多成分混合気の平板上での層流膜状凝縮熱伝達の代数的予測法 : 第2報 体積力対流凝縮の場合

小山, 繁
九州大学機能物質科学研究所

五島, 正雄
九州大学機能物質科学研究所

渡部, 正治
九州大学機能物質科学研究所

藤井, 哲
九州大学機能物質科学研究所

https://doi.org/10.15017/6518

出版情報：九州大学機能物質科学研究所報告. 1 (1), pp.85-89, 1987-12-28. 九州大学機能物質科学研究所

多成分混合気の平板上での層流膜状凝縮熱伝達の代数的予測法
(第2報　体積力対流凝縮の場合)

小山　繁・五島正雄・渡部正治・藤井　哲

LAMINAR FILM CONDENSATION OF MULTICOMPONENT MIXTURES ON A FLAT PLATE
(Second Report, Gravity Controlled Condensation)

by Shigeru KOYAMA, Masao GOTO, Masaharu WATABE and Tetsu FUJII

Laminar gravity controlled film condensation of multicmponent mixtures on a vertical flat plate is theoretically treated in the same manner as that for forced convection condensation. The governing equations of heat and mass transfer for multicomponent mixtures, which are coupled complicatedly with respect to the buoyancy term as well as to the other concentration terms, are reduced to those for binary mixtures by orthogonal transformation expect for the vapor momentum equation. Then, generalized simultaneous algebraic equations for predicting the heat and mass tranfer characteristics of condensation of multicomponent mixtures are derived on the assumption that the treatment of buoyancy force for single-phase free convection of binary and ternary mixtures with simultaneous heat and mass transfer can be extended to the condensation of multicomponent mixtures of higher order.

1. 緒　言

前報[1]では，平板上での n 成分混合気の層流強制対流膜状凝縮の特性を予測するための代数方程式を提案した。本報では，層流体積力対流膜状凝縮の場合を取り扱う。

多成分混合気の鉛直平板上での層流体積力対流膜状に関して，Taitel-Tamir[2]および Sage-Estrin[3]は三成分混合気の相似解を数値的に求めている。しかし，体積力対流凝縮の場合には混合気境界層内の浮力が温度差および濃度差により生じ，気相の運動量式，エネルギ式および濃度方程式が連成するため，成分数が増えると相似解を数値的に直接解くことは非常に困難となる。

田中[4]および著者ら[5]は，それぞれ二成分および三成分混合気について，吸い込み速度が無視できる場合の熱と物質の同時移動を伴う自由対流を理論的に取り扱い，境界層内に生じる温度差に基づく浮力と各成分の濃度差に基づく浮力の相互の干渉が熱および物質伝達に及ぼす影響を明らかにした。

本報では，二成分および三成分混合気の熱と物質の同時移動を伴う自由対流の諸特性[4,5]が体積力対流凝縮における凝縮量が無限小の極限に対応することを考慮して，強制対流の場合[1]と同様に，二成分混合気の層流体積力対流膜状凝縮の相似解の諸境界値間に成立する関係式[6]を用いて，多成分混合気の凝縮特性を予測するための代数方程式を導出する。

受理日　昭和62年9月16日

記　号

$\boldsymbol{A}$	：要素 a_{kl} の行列
a_{kl}	：濃度方程式の係数［式 (17)］
$\boldsymbol{B}$	：$\boldsymbol{A}$ の標準形［式 (45)］
C_k	：定数［式 (35)］
D_{kl}	：拡散に関する係数［式 (20)］
D^M_{kl}	：多成分系における成分 $k-l$ 間の相互拡散

