

## 高圧域における限界熱流束に関する研究

大野, 正規

<https://doi.org/10.11501/3172469>

---

出版情報 : 九州大学, 2000, 博士 (工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

## 第5章 傾斜管の限界熱流束

本章では、第3章の垂直管および第4章の水平管の実験データとも合わせて、傾斜管の限界熱流束および限界クオリティの特性を分類するとともにその発生条件をさらに明らかにして、その発生機構を推測<sup>(88)</sup>する。そして、得られた特性域の境界の式と、第3章および第4章で得た垂直管および水平管の限界熱流束の整理式とを関連付けて、全傾斜角に適用できる限界熱流束の整理式を作成する。

### 5.1 テストセクションと実験条件

傾斜管の実験に用いたテストセクションは第3章と第4章で説明した垂直管用(加熱長さ2m)および水平管用(加熱長さ3m)のものである。図5.1は加熱長さ3mの水平管用のテストセクションを水平から上向きに傾斜角度 $\theta^\circ$ の場合の例を示す。管外表面には、軸方向に125mmごと(加熱長さ2mの管では100mmごと)の断面の管頂点と底点に、さらに加熱終端より50mm上流(加熱長さ2mの管では20mm上流)の断面の管周上頂点から底点まで $45^\circ$ の間隔の各点にも、それぞれ熱電対が取り付けられている。水平からの傾斜角 $\theta$ が $60^\circ$ 未満の場合には、加熱長さ3mの管を用いてデータを得たが、それ以上の傾斜角の場合には、実験室の高さの制限のため、短い2mの管を使用した。ただし、傾斜角 $45^\circ$ の条件では、一部2mの管でもデータを得ている。表5.1は傾斜管における実験条件を示す。なお、実験で得たデータを付録2に示す。

### 5.2 実験結果と考察

#### 5.2.1 加熱管長の影響

図5.2は異なる加熱管長における限界熱流束 $q_c$ を管出口クオリティ $x$ に対して示したものである。加熱管長2mの管出口(厳密には入口から1.98mの位置)で限界状態が発生したデータを黒塗りマークで、加熱長さ3mの管出口(厳密には入口から2.95mの位置)で限界状態が発生したデータを白抜きマークでそれぞれ示す。両者には有意の差は認められない。このように、限界熱流束は加熱管長が比較的長ければ加熱管長の影響を受けず、傾斜管においても、局所条件の仮説がなりたっていると考えてよい。同図に示す傾斜管のデータの入口クオリティ $x_i$ は、前述した垂直管( $x_i \leq 0.2$ )と水平管( $x_i \leq 0$ )の場合のほぼ中間に設定して、

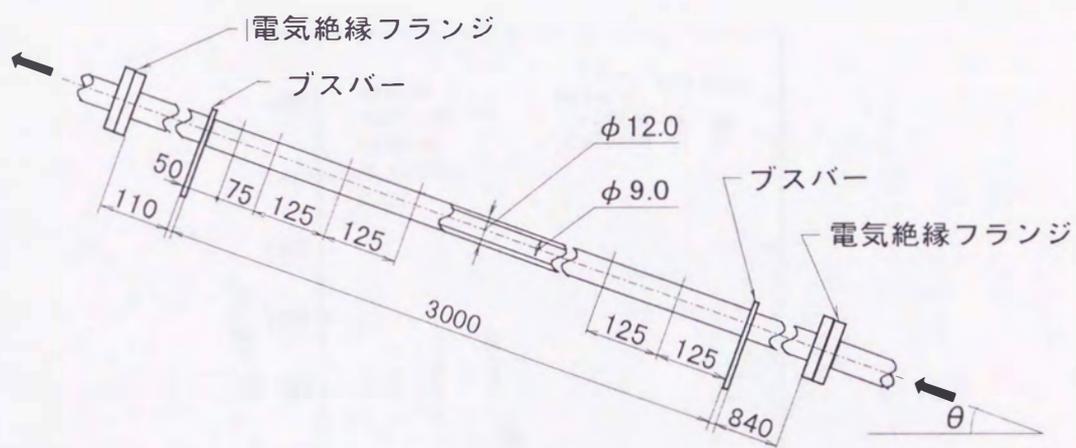


図5.1 テストセクション

表5.1 実験条件

流体の種類	HCFC-22
管傾斜角度 $\theta$ °	2,5,10,22, 45,60,68,81
管内径 $D$ mm	9.0
加熱長 $L$ m (加熱長/管内径 $L/D$ )	1.98, 2.95 (220,328)
圧力 $P$ MPa (換算圧力) (気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ )	3.0 4.2 (0.60 0.84) (0.151 0.306)
質量速度 $G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	400~2600
入口サブクールエンタルピー $\Delta h_i$ kJ/kg (入口クオリティ $x_i$ )	-14~110 (-1.4~0.1)
測定点数 $N$	275

0.1程度以下とした。なお、後述する傾斜管の限界熱流束の検討に使用する実験データについても同様とする。

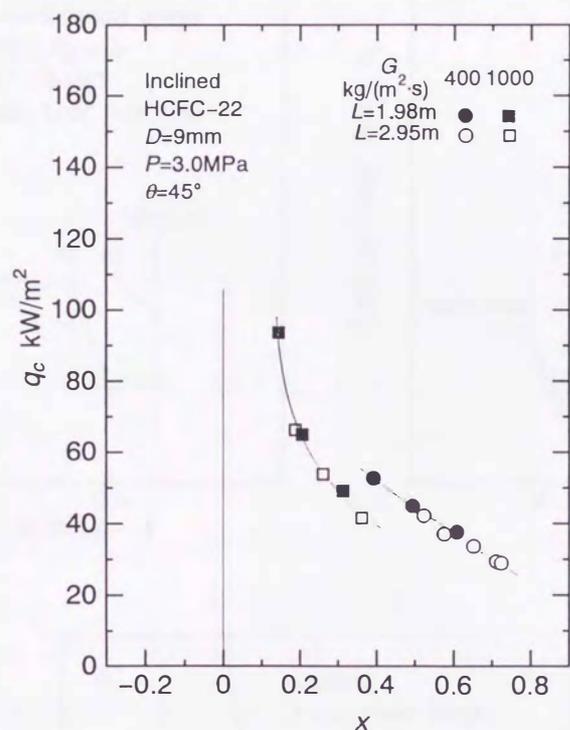


図5.2 傾斜管の限界熱流束に及ぼす加熱長の影響

### 5.2.2 限界熱流束の特性の分類とその発生条件

図5.3は、水平から垂直までの各傾斜角を持つ管の限界熱流束の一般的特性を限界熱流束 $q_c$ と管出口クオリティ $x$ の関係で概念的に示すが、同図(a),(b)および(c)は低、中および高質量速度による場合のものである。傾斜管における限界熱流束は、垂直管や水平管の場合と同様に出口クオリティの増加とともに減少し、傾斜角の増大とともに、後述する一部の例外を除いて、一般に水平管の値から垂直管の値まで増加する傾向を示している。

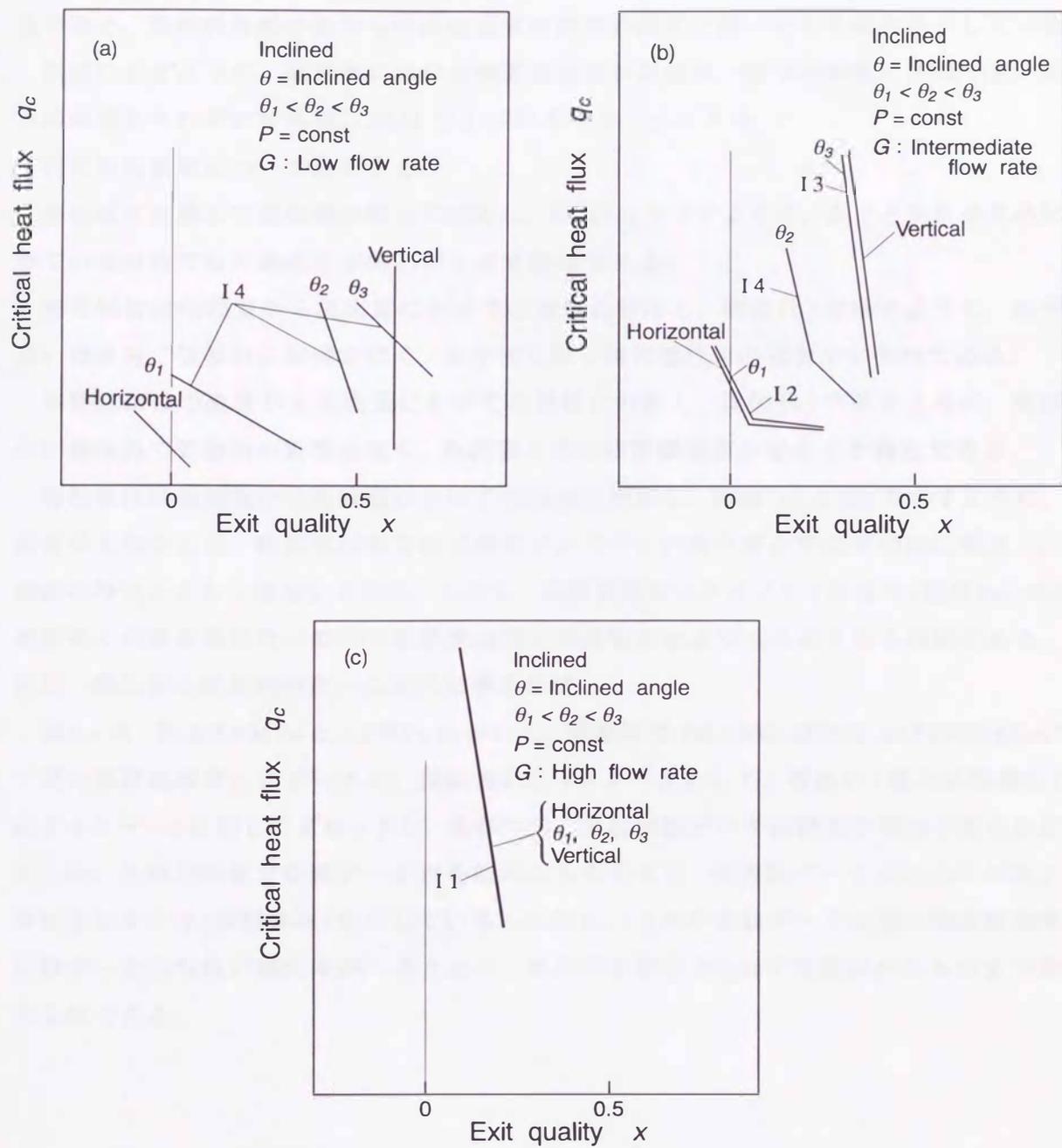


図5.3 傾斜管の限界熱流束と出口クオリティの関係(一般的特性)

傾斜管の限界熱流束は、低流量の場合(同図(a))には低傾斜角から高傾斜角にかけてその差が大きいが、高流量の場合(同図(c))には管傾斜の影響がなくなり同一となる傾向を示している。また、この両者の中間の流量の場合(同図(b))には低傾斜角側の管の限界熱流束は水平管と、高傾斜角側の管のものは垂直管の限界熱流束と同一となる傾向を示している。

同図に示すように、傾斜管における限界熱流束の特性は、四つの特性に分類でき、それらの領域をそれぞれ特性域I1,I2,I3およびI4と呼ぶことにする。

次に各特性域について説明する。

特性域I1は極めて高流量の場合に対応し、同図(c)で示すように、水平と垂直を含めたすべての傾斜角で限界熱流束が同じ値を示す特性である。

特性域I2は低流量から高流量にかけての流量に対応し、同図(b)で示すように、水平に近い傾斜角で管傾斜の影響がなく、水平管と同じ限界熱流束の値を示す特性である。

特性域I3は中流量から高流量にかけての流量に対応し、同図(b)で示すように、垂直に近い傾斜角で管傾斜の影響がなく、垂直管と同じ限界熱流束の値を示す特性である。

特性域I4は低流量から高流量にかけての流量に対応し、同図(a)と(b)で示すように、傾斜角の大部を占め、限界熱流束または限界クオリティが水平管と垂直管の間に存在し、管傾斜の増加とともに増加する特性。ただし、低流量高出口クオリティの場合(同図(a))には、垂直近くのある傾斜角の範囲で限界熱流束が垂直管の値よりも大きくなる特性がある。

次に、傾斜管の限界熱流束の具体的な例を示す。

図5.4は、圧力3.0 MPaと4.2 MPaにおいて、質量速度400, 1000, 1850 および2600 kg/(m<sup>2</sup>·s)で得た限界熱流束 $q_c$ のデータを、傾斜角 $\theta$ をパラメータとして、管出口(限界状態発生点)のクオリティ $x$ に対してプロットし、各傾斜角ごとに実験データの特性の傾向を明らかにするため、各種の細線で実験データ点を結んだものであり、各実験データ点にはその属する特性を示すひげ(挿図参照)を付している。ただし、( )内の実験データは低い限界熱流束の実験データの特性の傾向を調べるために、熱流束の誤差が±20%程度以内のものまで含めたものである。

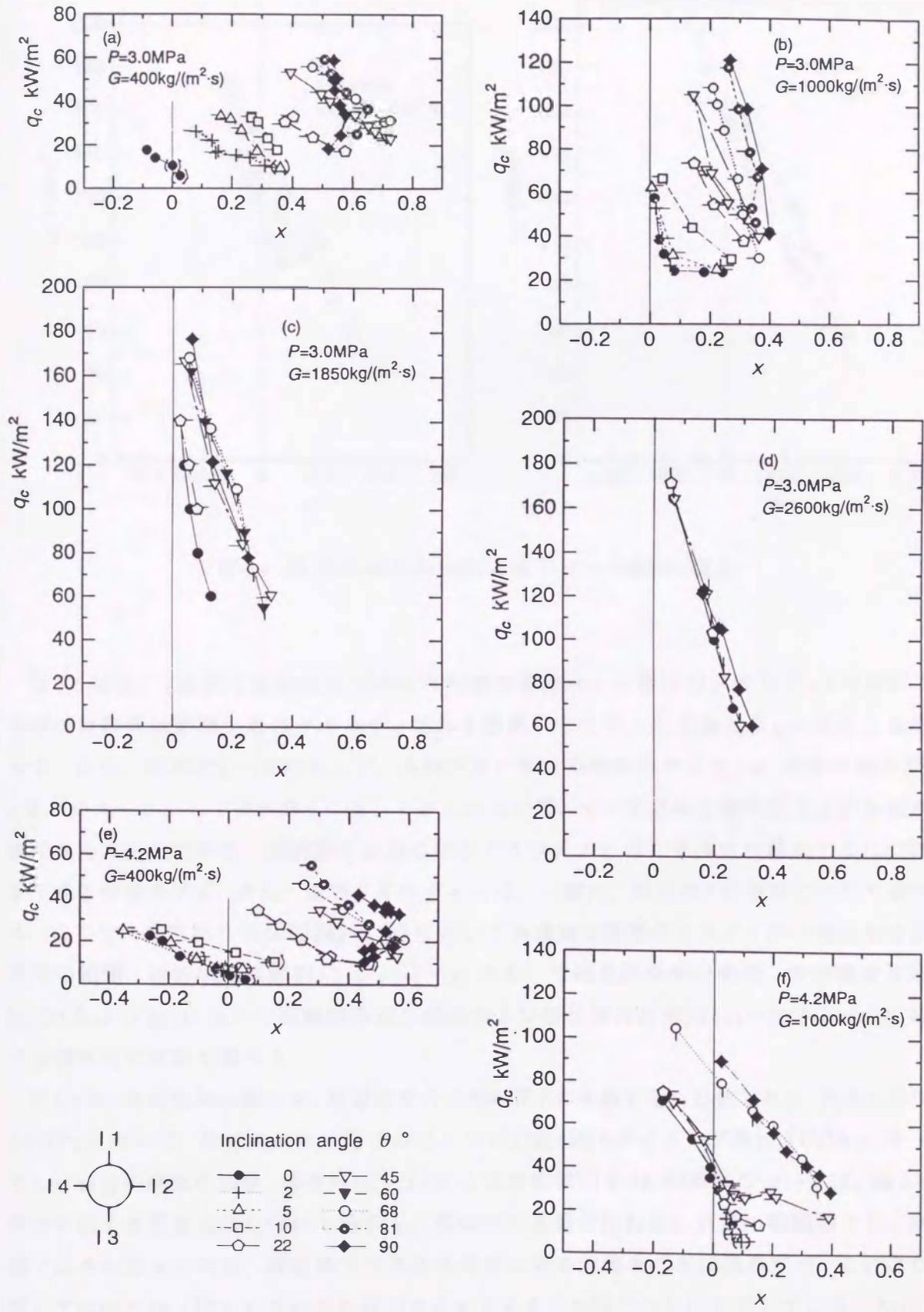


図5.4 限界熱流束と出口クオリティの関係

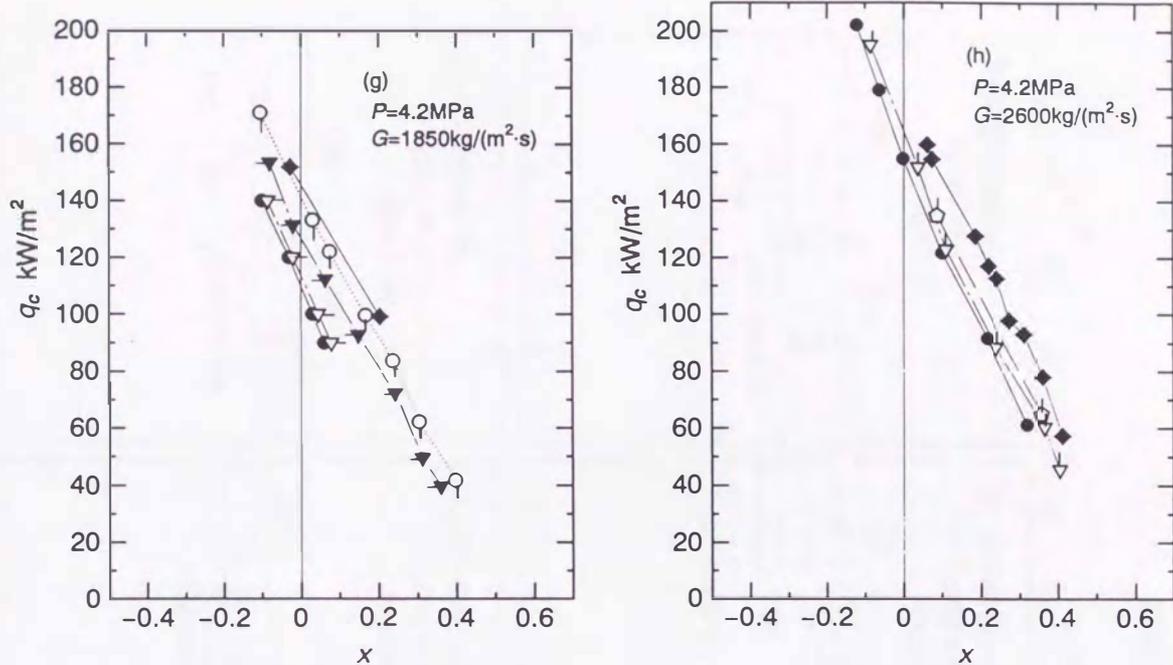


図5.4 限界熱流束と出口クオリティの関係(続き)

図5.5は図5.4と同じ実験条件で得られた限界熱流束 $q_c$ と管出口クオリティ $x$ の関係(この関係は限界状態発生点のクオリティである限界クオリティ $x_c$ と熱流束 $q$ の関係ともみなせる)から、熱流束 $q$ 一定のもとで、各傾斜角における限界クオリティ $x_c$ の値を読み取り、 $q$ をパラメータにして傾斜角 $\theta$ に対して示したもので、データ点を各熱流束ごとに各種の細線で結んだものである。傾斜管における限界クオリティ $x_c$ は、熱流束が増加するにつれて低下する傾向を示す。また、限界クオリティ $x_c$ は、一般に、傾斜角 $\theta$ の増加につれて増大する。ここで、特性域I1は同図(d)と(h)において高流量で限界クオリティが一定となる全傾斜角の範囲、特性域I2は同図(b),(c),(e)~(g)において低傾斜角側の範囲、特性域I3は同図(c),(f)および(g)において高傾斜角側の範囲および特性域I4は同図(a)~(c),(e)~(g)において全傾斜角の範囲で現れる。

図5.6は、各特性域の範囲を、質量速度 $G$ と傾斜角 $\theta$ の関係で示した例であり、圧力3.0MPaと4.2MPaについて、限界熱流束状態でのボイリング数(限界ボイリング数 $q_c/(G\Delta h_v)$ )を一定とした場合の結果を示す。特性域I2とI4および特性域I3とI4の境界については、図5.5と同様の図を各質量速度について作成し、管傾斜の影響が現れない角度の範囲のうち、水平側ではその最大の角度、垂直側では最小の角度の値を熱流束ごとに読み取り、これより補間して求めた値(図中にそれぞれ記号○と●で示す)を線でつないで示している。ただし、特性域I2とI3について、その傾斜角の範囲が認められない場合は、それぞれ記号○と●を傾斜角 $0^\circ$ および $90^\circ$ の線上にプロットしている。

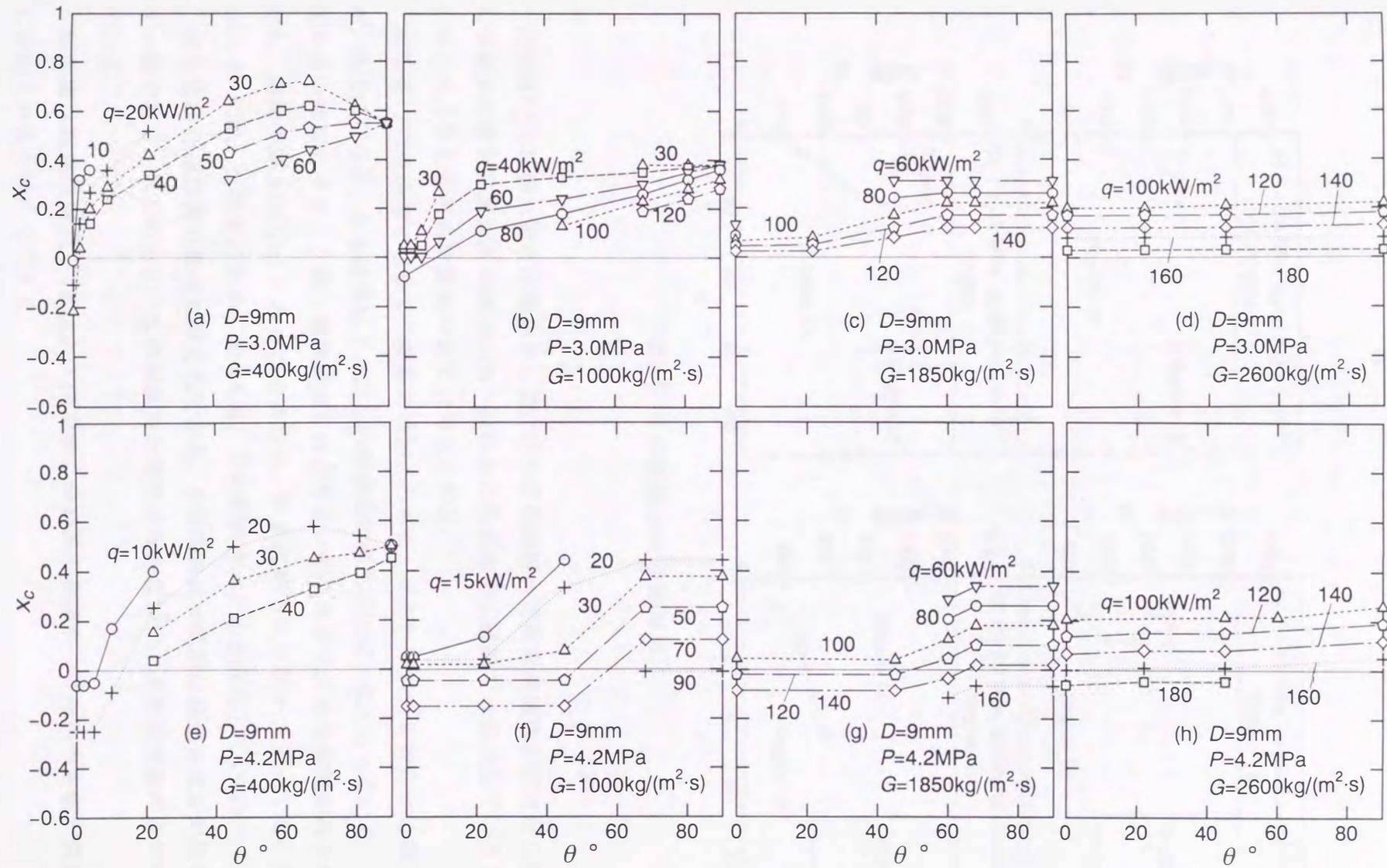


図5.5 限界クオリティと傾斜角の関係

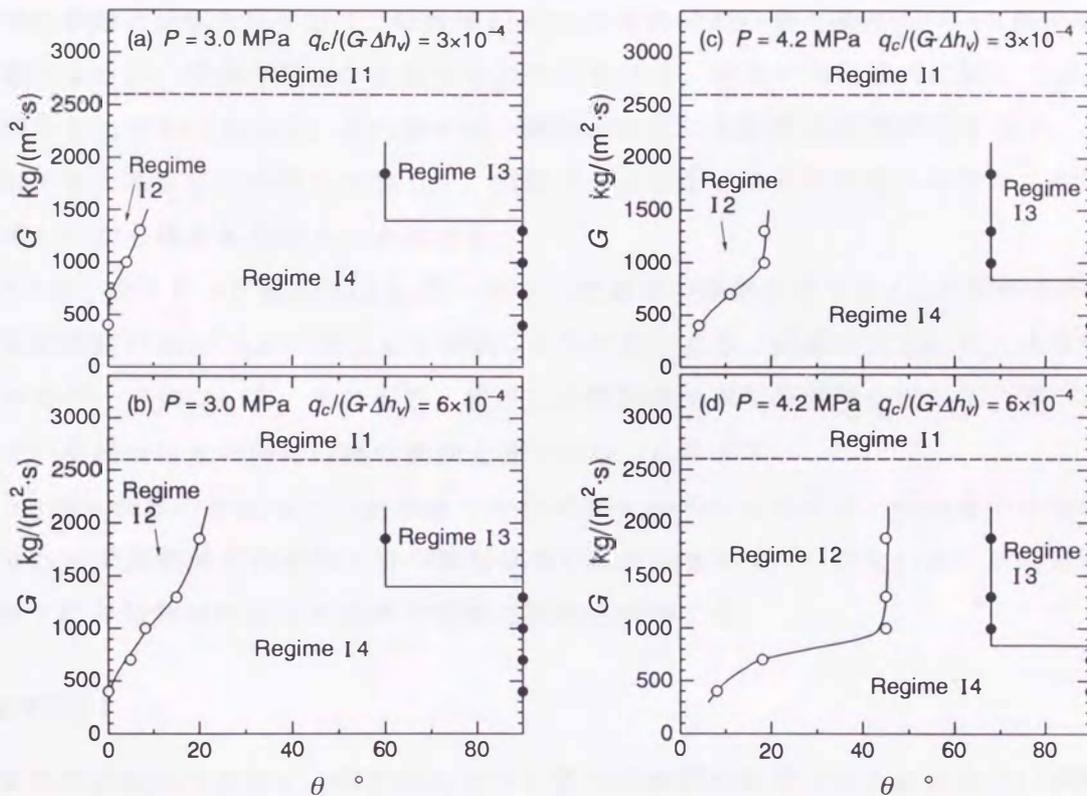


図5.6 限界熱流束の特性域図

特性域I1は他特性域との境界として、すべての傾斜角で限界熱流束がほぼ同じ値を示した本実験の最大質量速度  $2600 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  のところを図中に破線で一応示しているが、厳密にはこれよりも若干高流量側であると考えられる。

特性域I2は低流量では狭く、流量の増加とともに、大きい傾斜角まで広がる傾向を示すが、高圧になると、ある流量以上ではこの傾斜角の範囲はほぼ一定になっている。また、高圧あるいは高ボイリング数（高熱流束）ほど大きい傾斜角まで広がる傾向がみられる。ただし、前掲の図 5.5(f),(g) にみられるように、限界状態発生点がサブクール域にある場合 ( $x_c < 0$ ) には、熱流束が大きくなっても、その範囲はほとんど変化していない。

特性域I3は高流量の場合に限られており、その傾斜角の範囲は流量および熱流束によらず一定である。低圧の方が、この傾斜角の範囲は幾分広いが、より高流量の条件に限られている。

特性域I4は特性域I1, I2およびI3を除く傾斜角の範囲が、管傾斜の影響が限界熱流束に認められる本特性域である。

### 5.2.3 限界状態の推測される発生機構

本節では、既に明らかにしている垂直管(第3章)および水平管(第4章)の熱流束の限界状態発生機構と比較対応させて、特性域I1~I4の限界状態の発生機構について推測を行う。本実験のように、傾斜管でしかも高圧の条件における二相流の流動様式に関しては、ほとんど明らかにされておらず、また適用性が確認されている流動様式判別法もない。ここでは、水平管と垂直管の結果も参照して、実験データの示す限界熱流束の特性から流動様式を推定しながら検討を進めることにする。

図5.7は、ボイリング数 $q/(G\Delta h_v)$ を一定とした場合の限界クオリティ $x_c$ と傾斜角 $\theta$ の関係を、質量速度 $G$ をパラメータとしてプロットした例である。同図の上方には、水平管と垂直管の各データについて、それぞれ、前述した限界熱流束の特性域を記している。二つ併記している場合はその両特性域の境界近傍であることを示す。

図5.8は、従来の研究および前述までの本研究を参考にしながら、傾斜管の各特性域で推測される限界熱流束状態発生時の流動様相の概念図を示す。これらの図と対応させながら、以下に各特性域における限界状態発生機構を説明する。

