

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560194

研究課題名(和文) 自然冷媒 R290 の水平細管内沸騰熱伝達に対する冷凍機油の影響

研究課題名(英文) Effect of lubricant on boiling heat transfer of R-290 in horizontal small diameter tubes

研究代表者

齋藤 静雄 (SAITOH SHIZUO)

東京大学・大学院工学系研究科・助手

研究者番号：60170502

研究成果の概要：R-290(プロパン)の水平細管内沸騰熱伝達に対する潤滑油の影響を、管内径 1, 2, 4mm、熱流束 12 - 24kW/m²、質量流束 150-300kg/m²s、蒸発温度 15℃、鉱物油 VG32 で 0-5wt%の条件で実験を行い次の知見を得た。低クオリティ域($x \leq 0.5$)では、オイル濃度 2wt%までは沸騰熱伝達率は減少し、2wt%以上では増加した。高クオリティ域($x \geq 0.5$)では、沸騰熱伝達率はオイル濃度の増加と共に単調に減少した。圧力損失はオイル濃度の増加と共に増加し、4wt%で 0wt%の圧力損失の 1.4 倍程に増加した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：細管、沸騰熱伝達、冷媒 R290、冷凍機油

1. 研究開始当初の背景

温暖化防止に対する冷凍空調業界では、冷凍空調機器のHCFC冷媒のHFC冷媒、自然冷媒への代替化が進められている。代替冷媒であるHFC冷媒は、温暖化能、GWP(Global Warming Potential)が約1500～4000と大きく、規制対象の温室効果ガスとなっている。地球環境に優しい自然冷媒への代替化が望まれる。炭化水素系の自然冷媒では地球に優しく毒性の問題もない、しかし可燃性ガスとしての配慮が必要である。炭化水素系の冷媒R600a(イソブタン)を用いた冷蔵庫が実現されているが、冷凍能力に問題がありさらなる

開発が進められている。フロン系冷媒と比較して自然冷媒の多くは、冷凍能力の低下あるいは高圧運転化による機器設計の問題を生じている。その中で、冷媒R290(プロパン)の冷凍サイクル特性はR22に匹敵あるいはそれ以上という評価もある。従って、環境問題、省エネルギーなどの観点から高性能でコンパクトな熱交換器の開発が望まれている。昨今では、冷媒R290を用いた熱交換器が期待される。

2. 研究の目的

本研究は、沸騰熱伝達特性のデータがほとん

どない冷媒 R290 についての沸騰熱伝達実験を行うこと、さらに沸騰熱伝達に対する冷凍機油の影響を調べ、コンパクト熱交換器の設計の基礎データを得ることである。

3. 研究の方法

実験装置の配管は、ステンレス鋼管を用いできるだけ継ぎ手部分を少ない配管とする。蒸発管は SUS 管（内径 4mm、2mm、1 mm）の 3 種類を用意し加熱は通電加熱によるジュール加熱の方法で行う。実験条件は蒸発温度 15、熱流束 12~48kW/m²、質量流束 150~300kg/m²s とし、冷媒 R290 はギアポンプで供給し水平管内沸騰熱伝達の実験を行う。コリオリ流量計で冷媒流量を、蒸発管入口出口の圧力は精密圧力計で、膨張弁前の温度と圧力、蒸発管外壁の温度は管外壁に T 型の熱電対素線から製作した熱電対を十数点貼ってデータロガー（江藤電気製・キャダック 21）を通してパソコンでデータを収録する。加熱量は蒸発管の印加電圧と電流より求める。各蒸発管について沸騰熱伝達データ、圧力損失を測定し、R134a、CO₂ データと比較検討する。なお、サイトグラスにて冷媒の二相流動様相を高速シネカメラで撮影し観察する。

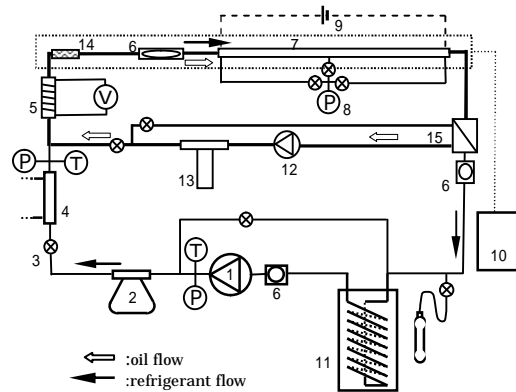
沸騰熱伝達特性、圧力損失および二相流動様式に対する冷凍機油（鉱物油 VG32）の影響を実験により調べる。実験は油無しの R290 の実験条件に所定の冷媒流量に対して、冷凍機油の循環流量をパラメータとして沸騰熱伝達実験を行う。沸騰熱伝達特性、圧力損失、二相流動様式に対する冷凍機油濃度の影響について明らかにする。