係数

D^*_{kl} ：拡散に関する係数［式（19）］

$E_b(\alpha,\ \beta,\ \gamma)$：濃度の境界値に関する関数［式（53）］

$F_b(\alpha)$ ：Sc_k あるいは Pr の関数［式（54）］

$F(\eta)$ ：混合気における無次元流れ関数［式（6）］

$f(\eta_L)$ ：液膜における無次元流れ関数［式（5）］

Ga_{Lx} ：ガリレオ数［式（38）］

$G_b(a)$ ：液膜温度の境界値に関する関数［式（62）］

Gr_x ：グラスホフ数［式（70）］

g ：重力の加速度

$H_b(a,\ b,\ c)$：混合気温度の境界値に関する関数［式（63）］

L ：混合気の凝縮の潜熱

M_k ：成分 k の分子量

$\dot{M}_{kl}$ ：位置 x での成分 k の無次元凝縮質量流束［式（36）］

$\dot{M}_L$ ：位置 x での無次元凝縮質量流束［式（37）］

$\dot{m}_{kx}$ ：位置 x での成分 k の凝縮質量流束

$\dot{m}_x$ ：位置 x での凝縮質量流束

$\boldsymbol{P}$ ：要素 p_{kl} の行列

$\boldsymbol{P}^{-1}$ ：要素 q_{kl} の行列で，$\boldsymbol{P}$ の逆行列

p ：圧力

$p^0_k(T)$ ：成分 k が単独に存在する時の温度 T における飽和蒸気圧

Pr ：プラントル数$=\nu/\kappa$

q_{cx} ：気液界面での混合気の対流による局所熱流束［式（69）］

q_{wx} ：局所伝熱面熱流束［式（68）］

R ：$\rho-\mu$ 比$=(\rho_L\mu_L/\rho\mu)^{1/2}$

Sc_{kl} ：成分 $k-l$ 間のシュミット数［式（18）］

T ：温度

$U,\ V$ ：x および y 方向速度成分

W_k ：成分 k の質量分率

X_k ：成分 k のモル分率

x ：平板先端から平板に沿って測った距離

y ：平板からその法線方向に測った距離

γ_k ：成分 k の活量係数

δ ：液膜厚さ

δ_{kl} ：クロネッカーのデルタ記号

$\eta,\ \eta_L$ ：相似変数［式（4）および式（3）］

$\Theta(\eta)$ ：混合気の無次元温度［式（8）］

$\theta(\eta_L)$ ：液膜の無次元温度［式（7）］

κ ：温度伝導率

λ ：熱伝導率

μ ：粘度

ν ：動粘度

ρ ：密度

$\Phi_k(\eta)$ ：成分 k の無次元濃度［式（9）］

Φ^*_k ：直交変換された成分 k の無次元濃度［式（46b）］

χ_{ki} ：浮力に関するパラメータ［式（51）］

χ^*_i ：浮力に関するパラメータ［式（61）］

$\Psi(x,y)$ ：混合気における流れ関数［式（2）］

$\psi(x,y)$ ：液膜における流れ関数［式（1）］

Ω_i ：浮力に関するパラメータ［式（52）］

Ω_T ：温度差に基づく浮力に関するパラメータ［式（15）］

Ω_{Wk} ：成分 k の濃度差に基づく浮力に関するパラメータ［式（16）］

ω_T ：温度差に基づく浮力に関するパラメータ［式（48）］

ω_{Wk} ：濃度差に基づく浮力に関するパラメータ［式（49）］

添字

i ：気液界面での値

L ：液膜での値

k, l, m ：混合物の成分を表す

x ：位置 x での値

w ：伝熱面での値

∞ ：混合気境界層外縁での値

$'$ ：η あるいは η_L に関する微分

ただし，添字 L に対応した位置に添字がないものは混合気境界層内での値を示す。

2. 相似変換

層流体積力対流膜状凝縮に関する物理モデル，仮定および基礎式は前報[1]のものと同じであり，$y\to\infty$ での境界条件 $U_\infty=0$ の場合が体積力対流凝縮に対応する。この場合には，相似変数の関数形が強制対流凝縮の場合と異なる。なお，混合気境界層のエネルギ方程式中の拡散項は，気相の対流熱伝達および気相内の過冷発生条件を検討する場合重要であるが[6]，凝縮熱伝達における全体の熱収支を考える場合一般に無視できる。したがって，以下の解析においては拡散項は省略する。

