

ストーブ煙筒およびスチームラジエータの ふく射率と暖房効果*

金山 公夫**

馬場 弘**

石谷 博美**

(昭和47年4月15日受理)

Heating Effect and Emittance of the Stove Smoke-Tube and the Steam Heat Radiator

by Kimio KANAYAMA, Hiromu BABA
and Hiromi ISHITANI

Concerning, first of all, the radiant heating system in the latest fashion, and also the small separated heating system such as the stoves or the concentrated system as the steam heat radiator, if there is something in common with the utilization of the radiative power, to effort the artificial rise of the emission energy from these heating surfaces by increment of the emittance is an effective practice aimed at increase of the heating efficiency.

Applying the results obtained in the authors' laboratory on the basic investigation of the emission of solids, therefore, in the expectation of rising of the radiative power, the practical experiments were performed concerning the stove smoke-tube and the steam radiator whose surfaces were coated with particular paints with a large emittance, and those purposes were almost attained.

1. ま え が き

最近、体育館や工場などの建物にたいして高温水による大規模なふく射暖房が普及しつつあるが、この方式の送熱原理が従来からの直接暖房あるいは空気調和による暖房とは多少おもむきを異にしているところから、その実施例あるいはモデルについての実測結果の分析をもとにして、放熱効果に主眼をおいた熱工学的立場^{1)~7)} および在室者の快感に主眼をおいた温感工学的立場^{8)~10)} に立った合理的な暖房環境の設計法と装置の運転法の確立が急がれ、多くの研究がなされている。この点については著者のうちの一人¹¹⁾ は既に本学小体育館に設備されたふく

* 日本機械学会道支部第14回講演会(昭和45年10月,北見)および空調衛生工学会道支部第5回研究発表会(昭和46年1月,札幌)で発表

** 北見工業大学機械工学科

射暖房装置の性能測定を行ない、主として熱工学的立場から装置の放熱特性をは握し、その運転法についての提示および将来の改良すべき問題点についての指摘を行なった。

しかし、ふく射暖房にかぎらず、従来からある小規模な個別暖房(たとえばストーブおよび煙筒)あるいは集中暖房(たとえばスチームラジエータ)にあっても多少にからわずふく射熱を利用するという共通点にたてば、放熱面からのふく射放熱量の増大、すなわちふく射率の増大を企図することはその目的になかった方策と思われる。さいわい、当研究室において数年来固体ふく射に関する理論解析および実験研究を行なってきた多くの基礎的データを得たので、そのうちから数種類の塗料を適宜を選んでストーブ煙筒およびスチームラジエータの表面に塗布し、ふく射率増大による暖房効果の向上を期待して以下に述べる応用実験を行なった。

2. 実験方法

2.1 ストーブ煙筒

実験装置の概略を図1に示す。実験に使用したストーブはサンポット石油ストーブ(KSH-5 BS, 1.85 l/h)でその燃焼ガスを試料煙筒(立て煙筒2本)に導き、これを加熱して放熱面とした。煙筒表面からの放熱が外乱によって影響をうけないように試料煙筒の外側は直径約1 mの遮蔽ドラム(内側はふく射率0.96のアスベストグレイで塗装)で同心状に覆ってある。試料煙筒は市販のステンレス、銅板およびホーロ煙筒を用い、銅板煙筒には表面を各種の耐熱塗料で塗装してふく射率の増大をはかった。耐熱塗料にはパイロジンをを用い、これを直接塗って滑らかな塗装面とし、または塗料にアスベスト粉末を混入して塗ってあらい塗装面とした。

