

調査・研究報告書の要約

書名	平成17年度遠赤外ヒータの放射エネルギーを簡易的に評価する方法の調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・社団法人 遠赤外線協会				
発行年月日	平成18年3月	頁数	100頁	判型	A4

【目次】

緒言	2
第1章 調査計画の全体計画及び実施計画	2
第2章 遠赤外域放射エネルギー測定方法	2
2.1 JIS法と帯域の異なる放射計を用いた簡易法(放射計対比法)について	2
2.2 その他の簡易法について	3
2.2.1 その他簡易法として可能性のある方法に関する検討	3
2.2.2 FTIRによる分光放射エネルギー測定方法	3
2.2.3 検出帯域の異なるサーモグラフィによる方法	4
2.2.4 放射照度計による方法	4
2.2.5 2色法によるサーモグラフィ法との比較及び簡易法への期待	4
第3章 放射計対比法の問題点と対策	5
3.1 従来方法による問題点	5
3.2 従来方法による問題点改善のための対応策の検討	5
3.3 フィルタ材料の調査・選定	6
3.4 装着用治具の設計・製作	6
3.5 黒体炉による放射計の較正	6
第4章 放射計システムによる簡易法	6
第5章 遠赤外加熱装置に見られる加熱パターンの特異性と簡易法	
その他評価法への期待	6
5.1 遠赤外線利用時における遠赤外線ヒータの簡易測定法の必要要素	6
5.2 放射型ヒータの現行の評価法	7
5.3 「被加熱物及びヒータの分光放射率」が 加熱特性に及ぼす影響についての簡易シミュレーション	7
5.4 放射温度計による炉内温度計測について一考察	8
第6章 本年度の成果と残された問題点	8
結言	9

緒 言

昨年 3 月に JIS R 1803「遠赤外ヒータの遠赤外域における分光放射エネルギーの測定方法」が制定された。この方法は、ヒータ素材の分光放射率データとヒータの熱画像データとから計算によって分光放射エネルギーを求める方法であり、直接そのような量を測定する方法ではない。

この方法は、現時点では最良の方法であるが、分光放射率測定における短波長域の精度低下の影響を受けやすい、またサーモグラフィが、普及しつつあるとはいうものの、それ程安価で誰でも利用できるものではない、等の制約があることが委員会の審議においても指摘されていた。そのため、それに代わる方法として、波長分布を厳密に求めずとも、大雑把に遠赤外ヒータにおける遠赤外域放射の寄与率のような値を、比較的安価な計器を用いて直接測定出来ないだろうか、という問題提起があり、JIS 法に対して簡易法と位置づけ、調査研究を行った。

第 1 章 調査計画の全体計画及び実施計画

簡易的な、放射温度計による方法は、分光放射率を測定せず、直接遠赤外ヒータ自体の放射エネルギーを測定する方法で、測定機器についても、放射温度計のみで放射エネルギーを測定できる等の長所がある。

遠赤外ヒータの性能を評価するうえで、遠赤外ヒータから放射されているエネルギーの遠赤外域における分光放射エネルギーが有効な指標となるため、この分光放射エネルギーの簡易的な測定方法について調査研究をした。

第 2 章 遠赤外域放射エネルギー測定方法

2.1 JIS 法と帯域の異なる放射計を用いた簡易法（放射計対比法）について

ヒータの分光放射率を利用し、温度計測器にサーモグラフィを使用した評価方法が「遠赤外ヒータの遠赤外域における分光放射エネルギー測定方法」として JIS³⁾ 化された。

この評価方法では、適切な条件下における輝度温度測定と既知の分光放射率データにより、ヒータ材料の放射効率に関する定量的評価を行うことが可能である。

しかしながら、この方法を適用する場合、

- ①評価対象のセラミックスヒータ材料の分光放射率データが不可欠である。
- ②サーモグラフィ画像による 2 次元輝度温度分布画像を利用するため、一般ユーザが評価を行うには、専用のソフトウェア等の開発が必要となる。
- ③一般的に使用されるフーリエ変換分光器などによる赤外分光放射率計測装置では、大略 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の短波長域の放射率データの取得が困難であり、この場合、短波長域の評価ができない。

