

## 技術紹介

## 発熱体温度直接測定によるヒーター施工信頼性の評価

## Evaluation of heater installation by measuring of the heating element temperature

山中 良浩\*

YAMANAKA Yoshihiro

伊藤 琢司\*

ITO Takuji

## 1. はじめに

冷凍機を用いた低温機器では必要とする温度に保つためにヒーターによる温度制御が行われる。例えば 4.2 K (約-269 °C) から室温 (以上) の範囲で電気抵抗の温度依存性を測定する場合や、低温容器内のベーキングのために温度を数百°Cまで昇温させる必要がある場合などが想定される。

低温機器でよく使用されるヒーターとして、発熱体となる抵抗線をポリイミドフィルムではさんだフィルムヒーターや、ニクロム線をセラミックのコアに巻きつけ絶縁体と共に金属管の中に封入したカートリッジヒーター等がある。それぞれ様々なサイズの物が市販されており、取付方法、必要な出力等によって選定する。例えば広い面を均一に加熱したい場合や曲面に取り付ける場合はフィルムヒーター、取付空間が限られる場合や高い温度 (大きな出力) を必要とするような場合はカートリッジヒーターを用いる。

カートリッジヒーターは一般的に 700~800 °C程度が使用上限である。そのため 200 °C程度の温度制御を行う場合は、高温による焼き切れなどのリスクはほとんど無いと考え使用していた。しかしながら実際には 200 °Cの温度制御時にカートリッジヒーターが焼き切れる事例が発生している。ヒーターは図 1 に示すように、加熱物に加工した差込用の穴に取り付ける方法であった。

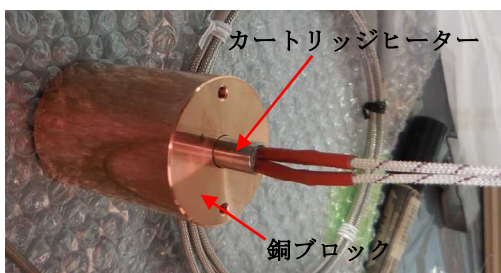


図 1 差込用の穴加工を施した試験用の銅ブロックにカートリッジヒーターを挿入している写真

(銅ブロックは実際の加熱物を模して製作した。)

実際の装置ではこの銅ブロックが真空断熱容器内に設置され、冷却源と接続することで温度を-250 °Cまで冷却することが出来るようになっている。

制御温度が十分低いにもかかわらず焼き切れが発生したことはヒーター内部の発熱体温度は線材の使用上限温度に近いところまで上昇している可能性があることを示している。このことを証明するためには発熱体温度を直接知る必要があった。そこで線材の特徴的な温度依存性を利用することで発熱体温度を推定する方法を確立し、図 1 の施工状態では発熱体温度が 800 °C以上になることを観測した。

発熱体温度観測をすることでそれまでは必要とされていた耐久試験等を行わなくても、ヒーターの取り付け方法が適切かの判断が簡単にかつ客観的に出来るようになり、開発のスピードアップと確実な品質保証が可能となった。

本稿では、ヒーター発熱体温度の推定方法と取り付け状態による発熱体温度の改善例を紹介する。

## 2. カートリッジヒーター発熱体の温度評価

## 2.1 ニクロム線抵抗の温度依存性

JIS 規格 (JISC2520) では、ヒーター用のニクロム線材は Ni と Cr の含有率の違いから 1~3 種に分類されている。それぞれ特徴的な電気抵抗の温度依存性を持つ。特に 1 種の線材は 400 °C近傍で極大値を、800°C近傍で極小値を持つ温度依存性を示す<sup>1)</sup>。2 種の線材は図 2 の▲に示すように変曲点を持つが温度とともに抵抗値が増加する。3 種線材も 2 種と類似の変化を示す。抵抗値の温度依存性は材料固有の値であるため、あらかじめ使用しているヒーター線材の抵抗の温度依存性データがあれば使用中のヒーターの抵抗値を観測することで発熱体の温度を推定できると考え測定を行った。

市販のヒーターはニクロム線が使用されているが線材の詳細データは公表されていない。そこで使用しているヒーター線材の抵抗値の温度変化を調べた。

\* 開発本部 つくば研究所 超低温技術部

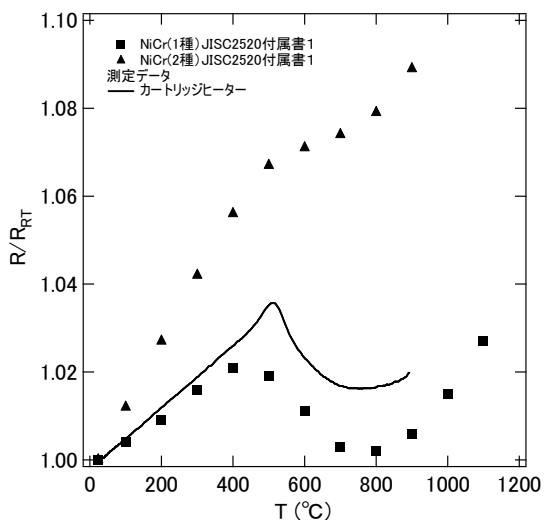


図 2. WATLOW 製カートリッジヒーターの抵抗値の温度依存性 (実線) と JISC2520 付属書 1 から引用した 1 種 (■) と 2 種 (▲) 線材抵抗値温度依存性

