

氏 名	佐々木 世 治
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 15 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 岩手大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	金属の全半球ふく射率を含む多種熱物性値の簡易非定常 測定法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 増田 英俊 東北大学教授 大場利三郎 東北大学教授 相原 利雄 東北大学教授 齋藤 武雄

論 文 内 容 要 旨

本研究は金属の全半球ふく射率，比熱，熱拡散率などの多種熱物性値の簡易測定法に関するものである。第 1 章は序論で本研究の目的と従来の研究が記されている。第 2 章には本研究で提案した金属の比熱と全半球ふく射率の簡易同時測定法の原理とコンスタン試料による実験結果が述べられている。第 3 章ではその簡易同時測定法の実験的検証と誤差評価が行われている。第 4 章には上記測定法による各種合金の測定結果と測定値の誤差が述べられている。第 5 章では非定常加熱法による金属の熱拡散率の改良された測定法が提案され，その実験的検証が行われている。第 6 章では，第 5 章で提案された方法を用いて各種合金の熱拡散率が測定され，結果とその誤差が述べられている。第 7 章は結論である。

第 1 章 序 論

従来の研究経過を概説し，本研究の必要性，その目的について述べた。

第 2 章 非定常熱量法による金属の比熱と全半球ふく射率の簡易な同時測定法の原理とコンスタン試片による実験

金属の全半球ふく射率に関して，従来，比熱の既知な材料にしか適用できなかった非定常熱量法を改良し，通電加熱方式ではない比熱と全半球ふく射率を同時に測定できる簡易測定法を提案している。すなわち，図 1 に示すように，測定には被測定金属単体の試片（試片 I）と，被測定金属と

標準金属の複合試片（試片Ⅱ）との2種類が必要である。これらの試片をそれぞれ液体窒素冷却式真空槽内につるし、必要な温度まで電気炉で加熱し、加熱後、炉は冷却槽に接するまで降下し、冷却される。試片Ⅰと試片Ⅱの冷却曲線（温度-時間曲線）より冷却速度をそれぞれ求める。エネルギー式より被測定金属の比熱と全半球ふく射率は次の式(1)、(2)より、それぞれ求めることができる。

$$c_a(T_s) = \frac{m_{b,2} c_b(T_s) \left. \frac{dT_{s,2}}{dt} \right|_{T_s} + \varepsilon_{h,b}(T_s) \sigma F_{b,2} (T_s^4 - T_\infty^4) + Q_{t,2} - \frac{F_{a,2}}{F_{a,1}} Q_{t,1}}{m_{a,1} \frac{F_{a,2}}{F_{a,1}} \left. \frac{dT_{s,1}}{dt} \right|_{T_s} - m_{a,2} \left. \frac{dT_{s,2}}{dt} \right|_{T_s}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{h,a}(T_s) = \frac{-m_{a,1} c_a(T_s) \left. \frac{dT_{s,1}}{dt} \right|_{T_s} - Q_{t,1}}{\sigma F_{a,1} (T_s^4 - T_\infty^4)} \quad (2)$$

ここで c は比熱、 ε_h は全半球ふく射率、 T_s と T_∞ はそれぞれ試片と冷却槽温度、 m は質量、 Q_t は熱電対線による試片からの熱損失、 F は試片の表面積、 σ はステファン・ボルツマン定数を表す。また、添字 a と b はそれぞれ被測定金属 A と標準金属 B を、添字 1 と 2 はそれぞれ試片ⅠとⅡを表す。式(1)、(2)の右辺では冷却速度 $-dT_s/dt$ 以外の値は既知であり、冷却速度は前述した冷却曲線より求められる。標準金属には銅、被測定金属としてコンスタンタンを用いた。試片Ⅰの形状はディスク型、試片Ⅱとしては同心形（図1参照）などで実験を行い、以下の結果を得た。

(1)比熱と全半球ふく射率の同時測定に関して、簡便な測定法を提案した。(2)試片の一つである複合試片に関しては、その構成と形状が重要となる。(3)被測定金属としてコンスタンタンを選び、その比熱と全半球ふく射率を測定したが、ほぼ良好と思われる結果を得た。

第3章 比熱と全半球ふく射率の本簡易同時測定法の実験的検証と誤差評価

本章では、前章で提案した同時測定法でどの程度正しい値が得られるかを見るため、被測定金属として、比熱と全半球ふく射率がよく知られている純鉄を選び、本測定法の妥当性を実験的に検証している。また本測定法では、前章で触れたように試片の構成と形状が測定値の誤差に影響を及ぼすので、より精度の良い結果が期待できるとされる円筒形試片を用いて実験を行った。また、本同時測定法では、試片の冷却曲線の実測値より得られる試片温度の式の精度が、熱物性の測定精度に大きな影響を与えるので、冷却曲線のより良い近似式を提案している。このようにして得られた鉄の比熱と全半球ふく射率の測定結果を図2と図3にそれぞれ示す。また、本測定法における誤差を検討するために誤差解析を行い、種々の誤差要因と全誤差を評価し、以下の結果を得た。