④現状においては、高価なサーモグラフィ装置を使用する。

などの問題点もある。これらの問題点を踏まえ、簡便でかつ可視・近赤外波長域と遠赤外波長域との放射エネルギーの比較が容易である簡易測定法について並行して検討した。

2.2 その他の簡易法について

2.2.1 その他簡易法として可能性のある方法に関する検討

前回調査研究等を通じて、波長帯のことなる赤外放射温度計をセンサとする簡易評価方法を提案し、その予備的検証を実施している。一方、これまでの検証実験等において、この簡易方法が目的とするセラミックスヒータの評価全般に対して常に有効性の高い試験方法となっていないことも指摘されている。本調査研究においては、ひきつづき放射温度計をセンサとする簡易法の高度化を主眼としているが、ここで、その他の評価方法の可能性についても考察した。ただし、ここでは、「簡易性・実用性」については、必ずしも考察の重要指標とはしない。

2.2.2 FTIR による分光放射エネルギー測定方法

(1) FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry) とは

FTIR は、赤外放射源、干渉計、検出器、試料室、制御及びデータ処理用コンピュータにより構成されている。図 2.2.2-1 に FTIR と黒体炉の外観、図 2.2.2-2 に FTIR の光学系を示す。

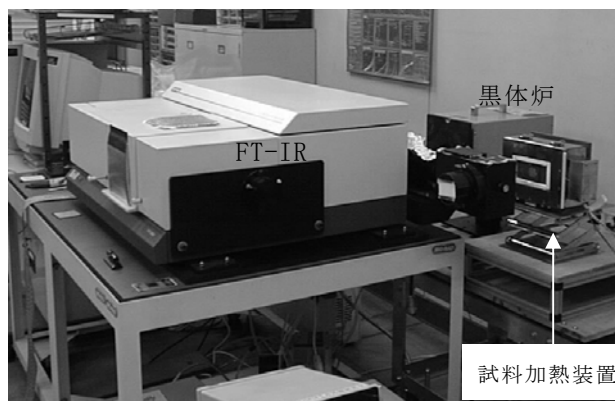


図 2.2.2-1 FTIR 本体及び黒体炉外観

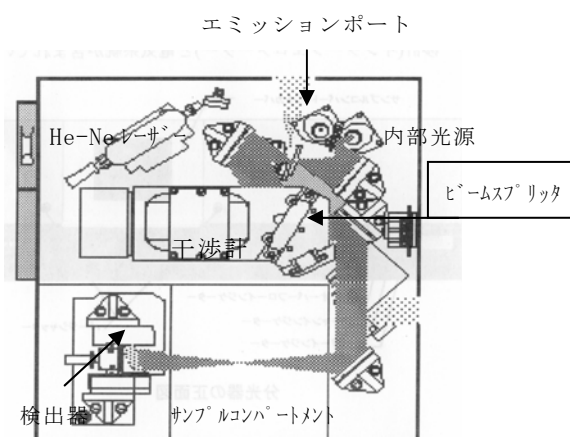


図 2.2.2-2 FTIR の光学系¹⁾

(2) 分光放射エネルギー測定手法

赤外線領域における分光放射エネルギー測定手法としては、古くは回析格子による分散型分光器が用いられていたが、現在では FTIR による測定が主流となっている。

(3) FTIR による分光放射エネルギーの求め方

黒体炉からの放射出力と、黒体炉と同温度にした試験用放射体からの放射出力を、FT-IR で測定することで試験用放射体の分光放射率が求まる。黒体出力をプランクの放射則によって求め、それに試験用放射体の分光放射率を乗ずることで、分光放射エネルギーが求められる。また、分光放射エネルギーを積分すると全放射エネルギーが求められる。

