HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ふく射ガスの温度分布解析 : 吸収係数の異なる2種類のふく射ガスが存在する場合
Author(s)	谷口, 博; 糸井, 等
Citation	北海道大學工學部研究報告, 47, 1-31
Issue Date	1968-03-26
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/40860
Type	bulletin (article)
File Information	47_1-32.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ふく射ガスの温度分布解析

—吸収係数の異なる2種類のふく射ガスが存在する場合—

谷口　博*
糸井　等*

(昭和42年11月30日受理)

Temperature Distribution of Radiant Gas

—The Existence of Two Kinds of Gases with Different Absorption Coefficients—

Hiroshi TANIGUCHI
Hitoshi ITOI
1st Heat Engine Divission, Faculty of Engineering

(Received November 30, 1967)

Abstract

It is recognized that a combustion condition in furnace is affected by the cooling rate of its surface and that the heat transfer between radiant gas and the surface is strongly influenced by radiation.

Various papers have been published on radiative transfer in furnaces. In general, a simplified condition of the same absorption coefficient is applied for a whole gas layer in furnace. However this condition may not be applied in the case of a luminous flame which exists in a usual furnace, inasmuch as the absorption coefficient of a luminous flame is greater than that of combustion gas. Furthermore, it is recognized that the gas radiates an emissive power in some regions of wave length and its absorption coefficient is affected by temperature.

The authors made an attempt to analyze the temperature distribution of radiant gas in a case where two kinds of gases with different absorption coefficients existed between two parallel infinite surfaces. It was shown that the analysis was also applicable to the case where the gases radiated emissive power in certain regions of wave length and that these absorption coefficients were affected by temperature. The calculations were conducted by the Monte Carlo method and programmed for electronic digital computation.

All examples in this paper were calculated by a computer. Reference data were used to compare the difference of analytical results between gray gas and real gases.

* 機械工学科熱機関学第一講座

目　　次

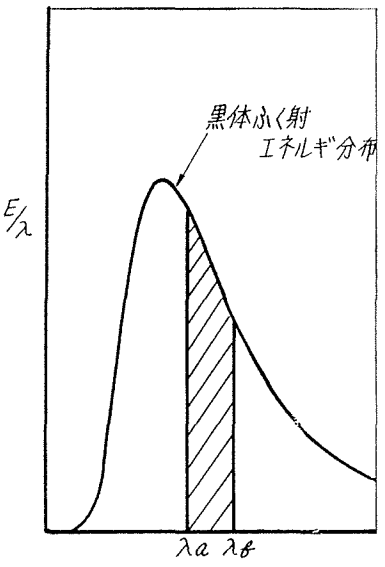
1. まえがき …… 2
2. 温度分布解析 …… 2
3. モンテカルロ法による解析 …… 13
4. 電子計算機用プログラム …… 19
5. 計算結果 …… 26
6. 結　び …… 31

1. まえがき

火炉内における燃焼状態は火炉壁の冷却率により影響を受けることが一般に知られているが，燃焼状態の解析に際し火炉壁の冷却率を考慮した研究は少ないように思われる。火炉内における熱伝達は主としてふく射により行なわれているので，上記燃焼状態の検討のため，火炎および燃焼ガスと火炉壁との間のふく射熱伝達，炉内温度分布の解析が必要である。

火炉内の温度分布解析は以前より研究されているが，火炎および燃焼ガスの吸収係数が等しい場合[1),2),4),5)]について行なわれていることが多い。このような条件は一般に無輝炎の場合に相当するものであり，実際に多く存在する輝炎の場合には当てはまらない。すなわち，輝炎の場合には火炎の吸収係数が燃焼ガスに比べ相当大であることが知られているので，火炉内の温度分布解析を行なうに際して両者を区別して取扱う必要がある。また，とくにガスふく射を解析する場合問題となるのはふく射に関与する波長域が限定されていること，吸収係数が温度の関数であることなど[3),6)]であるが，理論解析が困難なため省略されていることが多い。しかし，いずれも火炉内の温度分布解析に際し重要であるから，条件として取入れるよう考慮することが望ましいものと思われる。

本報告では，上記各点について検討を進め，火炉内を火炎と燃焼ガスの部分に区分し，両者の吸収係数が異なる場合について解析することとした。また，吸収係数が温度の関数であり，その温度依存度が火炎と燃焼ガスに対しそれぞれ異なる場合も考慮している。ふく射に関与する波長域が限定されている場合（図-1 参照）についても考慮し，以上の各条件と組み合わせて解析している。数値計算を行なうに際しては，モンテカルロ法を応用して火炎，燃焼ガスおよび火炉壁よりのふく射をまとめて計算する方法を採用することとした。



図—1　仮想ガスのふく射能

2. 温度分布解析

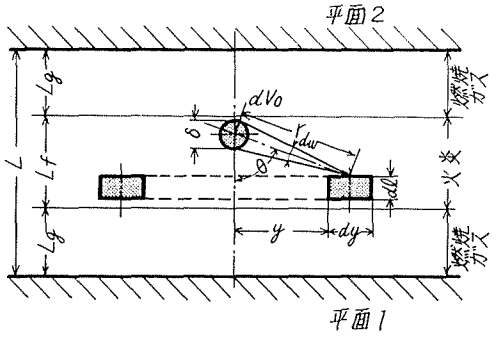
無限大平行 2 平面間の中央部に発熱せるふく射ガス

(火炎に相当する) が集中し，その両側に遮蔽ガス (燃焼ガスに相当する) が図-2 のごとく存在する場合について解析を行なうこととした。ただし，熱伝達はふく射のみにより行なわれ，対流および伝導による熱伝達は考えないものとする。火炎および燃焼ガスとしてはふく射に関与する波長域が限定されており (図-1 参照)，吸収係数がガス温度の関数である仮想ガスを考慮することとしたので，両者のふく射能は次式により表わすことができる。

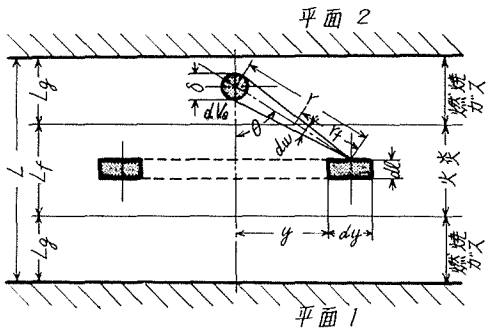
$$E_f = (1-e^{-KP_f(T)l})\,F(T)\,\sigma\,T^4 \quad (\text{火　　炎}) \tag{1}$$

$$E_g = (1-e^{-KP_g(T)l})\,F(T)\,\sigma\,T^4 \quad (\text{燃焼ガス}) \tag{2}$$

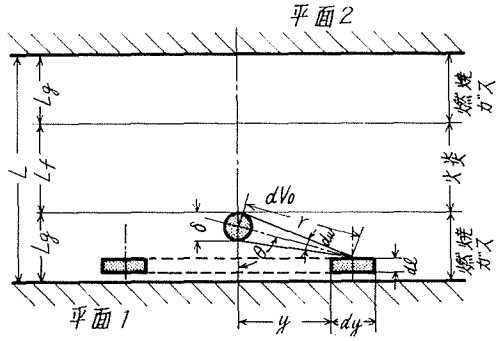
ただし，E_f, E_g：ふく射能，KP_f, KP_g：吸収係数 (ガスの分圧も考慮した値)，



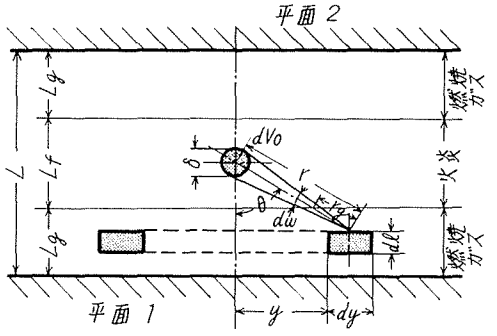
図—2 a



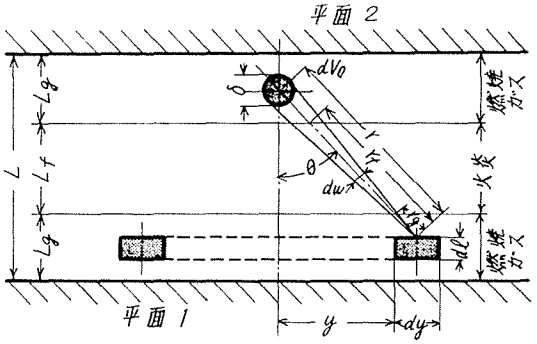
図—2 b



図—2 c



図—2 d



図—2 e

T: 温度, l: 厚さ, σ: ステファンボルツマン定数

$$F(T)=\frac{C_1\int_{\lambda_a}^{\lambda_b}\frac{d\lambda}{\lambda^5(e^{\frac{C_2}{\lambda T}}-1)}}{\sigma T^4}\qquad C_1=2\pi C_0^2h$$

$C_2=C_0h/k$　C_0: 光速度, h: プランク定数, k: ボルツマン定数, λ_a, λ_b: 波長

図-2 のリング状ガス体のふく射能は

$$4dA\,dl\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\quad(\text{火　　炎})\tag{3}$$

$$4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\quad(\text{燃焼ガス})\tag{4}$$

ただし, dA: リング上面の面積$=2\pi y\,dy$, dl: リングの厚さ

リング状ガス体より微小ガス体 dV_0 に到達するふく射量は

$$\frac{d\omega}{4\pi}\,4dA\,dl\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^r KP_f(T)dr}\quad(\text{火炎}\rightarrow\text{火炎})\tag{5}$$

$$\frac{d\omega}{4\pi}\,4dA\,dl\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\quad(\text{火炎}\rightarrow\text{燃焼ガス})\tag{6}$$

$$\frac{d\omega}{4\pi}\,4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr}\quad(\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{燃焼ガス})\tag{7}$$

$$\frac{d\omega}{4\pi}\,4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr}\int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr\quad(\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎})\tag{8}$$

$$\frac{d\omega}{4\pi}\,4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\tag{9}$$

(燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

ただし, $d\omega$: dV_0 の立体角$=\pi\delta^2/r^2$, δ: dV_0 の直径,

r, r_f, r_g: リング状ガス体よりの距離

dV_0 の体積は $\pi\delta^3/6$, 吸収率は $2KP_f(T)\,\delta/3$ または $2KP_g(T)\,\delta/3$ であるから, 上記ふく射量のうち dV_0 に吸収される量を求めると

$$KP_f(T_0)\,dV_0\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r} KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\,dl\quad(\text{火炎}\rightarrow\text{火炎})\tag{10}$$

$$KP_g(T_0)\,dV_0\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\,dl\tag{11}$$

(火炎→燃焼ガス)

$$KP_g(T_0)\,dV_0\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\,dl\tag{12}$$

(燃焼ガス→燃焼ガス)

$$KP_f(T_0)\,dV_0\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\,dl\tag{13}$$

(燃焼ガス→火炎)

$$KP_g(T_0)\,dV_0\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4e^{-\int_0^{r_f} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\,dl$$

(燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)　(14)

ただし, T_0: dV_0 の温度

これを積分し，2平面間の火炎および燃焼ガスより放出され dV_0 に吸収される量を求めると

$$KP_f(T_0)\,dV_0\Bigg[\int_0^{L_g} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl$$
$$+\int_{L_g}^{L_g+L_f} KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r} KP_f(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl$$
$$+\int_{L_g+L_f}^{L} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\Bigg] \quad (15)$$

（火　炎）

$$KP_g(T_0)\,dV_0\Bigg[\int_0^{L_g} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl$$
$$+\int_{L_g}^{L_g+L_f} KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl$$
$$+\int_{L_g+L_f}^{L} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty} e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\Bigg] \quad (16)$$

