垂直上昇多分岐管における気液二相分配*

Gas-Liquid Flow Distribution in Multi-Pass Upward Channels

ズラズマン・ラズラン** 五島宏明** 廣田真史** 水野安浩***
ZURADZMAN M.R. GOSHIMA Hiroaki HIROTA Masafumi MIZUNO Yasuhiro

丸山直樹** 西村 顕** 磯部 僚太†
MARUYAMA Naoki NISHIMURA Akira ISOBE Ryota

Abstract The gas-liquid flow distributions in the multi-pass upward channels that simulated the compact evaporators for the automobile air-conditioning system were investigated experimentally. Special attention was directed to influences of the inlet flow pattern at the header entrance, pressure condition at the branch outlets, and pressure-loss characteristics of branches on the gas-liquid distributions. Experiments were conducted in an isothermal air-water flow system. It was found that the pressure condition at the branch outlets exerted a great influence on the gas-liquid distributions to branches when flat smooth tubes were adopted as branches, but it had a minor influence when the branches consisted of multi-port tubes. The inlet flow pattern at the header entrance had a significant influence on the gas-liquid distribution, and liquid tended to be distributed to all the branches when the inlet flow pattern is a mist flow.

Keywords: Gas-liquid flow distribution, Multi-pass channel, Inlet-flow pattern, Outlet pressure, Multi-port tube

1. 緒言

自動車用空調システムに使用されるコンパクトエバポレータでは、高性能化や小型化を目的として冷媒を主管（ヘッダ）から複数の流路に分岐させる多分岐管が多く用いられている[1]。こうした多分岐管内の流れが気液二相流の場合には、各分岐管への気液分配が不均等になり機器の性能低下をもたらすおそれがある。そのため、多分岐管内の気液二相流においてヘッダから分岐管への分配特性を明らかにすることは工学的に重要であり、これまで多くの研究が行われている[2-14]。ヘッダから分岐管への気液分配特性は、ヘッダ内の流動様式や圧力分布など多くの要素に依存して変化する[14]。こうしたパラメータが

気液分配に及ぼす影響について調査することは、エバポレータにおいて理想的な分岐管への気液均等分配を実現するためにも重要と考えられる。しかし、多分岐管における気液分配機構は複雑でありパラメータも多岐にわたるため、系統的な知見は必ずしも十分ではないように思われる。そこで本研究では、分岐管への気液分配に大きな影響を及ぼすと考えられる(1) ヘッダ内の流動様式、(2) 分岐管出口の圧力条件、(3) 分岐管の圧力損失特性、に注目し、エバポレータ実機を模擬した垂直上昇多分岐管内の気液二相流について、これらが気液分配特性に及ぼす影響を実験的に検討した。実験においては、冷媒二相流を基本的な流動状態の把握に適した空気-水二相流によって模

* 2010.11.26 受付

** 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

TEL: (059)231-9385 FAX: (059)231-9385 E-mail: hirota@mach.mie-u.ac.jp

*** (株) デンソー 熱交換器開発部

† 中部電力 (株) 浜岡原子力発電所

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

Fig. 2 Flow-inlet conditions at the header entrance.

擬し、各分岐管への気液分配率に加えてヘッダ内の圧力分布を測定して、分岐管出口の圧力条件についても検討を加えた。

2. 実験装置および実験方法

Fig. 1 に流路系の概要を示す。空気と水は恒温水槽で 20℃に調整後、流量計を経て試験流路に流入する。試験流路は自動車用エバポレータを模擬しており、断面 20mm×20mm、長さ 255mm の水平ヘッダ (Dividing header) に、断面 20mm×2mm、長さ 200mm の偏平断面をもつ平滑管 (偏平分岐管と記す) が鉛直上向きに 20mm 間隔で 10 本接続されている。最上流の第 1 分岐管はヘッダ入口の 55mm 下流に位置し、第 10 分岐管の下流側には 20mm の直線部分が設けられている。

