

## プレートフィン熱交換器内の冷媒の凝縮および蒸発 伝熱特性

屋良, 朝康  
九州大学機能物質科学研究所

小山, 繁  
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/10.15017/6644>

---

出版情報：九州大学機能物質科学研究所報告．8 (1), pp.61-69, 1994-11-10. 九州大学機能物質科学研究所

バージョン：

権利関係：

## プレートフィン熱交換器内の冷媒の凝縮 および蒸発伝熱特性

屋 良 朝 康・小 山 繁・藤 井 哲

### Condensation and Evaporation of Refrigerants in a Plate Fin Heat Exchanger

Tomoyasu YARA, Shigeru KOYAMA and Tetsu FUJII

An experimental study of condensation and evaporation of pure and mixed refrigerants in a plate fin heat exchanger was carried out. Pure refrigerants of HCFC22 and HFC134a and binary refrigerant mixtures of HCFC22/CFC114 were tested in the ranges of heat flux from 10 to 65 [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ] and of mass velocity from 50 to 100 [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]. It is clarified that the heat transfer characteristics of condensation and evaporation in the experimental range are not affected by shear stress, but controlled by gravity force. The experimental values of local Nusselt number of both condensation and evaporation of pure refrigerants are ten times higher than the values predicted from a semi-empirical equation for free convection condensation heat transfer of pure refrigerant inside a vertical tube, while the experimental values of refrigerant mixtures are lower than the predicted values and the difference depends on molar fraction.

#### 1. 緒 言

著者ら<sup>(1)</sup>は、混合冷媒を作動媒体とした蒸気圧縮式熱交換システムのサイクル実験およびサイクルシミュレーションを行ない、高性能な熱交換器を用いれば混合冷媒システムの性能が純冷媒システムに比して高くなる可能性があることを明らかにした。そこで、高性能熱交換器として有望視されているプレートフィン熱交換器を試作し、それを凝縮器および蒸発器として用いた熱交換機システムのサイクル実験を行っているが、このシステムの熱的最適設計を行うには予めプレートフィン熱交換器の凝縮および蒸発伝熱特性を把握しておく必要がある。

プレートフィン熱交換器内での混合冷媒の凝縮に関する実験的研究としては CFC11/CFC12 を用いた

Shohtani<sup>(2)</sup>, HCFC22/CFC114 および CFC12/CFC114 を用いた Mitsuda ら<sup>(3)</sup>の研究があるが、これらはいずれも平均熱伝達特性について検討したものである。また、沸騰・蒸発に関しては CFC113 を用いた Chen ら<sup>(4)</sup>の研究があるが、混合冷媒の研究はほとんどなされていないようである。

本報では、鉛直に設置されたプレートフィン熱交換器内に上方より純冷媒 HCFC22 および HFC134a、並びに二成分混合冷媒 HCFC22/CFC114 を導入する場合の凝縮および蒸発実験を行い、局所の伝熱特性を検討する。

#### 記 号

$A_B$	: 小区間基底面積 [ $\text{m}^2$ ]
$c_p$	: 定圧比熱 [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]
$d$	: 水力相当直径 [ $\text{m}$ ]
$G$	: 質量速度 [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]

受理日 1994年7月12日

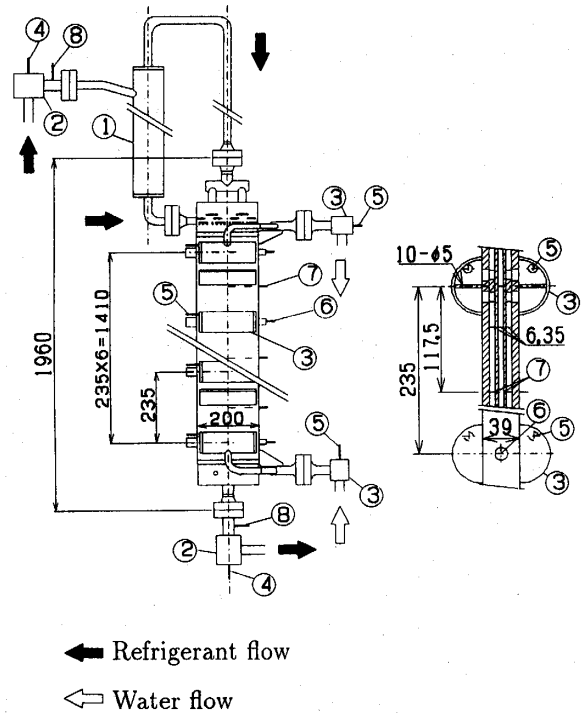
- $G_a$  : ガリレオ数
- $Nu$  : ヌセルト数
- $P$  : 圧力 [MPa]
- $Pr$  : プラントル数
- $Q$  : 伝熱量 [W]
- $q$  : 熱流束 [ $W/m^2$ ]
- $Re$  : レイノルズ数
- $T$  : 温度 [ $^{\circ}C$ ]
- $x$  : クオリティ
- $y$  : 低沸点成分のモル分率
- $\alpha$  : 熱伝達係数 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]
- $\Delta T$  : 伝熱面測定温度と各小区間の入口と出口の冷媒バルク温度の算術平均値との差
- $\lambda$  : 熱伝導率 [ $W/(m \cdot K)$ ]
- $\mu$  : 粘度 [ $Pa \cdot s$ ]
- $\nu$  : 動粘性係数 [ $m^2/s$ ]
- $\rho$  : 密度 [ $kg/m^3$ ]
- $X_{tt}$  : Lockhart-Martinelli のパラメータ