#### a. 特性域I1

質量速度が極めて大きく、慣性力に比べて重力の影響が無視できるほど小さい沸騰二相流の状況で限界状態が発生している場合である。図5.7(c),(h)からわかるように、出口クオリティがサブクール域もしくはほぼ0においては、垂直管では特性域V1、水平管では特性域H1を示している。そのため中間の傾斜角においても、垂直管および水平管と同様に気泡流の状況下において、高流量高熱流束のために限界状態の発生機構としては、管頂部においてDNBの発生が推測される(図5.8(a))。また、図5.7(b),(g)から、出口クオリティがさらに大きくなると垂直管では特性域V1、水平管で特性域H1の特性を示していることから、本特性域の限界状態が発生する機構は、環状液膜流における管頂部でのDNBの発生が推測される(図5.8(b))。

#### b. 特性域I2

図5.5と図5.7からわかるように、特性域I2は、サブクール域からクオリティが約0.1以下の湿り域までの範囲で限界状態が生じている場合に相当する。図5.7(f)~(h)から、サブクール域の水平管においては特性域H2の特性を示しており、低傾斜角側の本特性域の場合も限界状態の発生は、重力の影響を強く受けて、浮力により発生気泡が管頂部に集まって大きな蒸気泡が形成され、管内面とこの蒸気泡との間の液膜がドライアウトすると考えられる(図5.8(c))。これに対して低クオリティ域(クオリティが0.1以下)になると、図5.7(b)お

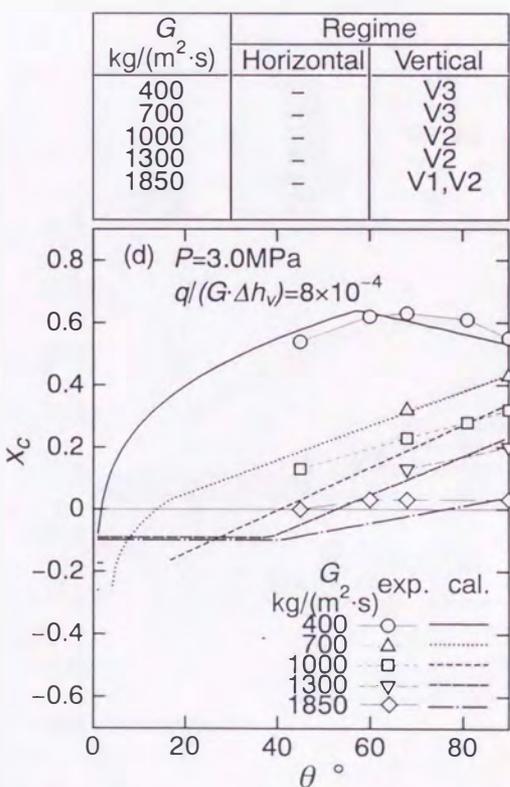
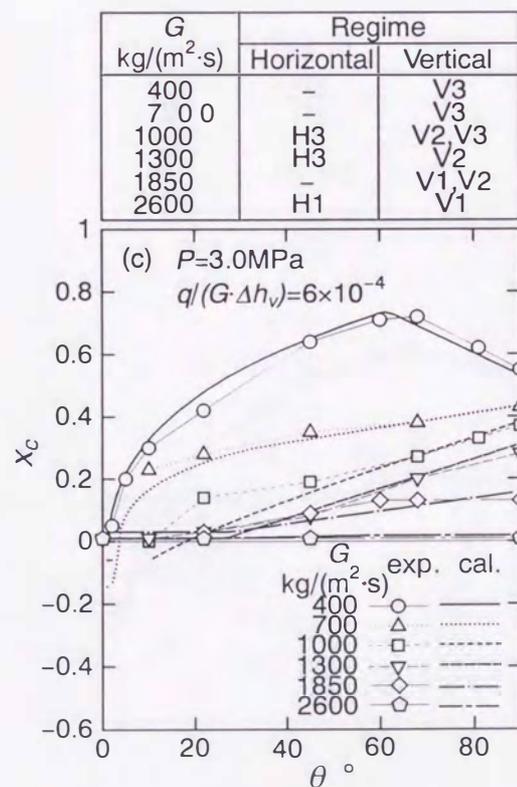
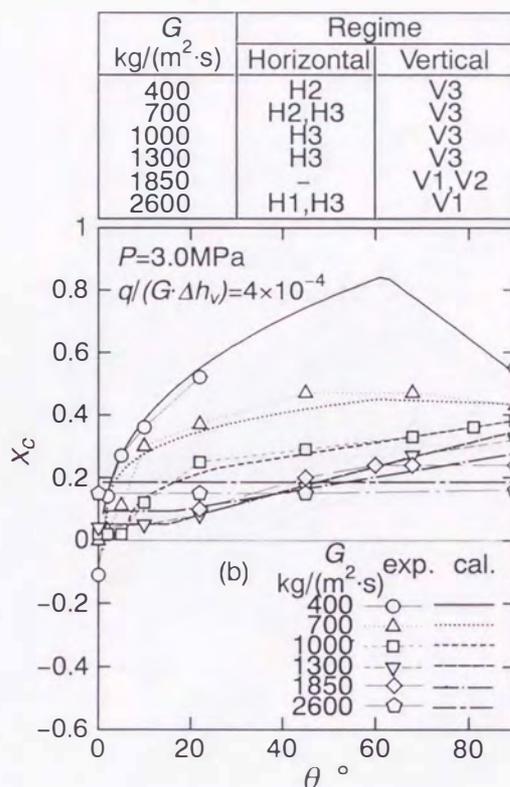
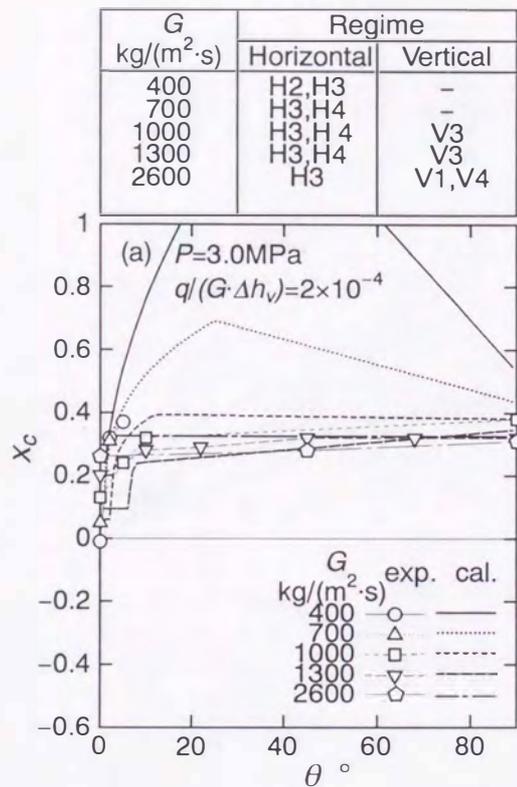


図5.7 限界クオリティと傾斜角の関係

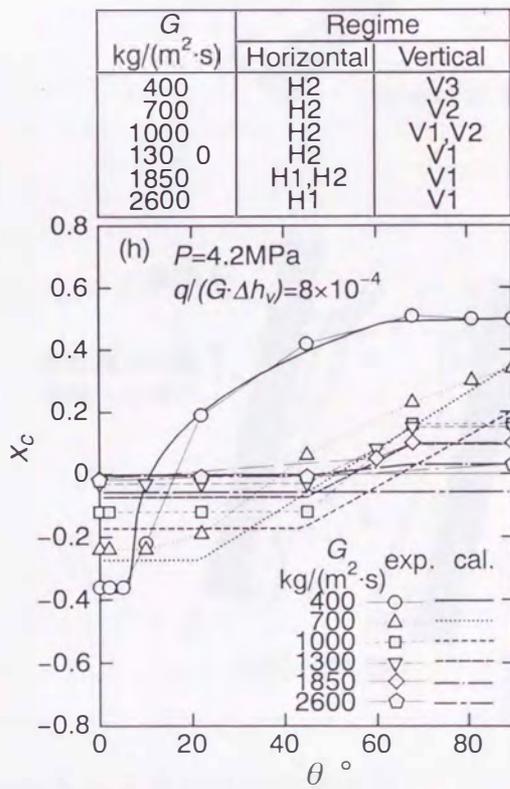
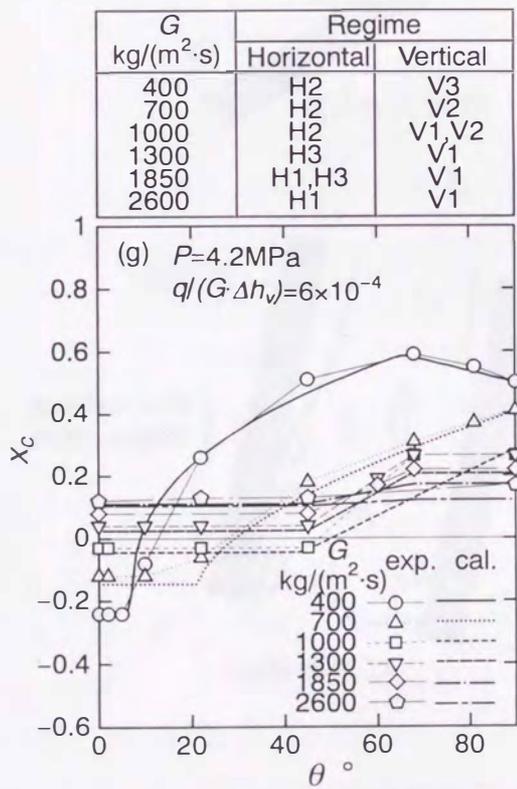
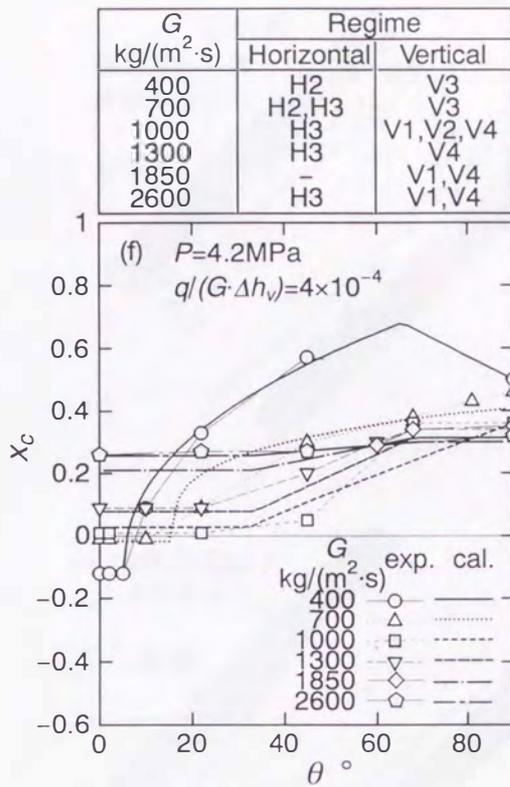
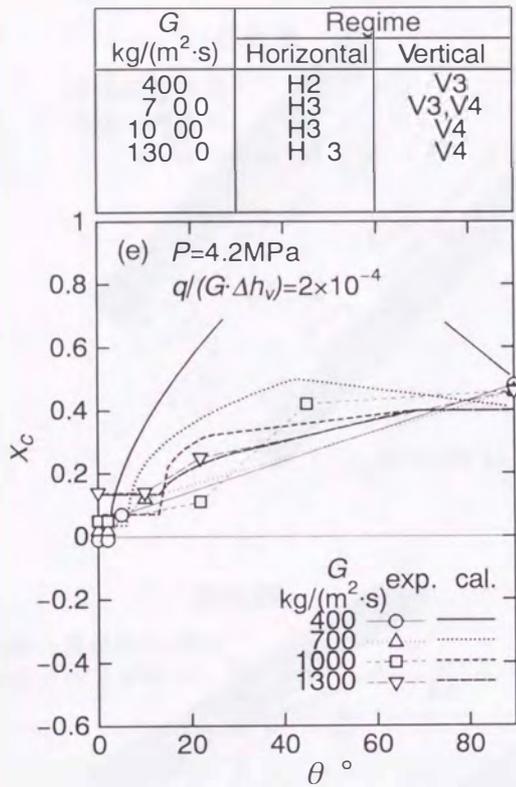


図5.7 限界クオリティと傾斜角の関係(続き)

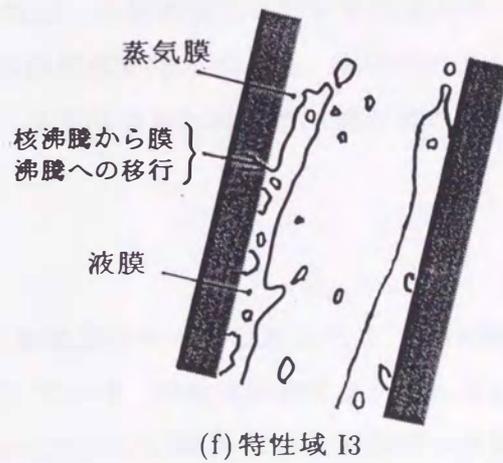
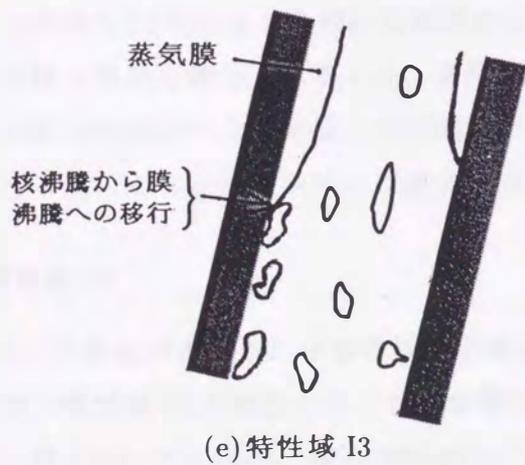
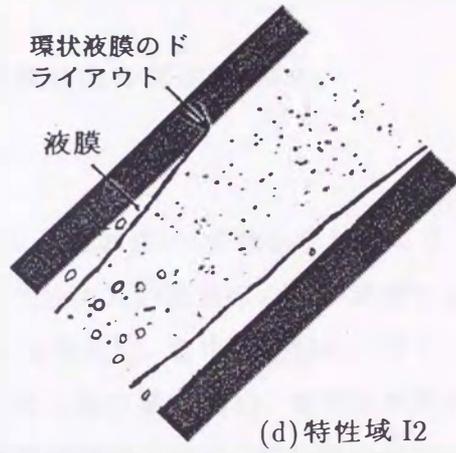
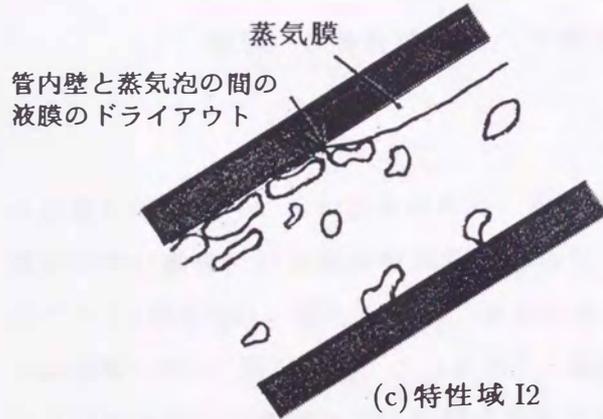
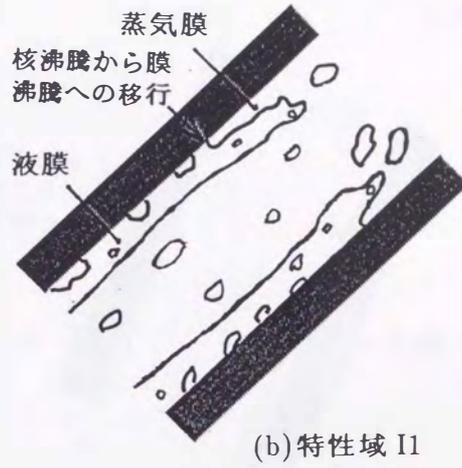
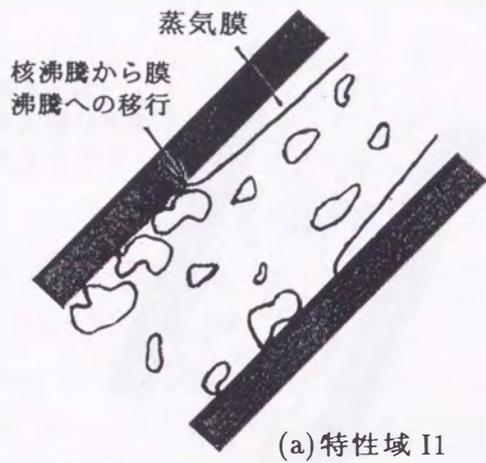


図5.8 各特性域において推測される限界状態の概念図

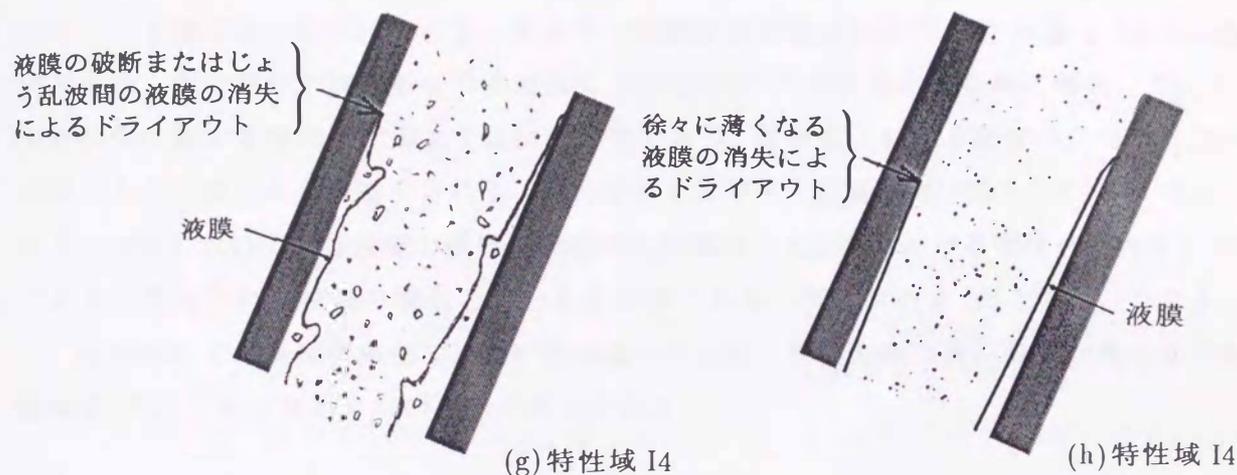


図5.8 各特性域において推測される限界状態の概念図(続き)

よび図5.7(e)~(g)からわかるように、水平管においては特性域H3の特性を示しており、流量が小さい場合には気泡が管頂部に集合し、管内面と極めて長い蒸気泡の間の液膜のドライアウト(図4.7(d)に類似)、また、流量が大きくなると環状化し、管頂部液膜のドライアウトが推測される(図5.8(d))。このように、傾斜管においても特性域I2では、管内上半部における気泡あるいは蒸気コアと液膜の流れの状況が水平管の場合と変わっていないために水平管と等しい限界熱流束になるものと推測される。図5.5と図5.6から、熱流束や圧力が高いほど特性域I2の発生する傾斜角範囲が広がるのは、高熱流束ほど発生蒸気量が多く、しかも液膜の蒸発も激しくなること、また高圧では蒸発量が増えること、浮力は小さくなるものの蒸気密度が大きく気液二相の流速が小さくなるなどのため、相対的に重力の影響が大きくなることなどを考慮すれば首肯できる。

### c. 特性域I3

図5.7に例を示すように本特性域は中流量から高流量にかけて認められる。その流量は、垂直管で特性域V1の特性が見られる条件に対応している。本特性域のサブクール域においては、図5.5(g)で $\theta = 68^\circ$ 、 $G = 1850 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ の $q = 160 \text{ kW}/\text{m}^2$ の高傾斜角側のデータは、図5.4(g),(h)から $q$ が一定で $G$ が増加すると $x_c$ が増加すると推定されることから、熱流束の限界状態の発生機構は、垂直管での特性域V1に対応して管頂部でDNBが発生すると推測される(図5.8(e))。表5.2には各条件において最初に管出口頂部で限界状態が発生したが、その後、さらに熱流束を増加させ、管出口周上の管頂点から底点までの $45^\circ$ 間隔の各位置にお

いて、それぞれ壁温上昇が始まる直前の管内面平均熱流束 $q$ の値を測定した例を示す。なお、表中、熱流束の値を記載していない箇所があるのは、壁温の上昇が大き過ぎて実験の続行が不可能であったためである。同表中、傾斜管の特性域I3のデータ( $x_c$ が0.14)は、傾斜角を除く他の条件が同じ場合の垂直管では特性域V1の特性を示す条件に相当している。限界状態に達する熱流束は周上でほぼ同じ値であり、管断面における液体の分布は周方向にほとんど一様であると推測される。もう少しクオリティの高い例が図5.7(f)~(h)で見られる。同図において本特性域の限界状態の発生機構は、管頂部における環状液膜内のDNBであると考えられ垂直管の場合とほとんど同様であると推測される(図5.8(f))。このように、特性域I3では高傾斜角側で比較的高流量のために、管周方向の液の分布が垂直管の特性域V1とほとんど変わらないことが考えられる。

表5.2 傾斜管の管周方向における局所の限界熱流束条件の例

傾斜管の 特性域名	$\theta$ °	$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	管周方向の限界熱流束 $q$ kW/m <sup>2</sup>					垂直管の 特性域名	$x_c$
					管頂部	45° 管側部	135° 管側部	管底部			
I4	60	3.0	400	0.68	38	40	43	48	—	V3	0.55
I4	68	3.0	1000	0.23	101	103	129	—	—	V2	0.31
I3	68	4.2	1300	0.14	84	85	85	85	85	V1	0.15

#### d. 特性域I4

第3章および第4章で述べたように、垂直管と水平管の限界熱流束は、異なる特性を持つ四つの特性域にそれぞれ分類されるが、それらの中には、次のように、水平管あるいは垂直管のいずれか一方でしか認められない特性がある。

(1) 水平管に特有の性質：ボイリング数 $q/(G\Delta h_v)$ が一定の場合、限界クオリティ $x_c$ が流量の増大とともに大きくなり、水平管においてのみ存在する特性で、H2、H3およびH4の特性域で見られる(図4.5)。

(2) 垂直管に特有の性質：熱流束 $q$ が一定の場合、限界クオリティ $x_c$ が流量の増大とともに小さくなり、垂直管においてのみ存在する特性で、V2およびV3の特性域で見られる(図3.5)。

本実験で得た傾斜管のデータについて、上述の水平管あるいは垂直管に特有の性質と同じ特性を示す条件の範囲を調べてみた。その結果の例を、前述の図5.6の条件の場合について、図5.9に一点鎖線と二点鎖線で示す流量ごとに求めた傾斜角の値を滑らかに結んだもので、傾斜角0°から一点鎖線までの範囲が水平管に特有の性質を示す領域であり、二点鎖線から傾斜角90°までの範囲が垂直管に特有の性質を示す領域である。同図からわかるよう

に、特性域I2は水平管に特有の性質を示す領域に含まれるが、特性域I3は垂直管に特有の性質を示す領域には含まれない。

特性域I3が現れない低中流量では、特性域I4のほとんどの範囲において、限界熱流束は垂直管に特有の性質と同じ特性を示す。しかしながら、高流量では、垂直近傍の傾斜角で特性域I3が現れる一方、特性域I4のうちで水平管に特有の性質と同じ特性がみられる範囲が広がってくる。

低中流量において垂直に特有の性質と同じ特性がみられる領域の条件は、垂直管ではV2あるいはV3の特性が生じる条件に対応しており、表3.3に示す垂直管の限界状態の発生機構および表5.2の低中流量で示される管出口での壁温上昇開始熱流束の周方向変化から考えて、この場合の傾斜管における限界状態の発生は、垂直管の特性域V2とV3と同様に管頂部での液膜の破断またはじょう乱波間の液膜の消失によるドライアウト(図5.8(g))、あるいは徐々に薄くなる液膜の消失によるドライアウト(図5.8(h))に起因し、管周上の液膜厚さの分布を通して管傾斜の影響を受けているものと考えられる。

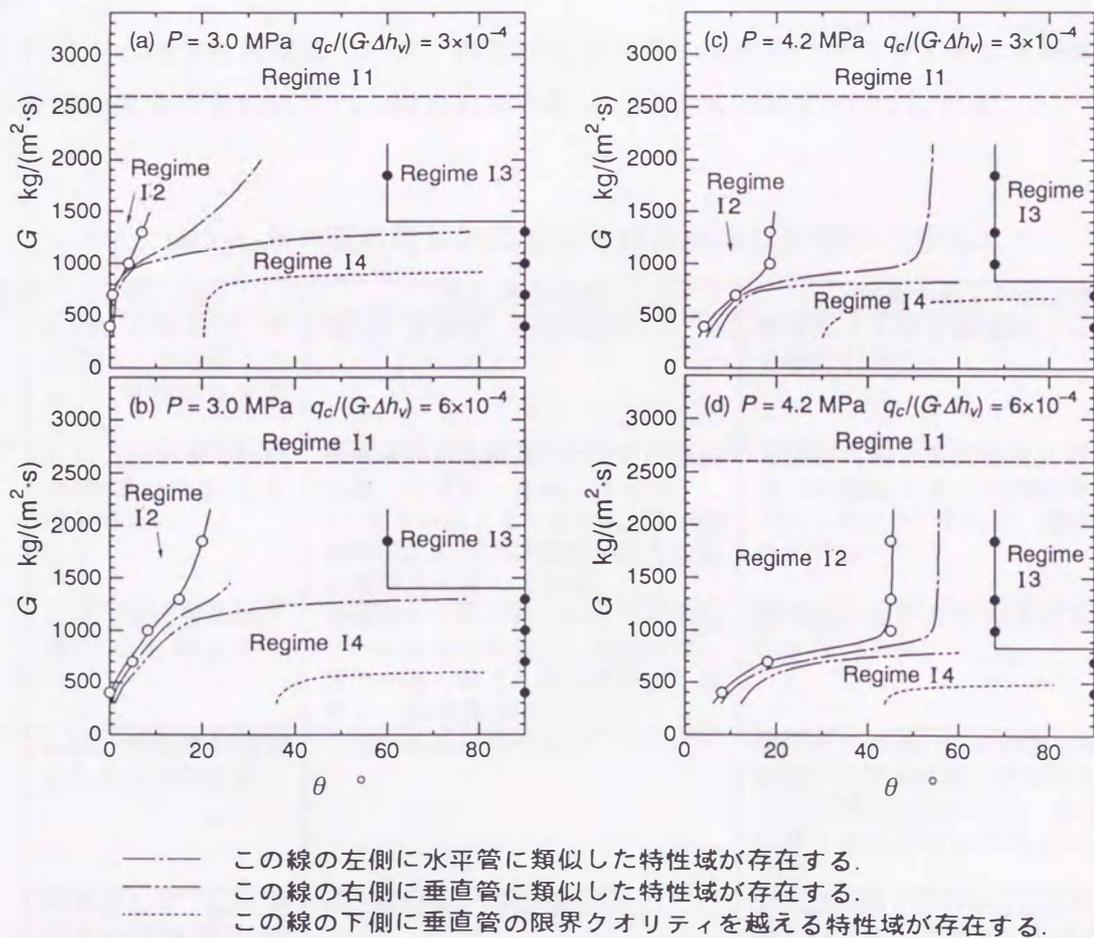


図5.9 限界熱流束の特性域図

図 5.9 からわかるように，高流量域の一部を除くと，傾斜管における限界熱流束の特性は，水平管に類似の特性と垂直管に類似の特性の二つの特性に大別できる．ここで，類似とは，管傾斜の影響がなくどちらかの管の値と等しい場合と，どちらかに特有の性質と同じ特性をもつ場合の両方を含んでいる．そして，図 5.5 と図 5.7 において，限界状態に及ぼす傾斜角の影響が最も顕著に現れているのは，水平管に類似の特性から垂直管に類似の特性に遷移する傾斜角の近傍においてである．また，図 5.9 に示す点線は，これより下側の領域では傾斜管の限界熱流束したがって限界クオリティが垂直管の特性域 V3 の場合よりも高くなった条件範囲を示している．この範囲は，図 5.5 に示す例からわかるように，垂直管で熱流束によらず限界クオリティが一定となる V3 の特性が生じる条件内に限られている．この V3 の限界状態の発生は薄くなった環状液膜が蒸発によって消失するためと考えられるので，この場合の傾斜管の管頂点における液膜が垂直管の液膜より厚くなっているものと考えられる．これには，エントレインされた液滴の再付着量が大きく関与していると推測されるが，その詳細については同条件の垂直管のエントレイン量と比較することが必要であるが，今のところ不明である．この特性を示す傾斜角の範囲は，低圧低流量になるほど広がる．

これら四つの各特性域について，限界熱流束あるいは限界クオリティの示す特性およびその主な発生条件と推測される限界状態の発生機構をまとめて表 5.3 に示す．

表 5.3 傾斜管の管頂部における限界熱流束の特性の分類

特性域	特 性	主な発生条件	推測される発生機構
I1	$x_c$ は，特性域 H1 または V1 のものと等しく，管傾斜に依存しない．	極めて高流量，全傾斜角．	管頂部における核沸騰から膜沸騰への移行 (DNB)．
I2	$x_c$ は，水平管の特性域 H2 または H3 のものと等しい．	低流量から高流量にかけて低傾斜角側，サブクール域，クオリティ 0.1 以下の低クオリティ域，この特性域は圧力および流量が高くなると高傾斜角側に広がる．	管頂部における壁面と大きい気泡あるいは極めて長い気泡の間の液膜のドライアウト，または，環状液膜のドライアウト．
I3	$x_c$ は，垂直管の特性域 V1 のものと等しい．	中流量から高流量にかけての垂直に近い高傾斜角側，この特性域は圧力が高くなると高傾斜角側に遷移し，低流量側に広がる．	管頂部における核沸騰から膜沸騰への移行 (DNB)．
I4	$x_c$ は，傾斜角の増加とともに増加する．	上記の条件以外のもの．	特性域 I2 に近い低傾斜角を除いて，管頂部における液膜の破断あるいはじょう乱波間の液膜の消失，または，徐々に薄くなる液膜の消失によるドライアウト．
	例外として， $x_c$ は垂直管の特性域 V3 のものより大きい．	低圧低流量，高傾斜角側．	管頂部へのデポジションのある頂部液膜の消失によるドライアウト．