表 2.2.2-1 に遠赤外線ヒータの分光放射率測定結果例、表 2.2.2-2 に遠赤外線分光放射出力（分光放射輝度）測定結果例を示す。

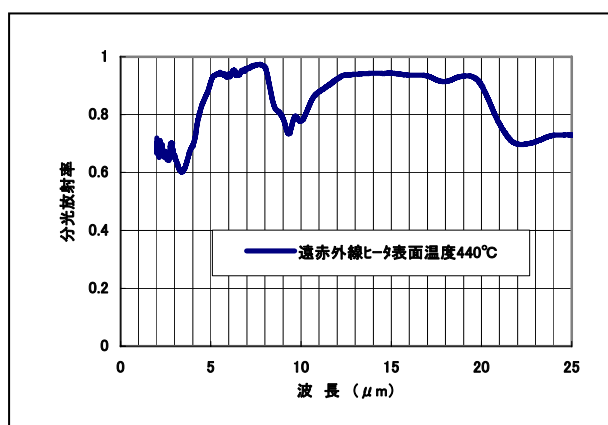


表 2.2.2-1 遠赤外線ヒータの分光放射出力測定結果例

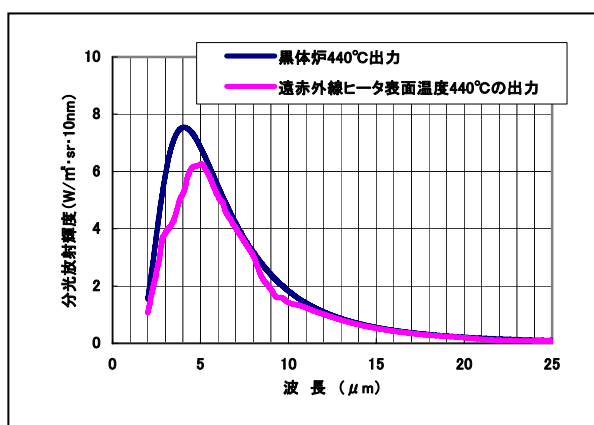


表 2.2.2-2 遠赤外線ヒータの分光放射率測定結果例

2.2.3 検出帯域の異なるサーモグラフィによる方法

検出波長が $3\sim 5\mu\text{m}$ のサーモグラフィと $8\sim 14\mu\text{m}$ にあるサーモグラフィの両方を用いて加熱したヒータを測定し、ヒータの分光特性の判別を行う。

2.2.4 放射照度計による方法

赤外線エネルギーを測定する装置として、レーザパワーを主要目的として、いくつかの光パワーメータが市販されている。測定対象とする光が、垂直入射で、測定値がエネルギー密度で表示されているなら、直接照度の値なる。一般的な照度計として使用するには、指向特性がコサイン特性を持っていることが必要であるが、そのような特性を持ったパワーメータは存在せず、今後の研究開発が必要である。ここでは、赤外波長領域に感度を有する一般的なレーザパワーメータについて調査した結果を紹介する。

2.2.5 2色法によるサーモグラフィ法との比較及び簡易法への期待

物体の温度を計測する場合、その測定環境によって様々な計測方法が用いられます。

これらの計測方法は接触式と非接触式とに分類することができます。接触式の場合は、熱膨張や熱起電力を利用したものが用いられ、対象物表面への伝導による熱流入を元に算出します。一方、非接触式の場合は、表面からの熱放射量から算出します。

このような特徴から、接触式の場合は対象物表面の状態に依存しないという利点がありますが、正確な測定を行うためには熟練を要し、0次元（スポット）の測定しかできません。これに対して、非接触式で従来から用いられているサーモグラフィ法では、簡便に2次元温度分布を測定することができますが、対象物表面の材料固有の値である放射率の影響を受けるため、正確な温度計測のためには適切な放射率の入力が必要となり、同様に熟練を要します。

温度測定法はいずれの方法におきましても一長一短があり、利用方法に応じた測定法を選択する必要があります。2色法は、対象物表面の温度が1000～2000℃とう高温の状態にありながら、10～20℃の誤差という正確さを実現しています。しかしながら、この温度域は可視光～近赤外線領域であり、遠赤外線領域は対象外領域となります。

ここでは、2色法の原理と特長及び計測例を紹介しながら、簡易法への期待について報告する。

第3章 放射計対比法の問題点と対策

3.1 従来方法による問題点

これまでの調査研究活動において、セラミックスヒータの放射エネルギー評価に関する簡易（実用的）方法として、波長特性の異なる放射温度計（放射計）を用いた方法が提案され、予備的な検証実験が実施されている。前回調査研究（平成14年度 経済産業省受託：遠赤外ヒータの遠赤外放射エネルギー分布測定方法の標準化に関する調査研究）においては、透過波長帯の異なる2つの放射温度計を用いた検証実験が行われた。この場合、波長感度特性の無い熱型センサ（サーモパイル）を受光素子とする市販型放射温度計（チノー IR-BAxD0）を2台用意し、それぞれに透過波長特性の異なる光学フィルタを内蔵することにより、波長特性の異なる2つの放射計センサを試作して、放射計対比法による複数のセラミックスヒータの評価実験を行った。詳細については、上記調査研究報告書に紹介されているので省略するが、検証実験結果から、セラミックスヒータの遠赤外放射エネルギー特性について、必ずしも十分な評価結果を得ることはできていない状況であった。以下において、前回検証実験における問題点について検討した。

