

固体ふく射の分光研究 (第4報)*

— 塗装平面および粗面の指向単色ふく射率 —

馬場 弘**

金山 公夫**

(昭和48年3月30日受理)

A Spectroscopic Study of the Emission from the Solid (Part 4)

— Directional Spectral Emittances of the Paint Coated
Smooth and Rough Surfaces —

by Hiromu BABA and Kimio KANAYAMA

Up to the present, the authors have carried out an analysis and a measurement for the directional total emittance and the normal spectral emittance of the paint coated smooth and rough surfaces.

In this paper, a spectral dependency of the emittance is researched by measuring the spectral emission in each direction on the paint coated smooth and rough surfaces, and the directional monochromatic emittance obtained from it on each wavelength is compared with the calculated value. All emissive properties of the paint coated smooth and rough surfaces have been made clear by this investigation.

1. ま え が き

物体をふく射の性質から分類すると、黒体、灰色体および非灰色体になる。ふく射伝熱量の計算においては物体を黒体または灰色体と仮定して行なっているが、実在する物体の表面の多くは非灰色体であり、そのふく射率は方向および波長によって変化する。

この論文は、著者らがこれまで行なってきた固体ふく射の分光研究の最終段階であるところの単色ふく射率の方向角依存性、すなわち指向単色ふく射率に関して塗装平面および粗面を試料に用いて、かなり厳しく制御された条件下でかつ細心の注意のもとに実験された測定結果について解析、検討を行なったものである。

2. 実 験 方 法

実験の方法および結果の処理方法は前報^{1),2)}と同様である。ただし分光計のシールド開口

* 日本機械学会第50期通常総会(昭和48.4.3)で発表予定

** 北見工業大学機械工学科

部が 20×20 mm で全ふく射率測定のため、分光計の光軸に対して試料を傾斜させた場合、方向角 ϕ の大きいところで開口部が覗く範囲が試料からはずれることのないように試料の横幅を2倍にし縦 115 mm \times 横 230 mm に決定した。これに伴って横幅2倍の試料加熱器を新たに製作した。方向角 ϕ が大きくなると試料の一部がシールドに接近して、シールドが加熱されるので、これを防止するため水冷シールドを用いた。また試料の方向角 ϕ の正確な割出しと、試料とシールド間の距離調節を行なうために図1に示す試料取付台を製作した。これによって実験操作が容易になるとともに実験精度が高まった。塗料の種類は明色塗料の代表としてオレンジ、暗色塗料の代表としてブラウンを用い、平面は塗料のみを塗布したもの

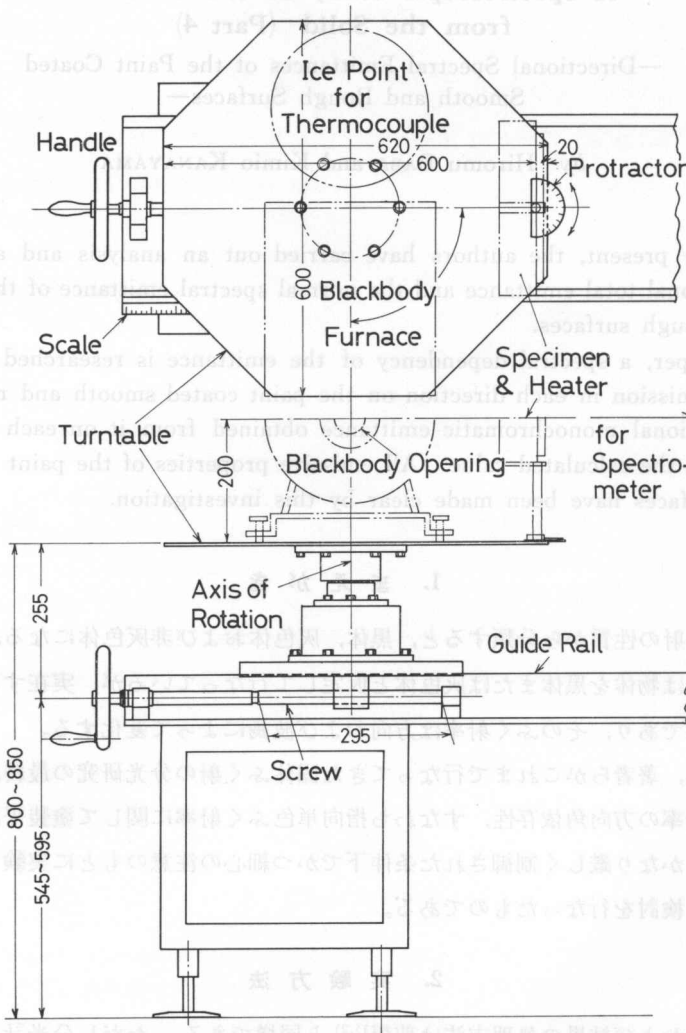


図1. 試料角度および分光計シールドと試料間の距離調節装置

Fig. 1. Adjusting equipment of specimen angle and specimen distance from a monochromator shield.

