九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

二成分混合蒸気の凝縮における気相境界層の代表物性値 ： I 層流強制対流凝縮の場合

藤井，哲
九州大学機能物質科学研究所

李，鍾鵬
九州大学大学院総合理工学研究科

新里，寛英
九州大学機能物質科学研究所

渡部，正治
三菱重工業株式会社

https://doi.org/10.15017/6604

出版情報：九州大学機能物質科学研究所報告. 5 (2), pp.215-221, 1992-03-31. 九州大学機能物質科学研究所
バージョン：
権利関係：

機能物質科学研究所
報告 第5巻 第2号
pp.215-221 (1991)

二成分混合蒸気の凝縮における気相境界層の代表物性値

(I 層流強制対流凝縮の場合)

藤井 哲・李 鍾鵬*・新里寛英
渡部正治**

Representative Physical Properties for the Vapor Boundary Layer in the Case of Laminar Film Condensation of Binary Vapor Mixtures

(I) Forced-Convection Condensation

Tetsu FUJII, Jong Boong LEE, Kan'ei SHINZATO, and Masaharu WATABE

The two-phase boundary layer equations for forced-convection condensation of binary vapor mixtures air-water and ethanol-water are numerically solved under the assumption that the physical properties in the vapor phase depend on mass concentration and temperature and those in the condensate film are constant. The results for wall heat flux and concentration mass flux agree well with the solutions of the author's algebraic equations when the physical properties are evaluated at the arithmetic mean of the mass concentration at the vapor-liquid interface and the bulk and the corresponding saturation temperature, or evaluated at the arithmetic means of the mass concentration and temperature at the vapor-liquid interface and the bulk, and agree with the arithmetic mean values of the wall heat flux and concentration mass flux which are solved by using the physical properties evaluated at the vapor-liquid interface and the bulk.

1. 緒 言

二成分混合蒸気の層流膜状凝縮についての従来の解析において，気相境界層内の物性値には一定値が与えられていた．それは適当な代表値が存在するであろうことを仮定したからである．

本研究は二成分混合蒸気の平板上の強制対流膜状凝縮について，気相の物性値の濃度と温度による依存性を考慮した場合の数値解析を行い，定物性の場合の代数解[1]を用いて壁面熱流束および気液界面凝縮質量流束を求める際の気相の代表物性値について検討する．解析に際して，液膜の物性値は一定とし，その代表値[2]を与える．

受理日 平成3年8月27日
＊九州大学大学院総合理工学研究科
＊＊三菱重工業株式会社

記 号

c_p ：定圧比熱
$C_F(Pr_{I'})$, $C_F(Sc)$ ：式(59a, b)
D ：相互拡散係数
$F_{FL}(\eta_{FL})$, $F_{FI'}(\eta_{FI'})$ ：無次元流れ係数，式(26), (27)
H_i ：相変化数，式(52)
$\dot{M}_{FL}$ ：無次元凝縮質量流束，式(50)
$\dot{M}_{FI'}$ ：無次元凝縮質量流束，式(56)
$\dot{m}_x$ ：局所凝縮質量流束
p ：圧力
Pr ：プラントル数($=\mu c_p/\lambda$)
q ：熱流束
R ：$\rho\mu$比 [$=(\rho_L\mu_L/\rho_{I'}\mu_{I'})^{1/2}$]
Re_L ：二相レイノルズ数，式(51)

Re_V ：レイノルズ数，式(58)
Sc ：シュミット数$=\nu_V/D$
T ：温度
T_{V_r} ：代表物性値の評価温度
U, V：x および y 方向の速度成分
W ：質量濃度(質量分率)
W_R ：式(60)
W_{1V_r}：代表物性値の評価濃度
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
Δh_V：凝縮の潜熱
$\Delta T_{V\infty}$：周囲蒸気の過熱度$=T_{V\infty}-T_{s\infty}$
δ ：液膜厚さ
η_{FL}, η_{FV}：相似変数，式(24)，(25)
$\Theta_{FL}(\eta_{FL}), \Theta_{FV}(\eta_{FV})$：無次元温度，式(28)，(29)
$\Phi_F(\eta_{FV})$：規格化された濃度，式(30)
κ ：温度伝導率
λ ：熱伝導率
μ ：粘度
ν ：動粘度
ρ ：密度
$\Psi_L(x, y), \Psi_V(x, y)$：流れ関数，式(22)，(23)

