

# 塗装放熱面のふく射率測定

金山 公夫

馬場 弘

(昭和45年4月30日受理)

## Measurement of the Emittances on the Painted Radiation Surfaces

by Kimio KANAYAMA and Hiromu BABA

### Abstract

Measurements of the total and the directional emittances were performed at temperature 100–250°C and the obtained results are as follows:

1) The emittance of the surface roughened by coating the rough surface of cast iron with heat resistant paints and the surface roughened by coating with heat resistant paints mixed with asbestos tailing increased.

These surfaces, therefore, are suitable for the radiant heating surfaces.

2) The directional emittances of the surfaces coated with paints had a close resemblance to the values calculated from Fresnel's equation.

### 1. ま え が き

暖房装置からの放熱は対流とふく射の成分からなっているが、従来わが国の暖房装置に対する考え方は対流方式に重点がおかれ、ふく射熱を利用することはあまり考慮されていなかった。それに対して欧米では、昔からふく射熱を主体にした、いわゆるふく射暖房が活用されており<sup>1)</sup>、わが国でも第2次大戦中にふく射暖房に関する調査研究<sup>2)</sup>が行なわれたが、一般に普及するまでに至らなかった。

ところが、数年前から大気汚染防止の立場から地域暖房方式が推奨され<sup>3)</sup>、それに関連してふく射暖房の実用化が進められ、その効果と特性がかわれて再び脚光を浴びつつある<sup>4)</sup>。

ふく射暖房を計画して実施する際の問題点の一つに、放熱面の材料とそのふく射率の値がある。熱効率の面から云えば、ふく射率が大きいこと、とくに熱線領域(3~10  $\mu$ )における値が大きいことおよびふく射の指向性がないことである。この条件に比較的かなうものは、一般に非金属材料および塗装面であるが、暖房装置としてはこのほか機械的強度あるいは美観も大事な要素となる。

これらの点から考えて、ふく射暖房の放熱面としては、金属管に塗装をほどこして使用する

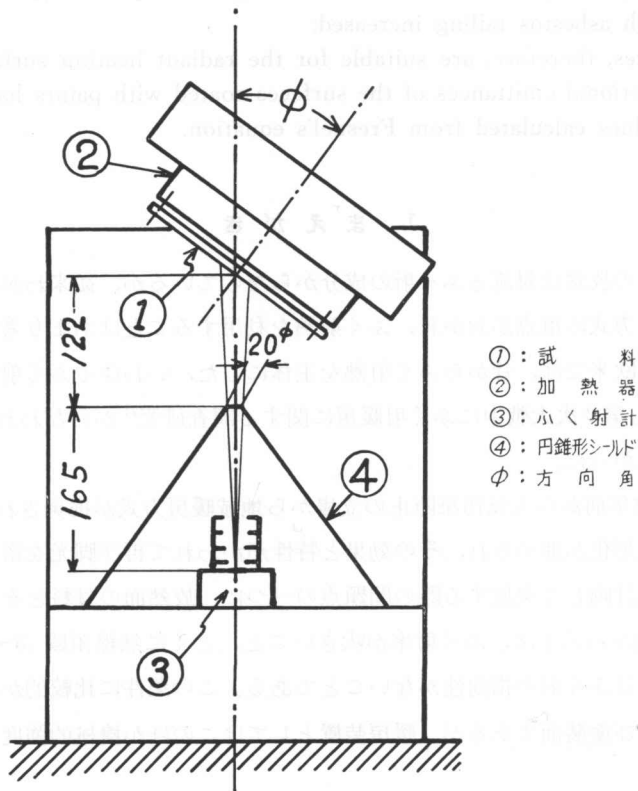
傾向にあり、それは本学体育館に採用された方式<sup>5)</sup> その他の事例<sup>6)</sup> にもみられるところである。

ふく射暖房および一般暖房の放熱面に塗装面を用いた場合、放熱量などの熱計算を行なうために、塗装面のふく射率および指向性等のふく射特性を明らかにしておかなければならない。そこで現在市販されている各種の耐熱塗料およびストーブずみの塗装面について、垂直ふく射率および指向ふく射率を測定し、また表面あらさを増すことによりふく射率の増大をはかるなどして得られた値を図表に整理して、熱計算の際の資料とした。

