



Title	遠赤外線の加熱特性（第1報）：受熱板の色調と吸収熱量について
Author(s)	韓, 忠洙; Han, Chung Su; 伊藤, 和彦 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 16(3), 256-262
Issue Date	1989-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12101
Type	departmental bulletin paper
File Information	16(3)_p256-262.pdf



遠赤外線の加熱特性 (第1報)

受熱板の色調と吸収熱量について

韓 忠 洙・伊 藤 和 彦

(北海道大学農学部農畜産加工機械学教室)

(昭和63年11月28日受理)

Studies on the Heating Characteristics of Far Infrared Rays (Part. 1)

Heat Flux due to the Color of Heated Surface

Chung Su HAN and Kazuhiko ITOH

(Laboratory of Agricultural Process Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

緒 言

近年、遠赤外線が広い分野で利用されるようになった。

しかし、遠赤外線は新しく発見されたものではなく、その存在は約200年前に認められていた。

遠赤外線の波長領域について多くの意見があり、統一されていないが慣用的にはほぼ、 $5\mu\text{m}$ 以上 $1,000\mu\text{m}$ までの波長領域を遠赤外線と定義している^{1,2)}。

現在、遠赤外線の利用分野は食品、機械、電子、化学、健康及び、医学関係と非常に拡大されている。

しかしながら、遠赤外線はこのように広い分野で利用されているが、その特性の把握、評価方法が確立されておらず、またその効果は理論的に十分に解明されていないのが現状である。従って、遠赤外線に過大な効果を期待する向きもある。

そこで、筆者らは遠赤外線を食品の乾燥、加熱殺菌、解凍などの単位操作の熱源として利用する場合の基礎資料を得ることを目的として、まず材料の色と吸収熱量の関係を知るための実験を実施した。

実 験 方 法

1. 実験装置および測定方法

Fig. 1 に供試実験装置の概略を示した。

装置の主要部および使用測定器は、以下のとおりである。

1) 温湿度制御部

安定した波長を放射あるいは吸収させるために熱源及

び受熱板の周囲温度を一定に制御する必要がある。さらに吸収熱量と雰囲気との相対湿度との関係を知るために湿度の制御も必要である。

このため熱源及び受熱板を恒温恒湿器 (600×850×800 mm) の中に設置し、一定温度条件下で相対湿度を変化させて実験を行った。

2) 供試熱源と受熱板

供試熱源として面状遠赤外線ヒーター (定格100 V・380 W, 有効放射面積 (114×318 mm)) 及び棒状遠赤外線ヒーター (定格100 V・300 W, 有効放射面積 (14.2φ, 250 mm)) を用いた。また、比較対照のために赤外線ランプ (定格100 V・380 W, 中心波長1.2μm, 色温度2,400 K) を用いた。

受熱板はガラス板 (100×100×4.8 mm) を用いた。

3) 供給電圧の調節と温度測定

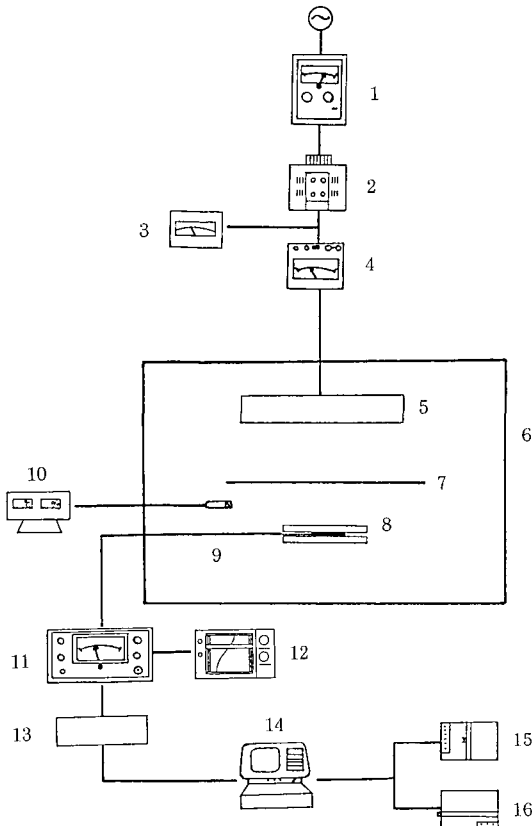
電源電圧を一定に維持するために定電圧器を用い、さらに熱源への供給電圧の調整は変圧器を用いて行った。ヒーターの表面温度測定は非接触デジタル放射温度計 (SORA CO. TX-700 S 測定範囲 -50°C~500°C) を用いた。

