

磁化率測定用磁気浮上炉の開発

Development of a Magnetic Levitation Furnace for Susceptibility Measurements

高橋弘紀, 茂木巖, 淡路 智, 渡辺 和雄

東北大・金研

K. Takahashi, I. Mogi, S. Awaji and K. Watanabe

Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

勾配磁場中に置いた反磁性物質に働く磁気力と重力が鉛直方向で釣り合った磁気浮上状態では、物質を空中に安定浮上させることができる。この磁気浮上状態では、力の釣り合いは物質を構成する原子あるいは分子レベルで成り立つことから擬似的な微小重力環境と見なすことができ、無容器溶融プロセスなど、強磁場を利用した新しい材料プロセスの場として注目されている。物質が磁場から受ける磁気力の大きさは、その物質の磁化率に依存するため、磁化率が変化すると浮上位置が変化する。そのため、磁気浮上を利用した無容器溶融凝固プロセスにおいては、温度変化によって浮上位置が変化することがあり、試料位置を一定に保つためには磁場の強さを調整する必要がある。通常、反磁性磁化率の温度変化は無視できるものとして扱われているが、磁気浮上状態においては、磁化率の温度変化によって試料位置が変化するが観察されている。このことは逆に、磁気浮上状態を利用することで、反磁性物質の磁化率変化を高感度に測定できることを示している。実際、我々はこのことに着目し、これまで磁気浮上を利用した反磁性磁化率の温度変化測定を試みてきた[1]。測定原理としては試料に働く磁気力から磁化率を求める点で Faraday 法に他ならないが、試料容器を必要とせず、溶融凝固過程をその場観察しながら測定できる点など、磁気浮上を利用するメリットがある[2]。しかしながら、これまで行ってきた測定では試料の温度変化に循環水式の恒温槽を用い、観察装置ごと温調を行っていたため、昇温できる温度は 60°C 程度が限界であった。そのため、溶融状態までの磁化率を測定できる物質は極めて限られていた。磁気浮上を利用した磁化率測定法をより多くの物質に適用するためには、より高温まで昇温可能で磁化率測定に用いることのできる浮上炉を開発する必要がある。磁化率を測定するためには、試料の浮上位置の変化を観測する必要があるため、水平方向から試料を観察することが望ましい。また、磁気浮上炉はハイブリッドマグネットの 52 mm 室温ポア内に設置するため、CCD カメラなどの観察装置は試料近傍に設置する必要があるが、高温となる炉内に設置することは不可能である。そこで、上述したような条件を満たす加熱装置の 1 つとして、透明ガラスヒーターを用いた磁気浮上炉の開発を行っている。

2. 装置概要

装置の概略を Fig. 1 に示す。ガラスヒーター（株式会社ブラスト製）は外径 18, 内径 15, 長さ 50 mm の石英ガラス管に透明導電膜（ITO が主）を蒸着したものであり、AC, DC どちらでも加熱可能である。ガラスヒーター内壁には温度制御用の熱電対（type-K）が貼り付けてあり、500°C までの昇温が可能である。ヒーターのフランジ外径は 46 mm とし、その外側に水冷ジャケットを配することでマグネットへの熱侵入を抑えるようにしてある。試料空間となるヒーター内は真空引きが可能であり、高真空は望めないものの、空気中の酸素による磁気アルキメデス効果を低減することが可能である。また、窒素などへの置換も行うことができる。CCD カメラは、ヒーター上部フランジより上側に配置することで、熱による影響を受け難くする構造とし、これまでの観察系と同様、プリズムによって水平方向から試料

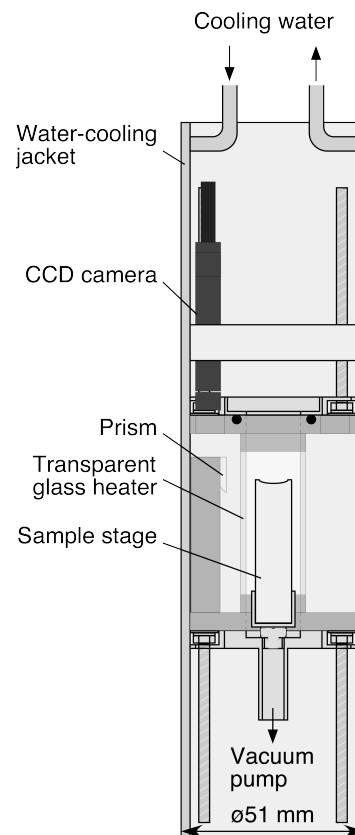


Fig. 1 Schematic illustration of a magnetic levitation furnace using a glass heater.