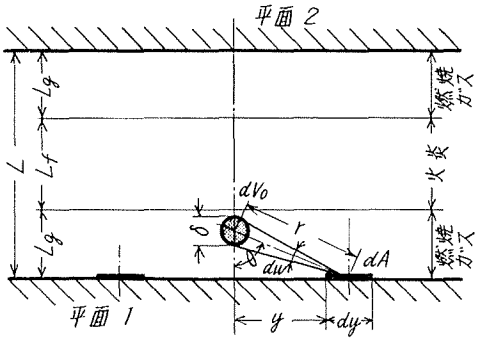
（燃焼ガス）

ただし，L：2平面間の距離，L_f, L_g：火炎，燃焼ガスの厚さ

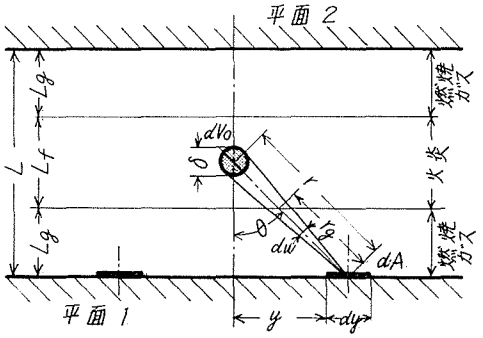
図-3 のリング状平面のふく射能は

$$dA\,\varepsilon\sigma T_j^4 \quad (17)$$

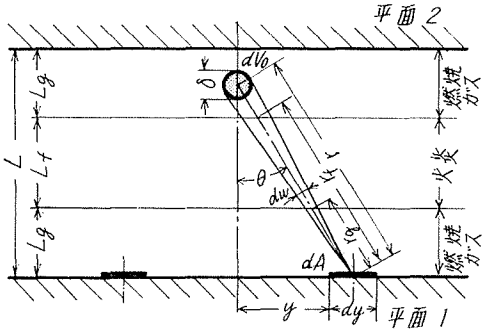
ただし，ε：平面のふく射率，T_j：平面の温度



図—3 a



図—3 b



図—3 c

リング状平面より微小ガス体 dV_0 に到達するふく射量のうちガスふく射に関与する分は

$$\frac{d\omega}{\pi} dA \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^r KP_g(T)dr} \quad (\text{平面→燃焼ガス}) \tag{18}$$

$$\frac{d\omega}{\pi} dA \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr} \int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr \quad (\text{平面→燃焼ガス→火炎}) \tag{19}$$

$$\frac{d\omega}{\pi} dA \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{20}$$

(平面→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

ただし，θ：dA の法線とふく射方向とのなす角

上記ふく射量のうち dV_0 に吸収される量を求めると

$$KP_g(T_0) dV_0 \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^r KP_g(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} \quad (\text{平面→燃焼ガス}) \tag{21}$$

$$KP_f(T_0) dV_0 \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} \tag{22}$$

(平面→燃焼ガス→火炎)

$$KP_g(T_0) dV_0 \cos\theta F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} \tag{23}$$

(平面→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

これを積分し，2 平面より放出され dV_0 に吸収される量を求めると

$$KP_f(T_0) dV_0 F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 \int_0^{\infty} \cos\theta e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} \quad (\text{火炎}) \tag{24}$$

$$KP_g(T_0) dV_0 \left[F(T_j) \varepsilon\sigma T_j^4 \int_0^{\infty} \cos\theta e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} + F(T_k) \varepsilon\sigma T_k^4 \int_0^{\infty} \cos\theta e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \frac{2y\,dy}{r^2} \right] \tag{25}$$

(燃焼ガス)

ただし，$j=1$ の場合 $k=2$，$j=2$ の場合 $k=1$

図-4 のリング状ガス体より平面の微小面 dA_0 に到達するふく射量は

$$\frac{d\omega}{4\pi} 4dA\,dl\,KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4 e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{26}$$

(火炎→燃焼ガス→平面)

$$\frac{d\omega}{4\pi} 4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4 e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr} \quad (\text{燃焼ガス→平面}) \tag{27}$$

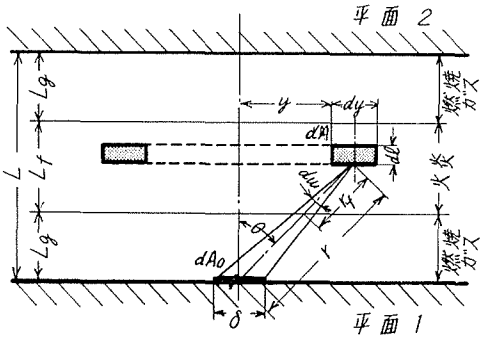
$$\frac{d\omega}{4\pi} 4dA\,dl\,KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4 e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{28}$$

(燃焼ガス→火炎→燃焼ガス→平面)

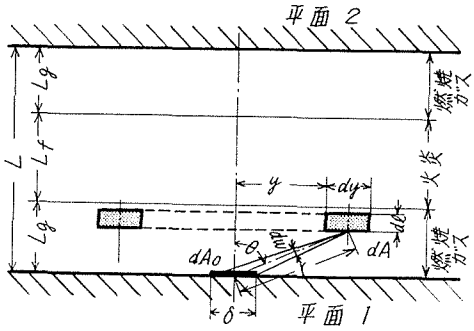
ただし，$d\omega$：dA_0 の立体角 $=\pi\delta^2\cos\theta/4r^2$，$\delta$：$dA_0$ の直径，

θ：dA_0 の法線とふく射線方向とのなす角

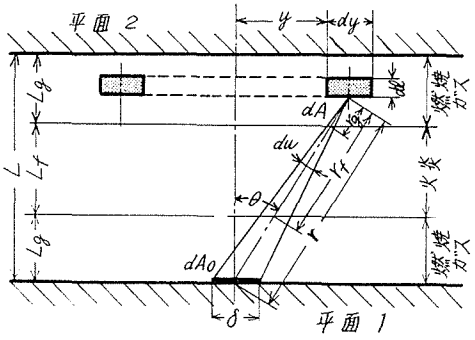
これを積分し，2 平面間の火炎および燃焼ガスより放出され dA_0 に到達する量を求めると



図—4 a



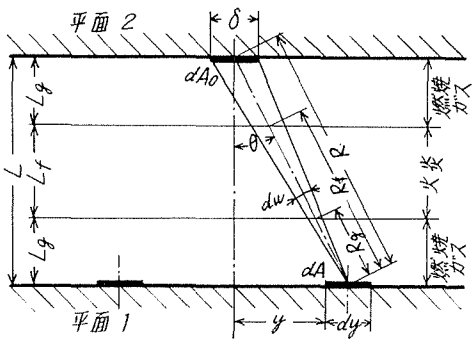
図—4 b



図—4 c

$$dA_0\Big[\int_0^{L_g} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\Big\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{\int_0^{r} KP_g(T)dr}\,\frac{2y\,dy}{r^2}\Big\}dl$$
$$+\int_{L_g}^{L_g+L_f} KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\Big\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{\int_0^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}\,\frac{2y\,dy}{r^2}\Big\}dl$$
$$+\int_{L_g+L_f}^{L} KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\Big\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{\int_0^{r_g} KP_g(T)dr\ \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr\ \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr}$$
$$\cdot\,\frac{2y\,dy}{r^2}\Big\}dl\Big] \quad \text{(火炎および燃焼ガス)} \tag{29}$$

図-5 のリング状平面より他平面の微小面 dA_0 に到達するふく射量は



図—5

$$\frac{d\omega}{\pi}\,dA\cos\theta\,F(T_j)\,\varepsilon\sigma\,T_j^4 e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr} \tag{30}$$

(平面→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス→平面)

ただし，$d\omega$：dA_0 の立体角$=\pi\delta^2\cos\theta/4r^2$，$R$, R_f, R_g：リング状平面よりの距離

これを積分し，平面より放出され dA_0 に到達する量を求めると

$$dA_0F(T_j)\,\varepsilon\sigma\,T_j^4\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KR_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\quad\text{(平面)} \tag{31}$$

式(29)のふく射量のうち平面で反射され他平面に到達する量を求めると

$$\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)\,dA\cos\theta\,[S]\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr} \tag{32}$$

ただし

$$\begin{aligned}[S]=&\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\cdot e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.\\&+\int_{L_t}^{L_t+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\cdot e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\\&+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\right.\\&\left.\left.\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]\end{aligned}$$

上式を積分すると

$$dA_0(1-\varepsilon)\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\cdot[S] \tag{33}$$

さらに2平面で順次繰返し反射され，微小ガス体 dV_0 に到達するふく射量は

$$\begin{aligned}&\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m\,dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\\&\cdot[S]\,e^{-\int_0^{r}KP_t(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr}\end{aligned} \tag{34}$$

(火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス→火炎)

$$\begin{aligned}&\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m\,dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\\&\cdot[S]\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\end{aligned}\quad\text{(火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス)} \tag{35}$$

$$\begin{aligned}&\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m\,dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_t(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\\&\cdot[S]\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\end{aligned} \tag{36}$$

(火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

上記ふく射量のうち dV_0 に吸収される量は

$$\begin{aligned}&KP_f(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\\&\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S]\end{aligned} \tag{37}$$

(火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス→火炎)

$$KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^r KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\cdot e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S] \tag{38}$$

（火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス）

$$KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S] \tag{39}$$

（火炎および燃焼ガス→反射→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス）

これを積分し，$m=1\sim\infty$ について加算すると，2平面間の火炎および燃焼ガスより放出され順次反射を繰返しながら dV_0 に吸収される量が求められる。

$$\begin{aligned}&\sum_{m=1}^{\infty}KP_f(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\\&\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\\&\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.\\&+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\\&+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\right.\\&\left.\left.\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]\quad\text{（火　　炎）}\end{aligned} \tag{40}$$

$$\begin{aligned}&\sum_{m=1}^{\infty}KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.\\&\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\right.\\&\cdot\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\\&\cdot\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\\&\left.\cdot\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]\quad\text{（燃焼ガス）}\end{aligned} \tag{41}$$

$$\begin{aligned}&\sum_{m=1}^{\infty}KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\\&\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\\&\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.\\&+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\\&+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\right.\\&\left.\left.\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]\quad\text{（燃焼ガス）}\end{aligned} \tag{42}$$

式(31)のふく射量のうち平面で反射され他平面に到達する量を求めると

$$\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)\,dA\cos\theta\cdot[S_j]\cdot e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr} \tag{43}$$

ただし

$$[S_j]=\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\cdot e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]$$

上式を積分すると

$$dA_0(1-\varepsilon)\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\cdot[S_j] \tag{44}$$

さらに2平面で順次繰返し反射され，微小ガス体 dV_0 に到達するふく射量は

$$\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m\,dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m$$
$$\cdot[S_j]\cdot e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\quad(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎}) \tag{45}$$

$$\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m$$
$$\cdot[S_j]\cdot e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\quad(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}) \tag{46}$$

$$\frac{d\omega}{\pi}(1-\varepsilon)^m\,dA\cos\theta\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m$$
$$\cdot[S_j]\cdot e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr} \tag{47}$$
$$(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎}\rightarrow\text{燃焼ガス})$$

上記ふく射量のうち dV_0 に吸収される量は

$$KP_f(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$
$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S_j] \tag{48}$$
$$(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎})$$

$$KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$
$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S_j]\quad(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}) \tag{49}$$

$$KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\cos\theta\,e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$
$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\,e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot[S_j] \tag{50}$$
$$(\text{平面}\rightarrow\text{反射}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎}\rightarrow\text{燃焼ガス})$$

これを積分し，$m=1\sim\infty$ について加算すると，2平面より放出され順次反射を繰返しながら dV_0 に吸収される量が求められる。

$$\sum_{m=1}^{\infty} KP_f(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$
$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m$$
$$\cdot\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right] \tag{51}$$

(火　　炎)

$$\sum_{m=1}^{\infty} KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$
$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$
$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right] \quad \text{(燃焼ガス)} \tag{52}$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} KP_g(T_0)\,dV_0(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$
$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m$$
$$\cdot\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right] \tag{53}$$

(燃焼ガス)

微小ガス体 dV_0 の発生熱量は

$$Q_0 dV_0 \quad \text{(火炎)} \tag{54}$$

ただし，Q_0：火炎の単位体積当りの発生熱量

また，ふく射能は

$$4dV_0KP_f(T_0)\,F(T_0)\,\sigma T_0^4 \quad \text{(火　　炎)} \tag{55}$$

$$4dV_0KP_g(T_0)\,F(T_0)\,\sigma T_0^4 \quad \text{(燃焼ガス)} \tag{56}$$

微小体積 dV_0 についてのふく射エネルギの平衡式を求め，$dV_0KP_f(T_0)$ または $dV_0KP_g(T_0)$ で除すと次式が得られる。

$$\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.$$
$$+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\Bigg]$$
$$+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\Bigg]$$
$$+\sum_{j=1}^{2}F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$
$$+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$
$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\right.\right.$$
$$\left.\left.\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.$$

$$+\int_{L_g+L_f}^{L} KP_g(T)F(T)\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\Bigg]$$

$$+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^m\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r}KP_f(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^m\cdot\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]+\frac{Q_0}{KP_f(T_0)}=4F(T_0)\,\sigma T_0^4\quad(\text{火炎})\qquad(57)$$

$$\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\right.$$

$$\cdot\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4$$

$$\left.\cdot\left\{\int_0^{\infty}e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]$$

$$+\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}+F(T_k)\,\varepsilon\sigma T_k^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^{2m+j-2}\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$