4) 熱量測定

受熱板に吸収された熱量の測定は熱流計 (CN-9 L型, 精度±5%, 英弘精機) を用いて測定し、微小直流電圧計に表示するとともにペンレコーダに記録した。

5) データ処理装置

微小直流電圧計からのデータをパーソナルコンピュータ (ソード M 223 mark III) によって、演算処理を



- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1. Autotransformer | 2. Transformer |
| 3. Volt Meter | 4. Watt Meter |
| 5. Heater | 6. Environmental Room |
| 7. Shielding | 8. Heated Surface |
| 9. Heat Flux Meter | 10. Humidity Meter |
| 11. Micro Volt Meter | 12. Recorder |
| 13. A/D Converter | 14. Personal Computer |
| 15. X-Y Plotter | 16. Printer |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

した。

データ処理はA/D変換器によって変換精度12ビット、サンプリングインターバル時間0.4 secでアナログ信号をデジタル信号に変換して行った。

6) データ処理プログラム

データ処理プログラムは、アナログ入出力ユニット(AIO)の要素位置セット部、微小直流電圧計の零点と最大点調節部、A/D変換器による測定データの読み取り部分(データを100回読み取って平均値を求める。)、測定データの演算処理部分、結果をフロッピーディスクへ転送して記録させる部分とプリンタに印字する部分、フ

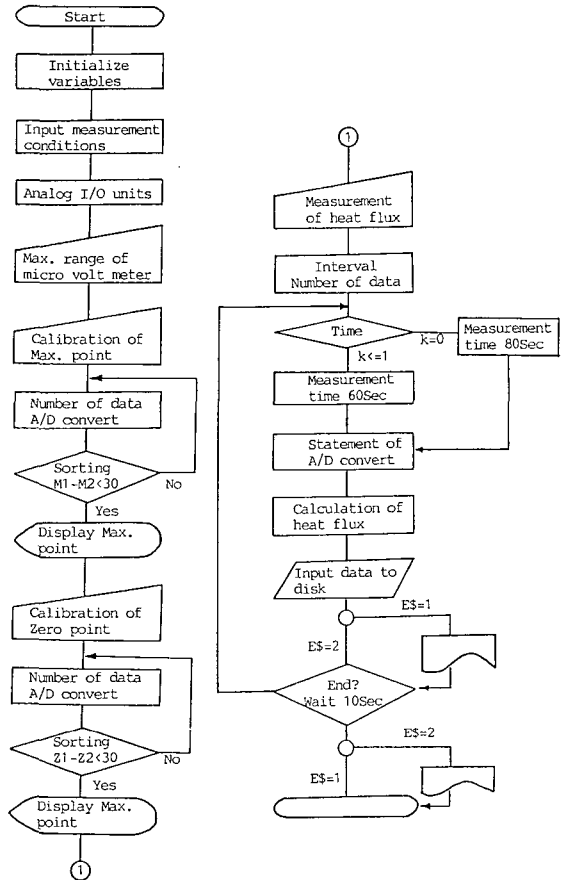


Fig. 2. Flowchart of the measurement of heat flux.

