

ふく射暖房装置の性能実験

金山 公夫

仲島 民雄

(昭和44年4月30日受理)

Experimental Study on Some Radiant Heating System

by Kimio KANAYAMA, Tamio NAKAJIMA

Abstract

The measurements of room temperature, floor and wall temperature, radiation energy and others, in accordance with each variation of steam pressure and temperature, were taken with respect to the radiant heating system introduced in the new gymnasium of Kitami Institute of Technology.

Namely, the comparisons between the measured values and the graphically calculated values of radiation energy were made, and the approximate agreement was obtained.

Because the system have well enough heating power, if it is to be operated with full power at initial time, it may be reduced below a half of full load at day time, even in the cold season.

1. ま え が き

天井にパネルを設置し、熱媒によりこれを加熱して室内の暖をとる、いわゆるふく射暖房方式は、従来の対流暖房方式に比較して次のような特徴を有している。

1) 熱ふく射により床面および人体を直接温める。2) 室内空気は比較的低温であっても感覚温度は高い。3) 天井が高く室内容積が大きい場合に効果的で、かつ経済的である。4) 部屋が開放状態でもよい。5) 床面に放熱器がないから室内空間を十分利用できる。

反面、1) 設備費が高い、2) 改修が困難である、3) 熱容量が大きいから予熱に時間がかかる、などの欠点がある。

このような得失から考えて、ふく射暖房方式は機械工場、体育館・競技場、倉庫・車庫・格納庫、待合所、市場、食品・薬品工場等の暖房設備として最も適するものとされ、近年、道内においても体育館にこれを取り入れた例が二、三箇所あり、またこれに関する研究発表^{1)~4)}も行なわれ、流行のきざしがみられる。

北見工業大学においても、昭和43年末に竣工した武道場が、蒸気によるふく射暖房方式を採用したのを機会に、研究上および将来の設計、改良の資料とする目的で性能試験を実施し、

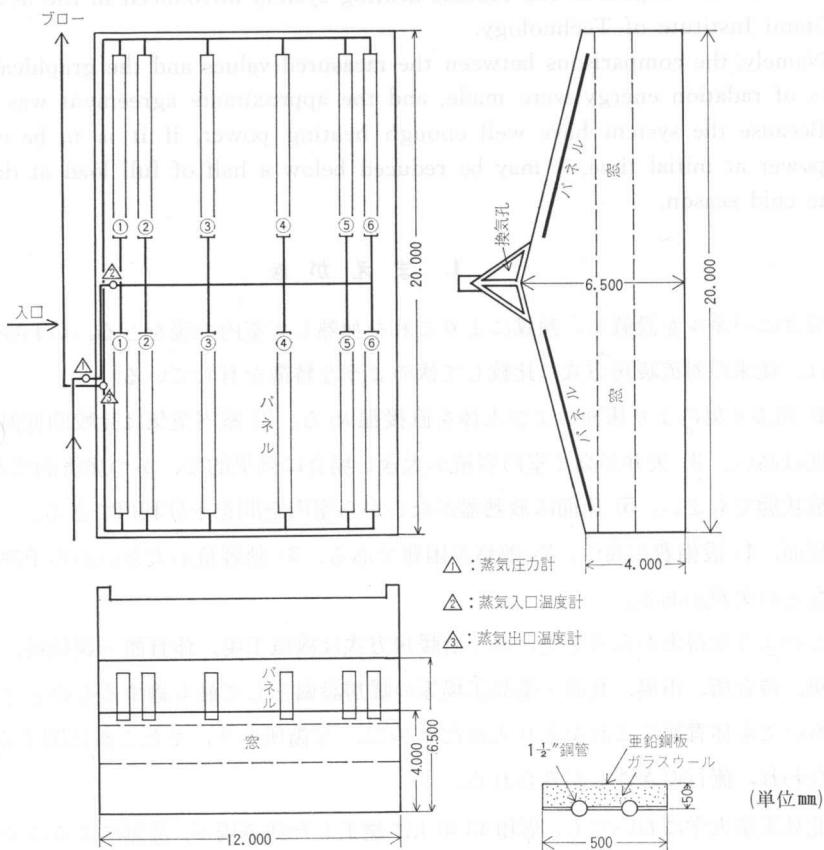
詳細なデータを得たので、これを取りまとめ、若干の計算と考察を加えて報告する。

2. 設備概況

ふく射暖房設備は田熊汽缶製 2HF-S 型ストリップヒータ 12 組で、ヒータパネル 1 枚の長さは 7 m、総延長 84 m より成る。武道場の被暖房床面積は 240 m² (幅 20 m、奥行 12 m) で、うち半分は畳敷きになっている。屋根は切妻型で、室内高さは軒 4 m、棟 6.5 m、側面は三面ガラス窓で日射を十分取り入れる考慮が配られている。建物の形状・寸法およびパネルの配置を第 1 図に示す。

パネルの構造は、第 2 図に示すように、呼び径 1½ 吋ガス管 2 本を平行に並べ、その間を鋼板を溶接接続し、さらに外側に鋼板を溶接したフィン構造になっている。パネル表面は、ふく射を促進させるために耐熱塗料 (シリコン樹脂系、クリーム色、ふく射率 0.9) を塗布し、裏面は厚さ 50 mm のガラスウールで被覆し、その上を光沢性亜鉛銅板を覆せて保温し、かつふく射による放熱を抑制している。

パネルに供給する蒸気は、本館暖房用のボイラーから直接高圧蒸気 (最高 5 kg/cm² g) を



第 1 図 ふく射暖房装置略図

第 2 図 パネル構造

誘導し (2½" 管, 160 m), トラップを通してドレインを除き, 蒸気のみをパネルに供給し, 放熱後凝縮した復水は, 先の誘導管よりのドレインと一緒に下水道に放出される。