### 5.3 限界熱流束の整理式

傾斜管の限界熱流束の整理式を作成する上で、使用する実験データは表 5.1 で示す本実験データである。この節では、まず本データを従来から提案されている他研究者の整理式と比較し、精度良い整理式を作成する必要性を確認した上で新たに本実験データを良く再現する整理式を作成する。そして、この作成した整理式を他の研究者による高圧域のフロン系媒体および水のデータと比較し、その有用性を検証する。

#### 5.3.1 従来の整理式の検証

高圧域に適用できる従来の傾斜管の整理式は、水に適用できる Kefer ら<sup>(51)</sup>の整理式が唯一のものである。ここでは、彼らの整理式と本実験データとを比較し検証する。第 1 章で述べた Kefer らの整理方法で、本実験データと比較する。彼らは、傾斜管において管頂部と管底部の限界クオリティの差  $\Delta x_c$  がフルード数  $Fr$  の関数として表わせ、このフルード数  $Fr$  は管頂部と管底部の限界クオリティの算術平均した限界クオリティ  $x_{c,m}$  と傾斜角  $\theta$  の関数として表わせ、この  $x_{c,m}$  が垂直管の限界クオリティに対応していると報告している。この限界クオリティ  $x_{c,m}$  に彼らの推奨している Kon'kov<sup>(32)</sup>の水に対する垂直管の有次元式の予測値を用いるわけであるが、フロン系媒体に適用させるために、kon'kov の式で水の圧力範囲の気液密度比をフロン系のものに対応させて  $x_{c,m}$  を求めて見たが、図 5.10(a) に示すように、フロン系への適用には無理がある。そこで、この  $x_{c,m}$  に第 3 章で作成した垂直管の整理式の予測値を用いて計算したものが図 5.10(b) である。ここで、Kefer の予測値が全般的に低いのは、Kefer の式で  $\Delta x_c$  の見積りが大きすぎるからである。また、予測値の特に低いところは、特性域 I4 において低流量高クオリティ側で見られる傾斜管の限界クオリティが垂直管のものよりも高くなる領域の特性のあることがこの整理方法では考慮されていないことによる。

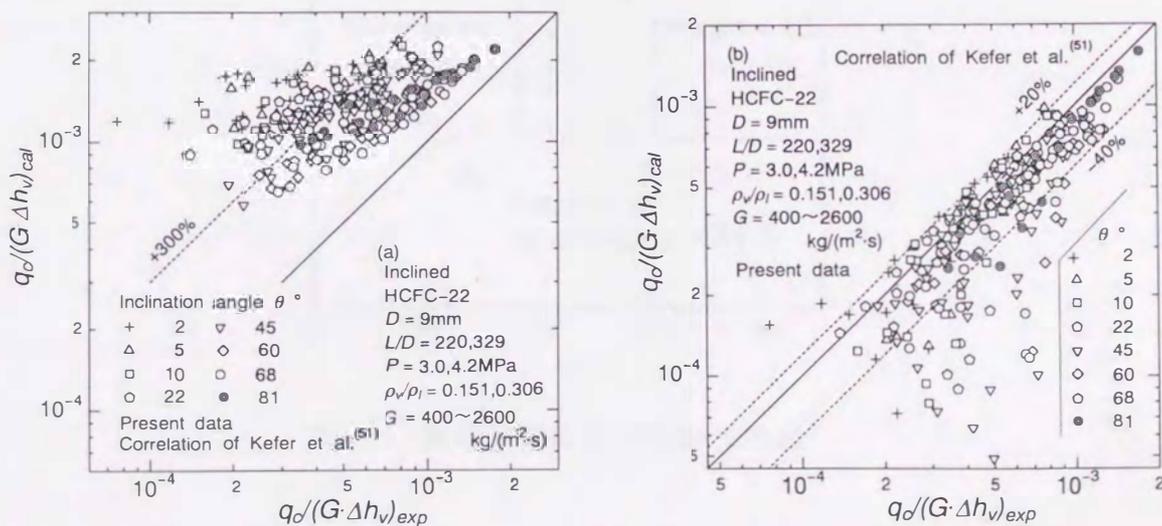


図 5.10 Kefer らの予測法と本実験データによる限界ボイリング数の比較

### 5.3.2 限界熱流束の整理式作成

前述したように、傾斜管における限界熱流束は、管傾斜の影響の有無によって、特性域I1、特性域I2、特性域I3および特性域I4の四つの特性域に分類できる。

図5.11は、圧力 $P$ 、ボイリング数 $q/(G\Delta h_v)$ を一定とした場合について、各特性域の発生条件範囲を、質量速度 $G$ と傾斜角 $\theta$ の関係で模式的に示したものである。この図からわかるように、各特性域の範囲は次のように表される。

$$\text{特性域I1 : } G \geq G_{I1} \quad (5.1)$$

$$\text{特性域I2 : } G < G_{I1} \text{ で } \theta \leq \theta_H \quad (5.2)$$

$$\text{特性域I3 : } G < G_{I1} \text{ で } \theta \geq \theta_V \quad (5.3)$$

$$\text{特性域I4 : } G < G_{I1} \text{ で } \theta_H < \theta < \theta_V \quad (5.4)$$

限界熱流束が管傾斜の影響を受けるI4の特性は、低流量では傾斜角のほぼ全範囲に存在するが、高流量になると、管傾斜の影響が現れないI2およびI3の特性がそれぞれ水平あるいは垂直の近傍で生じるため、I4の特性は中程度の傾斜角域でしか見られなくなる。

上記の各特性域の範囲を表すパラメータのうち、特性域I1と他の特性域との境界を表す質量速度 $G_{I1}$ は、与えられた条件(傾斜角を除く)のもとで、垂直管の整理式と水平管の整理式から算出した限界熱流束の値が等しくなる質量速度として求められる。

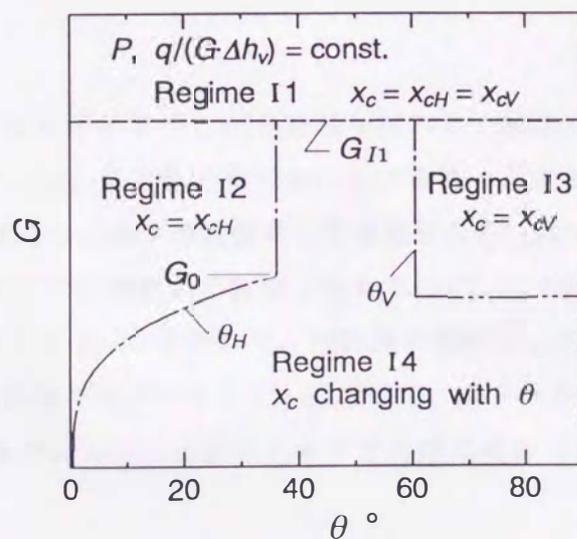


図5.11 限界状態における特性域図

特性域I2とI4の境界を表す角度 $\theta_H$ および特性域I3とI4の境界を表す角度 $\theta_V$ に関しては、本実験データに基づいて検討した結果、それぞれ次のように表されることがわかった。まず、 $\theta_H$ については、

$$\theta_H = \theta_{H1} \quad : G \geq G_0 \text{ の場合.} \quad (5.5)$$

$$\theta_H = \theta_{H2} \quad : G < G_0 \text{ の場合.} \quad (5.6)$$

ここに、 $\theta_{H1}$ 、 $\theta_{H2}$ 、 $G_0$ は以下の式で与えられる。

$$\theta_{H1} = \min \left\{ 2.84 \times 10^6 \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \left( \frac{q}{G \Delta h_v} \right)^{1.3}, 45 \right\} \quad (5.7)$$

$$\theta_{H2} = \theta_{H1} \left( \frac{G}{G_0} \right)^{0.78(\rho_v/\rho_l)^{-0.8}} \quad (5.8)$$

$$G_0 = 0.33 \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{-0.52} G_{H12} \quad (5.9)$$

$G_{H12}$ は式(4.9)で求める。

$\theta_V$ については、与えられた条件において、第3章の垂直管の整理式で特性域V1あるいはV4が生じる場合のみ高傾斜角にI3がみられ、このとき

$$\theta_V = 90 \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.24} \quad (5.10)$$

一方、垂直管で特性域V2あるいはV3が生じる場合はI3がみられず、このとき

$$\theta_V = 90 \quad (5.11)$$

で与えられる。

次に、各特性域の限界クオリティ $x_c$ の整理を試みた。前述のように、特性域I1、I2およびI3の限界クオリティは、垂直管と水平管における値の両者あるいはどちらか一方と等しくなるので、第3章あるいは第4章に提案した垂直管あるいは水平管の整理式から求めることができる。特性域I4では傾斜角の影響が現れるので、この場合の限界クオリティを、垂直管と水平管の限界クオリティを用いて、傾斜角の関数として表すことを試みた。

以上の結果、各特性域の限界クオリティに関して、以下の式を得た。なお、式中の $x_{cV}$ と $x_{cH}$ は、与えられた条件における垂直管と水平管の整理式から算出した限界クオリティをそれぞれ示している。

**特性域 I1 :**

$$x_c = x_{cV} \quad (5.12)$$

特性域 I 2 :

$$x_c = x_{cH} \quad (5.13)$$

特性域 I 3 :

$$x_c = x_{cV} \quad (5.14)$$

特性域 I 4 :

$$X_c = \min(X_1, X_2) \quad (5.15)$$

$$X_1 = C \Theta^N \quad (5.16)$$

$$X_2 = a \Theta + (1 - a) \quad (5.17)$$

ここに,

$$X_c = \frac{x_c - x_{cH}}{x_{cV} - x_{cH}} \quad (5.18)$$

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_H}{\theta_V - \theta_H} \quad (5.19)$$

$$C = \max(C_1, C_2, 1) \quad (5.20)$$

$$C_1 = 0.0038 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{0.59} \left(\frac{\sigma \rho_l}{G^2 D}\right)^{0.47} \left(\frac{q}{G \Delta h_v}\right)^{-1.29} \quad (5.21)$$

$$C_2 = 2.0 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{0.59} \left(\frac{\sigma \rho_l}{G^2 D}\right)^{0.35} \left(\frac{q}{G \Delta h_v}\right)^{-0.41} \quad (5.22)$$

$$N = \min\{\max(N_1, N_2), 1\} \quad (5.23)$$

$$N_1 = 1.18 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{1.12} \left(\frac{\sigma \rho_l}{G^2 D}\right)^{0.39} \left(\frac{q}{G \Delta h_v}\right)^{-0.44} \quad (5.24)$$

$$N_2 = 0.0175 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{-2.46} \left(\frac{\sigma \rho_l}{G^2 D}\right)^{-1.74} \left(\frac{q}{G \Delta h_v}\right)^{2.05} \quad (5.25)$$

$$a = \min \left[ 2.5 + 82 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{0.66} \left(\frac{\sigma \rho_l}{G^2 D}\right)^{0.40} \ln \left\{ \frac{q}{4.0 \times 10^{-3} G \Delta h_v} \right\}, 1 \right] \quad (5.26)$$

傾斜管における限界クオリティは、次の手順で算出できる。ボイリング数  $q/(G \Delta h_v)$  の値を仮定し、まず前節までの垂直管および水平管の限界熱流束の整理式(ただし、これらの整理式において、 $q_c$ を $q$ に、 $x$ を $x_c$ にそれぞれ置き換えた式)から、与えられた条件(傾斜角を除く)における  $x_{cV}$  と  $x_{cH}$  をそれぞれ求める。次にこれらを用いて上記の傾斜管の式から、与えられた傾斜角における限界クオリティ  $x_c$  を算出する。この  $x_c$  の値と仮定した  $q/(G \Delta h_v)$  の値が、熱収支の式を満足するまで、以上の計算を繰り返す。

### 5.3.3 本整理式の検証

#### a. フロン系媒体への適用

図5.12(a)~(d)は、本整理式の作成に使用した全実験データと本式の予測値を限界ボイリング数  $q_d/(G\Delta h_v)$  で特性域別に比較したものである。前述したように、本実験における最大流量  $G=2600\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  では、そのすべてのデータが特性域I1に属しているわけではなく、およそ70%のデータは特性域I2およびI4に属している。本整理式作成に用いた全データ(275点)のほとんどすべてと $\pm 20\%$ 以内の偏差で良く一致している。ここで、垂直管および水平管の各整理式が $\pm 15\%$ の偏差であることを考慮すれば、本整理式の偏差は良好であることがわかる。図5.7(a)~(h)中の各種の太線は、本整理式からの算出値を限界クオリティ  $x_c$  の値と傾斜角  $\theta$  の関係で示しているが、本整理式は、全傾斜角の範囲で実験データの示す傾向を良く再現している。

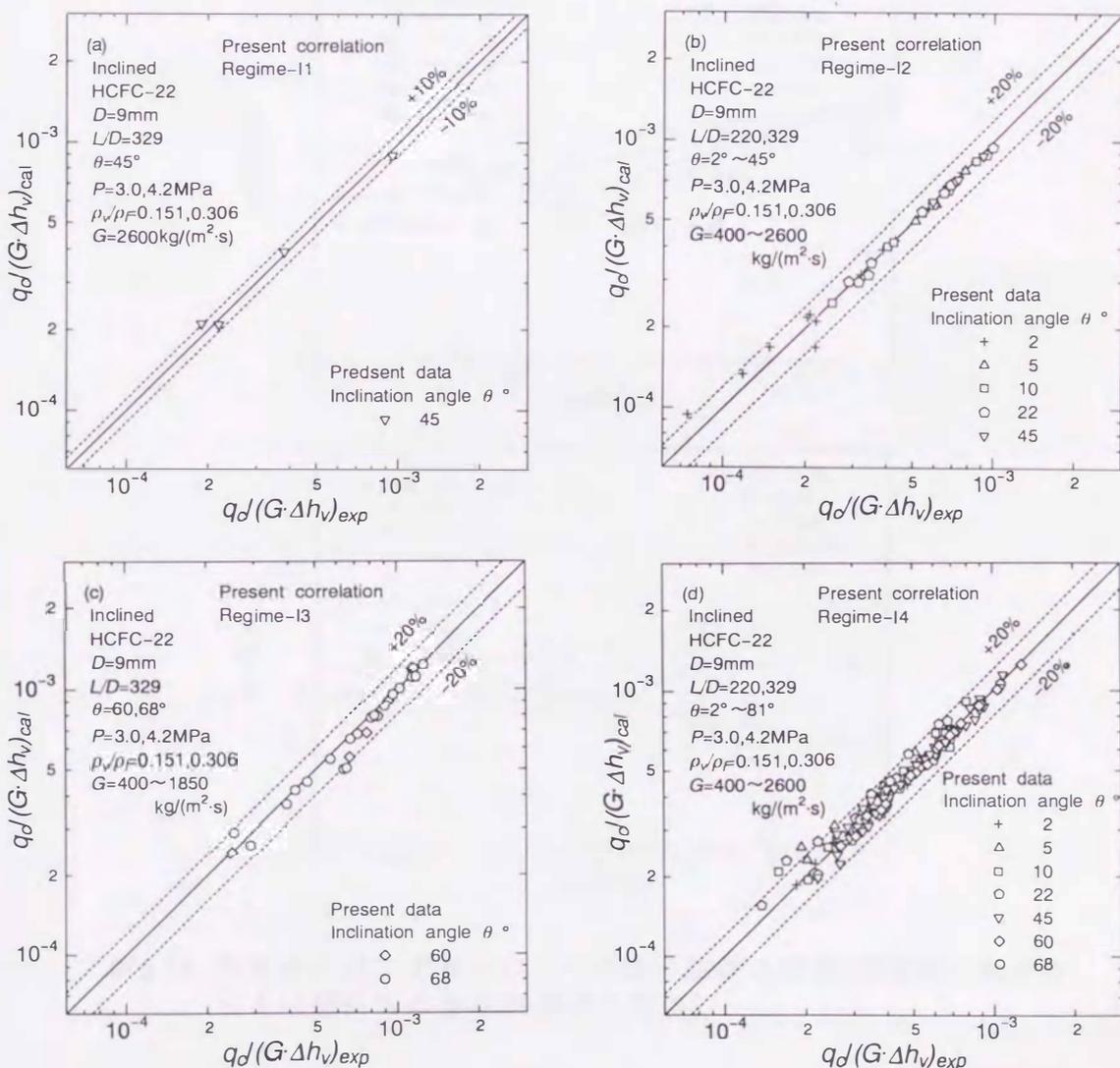


図5.12 本整理式と本実験データの限界ボイリング数による比較(特性域別)

このように、垂直管と水平管の限界熱流束の整理式を組み合わせることにより、一般的に水平から垂直までの全傾斜角における限界熱流束の予測が可能となることがわかる。

図 5.13(a) と (b) は、HCFC-22 において、入口クオリティ  $x_i = -0.6$  の圧力  $P = 3.0\text{MPa}$  と  $4.2\text{MPa}$  の場合について、本研究で作成した垂直管、水平管および傾斜管の整理式の関係および各管の実験データを限界ボイリング数  $q_c / (G \Delta h_v)$  とウェーバ数の逆数  $\sigma_l / G^2 D$  の関係で示したものである。なお、図中には  $\sigma_l / G^2 D$  に対応する流量を数字で付記している。各整理式による算出値は高流量(ウェーバ数の逆数  $\sigma_l / G^2 D$  が減少)になると、いずれの管配置の場合でも同一の限界熱流束になるというデータの傾向を良く再現している。傾斜管に関する他研究者のフロン系媒体のデータは Cumo ら<sup>(4)</sup>によるものに限られる。

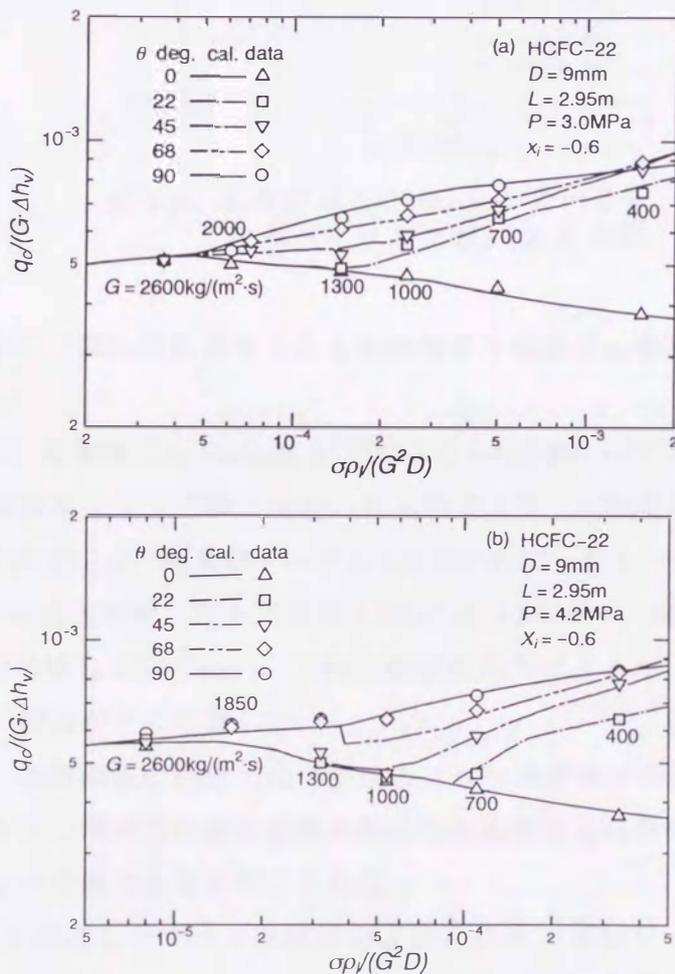


図5.13 限界ボイリング数とウェーバ数の逆数の関係(垂直管, 水平管 および傾斜管の各本整理式の関係)

図 5.14 は CFC-12 を用いた Cumo らのデータと本整理式による予測値を  $q_c/(G\Delta h_v)$  で比較したものである。本整理式作成に用いた管径よりも 13% 程度小さいが、この場合も  $\pm 20\%$  以内の偏差で実験データと良く一致している。このように本整理式は他のフロン系媒体においても、一般的に傾斜管の限界熱流束を良く予測することが可能である。

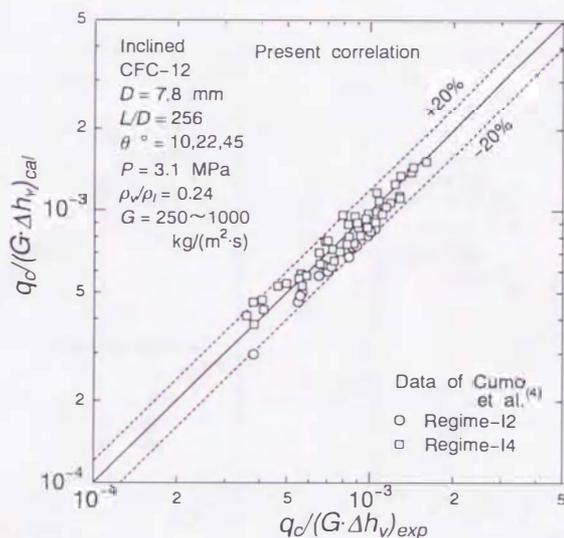


図 5.14 本整理式とCumoらのデータの限界ボイリング数による比較

#### b. 水への適用

次に、本整理式および高圧水に適用できる他研究者の整理式と高圧水の実験データとの比較を行う。

図 5.15(a) と (b) は、本整理式と Watson ら<sup>(49)</sup> および Gendelev ら<sup>(50)</sup> の傾斜管における高圧水の実験データを限界ボイリング数で比較したものを示す。本整理式は、これら管径の大きい実験条件にもかかわらず、両実験データと  $\pm 20\%$  以内で一致している。また、これと同じデータを Kefer らの式と比較したものを図 5.16(a) と (b) に示す。両実験データに対して、Kefer ら<sup>(51)</sup> の式の予測値は非常に低い。これは既述の理由によるが、限界ボイリング数が低いところではこの傾向がとくに著しい。

以上のことから、本傾斜管の整理式は高圧域のフロン系媒体のみならず、高圧水においても水平から垂直までの傾斜角における限界熱流束を他研究者の整理式と比較しても高い精度で予測することが可能であると考えられる。

表 5.4 と表 5.5 には前述したフロン系媒体および高圧水の実験データと、本整理式およびフロン系媒体および高圧水に適用可能としている他の研究者の整理式から算出される限界熱流束の値との偏差の比較を示す。ただし、表 5.4 に示すフロン系媒体において、Kefer らの予測値の算出に必要とする垂直管のクオリティ  $x_{cm}$  には、第 3 章で作成した垂直管の整理式を使用した (図 5.10(b) に対応)。本整理式は全データについて見ると、高圧域の一般

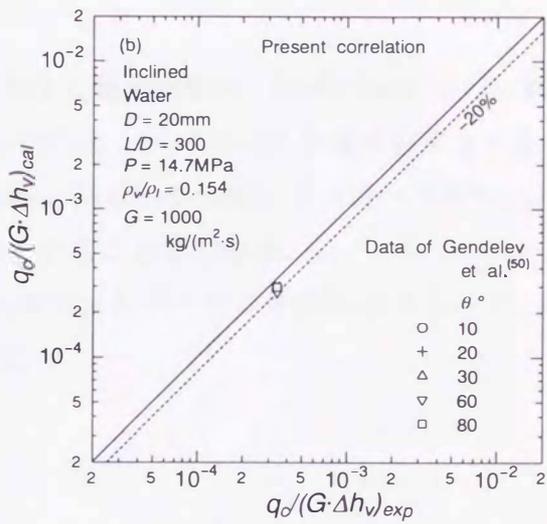
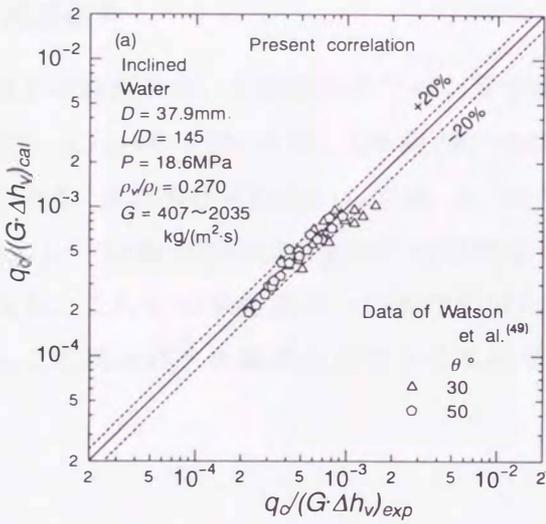


図5.15 本整理式と各研究者の水のデータの限界ボイリング数による比較

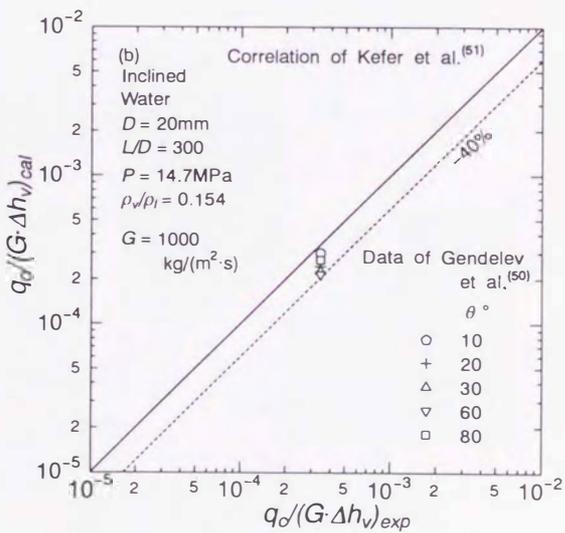
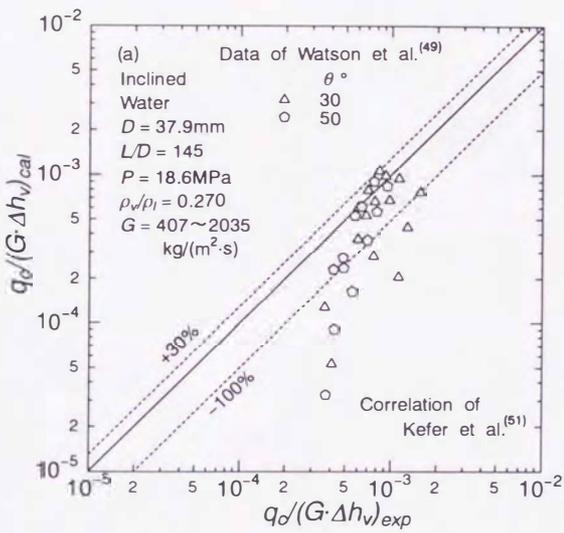


図5.16 Keferらの整理式と各研究者の水のデータの限界ボイリング数による比較

のフロン系媒体に対して、平均偏差  $AD$  は  $-0.8\%$ 、偏差が  $\pm 20\%$  以内の実験データ数の比率  $R_{20}$  は  $96\%$  であり、実験値との一致は良好である。また、高圧水に対しても、 $AD$  は  $-6.4\%$ 、 $R_{20}$  は  $86\%$  以内の偏差で実験データとの一致は良好であり、水の場合にも適用が可能であると考えられる。

### c. 適用条件

以上の結果から、本整理式のフロン系媒体に対する適用範囲は、 $D = \text{約 } 9\text{mm}$ 、 $L/D = \text{約 } 220 \sim 330$ 、 $\rho_v/\rho_l = \text{約 } 0.15 \sim 0.31$ 、 $G = \text{約 } 250 \sim 2600\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $x_i = -1.4 \sim 0.1$  程度を目安とすることができる。また高圧水にたいしては、 $D = 20 \sim 38\text{mm}$ 、 $L/D = 145 \sim 300$ 、 $P = 14 \sim 19\text{MPa}$  ( $\rho_v/\rho_l = 0.14 \sim 0.27$ )、 $G = \text{約 } 400 \sim 2100\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  程度を目安とすることができる。

なお、これらの本整理式への適用範囲は、入手できたデータの限界によるもので、必ずしもこの範囲外への適用を否定するものではない。

表5.4 各研究者の整理式とフロン系媒体のデータの偏差による比較

Correlation	Data										All data				
	Present					Cumo et al. <sup>(4)</sup>									
	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Present	275	5.3	-0.1	94.2	96.4	60	9.6	-3.8	81.7	95.0	335	6.0	-0.8	92.0	96.1
Kefer et al. <sup>(51)</sup>	275	25.1	-18.4	39.3	55.7	60	18.2	-9.2	55.0	66.7	335	23.9	-16.8	42.1	57.7

表5.5 各研究者の整理式と水のデータの偏差による比較

Correlation	Data										All data				
	Watson et al. <sup>(49)</sup>					Gendelev et al. <sup>(50)</sup>									
	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>	<i>N</i>	<i>MD</i>	<i>AD</i>	<i>R15</i>	<i>R20</i>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Present	38	12.2	-5.3	73.7	84.2	5	14.5	-14.5	60.0	100.0	43	12.5	-6.4	72.1	86.0
Kefer et al. <sup>(51)</sup>	38	76.2	-72.9	15.8	23.7	5	26.7	-26.7	20.0	20.0	43	70.4	-67.5	16.3	23.3

## 5.4 結 論

高圧の HCFC-22 を試験流体として傾斜管による限界熱流束に関する実験を行い、以下の結論を得た。

(1) 垂直および水平を含む各傾斜角における実験データが示す特性によって、傾斜管の限界熱流束は次の四つ特性域に分類できる。

特性域 I1: 高流量, 主としてサブクール域の気泡分散流およびクオリティ域の管頂部における環状液膜部の DNB.

特性域 I2: 低流量から高流量にかけて, 主としてサブクール域で管頂部壁面と大きい気泡の間の液膜のドライアウトおよびクオリティ 0.1 程度までの低クオリティ域で, 低中流量では管頂部壁面と極めて長い気泡の間の液膜のドライアウト, また, 高流量では管頂部における環状液膜のドライアウト.

特性域 I3: 中流量から高流量にかけて, 主としてサブクール域の気泡流および低クオリティ域の環状液膜における管頂部の DNB.