本研究では、ヘッダ内の流動様式、分岐管出口の圧力条件、分岐管の圧力損失特性を変化させて、気液分配特性を調査した。まず、ヘッダ内の流動様式が気液分配に及ぼす影響について検討するために、本研究では Fig. 2 に示す 2 種類のヘッダ入口流入条件について実験を行った。Fig. 2(a) は気液が上下に分離した状態でヘッダに流入する「層状流入」、Fig. 2(b) は液が微小液滴状になって流入する「噴霧流入」であり、ヘッダ入口近傍の流動状態を示している。前者では、ヘッダ上流に不織布製エアフィルタを充填させた流路 (断面 20mm×20mm、長さ 300mm) を接続し、空気と水を別々の流入孔から供給することでヘッダに入

Fig. 3 Pressure conditions at the branch outlets.

Fig. 4 Apparatus for pressure measurement in headers.

る流れを層状流とした。この場合、ビデオ画像から求めたヘッダ入口直前における平均ボイド率は約 0.5~0.6 であった。また、この助走流路の出口付近に圧力センサを取り付け、ヘッダ入口直前の圧力を測定した。後者では、ヘッダ入口に二流体ノズル (スプレーイングシステムズジャパン、二流体エアアトマイジングノズル、SU4) を設置して噴霧流を形成した。この二流体ノズルは、粒径 10μm ~ 70μm 程度の微小液滴を発生させることができる。

次に、分岐管出口の圧力条件が気液分配に及ぼす影響を調べるために、本実験では Fig. 3 に示す 2 種類の方法で気液分配率を測定した。Case A では全分岐管の出口にそれぞれ気液セパレータと気体流量計を接続し、10 本の分岐管における気液分配率とセパレータ内の圧力を同時に測定した。この場合、分岐管出口にはセパレータ内と同等の圧力がかかり、その値はセパレータを通過する流量に応じて変化するため、後述のように分岐管出口の圧力分布は不均一になる (不均一背圧)。一方、Case B では計測対象とする 1 本の分岐管のみを気液セパレータと気体流量計に接続し、他の分岐管は合流タンクに接続する。セパレータと合流タンクの出口に設置されたバルブを調節して、両者の圧力差を零とする。合流タンクは十分大き

く内部の圧力は一定であることを確認したため、**Case B** では全分岐管にかかる背圧を等しくした状態で、各分岐管への気液分配を測定することが可能となる（均一背圧）。なお、従来の多分岐管における気液分配の研究では、**Case A** に相当する測定方法が多く用いられている。

また、自動車用エバポレータでは、冷媒流路に偏平微細多孔管[15]が多く使用されている。この管を分岐管に用いた場合、細孔を有しない偏平管とは圧力損失特性が異なるため、気液分配にも影響が及ぶと予想される。そこで本研究では、偏平分岐管に加えて、偏平微細多孔管を分岐管に用いた場合（多孔分岐管）についても実験を行い、分岐管の圧力損失特性が気液分配に及ぼす影響について検討した。本実験で用いた微細多孔管は、自動車用エバポレータの実機に使用されているアルミチューブであり、断面 $17\text{mm} \times 1.8\text{mm}$ 、長さ 200mm の偏平管内に 12 の矩形断面流路（断面 $1\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ ）と 2 つの三角形断面流路が設けられている。同一流量の単相流の場合、本偏平微細多孔管の圧力損失は偏平管の約 25 倍であった。

エバポレータ実機では分岐管下流にもヘッダ（Combining header）が設けられている。本研究では、**Fig. 4** に示すように分岐管下流にも上流側と同寸法のヘッダを設けた状態でヘッダ内の圧力分布を測定し、分岐管の背圧条件について検討した。測定点は各ヘッダ側面の分岐管直上と直下に相当する位置に設け、シリコンオイル封入を施した半導体圧力センサで 1 分間の時間平均圧力を測定した。なお、本実験では、ヘッダ出口がヘッダ入口と同じ側にある **Reverse flow** と、反対側にある **Parallel flow** について測定を行った。