## 2. 測定方法

測定方法および装置は前報<sup>7)</sup> とほとんど同じであり、詳細については省略する。ただ、指向ふく射率を測定するために、試料を取付けた加熱器を回転できるように改造し、また方向角が大きくなっても試料面が完全にシールド開口の視野にあるよう開口を小さくして用いた。装置の概略を第1図に示す。

ふく射測定の際、背景からの外乱を防止するために、試料の傾斜方向には室温と温度差のある物体を置かないように、さらに人体からのふく射を受感しないように測定者は常に試料傾



第1図 指向ふく射率測定装置

斜方向の反対側に位置するように心がけた。

室温は 20~21°C, 湿度は 35% 以下に保って行なった。

### 3. 測定値とその検討

#### 3.1 垂直ふく射率

第1表および第2, 3図にストーブずみおよび耐熱塗料の温度 100~250°C の範囲における垂直ふく射率の測定値を示す。塗装表面は鋼板と鉄板で、鉄板は鉄はだのまま使用したので塗装面は相当あらい。耐熱塗料はパイロジンの商品名で売り出されているものにアスベストテールリングを混入して塗装面のあらしを大きくした。

塗料の垂直ふく射率はシルバーを除き大きな値を示し、ストーブずみを鉄板に塗ったあらい面は、鋼板に塗った滑らかな面より値は増大した。この性質は Sparrow の空洞ふく射理論<sup>8)</sup>で定性的に説明される。アスベストテールリングを混入した耐熱塗料は、それ自体があらい面を形成してふく射率は増大し、素材のあらしによる影響はあられもない。

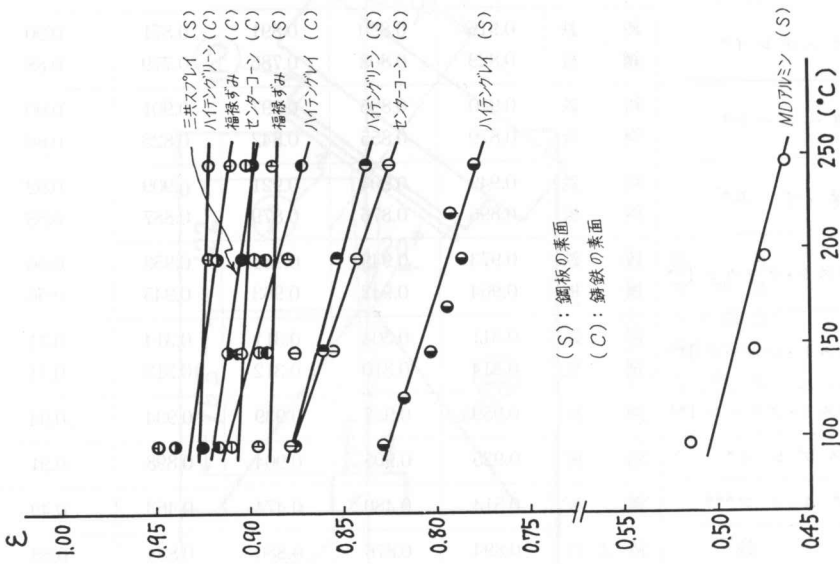
第1表 ストーブずみ, 耐熱塗料および塗装素材の垂直ふく射率

試	料	97.5°C	147°C	197°C	246°C	平均
ハイテングリーン*	鉄板	0.940	0.911	0.917	0.921	0.92
	鋼板	0.876	0.861	0.853	0.837	0.86
ハイテングレイ*	鉄板	0.916	0.890	0.891	0.871	0.90
	鋼板	0.829	0.803	0.786	0.779	0.88
センターコーン*	鉄板	0.910	0.895	0.897	0.901	0.90
	鋼板	0.879	0.855	0.842	0.825	0.86
福 禄 ず み*	鉄板	0.949	0.904	0.921	0.909	0.92
	鋼板	0.896	0.876	0.879	0.887	0.88
アスベスト・ブラウン I**	鉄板	0.973	0.949	0.951	0.953	0.96
	鋼板	0.964	0.942	0.963	0.945	0.96
アスベスト・シルバー I**	鉄板	0.311	0.304	0.311	0.314	0.31
	鋼板	0.314	0.310	0.312	0.313	0.31
アスベスト・グリーン I**	鋼板	0.959	0.937	0.939	0.934	0.94
三 共 ス プ レ イ*	鋼板	0.925	0.905	0.904	0.898	0.91
MD アル ミ ン***	鋼板	0.514	0.480	0.474	0.463	0.49
鉄	鉄はだ	0.894	0.876	0.880	0.884	0.88
鋼板	熱間	0.791	0.818	0.846	0.863	0.83
	冷間	0.235	0.252	0.271	0.289	0.26