(0/1) を、粗面はアスベスト粉末を混合して塗り、アスベスト粉末と塗料の混合割合は重量比でそれぞれ 1/4 および 1/2 の二種類とし、各試料はこの分数記号で示す。さらに整理記号としてブラウンは J, オレンジは K を用い、平面から粗面の順に 1, 2, 3 の数字で表記する。試料温度は全て 200°C, 室温 20~21°C, モノクロメータ温度 21~25°C である。

3. 実験結果と検討

オレンジ塗料の平面、および粗面に関する指向単色ふく射率の波長依存性の測定結果を図 2 に、ブラウン塗料の平面と粗面に関する結果を図 3 に示す。これらの図で、 3μ 以下および 20μ 以上の両端の波長域では、エネルギーが微弱なため測定誤差が大きいので、ここでは一応考察の対象から除外する。

図 2(a) においてオレンジ平面の指向単色ふく射率 $\epsilon_{\phi\lambda}$ は方向角 ϕ のいかにかわらず、波長 $\lambda=8\mu$ 以下で減少し、 $\lambda=4.2\mu$ で極小値をとり、さらに波長が短くなると増加し 3.3μ で小さいピークを持つ形となっている。 8μ 以上では $\phi=0\sim 45^\circ$ の各曲線は波長に対してほぼ一定な大きな値を示し、 $\phi=60^\circ$ ではやや減少し、 $\phi=75^\circ$ ではかなり減少するが波長に対しては他の曲線と同様にほぼ平坦となる。ここで単色ふく射率の絶対値および極小極大値の波長のずれなどから、 $\phi=15^\circ$ の曲線は試料温度がやや低めに、 $\phi=60^\circ$ の曲線はやや高めに測定されたものと推察される。

オレンジ平面が粗面になると、図 2(b) に示すごとく各曲線とも値が増大する。なお、(1/4) 試料については (1/2) 試料の結果より値としてやや小さいが波長依存性に関する傾向は (1/2) 試

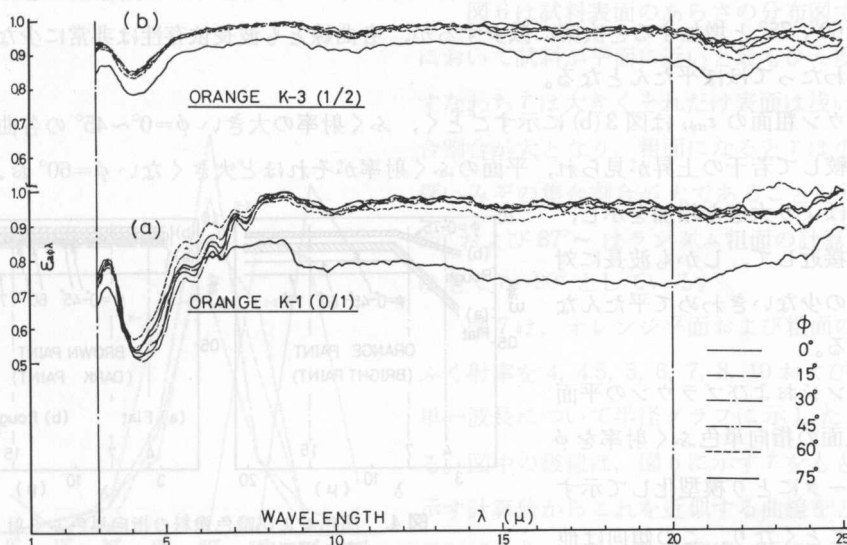


図 2. 塗装平面および粗面の指向単色ふく射率の波長依存性 (オレンジ)

Fig. 2. Directional spectral emittances of the paint coated smooth and rough surfaces (orange).