添 字

- b : バルク
- exp : 実験値
- in : 入口
- L : 液
- out : 出口
- r : 冷媒
- s : 熱源水
- V : 蒸気
- w : 伝熱面

2. 実験装置および測定方法

図1は、試験に用いたアルミニウム合金製プレートフィン蒸発器の概略図である。鉛直に設置された試験蒸発器は下向きに冷媒が流れる流路（セレートフィン：高さ6.35mm，流路幅170mm）とその両サイドに冷媒とは逆向きに熱源水が流れる流路（プレーンフィン：高さ6.35mm，流路幅170mm）を設けた三層構造であり，その外形寸法は高さ1960mm×幅200mm×厚さ39mmである。ここに，熱源水流路は局所の熱流束が算出できるように235mmの小区間に6分割されている。冷媒は蒸発器の上流側に設置された気液分離器（図1の①）によって液と蒸気に分離される。液は試験蒸発器内上部の細孔管（直径1.5mmの細孔をピ



- ① Separator
- ② Mixing chamber (Refrigerant)
- ③ Mixing chamber (Heating Water)
- ④ Resistance thermometer (Refrigerant)
- ⑤ Resistance thermometer (Heating Water)
- ⑥ Thermocouple (Refrigerant)
- ⑦ Thermocouple (Wall)
- ⑧ Pressure measuring tap

Fig. 1 Schematic view of evaporator

ッチ10.6mmで15個設けた外径17.3mm，内径10.9mmのアルミニウム合金製の管）から冷媒流路に分配され，蒸気は細孔管の上方より試験蒸発器へ導入される。表1に試験蒸発器の仕様を，図2にフィン部詳細を示す。なお，試験凝縮器は細孔管がないことを除けば試験蒸発器とほぼ同じ構造寸法で，鉛直に設置されており，冷媒は下向き，熱源水は上向きに流れる。

試験凝縮器および試験蒸発器を，水を熱源とする蒸気圧縮式熱変換機（ヒートポンプ・冷凍機）ループ<sup>(1)</sup>に組み込み，供試流体として，純冷媒 HCFC22 および HFC134a ならびに混合冷媒 HCFC22/CFC114 を用いて実験を行った。表2に実験範囲を示す。実験では以下の諸量を測定した。

- (1) 冷媒の質量流量

Table 1 Specifications for test heat exchanger

		Refrigerant pass	Water pass
Fin type		250S1808 Serrated Fin	250P1212 Plain Fin
Number of Fin	N	115	74
Fin spacing	a [mm]	1.478	2.297
Plate spacing	b [mm]	6.35	6.35
Fin thickness	$\delta_f$ [mm]	0.203	0.305
Hydraulic diameter	d [mm]	2.11	3.00
Plate width	D [m]	0.17	0.17
Effective heat transfer length	l [m]	0.22×6	0.22×6
Cross section area	S [m <sup>2</sup> ]	9.01×10 <sup>-4</sup>	8.91×10 <sup>-4</sup>
Number of layers		1	2
Number of section	i [section]	6	6
Base surface area	A <sub>B</sub> [m <sup>2</sup> ]	0.4488	0.4488
Real surface area	A <sub>R</sub> [m <sup>2</sup> ]	2.253	1.570
Increasing ratio of surface area	E [-]	5.02	3.50

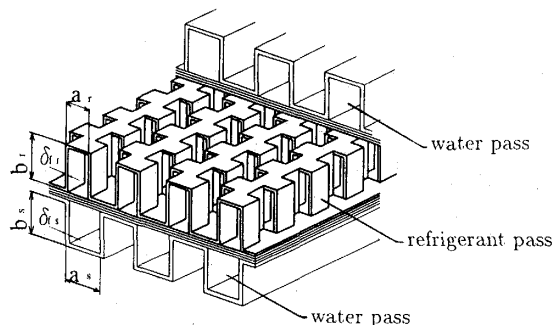


Fig. 2 Detail of serrated and plain fin

(マイクロモーション質量流量計)