液膜および混合気境界層について，流れ関数 $\psi(x,y)$ および $\Psi(x,\ y)$

$$U_L=\partial\psi/\partial y,\quad V_L=-\partial\psi/\partial x \tag{1}$$
$$U=\partial\Psi/\partial y,\quad V=-\partial\Psi/\partial x \tag{2}$$

を導入し，さらに以下の相似変数 η_L および η，無次元流れ関数 $f(\eta_L)$ および $F(\eta)$，無次元温度 $\theta(\eta_L)$ および $\Theta(\eta)$，成分 k の無次元濃度 $\Phi_k(\eta)$

$$\eta_L=y\ \{g/(4\nu_L{}^2x)\}^{1/4} \tag{3}$$
$$\eta=(y-\delta)\ \{g/(4\nu^2x)\}^{1/4} \tag{4}$$
$$f(\eta_L)=\psi(x,\ y)/\ \{4(g\nu_L{}^2x^3/4)^{1/4}\} \tag{5}$$
$$F(\eta)=\Psi(x,\ y)/\ \{4(g\nu^2x^3/4)^{1/4}\} \tag{6}$$
$$\theta(\eta_L)=(T_i-T_L)/(T_i-T_w) \tag{7}$$
$$\Theta(\eta)=(T_\infty-T)/(T_\infty-T_i) \tag{8}$$
$$\Phi_k(\eta)=(W_k-W_{k\infty})/(W_{ki}-W_{k\infty}) \tag{9}$$
$$(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1)$$

を導入すれば，液膜および混合気境界層の方程式は次のように表される。

$$f'''+3ff''-2f'^2+1=0 \tag{10}$$
$$\theta''+3Pr_Lf\theta'=0 \tag{11}$$
$$F'''+3FF''-2F'^2+\Omega_T(T_\infty-T_i)\Theta + \{1-\Omega_T(T_\infty-T_i)\Theta\} \times\sum_{k=1}^{n-1}\Omega_{Wk}(W_{ki}-W_{k\infty})\Phi_k=0 \tag{12}$$
$$\Theta''+3PrF\Theta'=0 \tag{13}$$
$$\sum_{l=1}^{n-1}a_{kl}\Phi_l''+3F\Phi_k'=0 \tag{14}$$
$$(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1)$$

ここに，

$$\Omega_T=1/T_\infty \tag{15}$$
$$\Omega_{Wk}=(1/M_n-1/M_k)/\ \{\sum_{l=1}^{n}W_{l\infty}/M_l\} \tag{16}$$
$$a_{kl}=(W_{li}-W_{l\infty})/\ \{(W_{ki}-W_{k\infty})Sc_{kl}\} \tag{17}$$
$$Sc_{kl}=\nu/D^*_{kl} \tag{18}$$
$$D^*_{kl}=D_{kn}-D_{kl} \tag{19}$$
$$D_{kl}=M_kD^M_{kl}\sum_{m=1}^{n}\frac{W_m}{M_m}-\frac{M_k}{M_l}\sum_{m=1}^{n}D^M_{km}W_m \tag{20}$$

多成分系の相互拡散係数 D^M_{kl} は文献(7)参照のこと。境界条件は次のようになる。

$\eta_L=0$ で，

$$f_w=0 \tag{21}$$
$$f_w'=0 \tag{22}$$
$$\theta_w=1 \tag{22}$$

$\eta\to\infty$ で，

$$F_\infty'=0 \tag{24}$$
$$\Theta_\infty=0 \tag{25}$$
$$\Phi_{k\infty}=0\qquad(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1) \tag{26}$$