$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^{2m+j-2}$$

$$\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.$$

$$+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T(dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl$$

$$\left.+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2ydy}{r^2}\right\}dl\right]$$

$$+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^{2m-j+1}\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}$$

$$\cdot\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^{2m-j+1}$$

$$\cdot\left[\int_0^{L_g}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right.$$

$$\left.+\int_{L_g}^{L_g+L_f}KP_f(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right\}dl\right]$$

$$+\int_{L_g+L_f}^{L}KP_g(T)\,F(T)\,\sigma T^4\left\{\int_0^{\infty}\cos\theta e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr}\frac{2ydy}{r^2}\right\}dl\Bigg]$$

$$+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^{2m+j-2}\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^{2m+j-2}\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\right]+\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{\infty}(1-\varepsilon)^{2m-j+1}\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{r_g}KP_g(T)dr}$$

$$\cdot\int_{r_g}^{r_f}KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r}KP_g(T)dr\frac{2y\,dy}{r^2}\left[\int_0^{\infty}\cos^2\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\right.$$

$$\left.\cdot\frac{2y\,dy}{r^2}\right]^{2m-j+1}\left[F(T_j)\,\varepsilon\sigma T_j^4\int_0^{\infty}\cos\theta\, e^{-\int_0^{R_g}KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f}KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R}KP_g(T)dr}\frac{2y\,dy}{r^2}\right]$$

$$=4F(T)\,\sigma T_0^4\quad(\text{燃焼ガス})\qquad(58)$$

式(57)および(58)を解くことにより，火炎および燃焼ガスの温度分布を求めることができる。しかし，上式を直接解くことは困難であるから，本報告では次章に述べるごとく，モンテカルロ法を応用した数値解法により温度分布を求めることとしている。

3. モンテカルロ法による解析

モンテカルロ法を適用する場合，ふく射エネルギ束の概念を取入れると好都合である。さらに，ガスおよび平面のふく射をまとめて計算するために，著者の提案する仮想厚さ[4]の概念を取り入れることとした。仮想厚さに対しては下記の条件を適用している。

1) エネルギ束の反射は仮想厚さに入る際ガスとの境界面にて行なわれる。
2) 仮想厚さより放出されるエネルギ束および入射したエネルギ束の反射はガスとの境界面においてランベルトの余弦法則にしたがう。
3) 仮想厚さの中ではエネルギ束がガスとの境界面に垂直に流れる。
4) 仮想厚さはガスと反対側にて 0°K の黒体に接している。
5) 仮想厚さ中は温度が一定であり，吸収係数は零である。

単位体積の火炎あるいは仮想厚さより一定数のエネルギ束が放出されるものとし，このエネルギ束が火炎あるいは燃焼ガスに吸収され再放出される過程，仮想厚さに到達して反射される過程を順次追跡して，仮想厚さを通過し接している黒体に吸収されるまで演算を行なう。

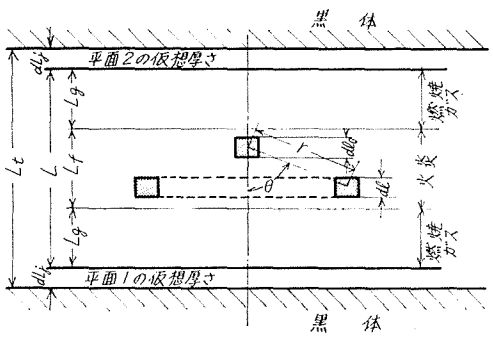
図-6 の単位面積の小区分 dl_0 の火炎より放出されるエネルギ束数は

$$N\frac{dl_0}{L_t} \tag{59}$$

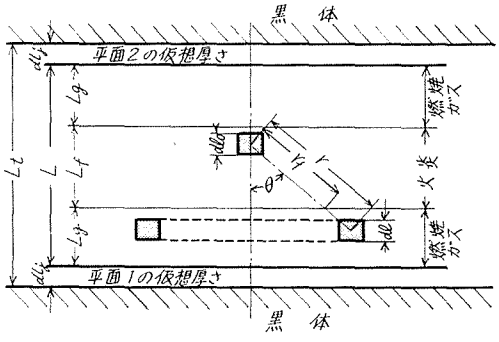
ただし，N：全エネルギ束数，L_t：仮想全厚さ$=L+2dL_j$，
dL_j：平面の仮想厚さ

このエネルギ束の強さは

$$\frac{Q\,dl_0}{N\frac{dl_0}{L_t}}=\frac{Q}{Q_m}\cdot\frac{Q_m}{N}L_t \tag{60}$$



図—6 a



図—6 b

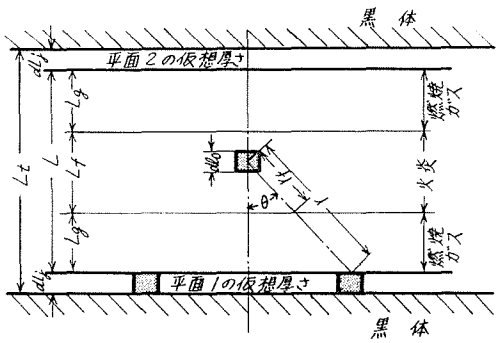
ただし，Q_m：　平均熱発生量 $= \dfrac{\int_{L_g}^{L_t} Q dl + \sum_{j=1}^{2} \varepsilon F(T_j)\cdot\sigma T_j^4}{L_t}$

また，エネルギ束が項角 θ の円錐状範囲に放出される確率 R_θ は

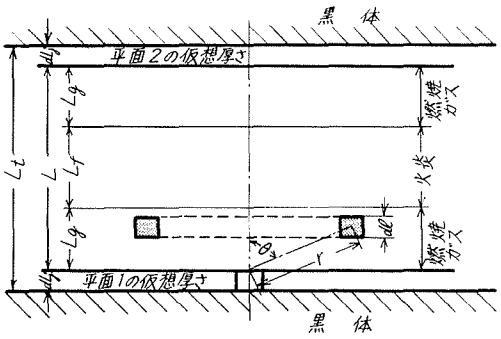
$$R_\theta = \frac{1}{2} - \frac{\cos\theta}{2} \tag{61}$$

エネルギ束が距離 r にて火炎または燃焼ガスに吸収される確率 R_r は

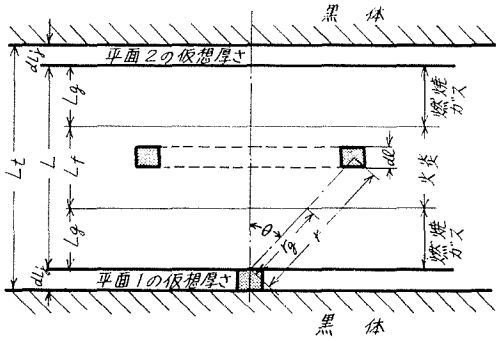
$$R_r = 1 - e^{\int_0^r KP_f(T)dr} \quad (\text{火炎}\rightarrow\text{火炎}) \tag{62}$$



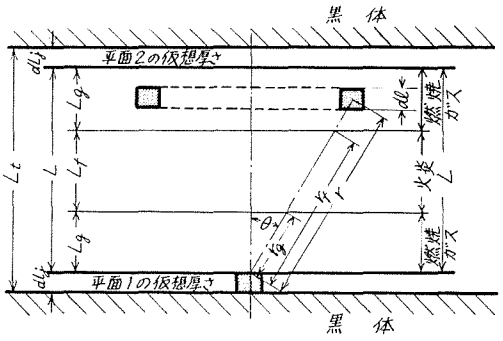
図—7



図—8 a



図—8 b



図—8 c

$$R_r = 1 - e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \quad (\text{火炎}\rightarrow\text{燃焼ガス}) \tag{63}$$

図-7 のごとくエネルギ束が平面の仮想厚さに到達する確率 R_j は

$$R_j = e^{-\int_0^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \quad (\text{火炎}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{平面}) \tag{64}$$

仮想厚さに到達したエネルギ束が境界面を通過する確率 R_ϵ は

$$R_\epsilon = \varepsilon \tag{65}$$

により求めることができる。

図-8 の単位面積の仮想厚さ dL_j より放出されるエネルギ束数は

$$N\frac{dL_j}{L_t} \tag{66}$$

このエネルギ束の強さは

$$\frac{\varepsilon\sigma T_j^4}{N\dfrac{dL_j}{L_t}} \tag{67}$$

上記のうちガスふく射に関与する分は

$$\frac{\varepsilon F(T_j)\,\sigma T_j^4}{N\dfrac{dL_j}{L_t}} = \frac{\varepsilon F(T_j)\,\sigma T_j^4}{Q_m}\,\frac{Q_m}{N}L_t \tag{68}$$

また，エネルギ束が頂角 θ の円錐状範囲に放出される確率にランベルトの余弦法則を適用した場合の確率 $R_{\theta j}$ を求めると

$$R_{\theta j} = 1 - \cos^2\theta \tag{69}$$

エネルギ束が距離 r にて火炎または燃焼ガスに吸収される確率 R_r は

$$R_r = 1 - e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr} \quad (\text{平面}\rightarrow\text{燃焼ガス}) \tag{70}$$

$$R_r = 1 - e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr} \quad (\text{平面}\rightarrow\text{燃焼ガス}\rightarrow\text{火炎}) \tag{71}$$

$$R_r = 1 - e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr - \int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr - \int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{72}$$

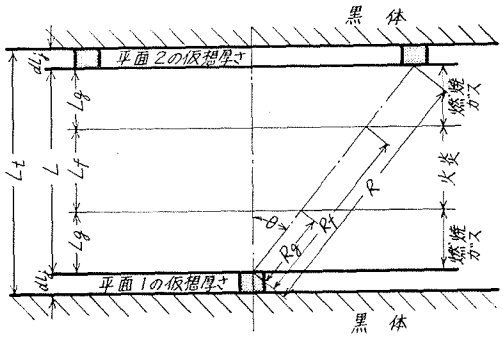
(平面→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

図-9 のごとくエネルギ束が他平面の仮想厚さに到達する確率 R_j は

$$R_j = e^{-\int_0^{R_g} KP_g(T)dr - \int_{R_g}^{R_f} KP_f(T)dr - \int_{R_f}^{R} KP_g(T)dr} \tag{73}$$

(平面→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス→平面)

火炎または仮想厚さより放出されたエネルギ束が火炎に吸収された場合，同個所より同じ強さのエネルギ束が 図-6 および 7 のごとく再放出される。 このエネルギ束が円錐状範囲に放出される確率 R_θ は式(61)，距離 r にて吸収される確率 R_r は式(62)および(63)，平面の仮想厚

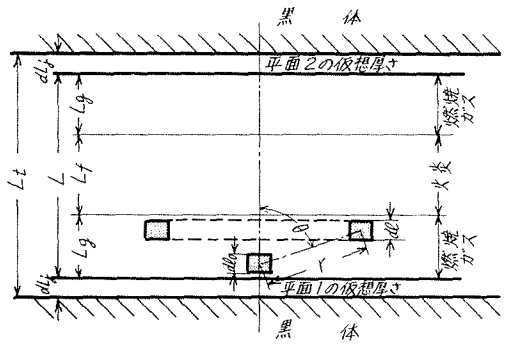


図—9

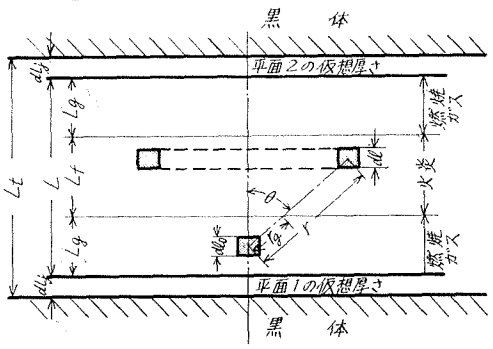
さに到達する確率 R_j は式(64), 仮想厚さの境界面を通過する確率 R_i は式(65)により求めることができる。