- (2) 熱源水体积流量(オーバル容積流量計)
- (3) 凝縮器・蒸発器出入口での冷媒圧力  
(絶対圧計, 図1の⑧)
- (4) 凝縮器・蒸発器出入口での冷媒混合平均温度  
( $\phi$ 2mm シース Pt100 測温抵抗体, 図1の④)
- (5) 各小区間出入口での熱源水混合平均温度  
( $\phi$ 2mm シース Pt100 測温抵抗体, 図1の⑤)
- (6) 各小区間出入口での冷媒温度  
( $\phi$ 0.5mm シース K 熱電対, 図1の⑥)
- (7) 各小区間中央での伝熱面温度  
( $\phi$ 0.5mm シース K 熱電対, 図1の⑦)
- (8) 蒸発器出口の冷媒蒸気モル分率  
(ガスクロマトグラフ  
: 参考のため, 校正方法を付録に示す)

Table 2 Experimental range

Test fluid	y [mol%]	q [kW/m <sup>2</sup> ]	G [kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
HCFC22	Pure	15~60	50, 70, 100
HCFC22/CFC114	90	10~50	50, 75, 100
HCFC22/CFC114	50	10~65	50, 80, 100
HFC134a	Pure	10~65	50, 75, 100

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 試験熱交換器内の温度分布特性

図3 (a) および (b) は, それぞれ純冷媒 HCFC22 および混合冷媒 50mol%HCFC22/50mol%CFC114 の試験凝縮器内での温度, 熱流束, クオリティの冷媒流れ方向分布を示す。○, △および□印はそれぞれ熱源水温度  $T_s$ , 冷媒温度  $T_r$  および伝熱面温度  $T_w$  の測定値, 実線は冷媒流路両サイドの熱源水および伝熱面測定温度の算術平均値をそれぞれ一次式補間したもの, ●印は熱流束  $q$  の測定値, ◇印および破線はそれぞれ冷媒の熱収支式より求めたクオリティ  $x$  および冷媒バルク温度  $T_b$  の計算値(詳細は文献(5)参照)を示す。純冷媒および混合冷媒いずれの場合も, 本実験条件では, 過熱蒸気で流入した冷媒は, 第1セクションで凝縮を開始し, 第6セクションで凝縮を終了する。そして, ほぼ飽和液状態で流出する。飽和域において,