気液界面での適合条件は，次の諸式で与えられる。

$\eta_L=\eta_{Li}$ および $\eta=0$ で，

$$f_i'=F_i' \tag{27}$$
$$Rf_i''=F_i'' \tag{28}$$
$$Rf_i=F_i=R\sum_{k=1}^{n}\dot{M}_{kL}/3=R\,\dot{M}_L/3 \tag{29}$$
$$\theta_i=0 \tag{30}$$
$$\Theta_i=1 \tag{31}$$
$$-\theta_i'=\frac{\mu_LL\,\dot{M}_L}{\lambda_L(T_i-T_w)}+\frac{\lambda}{\lambda_L}\left(\frac{\nu_L}{\nu}\right)^{1/2}\times\frac{(T_\infty-T_i)}{(T_i-T_w)}(-\Theta_i') \tag{32}$$
$$\Phi_{ki}=1\qquad(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1) \tag{33}$$
$$\sum_{l=1}^{n-1}a_{kl}\Phi_{li}'=C_k \qquad (k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1) \tag{34}$$

ここに，

$$C_k=(\dot{M}_{kL}-W_{ki}\dot{M}_L)R/(W_{ki}-W_{k\infty}) \tag{35}$$
$$\dot{M}_{kL}=\dot{m}_{kx}x/\ \{\mu_L(Ga_{Lx}/4)^{1/4}\} \tag{36}$$
$$\dot{M}_L=\dot{m}_xx/\ \{\mu_L(Ga_{Lx}/4)^{1/4}\} \tag{37}$$
$$Ga_{Lx}=gx^3/\nu_L{}^2 \tag{38}$$

また，液膜の質量分率と無次元凝縮質量流束との関係は

$$W_{kL}=\dot{M}_{kL}/\dot{M}_L\quad(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n) \tag{39}$$

で与えられる。さらに気液界面においては，液膜と混合気との間に次の相平衡の関係が成立する。

$$X_{kL}=X_{ki}p/\ \{\gamma_k\,p^o_k(T_i)\} \tag{40}$$
$$(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n)$$

3.　n 成分混合気の凝縮特性を求めるための連立代数方程式の導出

3.1　濃度方程式の直交変換

各成分が連成した濃度方程式（14）は，強制対流凝縮の場合のそれと同形式である。したがって前報[1]と同様に式(14)中の係数 a_{kl} を要素とした行列 $\boldsymbol{A}(=(a_{kl})^{n-1}_{n-1})$ を，正則行列 $\boldsymbol{P}(=(p_{kl})^{n-1}_{n-1})$ により $\boldsymbol{A}$ の固有値（$1/Sc_k$，ここに，k＝1，2，…，n－1）を対角要素にもつ標準形 $\boldsymbol{B}(=(\delta_{kl}/Sc_k)^{n-1}_{n-1})$ に直交変換すれば，多成分系の濃度方程式を独立な二成分系の式の組み合せとして取り扱うことができる。変換した結果を要素表示すれば次のようになる（ただし，k＝1，2，…，n－1であり，直交変換の詳細は文献(1)参照のこと)。

$$\Phi^{*}_k{}''+3Sc_kF\Phi^{*}{}'=0 \tag{41}$$

境界条件式（26）は，次のようになる。

$\eta\to\infty$ で，

$$\Phi^*_{k\infty}=0 \tag{42}$$

適合条件式 (33) および (34) は，それぞれ以下のように表される。

$\eta \to 0$で

$$\Phi_{ki}^{*}=1 \tag{43}$$

$$\Phi_{ki}^{*\prime}=\mathrm{Sc}_k\sum_{m=1}^{n-1}\mathrm{q}_{km}\mathrm{C}_m\Big/\sum_{l=1}^{n-1}\mathrm{q}_{kl} \tag{44}$$

ここに，q_{kl} は係数行列 $\boldsymbol{A}$ を標準形 $\boldsymbol{B}$ に直交変換するための行列 $\boldsymbol{P}$ の逆行列 $\boldsymbol{P}^{-1}$ の要素であり，行列 $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{P}$ および $\boldsymbol{P}^{-1}$ の関係は次式で表される。