添　字
$'$ ：η_{FL} あるいは η_{FV} に関する微分
e ：代数解による値
i ：気液界面での値
L ：液膜の値
V ：気相の値
x ：位置 x での値
w ：伝熱面での値
∞：周囲流体の値
1，2：低沸点成分を1，高沸点成分を2とする．

2. 基　礎　式

図1に気液二相境界層の物理モデルと座標を示す．x は平板先端から平板表面に沿って液膜および2成分混合気境界層(以下，気相境界層と略す)が発達する方向に測った距離，y は平板表面から法線方向に測った距離，δ は液膜厚さ，Δ は気境界層厚さ（数値は定義によって異なる）である．U および V はそれぞれ x 方向速度成分よおび y 方向速度成分であり，T は温度，W_1 は低沸点成分1の質量濃度（質量分率），p は系の圧力である．添字 L は液膜内の値，添字 V は気相内の値を示す．また，添字 w，i および∞はそれぞれ平板表面，気液界面および周囲蒸気における値を示す．

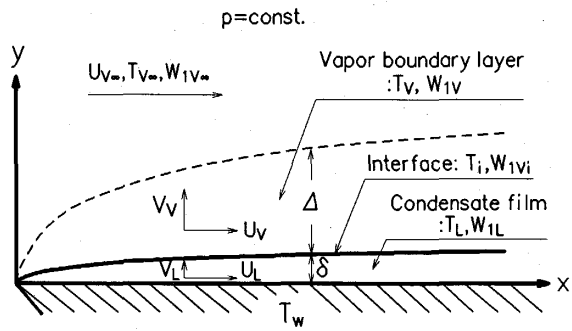

Fig. 1. Physical model and coordinate systems for forced-convection laminar film condensation.

気相境界宗の物性値が濃度と温度の関数で，液膜の物性値が一定の場合に，次の基礎式が得られる．液膜について，

$$\frac{\partial U_L}{\partial x}+\frac{\partial V_L}{\partial y}=0 \tag{1}$$

$$U_L\frac{\partial U_L}{\partial x}+V_L\frac{\partial U_L}{\partial y}=\nu_L\frac{\partial^2 U_L}{\partial y^2} \tag{2}$$

$$U_L\frac{\partial T_L}{\partial x}+V_L\frac{\partial T_L}{\partial y}=\kappa_L\frac{\partial^2 T_L}{\partial y^2} \tag{3}$$

気相境界層について，

$$\frac{\partial(\rho_V U_V)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho_V V_V)}{\partial y}=0 \tag{4}$$

$$\rho_V\left(U_V\frac{\partial U_V}{\partial x}+V_V\frac{\partial U_V}{\partial y}\right)=\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_V\frac{\partial U_V}{\partial y}\right) \tag{5}$$

$$\rho_V c_{pV}\left(U_V\frac{\partial T_V}{\partial x}+V_V\frac{\partial T_V}{\partial y}\right)=\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_V\frac{\partial T_V}{\partial y}\right) \tag{6}$$

$$\rho_V\left(U_V\frac{\partial W_{1V}}{\partial x}+V_V\frac{\partial W_{1V}}{\partial y}\right)=\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho_V D\frac{\partial W_{1V}}{\partial y}\right) \tag{7}$$

式(6)において，エンタルピー拡散項は壁面熱流束および凝縮質量流束に及ぼす影響が小さいので無視してある．ここに ν は動粘度，κ は温度伝導率，μ は粘度，c_p は比熱，λ は熱伝導率，ρ は密度，D は相互拡散係数である．