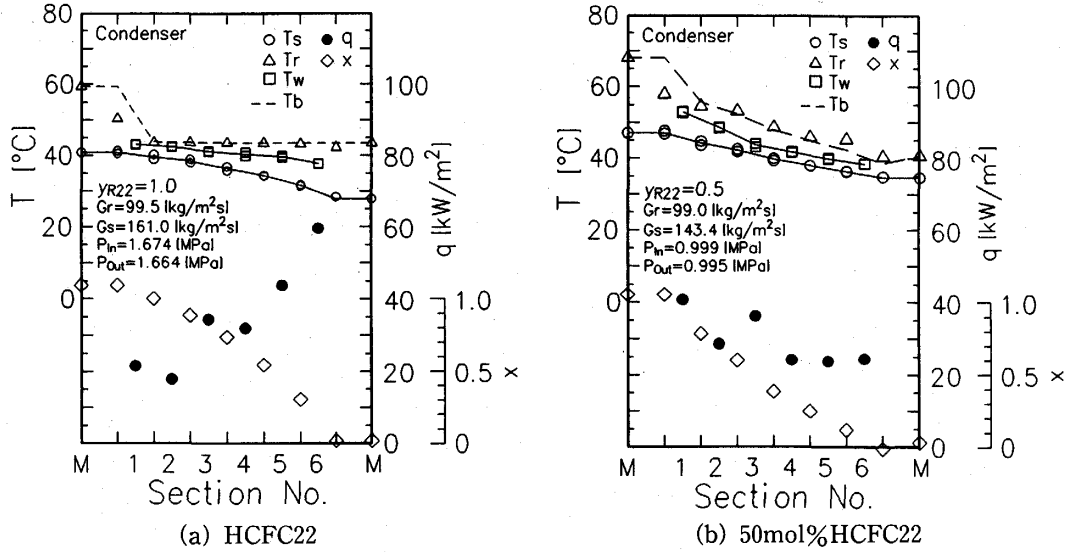


Fig. 3 Temperature, heat flux and quality profiles in condenser

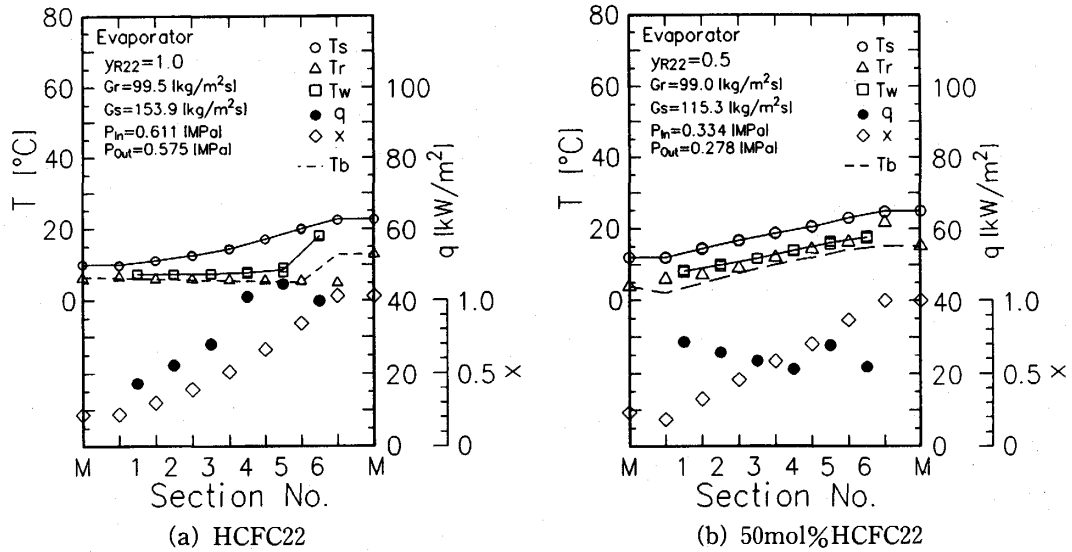


Fig. 4 Temperature, heat flux and quality profiles in evaporator

純冷媒の場合 (図 (a)) は、冷媒流れ方向に、熱流束は大きくなり、冷媒測定温度は一定である。一方、混合冷媒の場合 (図 (b)) は、冷媒流れ方向に、熱流束は減少し、冷媒測定温度は低下する。なお、純冷媒および混合冷媒いずれの場合も冷媒の測定温度は第1セクション入口を除きバルク温度とほぼ一致している (ここに、第1セクション入口の冷媒測定温度がバルク温度より低い原因は、冷媒と熱源水との熱交換が温度測定位置の上流より開始していることによると考えられる)。

図 4 (a) および (b) は、それぞれ純冷媒 HCFC22 および混合冷媒 50mol%HCFC22/50mol%CFCl<sub>3</sub>

の試験蒸発器内の温度、熱流束およびクオリティの冷媒流れ方向の分布を示す。図中のシンボルは図2と同じである (なお、クオリティ  $x$  および冷媒バルク温度  $T_b$  の算出法は文献(6)参照)。純冷媒の場合 (図 (a))、飽和域では、冷媒流れ方向に、熱流束は大きくなり、冷媒測定温度はほぼ一定でバルク温度と一致している。また、伝熱面測定温度は冷媒流れ方向にやや上昇し、第6セクションで急激に上昇する。ここに、第6セクションにおいて出口の冷媒測定温度は伝熱面測定温度より低いのが、これは蒸発の進行に伴い冷媒の液と蒸気の偏流が生じることと冷媒温度と伝熱面温度の測定位置が異なることによると考えられる。混合

冷媒の場合 (図 (b)), 飽和域では, 冷媒流れ方向に, 熱流束はわずかに減少し, 冷媒測定温度は上昇する。なお, 冷媒測定温度はバルク温度よりも若干高い値を示している。

### 3.2 熱伝達

熱伝達特性の検討は, 凝縮の場合は入口の過熱蒸気域 (冷媒飽和温度より伝熱面温度が高い領域) と出口の過冷液域を除いた二相域のデータについて, 蒸発の場合は小区間出口のクオリティが0.8以下の二相域のデータについて行った。ここに, 冷媒バルク温度と伝熱面温度との差が1.0 (K) 以下のデータは測定誤差の影響が大きいと思われるので除外した。

小区間の熱伝達係数  $\alpha_{exp}$  (以下, 局所熱伝達係数と呼ぶ) は次式で定義した。

$$\alpha_{exp} = \frac{Q}{A_B \cdot \Delta T} \quad (1)$$

ここに,  $Q$  は小区間での伝熱量,  $\Delta T$  は小区間中央位置での伝熱面測定温度と小区間の出入口での冷媒バルク温度の算術平均値との差,  $A_B$  はフィン面積を考慮しない小区間基底面積である。

局所ヌセルト数は次式で定義した。

$$Nu_{Ld} = \frac{\alpha_{exp} \cdot d}{\lambda_L} \quad (2)$$

ここに,  $d$  は水力相当直径,  $\lambda_L$  は液熱伝導率である。

#### 3.2.1 凝縮熱伝達特性

局所ヌセルト数の実験値を, 鉛直平滑管内での共存対流凝縮に関する理論解析によって得られた以下に示す半実験式<sup>(7)</sup>と比較する。

強制対流凝縮域:

$$Nu_{LF} = 0.2145 \left( \frac{1 + 1.22 \chi_{tt}^{0.2}}{\chi_{tt}} \right) Re_{Ld}^{0.4} (1 + b Re_{Ld}^m)^{0.25} \quad (3)$$