3.2 従来方法による問題点改善のための対応策の検討

前節において、前回調査研究委員会において、検証実験を行った放射計対比法による測

定システム及び測定データに影響する要因について、精査を行った。ここでは、本年度の調査研究において、評価方法信頼性の向上するために必要な改善策について検討を行った。

3.3 フィルタ材料の調査・選定

本研究においては、放射温度計の波長帯域を2つに分離測定するためのフィルタが必要とされたため、調査・選定を行った。

3.4 装着用治具の設計・製作

ミノルタ製放射温度計の先端に装着して、フィルタを容易に切り換え使用できる治具を設計・製作した。光学系の要請から、フィルタ外形は50mmφとして設計を行った。

これに対して、前述の短波長フィルタ、赤外フィルタを装着し切り換えることができるようにしたが、同時に、フィルタ無しのオープン状態と、放射温度計外観図赤外線を遮断の閉状態での測定が可能のように4位置にて回転停止するホイールを製作、2箇所フィルタを固定し、残る2位置をオープンと遮断状態となるように設計した。

3.5 黒体炉による放射計の較正

本研究で利用した3種類の放射計の較正結果を示した。較正には、標準黒体炉を使用し、0℃～500℃まで行った。

第4章 放射計システムによる簡易法

前章までに構築した概念を基に、数値実験及び測定実験を行った。本章では、実験結果を示すとともに、簡易法（放射計対比法）の確立を試みた。

放射計は、近赤外域（0.2～4.0μm）、遠赤外域（5.0～16.0μm）、全域（0.2～16.0μm）の3種類を用意した。遠赤外型、黒体型の2種類の遠赤外ヒータを対象に実験を行い、黒体放射との比較による定量的判別法、各放射計の出力比による定性的判別法、擬似黒体化による輝度温度測定等を提案した。

第5章 遠赤外加熱装置に見られる加熱パターンの特異性と簡易法

その他評価法への期待

5.1 遠赤外線利用時における遠赤外線ヒータの簡易測定法の必要要素

遠赤外線を熱エネルギー源として利用していく時に遠赤外線ヒータもしくは近赤外線ヒータ等との区別が正確に表示されていず、ヒータ製作メーカーの一方的な表現によって表示され、使用者がその区別を正確に把握できていないのが現状である。

遠赤外線は加熱時間の短縮、熱吸収効果の向上、省エネルギーへの貢献等の特徴が秀でており多くの業界に利用されている要因となっている。近赤外線ヒータや熱風加熱に比べて加熱効果が高いことからこれらの他の熱源が遠赤外線ヒータとして標榜されることがある。多くの利用者は遠赤外線と近赤外線もしくは中赤外線の区別に知りうるすべがなく、ヒータメーカーの表示している内容でそれぞれの区分を判断せざるを得ないのが現状である。したがって本来遠赤外線ではないヒータを遠赤外線と表示されていれば、利用者は遠赤外線と認識して使用してしまい、表示とは異なった他の熱源であったとすれば遠赤外線の特徴が発揮できないわけで、使用者が遠赤外線としての評価を誤解してしまう事が生じている。

この事から解決するには遠赤外線の定義にのっとり、遠赤外線放射のヒータである事が簡易的に評価する事が必要となる。すなわちヒータとして作り上げた製品を通電し、放射エネルギーを簡易的に評価する事が出来れば、曖昧な根拠により遠赤外線ヒータと称しているヒータとの識別が可能となり、使用者側に正確な情報が届けられることになる

5.2 放射型ヒータの現行の評価法

1) 現行の性能評価

放射材料の分光放射率の測定、ヒータでの標準テストピースの加熱試験、実際のワークによる加熱試験により性能評価を行なっている。

2) 問題点

簡単にテストが出来ない。ヒータの仕様、サイズ、容量等多種多様であるので実際の性能を評価しているとは限らない。

3) 簡易評価法への期待

ヒータは通常加熱炉内に設置されて使用されるので炉の仕様によっても性能は左右される。そこでヒータユニットの評価や炉内でのヒータの評価として $3\mu\text{m}$ 以下と $3\sim 15\mu\text{m}$ 以上の比率だけでも簡易に測定できれば遠赤領域の放射ヒータかどうか判定でき、使用方法も確定することになる。

$3\mu\text{m}$ 以下と $3\sim 5\mu\text{m}$ 、 $5\sim 15\mu\text{m}$ の比率が測定できれば近赤、遠赤、灰色体ヒータの区別が出来さらに有効に活用できる。