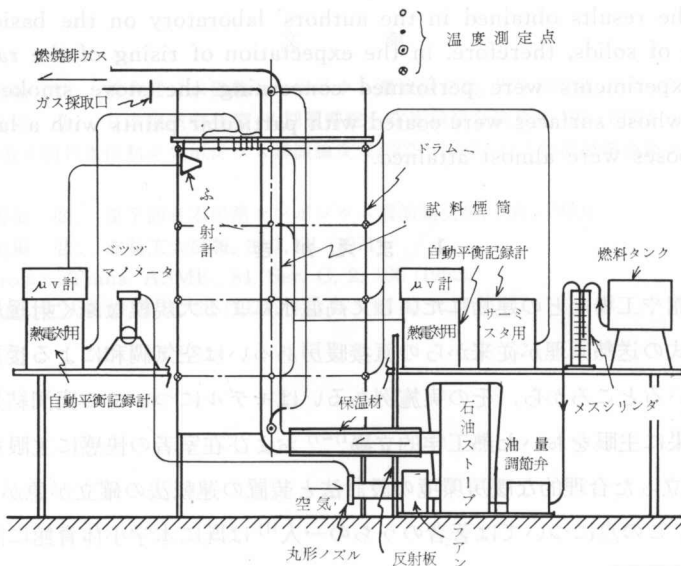


図1 ストーブ煙筒放熱量測定装置

Fig. 1. Experimental equipment for measurement of the radiant heat power of the stove smoke-tube.

測定各部の名称および寸法などの詳細を図2に示す。測定項目および測定方法はつぎのとおりである。

石油ストーブの燃料消費量は1lメスシリンダで測定し、空気消費量はファン入口に丸形ノズル付きの空気導入管を設けてノズル前後の差圧をベツツマノメータで測定して算出した。試料煙筒の入口および出口の燃焼ガス温度およびその点の表面温度(各2点)、試料煙筒表面温度(4点)、試料煙筒周囲の空気温度(12点)は、それぞれクロメル-アルメル熱電対(0.32φ)で検知して、その出力を自動平衡記録計で記録するか、またはμV計で読みとり、ドラム表面温度(8点)、吸入空気温度および室温(各1点)はサーミスタ温度計で検知して記録計に自記させた。試料煙筒からのふく射は、平均表面温度から計算すると同時に、サーモパイル型ふく射計(東京精工RE-2型, KB_r窓材)で検知し、μV計で読みとり参考値とした。

実験は各試料につきストーブの燃料調節弁の開度を大, 中, 小の三段階に切替えて測定し

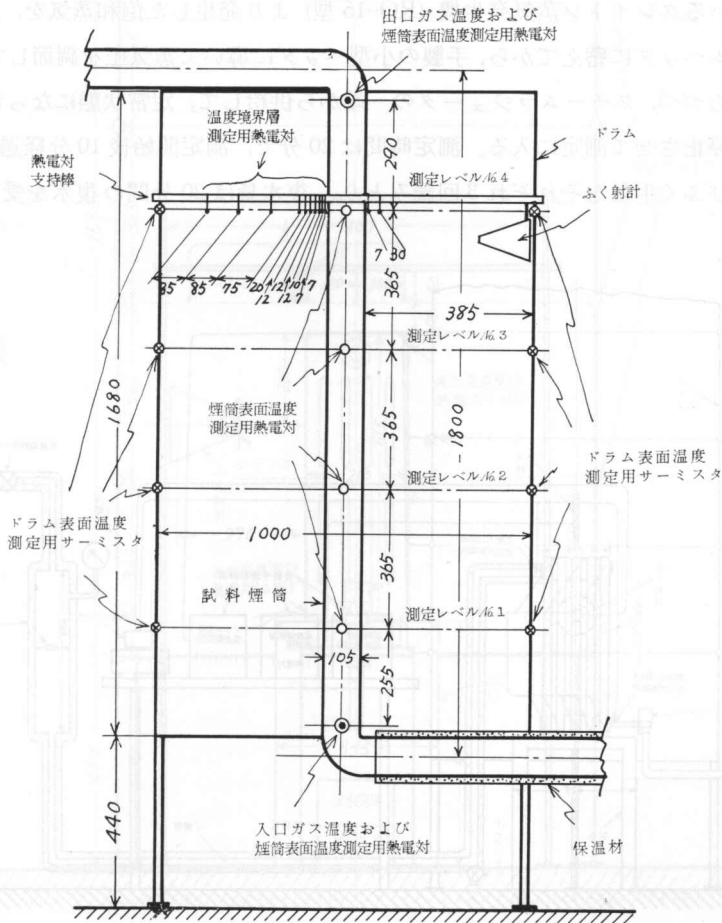


図2 ストーブ煙筒放熱量測定部詳細図

Fig. 2. Details of measuring parts of the radiant heat power of the stove smoke-tube.