境界条件は次のように書かれる．

$y=0$ で

$$U_L=0 \tag{8}$$

$$V_L=0 \tag{9}$$

$$T_L=T_w \tag{10}$$

$y\to\infty$ で

$$U_V=U_{V\infty} \tag{11}$$

$$T_V=T_{V\infty}(=T_{s\infty}+\Delta T_{V\infty}) \tag{12}$$

$$W_{1V}=W_{1V\infty} \tag{13}$$

ここに T_s は混合蒸気の圧力と質量濃度に対する飽和温度(露点温度)，$\Delta T_{V\infty}$ は過熱度である．

気液界面での適合条件は次のように書かれる．

$y=\delta$ で

$$U_{Li}=U_{Vi}=U_i \tag{14}$$

$$\left(\mu_L\frac{\partial U_L}{\partial y}\right)_i=\left(\mu_V\frac{\partial U_V}{\partial y}\right)_i \tag{15}$$

$$\left[\rho_L\left(U_L\frac{d\delta}{dx}-V_L\right)\right]_i=\left[\rho_V\frac{d\delta}{dx}-V_V\right]_i \tag{16}$$

$$=\dot{m}_x=\dot{m}_{1x}+\dot{m}_{2x} \tag{17}$$

$$T_{Li}=T_{Vi}=T_i \tag{18}$$

$$\left(\lambda_L\frac{\partial T_L}{\partial y}\right)_i=\Delta h_V\dot{m}_x+\left(\lambda_V\frac{\partial T_V}{\partial y}\right)_i \tag{19}$$

$$W_{1V}=W_{1Vi} \tag{20}$$

$$\left(\rho_V D\frac{\partial W_{1V}}{\partial y}\right)_i=(1-W_{1Vi})\dot{m}_{1x}-W_{1Vi}\dot{m}_{2x} \tag{21}$$

ここに，$\dot{m}$ は凝縮質量流束，Δh_V は凝縮潜熱であり，添字1および2はそれぞれ低沸点成分および高沸点成分，添字 x は x における局所値を示す．

3. 相似変換および数値解

液膜および気相境界層について，それぞれ次式

$$U_L=\frac{\partial\Psi_L}{\partial y},\ V_L=-\frac{\partial\Psi_L}{\partial x} \tag{22a,b}$$

$$U_V=\frac{\rho_{V\infty}}{\rho_V}\frac{\partial\Psi_V}{\partial y},\ V_V=-\frac{\rho_{V\infty}}{\rho_V}\frac{\partial\Psi_V}{\partial x} \tag{23a,b}$$

で定義される流れ関数 $\Psi_L(x,y)$ および $\Psi_V(x,y)$ を導入し，相似変数 η_{FL} および η_{FV}，無次元流れ関数 $F_{FL}(\eta_{FL})$ および $F_{FV}(\eta_{FV})$，無次元温度 $\Theta_{FL}(\eta_{FL})$ および $\Theta_{FL}(\eta_{FV})$，規格された濃度 $\Theta_F(\eta_{FV})$ をそれぞれ次のように定義する．

$$\eta_{FL}=y\left(\frac{U_{V\infty}}{\nu_L x}\right)^{1/2} \tag{24}$$

$$\eta_{FV}=\left(\frac{U_{V\infty}}{\nu_{V\infty}x}\right)^{1/2}\int_\delta^y\frac{\rho_V}{\rho_{V\infty}}dy \tag{25}$$

$$F_{FL}(\eta_{FL})=\frac{\Psi_L(x,y)}{(\nu_L U_{V\infty}x)^{1/2}} \tag{26}$$

$$F_{FV}(\eta_{FV})=\frac{\Psi_V(x,y)}{(\nu_{V\infty}U_{V\infty}x)^{1/2}} \tag{27}$$

