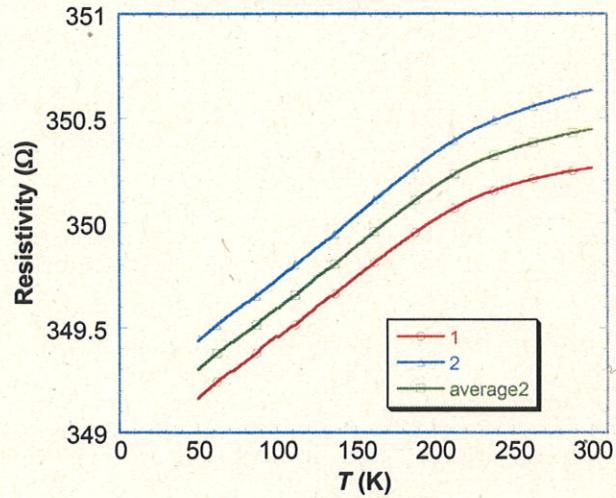


図2 ステンレス鋼(SUS304)に貼りつけた歪みゲージの電気抵抗の温度依存性

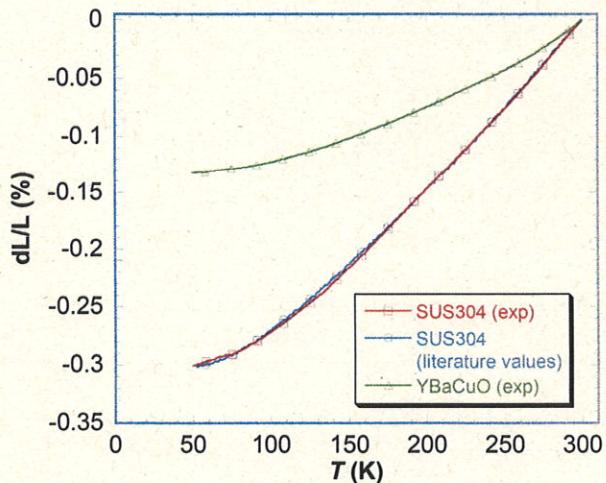


図3 ステンレス鋼(SUS304)、YBaCuOバルクの熱収縮の温度依存性