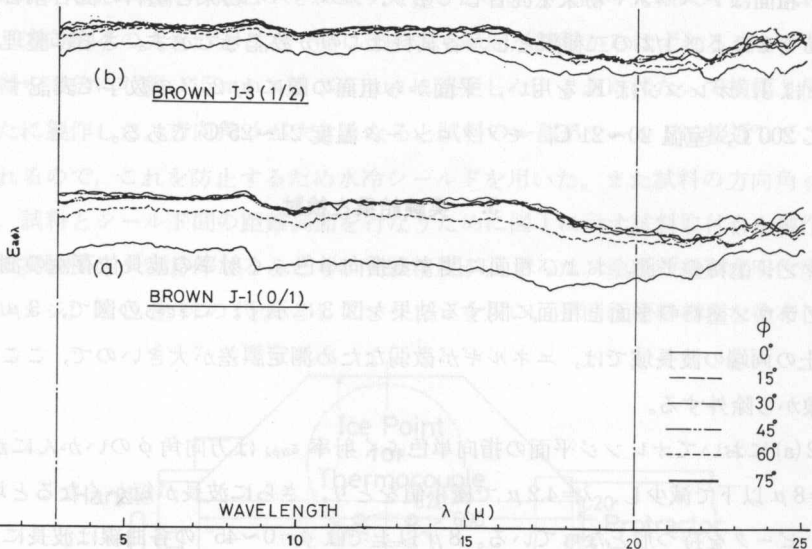


図 3. 塗装平面および粗面の指向単色ふく射率の波長依存性 (ブラウン)

Fig. 3. Directional spectral emittances of the paint coated smooth and rough surfaces (Brown).

料と同じであるので省いてある。とくに粗面の $\epsilon_{a\phi\lambda}$ はふく射率が小さい波長域における増加割合が大きく、 $\lambda=4.2\mu$ で僅かに低下する以外は各方向角とも波長依存性はほとんど見られず、値の大きなほぼ平坦な曲線となる。

図 3(a) においてブラウン平面の $\epsilon_{a\phi\lambda}$ は $\phi=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ および 45° の曲線はほとんど一致し、 ϕ が $60^\circ, 75^\circ$ と増加すると次第に減少するが、各曲線とも波長依存性は非常に少なく、全波長域にわたってほぼ平坦となる。

ブラウン粗面の $\epsilon_{a\phi\lambda}$ は図 3(b) に示すごとく、ふく射率の大きい $\phi=0^\circ\sim 45^\circ$ の各曲線には平面と比較して若干の上昇が見られ、平面のふく射率がそれほど大きくない $\phi=60^\circ$ および 75° の曲線ではより大きな増加を示し、全曲線は接近して、しかも波長に対して変化の少ないきわめて平坦な曲線となる。

オレンジおよびブラウンの平面および粗面の指向単色ふく射率を ϕ をパラメータにとりモデル化して示すと図 4 のごとくなり、この傾向は他の明色および暗色塗料についても適応できるものと思われる。明色塗料

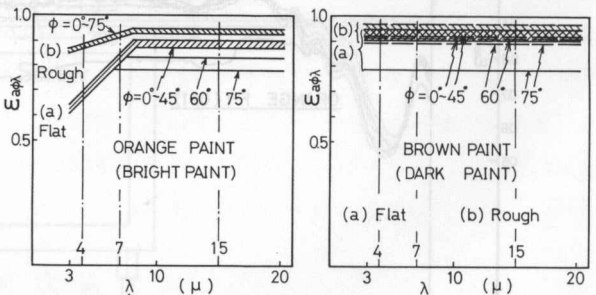


図 4. 明色および暗色塗料の指向単色ふく射率のモデル図

Fig. 4. Model pictures for the directional spectral emittances of the bright and dark paints.