$$\Theta_{FL}(\eta_{FL})=\frac{T_i-T_L}{T_i-T_w} \tag{28}$$

$$\Theta_{FV}(\eta_{FV})=\frac{T_{V\infty}-T_V}{T_{V\infty}-T_i} \tag{29}$$

$$\Phi_F(\eta_{FV})=\frac{W_{1V}-W_{1V\infty}}{W_{1Vi}-W_{1V\infty}} \tag{30}$$

これらの式を用いて基礎式，境界条件および適合条件を変換すると，次式が得られる．

$$F'''_{FL}+\frac{1}{2}F_{FL}F''_{FL}=0 \tag{31}$$

$$\Theta''_{FL}+\frac{1}{2}Pr_L F_{F\Theta}{}'_{FL}=0 \tag{32}$$

$$\left(\frac{\rho_V\mu_V}{\rho_{V\infty}\mu_{V\infty}}F''_{FV}\right)'+\frac{1}{2}F_{FV}F''_{FV}=0 \tag{33}$$

$$\left(\frac{\rho_V\lambda_V}{\rho_{V\infty}\lambda_{V\infty}}\right)'+\frac{1}{2}\frac{c_{pV}\mu_{V\infty}}{\lambda_{V\infty}}F_{FV}\Theta'_{FV}=0 \tag{34}$$

$$\left(\frac{\rho_V D}{\rho_{V\infty}{}^2D_\infty}\Phi'_F\right)'+\frac{1}{2}\frac{\mu_{V\infty}}{\rho_{V\infty}D_\infty}F_{FV}\Phi'_F=0 \tag{35}$$

$\eta_{FL}=0$ で　$F_{FLw}=0,$ (36)

$F'_{FLw}=0,$ (37)

$\Theta_{FLw}=1$ (38)

$\eta_{FV}\to\infty$ で　$F'_{FV\infty}=1,$ (39)

$\Theta_{FV\infty}=0,$ (40)

$\Phi_{F\infty}=0$ (41)

$\eta_{FL}=\eta_{FLi}$ または $\eta_{FV}=0$ で

Table 1. Numerical results for forced-convection of binary vapors (p=0.1MPa)
—In the case where the physical properties in the boundary layer depend on concentration and temperature—
AW: air-water, EW: ethanol-water, Sa: saturated, Su: superheated

No.	$T_{V\infty}$ ℃	$W_{1V\infty}$	η_{FLi}	F''_{FLw} 10^{-3}	F_{FVi}	F'_{FVi} 10^{-3}	F''_{FVi}	$-\Phi'_{Fi}$	$-\Theta'_{FLw}$	W_{1Vi}	T_i ℃	T_w ℃	$q_{wx}(x/U_{V\infty})^{1/2}$ $\mathrm{Wm^{-2}s^{1/2}}\times10^3$	$\dot{m}_x(x/U_{V\infty})^{1/2}$ $\mathrm{kgm^{-2}s^{-1/2}}\times10^{-3}$
AW-1Sa	98.0	0.0886	1.9	7.1268	2.7711	13.527	1.0667	0.6461	0.5275	0.4713	87.76	72.39	8.859	3.828
AW-2Sa	95.0	0.2275	1.65	3.9448	1.0499	6.507	0.5853	0.3944	0.6065	0.5076	86.36	81.18	3.564	1.5428
EW-1Sa	95.0	0.3428	1.80	4.6175	1.6970	8.307	0.8075	0.4614	0.5568	0.6656	86.20	71.93	5.094	2.516
AW-1Su	198.0	0.0886	1.9	7.1262	2.7487	13.526	1.0812	0.6507	0.5276	0.4905	87.03	69.93	9.724	3.877
AW-2Su	195.0	0.2275	1.65	3.9592	1.0434	6.530	0.5937	0.3949	0.6065	0.5167	85.99	80.16	3.992	1.5565
AW-3Su	198.0	0.0886	1.8908	6.8709	2.5890	12.979	1.0620	0.6398	0.5300	0.4595	88.19	72.39	9.161	3.652
AW-4Su	195.0	0.2275	1.6333	3.8625	0.9916	6.306	0.5858	0.3910	0.6127	0.5004	86.65	81.18	3.802	1.4792

$$F_{FVi}=R_\infty F_{FLi}=2R_\infty \dot{M}_{FL} \tag{42}$$

$$F'_{FVi}=F'_{FLi} \tag{43}$$

$$F''_{FVi}=\left(\frac{\rho_{V\infty}\mu_{V\infty}}{\rho_{Vi}\mu_{Vi}}\right)R_\infty F''_{FLi} \tag{44}$$