ここに,

$$a_D = \begin{cases} 9.0 - \frac{Re_{vd}^{0.83}}{1.1 \times 10^4} & (Re_{vd} < 4.53 \times 10^5) \\ 4.5 & (Re_{vd} \geq 4.53 \times 10^5) \end{cases} \quad (4)$$

$$b = \frac{1}{4} \left( 0.366 + \frac{0.051}{Pr_L^{0.8}} - 0.03 a_D \right)^4 \quad (5)$$

$$m = 2.0 - \frac{0.76}{Pr_L^{0.5}} \quad (6)$$

$$Re_{Ld} = \frac{G(1-x)d}{\mu_L} \quad (7)$$

$$Re_{vd} = \frac{Gx d}{\mu_v} \quad (8)$$

$$\chi_{tt} = \left( \frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{0.5} \left( \frac{\mu_L}{\mu_v} \right)^{0.1} \quad (9)$$

$$Pr_L = \frac{C_{pL} \mu_L}{\lambda_L} \quad (10)$$

$$x = \frac{x_{in} + x_{out}}{2} \quad (11)$$

自由対流凝縮域:

$$Nu_{LC} = \begin{cases} \left( \frac{4}{3} \frac{Ga_{Ld}}{Re_{Ld}} \right)^{\frac{1}{3}} \{ 1 + a(Re_{Ld} - 108)^m \\ \times \left( 1 - \exp \left( \frac{-b}{Re_{Ld} - 108} \right) \right)^n \} & (Re_{Ld} > 108) \\ \left( \frac{4}{3} \frac{Ga_{Ld}}{Re_{Ld}} \right)^{\frac{1}{3}} & (Re_{Ld} \leq 108) \end{cases} \quad (12)$$

ここに,

$$a = (5.96 \times 10^{-5}) Pr_L^{1.21} \quad (13)$$

$$b = 428 Pr_L^{-0.045} \quad (14)$$

$$m = 1.74 - 0.3 Pr_L^{0.29} \quad (15)$$

$$n = 1.25 - 0.349 Pr_L^{0.29} \quad (16)$$

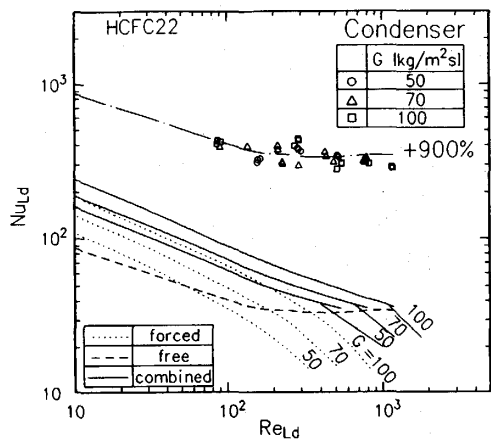
$$Ga_{Ld} = \frac{gd^3}{\nu_L^2} \quad (17)$$

共存対流凝縮域:

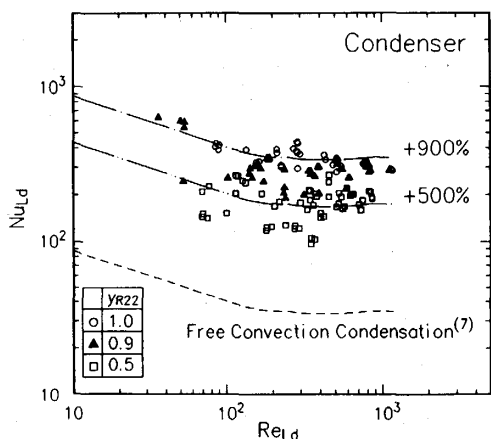
$$Nu_{LFC} = \left\{ (Nu_{LF})^{1.4} + (Nu_{LC})^{1.4} \right\}^{\frac{1}{1.4}} \quad (18)$$

図5 (a) に, 純冷媒 HCFC22 の局所ヌセルト数  $Nu_{Ld}$  と膜レイノルズ数  $Re_{Ld}$  の関係を示す。○, △および□印はそれぞれ質量速度  $G \cong 50, 70$  および  $100$  [kg/(m<sup>2</sup>·s)] のデータを示す。破線, 点線および実線は, それぞれ自由対流域 (式(12)), 強制対流域 (式(3)) および共存対流域 (式(18)) の鉛直平滑管内凝縮に関する半実験式<sup>(7)</sup>を示す。本実験範囲では, 局所ヌセルト数は質量速度の影響をほとんど受けず, 凝縮の進行 ( $Re_{Ld}$  の増加) に伴い若干低下しほぼ一定値となる。また, 局所ヌセルト数は鉛直管内の自由対流凝縮の式 (破線) とほぼ同じ傾向にあるが, 約10倍高い値となっている。参考に破線の  $Nu_{Ld}$  を10倍した値を一点鎖線で示す。以上より, 試験凝縮器の伝熱特性は, 本実験範囲においては自由対流支配であると考えられる。

図5 (b) は図5 (a) に混合冷媒のデータを加えたものである。○印は HCFC22 純冷媒, ▲印は90mol% HCFC22/10mol% CFC114, □印は50mol% HCFC22/50mol% CFC114 のデータを示す。純冷媒 HCFC22 に比して混合冷媒の局所ヌセルト数は90mol% HCFC22 では30%, 50mol% HCFC22 では70%低くなる。このような混合冷媒の局所ヌセルト数の低下は蒸気相の物質伝達によって引き起こされるものである。