の短波長域であられる $\epsilon_{a\phi\lambda}$ 低下の現象, および明色, 暗色の各塗料で ϕ の大きい方向であられる $\epsilon_{a\phi\lambda}$ 低下の現象は, これを粗面化することによって消滅し, 見かけ上屈折率 n が減少したと同じ効果をもたらし, したがって $\epsilon_{a\phi\lambda}$ が増大するものと解釈される。この現象は著者らの行なった解析^{3),4)} によって説明される。

いま, 非金属粗面における指向ふく射率の測定値と計算値の比較を行なうために屈折率 $n=1.5, 3.0, 5.0$ および 8.0 について先に求めた非金属ランダム粗面の指向ふく射率の計算を行ない 図5 に示す。図によると n が大きくなると

ふく射率は小さくなり $n=5$ であらさにとほとんど無関係にその指向特性は乱射性となり, さらに n を大きくとり $n=8$ の平面では金属粗面と類似な指向特性を示すことがわかる。

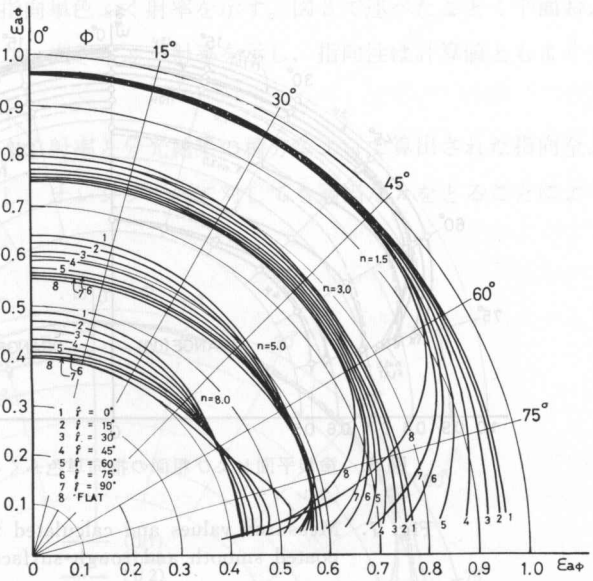


図5. 非金属ランダム粗面の指向単色ふく射率 (計算値)

Fig. 5. Directional monochromatic emittances of the nonmetallic random rough surface (Calculated value).

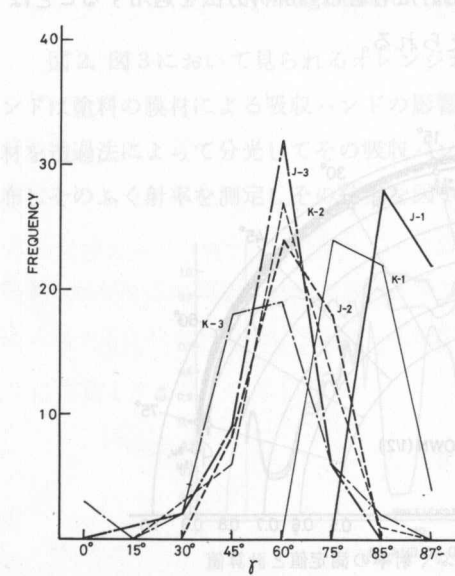


図6. 試料表面のあらさ分布図 (f)

Fig. 6. Roughness distributions of the specimen surface (f).

図6は試料表面のあらさの分布図である。図において試料が平面に近いと最もひん度の高い f , すなわち f は大きくそれだけ表面は浅いみぞの集合割合が大となり, 粗面になると f は小さくなり深いみぞの集合割合が大であることを示す。 $f=85^\circ$ および $87^\circ \sim$ はランダム粗面の計算においては全て $f=90^\circ$ としている。

図7は, オレンジ平面および粗面の指向単色ふく射率を $4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 10$ および 15μ の各単一波長について半径グラフに示したものである。図中の破線は, 図6に示す f をもとに図5に示す計算値からこれを近似する曲線を取り出して示してある。また, 一点鎖線は平面の指向ふく射率を示す。 7μ 以下の短波長域では方向角 ϕ が大きくなるにつれてふく射率は大きくなり非金属平

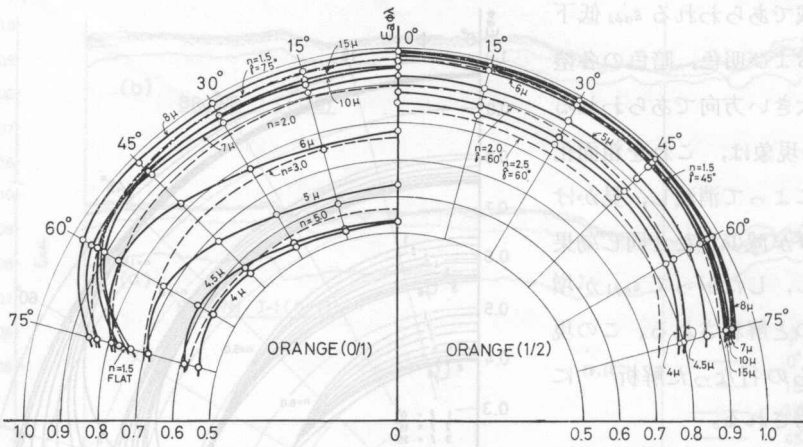


図 7. 塗装平面および粗面の指向単色ふく射率の測定値と計算値 (オレンジ)

Fig. 7. Measured values and calculated values for the paint coated smooth and rough surfaces (Orange).

