

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560227

研究課題名（和文） 複数の冷媒に対応可能な冷凍性能シミュレーション法の構築

研究課題名（英文） The Building of a Refrigeration Cycle Simulation Method Applicable to Multi-refrigerants and Purpose

研究代表者

勝田 正文（KATSUTA MASAFUMI）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20120107

研究成果の概要（和文）：車載用空調サイクルにおいては、R134a の代替冷媒として期待される HFO1234yf を対象に蒸発器、凝縮器の管内熱伝達、空気側伝熱、冷媒の分配、オイルの影響などを考慮できるサイクルシミュレーションを完成させた。また、更なる深化を目標に要素である熱交換器の最適化を図り、性能の向上に対する指針を得ている。CO<sub>2</sub> 以外の自然冷媒では、アンモニアを対象としたが、実機使用条件に対応する基礎データの取得に努め、この成果をシミュレーションに反映する予定である。

研究成果の概要（英文）：. A simulation method was completed for the air conditioning cycle for automobiles which takes into consideration such elements as heat transfer in tube of an evaporator and a condenser, air side heat transfer, the flow distribution of the refrigerant, and the influence of oil for HFO1234yf being expected as an attractive alternative refrigerant for R134a. Furthermore, the design optimization of a heat exchanger was attempted for the further deepening which provided guideline for better performance. As a typical example for natural refrigerant, ammonia was selected. Fundamental data corresponding to the practical conditions were obtained. These achievements are to be incorporated into the cycle simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	100,000	30,000	130,000
2011年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
年度			
総計	0	0	0

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 5005 熱工学

キーワード：冷凍空調、伝熱機器、可視化、環境対応、省エネルギー、冷媒、自然冷媒

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 研究の学術的背景

近年環境問題はその深刻化により、国際的な協調によって期限を限定して問題解

決が図られる方向になっている。特に、冷凍空調分野における冷媒対策は、可及的速やかに実施されるべきであり、またわが国の今までの対応は国際的にも模範となる

適切なものであった。最近、特に EU では温暖化防止策の一環で F ガス規制を施行し、2011 年 1 月からこれまでのカーエアコン用冷媒から GWP (地球温暖化係数) 150 以下の適用を義務づけている。

このような状況に鑑み、本研究ではこれまで自然冷媒である CO<sub>2</sub>(R744)に注目して基本伝熱データの取得を目標に、実機に基づくデータベースの構築を目指した。CO<sub>2</sub>の冷媒としての特徴は、GWP が 1 であること、安価であることや毒性や可燃性がないこと、伝熱特性が優れているため機器のコンパクト化に適している等、優れている点が多い。しかし一方で、従来のフロン系冷媒と比べてサイクル圧力レベルが高く、各コンポーネントの再設計が必要である。さらに、臨界温度が 31.1℃と低く、通常の作動域では高压側が臨界点を超える遷臨界サイクルとなる。臨界点を越えた状態では、CO<sub>2</sub>温度と圧力が独立となるため、従来のサイクルとは異なる制御方法の確立が必要となる。また、CO<sub>2</sub>システムは現行システムの効率を理論上凌駕できない等の問題点が指摘されている。加えて、先ごろ開発された HF01234yf はフロン系の冷媒でありながら GWP が 4 であるため、車載用エアコンの現行冷媒 R134a に代わるものとして有力視され始めるなど、空調システムを取り巻く状況は刻々変化している。さらに、冷凍システムに目を転じれば、アンモニア (R717) 冷凍システムも魅力ある特性を持っている。

本研究ではこれまで、シミュレーションによって各システム要素の性能を予測し、車載空調用 CO<sub>2</sub> サイクルの実用設計効率化に資することを目的とし、蒸発器性能予測を確立し、加えてその高精度化を模索してきた。一方、実機を模した装置を製作し CO<sub>2</sub> の蒸発伝熱特性の測定や圧縮機潤滑油の伝熱・流動現象に対する影響を検討すると同時に、可視化を行うことで熱交換器内の多連分岐管の流量分配特性を把握するなど、実験的にも取り組み、実機の性能に影響を与えているさまざまな因子について研究を行い、シミュレーションの高精度化に寄与する知見を深め、データベースの充実に努めてきた。最近、先述のような基礎データの不足が目立つ、アンモニアに関する実験を開始し、更なるデータの蓄積を図っている。

## (2) 研究開始以前の状況 2008 年の状況

### ①R744 による車載用空調機のサイクルシミュレーション

実機対象はサンデン製システムであり、サンデンよりベンチテストによる実験結果が提供されている。HF01234yf についても同じ。

冷凍機オイルの影響および熱交換器における二相流の分流影響を考慮して R744 については予測精度の僅かな向上を得ている (±5%以内に予測可能)。また、サイクルシミュレーションでは内部熱交換器を組み込むことで COP が 4%程度向上することを見出した。

この結果を新冷媒である HF01234yf に展開することによって以下の結果を得た。

- ・蒸発器内単体モデルを構築し、蒸発器冷凍能力が±50%程度、圧力損失が±10%以内に予測可能とした。
- ・凝縮器の単体モデルを構築し、凝縮能力を±10%以内、圧力損失を±60%程度に予測可能とした。
- ・各モデルを用いてサイクルシミュレーションを実施し、COP を±30%程度に性能予測に成功した。