(a) HCFC22



(b) HCFC22/CFC114 mixture

Fig. 5 Relation between  $Nu_{Ld}$  and  $Re_{Ld}$  (Condenser)

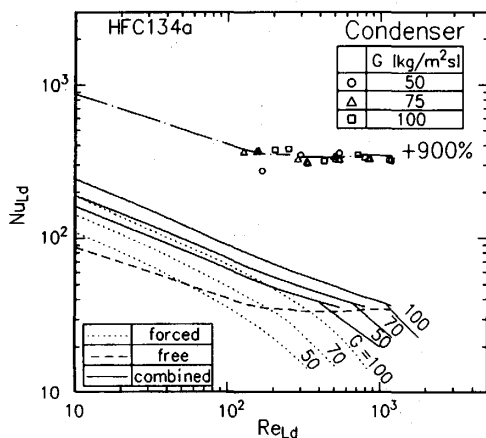
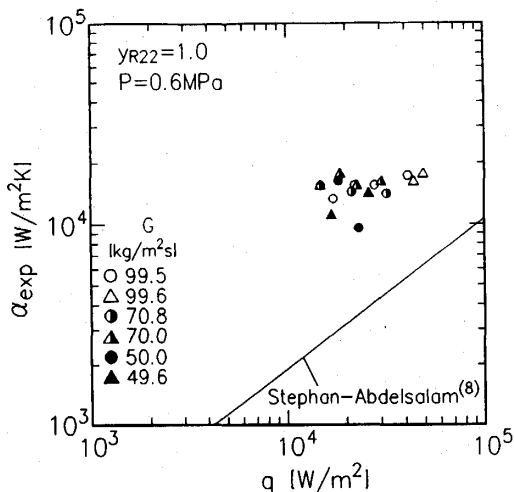
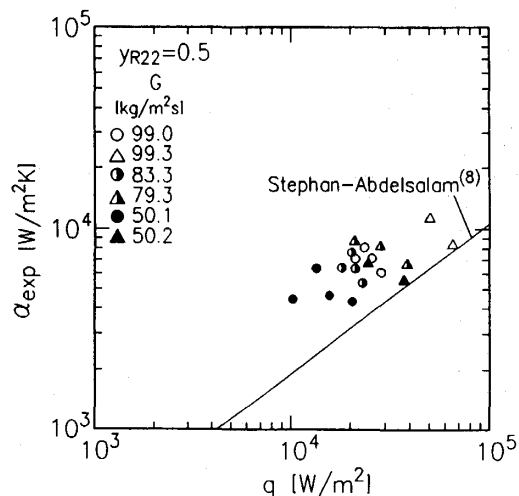


Fig. 6 Relation between  $Nu_{Ld}$  and  $Re_{Ld}$  (Condenser)

図6は、純冷媒 HFC134a の局所ヌセルト数  $Nu_{Ld}$  と膜レイノルズ数  $Re_{Ld}$  の関係を示す。図中の○、△および□印はそれぞれ質量速度  $G \cong 50, 75$  および  $100$  [kg/( $m^2 \cdot s$ )] のデータを示す。HFC134a の局所ヌセルト数は、HCFC22 の場合と同様に  $Re_{Ld}$  によらずほぼ一定値であり、質量速度の影響を受けていない。



(a) HCFC22



(b) 50mol%HCFC22

Fig. 7 Relation between  $\alpha_{exp}$  and  $q$

び□印はそれぞれ質量速度  $G \cong 50, 75$  および  $100$  [kg/( $m^2 \cdot s$ )] のデータを示す。HFC134a の局所ヌセルト数は、HCFC22 の場合と同様に  $Re_{Ld}$  によらずほぼ一定値であり、質量速度の影響を受けていない。

### 3.2.2 蒸発熱伝達特性

図7(a)は純冷媒 HCFC22 の局所熱伝達係数  $\alpha_{exp}$  と熱流束  $q$  の関係を示す。白抜き、半塗りおよび黒塗り印はそれぞれ質量速度  $G \cong 100, 70$  および  $50$  [kg/( $m^2 \cdot s$ )] のデータである。実線は、Stephan-Abdelsalam の実験式<sup>(8)</sup>による HCFC22 の圧力  $0.6$  MPa における核沸騰の熱伝達係数を示す。本実験範囲では、局所熱伝達係数は熱流束および質量速度によらずほぼ一定値であり、実線とは異なる傾向を示す。

図7 (b) は、混合冷媒50mol% HCFC22/50mol% CFC114の局所熱伝達係数 $a_{exp}$ と熱流束 $q$ の関係を示す。混合冷媒の熱伝達係数には純冷媒の場合と同様に熱流束および質量速度の影響が明確には現れていない。また、図7 (a) および (b) より、混合冷媒の熱伝達係数は純冷媒よりも低いことがわかる。