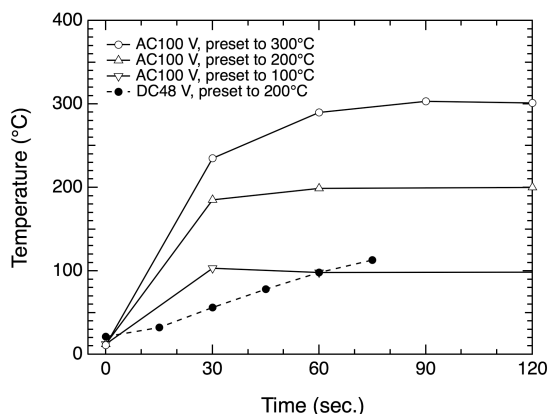


Fig. 2 Results of temperature rise tests in zero field for both AC 100 and DC 48 V.

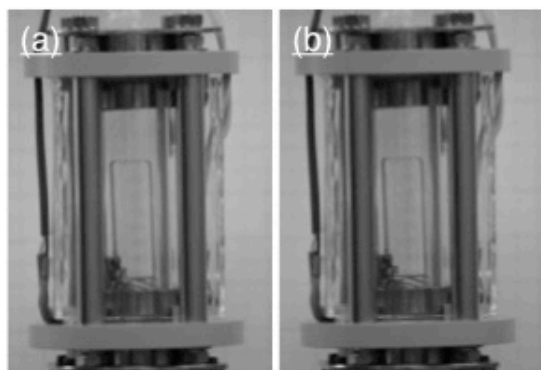


Fig. 3 Photographs of the glass heater (a) at room temperature and (b) at 300°C.

の観察を行う配置としている。

3. テスト結果

Fig. 2 にゼロ磁場で行った昇温テストの結果を示す。AC100 Vで加熱した場合、設定温度 100, 200, 300°C いずれの場合も 1 分程度で設定温度に達することが分かった。また、DC48 V の場合、電源不調により途中までの加熱になったが、それでも 100°C/min 程度の十分な速さで昇温可能であることが分かった。また、Fig. 3 に示すように、300°C まで加熱してもガラスの透明度に変化がないことも確認した。

次に、磁場中で行った昇温テストの結果を Fig. 4 に示す。設定温度を 150, 300°C とし、今回は AC100 V のみでのテストを行った。いずれの設定温度の場合でも、磁場中における昇温過程はゼロ磁場と同様であることが確認された。また、磁場中での AC 通電であることから、装置の振動などの懸念があったが、通電時におけるリード線の振動は見られたものの、装置自体の振動は見られなかった。

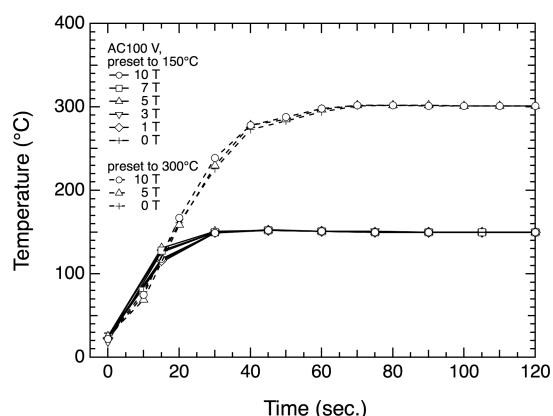


Fig. 4 Results of temperature rise tests in various magnetic fields up to 10 T.

4. まとめ

磁気浮上を利用した磁化率測定用に透明ガラスヒーターを用いた新しい磁気浮上炉の開発を行っている。炉体に透明ガラスを用いることで炉外からの試料の観察が可能である。10 T までの磁場中でのテストの結果、磁場中においても問題なく昇温可能であることが確認された。今後は、昇温時におけるカメラ位置での温度確認とカメラの設置、より強磁場中でのテストを行い、ハイブリッドマグネットでの使用に繋げる予定である。

参考文献

- [1] K. Takahashi, *et al.*: J. Phys.: Conf. Ser. **156** (2009) 012020.
- [2] K. Takahashi, *et al.*: Meas. Sci. Technol. **22** (2011) 035703.