煙筒周囲の空気温度の測定は、各弁開度について煙筒表面温度およびドラム表面温度の測定点のある四段のレベルに熱電対支持棒を移設して行なった。試料煙筒入口および出口のガス温度は煙筒中心部にがい子管を通して熱電対を挿入し、煙筒表面温度は煙筒に直径 3 mm の穴をあけてこれに熱電対をビス止めして測定し、ドラム表面温度は注射針型サーミスタの感温部を枕を介して針金でしばりドラム内面に圧着して測定した。

なお、空気温度測定用熱電対の感温部はアルミ箔で被覆してふく射の影響を避けるように留意し、サーミスタ温度計は経年変化があるので測定使用前に温度計試験装置(タバイ KP-3 型)で校正して、測定値を補正した。

2.2 スチームラジエータ

実験装置の全体の図を 図 3 に示し、主要部を 図 4 に拡大して示す。実験に供したスチームラジエータは铸铁製 5 細柱 600 型 5 枚を 1 組としている。実験の順序は、本学熱機関実験室に設置されているクレイトン蒸気発生機 (RO-15 型) より発生した飽和蒸気を、圧力 8 kg/cm^2 で一度スチームヘッダに蓄えてから、手製の小型ヘッダに導いて蒸気圧を調節して 1 kg/cm^2 の一定圧力に保ちつつ、スチームラジエータの一端から供給して、定常状態になったら (約 20 分) 蒸気発生機を停止させて測定に入る。測定時間は 20 分で、測定開始後 10 分経過してから、各部の温度およびふく射量をそれぞれ 3 回読みとり、復水量は 20 分間の復水を受皿に採って秤

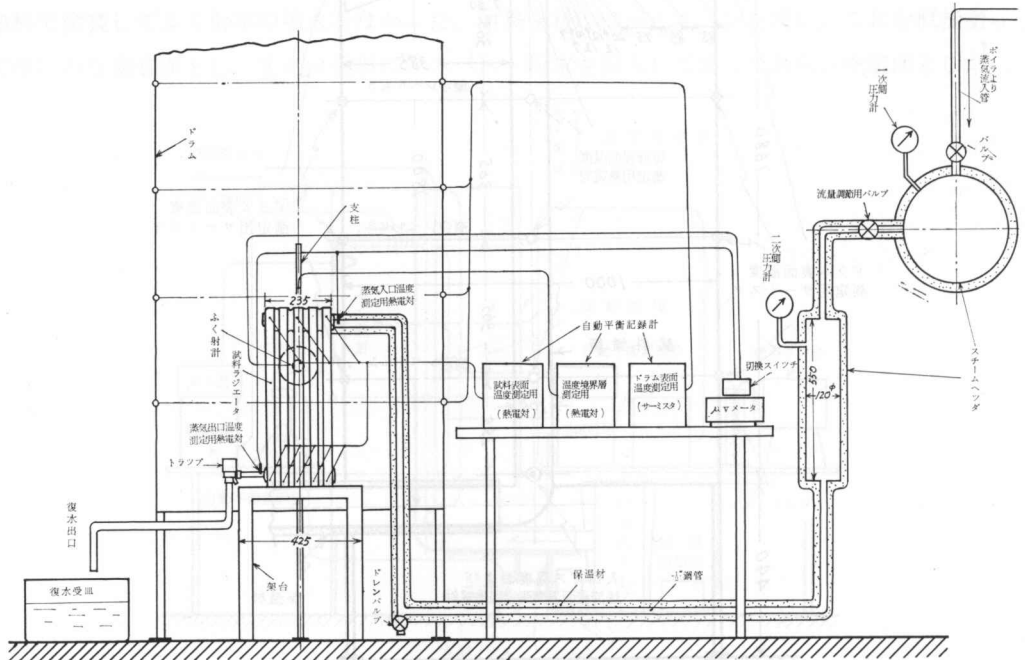


図 3 スチームラジエータ放熱量測定装置

Fig. 3. Experimental equipment for measurement of the radiant heat power of the steam heat radiator.