鉛直平滑平板上を流下する液膜の蒸発熱伝達特性は沸騰を伴わない場合は鉛直平滑管内の自由対流凝縮の熱伝達特性と類似であると思われるので、以下に本実験結果と式(12)を比較する。

図8 (a) は、純冷媒 HCFC22 の局所ヌセルト数 $Nu_{Ld}$ と膜レイノルズ数 $Re_{Ld}$ の関係を示す。図中のシンボルは図5 (a) と同じである。破線および一点鎖線は、それぞれ鉛直平滑管内の自由対流凝縮熱伝達の半実験式<sup>(7)</sup>による値およびその10倍の値を示す。本実験範囲では、凝縮と同様に、局所ヌセルト数への質量速度の影響は現れず、局所ヌセルト数は一点鎖線とほぼ一致している。以上より、本プレートフィン蒸発器では液膜表面からの自由対流蒸発が支配的であることが示唆される。

図8 (b) は図8 (a) に混合冷媒のデータを加えたものである。図中のシンボルは図5 (b) と同じである。混合冷媒の局所ヌセルト数は純冷媒に比して90 mol% HCFC22 では50%、50mol% HCFC22 では60%低い。

図9 は純冷媒 HFC134a の局所ヌセルト数 $Nu_{Ld}$ と膜レイノルズ数 $Re_{Ld}$ の関係を示す。図中のシンボルは図6と同じである。本実験範囲においては、局所ヌセルト数には質量速度の影響は現れない。これはHCFC22の蒸発の場合と同じである。

#### 4. 結 論

(1) 純冷媒の局所凝縮熱伝達係数は質量速度の影響をほとんど受けず、鉛直平滑管内の自由対流凝縮の半実験式<sup>(7)</sup>と同様の傾向を示す。このことは、プレートフィン凝縮器の伝熱特性は本実験範囲においては自由対流凝縮支配であることを示している。

(2) 純冷媒の局所蒸発熱伝達係数は質量速度および熱流束の影響によらずほぼ一定の値を示す。これは、本プレートフィン蒸発器では、液膜表面からの自由対流蒸発が支配的であることを示している。

(3) 純冷媒の局所熱伝達係数は、凝縮および蒸発のいずれの場合も鉛直平滑管内の自由対流凝縮の半実験

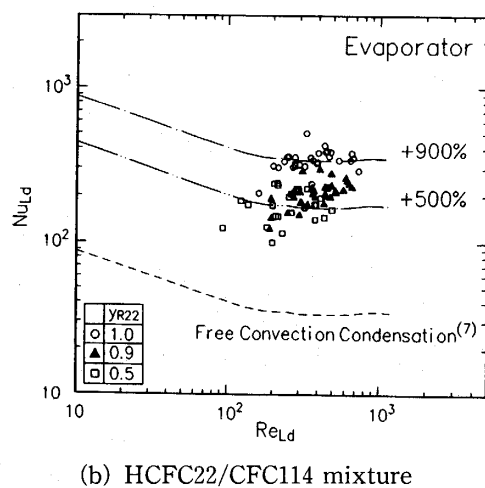
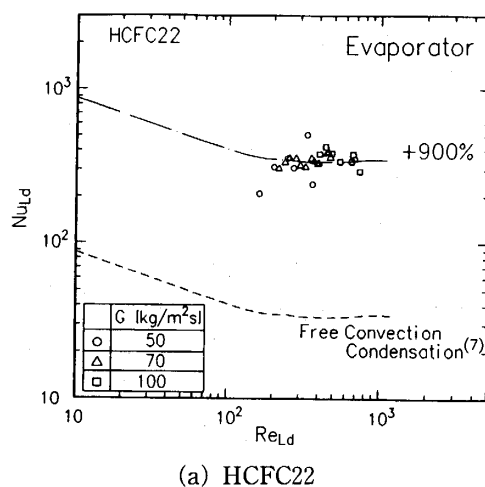


Fig. 8 Relation between  $Nu_{Ld}$  and  $Re_{Ld}$  (Evaporator)

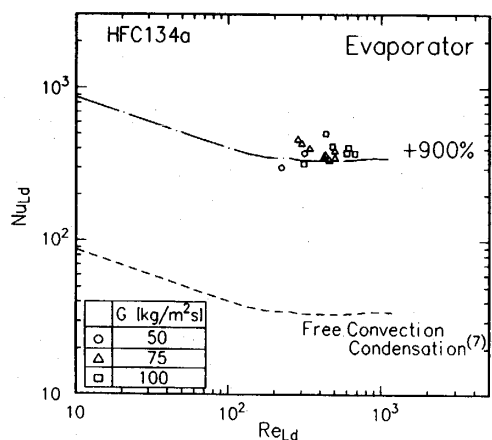


Fig. 9 Relation between  $Nu_{Ld}$  and  $Re_{Ld}$  (Evaporator)



