

セラミック系赤外線ヒータの分光放射特性(II)

松井 松長*・玉重 繁良*・高木 亨*

On Spectral Distribution of Radiation of Ceramic Infrared Radiators (Part 2)

Matsunaga MATSUI*, Shigeyoshi TAMASHIGE*
and Tohru TAKAGI*

ABSTRACT

The thermal emission properties of ceramic ir radiator in the wavelength regions 1.5 to 4.5, 8 to 12, 22 to 33, and 1.5 to 45 micrometers are described.

Data are presented for alumina-titania, zirconia, enameled iron, pyrex, and quartz glass radiators, and they are all thermal radiator, any other emission (luminescence) are not detected. Finally, methods for detection of the broken radiator applying the thermal ir radiation of it are discussed.

1. まえがき

近年、赤外線加熱用として種々のセラミック系ヒータが市販されている。これらに共通した特長として、長波長域での放射特性が良く、効率が高いことがあげられているが、この放射特性が明確に表示されているものは極めて少なく、この種のヒータの適正な利用、並びに正当な評価の妨げとなっている。このことから、前報ではセラミック・ヒータの2.5~15 μm の波長域における分光放射特性測定用のフィルタ形分光放射計、およびこの装置による棒状ヒータの測定結果について報告した。⁽¹⁻³⁾

本報告はその続報であって、セラミック系の棒状ヒータおよび面状ヒータについて波長域を1.5~45 μm に拡張し、4種類の帯域において測定するとともに、これらの結果より加熱効果の高いヒータの分光放射特性について考察した。さらに温度放射を利用した断線セラミック・ヒータの非接触識別法についても検討した。なお、本研究は北陸電力株式会社技術研究所からの委託研究として行ったものである。

2. 帯域別放射特性

セラミック・ヒータの放射特性をより広い波長域で明確にするるとともに、各種の被加熱物に適したヒータを選

択する場合の基礎資料を得ることを目的として帯域別放射特性の測定を行った。

このような測定法を採用した理由は、20 μm 以上の長波長域においては所要の狭帯域フィルタの入手が不可能なこと、およびこの波長域においては放射エネルギーが小さく分光放射測定が容易ではないことのほか、被加熱物の赤外線加熱に対する適否を検討する場合において、精細な吸収スペクトルよりも帯域毎の吸収特性を考えるのがより実用的であることによるものである。

測定には図1に示したような4種類の帯域透過形フィルタを装備したフィルタ形分光放射計と黒体炉(千野製作所製IR-R2)を用いて、黒体放射との比較測定を行った。波長域は $\Delta\lambda_1=1.5\sim 4.5\mu\text{m}$ (ソーダ・ガラス) $\Delta\lambda_2=8\sim 12\mu\text{m}$ (干渉形フィルタ)、 $\Delta\lambda_3=22\sim 33\mu\text{m}$ (干渉形フィルタ)、および $\Delta\lambda_w=1.5\sim 45\mu\text{m}$ (KRS-5)である。ここで $\Delta\lambda_w$ はほぼ全放射とみなすことができる。フィルタを除く放射計の構成、および測定の要領は分光放射測定の場合と同様であるから省略する。

測定は24種のヒータについて行った。図2にその中の面状ヒータの代表的な2例の構造を示す。これらは放射面の温度むら小さくなるような構造になっているのが特徴としてあげられる。図3、4に3種類の棒状ヒ-