いずれの条件においても、各分岐管内の気相流量はセパレータに接続した気体流量計で、また液相流量はセパレータ内に一定時間貯めた水の質量を測定することにより求めた。空気と水の流入速度条件はエバポレータ実機における冷媒各相の平均流速に一致させ、ヘッダ入口における気相見かけ速度 $j_g = 1.0 \sim 5.0\text{m/s}$ 、液相見かけ速度 $j_l = 0.015 \sim 0.045\text{m/s}$ の範囲で実験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 層状流入の実験結果

最初に、ヘッダへの流入条件を層状流入に固定した条件下で、分岐管出口の圧力条件が気液分配

Fig. 5 Flow distributions for stratified-flow inlet (Flat tube branches, $j_l = 0.03\text{ m/s}$).

Fig. 6 Pressure distributions at branch outlets.

に及ぼす影響について調べた結果を示す。**Fig. 5** は、偏平分岐管における気液分配率であり、(a) は分岐管出口圧力が不均一になる **Case A**（不均一背圧、**Fig. 3(a)**の測定条件）、(b) は分岐管出口圧力を均一にした **Case B**（均一背圧、**Fig. 3(b)**）における代表的な測定結果である。図の横軸は分岐管番号であり、下流に位置する分岐管ほど番号が大きくなる。縦軸は各管の気相質量分配率 M_{gi}/M_g （破線）と液相質量分配率 M_{li}/M_l （実線）である。図には液相見かけ速度 j_l を 0.03m/s に固定し、気相見かけ速度 j_g を変化させた場合について示した。また、**Fig. 6** は **Case A** で測定された分岐管

出口の圧力分布である。圧力は最上流の分岐管で最大値を示し、下流に向かうにつれて低下しており、Case A では分岐管出口において不均一な背圧分布が形成されていることが確認できる。

Case A の場合、 $j_g = 1 \text{ m/s}$ と低気相速度では、気相は上流側の分岐管ほど多く分配され、第 6 分岐管より下流では M_{gi}/M_g はほぼ零となる。また、液相も同様に上流側分岐管に多く分配されるが、気相とは異なり第 4 分岐管で M_{li}/M_l は最大になる。この位置はヘッダ内で波が成長し液がヘッダ上壁に到達する位置に対応しており、波により液相が非定常的に分岐管へ流入する様子が観察された。下流域では気液分配率は非常に低くなり、流れが停滞状態にあることが分かる。この場合、ヘッダの下流部分には液が充満していた。

j_g の増加に伴い気相は下流域の分岐管にも分配されるようになり、 $j_g = 5 \text{ m/s}$ では第 8 分岐管に至るまで M_{gi}/M_g はほぼ均等の値を示している。これは、 j_g の増加により気相の慣性力が大きくなるため上流側分岐管への分配率が下がる一方、下流域では流量の減少に伴い慣性力も低下し、分岐管へ流入し易くなるためと考えられる[14]。こうした気相分配の傾向は、Fig. 6 の圧力分布と良い相関を示している。一方、液相分配は j_g の増加に伴い下流側の分岐管へ偏るようになる。これは、気相速度の増加により、波の発生位置が下流側へ移動するためと考えられる。このように、気相がほぼ均等に分配されても、液相は必ずしも均等分配にならないことが分かる。

分岐管背圧を均一にした Case B の場合、 j_g の増加に伴い気液ともに下流側分岐管での分配率が增大する傾向は Case A と同様であるが、気相分配の上流側分岐管への偏りは Case A に比べて著しい。また液相分配率も Case A より上流側の分岐管でピークに達している。Case B で測定された合流タンクとヘッダ入口直前位置の間の圧力差は、Case A における第 1 分岐管の背圧とヘッダ入口直前の圧力との差に比べて大きな値を示していた。すなわち、Case B の第 1 分岐管前後における差圧は Case A における差圧に比べて大きいと推定され、これが Case B で観察された気相分配の上流側分岐管への偏りに対応すると考えられる。この気相分配を受けて、ヘッダ内の気相流速は下流域で急速に減少する。その結果、気液界面における波の発生位置は Case A に比べて上流側に

Fig. 7 Flow distributions for stratified-flow inlet (Multi-port tube branches, $j_l = 0.03 \text{ m/s}$).