3. 測定項目および方法

測定は室内を二分し, 2日間 (昭43.12.26~27) にわたり, 第1日目はフローリング, 第2日目は畳敷きの床について行なった。主な測定項目は, 蒸気流量, 温度および圧力, グローブおよび乾球温度, 室内空気温度, 床および壁面温度, ふく射量等で, そのほか参考値としてパネル温度, 室内の気圧および湿度, 外気温度および太陽日射の測定を行なった。

以下項目別に測定方法を述べる。

3.1 蒸気の流量, 温度および圧力

蒸気流量は単位時間に管から放出される復水をポンプで汲上げて計量し, 誘導管からのドレインを差引いて決める。蒸気温度は第1図に示す箇所のパネル入口および出口において分岐前および合流後でクロメルアルメル熱電対 (0.32 φ, ビニール被覆, 以下 C-A 熱電対という) を挿入して測定, 記録し (大倉電気 15 R), 圧力は入口部でブルドン管圧力計により測定している。これらの測定値からパネルよりの全放熱量を計算する。

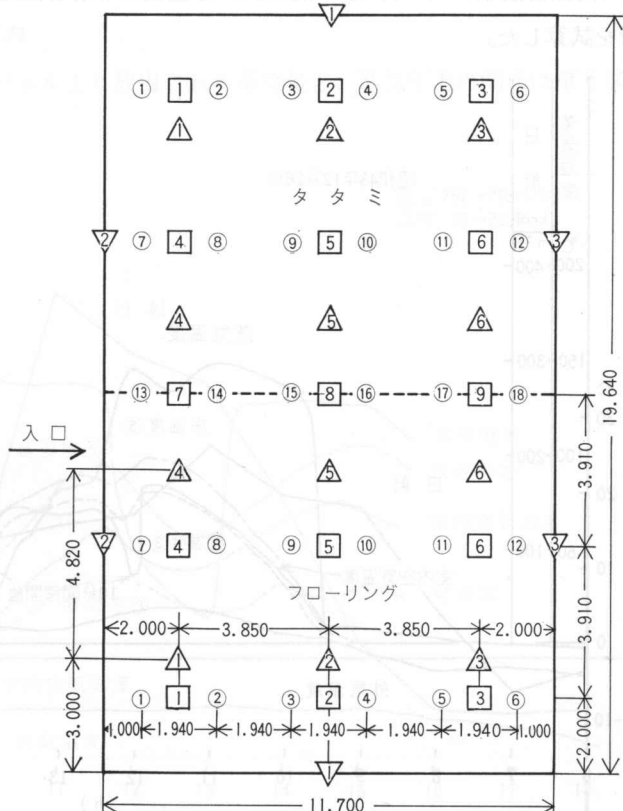
□ グローブ・乾球温度, △ 床温度, ▽ 壁温度, ○ ふく射

3.2 グローブ温度・乾球温度⁵⁾

感温部の高さが床上1mである一対のグローブ温度計と乾球温度計を設けたスタンドを9個用意し, 第3図に示す点に配置した。グローブ温度計は直径150mmのベルノン式銅製黒球に100°C目盛のガラス棒温度計を挿入したものである。なお, 乾球温度計はこれと同種のガラス棒温度計の感温部をアルミ箔で遮蔽して用いた。同位置における両温度の差を実効ふく射温度と称し, ふく射量を示す一つの指数となる。

3.3 室内空気温度

棟直下の入口, 中央, 奥の3箇所において, 室内温度の高さによる変化を測定して, その温度分



第3図 温度およびふく射測定箇所

布を知るために、長さ6mの竿に1m間隔でC-A熱電対6個を取り付けて垂直に立て、各点からの出力を切換スイッチで切換えて μV 計(大倉AM1001)で読みとった。

3.4 床および壁面温度

第3図に示す箇所の床および壁面の表面にC-A熱電対をビニールテープで貼り付けて、それぞれの出力を記録計(大倉15R)に自記させた。壁の測定点は床より1mの高さにある。

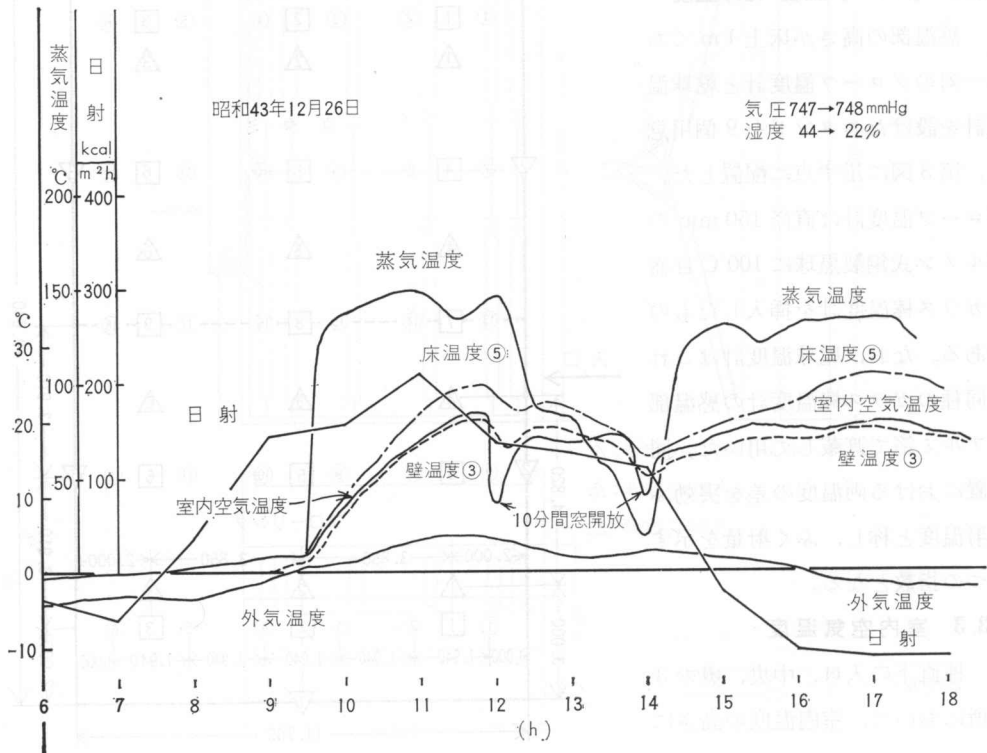
3.5 ふく射量

ふく射計(東京精工RE-2, KBrフィルター付)を、第3図に示す各点に移動して、それよりの出力を μV 計(大倉AM1001)で読みとってふく射量に換算した。ふく射計の高さは床から370mmで、のぞき角は 90° である。測定の際に、ふく射計に日射が入らないようにこれをさえぎっている。