凝縮の潜熱 526 kcal/kg を掛けて得られる。このとき、ラジエータからの放出ドレン中に蒸気が混じると放熱量計算に誤差が生ずるので、復水だけが放出されるようにトラップを微量に調節してある。

温度測定は、ラジエータの蒸気入口および出口温度各 1 点、ラジエータ表面温度 8 点 (各単板の下部 5 点, 上部 3 点), 遮蔽ドラム温度 8 点, ラジエータ上部の空気温度 8 点および室内温度で、ラジエータ表面からのふく射をふく射計により実測している。ふく射計のラジエータ表面をのぞく面積は、直径 100 mm の円形で、すきまを含めてラジエータ側面をのぞいているから、見かけ上のふく射を測定していることになる。これからすきまがないと仮定した場合のふく射量を求めるには、すきま面積をなくするように測定値を補正しなければならない。

3. 実験結果および検討

3.1 ストープ煙筒

各試料煙筒についての測定値および計算値を表 1 に示す。測定の結果、煙筒周囲の空気流の G_r 数は No. 1 レベル以上では 10^{10} のオーダーで、この自然対流は煙筒の下部を除いて乱流に属

表 1 ストープ煙筒性能実験

Table 1. Measured and Calculated Values Concerning

試料煙筒	燃料バルブ開度	燃料消費量 (kg/h)	吸入空気量 (kg/h)	排ガス量 (kg/h)	排ガス比熱 (kcal/kg°C)	排ガス出入口気度差 (°C)	平均煙筒表面温度 (°C)	ドラム内空気温度 (°C)	平均ドラム表面温度 (°C)
ステンレス 鋼板 ホーロ ブラウン ベージュ グリーン アスベストブラウン アスベストベージュ アスベストグリーン	小	0.365	27.35	27.72	0.251	74	168	28	29.5
		0.320	27.49	27.81	0.250	69	132	30	32.3
		0.319	27.49	27.81	0.249	95	121	29	33.2
		0.367	27.06	27.43	0.250	89	130	29	33.7
		0.364	27.35	27.72	0.250	86	127	29	32.5
		0.368	27.49	27.85	0.250	88	131	30	34.1
		0.349	27.28	27.63	0.249	79	127	31	35.4
		0.374	27.22	27.60	0.250	89	136	31	35.2
0.374	27.80	28.16	0.249	88	122	26	30.5		
ステンレス ホーロ ブラウン ベージュ グリーン アスベストブラウン アスベストベージュ アスベストグリーン	中	0.641	27.46	28.10	0.258	122	237	32	35.5
		0.892	27.49	28.38	0.257	162	180	31	38.3
		0.661	27.43	28.09	0.258	152	183	31	38.5
		0.668	27.43	28.10	0.257	143	178	31	38.6
		0.672	27.52	28.19	0.262	154	188	31	38.8
		0.629	27.63	28.26	0.256	131	182	32	40.3
		0.680	27.52	28.20	0.259	151	192	32	39.8
		0.679	28.40	29.08	0.256	143	176	28	35.6
ステンレス 鋼板 アスベストブラウン	大	1.062	27.97	29.03	0.266	183	314	32	39.3
		1.116	27.58	28.70	0.266	224	270	34	44.9
		1.072	27.64	28.71	0.265	213	239	32	45.2

することがわかった。したがって表中の熱伝達率の値は Eckert ら¹²⁾ が求めた乱流域の近似式

$$N_u = 0.13 (G_{rl} \cdot P_r)^{1/3} \quad (1)$$

を用いて計算してある。ここで、 N_u : ヌッセルト数, G_{rl} : 原点 (試料煙筒下端) から l の距離のグラスホフ数, P_r : プラントル数である。