4. 研究成果

実験装置の概略を Fig.1 に示した。冷媒循環路に対して潤滑油回路を以下に記述する。油は潤滑油ポンプで油の流量計を介して、冷媒循環路に混入する。冷媒中に油が混入した後、ミキサーで冷媒と油の混合を促進する。油の混入した冷媒は助走区間を通りサイトグラスから蒸発管に入り蒸発する。オイルセパレーターで油と冷媒は分離し、油は潤滑油ポンプに戻る。潤滑油中への R-290 の溶解を小さくするために、オイルセパレーターはヒータで加熱し油の温度を 60 に保っている。油中への R-290 溶解を考慮し、流量計の値を補正した。実験は所定の質量流束、熱流束において、油濃度を段階的に変化させて定常状態であることを確認した後データを収集した。実験条件は Table 1 に示した。蒸発管は内面の平滑な SUS 管を用いた。

結果および考察

Fig.2 に諸条件（質量流束、熱流束、管内径）において、局所熱伝達率に対する潤滑油の影響を示した。沸騰熱伝達率の油の影響に



1.Pump 2.Flow meter 3.Regulator valve 4.Heat exchanger 5.Preheater 6.Sight glass 7.Test evaporator 8.Precise manometer 9.DC power supply 10.Air temperature controller 11.Condenser 12.Oil pump 13.Oil flow meter 14.Mixer 15.Oil separator

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Experimental conditions

Refrigerant	R-290(propane)
I.D. [mm]	1 (Length:980mm), 2 (L=1970), 4 (L=3940)
Inlet temp.	15
Heat flux	12-24 kW/m ²
Mass flux	150-300 kg/m ² s
Oil	Mineral oil VG32

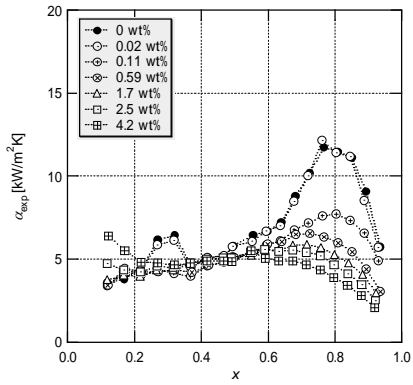
ついて、次のような傾向を示すことが分かった。

1)低クオリティ域の局所熱伝達率の変化：油の濃度が 0~2wt% では、油濃度の増加で局所熱伝達率の低下（最大 15% の低下）がある。2wt% 以上では濃度の増加で熱伝達率は増加する。

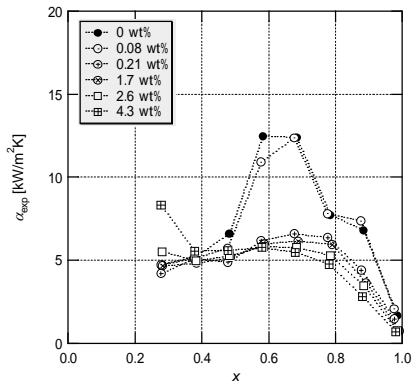
2)高クオリティ域：油濃度の増加で局所熱伝達率は、単調な低下をする（油の濃度 3~5wt% の局所熱伝達率は、0 wt% の場合に比較して最大で 70% 程の低下となる）。

これら 2 領域の境界では、熱伝達率に対する油の影響は現れていない。Fig.2 (a), (c), (d), (e) のそれぞれのクオリティ 0.4, 0.5, 0.4, 0.7 の熱伝達率は濃度に対して変化していない。境界のクオリティは管径 1mm で 0.4~0.5、4mm で 0.6~0.75 と読み取れ、管径が大きくなると高クオリティ域に位置するようになる。Fig.2 (a)(b)(c) で局所熱伝達率に対する質量流束、熱流束の影響を (c)(d)(e) で管径の影響を見ると特に差異は見当たらない。

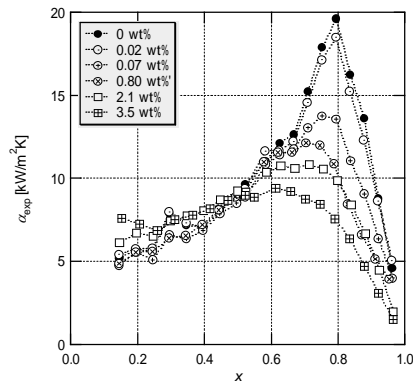
局所熱伝達率に対するオイル濃度の影響は、低クオリティ域に対して高クオリティ域が大きく、オイル濃度に対して熱伝達率の低下が激しい。これは高クオリティになるほどオイル濃度の増加が考えられること、それに伴い混合液の動粘度の増加、表面張力の増加で液膜厚さが厚くなる、また気液界面での冷