特性域 I4: 上記以外の条件で, 特性域 I2 に近い低傾斜角側を除いて, 管頂部における液膜の破断あるいはじょう乱波間の液膜の消失, または, 徐々に薄くなる液膜の消失によるドライアウト. 例外として, 限界クオリティが垂直管の特性域 V3 のものより大きい領域が低圧低流量の高傾斜角で見られ, 管頂部へのデポジションのある液膜の消失によるドライアウト.

(2) (1) に示す各特性域において, 水平および垂直を含む全傾斜角において適用できる限界熱流束の整理式を作成した. 本整理式は第 3 章と第 4 章で作成した垂直管および水平管における整理式の値を用いて, 傾斜角の関数として表した整理式である.

本実験データも含めて今までに公表された実験データと比較して, 本整理式は高圧のフロン系媒体の場合には, 平均偏差  $AD$  は  $-0.8\%$ , 偏差が  $\pm 20\%$  以内のデータ数の比率  $R20$  は  $96\%$  であり, 高圧水の場合には,  $AD$  は  $-6.4\%$ ,  $R20$  は  $86\%$  である. 水平および垂直を含む全傾斜角において, 本整理式はいずれの媒体においても実験データとの一致は良好である. したがって, 本整理式はフロン系のみならず, 水の場合にも適用可能である.

## 第6章 混合媒体の限界熱流束

二成分非共沸混合媒体を用いて垂直管の限界熱流束のデータを得、その特性が単一成分媒体のものと比較して、混合媒体による有意な差が有るかを検討する<sup>(89)</sup>。次に、水平管について一種類の混合媒体を用いてデータを得、その特性が垂直管の場合と同様かどうかを検証<sup>(90)</sup>する。

### 6.1 テストセクションと実験条件

テストループは単一成分媒体用(図2.1)のものを使用した。テストセクションには、垂直管の実験には単一成分媒体用の垂直管用(図3.1)を、また、水平管の実験には同じく水平管用(図4.1)のものを使用した。管内径はいずれの場合も9 mm のものを用いた。試験流体には、垂直管では二成分非共沸混合媒体 HCFC-22/CFC-114 および HFC-32/HFC-134a を、また、水平管では HFC-32/HFC-134a を用いた。実験方法は、いずれも単一成分媒体の場合と同様である。表6.1の実験条件は混合媒体を用いた場合の垂直管と水平管のものである。単一成分媒体の垂直管および水平管のデータは、第3章および第4章の本実験データによるものを使用した。

なお、使用した混合媒体の物性値については第2章で述べた。また、実験で得た限界熱流束のデータを付録2に示す。

表6.1 実験条件

管の種類	垂直管		水平管
流体の種類	HCFC-22/CFC-114	HFC-32/HFC-134a	HFC-32/HFC-134a
HCFC-22またはHFC-32の モル分率 $\xi$	0.0, 0.25, 0.52, 0.76, 1.0	0.46	0.46
気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ (Pressure $P$ MPa)	0.14, 0.20, 0.26 (1.9~3.6)	0.19 (3.6)	0.19 (3.6)
質量速度 $G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	400, 700, 1000, 1300, 2600	400, 700, 1300, 2600	400, 700, 1300, 1800, 2000, 2600
入口サブクールエンタルピー $\Delta h_i$ kJ/kg (Inlet quality $x_i$ )	-13~126 (-2.0~0.2)	-23~91 (-0.8~0.2)	0~103 (-0.9~0)

## 6.2 実験結果と考察

### 6.2.1 垂直管における限界熱流束

図6.1(a)と(b)は、気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ が約0.15と等しい場合について、低沸点成分HCFC-22のモル分率 $\xi = 0.52$ の混合媒体HCFC-22/CFC-114と単一成分媒体HCFC-22で得られた限界熱流束の測定値を、それぞれ限界ボイリング数 $q_c/(G\Delta h_v)$ と管出口クオリティ $x$ の関係で示したものである。同図の(a)と(b)を比較して見てみると、限界ボイリング数 $q_c/(G\Delta h_v)$ と出口クオリティ $x$ の関係において、混合媒体の測定値の示す傾向が単一成分媒体の場合と良く類似していることがわかる。

図6.2(a)と(b)は別のフロン系媒体の組み合わせの例として、気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ が約0.2に等しい場合の低沸点成分HFC-32のモル分率0.46の混合媒体HFC-32/HFC-134aと、単一成分媒体CFC-114で得られた測定値を同様な関係で示したものである。高流量で幾分違いが見られるが、この場合も図6.1の場合と同様に全般的によく似た傾向を示している。なお、図6.1と図6.2に示す各種の太線については後で説明する。

以上のように、気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ が等しい場合について見てみると、混合媒体の限界熱流束の特性には、単一成分媒体と特に異なった傾向は認められない。

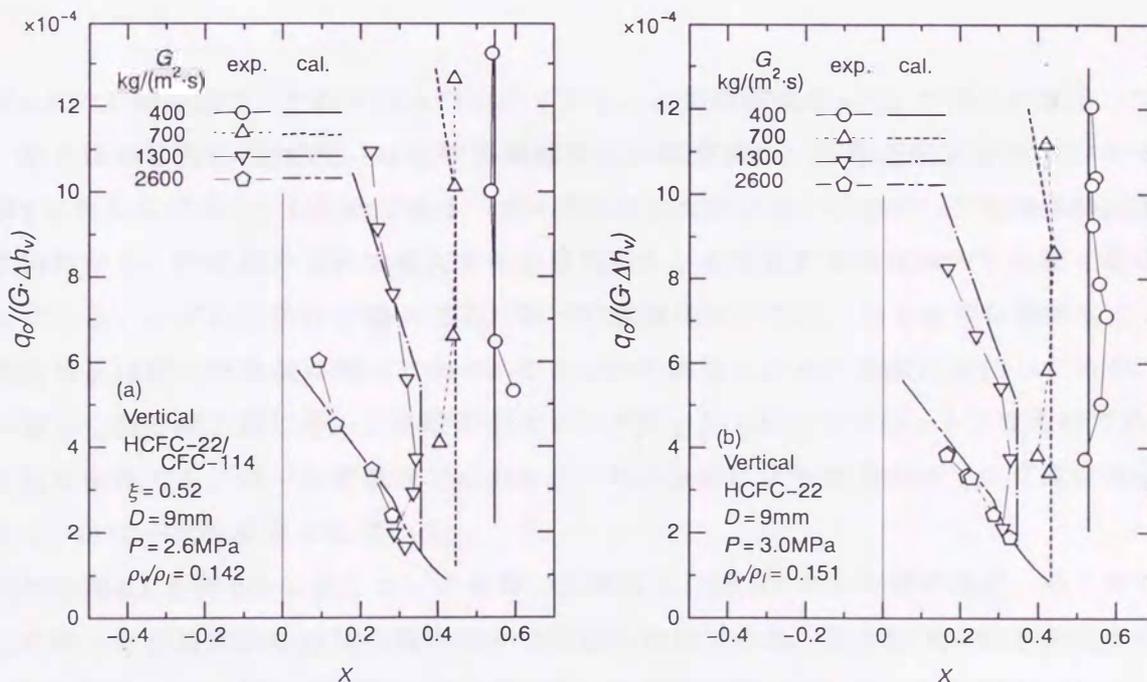


図6.1 垂直管における混合媒体HCFC-22/CFC-114および単一成分媒体HCFC-22の限界ボイリング数と出口クオリティの関係

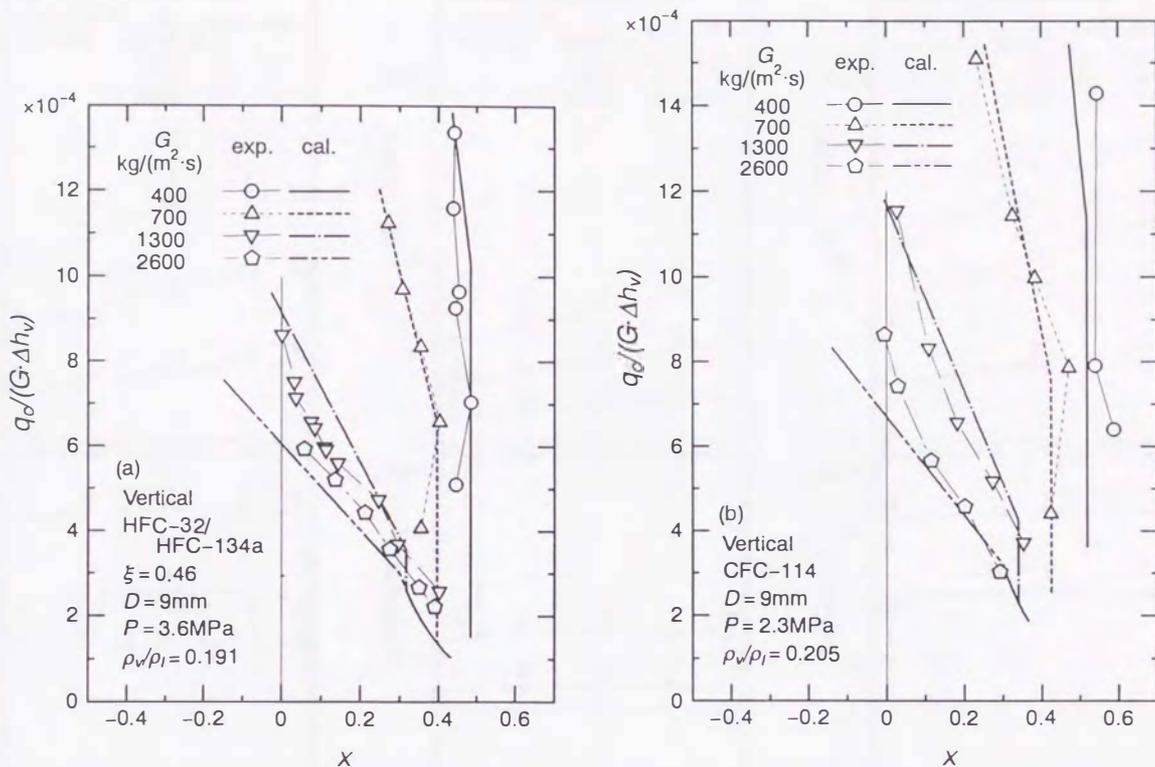


図6.2 垂直管における混合媒体HFC-32/HFC-134aおよび単一成分媒体CFC-114の限界ボイリング数と出口クオリティの関係

図6.3の上側の図は、それぞれ入口クオリティ  $x_i$  と気液密度比  $\rho_v/\rho_l$  が等しい場合について、混合媒体HCFC-22/CFC-114の限界熱流束  $q_c$  の測定値を、低沸点成分HCFC-22のモル分率  $\xi$  に対してプロットした例である。データに付した数字は、そのデータの限界熱流束が示す特性から、特性域のどれに相当するかを判断し、その属する特性域のVに続く番号を示している。いずれの条件の場合でも、同一の質量速度  $G$  では、モル分率に関係なく、限界熱流束  $q_c$  は同じ特性域に属しており、モル分率の増加とともに単調に増加している。下側の図は上側の図と同じデータを限界ボイリング数  $q_c / (G \Delta h_v)$  でプロットしたものである。いずれの条件でも、同一の質量速度  $G$  のとき、モル分率による限界ボイリング数の変化は小さく、ほぼ一定の値を示している。

前掲の図6.1と図6.2に示している各種の太線および図6.3中の各種の線は、第3章で作成した単一成分媒体の垂直管の整理式から算出した値である。混合媒体の限界熱流束の値は、組成による物性値の変化を考慮して、その組成での物性値を用いて算出したものであり、混合媒体と同じ物性値を持つ単一成分媒体の限界熱流束の値とみなせるものである。これらの図からわかるように、混合媒体の限界熱流束の測定値は、単一成分媒体の整理式からの算出値と良く一致しており、混合物であるが故の有意な差異は見当たらない。

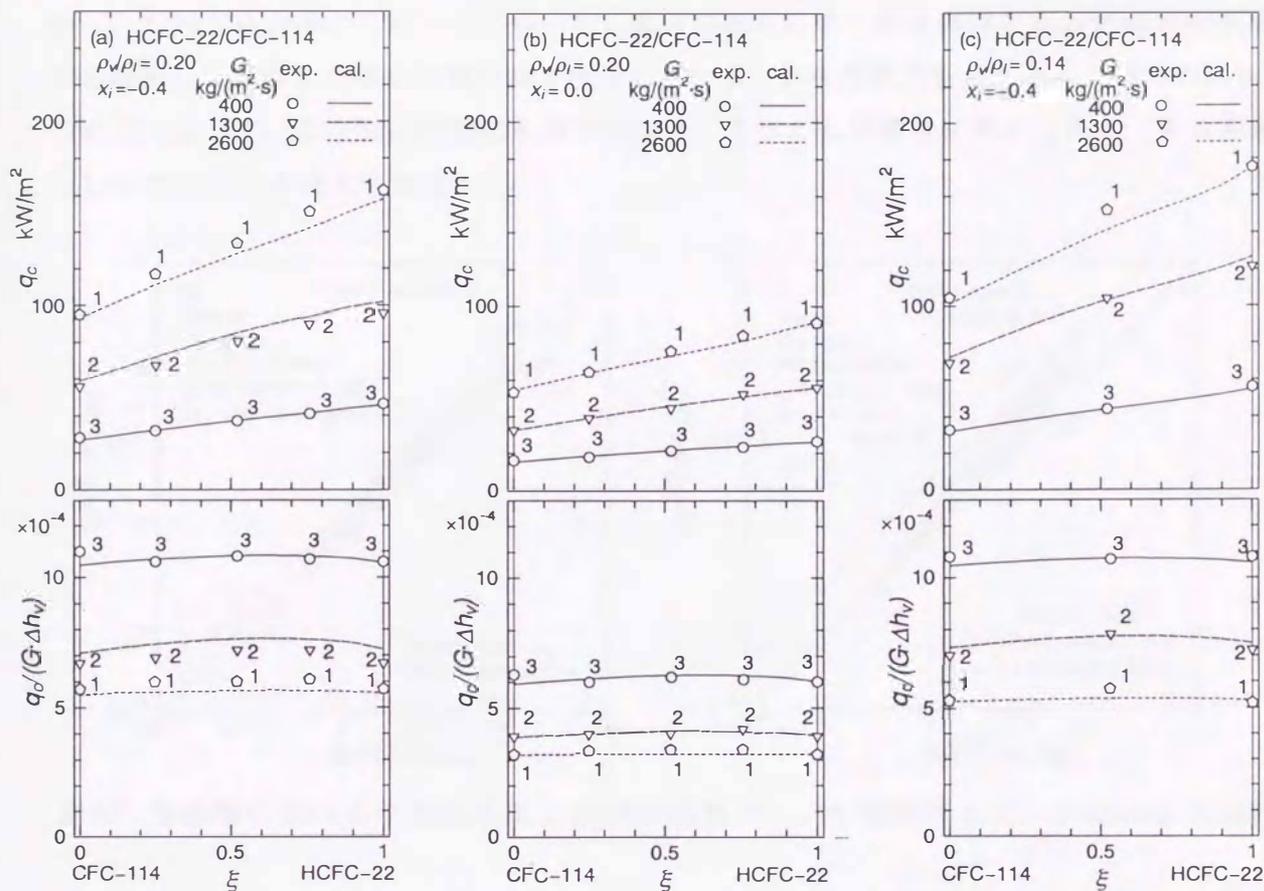


図6.3 垂直管における気液密度比一定の混合媒体HCFC-22/CFC-114の限界熱流束に及ぼす組成の影響

なお、混合媒体の物性値はクオリティによって幾分変化するが、限界熱流束の算出値に及ぼすクオリティによる物性値の違いによる影響の程度および物性値自身の不確かさによる限界熱流束の算出値に及ぼす程度についてはすでに第2章で述べた。

図6.4(a)は、本実験で得た混合媒体の限界熱流束の全データと、上述のようにして第3章で作成した単一成分媒体の整理式から算出した値を限界ボイリング数で比較したものである。混合媒体の種類に関係なく、測定値と算出値は、よく一致しており、その偏差の程度は単一成分媒体の場合(図3.22)とほとんど同じである。また、同図(b)は甲藤らの整理式<sup>(11)</sup>を用いたものであるが、この場合も彼らの単一成分媒体と同様な傾向(図3.13)を示していることがわかる。

以上のように、高圧域の二成分非共沸混合媒体の垂直管における限界熱流束の特性は、単一成分媒体の特性と同じであり、限界熱流束の値は、組成による物性値の変化を考慮すれば、単一成分媒体の整理式を適用して予測できることが確認された。

図6.5は、圧力 $P$ が等しい場合について、混合媒体HCFC-22/CFC-114の限界熱流束 $q_c$ の測定値を、流量 $G$ および入口クオリティ $x_i$ あるいは出口クオリティ $x$ をパラメータとして、

HCFC-22のモル分率 $\xi$ に対してプロットした例である。単一成分媒体の限界熱流束の整理式を適用して算出した値を各種の線で併示している。気液密度比を一定とした前掲の図6.3の場合と比べて、混合物の組成の影響が大きく、そして若干複雑に現れている。その理由として次のことが考えられる。

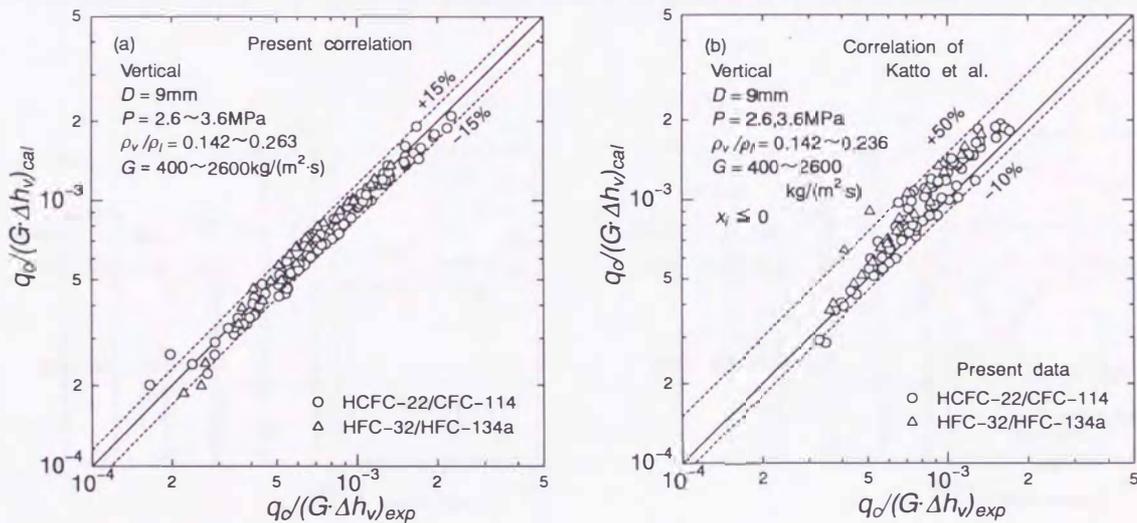


図6.4 垂直管における予測値と混合媒体の実験データの限界ボイリング数による比較

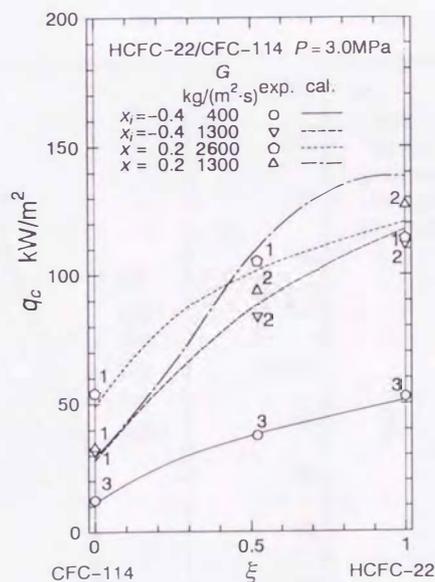


図6.5 垂直管における圧力一定の混合媒体 HCFC-22/CFC-114の限界熱流束に及ぼす組成の影響

図6.6(a)と(b)は混合媒体 HCFC-22/CFC-114の気液密度比が0.20および圧力が3.0 MPaの場合について、組成と物性値の関係をそれぞれ示したもので、気液密度比が一定の場合(同

図(a)に比べ、圧力が一定の場合(同図(b))の方が組成による各物性値の変化が全般的に大きい。

図6.7(a)と(b)は、図6.6(a)と(b)の各条件で、流量が $1300\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、で入口クオリティ $-0.4$ の場合について、各組成による物性値を用いて算出した整理式と熱収支の式を、組成のモル分率をパラメータとして、限界熱流束と管出口クオリティの関係でそれぞれ実線お

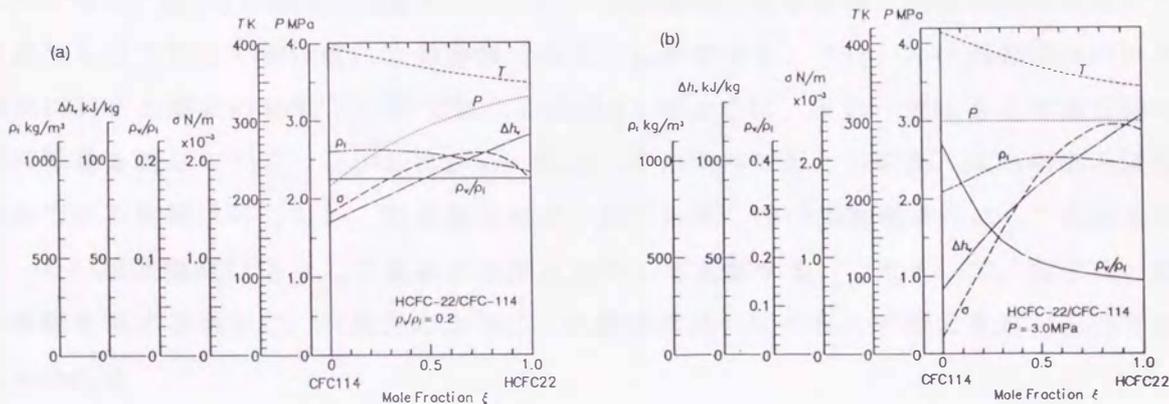


図6.6 気液密度比および圧力一定の混合媒体HCFC-22/CFC-114の物性値に及ぼす組成の影響

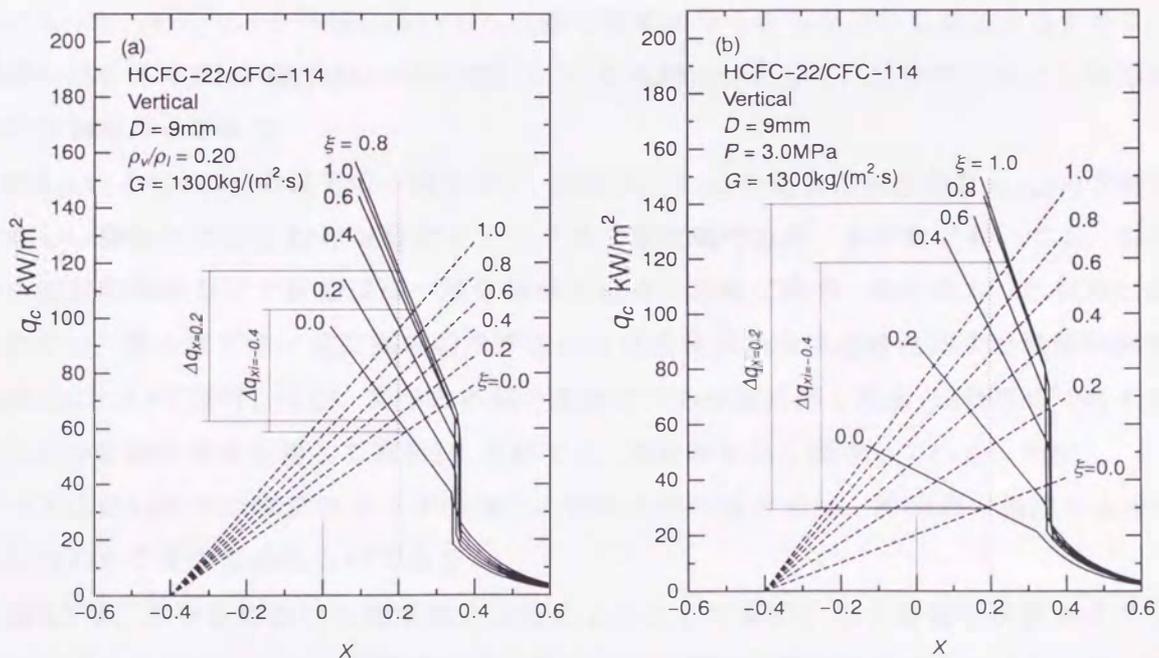


図6.7 垂直管における気液密度比および圧力一定の混合媒体HCFC-22/CFC-114の限界熱流束の予測値に及ぼす組成の影響

よび破線で示した例である。限界熱流束の予測値および管出口クオリティは、同一の組成で算出された熱収支の式と整理式において、両式の交点で示される。図6.7(a)と(b)において、 $\Delta q_{x=0.2}$ と $\Delta q_{xi=-0.4}$ は、管出口クオリティが0.2および入口クオリティが-0.4の場合に組成が0~1までの変化した場合の限界熱流束の変化量を示す。ここで、組成の増分に対する限界熱流束の増分の程度は、いずれのクオリティの場合にも圧力一定の方が大きく、しかも組成の増加と共に急激に小さくなることから、非直線性がより大きくなることがわかる。したがって、図6.5が図6.3に比べてデータが非直線性であるのは、混合媒体の特性による有意なものではなく物性値による影響であることがわかる。フロン系の混合媒体の限界熱流束に関する従来の研究<sup>(57)-(59)</sup>では、この図6.5のように、圧力一定のもとで混合物の組成の影響を論じている。しかしながら、圧力一定の条件で考えるのが、意味のある妥当な方法である根拠は何もない。限界熱流束は一般に気液二相の流動様式によって左右されるが、その流動様式は主として気液の密度に依存して変化する。したがって、混合物の組成の影響を論ずる場合に、本論文のように、気液密度比一定のもとで考える方が妥当であると思われる。

### 6.2.2 水平管における限界熱流束

以上のように、非共沸混合媒体の垂直管における限界熱流束は、単一成分媒体の場合と特に異なった特性を示すことはなく、単一成分媒体の予測式が適用可能であることが明らかになった。そこで、水平管においても同様な結果が得られるか否かを検証するために、一種類の混合媒体 HFC-32/HFC-134a (46%/54%) を試験流体として、水平管における限界熱流束の実験を行ってみた。

図6.8(a)と(b)はその結果の一例を示す。同図(b)は(a)の場合と気液密度比 $\rho_v/\rho_l$ が約0.19で等しい場合の HCFC-22 の限界ボイリング数の測定値である。水平管においても、混合媒体の限界熱流束が示す特性は単一成分媒体の場合と同様であり、特に異なった傾向は認められない。第4章で単一成分媒体の水平管における限界熱流束の特性および限界熱流束の整理式について説明したが、図中の各種の太線はこの整理式から算出(混合媒体ではその組成における物性値を使用して算出)した値であり、測定値を良く再現している。ただし、( )のデータは低い限界熱流束のデータの特性の傾向を調べるために、熱流束の誤差が $\pm 20\%$ 程度以内のものまで含めたものである。

図6.9は、水平管における測定値と上述のようにして算出した予測値を限界ボイリング数で比較したものである。予測値がやや高めになる傾向が若干見受けられるが、単一成分媒体の場合(図4.12)とほぼ同じ精度内で一致しており、混合媒体 HFC-32/HFC-134a の物性値の不確かさを考慮すれば、十分良い一致であるといえる。

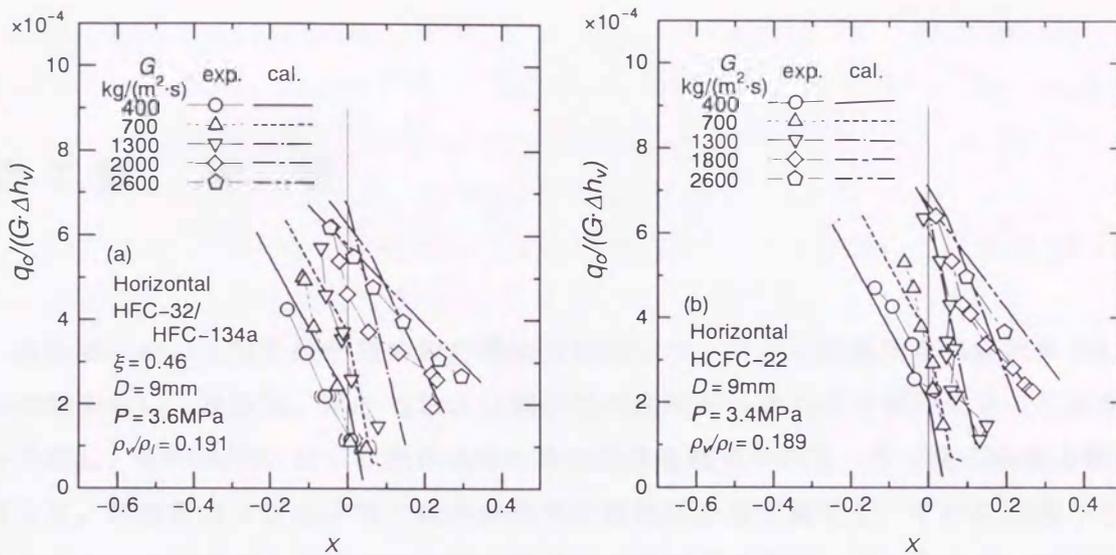


図6.8 水平管における混合媒体HFC-32/HFC-134aおよび単一成分媒体HCFC-22の限界ボイリング数と出口クオリティの関係

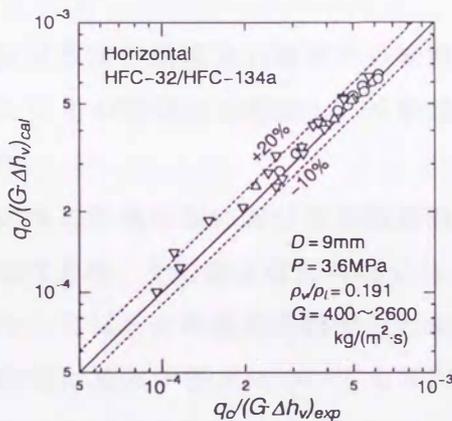


図6.9 水平管における予測値と混合媒体の実験データの限界ボイリング数による比較

### 6.3 結論

高圧域で非共沸混合媒体の垂直管および水平管における限界熱流束について実験を行い、次の結論を得た。

- (1) 混合媒体の限界熱流束の特性は、単一成分媒体の限界熱流束の特性と比べて特に有意な差はない。
- (2) 混合媒体の限界熱流束の値は、混合媒体の組成による物性値の変化を考慮すれば、単一成分媒体の整理式を適用して予測することができる。