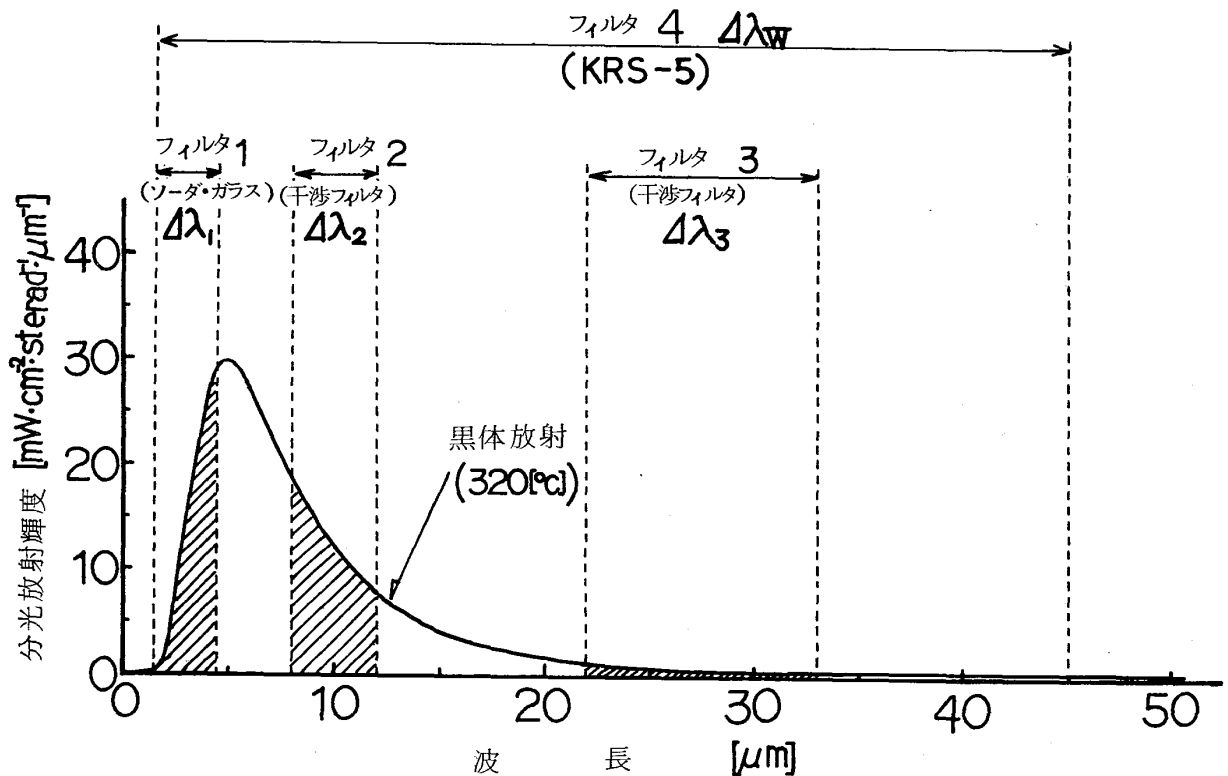


図1 セラミック系面状ヒータと同温度の黒体の分光放射輝度および使用フィルタの透過波長域

タ（内1種類は石英管）と7種類の面状ヒータの帯域別放射特性の測定結果を示す。

同図より、 $15\sim 45\mu\text{m}$ の波長域では石英管ヒータを除くいずれのヒータも黒体放射を上まわるレベルの放射は見出されず、通常温度放射体であるとみなすことができる。図3においてCヒータ（石英管）の $\Delta\lambda_1$ 、 $\Delta\lambda_w$ の放射エネルギーが黒体のそれよりも大きくなっているのは、約 $4.5\mu\text{m}$ 以下の波長域において、高温の一次発熱体からの放射が石英管を透過して出てくるためである。

図4においてSおよびGヒータの $\Delta\lambda_2$ での放射輝度の低下は、ガラス質に共通した特性であって、図5、6に示すようにその波長域において分光反射率が高くなっていることに起因すると考えられる。

同図の $\Delta\lambda_1$ 波長域における T_2 、Jおよび K_2 ヒータの放射輝度の低下は、放射面の材質によるものでジルコニア(ZrO_2)系に共通した特性と考えられ、Blauらの測定結果とも定性的に一致している。またアルミナ・チタニア系の T_1 と K_1 ヒータは全波長域で類似した特性を示していて、これまでに測定した20余種のヒータの内でも最も黒体に近い放射特性であり、簡易な基準放射源として利用することができる。

3. 分光放射特性と加熱効率

従来この種のヒータの放射特性の改善は、黒体放射に近づくこと、すなわちより高放射率の放射面材料の開発を目指して行われてきた。しかし実用上システム全体の加熱効率の向上には、単に高放射率だけでなく、被加熱物の分光吸収特性に適合した分光放射特性のヒータが望ましい。