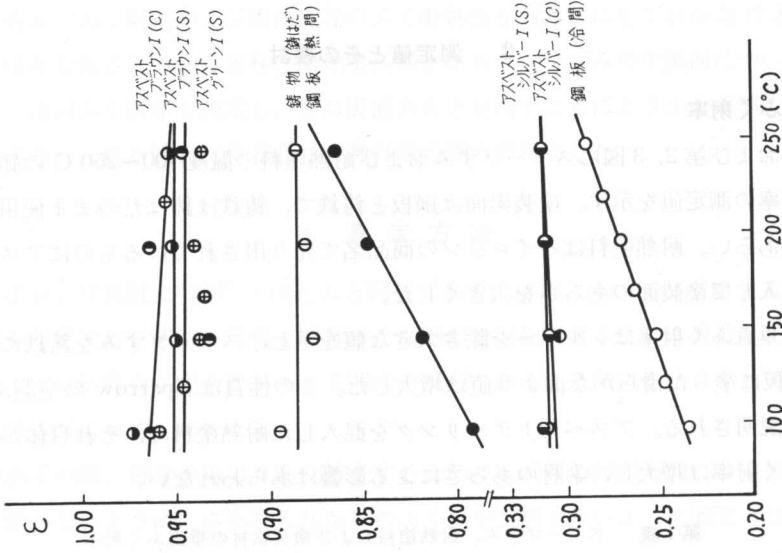
\* 市販のストーブずみ

\*\* アスベスト粉末を混入した耐熱塗料パイロジン

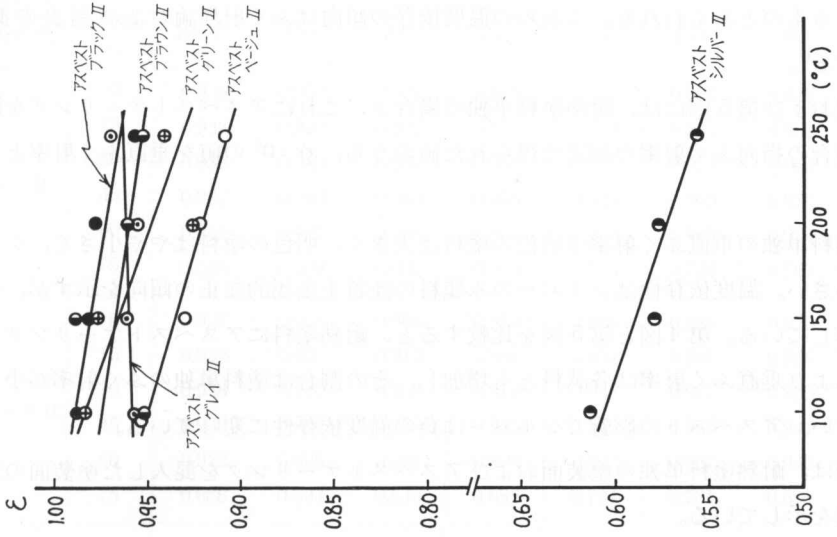
\*\*\* 市販アルミ塗料



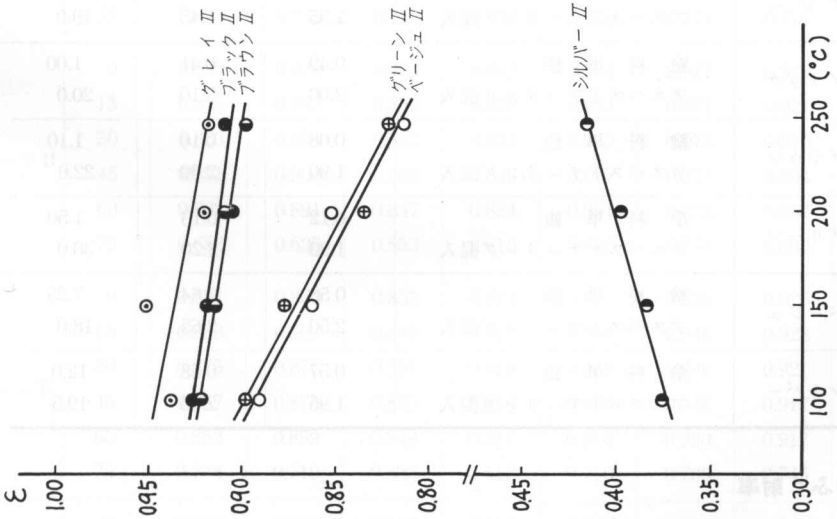
第2図 ストープブゾミの垂直ふく射率



第3図 アスベスト入り耐熱塗料および塗装素材の垂直ふく射率



第5図 アスベスト入り耐熱塗料の垂直ふく射率



第4図 耐熱塗料の垂直ふく射率

垂直ふく射率の温度による影響は、塗料類はおおむね負の温度依存性を示し、素材の鋼板は正の温度依存性を示した。鑄鉄のふく射率の温度による変化はなく、表面の酸化および異物の付着によるものとおもわれる。これらの温度依存の傾向はふく射理論および過去の測定結果に一致する<sup>9)</sup>。

第4図および第5図には、耐熱塗料単独の場合と、これにアスベストテールリングを混入して塗った場合の指向ふく射率の測定で得られた値のうち、 $\phi=0^\circ$ の値を垂直ふく射率として示してある。