(1)本同時測定法で重要な、試片の冷却曲線を全測定温度範囲で精度良く表す式を提示した。(2)高精度の物性値が得られている鉄を被測定金属としてその比熱と全半球ふく射率を測定し、従来の測定値および測定法との比較から本測定法が簡易測定法としてほぼ妥当であることを確認した。(3)本章の測定結果に対して比熱と全半球ふく射率の全誤差はそれぞれ7.7%と8%であった。そして特に大きな誤差要因は、試片の冷却曲線を近似する式の精度であることを示した。

第4章 各種合金の比熱と全半球ふく射率の簡易測定と測定値の誤差

本章では、工業材料として良く用いられるけども、その熱物性値はほとんど測定されていない幾つかの合金を対象として、前章まで提案してきた簡易測定法で比熱と全半球ふく射率の同時測定を行った。一つは第2章でも扱ったコンスタンタンであり、複合試片の構造による測定値への影響を把握するため、円筒形試片として再実験を行った。次は、これも熱電対素材としてよく使用されるクロメルとアルメルである。いずれも、温度の高精度測定とか、本研究のような熱量法による熱物性値測定における結果の評価に、それらの熱電対線の熱物性値は欠かせぬものである。更に、近年、耐熱性合金として非常によく使われ始めているインコネル、特にその中でも耐食性の優れているインコネル690を被測定金属として選んだ。実験により次の結果を得た。

(1)コンスタンタン、クロメル、アルメル、インコネル690の比熱と全半球ふく射率を、温度範囲約360~760Kにわたって測定し、その温度依存性を明らかにした。(2)上記の本測定値の諸誤差成分を明らかにし、特に注意しなければならないのは、試片IとIIの金属A(被測定金属)の全半球ふく射率の差 $\delta \varepsilon_{h,a}$ に起因する誤差成分であることを示した。

第5章 非定常加熱法による金属の熱拡散率の簡易測定法の原理と鉄試料による実験的検証

固体の熱拡散率測定として、これまで行われてきた方法は大きく三つに分けられる。すなわち、周期加熱法、レーザフラッシュ法、および連続非定常加熱(または冷却)法である。この3番目の方法の中で特に注目されるのがこれまで定速昇温法と言われてきた方法であり、これは円柱状試片に対する一次元非定常熱伝導方程式の解を用いる方法であった。小坂らによって、その方法を用いた金属に対する測定結果も発表されている。定速昇温法は熱拡散率の簡易測定法ではあるが、その方法を実際に利用してみると試片加熱の初期領域が非定速昇温になって、上記の適用部分がかかなり狭められるというのが欠点である。また、これまでの研究を見ると、一次元熱伝導の条件を満たすための試片断熱法も改良の余地がある。本章では、この測定法をより実用的な方法とするために新たな解析を行い、その改良された方法を示した。解析の結果、試片の熱拡散率は試片内半径方向温度差 δT_r を測定することにより式(3)より得られることを示した。

$$\delta T_r = \frac{\kappa_1}{4a} R^2 - \frac{3\kappa_2}{32a^2} R^4 + \frac{\kappa_2}{2a} R^2 t \quad (3)$$

ここに、 a は熱拡散率、 R は試片半径、 t は時間、 κ_1 、 κ_2 は定数である。次に、その熱伝導方程式の解を導く一つの条件、すなわち試片端部の断熱について近似的な方法を示す。鉄の熱拡散率の測定結果を図4に示す。本章で得られた結果は次のとおりである。

(1)試片の温度上昇が一定速度でなく、時間の2次式で表される場合の熱伝導方程式の解を求め、非定常加熱による熱拡散率の簡便な測定法を提示した。(2)同法を実際に利用するときの試片側面のふく射による断熱法を示した。(3)同法の妥当性と有用性を実験的に証明するため、熱物性値の知られている鉄試片で実験を行い、他者による推奨値との比較から、その妥当性を証明した。(4)本測定法は、特に試片加熱初期領域への適用可能な点が優れており、定速昇温による方法よりも測定温度

範囲を大幅に拡張することができる。(5)本測定法を用いた熱拡散率の測定値に対する誤差解析を行い、諸誤差成分と全誤差を検討した。

第6章 各種合金の熱拡散率の簡易測定と測定値の誤差

本章では、第5章で提案した非定常加熱法による熱拡散率の簡易測定法で、コンスタンタン、クロメル、アルメル、そしてインコネル690の熱拡散率を測定し、それらの結果を種々の角度から検討している。また、これらの金属の測定結果について、前章で行った誤差解析に基づいて誤差を求め、測定精度を明らかにしている。得られた結果は以下のようなものである。

(1)コンスタンタンの熱拡散率は温度の増加と共に増加する。この値は、Powersらの熱伝導率から求めた熱拡散率よりも低い。(2)クロメルとアルメルの熱拡散率も温度の増加と共に増加する。(3)インコネル690の熱拡散率も温度の増加と共に増加することを示した。(4)これらの熱拡散率の測定値に含まれる全誤差と諸誤差成分を算出した。