ッピーディスクから測定データをコンピュータに再度読み取り、X-Yプロッタに作図する部分からなっている。プログラムのフローチャートは Fig. 2 に示した。

7) 受熱板の透光度と吸光度測定

受熱板の透光度の測定は、スプレー塗料を塗布した受熱板(40×12×4.8 mm)を赤外分光光度計(日立製作所製, 285形, 測定範囲2.5~25 μm)に入れて測定し、吸光度の測定は自記分光光度計(日立製作所製, EPS-3 T形, 測定範囲0.6~2.6 μm)を用いて測定した。

2. 実験条件

熱源の種類、熱源への供給電圧、熱源と受熱板との距離、受熱板の色、槽内の空気湿度を以下のように設定し、これらを適宜組み合わせる実験を行った。なお恒温槽内の温度は一律25°Cとした。

熱源の種類: 面状遠赤外線ヒーター, 棒状遠赤外線ヒーター, 近赤外線ランプ

熱源への供給電圧: 75, 85, 95 V
 熱源と受熱板との距離: 100, 150 mm
 受熱板の色: 黒, 白, 緑, 橙, つや消し黒, 透明
 槽内の相対湿度: 40, 60, 80, 90%

Table 1. *L, a, b* values of heated surface

Color	Lightness	Hue(a)	Hue(b)
Black	16.73	1.37	0.21
Mat black	17.09	0.16	-0.77
Green	34.03	-22.45	13.02
Orange	42.33	31.30	21.45
White	92.25	-1.70	-3.15

3. 吸収熱量の計算方法

受熱板の吸収熱量は熱流計で計った。熱量は次の式によって求めた。

$$Q = E/C$$

ここで

Q: 熱量 (W/m²)

E: 熱流計の出力電圧 (mV)

C: 熱流計の感度 (mV/W · m⁻²)

本実験に用いた熱流計の感度は

24.4 mV/W · m⁻² である。

4. 受熱板の色調

受熱板の色調を R. S. HUNTER が提唱した Lab 表色系を用いて表した。

まず色彩計 (ミノルタ製, 光源色・物体色両用) を使用して受熱板の色の視感反射率 *Y* と色度点 *x, y* を求めた。色彩計による測定値 *Y, x, y* を *X, Y, Z* 表色系の三刺激値で表すと次のように示される³⁾。

$$x = X/(X+Y+Z) \tag{1}$$

$$y = Y/(X+Y+Z) \tag{2}$$

①, ② 式を *Y, Z* に対して連立方程式で解くと

$$X = (x \times Y)/y$$

$$Z = \{(1-x) \times Y/y\} - Y$$

となる。

L, a, b 値と *X, Y, Z* との関係式は

$$L = 10 Y^{1/2}$$

$$a = 17.5(1.02 X - Y)/Y^{1/2}$$

$$b = 7.0(Y - 0.847 Z)/Y^{1/2}$$

と表される。

ここで

L: Lightness 明度 (0 の場合黒 100 の場合白を意味する。)

a: Hue (a) 色度 (+で赤, -で緑を意味する。)

b: Hue (b) 色度 (+で黄, -で青を意味する。)

以上の計算式によって求めた受熱板の *L, a, b* 値を Table 1 に示した。

結果および考察

1. 相対湿度と吸収熱量

Fig. 3 に熱源, 熱源への供給電圧, 受熱板の色および恒温恒湿器内の相対湿度を変化させて行った実験における吸収熱量の経時変化を示した。

本図より, 加熱開始後 5 分まで吸収熱量が急速に増加し, 10 分後吸収熱量の変化は認められず平衡状態に達したことが分かる。

供給電圧と受熱板の色が同一である場合, それぞれの熱源において相対湿度の差が吸収熱量の変化に及ぼす影響は分散分析の結果, 危険率 1% において有意な差が認められなかった。

大気中を通過する赤外線は水蒸気により減衰する²⁾とされているが, これは厚い大気層中の水蒸気による吸収のためであり, 本実験の対象とする熱源と受熱板との間の空気層 (100, 150 mm) については相対湿度 (38%, 87%) の差による水蒸気量に大きな差がなかったため吸収熱量の差がなかったと考えられる。

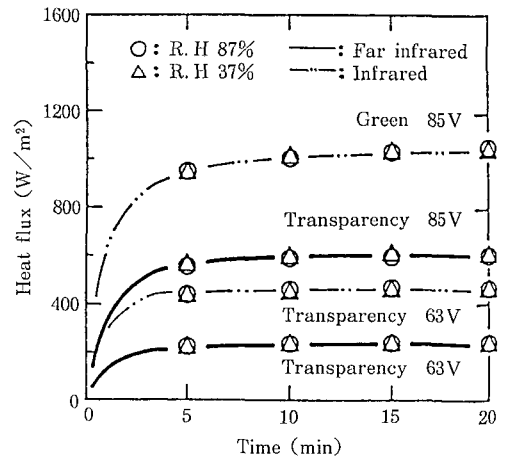


Fig. 3. Change in heat flux due to the types of heater and relative humidity.