耐熱塗料単独の垂直ふく射率は暗色の塗料は大きく、明色の塗料はやや小さく、シルバーはさらに小さい。温度依存性はシルバーのみ顔料の性質上金属的な正の傾向を示すが、他は負の傾向を示している。第4図と第5図を比較すると、耐熱塗料にアスベストテールリングを混入することにより垂直ふく射率は各試料とも増加し、その割合は塗料単独のふく射率が小さいものほど大きい。アスベストの影響でシルバーは負の温度依存性になっている。

第2表は、耐熱塗料単独の塗装面およびアスベストテールリングを混入した塗装面の表面あらさ測定値を示している。

第2表 塗装面のあらさ測定値

色	塗装面の状態	$H_a$ ( $\mu$ )	$H_{Rms}$ ( $\mu$ )	$H_{max}$ ( $\mu$ )
グレー	塗料単独	0.32	0.36	3.00
	アスベストテールリング混入	1.35	1.45	19.0
ブラック	塗料単独	0.49	0.41	1.00
	アスベストテールリング混入	2.00	2.10	20.0
ブラウン	塗料単独	0.08	0.10	1.10
	アスベストテールリング混入	1.90	2.00	22.0
グリーン	塗料単独	0.12	0.13	1.50
	アスベストテールリング混入	1.90	2.20	30.0
ベージュ	塗料単独	0.58	0.64	7.25
	アスベストテールリング混入	2.50	2.65	18.0
シルバー	塗料単独	0.57	0.58	12.0
	アスベストテールリング混入	1.95	2.00	19.5