式(7)の約10倍高い値である。

(4)凝縮および蒸発いずれの場合も、混合冷媒の局所熱伝達係数は、純冷媒に比して低く、その低下の程度は混合冷媒の組成比に依存する。

なお、本研究費の一部は文部省科学研究費試験研究B(No.04555049)による。本研究用のプレートフィン熱交換器は住友精密工業株式会社殿に試作して頂いた。実験およびデータ整理には九州大学大学院生の三淵哲寛君(当時)、河本貴雄君(当時)並びに大原順一君(現)に協力して頂いた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- (1)藤井・小山・高松・新里・屋良, 九州大学機能物質科学研究所報告, 5-2, (1991), 125.
- (2)H.Shohtani, Proceedings of the second international symposium on condensers & condensation, (1990), 367.
- (3)M.Mitsuda, N.Kanzaki, M.Yamamoto, H.Sonoi, Proceedings of the second international symposium on condensers & condensation, (1990), 357.
- (4)C.C.Chen, J.V.Loh and J.W.Westwater, Int.J.Heat Mass Transf., 24-12 (1981), 1907.
- (5)小山・宮良・藤井・高松・米本, 機論(B), 54-502, (1988), 1447.
- (6)宮良・高松・小山・米本・藤井, 機論(B), 54-505, (1988), 2523.
- (7)C.O.Dilao, 博士論文, 九州大学, (1993).
- (8)K.Stephan and M.Abdelsalam, Int.J.Heat Mass Transf., 23-1 (1980), 73.

### 付録

#### ガスクロマトグラフの校正

##### A-1 試料ガス

ガスクロマトグラフの校正に用いる試料ガスのモル分率は、従来、圧力および温度を測定し状態方程式を用いて算出していたが、校正精度をさらに向上させるために、ベッセルに封入したガスの質量を直接測定することにより求める方法に変更した。

##### A-2 校正手順

図 A-1 は校正に用いたベッセルの概略図である。ベッセルは銅製で、外径 49.6mm, 長さ 250.8mm の円筒

にバルブを付けたものである。その重量は 801.34g で、内容積は 417.39cc である。以下に校正手順を述べる。

- (1)ベッセルの中を真空引きする (20分程度)。
- (2)ベッセルの質量を測る (W とする)。
- (3)高沸点成分を封入しベッセルの質量を測る ( $W_2$  とする)。
- (4)低沸点成分を封入しベッセルの質量を測る ( $W_1$  とする)。
- (5)よく混ざるようにベッセルを振りながらしばらく時間をおく (1時間程度)。
- (6)低沸点成分のモル分率を次式より求める。

$$y = \frac{\frac{W_1 - W_2}{M_1}}{\frac{W_1 - W_2}{M_1} + \frac{W_2 - W}{M_2}} \quad (A-1)$$

ここに、 $y$  は低沸点成分のモル分率、 $M_1$  は低沸点成分の分子量、 $M_2$  は高沸点成分の分子量である。

##### A-3 校正結果

図 A-2 に HCFC22/CFC114 のガスクロマトグラフの校正結果を示す。□印は従来の方法で、○印は今回採用した方法で得られたデータである。□印と○印はよく一致しており、今回採用した方法は圧力および温度を測定する必要がなく簡単に測定誤差も少ないと思われるので、著者らはこの方法を推奨する。なお、実線は最小自乗法により求めた近似式で次式で表される。

$$y_{R22} = A_0 + A_1 \times A_{R22} + A_2 \times A_{R22}^2 \quad (A-2)$$

$$A_0 = 0.0056$$

$$A_1 = 1.3333$$

$$A_2 = -0.3438$$

ここに、 $y_{R22}$  は HCFC22 のモル分率、 $A_{R22}$  は HCFC22 の面積比である。

なお、本校正に用いたガスクロマトグラフは Yanaco G2800T 型 (カラム: ポラパック Q) で、その設定条件は以下のようにした。

INJECT : 150°C  
 DETECTOR : 150°C  
 COLUMN : 150°C  
 CURRENT : 80mA

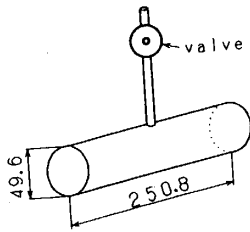


Fig. A-1 Schematic view of vessel

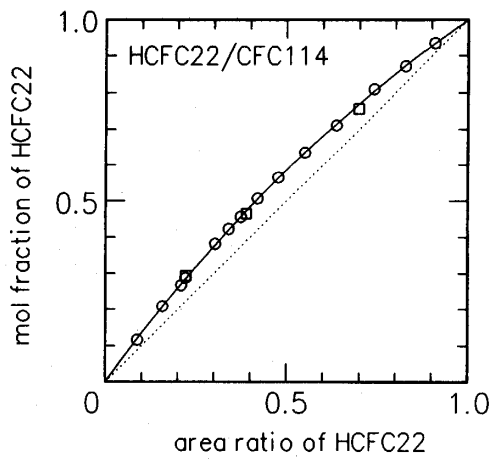


Fig. A-2 Relation between mol fraction and area ratio