2. 受熱板の色と吸収熱量

1) 面状遠赤外線ヒーター

Fig. 4 に、面状遠赤外線ヒーターへの供給電圧およびヒーターと受熱板の距離と吸収熱量との関係を受熱板の色別に示した。

本図に示すように、ヒーターへの供給電圧が高くなるほど吸収熱量は増加した。これは供給電圧が上昇することによって槽内でヒーターの表面温度が高く (75 V: 201°C, 85 V: 246°C, 95 V: 290°C) なり、放射エネルギー密度も高くなるためである。受熱板の色に無関係に、ヒーターと受熱板の距離を 150 mm から 100 mm に縮めると吸収熱量は約 1.6 倍増加した。

一方、供給電圧 86 V、距離が 100 mm、受熱板の色が黒、緑、橙、つや消し黒、透明の場合、吸収熱量はそれぞれ 601, 605, 601, 603, 605 W/m² を示し、色の違いによる吸収熱量の差は認められなかった。

しかし、受熱板の色が白の場合は 574 W/m² であり、他の色条件と比較して吸収熱量がわずかに減少した。供給電圧 96 V, 75 V と距離 150 mm でもこれと同じ傾向が認められた。

この原因は、他の色より白色の反射率が高いためである。

白色以外の色による吸収熱量の差が認められなかった原因として次のように考察した。Fig. 5 に受熱板の透過度測定結果を示した。本図から受熱板の透過度は 4.5 μm 以上の波長域では色の違いにかかわらず低く、ほぼ等しい値を示すことより吸収熱量の差が生じなかったと

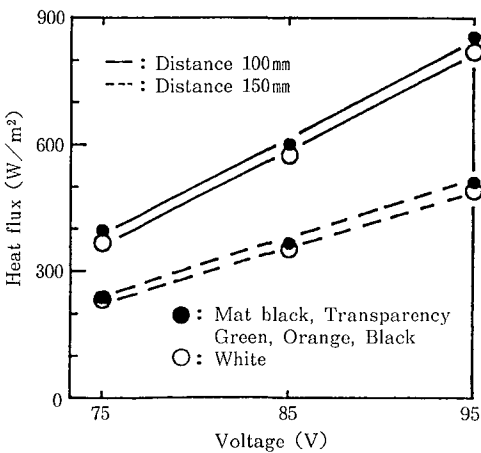


Fig. 4. Effect of the voltage of far infrared heater and the color of heated surface on heat flux. (Board heater)

考えられる。

2) 棒状遠赤外線ヒーター

Fig. 6 に、棒状遠赤外線ヒーターへの供給電圧およびヒーターと受熱板の距離と吸収熱量との関係を受熱板の色別に示した。

本図には受熱板の色が黒、緑、白についてのみ示したが、供給電圧と距離の変化および受熱板の色の違いによ

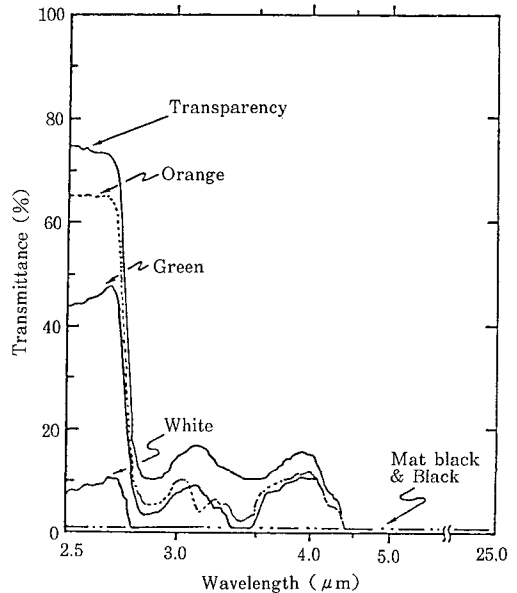


Fig. 5. Comparison of transmittance and the color of heated surface.