第7章 結 論

第7章は、本研究により得られた結論を総括したものである。

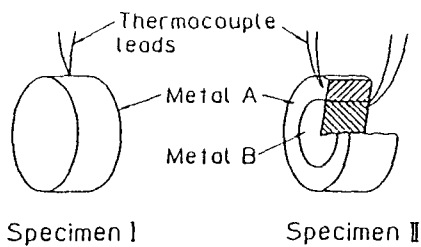


図1 比熱と全半球ふく射率の同時測定で用いる試片 I と II の形状と構造

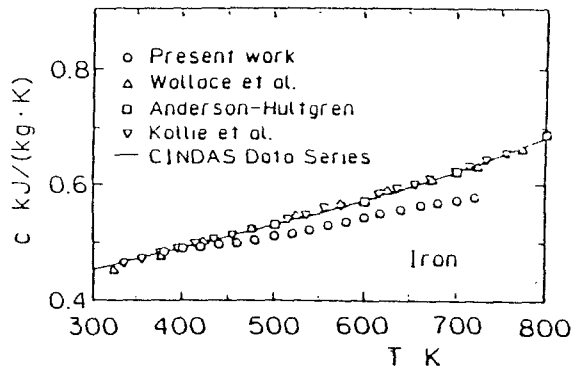


図2 鉄の比熱の本測定値と従来の結果との比較

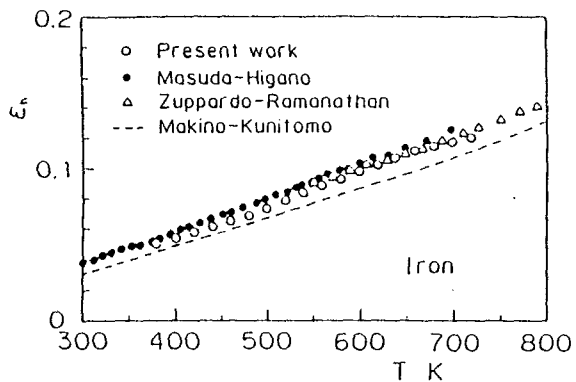


図3 鉄の全半球ふく射率の本測定値と従来の結果との比較

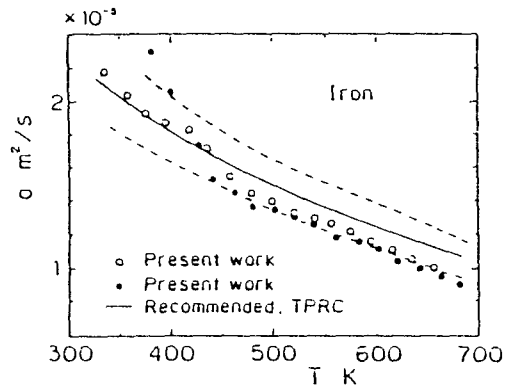


図4 非定常加熱法による鉄の熱拡散率の測定値

審査結果の要旨

工業用新素材の開発と並んで、比較的簡単な装置で熱物性値測定のできる多種熱物性値測定法に関する研究が盛んになっている。本論文は、同一装置を用い、試片を外部から非定常加熱、または冷却する過程で半球放射率、比熱、熱拡散率を測定する新しい、または改良された簡易測定法を提案し、その実験的検証と、重要な幾つかの金属の熱物性データの取得を行ったもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、従来、比熱の既知な金属にしか適用できなかった非定常熱量法による半球放射率の測定法に対して、同じ熱量法を用いて金属の比熱と半球放射率を同時に測定できる方法を考案し、新しい簡易測定法を提案している。この測定法は比較法であるため、コンスタンタンを測定試料、純銅を標準試料として試片を作製し実験を行い、妥当と思われる結果を得ている。

第3章では、前章で提案した同時測定法の妥当性を実験的により厳密に検証するために、諸熱物性値が高精度で測定されている純鉄を測定金属として実験を行い、既存のデータとの比較から、本測定法が簡易測定法として十分使用できることを立証している。またその測定精度を検討するため誤差解析を行い、誤差を明らかにすると共に、試片作製上、および測定上の注意すべき諸点を示している。

第4章では、工業材料として重要ではあるがその熱物性データのほとんどないもの、すなわちコンスタンタン、クロメルとアルメルの熱電対素材、また耐熱・耐食性材料であるインコネル690の比熱と半球放射率を前章の測定法で測り、そのデータを提供している。またそれぞれの測定値の諸誤差成分と全誤差を示している。

第5章では、金属の熱拡散率測定に関して、第2章で提案した同時測定法と測定技法のよく似ている定速昇温法をより簡便にした一測定法を提案している。すなわち、前章までのものと同一装置を使用し、金属試片の非定常加熱、かつ非定速昇温による熱拡散率測定法であり、その妥当性の確認のため、ここでも純鉄で実験的検証を行って簡易測定法としての測定精度を確かめている。

第6章では、第4章で選んだものと同じ金属材料の熱拡散率を、第5章で提案した技法で測定し、貴重なデータを取得している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、同一装置による金属の多種熱物性値の簡易な測定法を提案し、かつ重要な幾つかの金属について測定を行い、それぞれの熱物性データを提供したもので、熱工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。