移動し、またヘッダ下流域に滞留した液相を分岐管へ押し上げる慣性力も得られなくなるため、液相分配は Case A に比べて上流側の分岐管で増大するものと考えられる。

Fig. 7 に多孔分岐管における気液分配率を示す。なお、Case A における各分岐管の背圧は Fig. 6 の結果と定量的によい一致を示した。両圧力条件での気液分配を比較すると、Case B では Case A に比べて上流側分岐管への気相分配が増加し、下流側分岐管の液相分配が減少する傾向を示すが、両者の差は偏平分岐管で観察された差に比べて小さい。すなわち、多孔分岐管の場合、分岐管の背圧条件は気液分配特性に大きな影響は与えない。これは、後述のように、微細多孔管の圧力損失が偏平管に比べて大きいいため、分岐管間の背圧差の影響が相対的に減少したことによる。

多孔分岐管の気相分配率は、低 j_g では上流側分岐管で高い値を示すが、 j_g が増加するにつれて下流側分岐管における値も増加していく。また、液相分配は j_g の増加に伴い下流側分岐管へ偏るようになる。こうした分配特性は、偏平分岐管の Case A (不均一背圧) における結果と定性的に一

Fig. 8 Flow distributions for stratified-flow inlet (Flat tube branches, $j_g = 5$ m/s).

Fig. 9 Flow distributions for stratified-flow inlet (Multi-port tube branches, $j_g = 5$ m/s).

致するが、高 j_g における液相分配の下流側分岐管への偏りは偏平分岐管に比べて緩和されている。

次に、気相見かけ速度 j_g を 5 m/s に固定し、液相見かけ速度 j_l を変化させた場合について述べる。Fig. 8 は偏平分岐管における気液分配率であり、(a)に Case A、(b)に Case B の結果を示す。Case A の場合、 M_{gi}/M_g と M_{li}/M_l はともに j_l に対してほとんど変化せず、気相が第 8 分岐管までほぼ均等分配されるのに対して、液相分配は下流側分岐管に著しく偏る様子が観察される。一方、Case B では j_l の増加に伴い気相、液相ともに上流側分岐管の分配率が高まる傾向を示す。しかし、Fig. 8(b) と Fig. 5(b)の比較から、偏平分岐管における気液分配特性は、 j_l よりも j_g の影響をより強く受けることが分かる。一方、Fig. 9 に示した多孔分岐管の気液分配には、分岐管の背圧条件や j_l の影響は認められず、分布傾向は偏平分岐管の Case A における結果と定性的に一致している。

3.2 噴霧流入の実験結果

本節では、ヘッダ入口における気液流入条件を層状流入から噴霧流入へ変えた影響について検討する。Fig. 2(b) に示したように、噴霧流入の場合、ヘッダ入口近傍では液滴が壁面に付着し流れは環状噴霧流となるが、 j_g が低い場合には下流域で気液が上下に分離する傾向が観察された。しかし、層状流入の場合に観察されたような大規模な波の発生は認められなかった。

Fig. 5 と同様に j_l を 0.03 m/s に固定し j_g を変化させた場合について、偏平分岐管で得られた気液分配特性を Fig. 10 に示す。(a)は不均一背圧の Case A、(b)は均一背圧の Case B における結果である。Case A では、気相分配は Fig. 5(a)の層状流入における結果と類似であり、 j_g の増加に伴い気相は均等分配に近づいている。液相は高 j_g 時に分布の均一性が層状流入に比べて高まっているが、 j_g が最も低い 1.0 m/s の場合には、第 4 から第 7 分岐管で M_{li}/M_l は非常に低くなっている。この条件では、ヘッダ入口近傍で上壁面に形成された液膜は上流域の分岐管から排出され、ヘッダの中央部分において液は主に底面上を流れるため分岐管には流入しにくくなる。より下流の領域では、ヘッダに充満した液が分岐管から排出されるため、 M_{li}/M_l は再び高い値を示すようになる。気相速度が増加すると、液滴が気相によってより下流域にまで輸送されるため、液相分配は比較的均一

(a) Case A

(b) Case B

Fig. 10 Flow distributions for mist-flow inlet (Flat tube branches, $j_l = 0.03$ m/s).