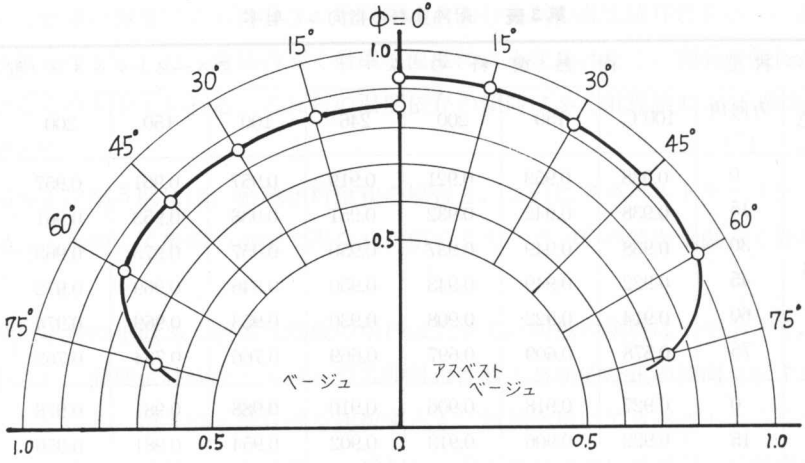
### 3.2 指向ふく射率

第3表に耐熱塗料およびアスベストテールリングを混入した場合の指向ふく射率の測定値を示してある。第6図(a), (b), (c)はこれらの値を各方向角について測定温度100~250°Cの平均値で示したものである。

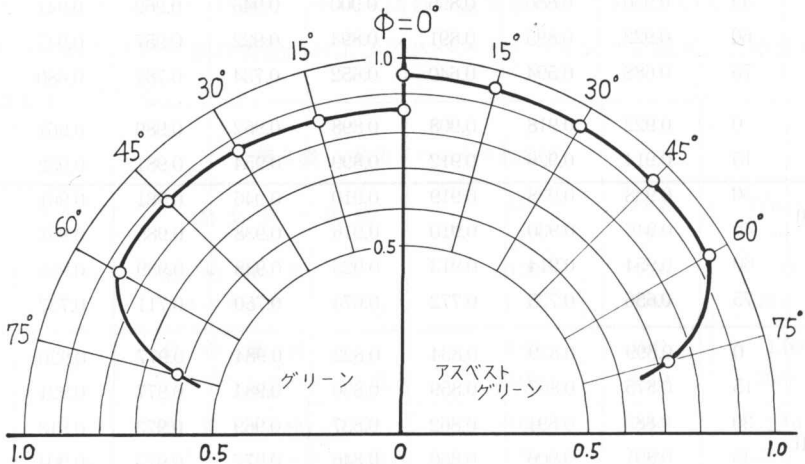
図から明らかなように、各塗料とも $0 \leq \phi < 60^\circ$ ではほとんど無指向性を示し、 $\phi=60^\circ$ あたりから小さくなり、 $\phi=90^\circ$ で0となるものとおもわれる。各塗料とも共通して、アスベストを混