一般的傾向として、試料煙筒のふく射率の大きいものはふく射放熱量の計算値 Q_r が大きく、ふく射率の小さいものは対流放熱量の計算値 Q_c が大きい。そして、全放熱量 $Q (=Q_r + Q_c)$ は、やはりふく射率の大きい煙筒の方が大きく、全放熱量中に占めるふく射放熱量の割合もふく射率の大きいものが大きい。全放熱量を単位時間当たりの燃料消費量で割った値 Q_0 で比較すると、燃料消費量の差による放熱量の相違は帳消しとなり、同一試料では燃料弁開度の大小に関係なくほぼ一定の値となる。また、ふく射率の大きい試料煙筒では、ふく射率の小さい煙筒の場合よりドラム表面温度が高く、ドラム表面温度と空気温度との平均として求められる感覚温度¹³⁾ (効果温度¹⁴⁾ または相当温度¹⁵⁾ ともいう) が上昇し、たとえ空気温度が同じでもふく射熱により感覚的に暖かく感じることになる。

試料煙筒の入口と出口のガス温度の差、燃焼ガスの流量および比熱の積から求めた全放熱

における測定値と計算値

the Experiment with the Stove Smoke-Tube.

室温 (°C)	排ガス 放出熱量 Q_r (kcal/h)	燃量当り 排ガス放出 熱量 Q_p (kcal/h) (kg/h)	熱伝達率 (kcal/ m ² h°C)	自然対流 放熱量 Q_c (kcal/h)	試料の ふく射率	ふく射 放熱量 Q_r (kcal/h)	全放 熱量 Q (kcal/h)	ふく射 放熱割合 (%)	燃料当り 全放熱量 Q_0 (kcal/h) (kg/h)
24.7	515	1,411	5.40	409	0.162	126	535	23.6	1,466
25.5	480	1,500	5.03	277	0.591	284	561	50.6	1,753
25.4	658	2,063	4.90	244	0.960	388	632	61.4	1,981
26.2	611	1,665	5.03	274	0.917	424	698	60.7	1,902
25.2	597	1,640	4.97	263	0.876	390	653	59.7	1,794
26.2	614	1,668	5.03	274	0.883	413	687	60.1	1,867
27.8	544	1,559	4.94	257	0.968	423	680	62.2	1,948
27.6	615	1,644	5.06	288	0.936	468	756	61.9	2,021
23.7	618	1,652	5.00	259	0.970	406	663	61.1	1,778
27.5	886	1,382	5.76	638	0.178	275	913	30.1	1,424
25.9	1,182	1,850	5.47	429	0.968	836	1,265	66.1	1,990
26.7	1,100	1,664	5.44	447	0.910	812	1,259	64.5	1,905
27.3	1,034	1,548	5.43	432	0.850	716	1,148	62.4	1,718
26.5	1,138	1,693	5.49	466	0.854	805	1,271	63.3	1,891
28.1	949	1,509	5.45	442	0.962	843	1,285	65.6	2,043
27.1	1,102	1,621	5.51	477	0.923	905	1,382	65.5	2,032
24.1	1,064	1,567	5.55	444	0.957	797	1,241	64.2	1,828
27.0	1,415	1,332	6.11	931	0.180	519	1,450	35.8	1,365
28.2	1,713	1,535	5.93	757	0.705	1,427	2,184	65.3	1,957
27.0	1,620	1,511	5.77	646	0.956	1,475	2,121	69.5	1,976

量 Q' は、 Q_r と Q_c の和として求めた全放熱量 Q より全体に小さいが、この理由はガス温度は中心温度で代表されていて、煙筒内のガス温度分布を考えに入れると出入口温度差はこれより少し大きくなるはずで、放熱量としては小さめに算出されていること、および Q_r の計算において二次元ふく射を仮定し、試料煙筒がドラムを見る形態係数を1としているが、実際はこれより少し小さくなるはずで Q_r としては大きめに算出されていることによるものとおもわれる。