## 第7章 総括

高圧域における管内流沸騰の限界熱流束に関して，フロン系媒体を試験流体として一連の実験を行い，垂直管，水平管および傾斜管の実験データの示す特性によって限界熱流束を分類し，各特性域における限界状態の発生条件を明らかにし，その発生機構を推測した．そして，垂直管および水平管の限界熱流束の整理式をまず確立し，それに関連づけた水平から垂直まで適用できる傾斜管の限界熱流束の整理式を提案した．そこで，他研究者の整理式とともにフロン系媒体および水のデータに適用させた結果，および非共沸混合媒体と単一成分媒体の限界熱流束を比較検討した結果など本論文で得られた研究成果を以下に要約する．

第1章では，高圧域における限界熱流束の研究の必要性を述べ，高圧域における従来の限界熱流束の研究を概観してその問題点を指摘し，本研究の概要を述べるとともに，その意義と目的を明らかにした．

第2章では，本実験に使用した高圧域における強制循環テストループの概要，限界熱流束の測定方法，データの処理方法，その測定値に見積られる誤差の程度を説明した．また，単一成分流体の物性値については，その出典を説明したが，混合媒体についてはとくにその物性値の誤差が限界熱流束に及ぼす程度についても検討した．

第3章では，高圧域における垂直管の限界熱流束に関して，著者の所属する研究室で従来 HCFC-22 を試験流体として得ていたデータ<sup>(1)-(3)</sup>に，新たに得た低圧側および高流量側のデータおよび CFC-114 および CFC-115 のデータを追加して，検討した結果，次の結論を得た．

(1) 高圧域における垂直管の限界熱流束は次に示す四つの特性域に分類できる．

特性域 V1：高流量，サブクール域および低クオリティ域．DNB．

特性域 V2：中流量，低クオリティ域および中クオリティ域．液膜の破断およびじょう乱波間の液膜の消失によるドライアウト．

特性域 V3：低流量，中クオリティ域．徐々に薄くなる液膜の消失によるドライアウト．

特性域 V4：低熱流束，中クオリティ域および高クオリティ域．液滴再付着により形成された液膜のドライアウト (Deposition control)．

(2) 上記の各特性域において，著者の所属する研究室が以前に提案していた限界熱流束の整

理式<sup>(2)(3)</sup>を適用範囲がより広く精度の良い整理式に修正した。本整理式は、本実験データも含めて今までに公表された実験データと比較して、高圧のフロン系媒体の場合には、平均偏差  $AD$  は $-5.3\%$ 、偏差が $\pm 20\%$ 以内のデータ数の比率  $R20$  は $92\%$ 、高圧水の場合には、 $AD$  は $-7.0\%$ 、 $R20$  は $90\%$ であり、いずれも一致は極めて良好である。したがって、本整理式はフロン系媒体のみならず、水にも適用可能である。

第4章では、高圧における HCFC-22 を試験流体として水平管における限界熱流束に関する実験を行い、次の結論を得た。

(1) 実験データが示す特性によって水平管の限界熱流束は次の四つの特性域に分類できる。

特性域 H1：高流量，サブクール域および低クオリティ域。管頂部における DNB。

特性域 H2：低中流量，サブクール域。管頂部の壁面と管上半分に存在する大きい気泡の間の液膜のドライアウト

特性域 H3：クオリティ域。低流量では管頂部の壁面と極めて長い気泡の間の液膜のドライアウト。高流量では環状液膜のドライアウト。

特性域 H4：低圧，低熱流束，中流量，クオリティ域。管頂部の環状液膜のドライアウト。

(2) (1) に示す各特性域において、実験データの示す特性および第3章で作成した垂直管の整理式との関係を考慮して、適用範囲の広い精度良い水平管の限界熱流束の整理式を作成した。本実験データも含めて今までに公表された実験データと比較して、本整理式は高圧のフロン系媒体の場合には、平均偏差  $AD$  は $-2.7\%$ 、偏差が $\pm 20\%$ 以内のデータ数の比率  $R20$  は $97\%$ であり、高圧水の場合には、 $AD$  は $-15.3\%$ 、 $R20$  は $71\%$ 、偏差が $\pm 30\%$ 以内のデータ数の比率は $90\%$ である。したがって、本整理式は高圧のフロン系媒体には高い精度で適用でき、水に関しては少なくとも限界熱流束の概略の値を見積もる際には十分適用できる。

第5章では、高圧における HCFC-22 を試験流体として傾斜管による限界熱流束に関する実験を行い、次の結論を得た。

(1) 垂直および水平を含む各傾斜角における実験データが示す特性によって、傾斜管の限界熱流束は次の四つ特性域に分類できる。

特性域 I1：高流量，主としてサブクール域の気泡分散流およびクオリティ域の管頂部における環状液膜部の DNB。

特性域 I2：低流量から高流量にかけて、主としてサブクール域で管頂部壁面と大きい気泡の間の液膜のドライアウトおよびクオリティ $0.1$ 程度までの低クオリティ域で、低中流量では管頂部壁面と極めて長い気泡の間の液膜のドライアウト、また、高流量では管頂部における環状液膜のドライアウト。

特性域 I3：中流量から高流量にかけて、主としてサブクール域の気泡流および低クオリティ域の環状液膜における管頂部の DNB。

特性域 I4: 上記以外の条件で, 特性域 I2 に近い低傾斜角側を除いて, 管頂部における液膜の破断あるいはじょう乱波間の液膜の消失, または, 徐々に薄くなる液膜の消失によるドライアウト. 例外として, 限界クオリティが垂直管の特性域 V3 のものより大きい領域が低圧低流量の高傾斜角で見られ, 管頂部へのデポジションのある液膜の消失によるドライアウト.

(2) (1) に示す各特性域において, 水平および垂直を含む全傾斜角において適用できる限界熱流束の整理式を作成した. 本整理式は第3章と第4章で作成した垂直管および水平管における整理式の値を用いて, 傾斜角の関数として表した整理式である.

本実験データも含めて今までに公表された実験データと比較して, 本整理式は高圧のフロン系媒体の場合には, 平均偏差  $AD$  は  $-0.8\%$ , 偏差が  $\pm 20\%$  以内のデータ数の比率  $R20$  は  $96\%$  であり, 高圧水の場合には,  $AD$  は  $-6.4\%$ ,  $R20$  は  $86\%$  である. 水平および垂直を含む全傾斜角において, 本整理式はいずれの媒体においても実験データとの一致は良好である. したがって, 本整理式はフロン系のみならず, 水の場合にも適用可能である.

第6章では, 高圧域における非共沸混合媒体を試験流体 (垂直管では HCFC-22/CFC-114, HFC-32/HFC-134a, 水平管では HFC-32/HFC-134a) として限界熱流束に関する実験を行い, 次の結論を得た.

(1) 混合媒体の限界熱流束の特性は, 単一成分媒体の限界熱流束の特性と比べて特に有意な差はない.

(2) 混合媒体の限界熱流束の値は, 混合媒体の組成による物性値の変化を考慮すれば, 単一成分媒体の整理式を適用して予測することができる.

以上のように、本研究によって、高圧域での管内流沸騰において、水平から垂直までの広い傾斜角を有する蒸発管の限界熱流束の特性と発生条件を明らかにし、その発生機構を推測するとともに、その整理式を確立できた。

本研究で確立された限界熱流束の無次元整理式は、高圧域でのボイラあるいは蒸気発生器において、水平から垂直までの広い管傾斜の範囲の蒸発管の限界熱流束を精度良く予測できるために、ボイラあるいは蒸気発生器の安全運転や性能評価を行う上で極めて有用である。さらに、高圧域での非共沸混合媒体の管内沸騰流における限界熱流束の特性を明らかにするとともに、その限界熱流束の予測を可能にしたことは、混合媒体の使用により熱効率の向上が指摘されているロレンツサイクルの蒸発器や、都市ガス供給プラントでのLNGの気化器などの管内流沸騰伝熱における未解決な問題に対しても有用である。なお、本無次元式はフロン系媒体および水以外の流体に対してもその適用を否定するものではなく、今後高圧域の限界熱流束を予測する指針に一光を投じるものと思われる。

## 謝 辞

九州大学大学院工学研究科 吉田 駿教授には、本論文作成のための環境設定から、本研究課題の選定、研究方針の確立、研究結果の検討および論文作成に至るまで、御多忙中にもかかわらず終始懇切な御指導と御鞭撻を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

九州大学大学院工学研究科 伊藤猛宏教授、藤田恭伸教授、福田研二教授には本論文の取りまとめに際して、貴重な御教示と有益な御助言を賜り深く感謝いたします。

九州大学大学院工学研究科 森 英夫助教授には本論文の作成に際して、有益な御教示と御助言を賜り深く感謝いたします。

実験装置の製作には、九州大学 古田良雄元技官、渡辺和彦元技官に御協力していただき、厚くお礼を申し上げます。

なお、実験の遂行およびデータ整理においては、当時九州大学大学院学生、学部生の御協力いただき、厚くお礼を申し上げます。

最後に、当時若輩の著者に、伝熱工学の基盤をご教示頂いた九州大学 西川兼康名誉教授ならびに藤井 哲名誉教授に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 吉田 駿, 西川兼康, 山田 明, 大野正規, 日本機械学会論文集, B, 48-432, 1982, 1557-1566.
- (2) 吉田 駿, 西川兼康, 森 英夫, 山田 明, 大野正規, 日本機械学会論文集, B, 51-462, 1985, 563-569.
- (3) S.Yoshida, K.Nishikawa, H.Mori, A.Yamada, *Mem. Fac. Eng., Kyushu Univ.*, 46-1, 1986, 77-93.
- (4) M.Cumo, F.Fabrizi, G.Palazzi, *CNEN Report RT/ING(78)11*, 149, 1978, 1-16.
- (5) M.Merilo, *Nuclear Engineering and Design*, 44-1, 1977, 1-16.
- (6) M.Merilo, *Int. J. Multiphase Flow*, 5-5, 1979, 313-325.
- (7) M.Merilo, S.Y.Ahmad, *Int. J. Multiphase Flow*, 5-6, 1979, 463-478.
- (8) M.M.Shah, *Heat and Fluid Flow*, 8-4, Dec., 1987, 326-335.
- (9) D.C.Groeneveld, S.C.Cheng, T.Doan, *Heat Transfer engineering*, 71-2, 1986, 46-62.
- (10) V.P.Bobkov, V.N.Vinogradov, D.C.Groeneveld, P.L.Kirillov, L.K.Leung, E.Royer, I.P.Smogalev, H.C.Huang, *Thermal Engineering*, 44-10, 1997, 823-840.
- (11) Y.Katto, H.Ohno, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 27-9, 1984, 1641-1648.
- (12) Y.Katto, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 33-4, 1990, 611-620.
- (13) V.E.Doroshchuk, *Thermal Engineering*, 27-8, 1980, 451-455.
- (14) V.E.Doroshchuk, *Thermal Engineering*, 28-4, 1981, 195-196.
- (15) L.L.Levitan, F.P.Lantsman, *Thermal Engineering*, 22-1, 1975, 102-105.
- (16) L.L.Levitan, F.P.Lantsman, E.I.Dedneva, *Thermal Engineering*, 28-7, 1981, 398-402.
- (17) L.L.Levitan, *Heat Transfer-Soviet Research*, 22-1, 1990, 30-46.
- (18) YU.D.Barulin, L.V.Boronina, A.S.Kon'kov, L.L.Levitsan, I.A.Orlova, L.L.Shvarts, *Heat Transfer Research*, 24-8, 1992, 1111-1121.
- (19) V.I.Subbotin, V.I.Deev, V.V.Arkipov, *Proc. of 7th Int. Heat Transfer Conf.*, 4, 1982, 357-361.
- (20) D.M.France, T.Chiang, R.D.Carlson, R.Priemer, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 25-5, 1982, 691-698.
- (21) A.W.Bennett, G.F.Hewitt, H.A.Kearsey, R.K.F.Keays, D.J.Pulling, *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 45, 1967, 319-333.
- (22) K.Nishikawa, T.Fujii, S.Yoshida, M.Ohno, *Proc. 5th Int. Heat Transfer Conf.*, 4, 1974, 270-274.
- (23) K.Nishikawa, T.Fujii, S.Yoshida, M.Ohno, K.Ohishi, *Mem. Fac. Eng., Kyushu Univ.*, 35-2, 1975, 37-49.
- (24) 甲藤好郎, 日本機械学会論文集, B, 44-387, 1978, 3865-3874.
- (25) 甲藤好郎, 日本機械学会論文集, B, 45-394, 1979, 859-868.
- (26) 甲藤好郎, 日本機械学会論文集, B, 46-409, 1980, 1721-1730.
- (27) 甲藤好郎, 日本機械学会論文集, B, 47-413, 1981, 139-148.
- (28) 甲藤好郎, 日本機械学会論文集, B, 45-400, 1979, 1892-1901.

- (29) Y.Katto, *Proc. Jpn.-U.S. Heat Transf. Joint Seminar*, 1980, 53.
- (30) Y.Katto, S.Yokoya, *Int. J. Multiphase Flow*, **10-4**, 1984, 401-413.
- (31) M.M.Shah, *Int. J. heat mass Transfer*, **23-2**, 1980, 225.
- (32) A.S.Kon'kov, *Thermal engineering*, **13-12**, 1966, 77-82.
- (33) P.G.Barnett, *Proc. Instn. Mech. engrs.*, 180-3C, 1966, 16-26.
- (34) G.F.Stevens, G.J.Kirby, *AEEW-R327*, 1964.
- (35) R.Staniforth, G.F.Stevens, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 180-3C, 1966, 216-225.
- (36) F.W.Staub, *Nucl. Sci. Eng.*, **35**, 1969, 190-199.
- (37) S.Y.Ahmad, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **16**, 1973, 641-662.
- (38) J.Weisman and B.S.Pei, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **26-10**, 1983, 1463-1477.
- (39) S.H.Ying, J.Weisman, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **29-11**, 1986, 1639-1648.
- (40) X.Cheng, F.J.Erbacher, U.Muller, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **40-12**, 1997, 2929-2939.
- (41) Y.L.Wong, D.C.Groeneveld, S.C.Cheng, *Int. J. Multiphase Flow*, **16-1**, 1990, 123-138.
- (42) 吉田 駿, 西川兼康, 森 英夫, 大石克巳, 九州大学工学集報, **59-3**, 1986, 231-235.
- (43) A.I.Leontiev, I.L.Mostinsky, V.S.Polonsky, M.A.Styrikovich, I.M.Chernika, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **24-5**, 1981, 821-827.
- (44) S.A.Fisher, G.S.Harrison, D.C.Pearce, *Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf.*, Toronto, **2**, 1978, 49-54.
- (45) J.M.Robertson, *AIChE Symp. Ser.*, **69**, 1973, 55-72.
- (46) A.E.Dukler, Y.Taitel, *Multiphase Science and Technology*, **2**, 1986, 1-94.
- (47) S.C.Cheng, Y.L.Wong, D.C.Groeneveld, *Proc. Int. Symp. on Phase Change Heat Transfer*, Chongqing, China, 1988, 211-215.
- (48) P.Saha, N.Zuber, *Proc. 5th Int. Heat Transfer Conf.*, Tokyo, 1974, 175-179.
- (49) G.B.Watson, R.A.Lee, M.Wiener, *Proc. 5th Int. Heat Transfer Conf.*, Tokyo, B6.8, 1974, 275-279.
- (50) V.B.Gendeleev, I.I.Belyakov, V.R.Kalinin, V.P.Lavrent'ev, E.V.Nitsinskii, Yu.A.Zeuv, *Thermal Engineering*, **40-9**, 1993, 685-688.
- (51) V.Kefer, W.Kohler, W.Kastner, *Int. J. Multiphase Flow*, **15-3**, 1989, 385-392.
- (52) Y.Taitel, A.E.Dukler, *AIChE Journal*, **22-1**, 1976, 47-54.
- (53) Y.Taitel, *Proc. 9th Int. Heat Transfer Conf.*, Jerusalem, KN-14, 1990, 237-254.
- (54) V.I.Tolubinskiy, A.S.Matorin, *Heat Transfer-Soviet Research*, **5-2**, 1973, 98-101.
- (55) K.V.Naboichenko, A.A.Kiryutin, B.S.Gribov, *Thermal Engineering*, **12-11**, 1965, 81-86.
- (56) M.Carne, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, December, 1963.
- (57) 中西重康, 加治増夫, 的場弘行, 梶 伸行, 日本機械学会論文集, B, **54-479**, 1986, 2626-2632.
- (58) G.P.Celata, M.Cumo, T.Setaro, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **37-7**, 1994, 1143-1153.
- (59) H.Auracher, A.Marroquin, *European Two-Phase Flow Group Meeting*, Stockholm, June 1-3, 1992, 1-15.
- (60) 宮良明男, ハイン・アオラッヒャー, アンドレアス・マロキン, 第33回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1996, 291-292.

- (61) J.G.Collier, J.R.Thome, *Convective boiling and Condensation(3rd Edn.)*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- (62) K.Stephan, M.Korner, *Chemie-Ingr-Tech.*, 41, 1969, 409-417.
- (63) 山田 明, 九州大学博士論文, 1983.
- (64) 長谷川 修, 日本機械学会論文集, 31-225, 1965, 823.
- (65) 日本冷凍協会編「R-12冷媒物性値表」, 1981.
- (66) 日本冷凍協会編「R-22冷媒物性値表」, 1975.
- (67) 日本冷凍協会編「R-114冷媒物性値表」, 1975.
- (68) E.I.du Pont de Nemours & Co., *Tech Bull.*T-115.
- (69) 岡田昌章, 渡部康一, 日本機械学会論文集, B, 52-473, 1986, 135-143.
- (70) W.Rethjen, J.Straub, *Wärme-und Stoffübertragung*, 14, 1980, 59-73.
- (71) E.I.du Pont de Nemours & Co., *Tech Bull.*D-27.
- (72) 日本機械学会編「蒸気表」, 1980.
- (73) T.Ito, et al., *A Program Package for Thermophysical Properties of Fluids*, PROPATH, Ver 8.1, MS-DOS, 1993.
- (74) 高松 洋, 池上康之, 九州大学機能物質科学研究所報告, 4-1, 1990, 23-37.
- (75) 渡部康一, 東 之弘, 文部省科研費エネルギー重点領域研究 太陽エネルギー資源化に関する研究, 研究打合せ会資料, 1989.
- (76) J.Gallagher, et al., *NIST Standard Reference Data base 23*, REFPROP, Ver 4.0, NIST, 1993.
- (77) 東 之弘, 池田長明, 金井耕一, 第28回空調・冷凍連合会講演論文集, 1994, 193-196.
- (78) 岡田昌章, 日本冷凍協会論文集, 12-2, 1995, 1-11.
- (79) 横谷定雄, 渡辺 誠, 庄司正弘, 第35回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1998, 927 - 928.
- (80) G.F.Hewitt, N.S.Hall Taylor, *Annular Two-Phase Flow*, Pergamon Press, Oxford., 1970.
- (81) 植田辰洋 著,「気液二相流」, 養賢堂, 1981.
- (82) Y.Katto, S.Yokoya, *Int. J. Multiphase Flow*, 8-2, 1982, 165-181.
- (83) Y.Katto,S.Yokoya,*Int.J.Heat Mass Transfer*, 30-11, 1987, 2261-2269.
- (84) 横谷定雄, 甲藤好郎, 黒川敏史, 吉岡朝之, 日本機械学会論文集, B, 3-495, 1987, 3363-3369.
- (85) 横谷定雄, 甲藤好郎, 渡辺 誠, 第24回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1987, 329-331.
- (86) 横谷定雄, 庄司正弘, 渡辺 誠, 甲藤好郎, 第25回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1988, 229-231.
- (87) 横谷定雄, 庄司正弘, 渡辺 誠, 甲藤好郎, 第26回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1989, 791-793.
- (88) 大野正規, 森 英夫, 吉田 駿, 日本機械学会論文集, B, 65-638, 1999, 3422-3429.
- (89) M.Ohno, H.Mori, S.Yoshida, *3rd Int. Thermal Energy Congress.*, 31A1-4, 1997, 257-262.
- (90) 大野正規, 森 英夫, 吉田 駿, 九州大学工学集報, 72-4, 1999, 369-375.
- (91) 吉田 駿 著,「伝熱学の基礎」, 理工学社, 1999.

## 付 録

付 録 1 飽和状態における物性値

付 録 2 限界熱流束の測定値

## 付録1 飽和状態における物性値

### 単一成分媒体の物性値

表1 HCFC-22の物性値

$P$ [MPa]	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	4.8
$P/P_c$ [-]	0.5210	0.6014	0.6816	0.7618	0.8420	0.9222	0.9623
$T_s$ [K]	336.34	343.19	349.38	355.02	360.21	365.01	367.26
$h_l$ [kJ/kg]	500.59	511.35	521.76	532.18	543.10	555.68	563.88
$h_v$ [kJ/kg]	634.80	633.52	631.33	628.00	623.01	614.87	607.83
$\Delta h_v$ [kJ/kg]	134.21	122.18	109.57	95.81	79.91	59.19	43.95
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1012.2	969.4	925.0	876.8	821.2	748.3	693.7
$\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]	121.9	146.8	175.2	208.9	251.2	312.1	361.6
$\rho_v/\rho_l$ [-]	0.1204	0.1514	0.1894	0.2382	0.3059	0.4171	0.5213
$\sigma$ [N/m]	$3.072 \times 10^{-3}$	$2.285 \times 10^{-3}$	$1.619 \times 10^{-3}$	$1.057 \times 10^{-3}$	$5.924 \times 10^{-4}$	$2.257 \times 10^{-4}$	$8.579 \times 10^{-5}$

表2 CFC-114の物性値

$P$ [MPa]	1.9	2.3	3.0
$P/P_c$ [-]	0.5850	0.7081	0.9236
$T_s$ [K]	388.31	398.75	414.04
$h_l$ [kJ/kg]	322.88	337.33	363.16
$h_v$ [kJ/kg]	397.89	400.38	397.49
$\Delta h_v$ [kJ/kg]	75.00	63.05	34.33
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1085.7	1011.6	836.8
$\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]	157.3	207.1	353.3
$\rho_v/\rho_l$ [-]	0.1449	0.2047	0.4222
$\sigma$ [N/m]	$1.972 \times 10^{-3}$	$1.172 \times 10^{-3}$	$1.963 \times 10^{-4}$

表3 CFC-115の物性値

$P$ [MPa]	2.1	2.4	2.6	2.9
$P/P_c$ [-]	0.6688	0.7643	0.8280	0.9236
$T_s$ [K]	333.40	339.65	343.60	349.05
$h_l$ [kJ/kg]	265.92	274.84	280.88	290.88
$h_v$ [kJ/kg]	328.60	328.76	328.07	325.15
$\Delta h_v$ [kJ/kg]	62.68	53.92	47.19	34.27
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1069.0	1013.0	968.0	883.8
$\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]	194.8	238.8	275.0	351.0
$\rho_v/\rho_l$ [-]	0.1822	0.2357	0.2841	0.3971
$\sigma$ [N/m]	$1.360 \times 10^{-3}$	$8.536 \times 10^{-4}$	$5.585 \times 10^{-4}$	$1.974 \times 10^{-4}$

## 非共沸混合媒体の物性値

表4 HCFC-22/CFC-114の物性値

P MPa	2.6	2.7	3.0	3.2	3.6
Mole fraction of HCFC-22 [-]	0.50	0.25	0.50	0.75	0.50
$T_c$ [K]	394.93	407.24	394.93	382.09	394.93
$P_c$ [MPa]	4.373	3.835	4.373	4.780	4.373
$P/P_c$ [-]	0.5946	0.7041	0.6860	0.6667	0.8233
$T_{bub}$ [K]	360.76	383.06	369.03	357.31	380.20
$h_{l,Tbub}$ [kJ/kg]	300.98	320.30	321.50	306.80	330.60
$h_{v,Tbub}$ [kJ/kg]	402.18	396.93	400.46	405.27	399.15
$\Delta h_v$ [kJ/kg]	101.20	76.63	87.96	98.47	68.55
$\rho_{l,Tbub}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1074.2	1029.1	1012.5	973.8	919.5
$\rho_{v,Tbub}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	152.6	198.2	190.8	182.8	242.0
$\rho_{v,Tbub}/\rho_{l,Tbub}$ [-]	0.1420	0.1926	0.1884	0.1878	0.2632
$\sigma_{Tbub}$ [N/m]	$2.634 \times 10^{-3}$	$1.585 \times 10^{-3}$	$1.870 \times 10^{-3}$	$1.952 \times 10^{-3}$	$9.301 \times 10^{-3}$

表5 HFC-32/HFC-134aの物性値

P MPa	3.6
Mole fraction of HFC-32 [-]	0.46
$T_c$ [K]	364.7
$P_c$ [MPa]	4.85
$P/P_c$ [-]	0.7423
$T_{bub}$ [K]	347.5
$h_{l,Tbub}$ [kJ/kg]	321.0
$h_{v,Tbub}$ [kJ/kg]	435.0
$\Delta h_v$ [kJ/kg]	114.0
$\rho_{l,Tbub}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	845.8
$\rho_{v,Tbub}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	161.7
$\rho_{v,Tbub}/\rho_{l,Tbub}$ [-]	0.1912
$\sigma_{Tbub}$ [N/m]	$1.062 \times 10^{-3}$

添字)

- bub*: 沸点
- c*: 臨界
- l*: 飽和液
- s*: 飽和
- v*: 乾き飽和蒸気
- l, T<sub>bub</sub>*: 沸点温度
- v, T<sub>bub</sub>*: 露点温度

## 付録2 限界熱流束の測定値

### 単一成分媒体の測定値

#### 垂直上昇流

HCFC-22 (1), (2)

CFC-114 (3)

CFC-115 (4)

#### 水平流

HCFC-22 (5), (6)

#### 傾斜上昇流

HCFC-22 (7)

### 非共沸混合媒体の測定値

#### 垂直上昇流

HCFC-22/CFC-114 (8)

HFC-32/HFC-134a (9)

#### 水平流

HFC-32/HFC-134a (10)

(1) Vertically upward flow HCFC-22  $D=9\text{mm}$   $L=1.98\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_w) \times 10^4$ —
2.6	399.7	.56	60.62	-.44	11.30
2.6	400.2	.59	49.18	-.21	9.16
2.6	399.7	.60	28.41	.12	5.30
2.6	699.8	.46	97.49	-.46	10.38
2.6	699.4	.45	75.46	-.26	8.04
2.6	699.9	.45	49.17	-.01	5.24
2.6	700.1	.42	24.59	.19	2.62
2.6	1299.5	.21	139.91	-.49	8.02
2.6	1299.4	.27	116.17	-.31	6.66
2.6	1297.9	.33	89.88	-.12	5.16
2.6	1298.9	.35	70.79	-.01	4.06
2.6	1299.8	.33	46.63	.09	2.67
2.6	2000.4	.09	176.79	-.49	6.59
2.6	2000.5	.13	140.34	-.33	5.23
2.6	1999.4	.17	119.12	-.22	4.44
2.6	2000.0	.25	92.42	-.06	3.44
2.6	1999.4	.30	70.79	.06	2.64
2.6	1999.3	.33	41.54	.20	1.55
2.6	2600.2	.07	175.95	-.37	5.04
2.6	2600.3	.12	138.20	-.23	3.96
2.6	2599.7	.19	106.00	-.08	3.04
2.6	2603.6	.27	84.35	.06	2.41
2.6	2604.0	.34	60.63	.19	1.74
3.0	399.7	.54	58.98	-.52	12.08
3.0	399.9	.55	50.87	-.37	10.41
3.0	399.9	.54	50.02	-.36	10.24
3.0	399.9	.54	45.36	-.28	9.29
3.0	400.1	.56	38.58	-.14	7.89
3.0	399.7	.58	34.76	-.05	7.12
3.0	399.9	.56	24.59	.12	5.03
3.0	399.7	.52	18.23	.19	3.73
3.0	700.2	.42	95.81	-.56	11.20
3.0	700.2	.44	73.77	-.32	8.62
3.0	700.0	.43	50.02	-.09	5.85
3.0	699.7	.40	32.64	.06	3.82
3.0	700.1	.43	29.25	.13	3.42
3.0	999.2	.27	120.82	-.60	9.90
3.0	999.6	.33	98.35	-.38	8.05
3.0	1000.2	.38	70.80	-.14	5.79
3.0	1000.8	.40	41.12	.10	3.36
3.0	1299.7	.17	131.00	-.56	8.25
3.0	1298.5	.24	105.57	-.34	6.65
3.0	1298.6	.31	86.06	-.17	5.42
3.0	1298.5	.33	59.35	.00	3.74
3.0	1298.7	.31	33.39	.14	2.10
3.0	1848.0	.06	176.77	-.63	7.83
3.0	1848.8	.13	121.67	-.34	5.39
3.0	1846.3	.25	78.44	-.05	3.48
3.0	1999.3	.16	114.05	-.25	4.67
3.0	1995.9	.23	95.81	-.12	3.93
3.0	1995.9	.27	76.74	-.01	3.15
3.0	2001.2	.32	53.84	.12	2.20
3.0	2600.1	.17	122.94	-.17	3.87
3.0	2596.8	.17	121.27	-.17	3.82
3.0	2595.2	.22	105.56	-.08	3.33
3.0	2599.0	.23	104.70	-.06	3.30
3.0	2599.5	.29	77.15	.07	2.43
3.0	2601.3	.33	60.20	.16	1.89
3.4	400.6	.53	40.70	-.29	9.27
3.4	401.2	.52	36.03	-.21	8.20
3.4	397.8	.52	31.80	-.12	7.30
3.4	400.6	.53	28.83	-.05	6.57
3.4	399.0	.53	21.20	.11	4.85
3.4	699.0	.39	75.46	-.47	9.85
3.4	700.4	.44	63.17	-.28	8.23
3.4	700.3	.46	60.20	-.23	7.85
3.4	699.0	.48	58.93	-.20	7.69
3.4	700.0	.42	46.21	-.11	6.03
3.4	700.1	.46	47.48	-.09	6.19
3.4	698.9	.42	36.03	.01	4.71