実験はヒーター線材 (発熱体) と温度計の温度が同じになるように、図 1 のカートリッジヒーターを差し込んだ銅ブロックに温度計を取り付けて電気炉に入れ、6 時間かけて全体を徐々に加熱しながら約 900 °C までの抵抗値の温度依存性を測定した。ヒーター抵抗値は定電流電源でヒーターの発熱が無視できる微弱電流を流しヒーターの端子間の電圧を測定した。

結果、極大値 (約 500 °C) と極小値 (約 750 °C) を持つ温度変化が観測され 1 種の線材に近い変化を示すことが判明した。図 2 に測定した抵抗の温度依存性 (実線) を示す。データは JIS の数値の比較のため室温の抵抗値 ( $R_{RT}$ ) でスケールしている。

### 2.2 ヒーター使用時の発熱体温度評価試験方法

2 種や 3 種の線材であれば室温からの抵抗値の増加割合を調べることで温度の推定が可能である。1 種の線材の場合はある抵抗値を示す複数の温度が存在する場合があります、単純に抵抗値を調べるだけでは判断できない。そのため一方向の温度上昇が起こる条件で抵抗値の時間変化をモニターして極大値と極小値が観測されるまで温度の推定を行うことにした。

測定は図 1 の試験用銅ブロックを真空容器内に設置し、ヒーターに電流 2A を印加後の抵抗値変化と銅ブロックの温度変化を測定した。銅ブロックの温度は K 熱電対を用いて測定した。

図 3 に抵抗値の時間変化の測定データ (○) 及び銅ブロックの温度変化 (△) を示す。測定データは

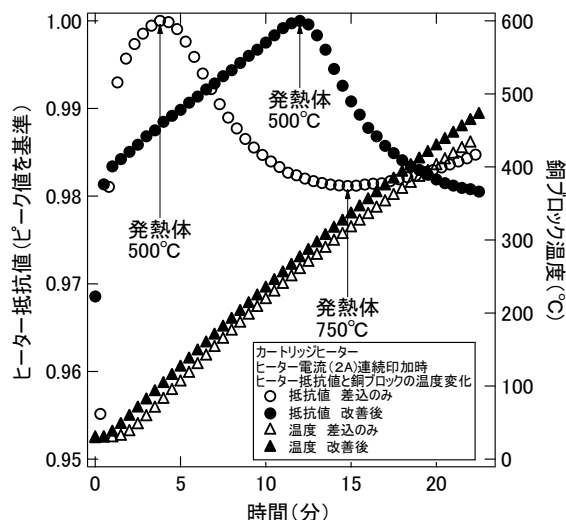


図 3. ヒーターに 2A の電流印加後の抵抗値の時間変化 (○△差込のみ, ●▲改善後)

観測された極大値でスケールしている。データを見ると、2A 通電後すぐに発熱体温度が上昇し、4 分程度で抵抗値の極大値 (約 500 °C) に到達している。さらに十数分後には極小値 (約 750 °C) に達している。このとき銅ブロックは約 310 °C であり 400 °C 以上の温度差がついている。

極小値を示した後の抵抗値の上昇量から発熱体温度は 800 °C 以上に達していると考えられこの取り付け方法は適切でないことがわかる。

本稿では構造の詳細説明は行わないが、ヒーターの差込部を改良し熱接触改善ための工夫を施した同じサイズの銅ブロックでも同様の実験を行った。比較のため結果を図 3 に ● と ▲ の記号で示す。データを見ると通電後同様に発熱体温度が上昇するが途中変化が遅くなり、極大値 (500 °C) に達するまでに 12 分程度、さらに極小値は示しておらず 750 °C は超えていない。また銅ブロックとの温度差も 250 °C 以内に抑えられている。よって施工が適切であると判断でき製品への反映を速やかに行うことが出来た。

### 3. まとめ

ニクロム線抵抗の温度依存性の特性を利用することで、使用中のヒーター発熱体の温度を直接推定する方法を確立した。この方法により、施工方法が適切か否かを正確に判断できるようになり、製品の適切な品質保証が可能となった。

#### 参考文献

- 1) 日本工業標準調査会データベース JISC2520 付属書 1 線及び帯の温度による電気抵抗の比.  
<http://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html>