また、近似的図式解法を用いて、各点のふく射を計算し、測定値との比較を行なった。

3.6 その他

パネル温度は、空気温度を測定する竿の先端の熱電対を押付けて蒸気管表面の温度をパネル入口、中央、出口の3箇所測定した。日射は本学熱工学実験室屋上に設置した示差ふく射計(英弘精機CN-1)で、水平面における全天ふく射を測定して、その値から暖房負荷への影響を試算した。



第4図

外気温度は、日射と同時に測定しているが北見気象通報所発表の値を採用した。

4. 測定および計算の結果と検討

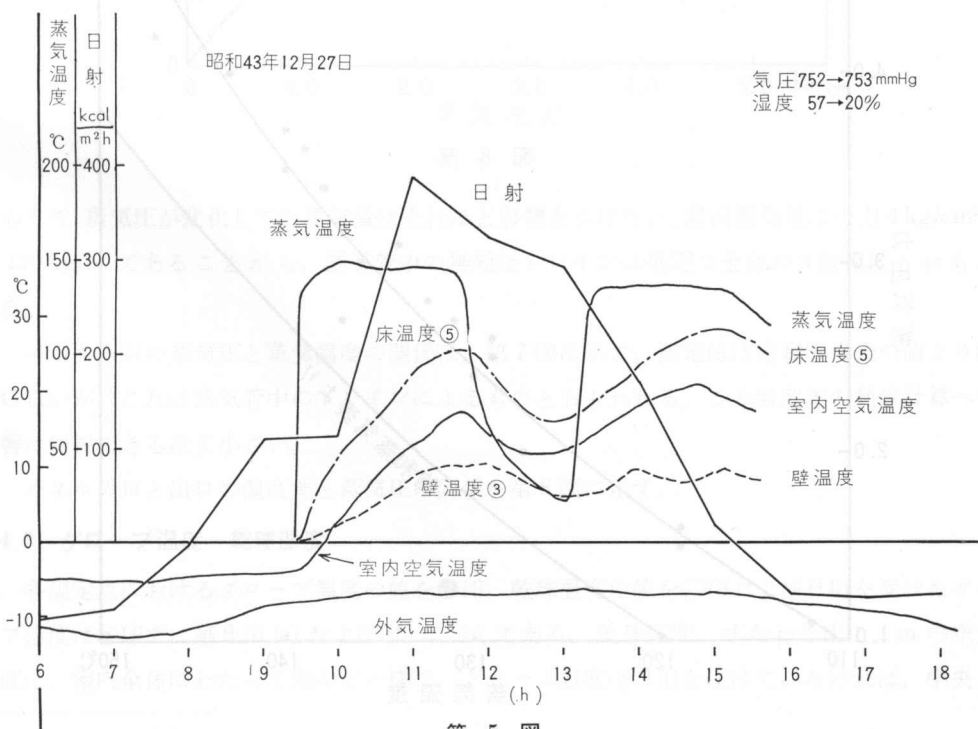
4.1 室内外温度変化の状況

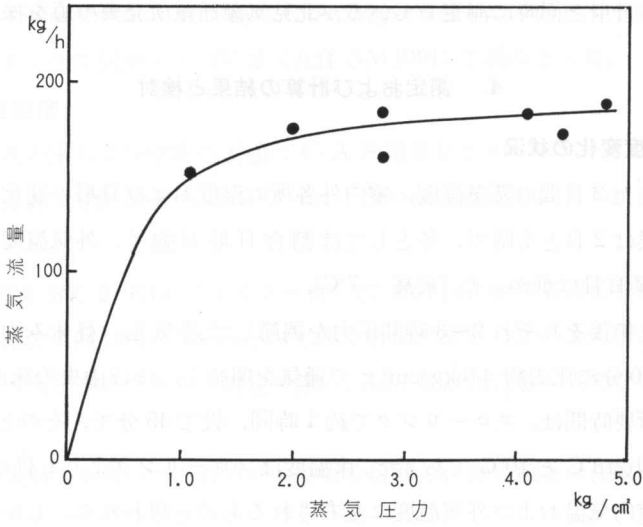
測定を実施した2日間の蒸気温度、室内外各所の温度および日射の変化を第4図および第5図に示す。天候は2日とも晴で、冬としては割合日射が強く、外気温度は第1日目は高く(最高+4°C)、第2日目は低かった(最高-7°C)。

蒸気は午前と午後それぞれ2~3時間圧力を調節して通気し、昼休み約2時間は蒸気を止めた。午前9時30分に圧力約4.0 kg/cm²gで通気を開始し、ほぼ中央の床面⑤の温度が15°Cに温まるまでの所要時間は、フローリングで約1時間、畳で45分で、そのときの空気温度(床上1m)はそれぞれ13°Cと10°Cであった。床温度はフローリングよりも畳の方が早く上昇し、空気温度は初期室内気温および外気温度に左右されるものと思われる。しかし、いずれの場合も床温度が空気温度より早く上昇することがわかる。その後は室内各温度は時間とともに必要以上に上昇するので、武道場を使用する際には、蒸気の圧力と流量を減じなければならないものとおもわれる。