ふく射放熱量および対流放熱量の計算においては、試料煙筒表面温度およびドラム表面温度は各測定値の平均値を用い、等温壁を仮定している。排ガス比熱は、煙筒試料部を通過した燃焼ガスを採取して、オルザート分析装置により測定した分析結果から計算した。

図5には代表的な試料煙筒について全放熱量 Q_0 の大きさと、ふく射および対流による放熱量の比率を示してある。図から明らかのように、全放熱量で比較すると鋼板はステンレスの約3割増し、ホーロはステンレスの約4割増しとなり、鋼板にアスベストブラウンを塗ってあらひ塗装面にするとホーロと同等の放熱量となることがわかる。さらに、表1のドラム表面温度は、鋼板の塗装粗面あるいはホーロの場合に高くなっていることから、これらの煙筒を用いることにより感覚温度は上昇して、実質放熱量の差以上の暖房効果があると考られる。

以上の測定および計算結果から、放熱量および感覚温度の両面から判断して、市販煙筒ではホーロが最も暖房効果が良く、ステンレスは最も悪い。鋼板煙筒はその中間であるが、これにアスベスト入り塗料を塗ることによりホーロと同等以上の暖房効果をもたらすことができる。また、塗装することは煙筒の耐食性を増し、美しい色彩の塗料を用いれば美観の点からも推奨される。耐熱塗料をそのまま塗ることは放熱の点では良いが、加熱によって塗膜が軟化してべとつくので適切とはいえない。これに対して、アスベスト入り塗料の塗装面では、堅くて丈夫な塗膜ができるので、強度の点からも望ましい。

3.2 スチームラジエータ

測定値および計算値をまとめて表2に示す。表中の全放熱量は熱源として用いた飽和蒸気の潜熱に蒸気流量をかけて得られるが、ふく射放熱量はラジエータ形状が複雑なものと、遮蔽ド

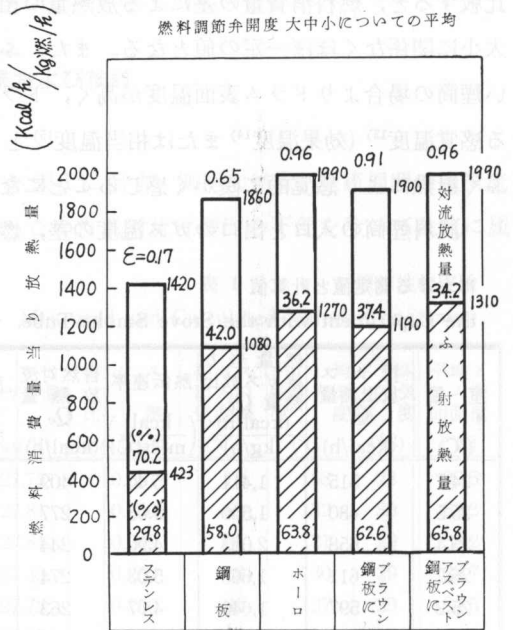


図5 ストープ煙筒放熱量の比較図

Fig. 5. Comparative diagram of measured values of the radiant heat power of the stove smoke-tube.

ラム内の位置および設置方法などから判断して、ストーブ煙筒の場合のように単に形態係数を用いてラジエータ表面温度とドラム内面温度から算出することは誤差が大きくなるため、ふく射計による実測値から式 (2) を用いて計算する。

$$Q_r^* = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot A}{F_{12}} \times V \tag{2}$$

ここで、 K_1 : ふく射計定数=56.03 (kcal/m² h/μV), K_2 : ラジエータふく射率の指向性にたいする補正係数=1.08, F_{12} : ふく射計からラジエータをみる形態係数=0.0384, A : ラジエータを外側寸法の等しい四角柱とみなしたときの表面積 (m²), V : ふく射計出力 (μV)