(a) Case A

(b) Case B

Fig. 11 Flow distributions for mist-flow inlet (Multi-port tube branches, $j_l = 0.03$ m/s).

性の高い分布を示すと考えられる。

Case B の場合、低 j_g 時の気相分配は層状流入と同様に上流側分岐管に著しく偏るが、 j_g の増加に伴い下流域での M_{gi}/M_g が増加するため、層状流入に比べて気相分配の均一性は高まる。しかし、Case A に比べると上流側分岐管における気相分配率が全般に高い傾向を示し、高 j_g 条件下でも Case A で見られたような均一性の高い気相分配率分布は得られない。一方、液相分配率は Case A の結果と定性的に一致した傾向を示し、高 j_g 条件下では比較的均一な分布を示す。

Fig. 11 に多孔分岐管における結果を示す。層状流入の場合と同様に、多孔分岐管の場合には分岐管の背圧条件が気液分配に及ぼす影響は非常に小さい。気相分配は、上に述べた偏平分岐管の Case A における結果とほぼ一致している。液相分配も $j_g = 1.0$ m/s 以外の場合は同様であり、また $j_g = 1.0$ m/s では層状流入時に比べて液相分配の均一性が向上している。

j_g を固定し j_l を変化した場合については、紙数の制限のため詳細な結果は示さないが、偏平分岐管の Case B では j_l の増加に伴い上流側分岐管で気液とも高分配率を示す傾向が認められた。一方、偏平分岐管の Case A と多孔分岐管の結果は定性的に一致し、気相は j_l にかかわらず均一性の高い分布を示すが、液相は j_l の増加に伴い下流側分岐管への分配が増加する傾向を示した。

3.3 液相分配の均一性の評価

以上に示してきたように、多分岐管における気液分配特性はヘッド入口における流入条件や分岐管出口の圧力条件、また分岐管の圧力損失特性により複雑に変化する。本節では、エバポレータでとくに重要となる液相分配の均一性を定量的に評価するために、次式で定義される M_{li}/M_l の標準偏差 σ_l を求めてみた。この値が小さいほど、分岐管への液相分配の均一性が高いといえる。

$$\sigma_l = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{M_{li}}{M_l} - \frac{1}{N} \right)^2} / N \quad (N = 10) \quad (1)$$

Fig. 12 は層状流入の条件で得られた σ_l の j_g に対する変化であり、図中には各 j_l における偏平分岐管 (破線) と多孔分岐管 (実線) の結果が比較して示してある。図の (a) と (b) は Case A と Case B に対応している。多孔分岐管の σ_l は背圧条件にか

(a) Case A

(b) Case B

Fig. 12 Standard deviations of the water distribution ratios σ_l at stratified-flow inlet.

(a) Case A

(b) Case B

Fig. 13 Standard deviations of the water distribution ratios σ_l at mist-flow inlet.

かわらず j_g に対し単調に増加しているが、その値は偏平分岐管に比べて全般に小さく、液相分配の均一性が向上しているといえる。Fig. 13 は噴霧流入における結果である。 σ_l には分岐管背圧条

(a) Flat tube branches

(b) Multi-port tube branches

Fig. 14 Pressure distributions in headers (Stratified-flow inlet, $j_l = 0.03$ m/s).