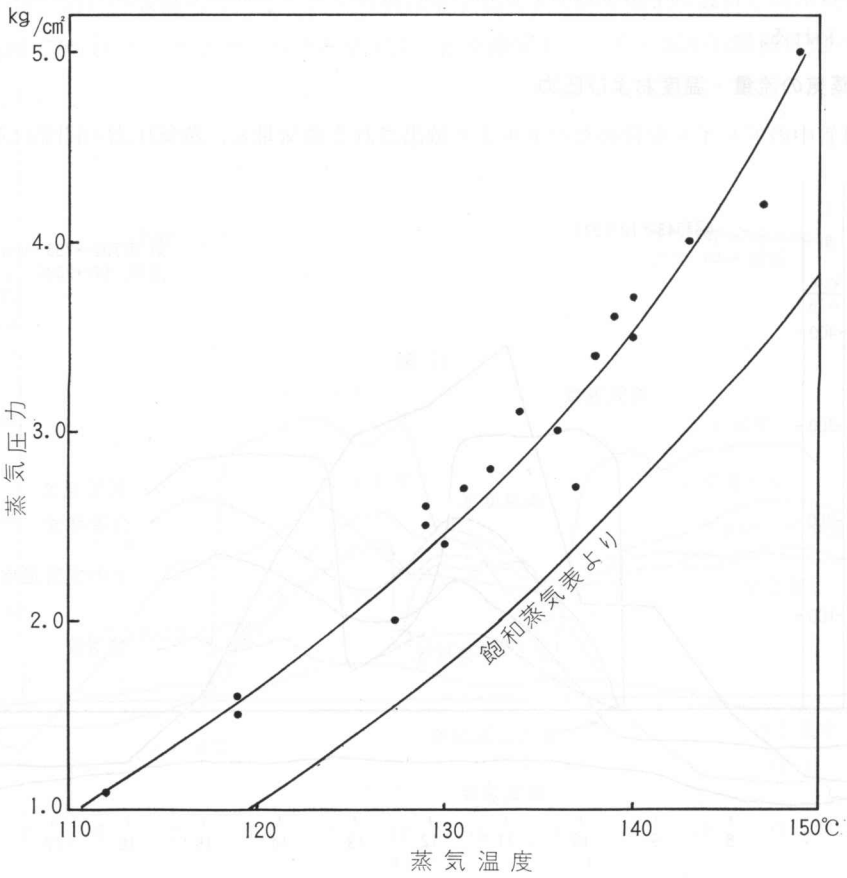
4.2 蒸気の流量・温度および圧力

誘導管中のドレインを含めたパネルより放出される蒸気量と、蒸気圧力の関係は第6図の

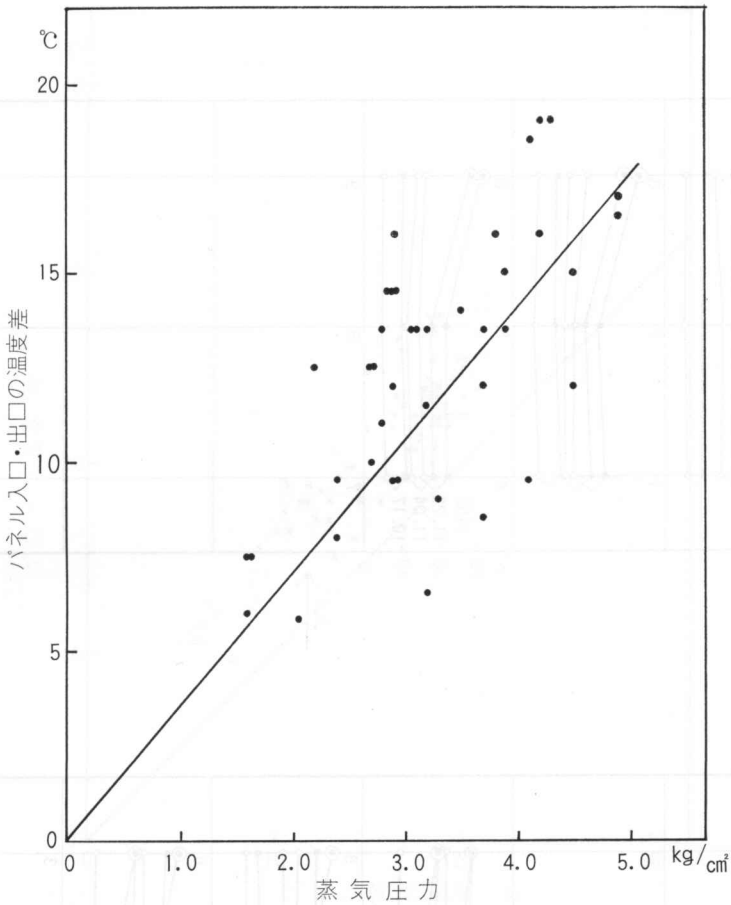




第 6 図



第 7 図



第 8 図

とおりで、蒸気圧が変化しても蒸気量はそれほど影響をうけない。設計蒸気量は圧力 $4 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で 110 kg/h^* であることから、誘導管中の無効なドレインは推定で全体の 3 割程度とおもわれる。

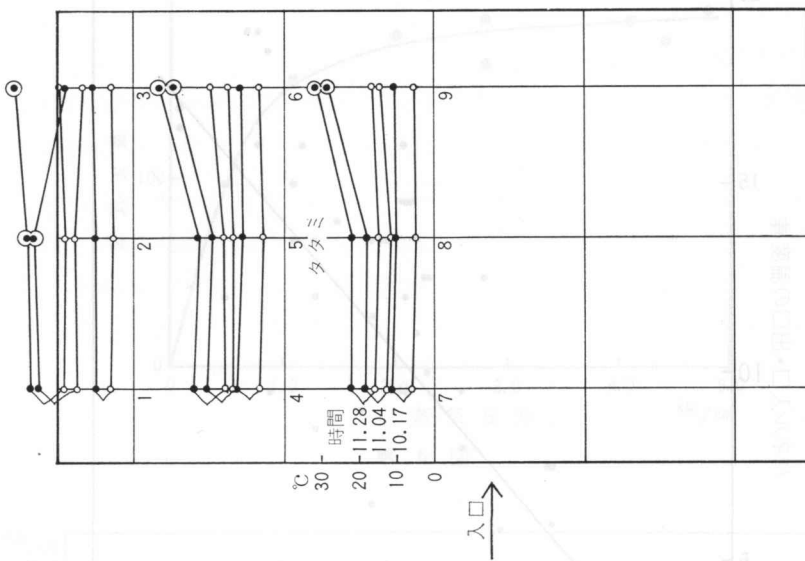
パネル入口の蒸気圧と蒸気温度の関係は、第 7 図に示す。測定値は飽和蒸気表の値より約 8°C 低い、これは蒸気管中のドレインによるものとおもわれる。この温度差の熱量計算への影響は無視できるほど小さい。