このことに関連して、これまでに測定したセラミック・ヒータの中から代表的な6種を選び、分光放射特性と消費電力について検討してみた。図7に放射面材質の異なる4種のヒータの分光放射特性を示す。アルミナ・チタニア系は、全波長域において高い放射率をもっていて、吸収帯が全波長域におよぶ被加熱物に適している。パイレックス・ガラス、石英などのガラス系は $7\mu\text{m}$ 以下の短波長域での加熱、ジルコニア系は $8\mu\text{m}$ 以上の長波長域での加熱に有効である。

表1は前記6種の棒状と面状ヒータのそれぞれを同一表面温度で動作させた場合の入力電力、同一放射面積に換算した場合の入力比および放射輝度を示す。特に T_1 と T_2 の内部は同一構造であることから、 $8\mu\text{m}$ 以上の長波長

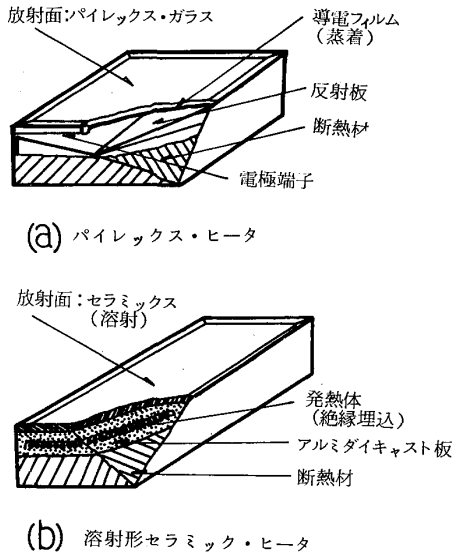


図2 面状ヒータの構造

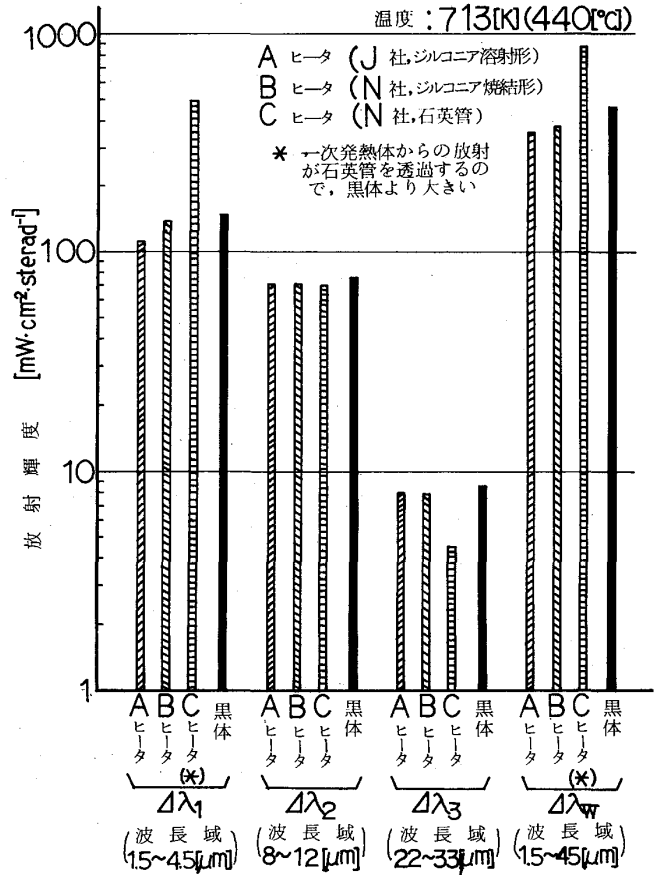


図3 棒状ヒータの帯域別放射輝度

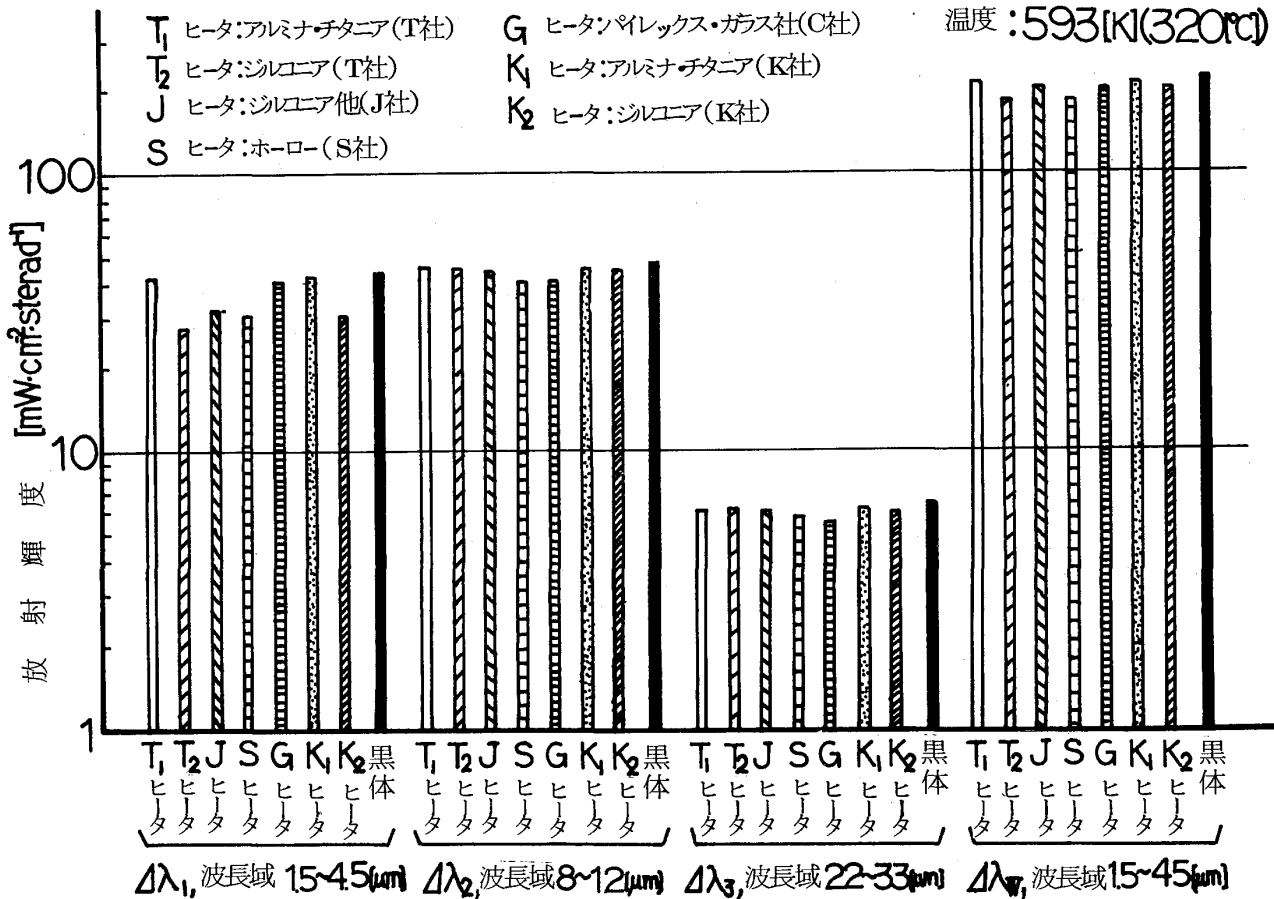


図4 面状放射体の帯域別放射輝度

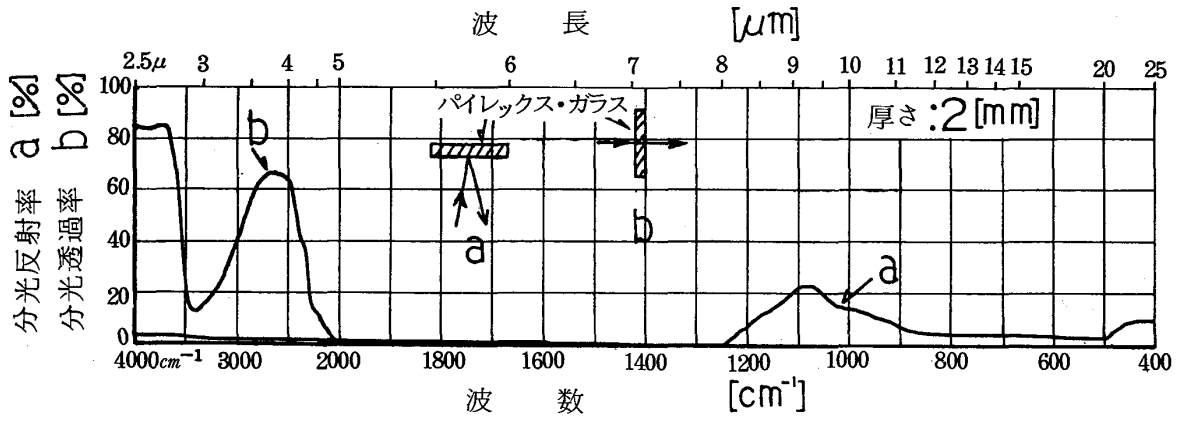


図5 パイレックス・ガラスの分光透過および分光反射特性

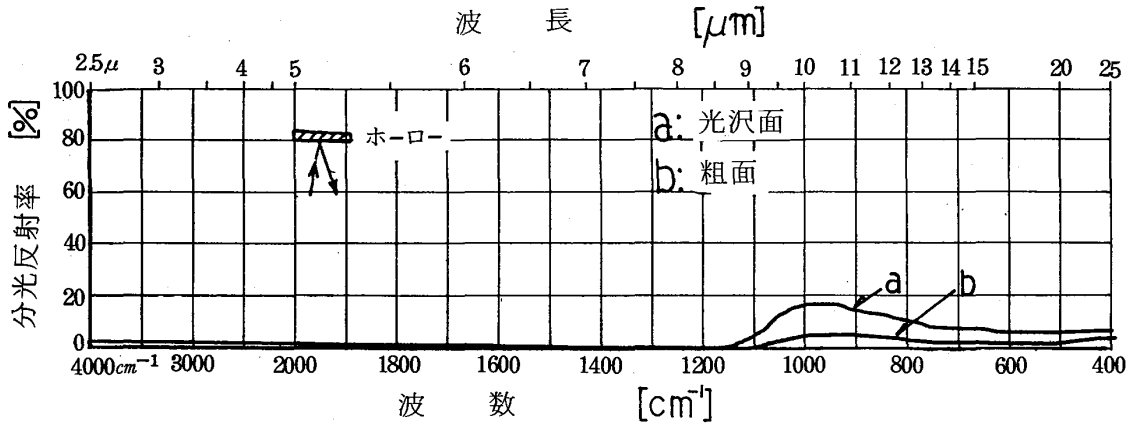


図6 ホーローの分光反射特性

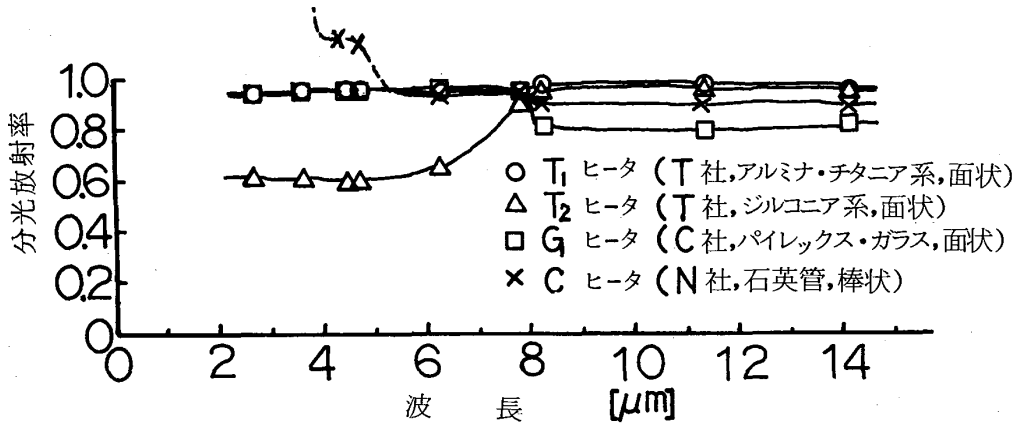


図7 セラミック・ヒータの分光放射率

側に吸収帯を有する被加熱物を考えると、 T_2 は約15%の効率改善が見込まれる。短波長側でGヒータを用いる場合には、さらに大きく31%となる。

4. 断線セラミックヒータの非接触識別法

セラミック系ヒータの動作温度(表面温度)は300~500℃と低く、可視光放射が極めて微弱であり、さらにセラミックスの多くは不透明で内部の高温一次発熱体からの放射を断しているために、動作中の多数のヒータの中から断線ヒータのみを肉眼によって識別することは不可能である。断線ヒータの識別法としてはヒータ電流の変化を検出して表示することも可能であるが、現用の装置では改装のための運転停止や経費などの関係で、現場における簡易な検出法が要望されている。このこと