件や分岐管の種類による顕著な差は認められないが、とくに高 j_g 域で Fig. 12 の層状流入における値よりも小さくなる傾向を示している。これらの結果から、液相分配の均一性に対してはヘッダにおける流動様式が重要であり、気液を噴霧流の状態ヘッダに流入させることにより液相を均等分配に近づけることができると考えられる。

3.4 ヘッダ内の圧力分布

ヘッダ内の圧力分布には流入条件による差が認められなかったため、ここでは層状流入での結果を示す。Fig. 14(a) と (b) は偏平分岐管と多孔分岐管に対応し、いずれも j_l を 0.03m/s に固定し j_g を変化させた場合の結果である。実線が上流側ヘッダ (Dividing header)、破線が下流側ヘッダ (Combining header) の圧力分布を示す。図の横軸はセンサ設置位置に対応した分岐管の番号を表している。なお、第 1 分岐管に対応する位置では圧力測定を行わなかった。また測定は Fig. 4 の Reverse flow と Parallel flow について行ったが、両者の結果は一致したため、ここでは Parallel flow における結果を示す。

両ヘッダ内の圧力は、 j_g の値や分岐管の種類にかかわらず管軸方向にほぼ一定の値を示してい

Fig. 15 Pressure difference between headers
(Stratified-flow inlet, $j_g = 5.0$ m/s, $j_l = 0.03$ m/s).

る。すなわち、エバポレータ実機においては、分岐管出口の圧力条件は均一背圧の状態にあると考えられる。この結果から、気液分配率を測定する場合には、分岐管出口における圧力条件として Fig. 2(b) の Case B に相当する均一背圧条件を課すことにより、エバポレータ実機に近い気液分配状態を再現できると考えられる。とくに、偏平分岐管の場合には気液分配特性は背圧条件にも強く依存するため、分配率測定時における分岐管出口の圧力条件には十分な注意を払う必要がある。

Fig. 15 は、Fig. 14 の結果から求めた両ヘッダ間の圧力差分布の一例であり、各分岐管前後の差圧に相当している。本結果と Case A で測定された分岐管の背圧分布 (Fig. 6) を比較すると、偏平分岐管の場合、分岐管間の最大背圧差は Fig. 15 の分岐管差圧と同程度であるため、気液分配特性には分岐管の背圧条件の影響が強く現れたと考えられる。一方、多孔分岐管における分岐管差圧は、最大背圧差の 3 倍程度に達している。すなわち、多孔分岐管では分岐管間の背圧差は分岐管前後の差圧に比べて小さく、そのため気液分配特性に及ぼす背圧条件の影響も偏平分岐管の場合に比べて弱まったものと考えられる。

4. 結言

本研究では、垂直上昇多分岐管内の気液二相分配に及ぼすヘッダ入口の流入条件、分岐管出口の圧力条件、および分岐管の圧力損失特性の影響について調査し、以下の知見を得た。

- (1) 層状流入の場合、偏平分岐管の気液分配は分岐管背圧の影響を強く受け、不均一背圧では液相が下流側分岐管に偏って分配されるのに対し、均一背圧条件では上流側分岐管におけ

る液相分配が増大する。多孔分岐管では背圧の影響は現れず、高 j_g 時に液相分配は下流側分岐管で増大するが、分布の偏りは偏平分岐管に比べて緩和される。

- (2) 噴霧流入の場合、いずれの分岐管においても背圧条件が分配特性に及ぼす影響は層状流入ほど顕著ではない。液相分配は、とくに高 j_g 条件で、分布の均一性が層状流入の場合に比べて向上する。また、いずれの流入条件においても、多孔分岐管では偏平分岐管の不均一背圧の場合と類似な気液分配特性を示す。
- (3) 両ヘッダ内の圧力は、ヘッダ入口流入条件や分岐管の種類にかかわらず、流動方向にほぼ一定値を示す。このことから、気液分配率測定時に課す分岐管出口の圧力条件としては、均一背圧条件が妥当といえる。