第3表 耐熱塗料の指向ふく射率

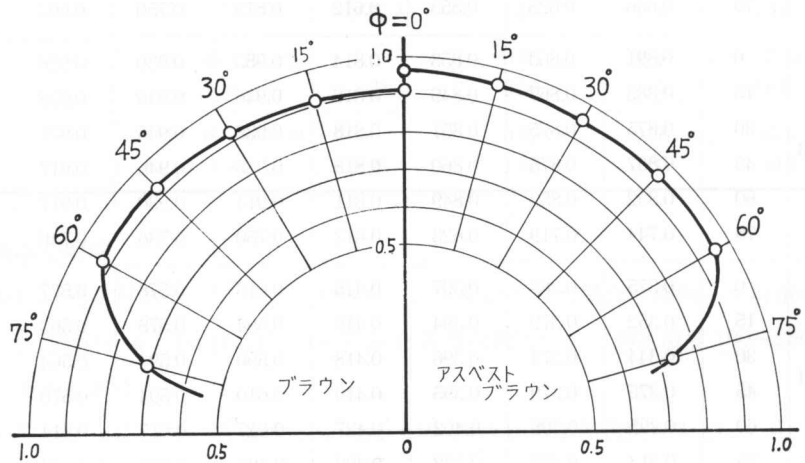
塗料の状態		耐熱塗料のみ				アスベストテールリング混入			
塗料の色	方向角 (°)	100°C	150	200	246	100	150	200	246
グレイⅡ	0	0.938	0.953	0.921	0.919	0.957	0.961	0.957	0.970
	15	0.938	0.942	0.932	0.951	0.938	0.953	0.961	0.973
	30	0.938	0.949	0.937	0.950	0.957	0.973	0.963	0.978
	45	0.922	0.949	0.943	0.950	0.946	0.969	0.972	0.977
	60	0.914	0.922	0.908	0.930	0.953	0.969	0.974	0.978
	75	0.578	0.609	0.697	0.669	0.766	0.734	0.763	0.725
ブラックⅡ	0	0.927	0.918	0.906	0.910	0.988	0.981	0.978	0.957
	15	0.922	0.906	0.913	0.902	0.954	0.981	0.956	0.939
	30	0.938	0.910	0.908	0.919	0.938	0.977	0.983	0.944
	45	0.930	0.886	0.895	0.900	0.946	0.969	0.941	0.933
	60	0.922	0.895	0.891	0.894	0.922	0.957	0.947	0.929
	75	0.688	0.594	0.640	0.652	0.734	0.781	0.680	0.697
ブラウンⅡ	0	0.922	0.918	0.908	0.898	0.952	0.989	0.961	0.957
	15	0.914	0.926	0.912	0.899	0.954	0.981	0.952	0.939
	30	0.938	0.938	0.919	0.910	0.946	0.981	0.961	0.939
	45	0.946	0.930	0.910	0.916	0.938	0.985	0.961	0.939
	60	0.954	0.914	0.913	0.923	0.938	0.989	0.956	0.933
	75	0.656	0.735	0.772	0.674	0.750	0.711	0.737	0.736
グリーンⅡ	0	0.899	0.879	0.834	0.822	0.984	0.977	0.926	0.941
	15	0.875	0.867	0.859	0.830	0.984	0.977	0.921	0.933
	30	0.883	0.891	0.862	0.837	0.969	0.973	0.913	0.934
	45	0.891	0.906	0.860	0.846	0.977	0.973	0.904	0.938
	60	0.883	0.891	0.847	0.824	0.961	0.973	0.904	0.938
	75	0.656	0.625	0.553	0.612	0.813	0.750	0.693	0.685
ベージュⅡ	0	0.891	0.863	0.853	0.814	0.953	0.930	0.926	0.909
	15	0.883	0.867	0.849	0.812	0.946	0.946	0.928	0.909
	30	0.875	0.875	0.851	0.818	0.938	0.946	0.921	0.907
	45	0.867	0.875	0.860	0.818	0.938	0.946	0.917	0.906
	60	0.852	0.859	0.849	0.811	0.914	0.930	0.917	0.902
	75	0.744	0.719	0.623	0.612	0.750	0.736	0.746	0.747
シルバーⅡ	0	0.375	0.383	0.397	0.415	0.613	0.578	0.577	0.556
	15	0.352	0.379	0.394	0.419	0.594	0.578	0.560	0.560
	30	0.344	0.374	0.396	0.418	0.590	0.594	0.564	0.566
	45	0.375	0.379	0.395	0.419	0.610	0.594	0.570	0.576
	60	0.395	0.398	0.402	0.427	0.617	0.617	0.614	0.596
	75	0.313	0.332	0.338	0.399	0.492	0.516	0.509	0.494



(a)



(b)



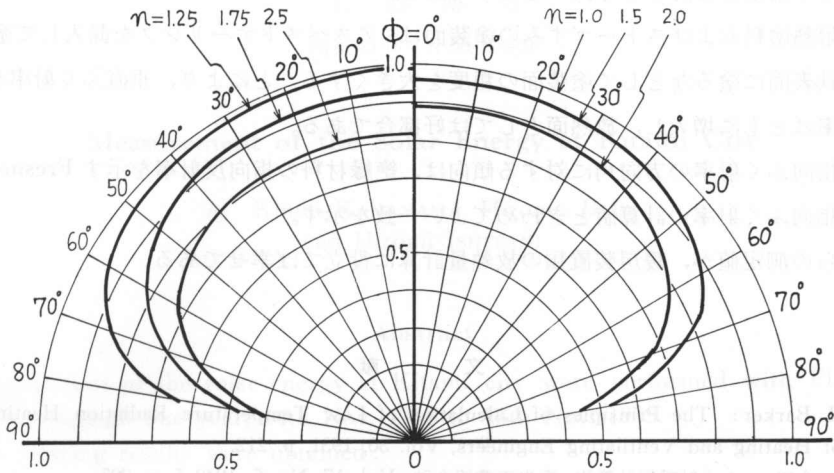
(c)