また，火炎または仮想厚さより放出されたエネルギ束が燃焼ガスに吸収された場合，同個所より同じ強さのエネルギ束が図-10 および図-11 のごとく再放出される。このエネルギ束が円錐状範囲に放出される確率 R_θ は式(61)にて求まり，距離 r にて吸収される確率 R_r は

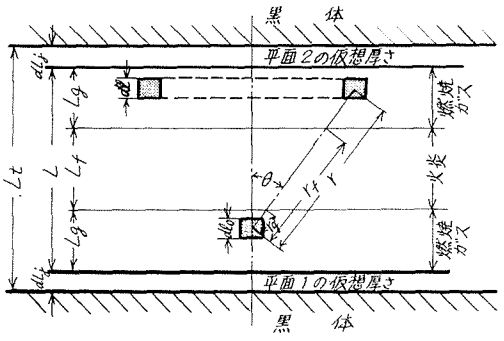
$$R_r = 1 - e^{-\int_0^r KP_g(T)dr} \quad \text{(燃焼ガス→燃焼ガス)} \tag{74}$$



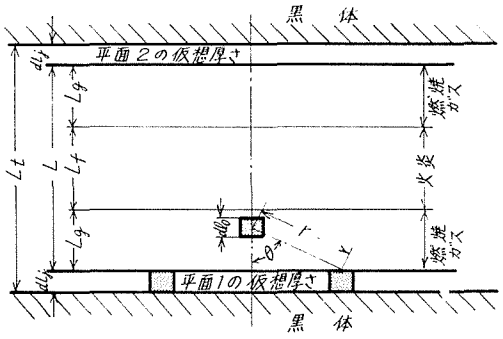
図—10 a



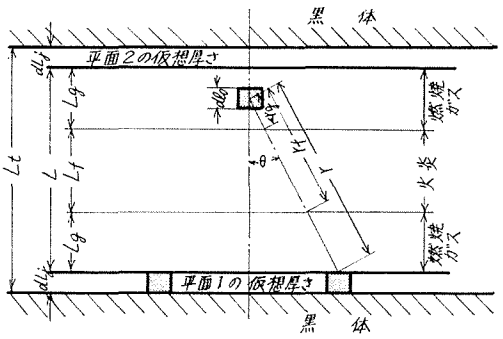
図—10 b



図—10 c



図—11 a



図—11 b

$$R_r = 1-e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r} KP_f(T)dr} \quad \text{(燃焼ガス→火炎)} \tag{75}$$

$$R_r = 1-e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{76}$$

(燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

平面の仮想厚さに到達する確率 R_j は

$$R_r = e^{-\int_0^{r} KP_g(T)dr} \quad \text{(燃焼ガス→平面)} \tag{77}$$

$$R_r = e^{-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{78}$$

(燃焼ガス→火炎→燃焼ガス→平面)

仮想厚さの境界面を通過する確率 R_t は式(65)により求めることができる。

エネルギ束が仮想厚さに到達し境界面にて反射された場合，図-8および図-9のごとく円錐状範囲に反射される確率 R_θ は式(69)にて求めることができる。吸収される確率 R_r を求める場合には，エネルギ束が放出された個所からの総計距離 r_t を考慮して次式により求める。

$$R_r = 1-e^{-\int_0^{r_t-r}\left\{KP_f(T),KP_g(T)\right\}dr-\int_0^{r} KP_g(T)dr} \quad \text{(反射→燃焼ガス)} \tag{79}$$

$$R_r = 1-e^{-\int_0^{r_t-r}\left\{KP_f(T),KP_g(T)\right\}dr-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_0^{r} KP_f(T)dr} \tag{80}$$

(反射→燃焼ガス→火炎)

$$R_r = 1-e^{-\int_0^{r_t-r}\left\{KP_f(T),KP_g(T)\right\}dr-\int_0^{r_g} KP_g(T)dr-\int_{r_g}^{r_f} KP_f(T)dr-\int_{r_f}^{r} KP_g(T)dr} \tag{81}$$

(反射→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス)

他平面の仮想厚さに到達する確率 R_j は

$$R_j = e^{-\int_0^{r_t-R}\left\{KP_f(T),KP_g(T)\right\}dr-\int_0^{R_g} KP_g(T)dr-\int_{R_g}^{R_f} KP_f(T)dr-\int_{R_f}^{R} KP_g(T)dr} \tag{82}$$

(反射→燃焼ガス→火炎→燃焼ガス→平面)

仮想厚さの境界面を通過する確率 R_t は式(69)により求めることができる。

以上を総合して，単位面積の小区分 dl_0 の火炎より放出されたエネルギ束のうち，火炎または燃焼ガスに吸収される確率 R_{ff} および R_{fg} が求められる。また，単位面積の仮想厚さ dL_j

より放出されたエネルギ束のうち火炎または燃焼ガスに吸収される確率 R_{jf} および R_{jg} も求めることができる。ゆえに，小区分 dl に吸収されるエネルギ束数は

$$N_{ff}+N_{jf}=N\frac{dl_0}{L_t}R_{ff}+N\frac{dL_j}{L_t}R_{jf}\quad(\text{火炎}) \tag{83}$$

$$N_{fg}+N_{jg}=N\frac{dl_0}{L_t}R_{fg}+N\frac{dL_j}{L_t}R_{jg}\quad(\text{燃焼ガス}) \tag{84}$$

ただし，N_{ff}, N_{fg}：火炎より放出され，火炎または燃焼ガスに吸収されるエネルギ束数，N_{jf}, N_{jg}：仮想厚さより放出され，火炎または燃焼ガスに吸収されるエネルギ束数

上記に各々エネルギ束の強さを乗じ加算すると，小区分 dl に吸収されるエネルギ量を求めることができる。

$$\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}\frac{Q_m}{N}L_tN\frac{dl_0}{L_t}R_{ff}+\sum_{j=1}^{2}\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}\frac{Q_m}{N}L_tN\frac{dL_j}{L_t}R_{jf}$$
$$=Q_m\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}R_{ff}dl_0+\sum_{j=1}^{2}Q_m\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}R_{jf}\quad(\text{火炎}) \tag{85}$$

$$\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}\frac{Q_m}{N}L_tN\frac{dl_0}{L_t}R_{fg}+\sum_{j=1}^{2}\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}\frac{Q_m}{N}L_tN\frac{dL_j}{L_t}R_{jg}$$
$$=Q_m\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}R_{fg}dl_0+\sum_{j=1}^{2}Q_m\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}R_{jf}\quad(\text{燃焼ガス}) \tag{86}$$

単位面積の小区分 dl の火炎の発生熱量は

$$Q_m\frac{Q}{Q_m}dl\quad(\text{火炎}) \tag{87}$$

単位面積の小区分 dl の火炎および燃焼ガスのふく射能は

$$Q_m\frac{4KP_f(T)F(T)\sigma T^4}{Q_m}dl\quad(\text{火炎}) \tag{88}$$

$$Q_m\frac{4KP_g(T)F(T)\sigma T^4}{Q_m}dl\quad(\text{燃焼ガス}) \tag{89}$$

単位面積の小区分 dl についてのふく射エネルギの平衡式を求め，$Q_m dl$ で除すと次式が得られる。

$$\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}\frac{R_{ff}}{dl}dl_0+\sum_{j=1}^{2}\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}\frac{R_{jf}}{dl}+\frac{Q}{Q_m}=\frac{4KP_f(T)F(T)\sigma T^4}{Q_m} \tag{90}$$
(火　炎)

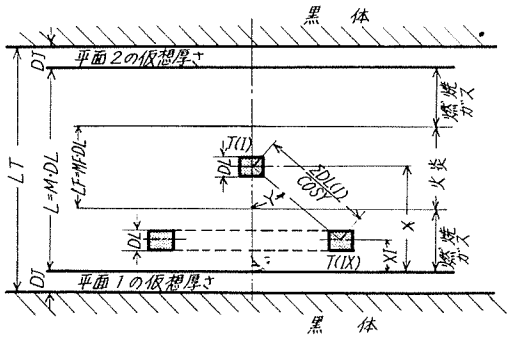
$$\int_{L_q}^{L_q+L_f}\frac{Q}{Q_m}\frac{R_{fg}}{dl}dl_0+\sum_{j=1}^{2}\frac{\varepsilon F(T_j)\sigma T_j^4}{Q_m}\frac{R_{jg}}{dl}=\frac{4KP_g(T)F(T)\sigma T^4}{Q_m} \tag{91}$$
(燃焼ガス)

式(90)および(91)を解くことにより，火炎または燃焼ガスのふく射能分布および温度分布を求めることができる。実際計算する場合は多数のエネルギ束数について計算する必要があるので，デイジタル電子計算機を使用することとした。また，エネルギ束が火炎または燃焼ガス

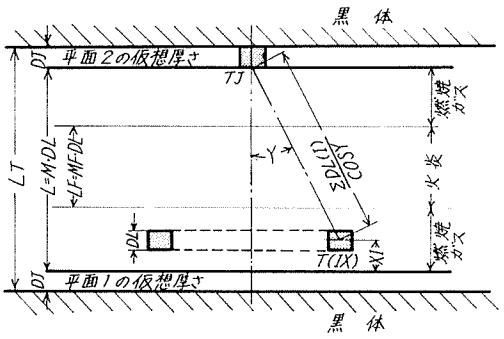
に吸収される確率および平面の仮想厚さに到達する確率を求める式(70), (71), (72), (73), (74), (75), (76), (77), (78), (79), (80), (81)および(82)はガス温度の関数であり，ガス温度分布が未知の場合には計算することができない。ゆえに，ガス温度分布を仮定して試行錯誤法により計算を進め，希望の誤差範囲内におさまるまで計算を繰返す必要がある。

4. 電子計算機用プログラム

モンテカルロ法を適用してデイジタル電子計算機用プログラムを作成するために，図-12のごとく2平面間をM等分し[6]，火炎および燃焼ガスの小区分では温度が一様であると考える。平面の仮想厚さは仮定した条件により，そのまま上記小区分と同様に取扱うことができる。



図—12 a



図—12 b

火炎の小区分Iよりエネルギ束が放出される条件は

$$\frac{(I-1)\cdot DL+DJ}{LT}<RAN\leqq\frac{I\cdot DL+DJ}{LT} \tag{92}$$

ただし，DL：小区分の長さ，DJ：平面の仮想厚さ，LT：仮想全厚さ＝M·DL＋2DJ
RAN：0～1の一様乱数

単位面積の小区分Iより放出されるエネルギ束数は式(59)より

$$N\frac{DL}{LT} \tag{93}$$

このエネルギ束の強さは式(60)より

$$\frac{Q}{QM}\frac{QM}{N}LT \tag{94}$$

ただし，$QM=\dfrac{Q\cdot MF\cdot DL+\sum_{J=1}^{2}E\cdot F(TJ)\,\sigma TJ^4}{LT}$，

$LF=MF\cdot DL$：火炎の厚さ，E：平面のふく射率

放出される方向は式(61)より

$$\cos Y=1-2RAN \tag{95}$$

ただし，Y：放出される方向

火炎の小区分Ⅰより放出されたエネルギ束が火炎または燃焼ガスの小区分 IX に吸収される条件は式(62)および(63)より

$$\mathrm{RAN}=1-e^{-\sum_{I=I}^{IX}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \tag{96}$$

ただし，$\mathrm{U(I)}=\mathrm{KF}\left\{\mathrm{T(I)}\right\}\cdot\mathrm{DL}$ （火　　炎）

$\mathrm{U(I)}=\mathrm{KP}\left\{\mathrm{T(I)}\right\}\cdot\mathrm{DL}$ （燃焼ガス）

上式を変形すると

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos Y|\log_e(1-\mathrm{RAN})-\sum_{I=I}^{IX-1}\mathrm{U(I)} \quad (\mathrm{I<IX}\text{ の場合})$$

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos Y|\log_e(1-\mathrm{RAN})-\sum_{I=I}^{IX+1}\mathrm{U(I)} \quad (\mathrm{I>IX}\text{ の場合})$$