面および粗面のいずれとも多少異なる中間的性質を示す。これと類似の現象は金属平面の短波長域 ($1.0 \sim 1.62 \mu$) においても見られる⁵⁾。波長 10μ および 15μ の曲線は $n=1.5$ の平面の曲線とよく一致し、粗面に対しては各波長についての特性は試料面の \hat{i} をもとに n を変化させて得られた計算値とそれぞれよい一致が見られる。これらのことから明色塗料の指向単色ふく射率に関する現象の説明として、それが波長依存性が強い場合全波長域にわたって一律に扱うことは無理であり、長波長域においてフレネルの式を用いた著者らの解析方法を適用することは出来るが、短波長域においては現段階では困難と考えられる。

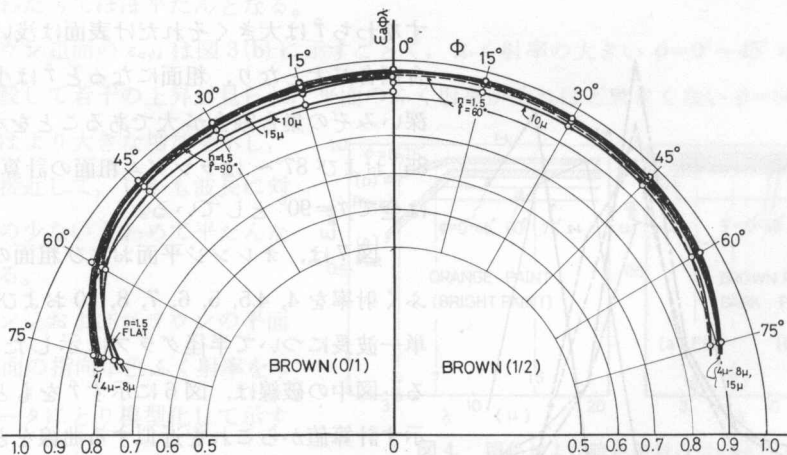


図 8. 塗装平面および粗面の指向単色ふく射率の測定値と計算値 (ブラウン)

Fig. 8. Measured values and calculated values for the paint coated smooth and rough surfaces (Brown).

図8はブラウン平面および粗面の指向単色ふく射率を示す。図3で述べたごとく平面および粗面のいずれの場合も波長依存性のない大きなふく射率を示し、指向性は計算値ともよく一致している。

図9は直接測定で得られた指向全ふく射率と分光結果の積分によって算出された指向全ふく射率を示す。両者は全般によく一致し、オレンジ平面に対しても適当な n をとることによってその傾向はかなりよく一致している。

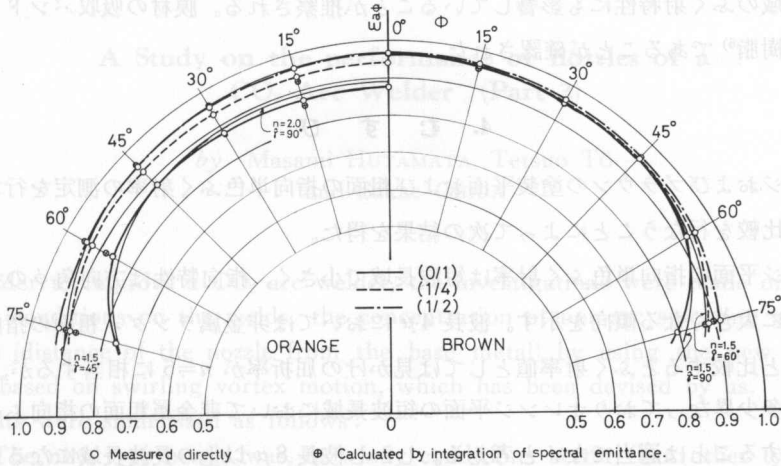


図9. 直接測定により得られた指向全ふく射率と分光結果の積分により算出された指向全ふく射率

Fig. 9. Directional total emittances measured directly and calculated by integration of the spectral emittance.