第6図 耐熱塗料およびアスベスト入耐熱塗料の指向ふく射率



入するとその指向ふく射率は大きくなり傾向は変化しない。

第7図は指向反射率に関する Fresnel の理論式<sup>10)</sup> から指向ふく射率を数値計算した結果で、屈折率  $n=1.25\sim 2.0$  の計算値と各塗料の測定値は大きさ傾向ともによく一致している。また非金属材料に対する過去の測定値とも傾向は一致している<sup>11)</sup>。



第7図 絶縁材料の指向ふく射率計算値

第4表は、指向ふく射率の方向角に対する平均値を半球ふく射率として、これを垂直ふく射率で割った値で、Fresnel の式を積分して求めた理論値は、電気絶縁材料では  $n=1.0\sim 2.0$  に対して  $0.83\sim 1.0$  で<sup>12)</sup>、測定値はこの範囲に入っている。

第4表 (半球ふく射率)/(垂直ふく射率)

塗料	100°C	150	200	246	平均
グレイ II	0.957	0.958	0.985	0.996	0.97
アスベスト・グレイ II	0.975	0.982	0.983	0.970	0.98
ブラック II	0.977	0.958	0.990	0.970	0.97
アスベスト・ブラック II	0.941	0.973	0.948	0.959	0.96
ブラウン II	0.986	0.989	0.991	0.989	0.99
アスベスト・ブラウン II	0.975	0.973	0.976	0.963	0.97
グリーン II	0.962	0.982	0.982	0.988	0.98
アスベスト・グリーン II	0.976	0.976	0.964	0.971	0.97
ベージュ II	0.978	0.990	0.974	0.978	0.98
アスベスト・ベージュ II	0.966	1.000	0.978	0.981	0.98
シルバー II	0.960	0.966	0.985	1.005	0.98
アスベスト・シルバー II	0.969	1.012	0.990	1.014	1.00

## 4. む す び

この研究は、主として暖房放熱面に塗装面を用いた場合の、とくにふく射放熱量の計算に必要な資料をうることを目的とし、各種塗装面の垂直ふく射率および指向ふく射率の測定を行った。その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 耐熱塗料およびストーブずみの塗装面は、アスベストレーリングを混入して塗ったり、あるいは鋳鉄表面に塗るなどして塗装面の粗度を大きくすることにより、垂直ふく射率および指向ふく射率はともに増大し、放熱面としては好都合である。

(2) 指向ふく射率の方向角に対する傾向は、絶縁材料の指向反射率を示す Fresnel の式から求めた指向ふく射率の計算値ときわめてよい一致を示す。

これらの測定値が、暖房装置類の放熱量計算に役立てば幸せである。

## 文 献

- 1) A. H. Barker: The Principles of Calculation of Low Temperature Radiation Heating, Inst. of Heating and Ventilating Engineers, Vol. 30, 1931, p. 212.
- 2) 牧田・余田: ふく射暖房計算法, 衛生工業協会誌, Vol. 17, No. 5, 1943-5, p. 205.
- 3) 斎藤 武: 地域暖房とエネルギーの綜合利用, 熱管理北海道, Vol. 19, No. 54, 1965, p. 2.
- 4) 平嶋・溝内: 高温水使用の放熱器の特性, 空調・衛生工学, Vol. 40, No. 3, 1966-3, p. 37.
- 5) 金山・仲島: ふく射暖房装置の性能実験, 北見工大研報, Vol. 2, No. 4, 1969, p. 539.
- 6) 斎藤・石黒・嶋島: 室蘭工大体育館のふく射暖房性能測定, 空調, 衛生工学会北海道支部第1回研究会前刷集, 1967-2.
- 7) 金山公夫: 暖房放熱面のふく射率に関する基礎研究, 北見工大研報, Vol. 2, No. 2, 1968-3, p. 303.
- 8) E. M. Sparrow and R. D. Cess: Radiation Heat Transfer, Brooks/Cole Publish. Comp. (1967), p. 169.
- 9) McAdams: Heat Transmission, 3rd ed. McGraw-Hill (1954), p. 62.
- 10) M. Jakob: Heat Transfer Vol. 1, Wiley (1964), p. 41.
- 11) 甲藤好郎: 伝熱概論 (1964) 養賢堂, p. 351.
- 12) 10)に同じ, p. 43.