$$\Theta_{FLi}=0 \tag{45}$$

$$\Theta_{FVi}=1 \tag{46}$$

$$-\Theta'_{FLi}=\frac{Pr_L\dot{M}_{FL}}{H_i}+\frac{\rho_{Vi}\lambda_{Vi}}{\rho_{V\infty}\lambda_L}\left(\frac{\nu_L}{\nu_{V\infty}}\right)^{1/2}\times\frac{(T_{V\infty}-T_i)}{(T_i-T_w)}(-\Theta'_{FVi}) \tag{47}$$

$$\Phi_{Fi}=1 \tag{48}$$

$$1-\left(\frac{\rho_{V\infty}{}^2D_\infty}{\rho_{Vi}{}^2D_i}\right)\frac{R_\infty Sc_\infty\dot{M}_{FL}}{(-\Phi'_{Fi})}=\frac{W_{1V\infty}-W_{1L}}{W_{1Vi}-W_{1L}} \tag{49}$$

ここに

$$\dot{M}_{FL}=\frac{\dot{m}_x x}{\mu_L Re_L{}^{1/2}}=\frac{1}{2}F_{FLi} \tag{50}$$

$$Re_L=\frac{U_{V\infty}x}{\nu_L} \tag{51}$$

$$H_i=\frac{c_{pL}(T_i-T_w)}{\Delta h_V} \tag{52}$$

Pr はプラントル数，R は $\rho\mu$ 比，Sc はシュミット数，$'$ は η_{FL} あるいは η_{FV} に関する微分である．

式(31)～(49)の数値解から得られる壁面熱流束 q_{wx} および気液界面凝縮質量流束 $\dot{m}_x$ はそれぞれ次式で求められる．

$$q_{wx}\left(\frac{x}{U_{V\infty}}\right)^{1/2}=\frac{\lambda_L}{\sqrt{\nu_L}}(-\Theta'_{FLw})\ (T_i-T_w) \tag{53}$$

$$\dot{m}_x\left(\frac{x}{U_{V\infty}}\right)^{1/2}=(\rho_L\mu_L)^{1/2}\frac{F_{FLi}}{2} \tag{54}$$

表1は空気－水およびエタノール－水について得られた境界値の例を示す．数値解法は文献1)と同様であり，物性値には文献1)のものを用いた．

4. 代表物性値

気相の物性値を一定とみなすと，条件 p，$T_{V\infty}$，T_w が与えられた場合に，次の二つの式

$$0.433\left(1.367-\frac{0.432}{\sqrt{2\dot{M}_{FV}}}+\frac{1}{2\dot{M}_{FV}}\right)^{1/2}=\frac{Pr_L}{RH_i}\dot{M}_{FV}+C_F(Pr_V)\left(\frac{\lambda_V}{\lambda_L}\right)\left(\frac{\nu_L}{\nu_V}\right)^{1/2}\frac{(T_{V\infty}-T_i)}{(T_i-T_w)}\times(1+2.6Pr_V{}^{0.66}\dot{M}_{FV}{}^{1.05}) \tag{55}$$

$$\dot{M}_{FV}=\frac{C_F(Sc)}{Sc}\left(\frac{2.5}{1.5+W_R}\right)^m(W_R-1) \tag{56}$$

ここに

$$\dot{M}_{FV}=\frac{(\dot{m}_{1x}+\dot{m}_{2x})x}{\mu_V Re_V{}^{1/2}}=\frac{\dot{m}_x x}{\mu_V Re_V{}^{1/2}}=R\dot{M}_{FL} \tag{57}$$

$$Re_V=\frac{U_{V\infty}x}{\nu_V} \tag{58}$$

$$C_F(Pr_V)=\frac{Pr_V{}^{1/2}}{(27.8+75.8Pr_V{}^{0.306}+657Pr_V)^{1/6}} \tag{59a}$$