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$
3.4	699.5	.39	27.56	.07	3.60
3.4	699.8	.44	21.20	.19	2.77
3.4	1000.6	.27	79.28	-.37	7.23
3.4	1001.4	.31	80.55	-.34	7.34
3.4	1002.8	.33	66.98	-.20	6.10
3.4	999.8	.37	59.35	-.10	5.42
3.4	1001.4	.39	59.78	-.09	5.45
3.4	1002.5	.39	48.75	-.01	4.44
3.4	1001.3	.39	41.55	.06	3.79
3.4	1002.8	.36	34.34	.09	3.13
3.4	1001.1	.37	26.28	.16	2.40
3.4	1301.1	.13	113.19	-.57	7.94
3.4	1303.2	.18	91.57	-.39	6.41
3.4	1298.4	.22	81.82	-.29	5.75
3.4	1300.8	.26	71.65	-.18	5.03
3.4	1301.4	.29	65.29	-.11	4.58
3.4	1299.1	.34	55.54	-.01	3.90
3.4	1301.0	.35	44.50	.08	3.12
3.4	1299.2	.33	28.40	.16	2.00
3.4	1293.2	.35	28.40	.18	2.00
3.4	2000.9	.15	111.07	-.30	5.07
3.4	1998.7	.19	99.62	-.21	4.55
3.4	2002.0	.24	87.77	-.11	4.00
3.4	2002.3	.27	77.16	-.04	3.52
3.4	1999.3	.32	59.34	.08	2.71
3.4	2004.3	.34	45.79	.15	2.09
3.4	2600.7	.11	161.51	-.39	5.67
3.4	2602.1	.15	142.44	-.29	5.00
3.4	2599.9	.21	121.67	-.16	4.27
3.4	2600.0	.26	104.72	-.07	3.68
3.4	2599.5	.30	89.04	.02	3.13
3.4	2599.8	.34	72.07	.11	2.53
3.4	2599.8	.38	58.94	.20	2.07
4.2	400.1	.43	41.55	-.71	13.00
4.2	400.2	.48	36.88	-.53	11.53
4.2	400.1	.52	36.03	-.47	11.27
4.2	399.7	.53	36.03	-.46	11.28
4.2	400.5	.52	33.92	-.41	10.60
4.2	400.5	.54	33.92	-.39	10.60
4.2	400.2	.57	32.64	-.33	10.21
4.2	401.0	.52	24.59	-.15	7.67
4.2	400.1	.48	16.96	.01	5.31
4.2	399.2	.45	15.69	.02	4.92
4.2	401.0	.55	17.81	.06	5.56
4.2	400.1	.55	17.38	.07	5.44
4.2	399.4	.49	13.14	.12	4.12
4.2	399.6	.46	10.86	.16	3.40
4.2	699.8	.19	71.65	-.94	12.81
4.2	699.8	.23	57.66	-.67	10.31
4.2	699.2	.27	51.30	-.54	9.18
4.2	699.4	.30	46.63	-.43	8.34
4.2	700.1	.31	46.63	-.43	8.34
4.2	698.8	.31	45.79	-.41	8.20
4.2	699.4	.36	41.55	-.30	7.43
4.2	699.5	.38	36.03	-.18	6.45
4.2	699.3	.39	34.34	-.15	6.15
4.2	699.4	.43	26.71	.01	4.78
4.2	699.5	.45	20.35	.13	3.64
4.2	700.4	.45	19.59	.15	3.50
4.2	700.0	.45	18.46	.16	3.30
4.2	999.2	.03	89.45	-.96	11.20
4.2	1003.1	.14	71.65	-.65	8.94
4.2	1002.1	.15	64.01	-.56	7.99
4.2	1005.7	.20	56.38	-.41	7.02
4.2	1002.1	.25	47.91	-.28	5.98
4.2	1002.2	.32	41.12	-.14	5.13
4.2	1000.5	.36	36.88	-.05	4.61
4.2	1000.7	.40	28.83	.08	3.61
4.2	1299.1	.10	93.27	-.69	8.98
4.2	1300.2	.18	82.24	-.52	7.92

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_c) \times 10^4$ —
4.2	1299.2	.21	71.65	-.40	6.90
4.2	1299.1	.27	65.29	-.29	6.29
4.2	1299.3	.32	55.96	-.15	5.39
4.2	1298.8	.34	46.63	-.06	4.49
4.2	1299.3	.38	33.92	.09	3.27
4.2	1304.4	.42	26.70	.20	2.56
4.2	1851.7	-.03	151.77	-.93	10.26
4.2	1851.8	.20	99.20	-.39	6.70
4.2	2000.2	.00	156.86	-.87	9.81
4.2	1999.5	.08	139.06	-.68	8.70
4.2	2000.5	.14	125.91	-.56	7.88
4.2	2001.0	.17	110.44	-.44	6.91
4.2	1998.4	.24	100.05	-.31	6.27
4.2	2001.0	.30	84.36	-.17	5.28
4.2	2000.1	.35	66.55	-.02	4.16
4.2	2001.0	.37	53.42	.08	3.34
4.2	2596.5	.06	159.82	-.62	7.70
4.2	2596.7	.07	154.74	-.58	7.46
4.2	2597.2	.19	127.62	-.36	6.15
4.2	2601.9	.22	117.02	-.27	5.63
4.2	2597.3	.24	112.76	-.24	5.43
4.2	2600.1	.27	97.93	-.14	4.71
4.2	2597.5	.31	93.28	-.08	4.49
4.2	2599.9	.36	77.99	.03	3.75
4.2	2600.5	.41	57.23	.17	2.75
4.6	400.0	.00	47.91	-1.78	20.24
4.6	400.1	.13	40.27	-1.37	17.01
4.6	399.9	.29	28.83	-.78	12.18
4.6	399.7	.39	17.81	-.27	7.53
4.6	399.7	.43	10.60	.03	4.48
4.6	700.1	-.37	72.49	-1.90	17.49
4.6	700.1	-.26	64.01	-1.62	15.45
4.6	700.3	-.08	55.11	-1.25	13.30
4.6	700.2	.09	38.58	-.73	9.31
4.6	700.1	.21	29.68	-.42	7.16
4.6	699.9	.29	25.01	-.24	6.04
4.6	700.2	.45	22.04	-.02	5.32
4.6	699.8	.46	14.91	.13	3.60
4.6	999.4	-.36	109.38	-1.98	18.49
4.6	998.9	-.21	94.11	-1.61	15.92
4.6	998.5	-.13	84.36	-1.39	14.27
4.6	998.5	-.02	71.65	-1.08	12.12
4.6	998.6	.13	58.08	-.73	9.83
4.6	999.8	.25	48.33	-.47	8.17
4.6	1000.0	.39	31.96	-.09	5.40
4.6	1299.7	-.30	123.79	-1.71	16.09
4.6	1300.9	-.12	96.23	-1.22	12.50
4.6	1299.3	.03	80.97	-.90	10.53
4.6	1299.1	.21	62.32	-.51	8.10
4.6	1299.1	.33	42.39	-.15	5.51
4.6	1299.1	.38	23.74	.11	3.09
4.6	2000.1	-.19	137.36	-1.21	11.60
4.6	2000.0	-.07	116.58	-.93	9.85
4.6	1999.5	.04	100.05	-.71	8.45
4.6	1999.8	.16	83.95	-.46	7.09
4.6	1999.5	.28	66.97	-.22	5.66
4.6	1999.4	.41	48.33	.05	4.08
4.6	2599.3	-.15	145.41	-.98	9.45
4.6	2600.4	-.06	129.30	-.80	8.40
4.6	2599.5	.05	113.63	-.60	7.39
4.6	2602.1	.15	99.20	-.41	6.44
4.6	2599.5	.25	82.67	-.22	5.37
4.6	2598.9	.33	69.53	-.07	4.52
4.6	2598.6	.41	49.17	.13	3.20
4.8	400.8	-.17	31.80	-1.76	18.05
4.8	400.0	-.04	27.56	-1.42	15.68
4.8	400.2	.01	25.01	-1.24	14.22
4.8	400.0	.08	22.89	-1.07	13.02
4.8	401.1	.16	18.23	-.75	10.34
4.8	400.7	.22	16.11	-.59	9.15

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$
4.8	400.5	.31	14.84	-.43	8.43
4.8	400.3	.34	13.99	-.36	7.95
4.8	399.5	.31	9.75	-.18	5.55
4.8	399.8	.36	9.33	-.11	5.31
4.8	700.1	-.19	53.42	-1.72	17.36
4.8	699.5	-.13	47.91	-1.50	15.58
4.8	699.6	.01	41.55	-1.18	13.51
4.8	699.4	.09	35.61	-.93	11.59
4.8	699.8	.19	32.22	-.74	10.48
4.8	699.3	.29	25.86	-.45	8.41
4.8	699.5	.36	20.77	-.24	6.76
4.8	699.6	.36	13.99	-.04	4.55
4.8	1300.0	-.44	86.06	-1.77	15.06
4.8	1298.9	-.27	71.65	-1.37	12.55
4.8	1299.9	-.11	62.74	-1.07	10.98
4.8	1299.0	.19	43.67	-.48	7.65
4.8	1300.2	.31	31.37	-.17	5.49
4.8	1300.1	.35	19.50	.05	3.41
4.8	2000.4	-.53	118.28	-1.72	13.45
4.8	2001.0	-.40	106.41	-1.47	12.10
4.8	2000.5	-.29	96.66	-1.26	10.99
4.8	2000.7	-.15	85.64	-1.01	9.74
4.8	2001.3	.00	70.80	-.71	8.05
4.8	2003.1	.09	63.59	-.54	7.22
4.8	2001.3	.20	52.14	-.32	5.93
4.8	2001.2	.19	50.02	-.31	5.69
4.8	2002.1	.29	39.85	-.11	4.53
4.8	2002.5	.34	27.13	.07	3.08
4.8	2597.0	-.55	111.50	-1.41	9.77
4.8	2595.8	-.42	99.20	-1.19	8.70
4.8	2596.3	-.20	87.76	-.87	7.69
4.8	2596.1	.04	70.80	-.51	6.21
4.8	2596.2	.20	57.23	-.24	5.02
4.8	2596.1	.33	44.09	-.01	3.86

(2) Vertically upward flow HCFC-22  $D=13\text{mm}$   $L=1.98\text{m}$ 

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
3.4	199.7	.67	52.72	-.80	24.10
3.4	200.0	.70	45.98	-.58	20.98
3.4	199.2	.64	38.01	-.42	17.42
3.4	200.0	.70	35.56	-.30	16.23
3.4	199.4	.60	25.75	-.12	11.79
3.4	201.4	.61	26.36	-.12	11.95
3.4	199.9	.63	23.30	-.02	10.64
3.4	202.1	.73	26.36	.00	11.91
3.4	300.3	.56	74.18	-.82	22.55
3.4	299.7	.59	60.08	-.53	18.30
3.4	300.4	.64	44.75	-.19	13.60
3.4	300.0	.65	30.04	.10	9.14
3.4	399.0	.46	90.12	-.80	20.61
3.4	400.3	.47	76.64	-.60	17.47
3.4	399.5	.50	64.99	-.40	14.85
3.4	400.5	.53	54.56	-.23	12.43
3.4	399.7	.52	51.50	-.19	11.76
3.4	401.2	.56	40.46	.00	9.20
3.4	400.6	.55	38.62	.01	8.80
3.4	700.5	.23	104.84	-.60	13.66
3.4	700.6	.29	87.06	-.40	11.34
3.4	703.6	.32	82.15	-.33	10.66
3.4	700.2	.38	72.34	-.19	9.43
3.4	701.0	.39	71.12	-.18	9.26
3.4	700.3	.42	65.60	-.10	8.55
3.4	699.8	.43	55.18	-.01	7.20
3.4	700.8	.43	54.56	.00	7.11
3.4	698.8	.43	39.24	.11	5.13
3.4	701.2	.43	30.04	.19	3.91
3.4	999.7	.17	101.77	-.40	9.29
3.4	999.9	.18	98.71	-.37	9.01
3.4	1001.6	.20	91.96	-.31	8.38
3.4	1000.1	.25	80.31	-.20	7.33
3.4	1000.8	.25	80.31	-.20	7.32
3.4	1000.6	.29	70.50	-.11	6.43
3.4	1002.9	.29	68.66	-.09	6.25
3.4	1000.1	.32	60.08	-.01	5.48
3.4	1001.6	.37	57.02	.05	5.20
3.4	1001.2	.37	38.61	.15	3.52
3.4	998.4	.36	33.72	.17	3.08
3.4	1302.9	.12	99.93	-.30	7.00
3.4	1296.1	.18	86.44	-.20	6.09
3.4	1298.2	.18	85.22	-.18	5.99
3.4	1304.9	.25	64.98	-.02	4.55
3.4	1294.3	.27	63.15	-.01	4.45
3.4	1299.9	.27	61.91	.01	4.35
3.4	1301.0	.37	40.46	.20	2.84
3.8	399.9	.38	73.57	-.79	19.20
3.8	401.4	.44	65.60	-.60	17.06
3.8	398.7	.49	56.40	-.41	14.77
3.8	399.9	.50	56.40	-.40	14.72
3.8	406.5	.50	45.37	-.21	11.65
3.8	406.0	.49	44.14	-.20	11.35
3.8	402.6	.53	33.72	-.01	8.74
3.8	399.3	.54	29.43	.07	7.69
3.8	399.2	.55	24.52	.16	6.41
3.8	699.3	.19	86.44	-.60	12.90
3.8	702.0	.28	74.80	-.40	11.12
3.8	699.5	.25	70.50	-.40	10.52
3.8	701.8	.32	58.86	-.21	8.75
3.8	698.0	.42	44.14	.01	6.60
3.8	700.8	.40	36.78	.07	5.48
3.8	702.4	.43	34.95	.11	5.19
3.8	999.4	.09	103.00	-.57	10.76
3.8	999.2	.14	84.61	-.40	8.84
3.8	1007.1	.22	66.83	-.21	6.93
3.8	999.1	.25	58.24	-.12	6.08
3.8	997.8	.29	55.18	-.06	5.77
3.8	999.1	.31	46.59	.01	4.87
3.8	997.9	.31	42.92	.03	4.49

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
3.8	997.4	.33	42.92	.06	4.49
3.8	998.4	.33	38.01	.09	3.97
3.8	999.2	.35	38.62	.10	4.03
3.8	999.3	.37	34.33	.15	3.59
3.8	997.9	.34	32.49	.13	3.40
3.8	1002.1	.36	29.43	.17	3.07
3.8	999.6	.38	30.04	.19	3.14
3.8	1299.5	.06	96.25	-.42	7.73
3.8	1301.8	.11	78.46	-.28	6.29
3.8	1300.1	.14	73.57	-.22	5.91
3.8	1300.4	.14	71.73	-.21	5.76
3.8	1309.3	.19	60.08	-.11	4.79
3.8	1295.6	.27	52.11	.02	4.20
3.8	1300.0	.30	51.50	.04	4.14
3.8	1297.3	.31	47.21	.08	3.80
3.8	1296.3	.36	42.30	.15	3.41
3.8	1299.4	.38	38.62	.19	3.10
4.2	199.3	.51	49.05	-1.37	30.81
4.2	200.2	.56	42.92	-1.08	26.83
4.2	199.1	.51	41.08	-1.06	25.82
4.2	199.8	.57	38.01	-.88	23.80
4.2	199.9	.58	33.11	-.69	20.73
4.2	199.8	.56	30.04	-.58	18.82
4.2	198.7	.59	25.14	-.38	15.83
4.2	201.7	.62	23.30	-.26	14.45
4.2	201.4	.58	19.01	-.15	11.81
4.2	202.8	.56	14.71	.01	9.08
4.2	299.8	.34	68.05	-1.40	28.40
4.2	300.2	.42	55.79	-1.00	23.26
4.2	300.3	.50	40.46	-.53	16.86
4.2	300.0	.55	26.98	-.14	11.26
4.2	300.0	.57	20.23	.06	8.44
4.2	398.3	.19	83.99	-1.42	26.39
4.2	400.5	.20	82.77	-1.38	25.86
4.2	400.8	.23	79.70	-1.29	24.89
4.2	402.4	.23	77.86	-1.24	24.21
4.2	400.0	.23	73.57	-1.17	23.02
4.2	400.7	.19	69.28	-1.13	21.64
4.2	401.7	.26	65.60	-.99	20.44
4.2	401.0	.28	61.31	-.88	19.13
4.2	400.0	.30	57.63	-.80	18.03
4.2	399.0	.35	53.95	-.69	16.92
4.2	400.0	.35	50.27	-.61	15.73
4.2	402.6	.42	43.53	-.41	13.53
4.2	401.2	.46	40.46	-.31	12.62
4.2	401.1	.48	35.56	-.20	11.10
4.2	405.6	.49	36.17	-.19	11.16
4.2	401.0	.48	34.95	-.18	10.91
4.2	401.0	.49	33.72	-.16	10.52
4.2	399.9	.46	30.04	-.11	9.40
4.2	402.7	.48	26.36	-.03	8.19
4.2	401.0	.46	25.14	-.02	7.85
4.2	400.3	.48	24.52	.01	7.67
4.2	402.0	.49	19.62	.12	6.11
4.2	400.0	.46	15.94	.15	4.99
4.2	401.0	.46	14.10	.19	4.40
4.2	550.1	.02	95.03	-1.30	21.62
4.2	547.8	.07	82.15	-1.08	18.77
4.2	549.2	.12	71.73	-.88	16.34
4.2	549.4	.18	61.92	-.68	14.10
4.2	698.5	-.13	98.71	-1.21	17.69
4.2	699.8	-.10	97.48	-1.17	17.43
4.2	700.7	-.03	90.12	-1.01	16.10
4.2	701.1	.02	83.99	-.90	14.99
4.2	699.9	.05	77.86	-.80	13.92
4.2	701.3	.08	74.80	-.73	13.35
4.2	700.4	.12	68.05	-.62	12.16
4.2	700.4	.20	55.18	-.40	9.86
4.2	699.8	.24	49.05	-.30	8.77
4.2	700.4	.27	44.14	-.21	7.89

$P$ MPa	$G$ kg (m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_c) \times 10^4$ —
4.2	702.1	.27	44.14	-.21	7.87
4.2	699.9	.34	36.78	-.07	6.58
4.2	697.9	.38	34.95	.00	6.27
4.2	700.5	.37	33.72	.00	6.02
4.2	702.3	.40	28.81	.08	5.13
4.2	698.4	.42	20.84	.19	3.73
4.2	849.0	-.10	95.03	-.95	14.01
4.2	849.0	.02	80.31	-.70	11.84
4.2	849.0	.08	71.73	-.57	10.57
4.2	848.0	.14	58.86	-.39	8.69
4.2	850.0	.23	45.98	-.19	6.77
4.2	851.0	.30	34.33	-.01	5.05
4.2	1001.1	-.13	96.25	-.87	12.03
4.2	1000.0	-.11	93.19	-.82	11.66
4.2	1000.4	-.09	91.96	-.80	11.50
4.2	999.3	-.05	84.61	-.70	10.60
4.2	999.0	-.02	78.47	-.61	9.83
4.2	1001.1	.01	74.18	-.56	9.27
4.2	998.5	.08	62.53	-.40	7.84
4.2	1000.9	.12	53.34	-.28	6.67
4.2	1004.5	.18	47.82	-.19	5.96
4.2	999.5	.22	39.85	-.08	4.99
4.2	1000.5	.28	34.95	.01	4.37
4.2	998.7	.28	34.95	.02	4.38
4.2	1002.5	.32	33.11	.06	4.13
4.2	999.2	.38	29.43	.15	3.69
4.2	1148.0	-.01	88.90	-.60	9.69
4.2	1149.0	.06	69.89	-.40	7.61
4.2	1149.0	.16	54.56	-.20	5.94
4.2	1150.0	.28	42.30	.00	4.60
4.2	1303.3	.04	91.35	-.50	8.77
4.2	1301.3	.08	83.99	-.42	8.08
4.2	1302.7	.13	74.18	-.31	7.13
4.2	1300.3	.18	66.21	-.21	6.37
4.2	1300.6	.18	64.37	-.20	6.19
4.2	1301.1	.18	64.37	-.20	6.19
4.2	1300.7	.26	55.79	-.07	5.37
4.2	1296.8	.30	52.11	-.01	5.03
4.2	1303.0	.31	52.72	.00	5.06
4.2	1302.0	.32	46.59	.05	4.48
4.2	1297.9	.37	38.01	.15	3.67
4.6	199.2	.26	44.75	-2.06	37.96
4.6	200.0	.34	38.62	-1.66	32.62
4.6	199.9	.44	30.65	-1.15	25.91
4.6	199.7	.37	28.20	-1.09	23.86
4.6	199.2	.42	28.20	-1.04	23.92
4.6	200.1	.46	23.30	-.74	19.67
4.6	200.0	.56	22.07	-.58	18.64
4.6	200.7	.46	19.62	-.54	16.52
4.6	199.6	.45	19.01	-.53	16.09
4.6	200.0	.48	17.78	-.43	15.02
4.6	200.5	.54	15.94	-.28	13.43
4.6	199.1	.52	13.49	-.18	11.45
4.6	399.9	-.33	71.12	-2.16	30.05
4.6	399.9	-.24	64.37	-1.90	27.20
4.6	401.5	-.14	60.69	-1.70	25.54
4.6	400.9	-.02	55.18	-1.44	23.25
4.6	396.6	-.09	54.56	-1.50	23.24
4.6	399.9	-.04	52.72	-1.40	22.27
4.6	400.3	-.04	52.72	-1.40	22.25
4.6	397.5	.07	47.82	-1.17	20.33
4.6	403.5	.05	45.98	-1.13	19.25
4.6	400.6	.09	42.30	-1.00	17.84
4.6	399.2	.16	37.40	-.81	15.83
4.6	400.9	.24	32.49	-.60	13.69
4.6	401.3	.29	26.98	-.40	11.36
4.6	401.2	.34	24.52	-.29	10.33
4.6	405.8	.40	22.07	-.16	9.19
4.6	399.8	.42	19.62	-.09	8.29
4.6	398.3	.42	19.62	-.09	8.32

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_c) \times 10^4$
4.6	402.4	.45	20.23	-.07	8.49
4.6	400.7	.39	14.71	.01	6.20
4.6	395.6	.37	14.10	.01	6.02
4.6	402.4	.39	14.10	.03	5.92
4.6	550.6	-.10	52.72	-1.09	16.18
4.6	548.4	-.08	51.50	-1.04	15.87
4.6	552.9	.03	45.37	-.81	13.86
4.6	551.5	.19	31.88	-.41	9.77
4.6	550.2	.27	24.52	-.19	7.53
4.6	551.5	.35	18.39	.01	5.63
4.6	700.0	-.72	95.64	-2.13	23.08
4.6	700.2	-.55	80.31	-1.73	19.38
4.6	700.0	-.37	68.66	-1.38	16.57
4.6	701.6	-.16	58.24	-1.02	14.02
4.6	702.1	-.16	56.40	-.99	13.57
4.6	700.4	-.16	55.79	-.98	13.46
4.6	699.9	-.08	49.05	-.80	11.84
4.6	699.7	.03	42.30	-.60	10.21
4.6	699.6	.12	35.56	-.41	8.59
4.6	704.0	.08	34.33	-.42	8.24
4.6	701.1	.23	27.59	-.18	6.65
4.6	698.4	.32	21.46	.00	5.19
4.6	700.6	.29	20.23	-.01	4.88
4.6	699.8	.37	20.23	.08	4.88
4.6	698.6	.38	15.33	.16	3.71
4.6	850.0	-.07	50.27	-.68	9.99
4.6	850.0	.06	38.01	-.40	7.56
4.6	850.0	.18	30.65	-.19	6.09
4.6	851.0	.29	25.75	-.02	5.11
4.6	1001.4	-.50	98.09	-1.51	16.55
4.6	984.6	-.42	95.03	-1.41	16.31
4.6	991.5	-.21	77.86	-1.02	13.27
4.6	1000.2	-.10	68.66	-.80	11.60
4.6	1000.2	.00	58.24	-.60	9.84
4.6	999.1	.08	49.05	-.42	8.29
4.6	999.9	.18	42.30	-.25	7.15
4.6	1006.0	.20	38.62	-.20	6.49
4.6	999.8	.28	36.78	-.10	6.22
4.6	1004.8	.31	34.95	-.05	5.88
4.6	999.1	.33	31.88	.01	5.39
4.6	1001.1	.36	27.59	.08	4.66
4.6	1001.5	.40	21.46	.17	3.62
4.6	1301.6	.01	74.80	-.59	9.71
4.6	1300.4	.13	64.99	-.39	8.44
4.6	1301.2	.25	54.56	-.18	7.08
4.6	1296.6	.29	50.27	-.11	6.55
4.6	1300.6	.33	43.53	-.02	5.66
4.6	1297.2	.35	43.53	.00	5.67
4.6	1301.1	.36	34.95	.08	4.54
4.6	1301.9	.38	27.59	.16	3.58
4.8	198.8	.09	21.46	-1.41	24.56
4.8	199.3	.16	19.62	-1.21	22.40
4.8	200.2	.25	17.17	-.94	19.51
4.8	200.8	.32	15.33	-.74	17.37
4.8	201.3	.43	12.87	-.46	14.55
4.8	403.6	-.66	45.37	-2.22	25.58
4.8	400.7	-.59	40.46	-1.99	22.98
4.8	400.4	-.44	39.85	-1.83	22.65
4.8	400.5	-.23	33.72	-1.40	19.16
4.8	400.6	-.14	29.43	-1.16	16.72
4.8	399.4	-.08	26.36	-.99	15.02
4.8	403.3	.04	23.91	-.79	13.49
4.8	400.6	-.04	22.68	-.83	12.88
4.8	400.7	.09	19.62	-.59	11.14
4.8	402.1	.19	16.55	-.39	9.37
4.8	400.0	.23	15.33	-.31	8.72
4.8	403.2	.26	14.71	-.25	8.30
4.8	402.3	.27	14.10	-.22	7.98
4.8	400.9	.23	12.87	-.21	7.30
4.8	548.2	-.16	28.81	-.89	11.96

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$
4.8	551.6	-.04	25.75	-.69	10.62
4.8	549.7	.01	23.91	-.59	9.90
4.8	556.3	.14	20.23	-.37	8.27
4.8	699.6	-.31	41.08	-1.12	13.36
4.8	699.4	-.21	33.72	-.88	10.97
4.8	702.2	-.14	33.11	-.80	10.73
4.8	701.3	-.03	29.43	-.61	9.55
4.8	701.5	.11	25.75	-.40	8.35
4.8	701.6	.23	21.46	-.20	6.96
4.8	698.8	.20	20.23	-.20	6.59
4.8	699.7	.31	17.17	-.03	5.58
4.8	1001.7	-.16	46.59	-.81	10.58
4.8	1000.6	-.01	41.69	-.59	9.48
4.8	1000.3	.02	39.24	-.52	8.93
4.8	998.5	.11	36.78	-.40	8.38
4.8	1000.7	.14	34.95	-.35	7.95
4.8	999.4	.24	30.65	-.19	6.98
4.8	1007.3	.26	30.65	-.16	6.92
4.8	1001.6	.31	28.20	-.08	6.41
4.8	999.1	.37	23.30	.04	5.31
4.8	1005.8	.38	23.30	.06	5.27
4.8	1002.4	.37	17.17	.13	3.90
4.8	1301.6	-.18	58.24	-.80	10.18
4.8	1304.9	-.05	51.50	-.60	8.98
4.8	1300.1	.09	44.75	-.39	7.83
4.8	1297.0	.13	41.08	-.31	7.21
4.8	1300.9	.26	39.24	-.16	6.86
4.8	1299.2	.20	38.62	-.21	6.76
4.8	1297.1	.21	38.01	-.20	6.67
4.8	1303.2	.23	36.78	-.17	6.42
4.8	1303.0	.32	34.95	-.05	6.10
4.8	1299.7	.30	31.27	-.04	5.47
4.8	1297.4	.33	32.49	-.02	5.70
4.8	1303.2	.37	23.91	.12	4.18
4.8	1298.8	.37	17.78	.18	3.12