パネル入口と出口の温度差と蒸気圧の関係を第 8 図に示す。

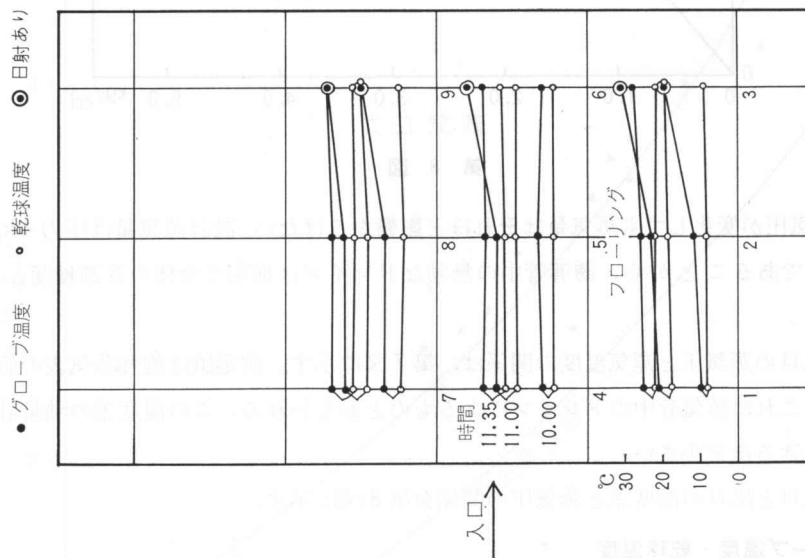
4.3 グローブ温度・乾球温度

各測定点におけるグローブ温度の値を●印、乾球温度の値を○印および日射を受けたグローブ温度は◎印で、第 9 図 (a) および (b) に示してある。乾球温度、すなわち床上 1 m の空気温度は、室内全体にわたって殆んど一様で、グローブ温度は日射を受けていなければ、中央よ

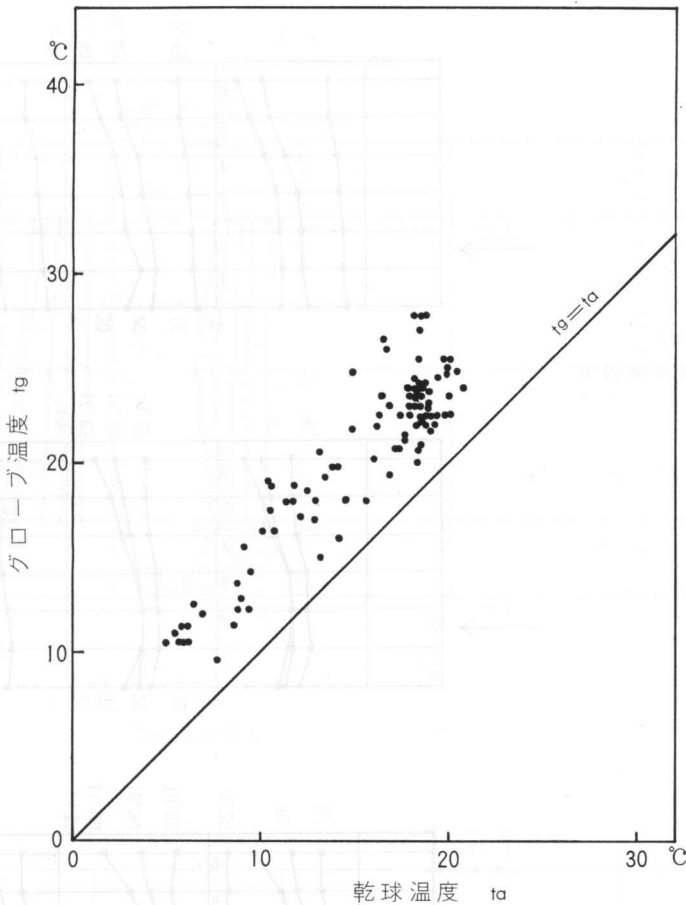
* 田熊汽缶の設計値



第9図(b) グループ温度・乾球温度



第9図(a) グループ温度・乾球温度



第 10 図

り左右両側で僅かに高く、部屋入口と奥がふく射が強いことを示している。

グローブ温度と乾球温度の関係を、日射を受けたものは除いて、第 10 図に示してある。

4.4 室内空気温度

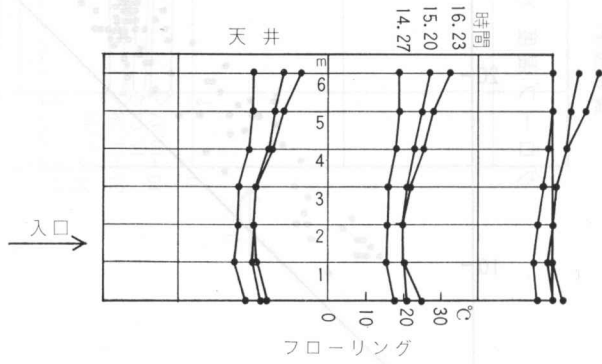
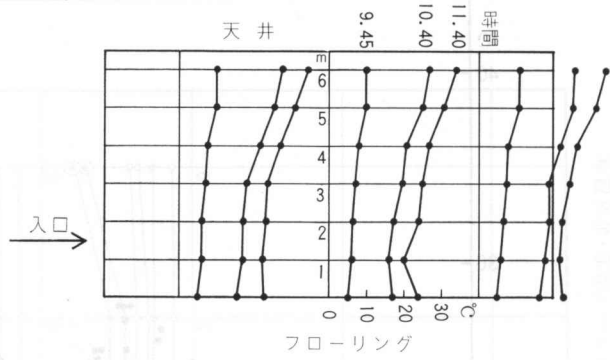
棟直下の入口、中央および奥の 3 箇所において、空気温度の高さによる変化を床から 1 m おきに測定した結果を、第 11 図 (a) および (b) に示す。