また，このエネルギ束が平面の仮想厚さに到達する条件は式(64)より

$$\mathrm{RAN}\geqq e^{-\sum_{I=I}^{1}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \quad (\text{平面 1}) \tag{99}$$

$$\mathrm{RAN}\geqq e^{-\sum_{I=I}^{M}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \quad (\text{平面 2}) \tag{100}$$

仮想厚さに到達したエネルギ束が境界面を通過する条件は式(65)より

$$\mathrm{RAN}\leqq \mathrm{E} \tag{101}$$

のごとく求められる。

平面の仮想厚さよりエネルギ束が放出される条件は

$$0<\mathrm{RAN}\leqq\frac{\mathrm{DJ}}{\mathrm{LT}} \quad (\text{平面 1}) \tag{102}$$

$$\frac{\mathrm{L+DJ}}{\mathrm{LT}}<\mathrm{RAN}\leqq 1 \quad (\text{平面 2}) \tag{103}$$

単位面積の仮想厚さより放出されるエネルギ束数は式(66)より

$$\mathrm{N}\frac{\mathrm{DJ}}{\mathrm{LT}} \tag{104}$$

このエネルギ束の強さは式(68)より

$$\frac{\mathrm{E\cdot F(TJ)}\,\sigma\mathrm{TJ}^4}{\mathrm{QM}}\cdot\frac{\mathrm{QM}}{\mathrm{N}}\,\mathrm{LT} \tag{105}$$

放出される方向は式(69)より

$$\cos Y=\sqrt{1-\mathrm{RAN}} \tag{106}$$

仮想厚さより放出されたエネルギ束が火炎または燃焼ガスの小区分 IX に吸収される条件は式(70)，(71)および(72)より

$$\mathrm{RAN}=1-e^{-\sum_{I=1}^{IX}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \quad (\text{平面 1}) \tag{107}$$

$$\mathrm{RAN}=1-e^{-\sum_{I=M}^{IX}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \quad (\text{平面 2}) \tag{108}$$

上式を変形すると

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{Y}|\log_e(1-\mathrm{RAN})-\sum_{I=1}^{IX-1}\mathrm{U(I)} \quad (\text{平面 1}) \tag{109}$$

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{Y}|\log_e(1-\mathrm{RAN})-\sum_{I=M}^{IX+1}\mathrm{U(I)} \quad (\text{平面 2}) \tag{110}$$

また，このエネルギ束が他平面の仮想厚さに到達する条件は式(73)より

$$\mathrm{RAN}\geqq e^{-\sum_{I=1}^{M}\frac{U(I)}{|\cos Y|}} \tag{111}$$

仮想厚さに到達したエネルギ束が境界面を通過する条件は式(101)にて求められる。

火炎および仮想厚さより放出されたエネルギ束が火炎または燃焼ガスに吸収された場合，その小区分を式(92)にて求め計算機に記憶させておき，同個所より同じ強さのエネルギ束が再放出されるものとして，上記同様計算を進める。

エネルギ束が仮想厚さに到達し，境界面にて反射される条件は

$$\mathrm{RAN}>\mathrm{E} \tag{112}$$

反射される方向は式(106)により求めることができる。反射されたエネルギ束が，火炎または燃焼ガスの小区分 IX に吸収される条件を求めるには，エネルギ束が放出された個所からの総計距離を考慮する必要がある。すなわち

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{YX}|\left\{\log_e(1-\mathrm{RAN})+\frac{1}{|\cos \mathrm{Y}|}\sum_{I=I}^{1}\mathrm{U(I)}\right\}-\sum_{I=1}^{IX-1}\mathrm{U(I)} \tag{113}$$

(平面 1 で反射)

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{YX}|\left\{\log_e(1-\mathrm{RAN})+\frac{1}{|\cos \mathrm{Y}|}\sum_{I=I}^{M}\mathrm{U(I)}\right\}-\sum_{I=M}^{IX+1}\mathrm{U(I)} \tag{114}$$

(平面 2 で反射)

ただし，YX：反射される方向

さらに，反射が繰返されると

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{YX}_n|\left\{\log_e(1-\mathrm{RAN})+\frac{1}{|\cos \mathrm{Y}|}\sum_{I=I}^{1}\mathrm{U(I)}+\frac{1}{|\cos \mathrm{YX}|}\sum_{I=1}^{M}\mathrm{U(I)}\cdots\right\}-\sum_{I=K}^{IXK}\mathrm{U(I)}$$

(最初に平面 1 で反射) (115)

$$\mathrm{U(IX)}=-|\cos \mathrm{YX}_n|\left\{\log_e(1-\mathrm{RAN})+\frac{1}{|\cos \mathrm{Y}|}\sum_{I=I}^{M}\mathrm{U(I)}+\frac{1}{|\cos \mathrm{YX}|}\sum_{I=M}^{1}\mathrm{U(I)}\cdots\right\}-\sum_{I=K}^{IXK}\mathrm{U(I)}$$

(最初に平面 2 で反射) (116)

ただし，YX_n：n 回目に反射される方向

K＝1 の場合 IXK＝IX−1，K＝M の場合 IXK＝IX＋1

ふく射エネルギ束の追跡は下記のような計算を行ないつつ進められる。まず，式(92),(102)および(103)によりエネルギ束が放出される火炎の小区分または仮想厚さを求め，式(94)または(105)によりエネルギ束の強さ，式(95)または(106)により放出される方向を求める。つぎに式(97), (98)または(109), (110)により吸収される小区分，式(99), (100)または(111)により仮想厚さに到達する条件を求める。エネルギ束が火炎または燃焼ガスにより吸収された場合，同個所より再放出されるものとして計算を続ける。エネルギ束が仮想厚さに到達した場合は，式(101)により境界面を通過する条件を求め，境界面を通過して黒体に吸収された場合はそのエネ

```
C     PROGRAM OF MONTE CARLO SOLUTION OF RADIANT HEAT TRAUSFER THROUGH  QTF00100
C     FLAME AND GAS BETWEEN PARALLEL GRAY WALLS                         QTF00105
C     PROGRAMMED AND CODED BY H. TANIGUCHI , 20 JAN. 1967               QTF00110
      DIMENSION T(100)        ,U(100),FG(100),UL(100),RJ(2),R(2),       QTF00115
     1          SG(100),SJ(2)                                          QTF00120
   10 READ  (5,11) N,M,MF,IS1                                          QTF00125    1
      WRITE (6,12) N,M,MF,IS1                                          QTF00130    2
      READ  (5,13) AKP,AKF,R1,R2                                       QTF00135    3
      WRITE (6,14) AKP,AKF,R1,R2                                       QTF00140    4
      READ  (5,13) BP,BF                                               QTF00145    5
      WRITE (6,14) BP,BF                                               QTF00150    6
      READ  (5,13) AL,Q,DUE                                            QTF00155    7
      WRITE (6,14) AL,Q,DUE                                            QTF00160    8
      READ  (5,13) DJ,TJ,E                                             QTF00200    9
      WRITE (6,14) DJ,TJ,E                                             QTF00205   10
      WRITE (6,452)                                                    QTF00206   11
   11 FORMAT(5I15)                                                     QTF00210   12
   12 FORMAT(1H 5I15)                                                  QTF00215   13
   13 FORMAT(5E15.7)                                                   QTF00220   14
   14 FORMAT(1H 5E15.7)                                                QTF00225   15
   20 IS2=0                                                            QTF00230   16
      NRAN=5249347                                                     QTF00235   17
      S=4.96E-8                                                        QTF00240   18
   30 DL=AL/FLOAT(M)                                                   QTF00245   19
      ALF=DL*FLOAT(MF)                                                 QTF00250   20
      ALT=AL+DJ*2.                                                     QTF00255   21
      CALL SUB100(TJ,R1,R2,F)                                          QTF00260   22
      TJ=F*E*S*TJ**4                                                   QTF00300   23
      QM=(Q*ALF+TJ*2.)/ALT                                             QTF00305   24
      M1=(M-MF)/2+1                                                    QTF00310   25
      M2=M1+MF-1                                                       QTF00315   26
      Q=Q/QM                                                           QTF00320   27
      TJ=TJ/QM/DJ                                                      QTF00325   28
      IF(M1-1) 31,31,33                                                QTF00330   29
   31 DO 32 I=1,M                                                      QTF00335   30
   32 U(I)=AKF*DL                                                      QTF00340   32
      GO TO 40                                                         QTF00345   33
   33 DO 34 I=1,M1-1                                                   QTF00350   34
   34 U(I)=AKP*DL                                                      QTF00355   36
      DO 35 I=M1,M2                                                    QTF00360   37
   35 U(I)=AKF*DL                                                      QTF00400   39
      DO 36 I=M2+1,M                                                   QTF00405   40
   36 U(I)=AKP*DL                                                      QTF00410   42
   40 NF=0                                                             QTF00415   43
      DO 41 I=1,M                                                      QTF00420   44
   41 SG(I)=0.                                                         QTF00425   46
      DO 43 J=1,2                                                      QTF00430   47
   43 SJ(J)=0.                                                         QTF00435   49
   60 IF(NT-N) 70,310,310                                              QTF00440   50
   70 NF=NT+1                                                          QTF00445   51
   71 CALL SUB900(NRAN,RAN)                                            QTF00450   52
   72 X=ALT*RAN                                                        QTF00455   53
      CALL SUB900(NRAN,RAN)                                            QTF00460   54
   80 IF(X-DJ) 90,110,110                                              QTF00500   55
   90 X=DJ                                                             QTF00505   56
      I=1                                                              QTF00510   57
      J=2                                                              QTF00511   58
   91 QD=TJ                                                            QTF00515   59
      SJ(J)=SJ(J)+QD                                                   QTF00520   60
  100 COSY=SQRT(RAN)                                                   QTF00525   61
      DL0=DL                                                           QTF00535   62
      GO TO 220                                                        QTF00540   63
  110 IF(X-AL-DJ) 120,120,180                                          QTF00545   64
  120 I=IFIX((X-DJ   )/DL)+1                                           QTF00550   65
      IF(I-M1) 60,121,121                                              QTF00555   66
  121 IF(I-M2) 122,122,60                                              QTF00560   67
  122 QD=Q                                                             QTF00600   68
      SG(I)=SG(I)+QD                                                   QTF00605   69
  130 COSY=1.-2.*RAN                                                   QTF00610   70
  140 IF(COSY) 150,160,170                                             QTF00615   71
  150 J=1                                                              QTF00620   72
      DL0=X-(DL*FLOAT(I-1)+DJ)                                         QTF00630   73
      GO TO 220                                                        QTF00635   74
```

