

超伝導線材の熱変形

Thermal Deformation of Superconducting Conductors

和気正芳, 中山悟, 高エネルギー研*

Masayoshi Wake and Satoru Nakayama*

KEK High Energy Accelerator Research Organization

1. はじめに

精密な磁場を要求される超伝導磁石の建設においては、熱処理中の超伝導線材の膨張・収縮が問題になる。Nb₃Sn などの化合物では反応で格子定数が大きくなるので膨張があるし、逆に NbTi 磁石ではエポキシの熱処理中にかなり大きな収縮が観測されることがある。これは複合線材の内部応力の解放による伸び縮みであり線材の製法履歴によって大きく異なることが予想される。超伝導磁石の製作にあたっては熱変形の様相を理解しておくことが必要でありそのための測定が必要である。我々は線材の熱変形の測定装置を製作し、一連の測定を行ったので報告する。

2. 測定装置

実用線材の長さ変化を測定するには恒温槽が必要であるが、我々の場合、超伝導磁石熱処理用の炉を用いることが出来る。これは深さ 2 m 直径 25 cm の円筒型の縦型炉である。不活性ガス雰囲気中で 800°C までの熱処理が出来、4 分割で温度制御を行っており ±1°C の精度が期待できるものである。図 1 に示す上部フランジ以下が炉に挿入されるのであるが、不活性ガスが逃げないようにペローで仕切った石英ピストンで超伝導線材を引っ張り、ペロー先端の位置から伸び縮みを測定する。データは LVDT で電気信号としてコンピュータに取り込む。測定はしばしば長時間に及ぶので、どこからでも測定状況が見られるように web page (<http://research.kek.jp/people/wake/thermo/>) にリアルタイムで表示するようになっている。原理的にはサンプル長さを大きくとれば感度は上がり、サンプルのサイズを 1 m まで伸ばした場合、気温の日変化も追える感度をしめた。

3. 測定結果

図 2 に SSC の NbTi 線材についての測定結果を示すが、この場合、エポキシの熱処理温度以下の 100°C 付近で大きな収縮が起こっていることがわかる。複合線の製造工程で引っ張り加工が行われ、安定化銅と NbTi の引っ張り強度が違うため、NbTi が引っ張り、銅が圧縮の内部応力状態にあるため、温度が上がり銅の強度が低下した時点で、このような変化が起こる。変化温度が 100°C といった極めて常温に近いことが興味深い。一度内部応力が緩和されてしまうと 2 回目の熱処理では変化は現れない。最近の線材では RRR 向上のための短時間熱処理をして仕上げているので最初から熱収縮が起こらないものもある。Nb₃Sn 線材については、反応の様子を長さ変化から把握することが期待されるが、このような内部応力の解放による縮みと反応による伸びの他、高い熱処理温度のために銅の引っ張り強度が極端に低下することによる測定のための力による伸びも加わってさらに複雑な変化を示した。講演ではこれらの結果についても報告する。

4. 今後

実用超伝導線材はその製造工程により、伸び縮みの挙動が異なり、様々な様相を示す。現時点では線材の種類によって一概に予測することも難しい。磁石のトレーニングなどもこうした材料特性に影響されていることが大いに考えられるので、磁石の製作にあたっては実測で挙動を確認しておくことが望ましいと考えられる。装置が出来上がっているので今後さらに多くの線材について測定を行い、データ - を蓄積して行きたい。

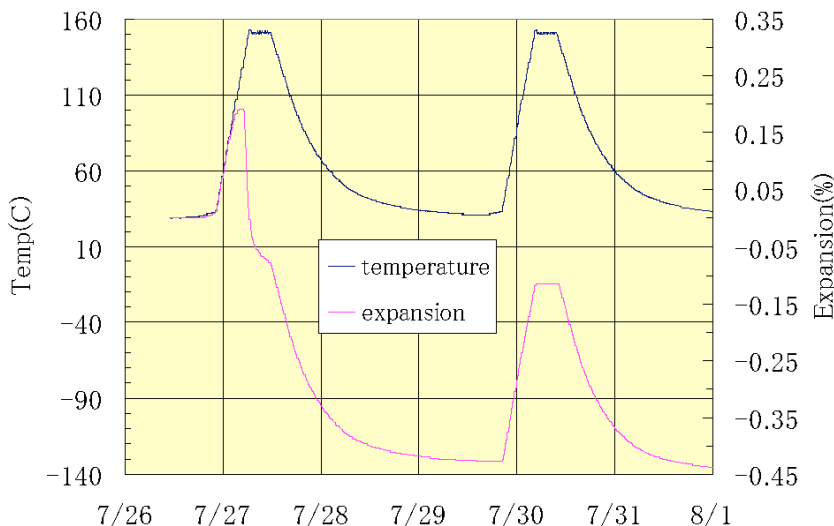


図 2
NbTi 線材
の測定例

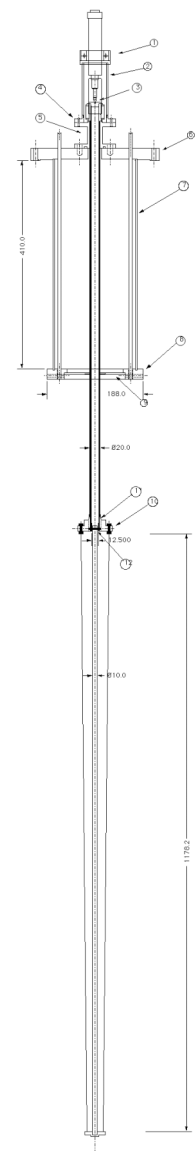


図 1
熱変形測定装置