図において、ふく射暖房の特徴である空気温度より床温度が高いという傾向がうかがわれ、特にフローリングよりも畳の方が顕著である。ここで、室内上部の空気温度は時間の経過とともに上昇するが、これは主にパネルからの対流によるものとおもわれる。

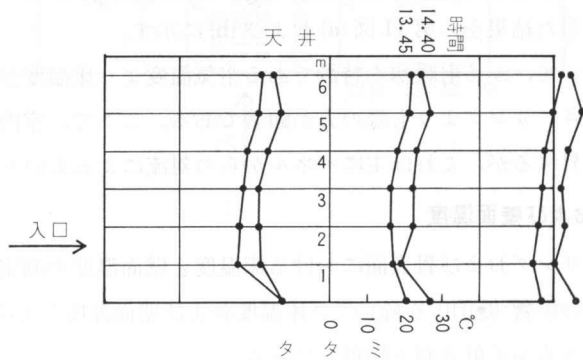
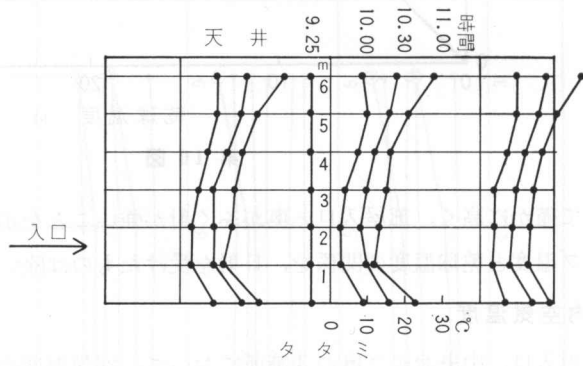
4.5 床および壁面温度

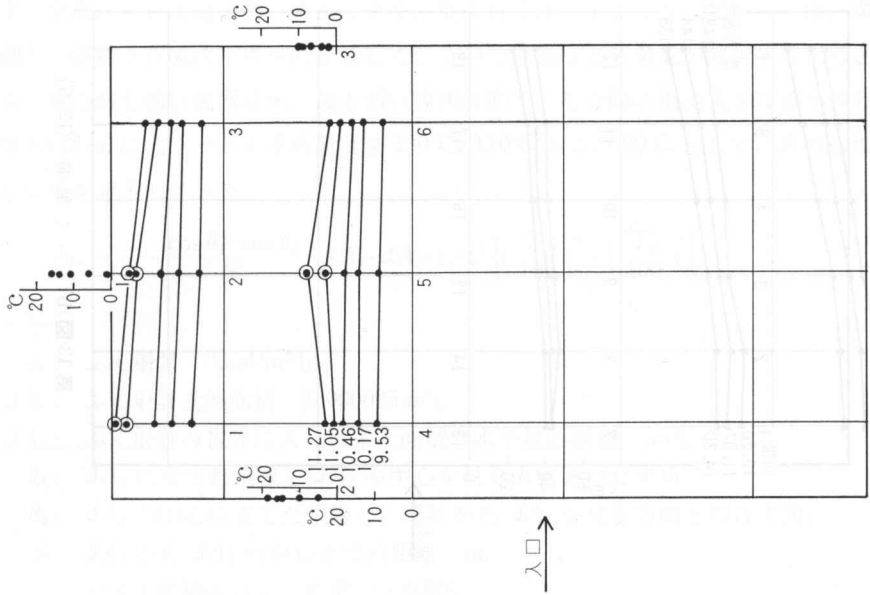
フローリングおよび畳表面における床温度と壁面温度の測定値を第 12 図 (a) および (b) に示す。日射の影響 (●印) を除いて、床温度および壁面温度ともに、入口に近い側が高いが、これは次に述べるふく射分布と類似している。