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{P}^{-1}\boldsymbol{A}\boldsymbol{P} \tag{45}$$

また，無次元濃度 Φ_k^* と Φ_k との関係は次式で表せる。

$$\Phi_k=\sum_{l=1}^{n-1}\sum_{m=1}^{n-1}\mathrm{p}_{kl}\mathrm{q}_{lm}\Phi_l^* \tag{46a}$$

$$\Phi_k^*=\sum_{l=1}^{n-1}\mathrm{q}_{kl}\Phi_l\Big/\sum_{m=1}^{n-1}\mathrm{q}_{km} \tag{46b}$$

混合気境界層の運動量式(12)中の浮力項には Φ_k が含まれているので，これを式(46a)の関係を用いて Φ_k^* に書き換えると次のようになる。

$$F'''+3FF''-2F'^2+\omega_\mathrm{T}\Theta+(1-\omega_\mathrm{T}\Theta)\times\sum_{k=1}^{n-1}\omega_{Wk}\Phi_k^*=0 \tag{47}$$

ここに，ω_T および ω_{Wk} は，それぞれ温度差および濃度差に基づく浮力のパラメータであり，次のようになる。

$$\omega_\mathrm{T}=\Omega_\mathrm{T}(\mathrm{T}_\infty-\mathrm{T}_i) \tag{48}$$

$$\omega_{Wk}=\sum_{l=1}^{n-1}\sum_{m=1}^{n-1}\Omega_{Wl}(\mathrm{W}_{li}-\mathrm{W}_{l\infty})\mathrm{p}_{lk}\mathrm{q}_{km} \tag{49}$$

3.2 物質伝達に関する式の導出

液膜に関する式 (10) および (11) と混合気境界層に関する式 (13)，(41) および (47) で表される n 成分混合気の二相境界層方程式は，式 (47) 中の浮力項を除けば二成分混合気の体積力対流凝縮の方程式と同形式である。そこで，n 成分混合気の凝縮における混合気境界層内での温度差に基づく浮力と各成分の濃度差に基づく浮力の相互干渉の影響が，二成分および三成分混合気の熱と物質の同時移動を伴う自由対流[4,5]の場合と同形式で表せるとする。この推論と二成分混合気の相似解の間に成立する関係式（文献（6）参照）を用いれば，前報(1)と同様に，n 成分混合気の物質伝達に関する式を導くことができる。すなわち，n 成分混合気の相似解の境界値間に成立する関係式は次のように表せる。

$$-\frac{\Phi_{ki}^{*\prime}}{\sqrt{2}}=E_b\left(Sc_k,\ \chi_{ki},\ \frac{3Sc_kF_i}{-\Phi_{ki}^{*\prime}}\right)F_b(Sc_k) \tag{50}$$

ここに，浮力の相互干渉を表すパラメータ χ_{ki} は，次のようになる。

$$\chi_{ki}=\Omega_i+\omega_\mathrm{T}\left[\left(\frac{Sc_k}{Pr}\right)^{1/2}-1\right]+\sum_{l=1}^{n-1}\omega_{Wl}\times\left[\left(\frac{Sc_k}{Sc_l}\right)^{1/2}-1\right] \tag{51}$$

$$\Omega_i=\omega_\mathrm{T}+(1-\omega_\mathrm{T})\sum_{m=1}^{n-1}\omega_{Wm} \tag{52}$$