図—13 a 電 子 計 算 機 用

ルギ束の計算を終了し，次のエネルギ束を追跡する。エネルギ束が上記境界面で反射された場合は，式(113), (114), (115)および(116)により吸収される小区分を求める。このようにして，ふく射エネルギ束全数について計算し，単位面積の火炎の小区分Ⅰより放出されたエネルギ束のうち火炎または燃焼ガスの小区分 IX に吸収されたエネルギ束数を求め，エネルギ束の強さを乗ずると

$$\frac{Q}{QM}\frac{QM}{N}LT\cdot NS(I,IX) \tag{117}$$

ただし，NS(I,IX)：小区分Ⅰより放出され小区分 IX に吸収されたエネルギ束数

```
160 SG(I)=SG(I)+QD                                                    QTF00640   75
    CALL SUB900(NRAN,RAN)                                             QTF00645   76
    GO TO 130                                                         QTF00650   77
170 J=2                                                               QTF00651   78
    DL0=DL*FLOAT(I)+DJ-X                                              QTF00655   79
    GO TO 220                                                         QTF00660   80
180 X=AL+DJ                                                           QTF00700   81
    I=M                                                               QTF00701   82
    J=1                                                               QTF00705   83
    GO TO 91                                                          QTF00710   84
220 CALL SUB500(NRAN,COSY,DL,DL0,U,DJ,E,AL,I,J,M,X)                   QTF00715   85
230 IF(I) 240,240,270                                                 QTF00720   86
240 SJ(J)=SJ(J)-QD                                                    QTF00725   87
    GO TO 60                                                          QTF00730   88
270 SG(I)=SG(I)+QD                                                    QTF00735   89
    CALL SUB900(NRAN,RAN)                                             QTF00740   90
    GO TO 130                                                         QTF00745   91
310 DO 311 I=1,M                                                      QTF00746   92
311 FG(I)=ALT/(DL*FLOAT(N))*SG(I)                                     QTF00750   94
320 DO 321 J=1,2                                                      QTF00755   95
321 RJ(J)=ALT/(DJ*FLOAT(N))*SJ(J)                                     QTF00760   97
330 IF(IS2) 340,340,360                                               QTF00800   98
340 WRITE (6,341)                                                     QTF00805   99
    WRITE (6,342)N                                                    QTF00810  100
    WRITE (6,343)                                                     QTF00815  101
    WRITE (6,344)QM                                                   QTF00820  102
    WRITE (6,345)                                                     QTF00825  103
    WRITE (6,346)(FG(I),I=1,M)                                        QTF00830  104
    WRITE (6,347)                                                     QTF00835  108
    WRITE (6,348)(RJ(J),J=1,2)                                        QTF00840  109
341 FORMAT(1H ,14X,1HN)                                               QTF00845  113
342 FORMAT(1H ,8X,I7)                                                 QTF00850  114
343 FORMAT(1H ,13X,2HQM)                                              QTF00855  115
344 FORMAT(1H ,E15.7)                                                 QTF00860  116
345 FORMAT(1H ,10X,5HFG(I))                                           QTF00900  117
346 FORMAT(1H ,5E15.7)                                                QTF00905  118
347 FORMAT(1H ,10X,5HRJ(J))                                           QTF00910  119
348 FORMAT(1H ,2E15.7)                                                QTF00915  120
350 IF(IS2) 360,360,390                                               QTF00920  121
360 DO 361 I=1,M                                                      QTF00925  122
361 UL(I)=U(I)                                                        QTF00930  124
362 CALL SUB800(DL,U,FG,QM,S,AKP,AKF,R1,R2,BP,BF,DUE,M,M1,M2,T)       QTF01000  125
370 DO 371 J=1,2                                                      QTF01005  126
371 R(J) =RJ(J)*QM*DJ                                                 QTF01010  128
380 IF(IS2) 390,390,420                                               QTF01015  129
390 WRITE (6,391)                                                     QTF01020  130
    WRITE (6,392)(T(I),I=1,M)                                         QTF01025  131
    WRITE (6,393)                                                     QTF01030  135
    WRITE (6,392)(UL(I),I=1,M)                                        QTF01035  136
    WRITE (6,394)                                                     QTF01040  140
    WRITE (6,395)(R(J),J=1,2)                                         QTF01045  141
391 FORMAT(1H ,11X,4HT(I))                                            QTF01050  145
392 FORMAT(1H ,5E15.7)                                                QTF01055  146
393 FORMAT(1H ,11X,4HU(I))                                            QTF01060  147
394 FORMAT(1H ,11X,4HR(J))                                            QTF01100  148
395 FORMAT(1H ,2E15.7)                                                QTF01105  149
396 IF(IS1) 450,450,400                                               QTF01110  150
400 IF(IS2) 410,410,450                                               QTF01115  151
410 IS2=1                                                             QTF01120  152
420 SDU=0.                                                            QTF01125  153
    DO 423 I=1,M                                                      QTF01130  154
423 SDU=SDU+ABS((U(I)-UL(I))/U(I))                                    QTF01135  156
    SDU=SDU/FLOAT(M)                                                  QTF01140  157
430 IF(SDU-DUE) 340,340,440                                           QTF01145  158
440 DO 441 I=1,M                                                      QTF01150  159
441 U(I)=(U(I)+UL(I))/2.                                              QTF01155  161
    NRAN=5249347                                                      QTF01160  162
    GO TO 40                                                          QTF01200  163
450 WRITE(6,451)                                                      QTF01205  164
451 FORMAT(1H1)                                                       QTF01210  165
452 FORMAT(1H )                                                       QTF01320  166
    GO TO 10                                                          QTF01325  167
    END                                                               QTF01330  168
```

プ　ロ　グ　ラ　ム

```
C     SUBPROGRAM OF CALCULATION OF ARSORBING LENGTH                    ALF00100
C     PROGRAMMED AND CODED BY H. TANIGUCHI , 20 JAN. 1967              ALF00105
  500 SUBROUTINE SUB500(NRAN,COSY,DL,DL0,U,DJ,E.AL,I,J,M,X)            ALF00110    1
      DIMENSION U(100)                                                 ALF00115
  510 CALL SUB900(NRAN,RAN)                                            ALF00120    2
  511 SU=ABS(COSY)*ALOG(RAN)                                           ALF00125    3
      DLL=-DL*SU/U(I)                                                  ALF00130    4
  512 IF(DLL-DL0) 680,680,530                                          ALF00135    5
  530 SU=SU+U(I)*DL0/DL                                                ALF00155    6
      IF(J-1) 531,531,532                                              ALF00160    7
  531 X=X-DL0                                                          ALF00200    8
      GO TO 540                                                        ALF00205    9
  532 X=X+DL0                                                          ALF00210   10
  540 IF(J-1) 550,550,570                                              ALF00215   11
  550 I=I-1                                                            ALF00220   12
  560 IF(I) 620,620,660                                                ALF00225   13
  570 I=I+1                                                            ALF00230   14
  580 IF(I-M) 660,660,620                                              ALF00235   15
  620 CALL SUB900(NRAN,RAN)                                            ALF00240   16
  621 IF(RAN-E) 630,630,640                                            ALF00245   17
  630 I=0                                                              ALF00250   18
      GO TO 730                                                        ALF00255   19
  640 CALL SUB900(NRAN,RAN)                                            ALF00260   20
  642 COSYX=SQRT(RAN)                                                  ALF00300   21
      SU=SU*ABS(COSYX/COSY)                                            ALF00305   22
  650 COSY=COSYX                                                       ALF00310   23
      IF(J-1) 651,651,652                                              ALF00315   24
  651 J=2                                                              ALF00320   25
      I=1                                                              ALF00325   26
      X=DJ                                                             ALF00325   27
      GO TO 660                                                        ALF00330   28
  652 J=1                                                              ALF00335   29
      I=M                                                              ALF00336   30
      X=AL+DJ                                                          ALF00340   31
  660 DLL=-DL*SU/U(I)                                                  ALF00350   32
  670 IF(DLL-DL) 680,680,720                                           ALF00355   33
  680 IF(J-1) 700,700,710                                              ALF00360   34
  700 X=X-DLL                                                          ALF00400   35
      GO TO 730                                                        ALF00405   36
  710 X=X+DLL                                                          ALF00410   37
      GO TO 730                                                        ALF00415   38
  720 SU=SU+U(I)                                                       ALF00420   39
      IF(J-1) 721,721,722                                              ALF00425   40
  721 X=X-DL                                                           ALF00430   41
      GO TO 540                                                        ALF00435   42
  722 X=X+DL                                                           ALF00440   43
      GO TO 540                                                        ALF00445   44
  730 RETURN                                                           ALF00450   45
      END                                                              ALF00455   46

C     SUBPROGRAM OF CALCULATION OF GAS TEMPERATURE AND OPTICAL THICKNESSTOF00100
C     PROGRAMMED AND CODED BY H.TANIGUCHI , 20 JAN. 1967               TOF00105
  800 SUBROUTINE SUB800(DL,U,FG,QM,S,AKP,AKF,R1,R2,BP,BF,DUE,M,M1,M2,T) TOF00110    1
      DIMENSION T(100),U(100),FG(100),UX(100),F(100),FX(100)           TOF00120
  801 DO 802 I=1,M                                                     TOF00125    2
      FX(I)=1.                                                         TOF00130    4
  802 UX(I)=U(I)                                                       TOF00135    5
  810 DO 815 I=1,M                                                     TOF00140    6
  815 T(I)=(FG(I)*QM*DL/(4.*FX(I)*UX(I)*S))**0.25                      TOF00145    8
      SDF=0.                                                           TOF00150    9
      DO 816 I=1,M                                                     TOF00155   10
      TI=T(I)                                                          TOF00160   12
      CALL SUB100(TI,R1,R2,FI)                                         TOF00205   13
      F(I)=FI                                                          TOF00205   14
  816 SDF=SDF+ABS((F(I)-FX(I))/F(I))                                   TOF00210   15
      SDF=SDF/FLOAT(M)                                                 TOF00215   16
      IF(SDF-DUE) 820,820,817                                          TOF00220   17
  817 DO 818 I=1,M                                                     TOF00225   18
  818 FX(I)=(F(I)+FX(I))/2.                                            TOF00230   20
      GO TO 810                                                        TOF00235   21
  820 TM=0.                                                            TOF00240   22
      DO 823 I=1,M                                                     TOF00245   23
  823 TM=TM+T(I)                                                       TOF00250   25
      TM=TM/FLOAT(M)                                                   TOF00255   26
  830 IF(M1-1) 831,831,833                                             TOF00260   27
  831 DO 832 I=1,M                                                     TOF00300   28
  832 U(I)=AKF*DL*(T(I)/TM)**BF                                        TOF00305   30
      GO TO 840                                                        TOF00310   31
  833 DO 834 I=1,M1-1                                                  TOF00315   32
  834 U(I)=AKP*DL*(T(I)/TM)**BP                                        TOF00320   34
      DO 835 I=M1,M2                                                   TOF00325   35
  835 U(I)=AKF*DL*(T(I)/TM)**BF                                        TOF00330   37
      DO 836 I=M2+1,M                                                  TOF00335   38
  836 U(I)=AKP*DL*(T(I)/TM)**BP                                        TOF00340   40
  840 SDU=0.                                                           TOF00345   41
      DO 843 I=1,M                                                     TOF00350   42
  843 SDU=SDU+ABS((U(I)-UX(I))/U(I))                                   TOF00355   44
      SDU=SDU/FLOAT(M)                                                 TOF00360   45
  850 IF(SDU-DUE) 870,870,860                                          TOF00400   46
  860 DO 861 I=1,M                                                     TOF00405   47
  861 UX(I)=(U(I)+UX(I))/2.                                            TOF00410   49
      GO TO 810                                                        TOF00415   50
  870 RETURN                                                           TOF00420   51
      END                                                              TOF00425   52
```

図—13 b　電子計算機用プログラム

```
C     SUBPROGRAM OF CALCULATION OF SPECTRAL FACTOR FOR EMISSIVITY      SFM00100
C     PROGRAMMED AND CODED BY H. TANIGUCHI , 20 JAN. 1967              SFM00105
      SURROUTINE SUB100(TI,R1,R2,FI)                                   SFM00110    1
      T1=TI*R1/10000.                                                  SFM00115    2
      IF(T1.LE.0.097) GO TO 1010                                       SFM00120    3
      IF(T1.GE.10.) GO TO 1000                                         SFM00121    5
      T1=ALOG(T1)                                                      SFM00125    7
      F1=-0.08979023+0.2243122*T1-0.2619683*T1**2                      SFM00130
     1   +0.1858129*T1**3-0.08463283*T1**4                             SFM00135
     2   +0.0219086*T1**5-1.093006E-3*T1**6                            SFM00140
     3   -8.441998E-4*T1**7+4.865161E-5*T1**8                          SFM00145
     4   +6.000257E-5*T1**9-9.61758E-6*T1**10                          SFM00146    8
      F1=EXP(F1)                                                       SFM00150    9
      GO TO 1020                                                       SFM00155   10
 1000 F1=1.                                                            SFM00156   11
      GO TO 1020                                                       SFM00157   12
 1010 F1=0.                                                            SFM00160   13
 1020 T2=TI*R2/10000.                                                  SFM00165   14
      IF(T2.LE.0.097) GO TO 1040                                       SFM00170   15
      IF(T2.GE.10.) GO TO 1060                                         SFM00171   17
      T2=ALOG(T2)                                                      SFM00175   19
      F2=-0.08979023+0.2243122*T2-0.2619683*T2**2                      SFM00180
     1   +0.1858129*T2**3-0.08463283*T2**4                             SFM00185
     2   +0.0219086*T2**5-1.093006E-3*T2**6                            SFM00190
     3   -8.441998E-4*T2**7+4.865161E-5*T2**8                          SFM00195
     4   +6.000257E-5*T2**9-9.61758E-6*T2**10                          SFM00200   20
      F2=EXP(F2)                                                       SFM00205   21
      GO TO 1050                                                       SFM00210   22
 1060 F2=1.                                                            SFM00211   23
      GO TO 1050                                                       SFM00212   24
 1040 F2=0.                                                            SFM00215   25
 1050 FI=F2-F1                                                         SFM00220   26
      RETURN                                                           SFM00225   27
      END                                                              SFM00230   28
```

```
C     SUBPROGRAM OF GENERATION OF RANDOM NUMBER , REVISED              RNR01110
C     CODED BY H. TANIGUCHI , 24 NOVEMBER 1965                         RNR01120
  900 SUBROUTINE SUB900(NRAN,RAN)                                      RNR01130    1
  910 NRAN=MOD(23*NRAN,100000001)                                      RNR01140    2
  930 RAN=FLOAT(NRAN)*1.E-7                                            RNR01160    3
  940 RETURN                                                           RNR01170    4
      END                                                              RNR01180    5
```