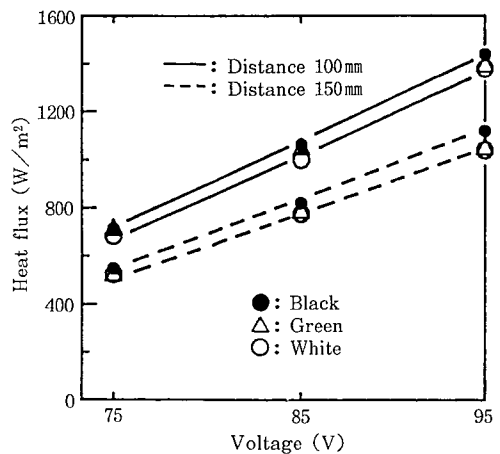


Fig. 6. Effect of the voltage of far infrared heater and the color of heated surface on heat flux. (Tubular heater)

る吸収熱量の変化は前述した面状遠赤外線ヒーターと同じ傾向を表した。

Fig. 4 に示した面状遠赤外線ヒーターの場合と比較して吸収熱量が大きくなっているが、これはヒーターの有効放射面積、ヒーターの形状が異なるため両ヒーターへ同じ電圧を供給しても、ヒーターの表面温度に差が生じたためである。面状遠赤外線ヒーターの場合供給電圧が 75, 85, 95 V の時ヒーター表面温度はそれぞれ 201, 246, 290°C を示し、一方棒状遠赤外線ヒーターの場合供給電圧が 75, 85 V の時ヒーター温度はそれぞれ 360, 468°C を示した。なお電圧 95 V の時は放射温度計の測定範囲 (500°C) より高いため測定できなかった。

したがってステファンボルツマンの法則により放射エネルギー密度は絶対温度の 4 乗に比例する^{2,4,5)} ことから、受熱板が吸収した熱量の差は、ヒーター表面温度差によって生じたことになる。

3) 近赤外線ランプ

Fig. 7 に、近赤外線ランプの供給電圧およびランプと受熱板の距離と吸収熱量との関係を受熱板の色別に示した。

本図に示すように、受熱板の色別の吸収熱量は前述した遠赤外線ヒーター (Fig. 4, 5) に比べて色による差が大きいことを知った。

供給電圧 85 V、ヒーターと受熱板の距離が 150 mm、加熱 20 分後の受熱板の色別による吸収熱量を見ると、白色受熱板は 630 W/m²、透明は 866 W/m²、橙色は 971 W/m²、緑色は 1,034 W/m²、黒とつや消し黒は 1,723 W/m² であった。これらの値を見ると黒の受熱板の吸収熱量は緑の 1.6 倍、橙の 1.8 倍、透明の 2 倍、白色の 2.7 倍に相当した。

ヒーターと受熱板の距離が 100 mm の時は 150 mm の場合より吸収熱量は全体的に大きくなるが、受熱板の色の違いによる吸収熱量は距離 150 mm の場合と同じ傾向を示した。

近赤外線加熱の場合、色による吸収熱量の差が大きい理由を次に考察する。

Fig. 8 は、各種受熱板の吸光度の測定値を示したものである。

本図に示すように、黒色の受熱板の場合、0.6~2.6 μm の波長域において吸光度は 1 を示すが、緑色は 1.4 μm、橙色は 0.8 μm 以上の波長域においては吸光度が 1 以下に減少している。また、透明受熱板は全波長域において吸光度が 0.2 以下となっており、受熱板の色別の吸光度の差が大きいことが分かる。これが色の違いによって吸