また，関数形 $E_b(\alpha,\ \beta,\ \gamma)$ および $F_b(\alpha)$ は次式で与えられる。

$$E_b(\alpha,\ \beta,\ \gamma)=\sqrt{2}(\alpha\beta)^{0.25}(2-\gamma)^{-0.5}\times(1-\gamma)^{-0.3} \tag{53}$$

$$F_b(\alpha)=\frac{3}{4}\left\{\frac{\alpha}{2.4+4.9\sqrt{\alpha}+5\alpha}\right\}^{1/4} \tag{54}$$

n 成分混合気の適合条件式 (44) に式 (35) を代入すると次式が得られる。

$$-\Phi_{ki}^{*\prime}=\frac{\displaystyle\sum_{m=1}^{n-1}q_{km}\frac{(W_{mi}\dot{M}_L-\dot{M}_{mL})}{(W_{mi}-W_{m\infty})}}{\displaystyle\sum_{l=1}^{n-1}q_{kl}}RSc_k \tag{55}$$

また，式 (29) および (39) の関係を用いて，式 (35) 中の $\dot{M}_{kL}$ および $\dot{M}_L$ を消去すれば，

$$C_k=-3F_i\frac{(W_{ki}-W_{kL})}{(W_{ki}-W_{k\infty})} \tag{56}$$

となる。上式を式 (44) に代入すると次式が得られる。

$$\frac{3Sc_kF_i}{-\Phi_{ki}^{*\prime}}=\frac{\displaystyle\sum_{l=1}^{n-1}q_{kl}}{\displaystyle\sum_{m=1}^{n-1}q_{km}\frac{(W_{mi}-W_{mL})}{(W_{mi}-W_{m\infty})}} \tag{57}$$

式 (50) に式 (55) および式 (57) を代入すれば，n 成分混合気の物質伝達に関する次式が得られる。

$$\frac{\displaystyle\sum_{m=1}^{n-1}q_{km}\frac{(W_{mi}\dot{M}_L-\dot{M}_{mL})}{(W_{mi}-W_{m\infty})}}{\displaystyle\sqrt{2}\sum_{l=1}^{n-1}q_{kl}}RSc_k=E_b\left(Sc_k,\ \chi_{ki},\ \frac{\displaystyle\sum_{l=1}^{n-1}q_{kl}}{\displaystyle\sum_{m=1}^{n-1}q_{km}\frac{(W_{mi}-W_{mL})}{(W_{mi}-W_{m\infty})}}\right)F_b(Sc_k)$$

$$(k=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n-1) \tag{58}$$

3.3 熱伝達に関する式の導出

混合気境界層における温度差に基づく浮力と各成分の濃度差に基づく浮力の干渉の影響を，物質伝達の式の導出の場合と同様に取り扱えば，二成分混合気の相似解の間に成立する関係式[6]を用いて n 成分混合気の熱伝達に関する次式を導くことができる。

$$-\theta_w'=G_b(3f_i) \tag{59}$$

$$-\Theta_i'=\sqrt{2}H_b(Pr,\ 3F_i,\ \chi_i^*)F_b(Pr) \tag{60}$$

ここに，浮力の相互干渉に関するパラメータ χ_i^* は次式で与えられる。

$$\chi_i^*=\Omega_i+\sum_{l=1}^{n-1}\omega_{Wl}\left[\left(\frac{Pr}{Sc_l}\right)^{1/2}-1\right] \tag{61}$$

また，関数形 $G_b(a)$ および $H_b(a,\ b,\ c)$ は次の諸式で与えられる。

$$G_b(a)=a^{-1/3} \tag{62}$$

$$H_b(a,\ b,\ c)=(ac)^{1/4}\ \{1+1.25a^{3/4} \times [b/\sqrt{c^{1/4}}]^{1.15}\} \tag{63}$$

液膜の熱伝達において対流項の影響が小さい場合には，

$$-\theta_i{}'\cong-\theta_w{}' \tag{64}$$

とおける。したがって，式（29），（32），（62），（63）および式（64）より熱伝達に関する次式が得られる。

$$G_b(\dot{M}_L)=\frac{\mu_L L\dot{M}_L}{\lambda_L(T_i-T_w)}+\sqrt{2}\frac{\lambda}{\lambda_L}\left(\frac{\nu_L}{\nu}\right)^{1/2}\frac{T_\infty-T_i}{T_i-T_w} \times H_b(Pr,\ R\dot{M}_L,\ \chi_i{}^*)F_b(Pr) \tag{65}$$