図—13 c 電子計算機用プログラム

また，単位面積の仮想厚さより放出されたエネルギ束のうち火炎または燃焼ガスの小区分 IX に吸収されたエネルギ束数を求め，エネルギ束の強さを乗ずると

$$\frac{E\cdot F(TJ)\,\sigma\,TJ^4}{QM}\,\frac{QM}{N}\,LT\cdot NS(J,IX) \tag{118}$$

ただし，NS(J, IX)：仮想厚さ J より放出され小区分 IX に吸収されたエネルギ束数

単位面積の火炎の小区分 IX の発生熱量は

$$\frac{Q}{QM}\,QM\cdot DL \tag{119}$$

また，単位面積の火炎または燃焼ガスの小区分 IX のふく射能は

$$4U(IX)\,F\left\{T(IX)\right\}\sigma\,T(IX)^4 \tag{120}$$

単位面積の火炎および燃焼ガスの小区分 IX についてのふく射エネルギの平衡式を求め，QM·DL で除すと次式が得られる。

$$FA(IX)=\frac{4U(IX)\,F\{T(IX)\}\,\sigma\,T(IX)^4}{QM\cdot DL}=\frac{LT}{N\cdot DL}\left[\sum_{I=M1}^{M2}\frac{Q}{QM}\,NS(I,IX)\right.$$
$$\left.+\sum_{J=1}^{2}\frac{E\cdot F(TJ)\,\sigma\,TJ^4}{QM}\,NS(J,IX)+\frac{Q}{QM}\,\frac{N\cdot DL}{LT}\right]\quad(\text{火炎}) \tag{121}$$

$$FA(IX)=\frac{4U(IX)\,F\{T(IX)\}\,\sigma\,T(IX)^4}{QM\cdot DL}=\frac{LT}{N\cdot DL}\left[\sum_{I=M1}^{M2}\frac{Q}{QM}NS(I,IX)\right.$$
$$\left.+\sum_{J=1}^{2}\frac{E\cdot F(TJ)\,\sigma\,TJ^4}{QM}NS(J,IX)\right]\quad(\text{燃焼ガス})\qquad(122)$$

ただし，FA(IX)：小区分 IX の無次元ふく射能，M1～M2：火炎の範囲

式(121), (122)により火炎および燃焼ガスのふく射能分布を求め，さらに，温度分布を求めることができる。しかし，前節にて述べたように，エネルギ束が吸収される確率および到達する確率を求めるためには，ガス温度分布を仮定して計算を開始し，試行錯誤法により計算を進める必要がある。また，F{T(I)} が任意の関数であると，無次元ふく射能からガス温度を直接求めることが困難であるから，この計算にも試行錯誤法を利用する必要がある。

以上により電子計算機用プログラム[6]を図-13のごとく作成した。ただし，U(I)および F{T(I)} は次式により計算することとした。

$$U(I)=K_f\left\{\frac{T(I)}{TM}\right\}^{B_f}DL\quad(\text{火　　炎})\qquad(123)$$

$$U(I)=K_p\left\{\frac{T(I)}{TM}\right\}^{B_p}DL\quad(\text{燃焼ガス})\qquad(124)$$

ただし，K_f, K_p, B_f, B_p：常数，TM：火炎および燃焼ガス全体の平均温度

$$F\{T(I)\}=e^{A_0+\sum_{i=1}^{10}A_i\left\{\log_e\lambda_b T(I)\right\}^i}-e^{A_0+\sum_{i=1}^{10}A_i\left\{\log_e\lambda_a T(I)\right\}^i}\qquad(125)$$

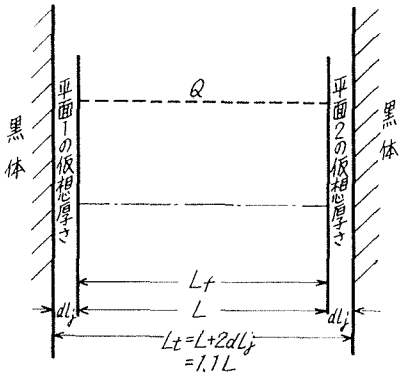
ただし，λ_a～λ_b：ふく射に関与する波長域，A_0, A_i：近似式の係数

式(125)による計算結果は精度約5桁である。

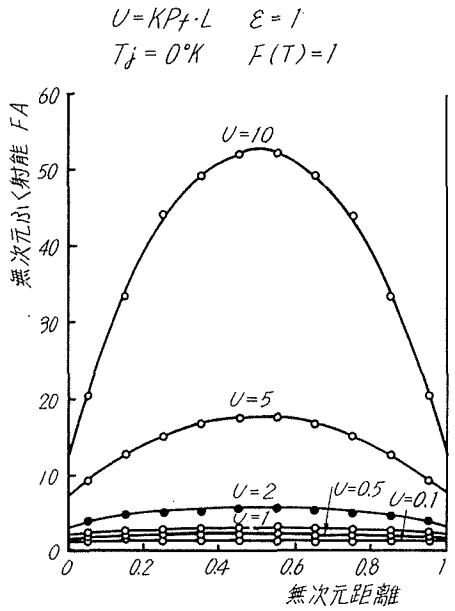
プログラム言語としては FORTRAN IV[7]を使用し，主プログラムおよび4つのサブプログラム（エネルギ束の吸収される小区分を求めるサブルーチン，温度および U(I) を計算するサブルーチン，F{T(I)} を計算するサブルーチン，乱数発生サブルーチン）に分けて作成してある。実際の計算は日立5020 E 電子計算機により行なわせたので，図-13のプログラムに計算機コントロール用命令を追加して使用している。

5. 計 算 結 果

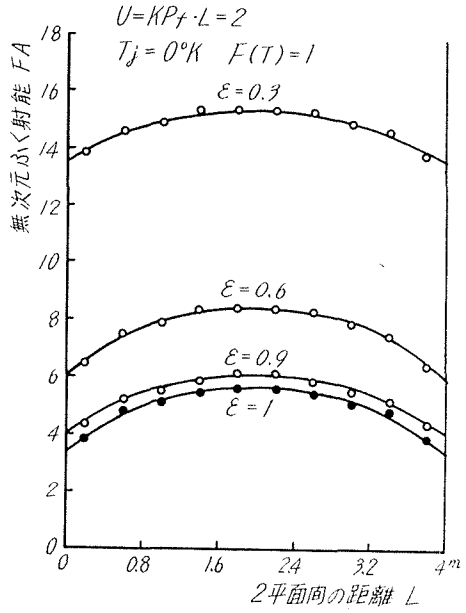
前節のプログラムによる計算結果を1種類のふく射ガスのみが存在する場合の既発表の結果[1)~3)]と比較するため，図-14のごとく火炎が2平面間に充満している場合を計算し，両者が一致することを確かめた。その結果は図-15, 16, 17, 18, 19および20のとおりである。すなわち，2平面の間隔が増すに従い図-15のごとく無次元ふく射能は急増し，また平面のふく射率が減少した場合も図-16のごとく無次元ふく射能が