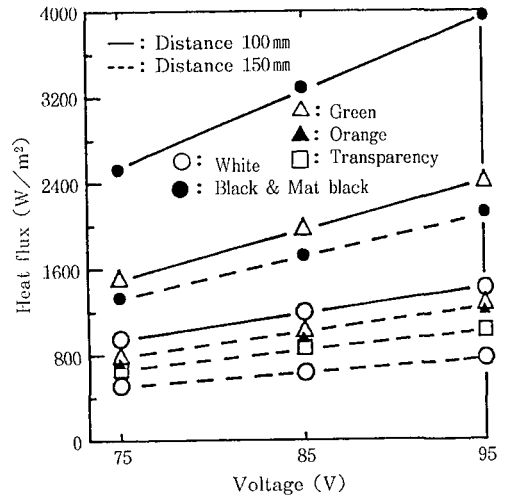


Fig. 7. Effect of the voltage of infrared lamp and the color of heated surface on heat flux.

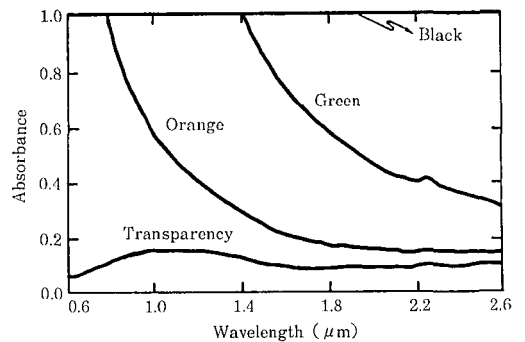


Fig. 8. Relationships between absorbance and the color of heated surface by wavelength.

収熱量に差が生じた理由と考えられる。

遠赤外線ヒーター (Fig. 4, 6) と近赤外線ランプ (Fig. 7) との吸収熱量を比較すると近赤外線の照射による吸収熱量の方が大きいことが分かる。エネルギーの差が大きい理由は本研究に用いた熱源の抵抗体の特性、長さ、断面積と有効発熱面積が違うため放射面に温度差が生じるためである。

近赤外線ランプのフィラメント温度は遠赤外線ヒーター表面温度に比べて 2.5~4 倍高いことから、吸収熱量に大きな差が現れたのは、ステファンボルツマンの法則より当然である。

したがって熱源の利用目的によってそれぞれ長短所があり、ヒーターの温度分布、有効放射面積、被加熱物の

物性と吸収波長特性などを考慮して、熱源を選定するのが望ましいと考えられる。

4) 明度と吸収熱量

Fig. 9 に、受熱板の明度の違いによる遠赤外線ヒーターの吸収熱量の変化を示した。

本図に示すように、遠赤外線ヒーターは受熱板の明度が低下しても吸収熱量の変化に影響を及ぼさなかった。

これは前述したように遠赤外線ヒーターの表面温度が近赤外線ランプのフィラメント温度より低く、放射する

赤外線の波長分布は長波長側へ移行（ウィーン変位則）したことから^{2,6)} 受熱板の明度の違いによる吸収熱量の差が減少したものと考えられる。

Fig. 10 に、受熱板の明度の違いによる近赤外線ランプの吸収熱量の変化を示した。

本図に示すように、近赤外線ランプは明度が低下するに伴って吸収熱量が増加することが認められた。

すなわち、明度が低下するという事は全ての波長域のエネルギーを吸収する黒体に近づくことを意味する。従って、赤外線と可視光線を同時に発する近赤外線ランプに対して、受熱板の吸収熱量は明度に影響されることが分かった。

要 約

近年、遠赤外線が広い分野で利用されるようになったが、遠赤外線の特徴の把握、評価方法やその効果の理論的な根拠について十分な解明が行われていない。

そこで、遠赤外線の加熱特性を求める方法の一つとして熱源から放射されたエネルギーが被照射面に吸収される場合、被照射面の色の違いによってその吸収量が変化するかどうかを知る目的で実験を行った。

実験は熱源の種類、熱源への供給電圧、熱源と受熱板との距離、受熱板の色および熱源と受熱板との間の空気温湿度をかえて行い、吸収熱量の変化を測定した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 本実験の条件内では、相対湿度の変化が受熱板の吸収熱量に与える影響は認められなかった。
- (2) 遠赤外線加熱は受熱板の色の違いによる吸収熱量の差はほとんど認められなかった。