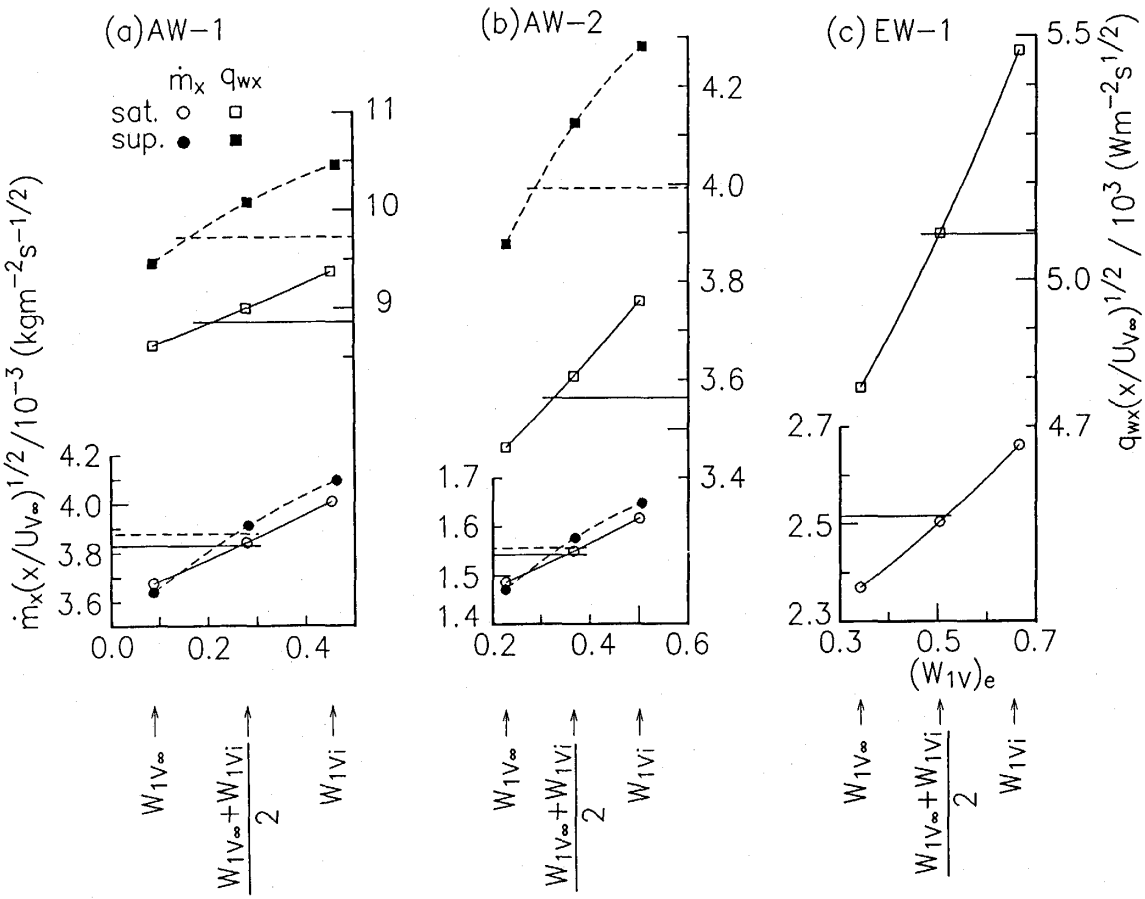

Fig. 2. Comparison of the algebraic solutions $(q_{wx})_e\,(x/U_{V\infty})^{1/2}$ from Eq. (62) (□−□: saturated, ■−■: superheated) and $(\dot{m}_x)_e\,(x/U_{V\infty})^{1/2}$ from Eq. (63) (○−○: saturated, ●−●: superheated) with the corresponding numerical solutions $q_{wx}(x/U_{V\infty})^{1/2}$ from Eq. (53) and $\dot{m}_x(x/U_{V\infty})^{1/2}$ from Eq. (54) (——: saturated, - - - -: superheated) in the case of forced-convection condensation of binary vapor mixtures.
(a) air-water (AW-1Sa and AW-1Su in Table 1),
(b) air-water (AW-2Sa and AW-2Su in Text 1),
(c) ethanol-water (EW-1Sa in Table 1).