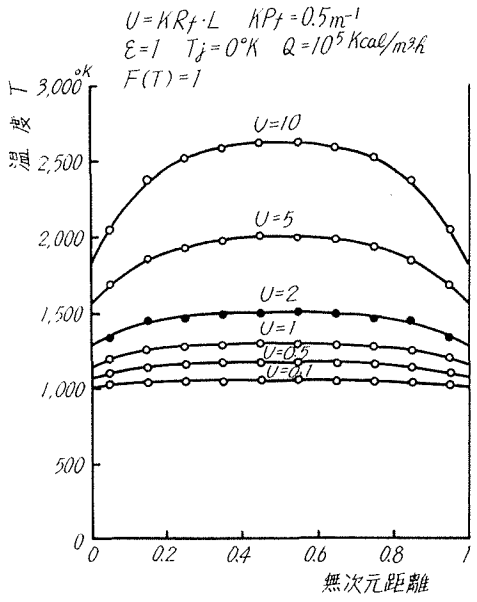
図—14



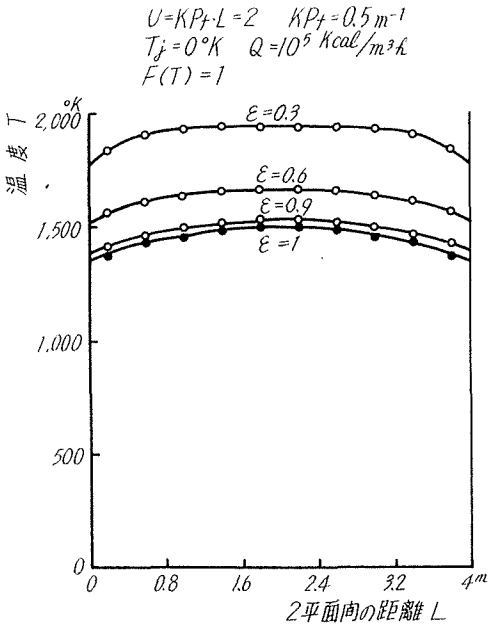
図—15



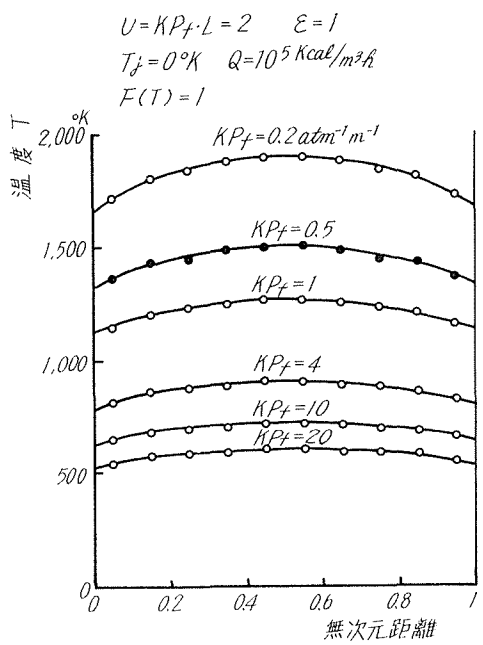
図—16



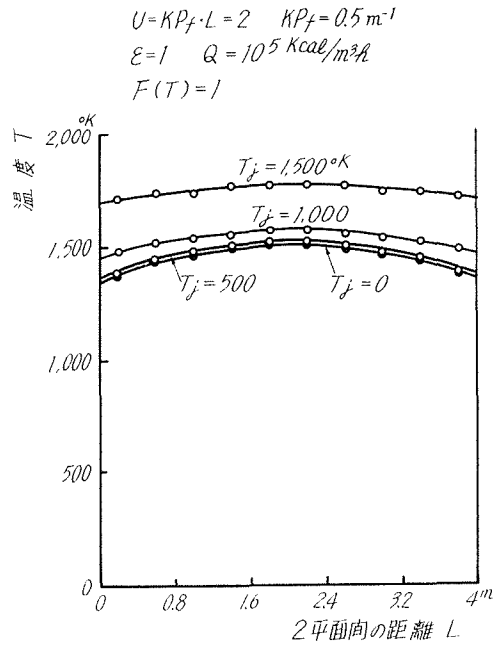
図—18



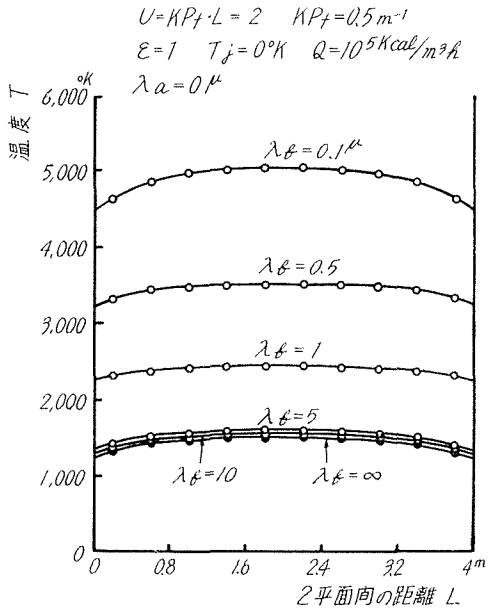
図—19



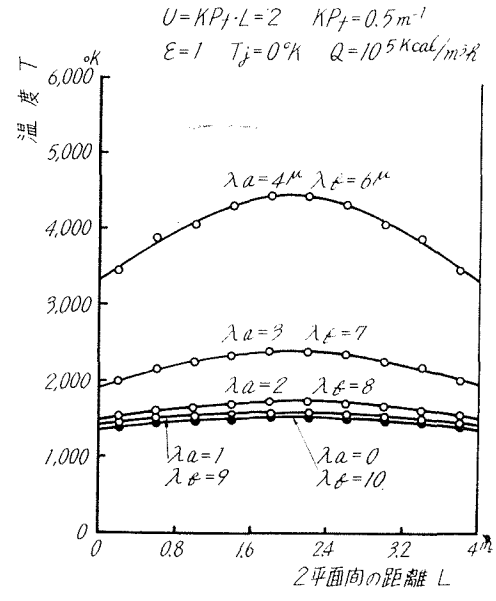
図—19



図—20



図—21

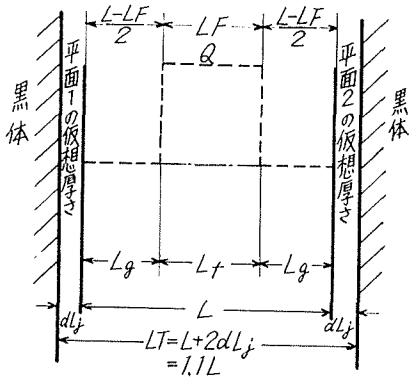


図—22

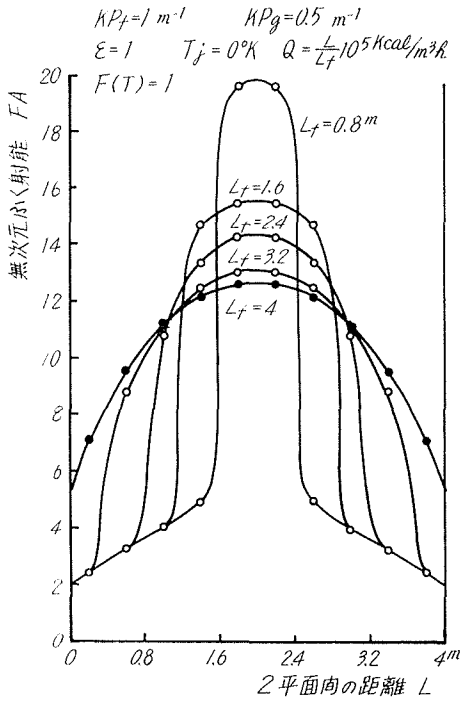
同様に急増することが示されている。図-19のごとく火炎の吸収係数が変化すると，他の条件が同じでもガス温度が相当変ることがわかる。また，図-20のごとく平面の温度が上昇すると，温度レベルが高くなり，同時に平均化されて来ることが示されている。

一方，図-14の場合についてふく射に関与する波長域の影響を求めたものが図-21および22である。すなわち，ふく射に関与する波長域を零から増加させた場合の計算結果が図-22であり，波長域を0～10 μ の範囲について変えた場合が図-22である。いずれも波長域が狭くなるに従い温度分布が相当高くなって来る。これは波長域が狭いほど放出されるふく射量が減少するので，同じ放出量となり釣合うまで温度が高くなるものと考えられる。

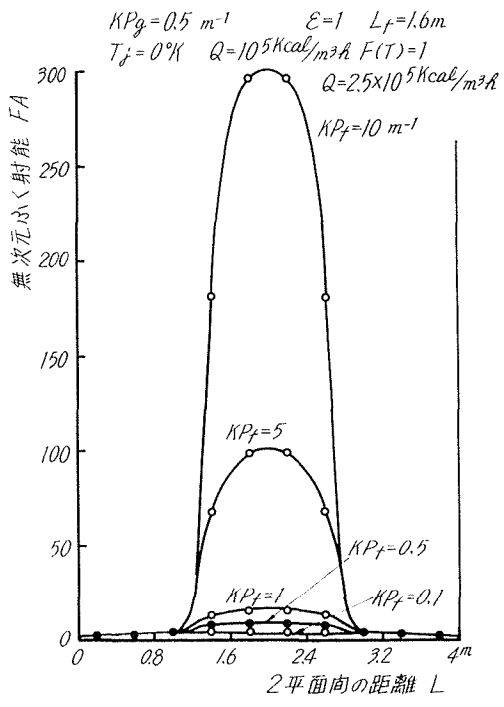
図-23のごとく2平面の中央に火炎が存在し，その両側に燃焼ガスが存在している場合について計算した結果が図-24および25である。平均熱発生率が同じで火炎の大きさが変った場合の計算結果が図-24であり，火炎の吸収係数が変った場合が図-25である。すなわち，火炎が中央に集中するほど，また火炎の吸収係数が増すほど中央部の無次元ふく射能が増加することが示されている。



図—23



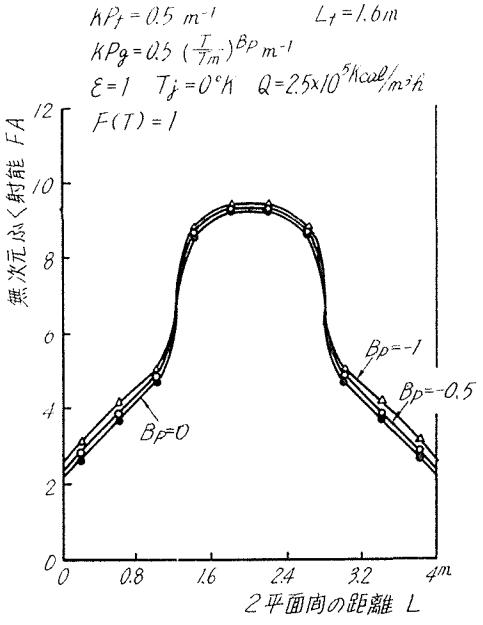
図—24



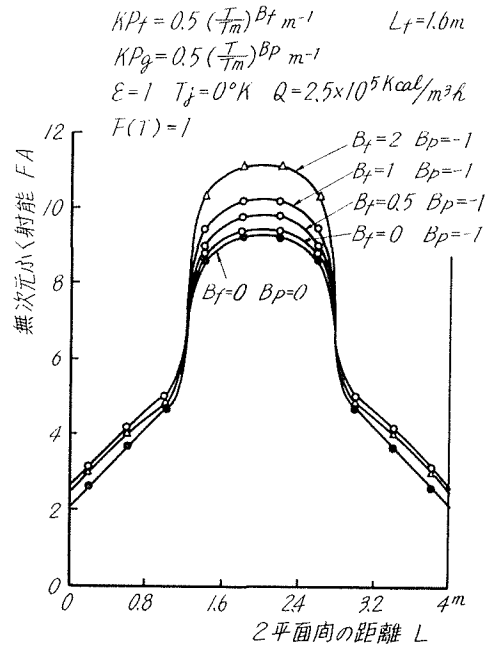
図—25

以上の計算結果は火炎および燃焼ガスの吸収係数が常数の場合についてであるが，図-13のプログラムは吸収係数が温度の関数の場合も計算することができるので，この場合について計算した結果を下記に述べることとする。図-23のごとく，火炎が中央に集中した場合についての計算結果が図-26および27であり，吸収係数に対する温度の依存度により無次元ふく射能分布が変ることが示されている。すなわち，ガスふく射を取扱う場合，灰色ガスと実在ガスによる解析結果の差を推定するための一資料として以上の解析結果が利用できるものと考えている。

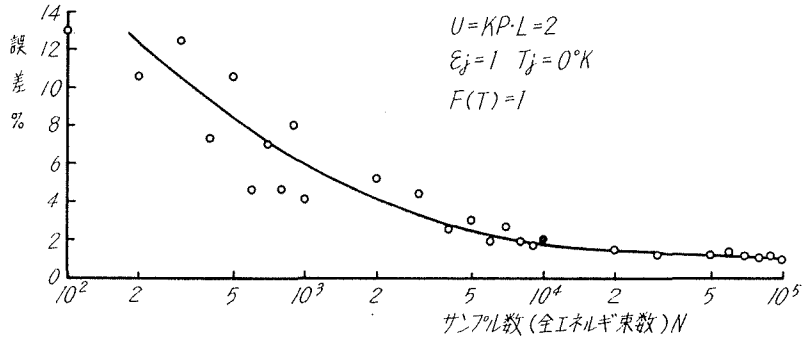
実際計算を行なう場合のサンプル数と計算精度の関係については既に発表されており[4]，一次元の場合は図-28に示すとおりである。本報告の場合は図-28を参考にしてサンプル数



図—26



図—27



図—28

$N=10\,000$ を選ぶこととし，各計算結果はすべてこの条件にて行なったものである。

6. 結　び

無限大平行2平面間に2種類のふく射ガス（火炎および燃焼ガスに相当し，互いに異なる吸収係数をもつ。また，ふく射に関与する波長域が限定されており，吸収係数は温度の関数である）が存在する場合について，無次元ふく射能分布を求める式を導いた。しかし，直接解くことができないので，モンテカルロ法を応用した数値解法を検討し，電子計算機用プログラムを作成した。本報告に記載した数値計算による解析結果は次のとおりである。

火炎のみが2平面間に充満している場合の結果

(1) 両平面間の距離を変えた場合，平面のふく射率を変えた場合を計算し，既に発表されている特定条件の場合と比較し一致することを確かめた。

(2) ふく射に関与する波長域が変った場合について解析した。たとえば，$U=2$, $KP_f=0.5$ m^{-1}, $Q=10^5$ kcal/m^{3}h の場合，波長域を $0\sim\infty$ から $0\sim1\,\mu$ に狭めると，温度分布が 1400°K 程度から 2300°K 程度まで上昇して平衡状態となることがわかった。

火炎が中央に集中し両側に燃焼ガスが存在する場合の結果

(3) 火炎の大きさを変えると，無次元ふく射能分布が変ることが示されている。たとえば $U=2$, $KP_f=1$, $KP_g=0.5$ m^{-1} の場合，火炎を中央の 1/5 の範囲に集中させると一様に充満させた場合より中央部の無次元ふく射能が約 80% 増加する。

(4) 吸収係数が温度の関数である場合についても計算し，温度の依存度を変えて無次元ふく射能分布を比較した。火炎の吸収係数を温度の関数とした方が，燃焼ガスの吸収係数を温度の関数とした場合より無次元ふく射能分布に与える影響が大きいことがわかった。

ガスふく射を取扱う場合，灰色ガスと実在ガスによる解析結果の差を推定するための資料として，上記本報告の解析結果が利用できるものと思われる。

本研究を進めるに際し，北海道大学工学部　斎藤武教授，深沢正一教授よりご指導いただき，また計算を進めるに際しては，東京大学大型計算機センターおよび北海道大学計算センターの協力を得た。ここに深く謝意を表する次第である。

文　献

1) Usiskin, C. M. and Sparrow, En M.: Int. T. Heat Transfer, 1-1 (1960-6), pp. 28-38.
2) Howell, J. R. and Perlmutter, M.: Trans. ASME. Ser. C, 86-1 (1964-2), pp. 116-123.
3) 谷口　博: 北大工学部研究報告, 38 (1965-8), pp. 1-21.
4) 谷口　博: 機械学会論文集, 33-247 (1967-3), pp. 406-419.
5) 谷口　博: 機械学会第 42 期全国大会講演会前刷集, 120 (1964-10), pp. 57-60.
6) 谷口　博: 機械学会創立 70 周年記念北海道地区講演会前刷集, 174 (1967-8), pp. 121-124.
7) 森口繁一: FORTRAN 入門 (1965-8), 東京大学出版会.