また対流放熱量 Q_c^* は、全放熱量を Q とすると

$$Q = Q_r^* + Q_c^* \tag{3}$$

の関係から逆算される。

全放熱量 Q はシルバー (通常スチームラジエータの塗装に用いられる耐熱塗料でアルミ粉が顔料) は最も小さく、ベージュ、ブラウンなどの耐熱塗料を塗ることにより増大する。塗料にアスベスト粉末を入れて塗ると、各塗料とも塗料だけのときより全放熱量は増加し、全放熱量の最大となるのはアスベストブラウンにおいてであり、その増加割合はシルバーの約 1.3 倍となる。これは全放熱量中のふく射放熱量の占める割合が増加した事に起因し、ふく射放熱量のみを比較するとアスベストブラウンにおいてはシルバーの約 1.7 倍となる。また全放熱量中のふく射放熱量の占める割合は、シルバーで 25%、アスベストブラウンおよびアスベストベージュで 33~34% を示す。ここで全放熱量に対するふく射放熱量の割合 (Q_r^*/Q) がストーブ煙筒の場合より小さいのは、スチームラジエータはすきまを有する特殊な形状であるためおよび表面温度が割合低いために見かけのふく射率が低下して、それだけふく射放熱量も減少する。

表 2 スチームラジエータ (塗装) の性能値

Table 2. Measured and Calculated Values Concerning the Experiment with the Steam Heat Radiator.

試料	項目 復水量 (kg/h)	全放熱量 Q (kcal/h)	試料表面温度 (°C)	ドラム表面温度 (°C)	室温 (°C)	ふく射放熱量 Q_r^* (kcal/h)	対流放熱量 Q_c^* (kcal/h)	ふく射放熱量 全放熱量 (Q_r^*/Q) (%)	(各試料全放熱量) (シルバー全放熱量)	(各試料ふく射放熱量) (シルバーふく射放熱量)	すきまがないと仮定した (Q_r^*/Q) の補正值 (%)
シルバー	2.15	1,132	118	26.3	21.1	285.9	846.1	25.3	1.00	1.00	40.0
ベージュ	2.40	1,263	118	24.6	15.2	431.1	831.9	34.1	1.12	1.51	53.9
ブラウン	2.66	1,400	117	22.8	13.9	467.5	932.5	33.4	1.24	1.64	52.8
アスベスト シルバー	2.34	1,232	117	26.5	18.1	359.1	872.9	29.1	1.09	1.26	46.0
アスベスト ベージュ	2.48	1,304	118	26.9	17.3	445.4	858.6	34.2	1.15	1.56	54.0
アスベスト ブラウン	2.70	1,421	118	25.8	15.3	474.0	947.0	33.4	1.26	1.66	52.8

* 印はふく射計による実測値から算出されたことを示す。

これを同じ外側寸法のすきまのない角柱とみなしてふく射放熱量の補正を行なうと、シルバーを除いて他の塗装表面からのふく射放熱量の割合はすべて50%以上となり、ストーブ煙筒の場合に接近する。

各試料ラジエータの放熱量と全放熱量に対する見かけのふく射放熱量および対流放熱量の割合を図6に示す。これによると、ストーブ煙筒の場合と異なって、ふく射放熱量が大きくなっても、蒸気の潜熱およびラジエータの熱容量が大きいためにラジエータ表面温度は変化せず、したがって対流放熱量の値もあまり変化しない。

以上の結果から、ラジエータからの放熱量を大にして暖房効果を高めるためには、従来から慣用されている金属性のシルバー塗料より、アスベストブラウンあるいはアスベストベージュなどの非金属性塗料を塗布して粗面仕上げにすることが有効であり、この方法によってより少ない枚数のラジエータで同一の放熱量を得ることができる。また、ドラム表面温度はふく射放熱量の大きい試料で高く、したがって感覚温度としては全放熱量の増加割合以上の効果が生まれるはずである。

4. む す び

暖房装置として古くから慣用されているストーブ煙筒およびスチームラジエータの表面を特殊な塗料で塗装してふく射率の増大をはかり、全放熱量の中に占めるふく射成分の増加をもたらすことによって、熱効率的により効果的な暖房がなされることが明らかになった。この事は、塗装平面および粗面のふく射に関する基礎的性質から判断して、当然予想される結果であり、著者ら¹⁶⁾は既にこの点に関しての示唆をあたえてきた。