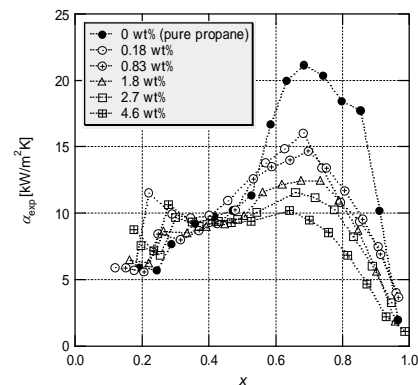
(a) I.D. =2mm, 150 kg/m²s, 12 kW/m²



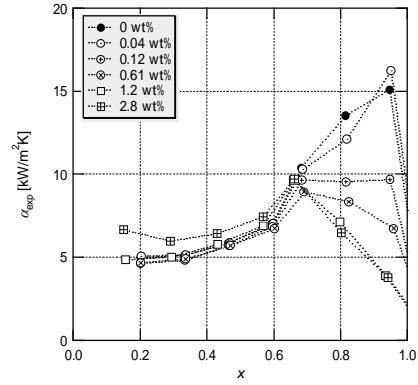
(b) I.D. =2mm, 150 kg/m²s, 24 kW/m²



(c) I.D. =2mm, 300 kg/m²s, 24 kW/m²



(d) I.D. = 1mm, 300 kg/m²s, 24 kW/m²



(e) I.D. =4mm, 235 kg/m²s, 20 kW/m²

Fig.2 Effect of oil concentration for I.D. of tube, mass flux and heat flux

媒の蒸発により界面近傍でオイル濃度の増加が考えられ、液側における冷媒の物質拡散が抑制されることなどが熱伝達率低下の要因と考えられる。

Fig.3に低クオリティ域の流動様相の例 (I.D.=4 mm, x=0.19~0.25, 150 kg/m²s, 12 kW/m²)を示した。Fig.3の写真はオイル濃度の増加の順に載せてある。オイルの混入により特徴的な流動変化は、c=2 wt%以上になる



(a) c=0 wt%, x=0.23



(b) c=1 wt%, x=0.25



(c) c=2 wt%, x=0.22



(d) c=3 wt%, x=0.23



(e) c=4 wt%, x=0.19

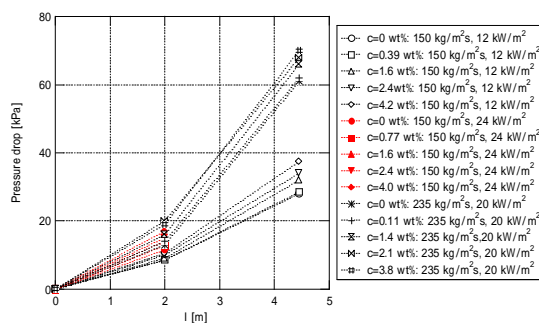


(f) c=5 wt%, x=0.19

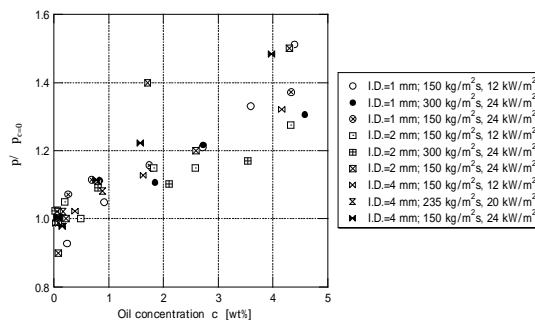
Fig.3 Flow pattern for I.D. =4.mm, 150 kg/m²s, 12 kW/m²

と液相内の気泡が現れ、それがオイル濃度と共に増加しているのが見てとれる(c)~(f)。上述のサイトグラスの液相内の気泡は、上流の気液の攪乱により気泡の巻き込みによるものと考えられる。液相中の気泡の気相への抜け出しは、混合液の動粘度が抵抗となる。従って、オイル濃度が大きくなるほど液相中の気泡は気相への抜け出しが起こりにくくなり液相中の気泡は増加する。なお、5wt%において、 $x=0.5$ 当りの流動様相観察では泡立ちの激しい流れがみられた。高クオリティ0.8当りでは、オイル混入による流動様式の顕著な影響は見られなかった。

Fig.4 に圧力損失の結果を示した。(a)は管径4mmの場合の圧力損失を示し、横軸に蒸発管の入口からの距離 l [m]をとっている。蒸発管入口-出口間の圧力損失は油濃度 $c=4$ wt%で $c=0$ wt%の場合の17~40%の増加がある。(b)の縦軸は $c=0$ wt%のときの圧力損失と油濃度 c の圧力損失の比を示した。図から圧力損失は油濃度にほぼ比例することが読み取れる。このことは混合液の粘度が大きくなり粘性係数が大きくなることから説明できる。



(a) For I.D. =4 mm



(b) Ratio of pressure drops vs. oil concentration

Fig.4 Effect of oil concentration on pressure drop.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 2件)

斎藤静雄、田中千歳、党超鋌、飛原英治、
「R-290の水平細管内沸騰熱伝達に対する潤滑油の影響」、第46回日本伝熱シンポジウム講演論文集、2009-6.2、京都、C2-144(CD)

斎藤静雄、星加啓太郎、党超鋌、飛原英治、
「R-290の水平細管内沸騰熱伝達の研究」、2008年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2008-10.20-23、大阪、p.389-392

6. 研究組織

(1) 研究代表者

斎藤 静雄 (SAITOH SHIZUO)

東京大学・大学院工学系研究科・助手

研究者番号：60170502

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

飛原英治 (HIHARA EIJI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00156613

党超鋌 (DAN CHAOBIN)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：30401227