からヒータからの赤外放射を利用した識別法について考察した。

放射を利用した非接触検出方式としては、次の6種類の方法が考えられる。すなわち

- (1) 赤外線映像装置
- (2) 赤外線ビデオン
- (3) 赤外線フィルム
- (4) 感温紙
- (5) 感熱紙
- (6) 液晶

ここで前3者は光量子形検出方式、後3者は熱形検出方式である。操作の難易、価格などを考慮して(2)~(4)について検討した。

赤外線ビデオン法: シリコン・ビデオン (Sony

表1 同一表面温度での各ヒータの入力、放射輝度の比較

種類		表面温度 [°C]	左欄の表面 温度のとき の電力 [W]	ヒータの放 射面積 [cm ²]	Bヒータと同一 放射面積に換 算したときのBに 対する電力比	全放射輝度 [Wcm ⁻² sterad ⁻¹]	8~12μm帯 の放射輝度 [W·cm ⁻² sterad ⁻¹]
棒 状	Aヒータ (ジルコニア系溶射形)	440	225	96	0.96	356.9	71.3
	Bヒータ (ジルコニア系焼結形)		200	82	1.00	378.6	71.1
	Cヒータ (石英管)		345	100	1.47	873.0*	70.2
面 状		320			T ₁ ヒータと同 一放射面積に換 算したときのT ₁ に対する電力比		
	T ₁ ヒータ (アルミナ・チタニア系)		620	520	1.00	215.8	47.1
	T ₂ ヒータ (ジルコニア系)		530	520	0.85	184.3	45.9
	Gヒータ (パイレックス・ガラス)		700	850	0.69	202.0	41.6

※ 図3参照

製)が近赤外線(1μm)まで感度を有していることを利用するもので、300℃以上のヒータの検出が可能である。

赤外線フィルム法:赤外線フィルム(Kodak No.2481)の波長0.9μmまでの感度を利用する方法で検出可能最低温度は約350℃であった。

感温紙法:電気機器の異常温度検出用の小温塗料(サーモペイント)は、熱伝導により塗料温度が上昇して変色することを利用している。この塗料のヒータからの赤外放射に対する吸収特性は、図8に示すように良好で、紙、フィルム等に塗布すれば検出に有効なことを確認した。この場合、次のような条件を満たすものが適している。

- (1) 変色温度が低い
- (2) 赤外線吸収率が高い
- (3) 熱可逆性である
- (4) 低熱伝導率、小熱容量である
- (5) 低価格、入手容易である

このような感温紙用塗料としては、現在市販されている変色温度40℃、および50℃のサーモペイント(R4およびR5)がこの条件に適合している。図9にR4塗布の感温紙の変色特性を示す。検出可能最低温度は約100℃であった。

感熱紙法:硫酸の脱水・炭化作用の応用で、ヒータからの赤外放射による希硫酸塗布紙の黒化を利用している。

変色特性は中質紙に5~10%の希硫酸を塗布したものが適当である。感温紙に比べて入手、価格の点では劣らないが、低感度、保存期間が短い、非可逆性などの難点がある。検出可能最低温度は約250℃であった。

断線セラミック・ヒータの非接触識別法として、4種の方法で実験的に検討した。その結果、感温紙法が最も実用性が高いことを断定した。

5. むすび

セラミック系赤外線ヒータの帯域別放射特性、加熱効率の改善、および断線ヒータの非接触識別法について検討した。その要約は次の通りである。

- (1) 現在市販または開発中の20数種のセラミック系ヒータの1.5~45μmの波長域における分光放射特性ならびに帯域別放射特性を測定した結果、いずれも黒体放射を上まわる特異な放射は認められず、すべて温度放射体であることが確認された。
- (2) 従来、この種のヒータの開発目標の1つは、黒体放射に近づけることであった。しかし、加熱効率の向上には、むしろ適当な帯域選択性の放射体がよく、この種のセラミック材料の開発が望まれる。
- (3) 断線ヒータの4種類の識別法について実験・検討した結果、構造が簡単、操作が容易、反復使用可能、