(3) Vertically upward flow CFC-114  $D=9\text{mm}$   $L=1.98\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
1.9	400.0	.53	63.59	-1.33	21.20
1.9	399.9	.54	51.72	-.98	17.25
1.9	400.0	.55	39.43	-.61	13.15
1.9	399.9	.55	27.13	-.24	9.05
1.9	400.1	.62	18.65	.07	6.22
1.9	399.9	.52	11.87	.17	3.96
1.9	699.8	.22	95.81	-1.38	18.25
1.9	700.0	.27	84.36	-1.14	16.07
1.9	699.8	.32	72.92	-.91	13.89
1.9	699.7	.40	60.62	-.62	11.55
1.9	700.0	.44	52.57	-.44	10.01
1.9	700.0	.41	34.34	-.16	6.54
1.9	699.6	.43	21.20	.07	4.04
1.9	699.5	.40	15.21	.14	2.90
1.9	1300.4	-.01	133.54	-1.22	13.69
1.9	1300.4	.01	126.33	-1.13	12.95
1.9	1300.0	.05	107.26	-.92	11.00
1.9	1301.5	.14	84.79	-.63	8.69
1.9	1300.2	.21	66.13	-.38	6.78
1.9	1300.3	.32	47.48	-.10	4.87
1.9	1299.8	.40	39.43	.05	4.05
1.9	2599.8	-.02	162.37	-.75	8.33
1.9	2599.1	.02	139.04	-.61	7.13
1.9	2600.1	.06	105.15	-.41	5.39
1.9	2600.6	.09	91.57	-.32	4.70
1.9	2600.2	.15	71.22	-.17	3.65
1.9	2599.1	.20	55.96	-.05	2.87
1.9	2600.7	.29	44.94	.09	2.30
2.3	400.3	.38	65.71	-1.91	26.03
2.3	400.2	.44	59.35	-1.62	23.52
2.3	400.2	.50	52.57	-1.33	20.84
2.3	399.4	.53	48.33	-1.16	19.19
2.3	399.4	.56	40.70	-.86	16.16
2.3	399.7	.55	36.03	-.71	14.30
2.3	399.6	.54	19.93	-.16	7.91
2.3	399.3	.59	16.11	.03	6.40
2.3	699.3	.07	101.32	-1.95	22.98
2.3	700.0	.10	93.27	-1.76	21.13
2.3	699.3	.18	79.28	-1.41	17.98
2.3	699.5	.23	66.56	-1.09	15.09
2.3	699.6	.33	50.45	-.68	11.44
2.3	700.4	.38	44.09	-.49	9.98
2.3	700.7	.47	34.76	-.22	7.87
2.3	700.7	.42	19.50	.04	4.41
2.3	999.6	-.16	132.69	-2.01	21.05
2.3	998.5	-.03	107.68	-1.53	17.11
2.3	998.3	.03	93.27	-1.27	14.82
2.3	997.8	.11	75.46	-.95	11.99
2.3	998.4	.19	60.62	-.66	9.63
2.3	999.5	.28	47.06	-.38	7.47
2.3	999.5	.39	35.19	-.10	5.58
2.3	1001.7	.46	28.83	.05	4.57
2.3	1300.0	-.16	158.13	-1.86	19.29
2.3	1298.6	-.10	136.51	-1.56	16.67
2.3	1298.7	-.03	115.74	-1.27	14.13
2.3	1298.7	.03	94.54	-.99	11.55
2.3	1300.9	.11	68.25	-.62	8.32
2.3	1300.8	.18	53.84	-.40	6.57
2.3	1300.8	.27	42.39	-.18	5.17
2.3	1300.9	.35	30.52	.03	3.72
2.3	2000.3	-.11	167.89	-1.28	13.31
2.3	2000.0	-.03	133.12	-.95	10.56
2.3	2000.6	.06	98.35	-.63	7.80
2.3	2000.5	.16	69.52	-.33	5.51
2.3	2000.6	.30	42.39	.00	3.36
2.3	2598.3	-.06	162.79	-.93	9.94
2.3	2598.4	-.01	141.60	-.76	8.64
2.3	2599.0	.03	121.67	-.62	7.43
2.3	2599.2	.12	92.84	-.38	5.67
2.3	2598.4	.20	75.03	-.20	4.58

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
2.3	2597.9	.29	49.60	.03	3.03
3.0	399.6	.17	25.01	-1.43	18.23
3.0	400.1	.23	22.89	-1.23	16.67
3.0	401.1	.35	16.96	-.74	12.32
3.0	401.0	.48	13.14	-.36	9.55
3.0	399.6	.51	11.87	-.25	8.65
3.0	400.1	.55	10.60	-.13	7.72
3.0	699.9	-.13	36.46	-1.46	15.18
3.0	700.1	.01	26.28	-.95	10.93
3.0	700.1	.16	19.08	-.54	7.94
3.0	699.8	.22	17.81	-.44	7.41
3.0	699.5	.30	14.84	-.25	6.18
3.0	1298.2	-.22	67.83	-1.56	15.22
3.0	1298.2	-.07	55.11	-1.16	12.37
3.0	1298.1	.07	44.51	-.81	9.99
3.0	1298.2	.26	33.92	-.41	7.61
3.0	1298.0	.40	19.61	.01	4.40
3.0	2599.3	-.33	94.54	-1.26	10.60
3.0	2599.3	-.13	81.40	-.93	9.12
3.0	2599.1	.03	66.98	-.63	7.51
3.0	2599.6	.27	48.75	-.21	5.46

(4) Vertically upward flow CFC-115  $D=13\text{mm}$   $L=1.98\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
2.1	397.6	.49	49.66	-.73	19.93
2.1	401.0	.48	42.92	-.56	17.08
2.1	400.7	.52	36.17	-.36	14.40
2.1	399.4	.55	30.04	-.18	12.00
2.1	400.9	.56	26.98	-.10	10.74
2.1	400.9	.57	25.14	-.04	10.01
2.1	699.1	.20	78.47	-.89	17.91
2.1	700.0	.24	68.66	-.72	15.65
2.1	700.7	.28	59.47	-.55	13.54
2.1	699.9	.33	50.27	-.37	11.46
2.1	700.0	.38	39.85	-.17	9.08
2.1	700.5	.42	34.33	-.06	7.82
2.1	701.6	.45	32.49	.00	7.39
2.4	401.5	.42	47.21	-.91	21.81
2.4	400.3	.46	42.30	-.73	19.60
2.4	402.6	.46	39.24	-.65	18.08
2.4	400.5	.45	34.33	-.53	15.90
2.4	402.0	.46	28.20	-.33	13.01
2.4	400.4	.49	26.36	-.26	12.21
2.4	402.1	.49	26.36	-.25	12.16
2.4	402.1	.51	25.14	-.20	11.60
2.4	400.6	.54	22.68	-.10	10.50
2.4	400.8	.55	20.84	-.04	9.64
2.4	401.9	.55	19.62	.00	9.05
2.4	400.9	.52	15.94	.07	7.37
2.4	400.9	.54	13.83	.15	6.40
2.4	697.5	.12	63.76	-.92	16.95
2.4	704.5	.18	52.72	-.66	13.88
2.4	698.8	.25	44.14	-.46	11.72
2.4	700.2	.31	35.56	-.26	9.42
2.4	700.7	.37	29.43	-.10	7.79
2.4	699.3	.43	20.84	-.09	5.53
2.4	1003.9	-.05	71.73	-.86	13.25
2.4	1001.0	.08	56.40	-.56	10.45
2.4	1001.9	.14	49.66	-.42	9.19
2.4	1001.0	.19	41.67	-.28	7.72
2.4	1000.2	.26	31.88	-.11	5.91
2.4	999.4	.36	22.68	.10	4.21
2.4	999.6	.39	16.17	.20	3.00
2.4	1302.4	-.04	74.18	-.68	10.56
2.4	1303.8	.05	56.40	-.44	8.02
2.4	1300.4	.09	46.59	-.32	6.65
2.4	1297.8	.10	44.14	-.28	6.31
2.4	1298.4	.11	42.92	-.27	6.13
2.4	1298.5	.15	36.78	-.18	5.25
2.4	1300.3	.15	36.78	-.17	5.25
2.4	1301.0	.19	33.11	-.10	4.72
2.6	402.0	.29	38.62	-.95	20.36
2.6	400.9	.34	34.33	-.77	18.15
2.6	399.0	.38	30.65	-.62	16.28
2.6	400.7	.44	24.52	-.35	12.97
2.6	400.4	.43	20.23	-.22	10.71
2.6	399.1	.44	20.23	-.22	10.74
2.6	400.7	.47	18.39	-.12	9.73
2.6	400.0	.45	17.78	-.13	9.42
2.6	399.1	.47	17.17	-.08	9.12
2.6	401.5	.48	17.17	-.07	9.06
2.6	401.3	.49	15.94	-.02	8.42
2.6	400.9	.54	15.94	.02	8.43
2.6	401.0	.49	14.10	.04	7.45
2.6	701.7	.02	53.34	-.96	16.11
2.6	699.1	.01	50.89	-.93	15.43
2.6	700.2	.15	42.30	-.63	12.80
2.6	699.0	.19	38.62	-.52	11.71
2.6	703.3	.24	33.11	-.37	9.98
2.6	698.1	.26	30.04	-.30	9.12
2.6	698.2	.30	25.75	-.18	7.82
2.6	699.7	.32	23.30	-.11	7.06
2.6	698.0	.34	22.07	-.07	6.70
2.6	700.1	.31	20.23	-.06	6.12

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_c) \times 10^4$ —
2.6	699.2	.39	16.55	.08	5.02
2.6	698.0	.44	14.10	.18	4.28
2.6	998.5	-.14	60.69	-.92	12.88
2.6	1000.4	-.03	49.66	-.68	10.52
2.6	1000.4	.06	40.46	-.46	8.57
2.6	998.6	.10	36.78	-.38	7.81
2.6	999.6	.15	33.72	-.29	7.15
2.6	999.6	.20	30.04	-.19	6.37
2.6	1001.1	.22	26.36	-.12	5.58
2.6	1304.7	-.12	80.93	-.92	13.15
2.6	1299.2	-.06	70.50	-.77	11.50
2.6	1304.3	.03	57.02	-.54	9.26
2.6	1298.8	.05	51.50	-.46	8.40
2.6	1298.5	.08	44.75	-.37	7.30
2.6	1308.7	.12	40.46	-.29	6.55
2.6	1303.9	.11	39.85	-.29	6.48
2.6	1303.1	.13	36.78	-.23	5.98
2.6	1304.3	.19	29.43	-.10	4.78
2.6	1304.3	.22	26.98	-.05	4.38
2.6	1296.2	.31	23.91	.07	3.91
2.6	1299.5	.37	18.39	.19	3.00
2.9	400.1	.13	22.07	-.85	16.10
2.9	400.8	.22	20.23	-.68	14.73
2.9	400.5	.22	18.39	-.60	13.40
2.9	397.6	.21	17.78	-.59	13.05
2.9	399.1	.27	14.71	-.39	10.76
2.9	400.0	.28	14.10	-.35	10.29
2.9	699.2	-.13	31.27	-.93	13.05
2.9	699.7	-.21	30.65	-.99	12.78
2.9	697.4	-.08	29.43	-.83	12.31
2.9	700.5	-.07	27.59	-.77	11.49
2.9	701.4	.00	26.36	-.67	10.97
2.9	700.3	.08	22.68	-.49	9.45
2.9	697.9	.09	22.07	-.48	9.23
2.9	699.5	.04	21.46	-.51	8.95
2.9	698.2	.10	20.84	-.43	8.71
2.9	701.2	.11	19.62	-.39	8.16
2.9	701.2	.12	18.39	-.35	7.65
2.9	697.8	.14	15.94	-.27	6.67
2.9	998.5	-.17	42.30	-.92	12.36
2.9	999.6	-.05	35.56	-.68	10.38
2.9	999.4	.04	30.04	-.50	8.77
2.9	1001.9	.11	23.91	-.32	6.96
2.9	1001.5	.15	20.84	-.22	6.07
2.9	1000.2	.19	19.01	-.15	5.55
2.9	1305.4	-.24	58.24	-1.03	13.02
2.9	1303.9	-.02	42.30	-.60	9.47
2.9	1299.6	.08	34.95	-.40	7.85
2.9	1304.4	.12	33.11	-.34	7.41
2.9	1304.3	.11	32.49	-.33	7.27
2.9	1303.9	.18	26.98	-.19	6.04
2.9	1297.5	.26	17.17	.02	3.86

(5) Horizontal flow HCFC-22  $D=9\text{mm}$   $L=2.95\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
2.6	400.2	-.06	17.72	-.50	3.30
2.6	700.2	.00	37.22	-.52	3.96
2.6	700.1	.04	23.04	-.28	2.45
2.6	699.9	.12	18.90	-.15	2.01
2.6	700.0	.24	17.37	-.01	1.85
2.6	1303.0	.04	80.95	-.57	4.63
2.6	1301.4	.07	58.49	-.37	3.35
2.6	1301.6	.15	43.72	-.18	2.50
2.6	1299.2	.25	34.86	-.02	2.00
2.6	2601.6	.07	168.96	-.57	4.84
2.6	2597.7	.12	132.94	-.39	3.81
2.6	2599.8	.19	103.38	-.20	2.96
2.6	2600.4	.25	76.08	-.04	2.18
3.0	399.0	-.09	17.72	-.56	3.64
3.0	400.5	-.06	14.18	-.44	2.90
3.0	700.1	-.01	38.40	-.60	4.49
3.0	701.4	.02	26.59	-.39	3.10
3.0	698.9	.04	18.31	-.25	2.14
3.0	697.9	.04	17.13	-.22	2.01
3.0	702.7	.13	14.77	-.10	1.72
3.0	699.1	.13	14.77	-.10	1.73
3.0	999.1	.02	57.31	-.60	4.70
3.0	1000.2	.03	38.40	-.38	3.14
3.0	999.0	.05	31.89	-.30	2.61
3.0	1002.2	.08	24.22	-.18	1.98
3.0	1000.6	.24	23.63	-.01	1.93
3.0	1002.7	.18	23.63	-.07	1.93
3.0	1299.4	.02	78.57	-.63	4.95
3.0	1301.2	.02	64.40	-.51	4.05
3.0	1298.9	.05	47.26	-.34	2.98
3.0	1303.2	.17	34.85	-.12	2.19
3.0	1300.7	.20	33.07	-.08	2.08
3.0	1302.9	.08	33.08	-.19	2.08
3.0	2003.5	.05	142.37	-.71	5.82
3.0	2001.6	.09	103.98	-.47	4.25
3.0	2000.5	.15	70.29	-.23	2.88
3.0	2001.2	.25	49.12	-.02	2.01
3.0	2595.2	.06	164.25	-.62	5.18
3.0	2602.7	.16	121.70	-.34	3.83
3.0	2596.9	.20	99.85	-.21	3.15
3.0	2603.1	.27	68.16	-.02	2.14
3.4	401.5	-.14	20.68	-.76	4.70
3.4	404.9	-.09	18.91	-.65	4.26
3.4	399.4	-.04	14.77	-.49	3.38
3.4	700.4	-.06	40.76	-.76	5.31
3.4	699.3	-.04	36.04	-.66	4.70
3.4	698.6	-.02	28.95	-.52	3.78
3.4	700.1	.01	22.45	-.37	2.93
3.4	700.4	.01	17.72	-.29	2.31
3.4	999.5	-.01	64.39	-.79	5.88
3.4	1002.0	.04	60.26	-.68	5.49
3.4	1004.0	.05	39.58	-.42	3.60
3.4	1001.8	.07	23.04	-.21	2.10
3.4	1008.0	.07	21.26	-.18	1.93
3.4	1307.0	-.01	90.98	-.85	6.35
3.4	1303.0	.03	76.21	-.67	5.34
3.4	1304.0	.06	61.44	-.51	4.30
3.4	1301.0	.05	49.02	-.41	3.44
3.4	1305.0	.07	46.67	-.36	3.26
3.4	1300.0	.06	32.49	-.24	2.28
3.4	1305.0	.07	30.71	-.21	2.15
3.4	1300.0	.15	20.68	-.04	1.45
3.4	1300.0	.13	15.95	-.02	1.12
3.4	1301.0	.05	44.31	-.36	3.11
3.4	2003.0	.02	140.61	-.82	6.41
3.4	1997.0	.06	116.98	-.64	5.35
3.4	2000.0	.09	94.52	-.48	4.31
3.4	1991.0	.15	73.85	-.30	3.39
3.4	1990.0	.22	61.44	-.15	2.82
3.4	2003.0	.25	53.18	-.07	2.42

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_c) \times 10^4$ —
3.4	1994.0	.26	50.23	-.04	2.30
3.4	1991.0	.27	49.32	-.03	2.26
3.4	2000.7	.11	89.79	-.43	4.10
3.4	2607.0	.10	141.80	-.55	4.96
3.4	2602.6	.20	104.57	-.29	3.67
4.2	399.5	-.26	22.45	-1.19	7.03
4.2	399.7	-.22	20.09	-1.05	6.29
4.2	400.2	-.16	13.00	-.70	4.07
4.2	700.2	-.18	42.54	-1.17	7.60
4.2	700.2	-.08	30.13	-.79	5.39
4.2	700.6	.00	21.27	-.50	3.80
4.2	701.6	.03	14.18	-.31	2.53
4.2	1000.0	-.16	73.85	-1.37	9.24
4.2	999.6	-.17	70.89	-1.34	8.87
4.2	1000.2	-.07	53.17	-.95	6.65
4.2	999.7	-.01	40.17	-.67	5.03
4.2	997.9	-.01	35.45	-.60	4.45
4.2	999.7	.02	29.54	-.47	3.70
4.2	1000.2	.07	14.18	-.17	1.77
4.2	1300.0	-.10	101.02	-1.37	9.72
4.2	1294.3	-.06	92.75	-1.24	8.97
4.2	1300.2	-.03	82.71	-1.07	7.96
4.2	1300.2	-.02	82.12	-1.06	7.90
4.2	1293.7	.02	69.12	-.86	6.69
4.2	1300.5	.06	50.81	-.58	4.89
4.2	1293.6	.11	32.49	-.30	3.14
4.2	1300.4	.15	20.09	-.10	1.93
4.2	2004.0	.02	118.20	-.95	7.38
4.2	1999.0	.10	96.31	-.69	6.03
4.2	1997.0	.11	90.39	-.63	5.66
4.2	2006.0	.12	87.91	-.60	5.48
4.2	1993.0	.17	78.56	-.48	4.93
4.2	2000.0	.21	63.80	-.31	3.99
4.2	1998.0	.23	63.21	-.29	3.96
4.2	2005.0	.31	41.11	-.02	2.57
4.2	2000.4	-.10	158.33	-1.40	9.90
4.2	2000.3	.06	106.34	-.82	6.65
4.2	2001.7	.25	56.11	-.21	3.51
4.2	2600.0	-.12	202.05	-1.40	9.73
4.2	2598.4	-.06	179.00	-1.20	8.62
4.2	2601.8	.00	154.79	-.98	7.45
4.2	2602.1	.10	121.70	-.67	5.85
4.2	2600.7	.22	91.57	-.36	4.41
4.2	2601.1	.32	61.44	-.07	2.96
4.6	401.1	-.48	23.63	-1.79	9.95
4.6	402.7	-.35	19.50	-1.42	8.18
4.6	401.8	-.23	14.77	-1.04	6.21
4.6	699.4	-.38	46.67	-1.86	11.27
4.6	699.3	-.29	39.58	-1.54	9.56
4.6	699.3	-.16	31.90	-1.18	7.71
4.6	699.4	-.14	27.18	-1.01	6.57
4.6	699.3	-.06	23.63	-.81	5.71
4.6	701.2	-.03	18.31	-.61	4.41
4.6	699.8	-.02	17.13	-.56	4.14
4.6	1000.8	-.38	79.16	-2.13	13.36
4.6	1000.3	-.22	64.40	-1.65	10.88
4.6	999.6	-.11	53.17	-1.29	8.99
4.6	1003.0	-.04	43.13	-1.00	7.27
4.6	997.2	.04	32.49	-.69	5.51
4.6	1000.1	.09	19.50	-.34	3.29
4.6	997.2	.08	12.41	-.20	2.10
4.6	1297.0	-.38	106.93	-2.21	13.93
4.6	1293.9	-.23	90.98	-1.80	11.88
4.6	1297.1	-.12	75.03	-1.40	9.77
4.6	1302.3	-.03	63.21	-1.10	8.20
4.6	1301.2	.08	47.85	-.73	6.21
4.6	1301.1	.16	31.90	-.39	4.14
4.6	1300.9	.22	19.50	-.12	2.53
4.6	1998.9	-.44	150.65	-2.11	12.73
4.6	2004.9	-.28	126.43	-1.68	10.65

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —
4.6	1999.7	-.13	106.93	-1.32	9.03
4.6	2000.2	-.02	89.80	-1.02	7.59
4.6	1998.2	.11	73.26	-.71	6.19
4.6	1997.9	.23	53.76	-.36	4.55
4.6	1998.6	.33	36.05	-.07	3.05
4.8	400.6	-.79	23.04	-2.51	13.09
4.8	399.6	-.28	12.41	-1.20	7.07
4.8	700.5	-.62	40.76	-2.36	13.24
4.8	700.8	-.41	33.08	-1.82	10.74
4.8	699.8	-.14	23.63	-1.15	7.68
4.8	698.8	-.04	17.72	-.80	5.77
4.8	1002.8	-.80	70.30	-2.90	15.95
4.8	1003.6	-.44	51.99	-1.99	11.79
4.8	1001.3	-.27	44.31	-1.59	10.07
4.8	1000.5	-.03	31.31	-.97	7.12
4.8	999.4	.06	24.22	-.67	5.51
4.8	999.6	.19	15.36	-.27	3.50
4.8	999.0	.20	13.00	-.19	2.96
4.8	1302.0	-.44	67.94	-2.00	11.87
4.8	1298.5	-.46	66.76	-2.00	11.70
4.8	1299.8	-.26	56.12	-1.55	9.82
4.8	1299.2	-.26	56.12	-1.55	9.83
4.8	1298.6	-.12	49.63	-1.27	8.70
4.8	1299.9	.02	41.35	-.94	7.24
4.8	1298.7	.24	24.22	-.32	4.24
4.8	1998.0	-.62	93.93	-2.03	10.70
4.8	1998.0	.17	44.90	-.51	5.11
4.8	1998.0	-.72	101.61	-2.25	11.57
4.8	1997.8	-.37	82.71	-1.61	9.42
4.8	1996.7	-.01	61.44	-.93	7.00
4.8	1997.7	.27	36.63	-.28	4.17
4.8	2599.0	-.48	107.52	-1.72	9.41
4.8	2599.6	-.28	92.16	-1.34	8.07
4.8	2599.3	-.08	76.21	-.95	6.67
4.8	2601.4	.12	60.85	-.58	5.32
4.8	2602.1	.22	51.99	-.38	4.55
4.8	2598.1	.32	37.81	-.12	3.31

(6) Horizontal flow HCFC-22  $D=13\text{mm}$   $L=2.95\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$
4.2	399.9	-.54	28.22	-1.34	8.83
4.2	402.8	-.36	20.86	-.95	6.48
4.2	398.0	-.24	14.32	-.65	4.50
4.2	398.5	-.13	9.00	-.38	2.83
4.2	703.1	-.49	55.63	-1.39	9.90
4.2	703.1	-.39	47.45	-1.16	8.45
4.2	703.1	-.30	38.86	-.93	6.92
4.2	702.9	-.19	30.27	-.68	5.39
4.2	699.1	-.09	20.86	-.43	3.73
4.2	700.5	-.01	11.86	-.20	2.12
4.2	1001.5	-.45	82.63	-1.39	10.33
4.2	999.2	-.35	71.58	-1.16	8.97
4.2	999.2	-.23	59.72	-.91	7.48
4.2	1000.6	-.12	47.04	-.66	5.88
4.2	1000.6	-.06	35.59	-.46	4.45
4.2	1002.0	.00	21.27	-.24	2.66
4.2	1305.7	-.22	97.77	-1.07	9.37
4.2	1305.7	-.13	80.17	-.83	7.68
4.2	1304.9	-.04	65.04	-.60	6.24
4.2	1307.8	.01	49.90	-.43	4.78
4.2	1307.1	-.01	49.08	-.43	4.70
4.2	1306.4	.00	30.27	-.22	2.90
4.2	1307.8	.09	18.81	-.07	1.80
4.2	1302.9	.11	16.66	-.04	1.60
4.8	403.0	-1.00	23.32	-2.20	13.17
4.8	401.1	-.74	18.00	-1.67	10.21
4.8	401.6	-.40	13.09	-1.08	7.42
4.8	999.3	-.88	60.95	-2.14	13.88
4.8	1002.4	-.55	51.54	-1.62	11.70
4.8	998.7	-.29	40.90	-1.14	9.32
4.8	1004.3	-.12	32.93	-.79	7.46
4.8	1001.5	.04	22.50	-.42	5.11
4.8	1001.5	.17	10.64	-.05	2.42
4.8	1296.1	-.89	79.18	-2.16	13.90
4.8	1298.9	-.67	67.36	-1.74	11.80
4.8	1298.2	-.49	57.63	-1.40	10.10
4.8	1294.7	-.27	50.72	-1.08	8.91
4.8	1296.8	-.23	50.72	-1.04	8.90
4.8	1298.2	-.06	40.09	-.70	7.03
4.8	1298.2	.10	28.63	-.36	5.02
4.8	1298.2	.22	18.82	-.08	3.30

(7) Inclined upward flow HCFC-22  $D=9\text{mm}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —	$\theta$ °	$L$ m
3.0	399.0	.08	25.98	-.62	5.33	2.0	2.95
3.0	401.0	.13	21.85	-.45	4.46	2.0	2.95
3.0	399.0	.16	17.11	-.31	3.51	2.0	2.95
3.0	400.0	.15	16.52	-.30	3.38	2.0	2.95
3.0	400.0	.22	15.35	-.20	3.14	2.0	2.95
3.0	400.0	.26	14.17	-.12	2.90	2.0	2.95
3.0	400.0	.31	10.61	.02	2.17	2.0	2.95
3.0	699.0	.01	40.74	-.61	4.77	2.0	2.95
3.0	701.0	.04	32.46	-.46	3.79	2.0	2.95
3.0	701.0	.14	27.75	-.29	3.24	2.0	2.95
3.0	701.0	.20	21.84	-.14	2.55	2.0	2.95
3.0	701.0	.34	18.93	.05	2.21	2.0	2.95
3.0	1000.0	.02	52.54	-.54	4.30	2.0	2.95
3.0	1000.0	.04	38.98	-.38	3.19	2.0	2.95
3.0	1000.0	.07	26.64	-.22	2.18	2.0	2.95
3.0	1001.0	.24	26.54	-.05	2.17	2.0	2.95
3.0	400.0	.16	33.09	-.73	6.77	5.0	2.95
3.0	400.0	.20	31.91	-.66	6.53	5.0	2.95
3.0	399.0	.23	26.57	-.49	5.45	5.0	2.95
3.0	400.0	.28	17.11	-.18	3.50	5.0	2.95
3.0	400.0	.36	9.43	.11	1.93	5.0	2.95
3.0	700.0	.00	43.62	-.67	5.10	5.0	2.95
3.0	700.0	.14	33.10	-.37	3.87	5.0	2.95
3.0	700.0	.32	24.80	-.06	2.90	5.0	2.95
3.0	999.0	.01	62.01	-.66	5.08	5.0	2.95
3.0	999.0	.08	31.25	-.26	2.56	5.0	2.95
3.0	1002.0	.22	24.85	-.04	2.03	5.0	2.95
3.0	400.0	.27	33.09	-.62	6.77	10.0	2.95
3.0	400.0	.27	32.50	-.61	6.65	10.0	2.95
3.0	400.0	.29	30.69	-.54	6.28	10.0	2.95
3.0	400.0	.32	23.02	-.30	4.71	10.0	2.95
3.0	400.0	.35	17.74	-.13	3.63	10.0	2.95
3.0	700.0	.21	56.70	-.66	6.63	10.0	2.95
3.0	701.0	.26	59.10	-.65	6.90	10.0	2.95
3.0	700.0	.27	51.40	-.52	6.01	10.0	2.95
3.0	701.0	.24	42.57	-.42	4.97	10.0	2.95
3.0	700.0	.34	32.50	-.16	3.80	10.0	2.95
3.0	699.0	.32	32.45	-.18	3.80	10.0	2.95
3.0	700.0	.40	24.80	.02	2.90	10.0	2.95
3.0	700.0	.40	24.20	.02	2.83	10.0	2.95
3.0	1000.0	.04	66.10	-.67	5.41	10.0	2.95
3.0	1000.0	.14	43.74	-.33	3.58	10.0	2.95
3.0	1000.0	.27	29.57	-.05	2.42	10.0	2.95
3.0	1298.0	.03	85.64	-.69	5.40	10.0	2.95
3.0	1301.0	.05	63.74	-.48	4.01	10.0	2.95
3.0	1300.0	.09	41.30	-.25	2.60	10.0	2.95
3.0	1301.0	.26	32.43	-.01	2.04	10.0	2.95
3.0	400.0	.40	33.09	-.49	6.77	22.0	2.95
3.0	400.0	.38	30.69	-.45	6.28	22.0	2.95
3.0	400.0	.47	23.61	-.17	4.83	22.0	2.95
3.0	400.0	.58	17.11	.12	3.50	22.0	2.95
3.0	700.0	.26	59.10	-.65	6.91	22.0	2.95
3.0	700.0	.26	56.70	-.61	6.63	22.0	2.95
3.0	698.0	.29	46.05	-.43	5.40	22.0	2.95
3.0	700.0	.32	37.80	-.26	4.42	22.0	2.95
3.0	700.0	.43	28.91	-.01	3.38	22.0	2.95
3.0	1002.0	.15	73.21	-.64	5.98	22.0	2.95
3.0	998.0	.21	54.38	-.37	4.46	22.0	2.95
3.0	999.0	.31	37.84	-.09	3.10	22.0	2.95
3.0	1300.0	.05	84.50	-.65	5.32	22.0	2.95
3.0	1298.0	.07	65.02	-.47	4.10	22.0	2.95
3.0	1300.0	.11	48.44	-.29	3.05	22.0	2.95
3.0	1301.0	.20	43.71	-.16	2.75	22.0	2.95
3.0	1299.0	.27	34.28	-.02	2.16	22.0	2.95
3.0	2605.0	.06	171.23	-.65	5.38	22.0	2.95
3.0	2598.0	.20	103.48	-.23	3.26	22.0	2.95
3.0	400.0	.53	40.17	-.56	8.22	45.0	2.95
3.0	400.0	.58	33.67	-.33	6.89	45.0	2.95
3.0	400.0	.65	29.52	-.14	6.04	45.0	2.95
3.0	400.0	.71	24.19	.06	4.95	45.0	2.95