3.4　凝縮量，伝熱量および気液界面状態の求め方

物質伝達に関する式（58），熱伝達に関する式（65），凝縮質量流束と液膜の質量分率との関係式（39）および相平衡の関係式（40）を連立させて解くことによって，与えられた物質，伝熱面温度および周囲混合気条件に対応した T_i，$\dot{M}_L$，$\dot{M}_{kL}$，W_{kL} および W_{ki}（ここに，$k=1,\ 2,\ \cdots,\ n$）を求めることができる。さらに，局所凝縮質量流束 $\dot{m}_{kx}$ および $\dot{m}_x$，局所伝熱面熱流束 q_{wx}，気液界面への混合気の対流による局所熱流束 q_{cx} はそれぞれ以下の諸式より求まる。

$$\dot{m}_{kx}=\mu_L\dot{M}_{kL}(Ga_{Lx}/4)^{1/4}/x \tag{66}$$

$$\dot{m}_x=\mu_L\dot{M}_L(Ga_{Lx}/4)^{1/4}/x \tag{67}$$

$$q_{wx}=\lambda_L\left(\frac{\partial T_L}{\partial y}\right)_{y=0} =G_b(\dot{M}_L)\ \frac{\lambda_L\ (T_i-T_w)}{x}\left(\frac{Ga_{Lx}}{4}\right)^{1/4} \tag{68}$$

$$q_{cx}=\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=\delta}=H_b\ (Pr,\ R\dot{M}_L,\ \chi_i{}^*)\ F_b\ (Pr) \times\frac{\lambda(T_\infty-T_i)}{x}\frac{(Gr_xPr)^{1/4}}{(\Omega_iPr)^{1/4}} \tag{69}$$

ここに，

$$Gr_x=gx^3\Omega_i/\nu^2 \tag{70}$$

なお，不凝縮気体を成分として含む場合は，式（58），（65），（39）および（40）において，不凝縮成分に対応した $\dot{M}_{kL}$，W_{kL} および X_{kL} を零とおけばよい．さらに，気液界面への対流による伝熱が無視できる場合には，式（65）の右辺第2項は省略できる．

4.　結　言

多成分混合気の鉛直平板上での層流体積力対流膜状凝縮の特性を予測するための一般代数方程式を，浮力に関する若干の仮定（混合気境界層内での温度差に基づく浮力と各成分の濃度差に基づく浮力の相互の干渉の影響は，二成分および三成分混合気の熱と物質の同時移動を伴う自由対流[4,5]の場合と同形式で表せる）のもとに導出した．与えられた物質，伝熱面温度および周囲混合気の条件に対応した伝熱量，凝縮量および気液界面状態を求めるには，物質伝達に関する式（58），熱伝達に関する式(65)，凝縮質量流束と液膜質量分率との関係式（39）および気液界面における相平衡の関係式（40）を連立させて解けばよい．なお，これらの諸式は強制対流凝縮の場合[1]と同様に n 成分混合気の凝縮から単相熱伝達まで適用できる一般性のあるものである．

文　　献

1) 小山・ほか2名，九州大学機能物質科学研究所報告，報告，1-1(昭62)，*196.*

2) *Taitel, Y. and Tamir, A. , Int. J. Multi Phase Flow, 1-5(1974), 697.*

3) *Sage, F. E. and Estrin, J. , Int. J. Heat Mass Transf., 19-3(1976), 323.*

4) 田中，九州大学生産科学研究所報告，78(昭60)，47.

5) 渡部・ほか2名，機論掲載予定，*No*．87-771.

6) 小山・ほか2名，機論，52-474，*B*（昭61），827.

7) 例えば，*Bird, R. B.*ほか2名，*Transport Phenomena, (1960), John Wily & Sons, Inc. , New York.*