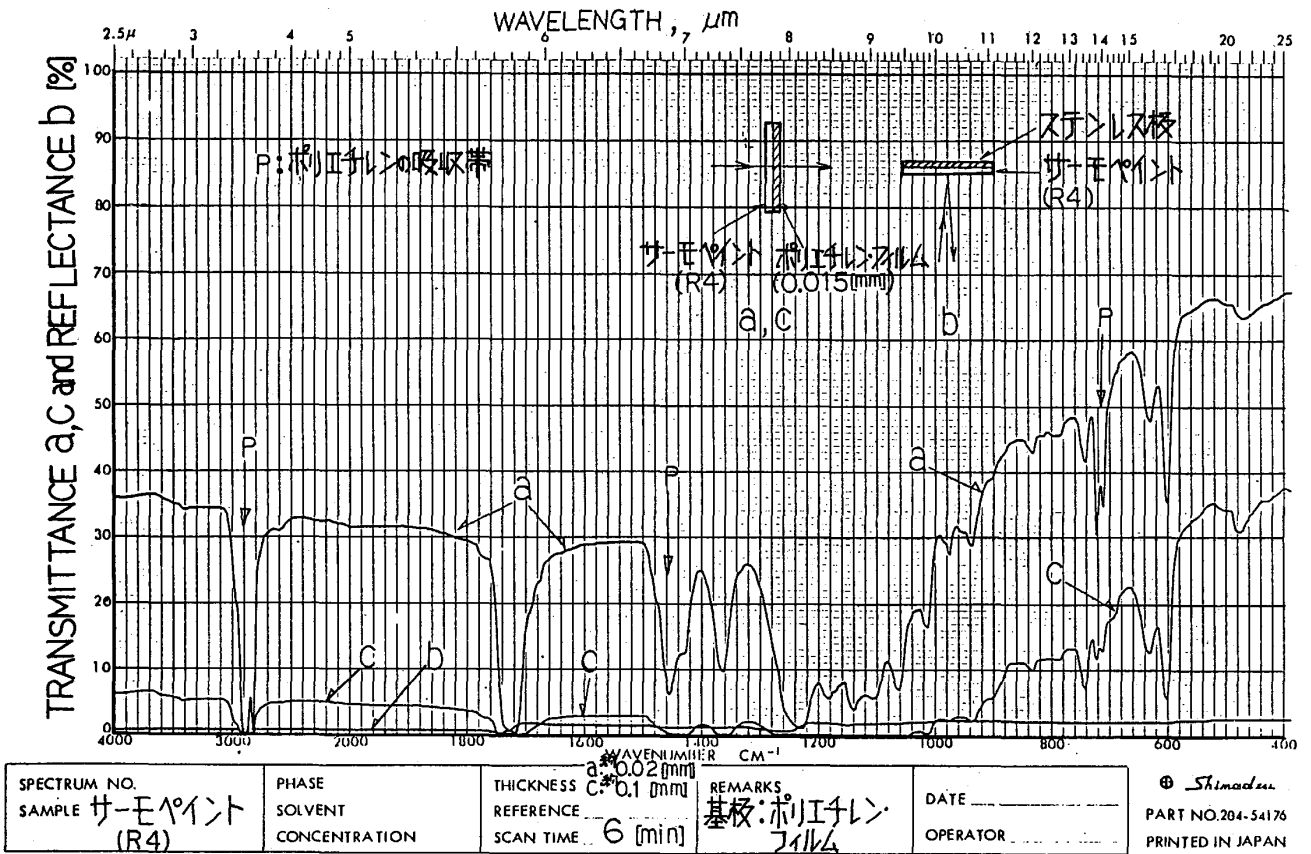


図8 サーマペイント (R4) の分光透過・分光反射特性

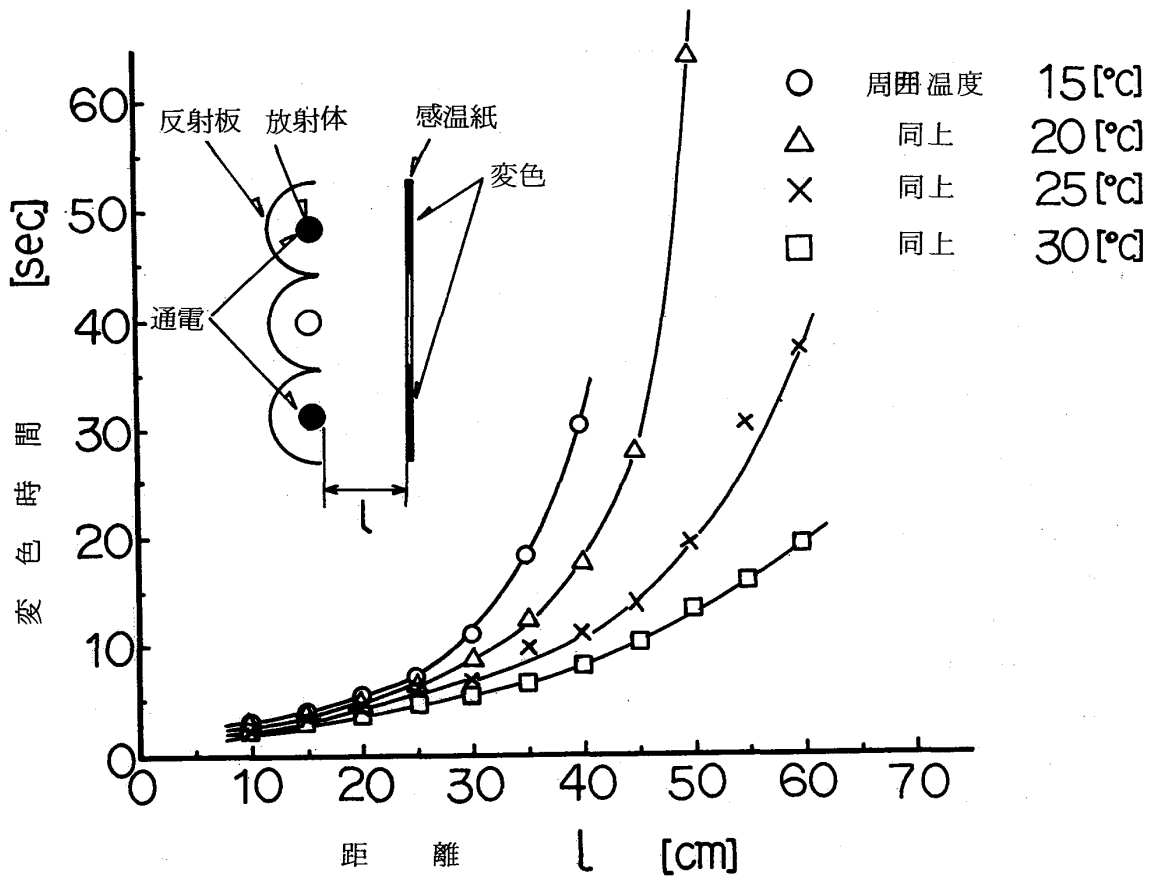


図9 感温紙 (サーモペイント, R4) の変色特性

安価などの理由で感温紙法が最も優れていて実用的である。

最後に、本研究を進めるに当り、種々ご支援いただいた北陸電力(株)技術研究所荒木唯志課長に謝意を表します。

なお、本報告の内容の一部は昭和56年11月電気四学会中国支部連合大会、昭和57年10月同北陸支部連合大会、および同年11月赤外線技術研究会において発表した。

＜参考文献＞

- (1) 高木, 松井, 玉重: 福山大学工学部紀要, **3** (昭56) 1.
- (2) 松井, 高木, 荒木: 電気四学会北陸支部連合大会講演論文集(昭55) A-49.
- (3) 玉重, 松井, 高木, 荒木: 赤外線技術研究会 第41回定例研究会資料(昭55) No.103-7.
- (4) H.H. Blau, Jr., J. R. Jasperse: Appl. Opt. **3** (1964) 284.