$$C_F(Sc)=\frac{Sc^{1/2}}{(27.8+75.8Sc^{0.306}+657Sc)^{1/6}} \tag{59b}$$

$$W_R=\frac{W_{1Vi}-W_{1L}}{W_{1V\infty}-W_{1L}} \tag{60}$$

$$m=0.425+0.050Sc+0.011lnR \tag{61}$$

と相平衡の関数式の連立代数方程式を解き，$\dot{M}_{FV}$，T_i を求めると，次式

$$(q_{wx})_e\left(\frac{x}{U_{V\infty}}\right)^{1/2}=\frac{\lambda_L}{\sqrt{\nu_L}}\left[0.433\left(1.367-\frac{0.432}{\sqrt{2\dot{M}_{FV}}}+\frac{1}{2\dot{M}_{FV}}\right)\right]^{1/2}(T_i-T_w) \tag{62}$$

$$(\dot{m}_x)_e\left(\frac{x}{U_{V\infty}}\right)^{1/2}=(\rho_L\mu_L)^{1/2}\left(\frac{\dot{M}_{FV}}{R}\right)_e=(\rho_V\mu_V)_e^{1/2}(\dot{M}_{FV})_e \tag{63}$$

によって冷却面熱流束 $(q_{wx})_e$ および凝縮質量流束 $(\dot{m}_x)_e$ を計算することができる．式(53)と(62)あるいは式(54)と(63)とを比較することによって，代数解に用いるべき気相の代表物性値の評価濃度 W_{1V_r} および評価温度 T_{V_r} を求めることができる．

Table 2. Comparison between similarity solution and algebraic solution in the cases of (Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ), (Ⅳ) and (Ⅴ).
AW: air-water, EW: ethanol-water, Sa: saturated, Su: superheated.

		similarity solution	algebraic solution (Ⅰ) $W_{1V\infty}$	(Ⅱ) W_{1Vi}, T_V	(Ⅲ) mean of the values of (Ⅰ) and (Ⅱ)	(Ⅳ) $(W_{1Vi}+W_{1V\infty})/2$ and corresponding T_s	(Ⅴ) $(W_{1Vi}+W_{1V\infty})/2$ and $(T_i+T_{V\infty})/2$
		(Ti)	(Ti)	(Ti)	(Ti)	(Ti)	(Ti)
$\frac{q_{wx}(x/U_{V\infty})^{1/2}}{\mathrm{Wm^2s^{1/2}}\times10^3}$	AW-1Sa	8.86 (87.76)	8.63 (87.40)	9.37 (88.54)	9.00 (87.97)	9.00 (87.98)	8.88 (87.77)
	AW-2Sa	3.56 (86.36)	3.46 (86.26)	3.76 (86.64)	3.61 (86.45)	3.61 (86.45)	3.57 (86.39)
	EW-1Sa	5.09 (86.20)	4.78 (85.80)	5.47 (86.68)	5.13 (86.24)	5.10 (86.21)	5.10 (86.21)
	AW-1Su	9.72 (87.03)	9.47 (86.59)	10.46 (88.21)	9.96 (87.40)	10.08 (87.64)	9.97 (87.41)
	AW-2Su	3.99 (85.77)	3.88 (86.14)	4.28 (86.42)	4.08 (86.14)	4.07 (86.23)	4.07 (86.13)
$\frac{\dot{m}_x(x/U_{V\infty})^{1/2}}{\mathrm{kgm^{-2}s^{-1/2}}\times10^{-3}}$	AW-1Sa	3.83	3.68	4.01	3.84	3.84	3.79
	AW-2Sa	1.543	1.486	1.617	1.552	1.550	1.533
	EW-1Sa	2.52	2.37	2.66	2.52	2.50	2.50
	AW-1Su	3.88	3.64	4.09	3.87	3.91	3.87
	AW-2Su	1.557	1.471	1.648	1.559	1.576	1.557