この方法によるふく射放熱量増大の現象はふく射暖房においてはもちろんのこと、他の暖房装置の放熱面にも適用しうる応用範囲の広い原理であるから、今後の暖房装置の設計、製作および改良に際して採用されるべき十分な価値のある方法とおもわれる。

この報告内容は、本学機械工学科1期生伴井民也君（現在東芝電機勤務）および2期生手塚博文君（現在岡村タイヤ勤務）にたいする卒業研究の一端として指導、実施されたもので、

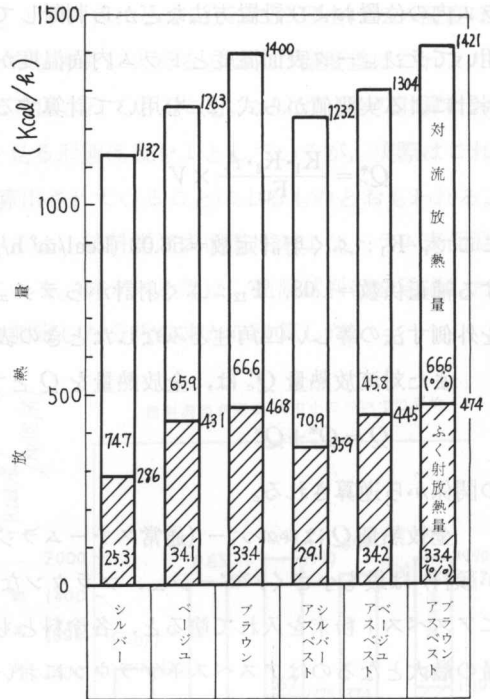


図6 スチームラジエータ放熱量の比較図

Fig. 6. Comparative diagram of measured values of the radiant heat power of the steam heat radiator.

両君の努力をたたえここに感謝の意を表する。またスチームラジエータの資材提供にご協力いただいた本学施設課にたいして謝意を表する。

文 献

- 1) 平嶋雅雄・溝内清司： 空気調和・衛生工学, **40**, 3, 37 (1966-3).
- 2) 斎藤 武・石黒亮二・蛸島正則： 日本機械学会道支部第 11 回講演会前刷集, 101 (1966-9).
- 3) 斎藤 武・石黒亮二・蛸島正則： 空気調和・衛生工学会道支部第 1 回研究発表会前刷集, 21 (1967-1).
- 4) 今野智視・佐々木政雄： 空気調和・衛生工学会道支部第 3 回研究発表会前刷集 (1969).
- 5) 園田 隆： 空気調和・衛生工学会道支部第 4 回研究発表会前刷集 (1970).
- 6) 谷口 博・川井邦茂： 日本機械学会道支部第 12 回講演会前刷集, 253 (1968-10).
- 7) P. Bassett: Heating and Ventilation (1968-2).
- 8) 西 安信・持田 徹： 空気調和・衛生工学会道支部第 2 回研究発表会前刷集, 9 (1968).
- 9) A. P. Gagge, G. M. Rapp and J. D. Hardy: ASHRAE Journal (1967-3).
- 10) 射場本勘市郎・西 安信・持田 徹： 空気調和・衛生工学, **42** 8, 1 (1968-8).
- 11) 金山公夫・仲島民雄： 北見工大研報, **2**, 4, 539 (1969-12).
- 12) 内田秀雄ほか 4 名： 熱伝達特論, 72 (1966), 裳華房.
- 13) 山田治夫： 冷凍および空気調和, 256 (1964), 養賢堂.
- 14) 空気調和・衛生工学会編： 空気調和・衛生工学便覧, 238 (1964).
- 15) 南条考一郎： 冷凍および暖房, 234 (1968), 共立出版.
- 16) 金山公夫・馬場 弘： 北見工大研報, **3**, 1, 31 (1971).