Nomenclature

- j : superficial velocity at the header entrance [m/s]
 M : mass flow rate at the header entrance [kg/s]
 M_i : mass flow rate in the i th branch [kg/s]
 P_{ch} : pressure in the combining header [Pa]
 P_{dh} : pressure in the dividing header [Pa]
 P_i : pressure at the outlet of i th branch [Pa]

Greek letter

- σ : standard deviation of distribution ratios [-]

Subscripts

- g : gas phase
 l : liquid phase

参考文献

- [1] Nakamura, T., Kuroyanagi, I., Kamiya, S. and Ohara, T., Ultra-Thin and Light-Weight RS Evaporator, SAE paper 2003-01-0527 (2003).
- [2] Watanabe, M., Katsuta, M. and Nagata, K., Two-phase Flow Distribution in Multi-pass Tube Modeling Serpentine Type Evaporator, Proc. ASME/JSME Thermal Engineering Conf., Vol. 2, 35-42 (1995).
- [3] Watanabe, M., Katsuta, M., Nagata, K., Sakakura, S. and Iijima, H., Two-phase Refrigerant Flow Distribution in a Multipass Evaporator with Vertical Upward Main Tube (1st report: Equal Heating Load on Each Pass), Tras. JAR., Vol. 13 (3), 277-284 (1996).
- [4] Watanabe, M., Katsuta, M., Nagata, K., Sakakura, S. and Iijima, H., Two-phase Refrigerant Flow Distribution in a Multipass Evaporator with Vertical Upward Main Tube (2nd report: Unequal Heating Load on Each Pass), Tras. JAR., Vol. 13

- (3), 285-291 (1996).
- [5] Bernoux, P., Mercier, P. and Lebouche, M., Two-phase Flow Distribution in a Compact Heat Exchanger, Proc. 3rd Int. Conf. Compact Heat Exchanger, 347-352 (2001).
 - [6] Vist, S. and Pettersen, J., Two-phase Flow Distribution in Compact Heat Exchanger Manifolds, Experimental Thermal Fluid Science, Vol. 28, 209-215 (2004).
 - [7] Koyama, S., Kuwahara, K., Miyazaki, H., Wijayanta, A. T. and Ikuta, S., Experimental Study on Refrigerant Flow Characteristics inside an Evaporator Header, Proc. 2004 JSRAE Annual Conf., A313-1 - A313-4 (2004).
 - [8] Ahmad, M., Berthoud, G. and Mercier, P., General Characteristics of Two-phase Flow Distribution in a Compact Heat Exchanger, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 52, 442-450 (2009).
 - [9] Osakabe, M., Hamada, T. and Horiki, S., Water Flow Distribution in Horizontal Header Contaminated with Bubbles, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 25, 827-840 (1999).
 - [10] Lee, J. K. and Lee, S. Y., Distribution of Two Phase Annular Flow at Header-channel Junctions, Experimental Thermal Fluid Science, Vol. 28, 217-222 (2004).
 - [11] Marchitto, A., Devia, F., Fossa, M., Guglielmini, G. and Schenone, C., Experiments on Two-phase Flow Distribution inside Parallel Channels of Compact Heat Exchangers, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 34, 128-144 (2008).
 - [12] Kim, N-H. and Han, S-P., Distribution of Air-water Annular Flow in a Header of a Parallel Flow Heat Exchanger, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 51, 977-992 (2008).
 - [13] Katsuta, M., Yamagata, K. and Fukai, K., Distribution Characteristics of Two-phase Gas-liquid Flow in Horizontal Multipass Tube - The Effect of Branch's Local Geometry, Proc. 2009 JSRAE Annual Conf., 551-554 (2009).
 - [14] Lee, S. Y., Flow Distribution Behavior in Condensers and Evaporators, Proc. 13th Int. Heat Transfer Conf., KN-08, CD-ROM (2006).
 - [15] Kuwahara, K., Kazari, K., Nakashita, K. and Koyama, S., Experiment on Flow Boiling of HFC 134a in a Multi-port Extruded Tube, Trans. JSRAE, Vol. 21, 121-128 (2004).
-