図2(a), (b), (c) はそれぞれ表1の AW-1, AW-2, および EW-1 について，数値解と代数解との比較を示す．代数解には，図の横軸に矢印で示されているように，$W_{1V\infty}$（バルク），W_{1Vi}（気液界面）および $(W_{1V\infty}+W_{1Vi})/2$（算術平均濃度とそれに対応する飽和温度）における代表物性値がとってある．また，図中の□印は $(q_{wx})_e(x/U_{V\infty})^{1/2}$ を，○印は $(\dot{m}_x)_e(x/U_{V\infty})^{1/2}$ を示す．■印および●印は過熱度 100K の場合の□印および○印に対応する条件の代数解である．横棒線 —— （飽和）および - - - -（過熱）は表1の数値解の値である．いずれの場合も，算術平均濃度とそれに対応する飽和温度における物性値を代表値とした場合の $(q_{wx})_e$ および $(\dot{m}_x)_e$ は数値解に近い．

表2は表1の相以解の $(T_{V\infty}, W_{1V\infty}, T_w)$ について，物性値の取り方をかえて求めた代数解の $q_{wx}(x/U_{V\infty})^{1/2}$ と $\dot{m}_x(x/U_{V\infty})^{1/2}$ の値を示す．(Ⅰ) は $W_{1V\infty}$, $T_{V\infty}$, (Ⅱ) は W_{1Vi}, T_i, (Ⅲ) は (Ⅰ) と (Ⅱ) の結果の算術平均，(Ⅳ) は $(W_{1Vi}+W_{1V\infty})/2$ とそれに対応する飽和温度，(Ⅴ) は $(W_{1Vi}+W_{1V\infty})/2$, $(T_i+T_{V\infty})/2$ において評価された物性値の場合である．(Ⅰ) の物性値の取り方が最も簡単であるが(他の場合はいずれも繰り返し計算が必要)，q_{wx} についても $\dot{m}_x$ についても－3％～－6％の誤差がある．(Ⅱ)の場合の誤差は5％～8％である．(Ⅲ), (Ⅳ), (Ⅴ) において，q_{wx} については飽和蒸気の場合は2％以下の誤差で相似解と一致し，過熱蒸気の場合は約2～4％大きい値になっている．この誤差は代数解の精度の範囲内[1]にあると考えてよい．$\dot{m}_x$ についてはいずれも1％の誤差である．全体的に見ると (Ⅴ) の場合が最も精度が高い．表2の（　）の内の数値は T_i を示す．これらの値を用いて (T_i-T_w) に基づく液膜の熱伝達係数を算出すると，(Ⅲ), (Ⅳ), (Ⅴ) の欄のいずれについても，相似解との誤差は約0.5％以下である．

5. 結　　論

二成分混合蒸気の平板上の強制対流膜凝縮に関して，液膜の物性値は一定で，気相の物性値の濃度と温度による依存性を考慮した場合の相似変換された常微分方程式を空気－水およびエタノール－水の飽和混合蒸気および過熱混合蒸気について解いた．得られた数値解を基準にして，代数解，式(62)および式(63)により壁面熱流束および気液界面凝縮質量流束を求める際の気相の代表物性値の取り方について検討した．そして，次のいずれの代数解も同程度の精度で数値解に近いことを示した．

(1) バルクの状態と気液界面の状態で算出した熱流束の算術平均値と凝縮質量流束の算術平均値，(2)

バルクと気液界面における濃度の算術平均値とそれに対応する飽和温度に対応する物性値を用いた代数解，および（3）バルクと気液界面における濃度と温度の算術平均値に対応する物性値を用いた代数解.

本数値計算は九州大学大型計算機センターのFACOM N780-20によって行った.

文　　献

1) Fujii, T., "Theory of Laminar Film Condensation," Springer-Verlag, New York (1991).
2) 藤井　哲，李　鍾鵬，新里寛英，純蒸気の強制対流凝縮における液膜の代表物性値，九州大学機能物質科学研究所報告，**5**-2 (1991)，209-213.