

4. 本研究全体に関する考察および結論

ここでは、本研究で開発した熱物性計測技術全体に共通する新しい技術や考え方について、放射熱交換と放射測温という観点から改めて議論を行う。本研究で開発した熱物性計測技術は、以下の二つのグループに大別される。

- ① 放射熱交換により、試料に定常的な熱流束を与えることを特徴とした熱伝導率測定法
- ② パルスのな通電加熱を用いた超高温域における比熱容量、放射率、電気抵抗率の測定法

これら二つの計測技術のグループは、一見、測定原理、測定温度域、そして測定物性値が大きく異なっているように見える。しかし、放射熱交換と放射測温を用いた熱物性計測という観点から見ると、共通する要素が多い。放射熱交換に関して言えば、①のグループでは試料と周囲との放射熱交換を、試料に定常な熱流束を与えるために積極的に用いている。ステファン・ボルツマンの法則に基づいて放射による熱流束を正確に見積もるためには、試料内部の伝導熱流束が放射熱流束に変換される部分(通常は試料表面)の半球全放射率に関する知識が不可欠である。ここで、もしこの半球全放射率が既知であれば、試料表面と周囲の温度から容易に放射熱流束を計算することができる。

しかし、放射率は一般的に再現性が極めて低い物性値で、特に金属材料表面では、表面の酸化状態の違いなどにより数 10 % も変化することも珍しくはない。そこで、①の計測技術グループでは、試料自体または試料表面ヒーターの通電加熱を併用して半球全放射率をその場測定し、熱伝導率の測定精度向上を図った。ただし、この通電加熱はあくまでも精度向上を目的としたもので、この熱伝導率測定法にとって本質的な必要条件ではない。

②のパルス通電加熱法でも、測定温度域が極めて高温であるため、放射熱交換は測定に密接に関わっている。しかし、①のグループに比べるとその役割は相対的に小さい。特に比熱測定の観点から言えば、試料からの放射熱交換は測定誤差を生む不必要な熱損失に過ぎず、言い換えれば、放射熱損失を正確に補正するために半球全放射率を同時測定するとも言える。

しかし放射熱交換を積極的に利用するか補正するために用いるかという違いはあるが、本研究で開発した計測技術の全てに共通する特徴は、敢えて試料を断熱材で覆わないで、その代わりに試料と周囲との放射熱交換量を正確に見積もるという点にある。この手法により、試料自身とその周囲の構造を極めて小型化かつ単純化することが可能となった。その波及効果としては、短時間での測定、超高温での測定、測定装置全体の小型化と単純化、省エネルギーなどの効果が挙げられる。

一方で、熱物性計測における最も重要な要素である温度計測技術に関して言えば、①②の両者とも放射測温を積極的に用いており、試料との放射熱交換は極めて重要である。両グループ間で異なる点は、測定温度域(測定波長)の違いと、測温点が1点か、あるいは、一次元または二次元の温度分布かという点のみである。従来の熱物性計測技術で多く用いられていた熱電対や抵抗温度計などの接触式温度センサーに比べた場合、放射測温技術の最大の利点は非接触であり、センサの熱容量や耐熱性に関わる問題が生じないので、

従来のものよりもはるかに小さい試料(平板法に比べて体積で約 1/1000 以下)での測定や、熱電対が使えない超高温での高速温度計測が可能となった。

さらに熱画像装置を用いれば、試料表面温度を、一次元あるいは二次元の連続した温度分布データとして測定することも可能である(例えば、30 頁の図 2-4 を参照)。従来の熱物性計測技術では、複雑な断熱機構により試料のある一方向にのみ一様な熱流束を発生させ、熱流に沿った複数の測定点で温度を測定し、温度勾配が一定であると仮定して熱物性値を求めていた。それに対して本研究では、放射熱交換と熱伝導の結果として試料表面に生じた温度分布を熱画像装置で非接触かつ連続的に測定し、この温度分布を熱伝導方程式に当てはめることにより熱物性値(熱伝導率)を求めた。この方法では、試料表面の温度勾配は必ずしも同様である必要はなく、より複雑な非線形の温度分布からでも試料の熱物性値を得ることが可能である。従ってその効果として、従来のような複雑な断熱機構は不要となり、結果的に試料サイズの小型化や測定装置の単純化に大きく貢献する。

しかしこのような数多くの利点の反面、放射測温には試料表面の分光放射率の見積もり誤差や温度目盛りの不確かさなどに起因して、特に高温域で大きな測定値のかたよりが生じやすいという大きな欠点がある。本研究ではこの放射測温技術の弱点を克服するために、半球面鏡やエリプソメータを使った新しい分光放射率の測定法を採用した。さらに、我が国における放射測温のトレーサビリティ体系の一次標準を維持している計量研究所において研究を行うという利点を最大限に利用し、同所の定点黒体炉や分光応答度測定装置を用いて、放射温度計の温度目盛の正確な校正を行った。

最後に結論として、以上で述べたように熱物性計測に放射熱交換を全面的かつ積極的に利用したという点が、本研究全体を通して一貫として流れている独自の新しい発想である。