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$	$\theta$ °	$L$ m
3.0	400.0	.73	23.61	.09	4.83	45.0	2.95
3.0	400.0	.39	53.27	-.57	10.90	45.0	1.98
3.0	400.0	.50	43.64	-.29	8.93	45.0	1.98
3.0	401.0	.61	34.34	-.01	7.01	45.0	1.98
3.0	700.0	.32	58.50	-.58	6.84	45.0	2.95
3.0	700.0	.36	49.61	-.41	5.80	45.0	2.95
3.0	700.0	.48	34.30	-.05	4.01	45.0	2.95
3.0	700.0	.51	26.60	.10	3.11	45.0	2.95
3.0	1000.0	.19	70.25	-.57	5.75	45.0	2.95
3.0	1001.0	.26	54.91	-.33	4.49	45.0	2.95
3.0	1000.0	.37	39.59	-.06	3.24	45.0	2.95
3.0	1001.0	.15	104.69	-.61	8.56	45.0	1.98
3.0	1002.0	.21	68.68	-.29	5.61	45.0	1.98
3.0	1000.0	.32	49.12	-.04	4.02	45.0	1.98
3.0	1299.0	.11	81.58	-.57	5.14	45.0	2.95
3.0	1300.0	.17	61.47	-.33	3.87	45.0	2.95
3.0	1302.0	.27	45.50	-.11	2.86	45.0	2.95
3.0	1851.0	.04	166.68	-.61	7.37	45.0	1.98
3.0	1849.0	.14	111.83	-.29	4.95	45.0	1.98
3.0	1848.0	.24	84.44	-.09	3.74	45.0	1.98
3.0	1850.0	.33	60.58	.10	2.68	45.0	1.98
3.0	2602.0	.07	164.36	-.61	5.17	45.0	2.95
3.0	2603.0	.18	121.17	-.32	3.81	45.0	2.95
3.0	2596.0	.24	82.78	-.11	2.61	45.0	2.95
3.0	2604.0	.29	60.13	.04	1.89	45.0	2.95
3.0	400.0	.46	55.23	-.53	11.30	60.0	1.98
3.0	400.0	.49	55.23	-.50	11.30	60.0	1.98
3.0	400.0	.55	44.91	-.26	9.19	60.0	1.98
3.0	400.0	.61	41.54	-.14	8.50	60.0	1.98
3.0	400.0	.65	37.73	-.03	7.72	60.0	1.98
3.0	400.0	.68	32.65	-.09	6.68	60.0	1.98
3.0	1850.0	.06	161.84	-.57	7.16	60.0	1.98
3.0	1851.0	.11	139.54	-.43	6.17	60.0	1.98
3.0	1850.0	.18	116.63	-.27	5.16	60.0	1.98
3.0	1850.0	.24	89.51	-.11	3.96	60.0	1.98
3.0	1850.0	.31	55.15	.09	2.44	60.0	1.98
3.0	400.0	.47	55.71	-.54	11.40	68.0	1.98
3.0	400.0	.54	49.36	-.35	10.10	68.0	1.98
3.0	400.0	.61	41.54	-.14	8.50	68.0	1.98
3.0	400.0	.71	30.94	.15	6.33	68.0	1.98
3.0	400.0	.72	31.82	.15	6.51	68.0	1.98
3.0	700.0	.30	77.57	-.50	9.07	68.0	1.98
3.0	700.0	.32	62.69	-.33	7.33	68.0	1.98
3.0	700.0	.38	53.45	-.17	6.25	68.0	1.98
3.0	701.0	.41	43.25	-.03	5.05	68.0	1.98
3.0	700.0	.48	32.24	.15	3.77	68.0	1.98
3.0	1000.0	.21	108.13	-.57	8.85	68.0	1.98
3.0	1000.0	.23	100.43	-.50	8.22	68.0	1.98
3.0	1000.0	.25	88.58	-.39	7.25	68.0	1.98
3.0	1000.0	.29	66.10	-.18	5.41	68.0	1.98
3.0	1001.0	.31	50.02	-.05	4.09	68.0	1.98
3.0	1000.0	.37	30.06	.15	2.46	68.0	1.98
3.0	1300.0	.11	136.44	-.65	8.59	68.0	1.98
3.0	1299.0	.20	106.34	-.39	6.70	68.0	1.98
3.0	1301.0	.28	64.38	-.08	4.05	68.0	1.98
3.0	1301.0	.29	57.22	-.03	3.60	68.0	1.98
3.0	1301.0	.30	39.42	.08	2.48	68.0	1.98
3.0	1849.0	.06	168.30	-.60	7.45	68.0	1.98
3.0	1850.0	.13	136.52	-.40	6.04	68.0	1.98
3.0	1849.0	.22	109.34	-.21	4.84	68.0	1.98
3.0	1848.0	.27	72.93	-.01	3.23	68.0	1.98
3.0	400.0	.51	59.14	-.56	12.10	81.0	1.98
3.0	400.0	.53	52.78	-.43	10.80	81.0	1.98
3.0	400.0	.58	44.52	-.22	9.11	81.0	1.98
3.0	400.0	.65	36.90	-.01	7.55	81.0	1.98
3.0	400.0	.62	25.80	.15	5.28	81.0	1.98
3.0	1000.0	.26	117.41	-.58	9.61	81.0	1.98
3.0	1000.0	.30	98.35	-.41	8.05	81.0	1.98
3.0	1000.0	.33	78.44	-.23	6.42	81.0	1.98

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —	$\theta$ °	$L$ m
3.0	1000.0	.36	66.95	-.12	5.48	81.0	1.98
3.0	1001.0	.34	52.59	-.04	4.30	81.0	1.98
3.0	1000.0	.35	46.18	.02	3.78	81.0	1.98
3.0	1000.0	.40	41.91	.10	3.43	81.0	1.98
4.2	400.0	-.36	24.23	-1.35	7.58	2.0	2.95
4.2	400.0	-.02	6.49	-.29	2.03	2.0	2.95
4.2	400.0	.03	5.91	-.21	1.85	2.0	2.95
4.2	700.0	-.29	47.27	-1.40	8.45	2.0	2.95
4.2	700.0	-.11	31.88	-.86	5.70	2.0	2.95
4.2	701.0	.01	8.29	-.18	1.48	2.0	2.95
4.2	1000.0	.02	30.69	-.49	3.84	2.0	2.95
4.2	1001.0	.04	16.56	-.23	2.07	2.0	2.95
4.2	1003.0	.06	9.46	-.09	1.18	2.0	2.95
4.2	998.0	.10	5.91	.00	.74	2.0	2.95
4.2	400.0	-.35	24.80	-1.37	7.76	5.0	2.95
4.2	401.0	-.19	19.51	-.99	6.09	5.0	2.95
4.2	400.0	-.11	11.83	-.59	3.70	5.0	2.95
4.2	399.0	.05	7.08	-.24	2.22	5.0	2.95
4.2	400.0	-.23	25.41	-1.27	7.95	10.0	2.95
4.2	400.0	-.10	19.50	-.90	6.10	10.0	2.95
4.2	400.0	.03	14.77	-.58	4.62	10.0	2.95
4.2	400.0	.16	10.64	-.28	3.33	10.0	2.95
4.2	701.0	-.28	47.84	-1.41	8.54	10.0	2.95
4.2	701.0	-.17	37.25	-1.05	6.65	10.0	2.95
4.2	701.0	-.02	23.64	-.58	4.22	10.0	2.95
4.2	700.0	.02	14.77	-.33	2.64	10.0	2.95
4.2	700.0	.17	8.89	-.04	1.59	10.0	2.95
4.2	1303.0	.12	26.03	-.20	2.50	10.0	2.95
4.2	401.0	.10	34.29	-1.31	10.70	22.0	2.95
4.2	399.0	.17	27.77	-.97	8.71	22.0	2.95
4.2	401.0	.24	20.67	-.60	6.45	22.0	2.95
4.2	400.0	.34	13.01	-.19	4.07	22.0	2.95
4.2	401.0	.33	11.82	-.16	3.69	22.0	2.95
4.2	400.0	.47	9.46	.08	2.96	22.0	2.95
4.2	700.0	-.23	48.44	-1.37	8.66	22.0	2.95
4.2	700.0	-.05	34.29	-.86	6.13	22.0	2.95
4.2	700.0	.03	24.22	-.54	4.33	22.0	2.95
4.2	700.0	.04	23.05	-.50	4.12	22.0	2.95
4.2	700.0	.23	17.73	-.19	3.17	22.0	2.95
4.2	1002.0	-.17	75.03	-1.40	9.37	22.0	2.95
4.2	998.0	-.05	53.75	-.93	6.74	22.0	2.95
4.2	1000.0	.04	27.81	-.42	3.48	22.0	2.95
4.2	1001.0	.04	23.04	-.34	2.88	22.0	2.95
4.2	1001.0	.08	17.76	-.21	2.22	22.0	2.95
4.2	1003.0	.16	13.63	-.07	1.70	22.0	2.95
4.2	1300.0	-.11	102.84	-1.41	9.90	22.0	2.95
4.2	1303.0	.01	71.53	-.90	6.87	22.0	2.95
4.2	1300.0	.05	61.50	-.73	5.92	22.0	2.95
4.2	1301.0	.13	35.45	-.31	3.41	22.0	2.95
4.2	1300.0	.24	23.06	-.05	2.22	22.0	2.95
4.2	1300.0	.28	14.23	.10	1.37	22.0	2.95
4.2	2595.0	.09	134.79	-.77	6.50	22.0	2.95
4.2	2601.0	.36	65.06	-.05	3.13	22.0	2.95
4.2	400.0	.30	34.20	-1.11	10.70	45.0	2.95
4.2	400.0	.36	28.96	-.83	9.06	45.0	2.95
4.2	400.0	.45	23.01	-.50	7.20	45.0	2.95
4.2	400.0	.52	19.50	-.28	6.10	45.0	2.95
4.2	400.0	.54	15.37	-.09	4.81	45.0	2.95
4.2	400.0	.56	13.01	.03	4.07	45.0	2.95
4.2	701.0	-.02	51.98	-1.24	9.28	45.0	2.95
4.2	700.0	.06	44.30	-.99	7.92	45.0	2.95
4.2	700.0	.17	32.50	-.60	5.81	45.0	2.95
4.2	700.0	.31	21.87	-.20	3.91	45.0	2.95
4.2	700.0	.42	14.77	.08	2.64	45.0	2.95
4.2	987.0	-.14	70.27	-1.31	8.91	45.0	2.95
4.2	1000.0	-.03	53.14	-.91	6.65	45.0	2.95
4.2	1000.0	.05	32.52	-.49	4.07	45.0	2.95
4.2	1001.0	.05	31.92	-.48	3.99	45.0	2.95
4.2	1001.0	.19	28.96	-.28	3.62	45.0	2.95
4.2	1000.0	.07	27.81	-.39	3.48	45.0	2.95

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$	$\theta$ °	$L$ m
4.2	1000.0	.21	26.61	-.22	3.33	45.0	2.95
4.2	1001.0	.11	26.00	-.32	3.25	45.0	2.95
4.2	999.0	.39	17.72	.10	2.22	45.0	2.95
4.2	1302.0	-.09	94.57	-1.28	9.09	45.0	2.95
4.2	1301.0	.00	74.44	-.94	7.16	45.0	2.95
4.2	1300.0	.10	53.19	-.58	5.12	45.0	2.95
4.2	1300.0	.26	35.42	-.19	3.41	45.0	2.95
4.2	1300.0	.30	27.22	-.04	2.62	45.0	2.95
4.2	2598.0	-.09	194.94	-1.32	9.39	45.0	2.95
4.2	2595.0	.04	151.79	-.93	7.32	45.0	2.95
4.2	2603.0	.11	122.93	-.67	5.91	45.0	2.95
4.2	2602.0	.24	88.58	-.32	4.26	45.0	2.95
4.2	2598.0	.37	60.21	-.02	2.90	45.0	2.95
4.2	2597.0	.40	45.45	.12	2.19	45.0	2.95
4.2	1300.0	-.19	132.97	-1.31	12.80	60.0	1.98
4.2	1299.0	.01	93.73	-.79	9.03	60.0	1.98
4.2	1299.0	.13	71.62	-.48	6.90	60.0	1.98
4.2	1299.0	.23	58.96	-.27	5.68	60.0	1.98
4.2	1299.0	.31	39.45	-.03	3.80	60.0	1.98
4.2	1299.0	.34	31.76	.07	3.06	60.0	1.98
4.2	1850.0	-.08	153.75	-.99	10.40	60.0	1.98
4.2	1850.0	-.02	131.42	-.80	8.89	60.0	1.98
4.2	1850.0	.06	112.35	-.61	7.60	60.0	1.98
4.2	1849.0	.15	92.79	-.40	6.28	60.0	1.98
4.2	1849.0	.24	72.55	-.19	4.91	60.0	1.98
4.2	1848.0	.31	49.62	.02	3.36	60.0	1.98
4.2	1855.0	.36	39.87	.13	2.69	60.0	1.98
4.2	400.0	.25	46.35	-1.02	14.50	68.0	1.98
4.2	400.0	.38	34.84	-.58	10.90	68.0	1.98
4.2	400.0	.47	27.55	-.29	8.62	68.0	1.98
4.2	400.0	.59	20.78	.02	6.50	68.0	1.98
4.2	700.0	.00	73.84	-1.16	13.20	68.0	1.98
4.2	700.0	.07	64.89	-.95	11.60	68.0	1.98
4.2	700.0	.19	49.62	-.59	8.87	68.0	1.98
4.2	700.0	.30	36.86	-.28	6.59	68.0	1.98
4.2	700.0	.38	21.20	.04	3.79	68.0	1.98
4.2	1000.0	-.13	104.68	-1.28	13.10	68.0	1.98
4.2	1000.0	.03	79.27	-.85	9.92	68.0	1.98
4.2	1000.0	.13	66.57	-.60	8.33	68.0	1.98
4.2	1000.0	.20	59.77	-.46	7.48	68.0	1.98
4.2	1003.0	.30	44.48	-.19	5.55	68.0	1.98
4.2	1003.0	.35	31.34	.00	3.91	68.0	1.98
4.2	1301.0	-.13	128.91	-1.22	12.40	68.0	1.98
4.2	1300.0	-.04	116.35	-1.03	11.20	68.0	1.98
4.2	1301.0	.02	99.18	-.82	9.54	68.0	1.98
4.2	1299.0	.13	83.15	-.57	8.01	68.0	1.98
4.2	1301.0	.21	74.23	-.41	7.14	68.0	1.98
4.2	1299.0	.31	48.37	-.10	4.66	68.0	1.98
4.2	1299.0	.35	40.69	.00	3.92	68.0	1.98
4.2	1850.0	-.10	171.49	-1.12	11.60	68.0	1.98
4.2	1851.0	.03	133.12	-.76	9.00	68.0	1.98
4.2	1851.0	.07	122.18	-.65	8.26	68.0	1.98
4.2	1853.0	.17	99.65	-.43	6.73	68.0	1.98
4.2	1850.0	.24	83.97	-.26	5.68	68.0	1.98
4.2	1850.0	.31	62.39	-.07	4.22	68.0	1.98
4.2	1849.0	.40	41.96	.15	2.84	68.0	1.98
4.2	400.0	.28	54.98	-1.24	17.20	81.0	1.98
4.2	400.0	.32	46.67	-.97	14.60	81.0	1.98
4.2	400.0	.40	36.76	-.62	11.50	81.0	1.98
4.2	400.0	.47	27.97	-.30	8.75	81.0	1.98
4.2	400.0	.56	20.36	.00	6.37	81.0	1.98
4.2	703.0	.08	79.21	-1.17	14.10	81.0	1.98
4.2	703.0	.14	69.66	-.95	12.40	81.0	1.98
4.2	703.0	.25	55.11	-.62	9.81	81.0	1.98
4.2	703.0	.33	40.28	-.30	7.17	81.0	1.98
4.2	702.0	.39	32.20	-.11	5.74	81.0	1.98
4.2	703.0	.43	24.16	.05	4.30	81.0	1.98

## (8) Vertically upward flow HCFC-22/CFC-114 D=9mm L=1.98m

P MPa	G kg/(m <sup>2</sup> ·s)	x <sub>c</sub> —	q <sub>c</sub> kW/m <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> —	q <sub>c</sub> /(G·Δh <sub>v</sub> )×10 <sup>4</sup> —	ξ —
2.6	395.4	.54	53.20	-.54	13.29	.578
2.6	395.1	.54	40.21	-.28	10.06	.578
2.6	395.3	.55	25.98	.03	6.49	.578
2.6	395.4	.60	21.36	.16	5.34	.578
2.6	693.1	.45	89.20	-.60	12.72	.578
2.6	693.3	.45	71.27	-.39	10.16	.578
2.6	693.1	.44	46.49	-.10	6.63	.578
2.6	694.1	.41	28.86	.07	4.11	.578
2.6	1295.2	.23	143.86	-.70	10.98	.532
2.6	1294.7	.24	120.19	-.52	9.17	.532
2.6	1293.9	.28	99.73	-.34	7.62	.532
2.6	1293.8	.32	73.36	-.14	5.60	.532
2.6	1293.6	.34	48.78	.04	3.73	.532
2.6	1297.1	.34	38.29	.10	2.92	.532
2.6	1297.8	.29	25.91	.13	1.97	.532
2.6	1296.2	.32	21.68	.18	1.65	.532
2.6	1996.2	.10	153.45	-.55	7.60	.532
2.6	2592.4	.09	167.64	-.45	6.39	.532
2.6	2590.8	.09	158.42	-.42	6.04	.532
2.6	2592.5	.14	118.80	-.24	4.53	.532
2.6	2590.7	.23	90.79	-.05	3.46	.532
2.6	2589.9	.28	62.59	.09	2.39	.532
2.7	398.9	.53	66.48	-1.20	21.75	.248
2.7	397.9	.51	26.87	-.17	8.81	.248
2.7	398.3	.54	25.56	-.11	8.38	.248
2.7	397.9	.52	46.38	-.68	15.21	.248
2.7	699.2	.30	103.69	-1.28	19.35	.248
2.7	699.3	.36	82.84	-.89	15.46	.248
2.7	699.2	.40	58.35	-.46	10.89	.248
2.7	699.2	.47	29.00	.05	5.41	.248
2.7	699.0	.44	20.63	.14	3.85	.248
2.7	1299.2	.00	151.37	-1.33	15.20	.242
2.7	1298.6	.05	125.31	-1.08	12.59	.242
2.7	1301.0	.10	98.70	-.74	9.90	.242
2.7	1297.9	.18	68.69	-.39	6.91	.242
2.7	1300.8	.34	41.46	.03	4.16	.242
2.7	2597.3	.04	170.69	-.70	8.58	.242
2.7	2598.3	.05	160.60	-.65	8.07	.242
2.7	2598.4	.08	142.70	-.53	7.17	.242
2.7	2599.6	.11	113.71	-.38	5.71	.759
2.7	2599.6	.12	105.22	-.34	5.28	.759
2.7	2598.2	.17	104.05	-.25	5.23	.242
2.7	2598.6	.16	80.75	-.19	4.06	.759
2.7	2599.9	.22	65.05	-.06	3.27	.759
2.7	2597.9	.26	78.66	-.05	3.95	.242
3.0	396.6	.54	57.91	-.79	16.60	.536
3.0	396.5	.54	43.64	-.46	12.51	.536
3.0	397.7	.51	28.79	-.15	8.23	.536
3.0	396.7	.59	19.29	.14	5.53	.536
3.0	698.2	.39	97.08	-.90	15.81	.512
3.0	698.3	.40	81.21	-.67	13.22	.512
3.0	698.3	.41	62.98	-.42	10.25	.512
3.0	699.3	.41	45.98	-.19	7.48	.512
3.0	698.0	.38	27.10	.03	4.42	.512
3.0	1299.2	.08	150.20	-1.05	13.14	.491
3.0	1301.8	.09	137.68	-.95	12.02	.491
3.0	1301.5	.10	125.82	-.84	10.99	.491
3.0	1304.0	.14	105.67	-.64	9.21	.491
3.0	1300.5	.17	93.97	-.51	8.22	.491
3.0	1301.6	.24	73.16	-.29	6.39	.491
3.0	1302.0	.31	58.75	-.10	5.13	.491
3.0	1300.6	.36	39.35	.09	3.44	.491
3.0	2001.8	.07	149.05	-.66	8.47	.491
3.0	2597.1	.07	175.01	-.59	7.66	.491
3.0	2600.7	.12	139.68	-.40	6.11	.491
3.0	2598.3	.17	115.85	-.25	5.07	.491
3.0	2598.1	.28	85.31	-.02	3.73	.491
3.2	398.2	.57	64.10	-.80	16.35	.759
3.2	398.0	.55	47.22	-.46	12.05	.759
3.2	398.3	.54	33.94	-.19	8.65	.759

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —	$\xi$ —
3.2	697.0	.43	103.85	-.85	15.13	.759
3.2	699.4	.44	88.18	-.65	12.80	.759
3.2	699.4	.45	72.55	-.44	10.54	.759
3.2	699.3	.45	59.90	-.28	8.70	.759
3.2	699.4	.45	49.83	-.16	7.24	.759
3.2	699.4	.45	45.03	-.10	6.54	.759
3.2	699.3	.44	24.45	.14	3.55	.759
3.2	1300.0	.12	146.67	-.87	11.46	.759
3.2	1299.8	.17	118.14	-.63	9.23	.759
3.2	1300.0	.21	91.17	-.40	7.12	.759
3.2	1300.0	.29	70.20	-.18	5.48	.759
3.2	1299.1	.39	52.56	.04	4.11	.759
3.2	1298.4	.40	34.79	.17	2.72	.759
3.2	2599.3	.11	172.05	-.47	6.72	.759
3.2	2600.4	.15	144.86	-.34	5.66	.759
3.2	2599.5	.25	110.32	-.12	4.31	.759
3.2	2599.5	.33	74.39	.09	2.91	.759
3.6	397.9	.39	61.57	-1.44	22.58	.529
3.6	397.7	.42	53.26	-1.14	19.54	.529
3.6	397.6	.55	46.57	-.79	17.09	.529
3.6	397.5	.53	30.78	-.35	11.30	.529
3.6	397.4	.51	14.92	.08	5.48	.529
3.6	713.2	-.05	81.98	-1.52	16.77	.529
3.6	713.2	.11	74.16	-1.19	15.17	.529
3.6	713.1	.19	63.78	-.91	13.05	.529
3.6	713.0	.26	50.59	-.58	10.35	.529
3.6	712.9	.35	35.81	-.23	7.33	.529
3.6	712.8	.44	24.95	.05	5.11	.529
3.6	1326.7	-.09	158.26	-1.62	17.40	.483
3.6	1326.7	-.05	136.58	-1.37	15.02	.483
3.6	1326.7	.00	113.60	-1.09	12.49	.483
3.6	1326.9	.04	98.37	-.90	10.81	.483
3.6	1326.9	.08	78.37	-.66	8.62	.483
3.6	1326.8	.16	64.44	-.43	7.09	.483
3.6	1326.7	.32	49.79	-.10	5.48	.483
3.6	2656.1	-.01	173.45	-.85	9.53	.483
3.6	2656.2	.01	162.64	-.77	8.93	.483
3.6	2656.5	.09	134.59	-.54	7.39	.483
3.6	2656.6	.18	110.43	-.31	6.06	.483

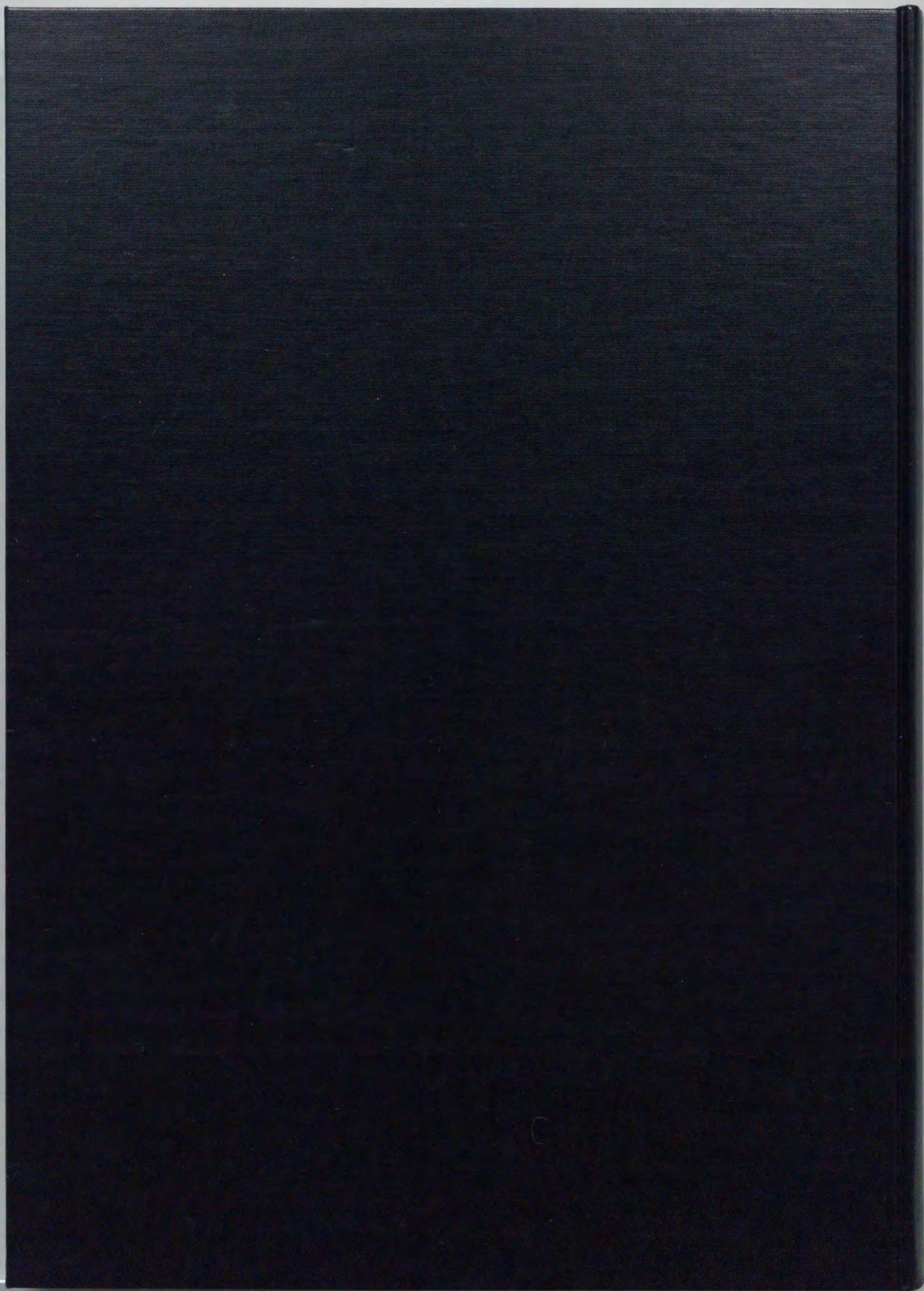
(9) Vertically upward flow HFC-32/HFC-134a  $D=9\text{mm}$   $L=1.98\text{m}$

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$	$\xi$ —
3.6	400.3	.44	61.06	-.74	13.38	.460
3.6	400.3	.44	52.98	-.58	11.61	.460
3.6	400.4	.45	44.09	-.40	9.66	.460
3.6	400.9	.44	42.39	-.37	9.28	.460
3.6	400.8	.49	32.22	-.13	7.05	.460
3.6	400.8	.45	23.32	.00	5.10	.460
3.6	699.9	.27	89.84	-.72	11.26	.460
3.6	700.1	.31	77.58	-.55	9.72	.460
3.6	698.5	.35	66.56	-.38	8.36	.460
3.6	710.4	.40	53.42	-.18	6.60	.460
3.6	710.6	.35	33.07	-.01	4.08	.460
3.6	1300.4	.00	128.02	-.76	8.64	.460
3.6	1299.9	.03	111.50	-.63	7.52	.460
3.6	1300.8	.04	105.98	-.59	7.15	.460
3.6	1299.7	.08	97.51	-.50	6.58	.460
3.6	1300.0	.08	95.38	-.48	6.44	.460
3.6	1299.4	.11	88.61	-.42	5.98	.460
3.6	1301.0	.11	87.76	-.41	5.92	.460
3.6	1299.4	.14	83.09	-.35	5.61	.460
3.6	1300.3	.14	83.10	-.35	5.61	.460
3.6	1300.7	.25	70.37	-.17	4.75	.460
3.6	1300.7	.30	54.69	-.03	3.69	.460
3.6	1299.0	.40	38.16	.18	2.58	.460
3.6	2595.3	.06	175.95	-.47	5.95	.460
3.6	2595.7	.14	154.32	-.32	5.22	.460
3.6	2597.2	.21	131.43	-.18	4.44	.460
3.6	2598.8	.28	105.97	-.04	3.58	.460
3.6	2597.7	.35	79.28	.11	2.68	.460
3.6	2598.9	.39	65.71	.19	2.22	.460

(10) Horizontal flow HFC-32/HFC-134a  $D=9\text{mm}$   $L=2.95\text{m}$ 

$P$ MPa	$G$ kg/(m <sup>2</sup> ·s)	$x_c$ —	$q_c$ kW/m <sup>2</sup>	$x_i$ —	$q_c/(G \cdot \Delta h_v) \times 10^4$ —	$\xi$ —
3.6	402.7	-.16	19.50	-.71	4.25	.460
3.6	402.6	-.11	14.77	-.53	3.22	.460
3.6	402.9	-.06	10.05	-.35	2.19	.460
3.6	403.0	.01	5.31	-.15	1.16	.460
3.6	704.2	-.12	40.17	-.77	5.00	.460
3.6	703.4	-.11	39.58	-.76	4.94	.460
3.6	703.8	-.09	30.72	-.59	3.83	.460
3.6	704.2	-.03	19.49	-.35	2.43	.460
3.6	704.5	.01	8.86	-.14	1.10	.460
3.6	705.1	.05	7.68	-.08	.96	.460
3.6	1300.6	-.07	84.48	-.82	5.70	.460
3.6	1300.1	-.06	67.94	-.66	4.58	.460
3.6	1299.9	-.02	52.58	-.48	3.55	.460
3.6	1299.5	-.01	54.95	-.50	3.71	.460
3.6	1299.6	.01	38.40	-.33	2.59	.460
3.6	1299.7	.08	21.85	-.12	1.48	.460
3.6	1799.7	-.04	127.02	-.85	6.19	.460
3.6	1799.8	-.02	110.47	-.73	5.38	.460
3.6	1800.0	.00	94.52	-.61	4.61	.460
3.6	1800.0	.05	76.21	-.44	3.71	.460
3.6	1800.0	.13	66.18	-.29	3.23	.460
3.6	1800.6	.22	56.12	-.14	2.73	.460
3.6	1800.4	.22	40.17	-.04	1.96	.460
3.6	1800.0	.23	53.17	-.11	2.59	.460
3.6	2000.8	-.01	134.09	-.79	5.88	.460
3.6	2000.2	.08	99.85	-.50	4.38	.460
3.6	2000.1	.02	114.03	-.64	5.00	.460
3.6	1999.2	.15	89.20	-.36	3.91	.460
3.6	1999.2	.22	74.44	-.21	3.27	.460
3.6	2599.1	-.05	183.14	-.86	6.18	.460
3.6	2598.9	.02	162.48	-.71	5.48	.460
3.6	2597.2	.07	141.20	-.56	4.77	.460
3.6	2598.4	.14	117.57	-.38	3.97	.460
3.6	2598.2	.24	90.99	-.17	3.07	.460
3.6	2597.3	.30	79.18	-.06	2.67	.460





Inches 1 2 3 4 5 6 7 8  
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