第11図(a)
室内空気温度

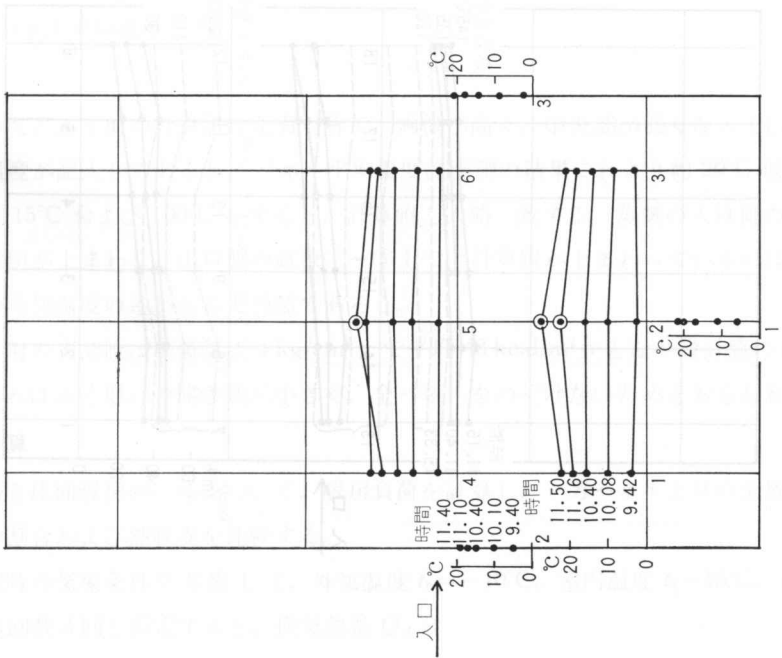


第11図(b)
室内空気温度

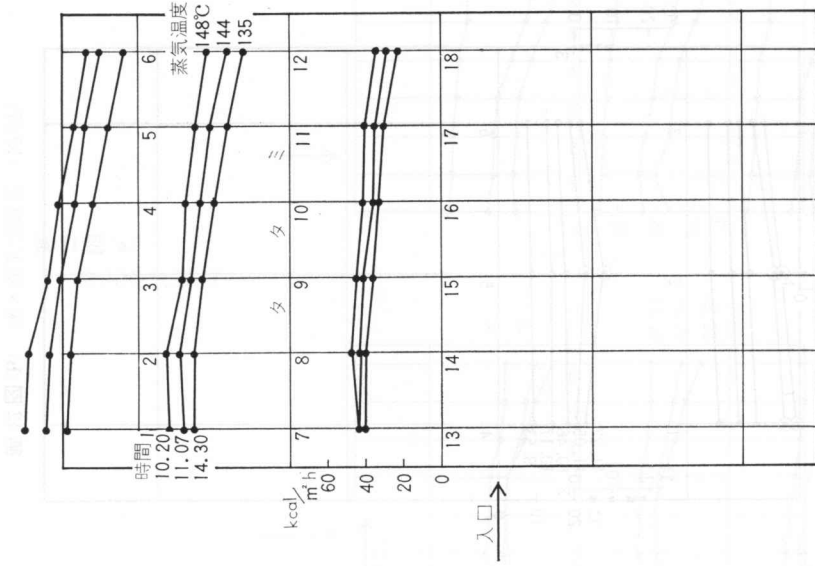




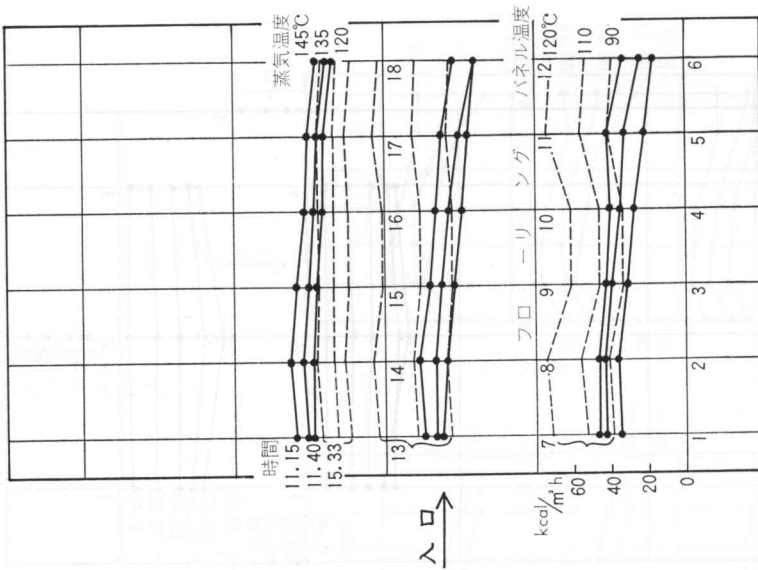
第12図(b) 床・壁表面温度 (12.27)



第12図(a) 床・壁表面温度 (12.26)



第13図(b) ふく射量 (12.27)



第13図(a) ふく射量 (12.26)

4.6 ふく射量

フローリングおよび畳の床上 370 mm におけるふく射量の測定値を、第 13 図 (a) および (b) に示す。全般に入口に近い側の値が大きく、奥に行くほど小さくなっているのは、蒸気が部屋入口側から供給され順次パネルに分岐しているため、奥ほど蒸気量が減少するためとおもわれる。ふく射の最も強い箇所は⑧、最も弱い箇所は⑥で、その間に相当大きな差がみられる。

第 13 図 (a) には、パネル平均温度を 130°C、110°C および 90°C として、次の近似式から計算した結果を記入してある。

$$q_r = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{S^2} \cdot \Delta A_1 \cdot \Delta A_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot C \left\{ \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right\}$$

ここで、

- q_r : ふく射量 (kcal/m²h)。
- ΔA_1 : ふく射計受熱面積 (0.000095 m²)。
- ΔA_2 : ふく射計の視界に入るパネル面積の水平投影面積 (m²)。
- θ_1 : ΔA_1 に立てた垂線と ΔA_2 の中心を見る方向とのなす角。
- θ_2 : ΔA_2 の中心に立てた垂線と、そこから ΔA_1 を見る方向とのなす角。
- S : ΔA_1 から ΔA_2 の中心までの距離 m。
- ε_2 : パネル塗装面のふく射率 (=0.90)。
- C : Stefan-Boltzmann Const. ($\sigma \times 10^8 = 4.88 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{K}^4$)。
- T_1 : ふく射計温度 °K。
- T_2 : パネル平均温度 °K。

である。

図において、ふく射の計算値は左右対称で、両側が高く、中央部が低くなっている。実測値には蒸気温度が記入してあるが、パネル平均温度は実測の結果これより約 20°C 低く、それぞれ 125°C、115°C および 100°C とすると、計算値と大略一致する。蒸気の入口側の直線⑬～⑱上では測定値が上まわり、出口側の直線①～⑥上では計算値が上まわっているのは、パネル入口と出口の蒸気温度の差からみて当然であろう。

床面ふく射の実測値は、蒸気圧 4 kg/cm² g で平均 48 kcal/m² h となり設計値の 60% に過ぎないが、これはふく射計の開き角が小さく、全パネルをのぞけないためとおもわれる。