5.3 「被加熱物及びヒータの分光放射率」が

加熱特性に及ぼす影響についての簡易シミュレーション

遠赤外ヒータを用いた加熱の特異性としては、加熱効果が「ヒータ表面温度」及び「ヒ

「ヒータ表面放射率」の双方に支配されるという点が挙げられる。熱風加熱の場合は加熱効果を支配する要因は熱風温度と風速であろうが、被加熱物の最終到達温度は熱風温度に収束する。遠赤外加熱では、たとえば2種類のヒータで加熱する場合、両ヒータに表面放射率の波長分布の違いがあると、ヒータ温度が同等であっても被加熱物の到達温度に相違が生ずる可能性がある。

従来から、ヒータ及び被加熱物の、波長分布を考慮した表面放射率（以下「分光放射率」という）の相関により加熱効果が変わるのではという考察は存在したが、それについての定量的なアプローチは少数であった。今回簡易的なシミュレーションにより、分光放射率を考慮した遠赤外ヒータによる加熱過程を解析し、その特徴及び問題点等を検討した。

5.4 放射温度計による炉内温度計測について一考察

高温の炉内温度を熱電対など接触式の温度測定法を適用する場合、測温素子の取り付けなど問題点は多い。放射温度測定法は、測温面の温度場を乱すことが無い非接触測定法である。この利点を利用して、炉内温度測定に放射温度計を使用した場合の問題点について2.3の考察を行った。

放射温度計は黒体炉温度を標準として較正されているので、測定条件が較正時の条件と異なるときは測定値の補正が必要である。補正の主要なものは測定対象が黒体でないことに起因するもので、測定面に入射してくる放射の一部が測定面で反射し、これが放射温度計に入射してくる背景放射の処理に関わる問題である。この背景放射について2.3の条件で計算し考察した。このほか測定空間における電磁波の吸収に関して、標準的な大気の透過率を計算し、吸収ガスからの放射の影響について考察した。

第6章 本年度の成果と残された問題点ならびに今後の展望

今回検討した簡易法(フィルタ法)は完成形ではなく、原理確認のためのものであるが、「1基の放射計に1枚ないし2枚のフィルタを備え、それらを切り替えることにより、放射エネルギーの遠赤外域の寄与の程度を簡便に知る」という方法は、十分将来利用価値のあるシステムになると思われる。

今後これを基に、より使いやすいシステムが出来ることが期待される。例えば、将来フィルタ帯域の遠近の境界を例えば $3\mu\text{m}$ といった適正な波長で、過不足なく区分することが可能となり、さらにフィルタ間の透過率の違い等の自動補正が機器に組み込まれる等により、換算を要せず直接必要な値が得られるならば、大変有用な機器となると期待される。

使いやすいシステムが出来、この方法の利用の仕方がいろいろ検討されることにより、遠赤外ヒータおよび遠赤外加熱装置関係者がこれら手法を広く活用し、それらを設計技術

に反映させて行けば、遠赤外技術に対する確度と信頼性は一層向上し、普及拡大と応用面の拡がりに少なからぬ寄与を果たしていくことであろう。

結 言

本調査では、事前に計画していた、帯域の異なる 2 基の放射計による対比法の改良が、つまり従来の全域型に変えて、近赤外型を新たな比較対象とし、これと遠赤外型との比を取るという方法が実現できなくなり、急遽、簡易法としていろいろな方法を候補として採り上げざるを得ない状況となった。候補には、事前構想と同じく放射計を用いる方法と、それ以外の方法がいくつか挙げたので、それらを検討した。

その結果は、計画変更への対応に時間を取られ、本格始動が遅れたに見関わらず、むしろ事前計画にこだわるよりもよい結果をもたらしたとも言える。放射計方式では、今回は放射計が 1 基であったため、2 基使用の場合に避けられない異なる機器の間のいろいろな食い違いの要因を排除できたことが大きいと思われる。結果は、黒体型と遠赤外型のヒータの間で、放射エネルギーの遠赤外域比率が異なることを明確に示していた。このような結果は、以前に JIS 法検討の際に得られていた傾向をより一層明確にしたものとして、大いに評価してよいであろう。

また放射計以外の方法についても、今後このような問題に対し、いろいろなアプローチが可能であるということを、示唆してくれた。FTIR 法による確認は最重要課題であり、その他も遠赤外線協会としての課題として受けとめたい。

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。