ただ、白色受熱板の吸収熱量は他の色の受熱板に比べてわずかに減少した。

- (3) 近赤外線の場合、受熱板の色の違いにより吸収熱量の差が非常に大きかった。

吸収熱量は黒とつや消し黒、緑、橙、透明、白の順に減少した。

- (4) 遠赤外線の波長域より近赤外線の波長域のほうが受熱板の明度による吸収熱量の差が明らかになった。

引用文献

1. 伊藤和彦：遠赤外線による野菜乾燥について、食品と遠赤外線。ビジネスセンター社、31-51。1986
2. Henry L. HACKFORTH 著、和田正信、中野朝安訳：Infrared Radiation, 近代科学社、3-288。1963
3. 日本色彩学会編：色彩科学ハンドブック、東京大学出版会、135-137。1980

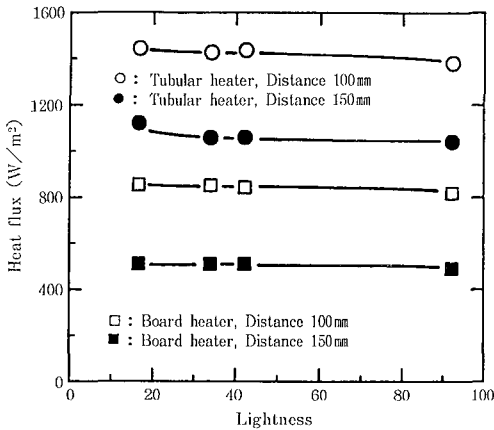


Fig. 9. Relationships between lightness of heated surface and heat flux of far infrared heater. (Voltage: 95 V)

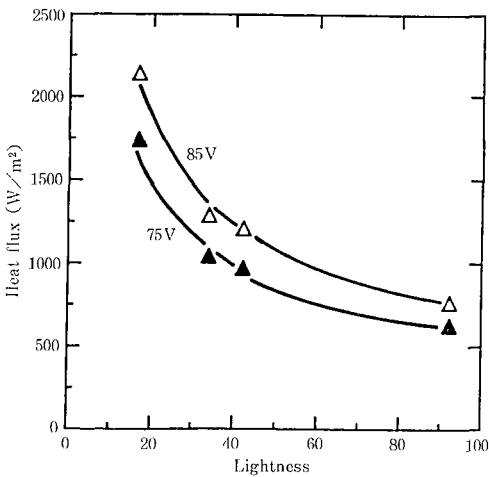


Fig. 10. Relationships between lightness of heated surface and heat flux of infrared lamp. (Distance: 150 mm)

4. F. A. HOLLANDら著, 若林嘉一郎訳: Heat Transfer, 培風館, 162-181. 1974
5. 川口将徳: 遠赤外線加熱の原理と応用, 燃料及び燃焼, 52, 12, 839-857. 1985
6. Warren H. GIEDT 著, 横堀 進, 久我 修訳: Engineering Heat Transfer, 丸善社, 204, 222. 1977

Summary

Far infrared radiation has been a widely used field lately. However, its characteristics and method of evaluation or theoretical basis have not been sufficiently investigated, yet.

The purpose of this paper is to find out the heating characteristics of far infrared radiation. We measured the variation of heat flux by the following: 3 kinds of heat source, supplied voltage of heat source, the distance from heat source to heated surface, color of the heated surface and the variation of relative humidity.

The results may be summarized as follows:

- 1) For this experimental conditions, it was observed that relative humidity had no effect on heat flux.
- 2) The far infrared radiation heating did not show any large difference in heat flux due to the color of heated surface. However, the heat flux of white heated surface decreased a little more than any other colored heated surfaces.
- 3) In the case of near infrared radiation heating, there was a great difference in the heat flux due to the color of heated surface. The heat flux due to the 6 kinds of colored heated surface decreased in the following order: black, mat black, green, orange, transparency and white.
- 4) The difference of heat flux due to the lightness of heated surface became clearer at wavelength in the near infrared radiation region than the far infrared radiation region.