4.7 熱計算

空気暖房と床面暖房の二様について、暖房負荷を計算し、一方パネルよりの全放熱量を計算して、その割合および熱収支を比較する。

(1) 測定時の気象条件を考慮して、外気温度 $t_0 = -10^\circ \text{C}$ 、室内温度 $t_i = 15^\circ \text{C}$ 、温度差 $\Delta t = 25^\circ \text{C}$ 、換気回数 3 回と仮定すると、換気熱量 Q_A は

$$Q_A \doteq 28,500 \text{ kcal/h}$$

床、壁、ガラス窓および天井からの熱貫流率⁶⁾を、それぞれ 1.6, 1.2, 2.2 および 1.4 kcal/

$m^2 h^{\circ}C$ として、貫流熱量 Q_K は

$$Q_K \doteq 29,300 \text{ kcal/h}$$

ゆえに全熱負荷 Q_1 は

$$Q_1 = Q_A + Q_K \doteq 57,800 \text{ kcal/h.}$$

(2) 外気温度 $-10^{\circ}C$ で床温度 $15^{\circ}C$ を保つための床面積当り必要熱負荷を、床構造から判断して $70 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ と仮定して計算した熱負荷 Q_2 は

$$Q_2 = 52,000 \text{ kcal/h.}$$

(3) 供給熱量の算出

各蒸気圧力にたいするパネルよりの全放熱量、ふく射熱量およびふく射放熱割合について計算した結果は、第1表に示すとおりである。

第1表 熱量計算

蒸気圧 ($kg/cm^2 g$)	蒸気温度 ($^{\circ}C$)	潜熱 ($kcal/kg$)	正味蒸気量 (kg/h)	放熱量 ($kcal/h$)	パネル 平均温度 ($^{\circ}C$)	ふく射熱 ($kcal/h$)	ふく射 放熱割合 (%)
5	150	497	129	64,200	140	41,200	64
4	143	502	126	63,300	130	35,700	56
(4)	(143)	(500)	(110)	(54,500)	(130)	(30,000)	(55)
3	135	508	123	62,500	120	31,400	50
2	125	515	118	60,800	110	27,000	44
1	110	523	102	53,400	100	23,100	43

備考：()内の数字は田熊気缶の設計値

(4) 日射量

ガラス窓から入射する全日射量の時間変化は、第2表のとおりであり、正午頃には最大になり $10,000 \text{ kcal/h}$ 以上に達する。このほか建物周囲を温めて貫流熱損失を抑制する効果もあり、それだけ暖房負荷は軽減することになる。

第2表 入射全日射量 ($kcal/h$)

月 日	時 間							
	8	9	10	11	12	13	14	15
12・26	1,380	5,770	6,290	8,440	5,440	5,120	4,300	—
12・27	—	4,250	4,350	15,400	12,800	11,500	6,600	600

5. む す び

以上の測定結果から判断して、このふく射暖房装置の特性は総じて良好で、むしろ設計値以上の能力を有し、厳冬期においても十分な威力を発揮する余裕があるものとおもわれる。

平常使用の際、蒸気圧力 $4 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で連続通気すれば、供給熱量が暖房負荷を上まわり、

室内床温度および空気温度が過大となり、さらに日射があるとその傾向に拍車をかける結果となり、その上空気が乾燥して相対湿度で約 20% に低下することは、体育環境としては好ましくないものとおもわれる。また、実測中の体験からすれば、蒸気圧が $4 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 以上になれば、強いふく射が頭上から照りつける感じで、多少不快をもよおすゆえ、暖房装置の操作法としては、部屋使用の約 1 時間前に $4 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で通気しておき、所要温度に達した後は、蒸気圧を $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 位に減じて使用することが望ましく、日射の強い日は厳寒中でも、日中はほとんど通気する必要がないものとおもわれる。しかし、この場合には、当然ふく射放熱割合が低下することは避けられない。

室内空気温度の水平方向の温度分布は、あまり認められないが、床温度およびふく射量が場所によって相当むらがあることがわかった。特に、部屋入口から見て、奥の両隅が最低であり、これはパネルへの蒸気の分配を工夫することにより改善されるものとおもわれる。

そのほか、ふく射暖房の特徴とされている床温度が空気温度より高いこと、パネルよりのふく射熱量は全体の約 60% であることなど、従来の通説と同様な結果を得た。

熱効率的な面から難点を上げるならば、蒸気供給源からみたこの装置の熱利用率は決してよくなく、誘導管中の凝縮水およびパネル通過後の復水が無駄に放出され、その量は設計圧力で約 $40,000 \text{ kcal/h}$ で全体の 40% に達する。

この点は、独自の熱供給源を設置すれば、効率の上昇は得られても、暖房装置の規模および使用頻度等を考えると、設備費がかさみ、現状では止むを得ないものとおもわれる。

この実験を行なうに当たり、心よく施設利用の承諾をされ、全面的な協力をいただいた本学会計課、施設課および学生課の各位に深甚の謝意を表し、なお、測定装置類の準備および、現場の測定作業には、本学機械工学科三年目学生の横山広君と稲葉英男君の自発的な協力により、順調に遂行し得たことを付記する。

文 献

- 1) 齋藤 武・石黒亮二・嶋島正則： ふく射放熱器の性能 (第 1 報). 日本機械学会北海道支部第 11 回講演会前刷集, p. 101 (昭 41. 9).
- 2) 齋藤 武・石黒亮二・嶋島正則： 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 (昭 42. 2).
- 3) 齋藤 武・石黒亮二・金山公失： 暖房放熱面のふく射率. 日本機械学会創立 70 周年記念北海道地区講演会前刷集, p. 113 (昭 42. 8).
- 4) 谷口 博・川井邦彦： 半球形天井内面に設けたふく射パネルの形態係数. 日本機械学会北海道支部第 12 回講演会前刷集, p. 253 (昭 43. 10).
- 5) 松岡脩吉・田多井吉之介： 環境衛生測定法. 南江堂 (昭 41).
- 6) 山田治夫： 冷凍および空気調和. p. 237, 養賢堂 (昭 39).