図2, 図3において見られるオレンジおよびブラウンの塗装平面における 8.5μ のふく射バンドは塗料の膜材による吸収バンドの影響であると考えられる。これを明らかにするために膜材を透過法によって分光してその吸収バンドを調べると共に、直接アルミ板上に膜材のみを塗布しそのふく射率を測定しその結果を図10に示す。

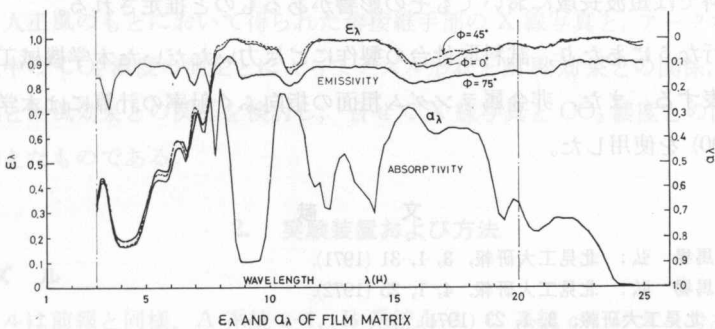


図10. 塗料膜材の単色ふく射率と吸収率

Fig. 10. Spectral emissivities and spectral absorptivity of film matrix of paint.

図によると 8.5μ のふく射バンドと吸収バンドは一致し膜材の吸収バンドであることが確かめられ、同時にその他の小さなふく射バンドと吸収バンドもほぼ一致することが明らかとなった。透過法の吸収バンドと直接加熱によるふく射バンドにおける波長のわずかなずれは、試料温度および測定方法など、測定条件の相違によるものと考えられる。また膜材のふく射率の測定結果から、 8μ 以上の長波長域における塗料のふく射率は、オレンジ平面、ブラウン平面のいずれもその傾向が類似していることから膜材のふく射率の影響が大きいこと、およびオレンジの短波長域のふく射特性にも影響していることが推察される。膜材の吸収バンドより膜材はシリコン系樹脂⁶⁾であることが確認された。

4. む す び

オレンジおよびブラウンの塗装平面および粗面の指向単色ふく射率の測定を行ない、また計算値との比較を行なうことによって次の結果を得た。

オレンジ平面の指向単色ふく射率は短波長域で小さく、指向特性は方向角 ϕ の大きいところでわずかに大きくなる傾向を示す。波長 4μ においては非金属ランダム粗面の指向ふく射率の計算結果と比較するとふく射率値としては見かけの屈折率が $n \approx 5$ に相当するが、その指向性の傾向は多少異なりオレンジ平面の短波長域において非金属粗面の指向ふく射率の計算式を適用することは適当でないと考えられる。しかし波長 8μ 以上の長波長域になると全波長についてほぼ一様な非金属平面の指向性を示す。

オレンジの平面を粗面にすることによって短波長域のふく射率が増加して全波長にわたって一様な非金属粗面の特性を示す。ブラウン塗装平面および粗面はともに全波長にわたって一様なふく射率を示し、その指向特性も計算結果とよく一致する。

ブラウンおよびオレンジの両塗装平面についてあらわれる 8.5μ におけるふく射バンドは膜材の吸収バンドであることが明らかになった。また塗料における膜材の影響は大きく長波長域におけるふく射率にはオレンジ、ブラウンの双方にその影響がうかがわれ、オレンジに代表される明色塗料では短波長域においてもその影響があるものと推定される。

本研究を行なうにあたり、試料取付台の製作にご尽力いただいた本学機械工学科技官阿部清氏に謝意を表す。また、非金属ランダム粗面の指向ふく射率の計算には本学の電子計算機 (OKITAC-4500) を使用した。

文 献

- 1) 金山公夫・馬場 弘：北見工大研報，**3**，1，31 (1971)。
- 2) 金山公夫・馬場 弘：北見工大研報，**4**，1，25 (1972)。
- 3) 金山公夫：北見工大研報，**3**，1，23 (1971)。
- 4) 金山公夫：日本機械学会論文集，**39**，319，907 (1973-3)。
- 5) Siegel, R. and Hawell, J. R.: Thermal Radiation Heat Transfer, 124 (1972) McGraw-Hill.
- 6) 瓜生敏三ほか：工業化学，**62**，1577 (1959)。