上記の結果は R744 の相関式 (当研究室において実験的に作成した) をそのまま HF0 にも適用していることを付言させていただく。

## 2. 研究の目的

概ね確立された CO<sub>2</sub> 用のシミュレーション手法を NH<sub>3</sub> などの自然冷媒、フロン系の新冷媒 HF0-1234yf へ拡張し、精度を維持しながら汎用性を高めていく。未だ研究報告の少ないマイクロチャンネルにおけるアンモニア冷媒の沸騰流を明らかにし、特に HF0-1234yf は MINOR 等の報告によって、毒性試験や燃焼性などその特性の全貌が明らかにされたばかりであり、HF01234yf を冷凍サイクルに組み込んだシミュレーション計算がなされていないのが現状であり、依然としてサイクルの評価をはじめとして詳細は今後の課題である。これまでの CO<sub>2</sub> のシミュレーション法を、HF01234yf に対して試行してフロン系にも適用できることを確認することで汎用性を検証して、将来、どのような冷媒が用いられようと、すぐに応用できるシミュレーション手法に充実させることを目的とする。

## 3. 研究の方法

シミュレーションを行う冷凍サイクルは、基本的な構成要素である圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器からなる。圧縮機については断熱効率、体積効率を与え、膨張弁は等エンタルピー変化として計算を行う。熱交換器計算プログラムではフィン形状などの寸法及び熱源空気条件を与え、熱交換器を冷媒の流れ方向にいくつか分割し、各要素を独立した熱交換器として扱い、その中でエネルギーバランスを考えることにより計算を行う。

本研究では R134a 用の相関式を採用して R1234yf の蒸発器、凝縮器の単体モデルを構築し、各モデルをサイクルに組み込んだサイクル全体での計算を行い、シミュレーション

の有効性を確認する。サイクルシミュレーションフローを図1に示す。

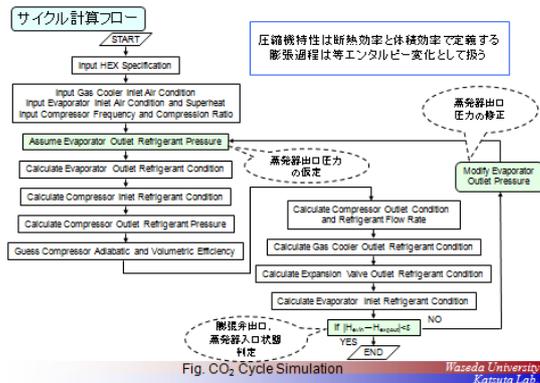


図1 サイクルシミュレーションのフロー

#### 4. 研究成果

##### (1) 車載用空調機のサイクルシミュレーション

広く実験的検討がなされている R134a 用の相関式を HF0 に適用することで蒸発器、凝縮器の単体モデルを構築し、各モデルを組み込んだサイクル全体の計算を行うことで、実機データとの比較を行った（平成 21 年度）。

この結果、凝縮器単体モデルでは、冷却能力±10%以内、圧力損失±25%程度で予測可能となった。同様に蒸発器単体モデルでは、冷却能力については凝縮器単体と同等で予測可能であったが、管内側圧力損失は-80%と大きく過大評価していることが判明した。

しかしながら、この単体モデルを組み込んだサイクル全体の COP 予測では、最大誤差+25%となり、管内側圧力損失の影響は小さく、熱伝達における予測の影響が強いことを確認した。

このような研究成果を受け平成 22 年度には、圧力損失予測につき大幅な見直しを行った。

その結果、凝縮器単体モデルにおいて、管摩擦係数を層流、遷移域、乱流の3つのパターンで場合分けを行うことで、冷却能力と圧力損失の実験結果と計算結果の比較を行い、両者とも±10%以内に整理することに成功した。またこの精度向上は、低空気流量側の予測精度が向上したことも理由の一つである。

同様に蒸発器単体モデルでは、冷却能力と圧力損失の実験結果と計算結果の比較を行

い、共に±10%以内に整理可能であった。これは、管摩擦係数の場合分け、摩擦損失を算出する際の摩擦増倍係数を HF0 に適応したこと、さらに流量の影響と流動様式を考慮する Fr 数を導入したことが主な理由である。作成した各単体モデルを組み合わせを行ったサイクルシミュレーション結果では、冷凍能力±10%、COP±20%以内で整理できた。

この時点で管内熱伝達と管内圧力損失に着目した熱交換器性能予測がほぼ確立できたので、平成 23 年度においては、さらに深化したシミュレーションを提案するため車載用熱交換器を構成する設計パラメータの最適化提案を行うこととした。

研究では、凝縮器及び蒸発器について冷媒側と空気側各々について最適化を行った。設計パラメータの選定基準は単独でその寸法を決定できるものを対象とし、冷媒側は5種、空気側は7種をそれぞれ定めて L18 直交表への割り付けを行った。なおこの設計パラメータには各々3水準を設け、その選定基準は現行の熱交換器と同等の寸法値を第2水準、それより小さい値を第1水準、逆にそれより大きいものを第3水準とした。また寸法誤差を±5%で各々のパラメータに割り振ることで、2水準のノイズを定めた。

熱交換能力と圧力損失の間には相似則が成り立つことを考慮して、要因効果図から各設計パラメータの最適値を決定した。ここでどちらを優先した仕様が適切であるかの判断基準として、冷媒側は Nu 数と摩擦係数  $f$  の比を、空気側はコルバーン  $j$  因子とファンニング摩擦係数  $f$  の比をそれぞれ用いて現行仕様と比較することで最適仕様を決定した。その結果、冷媒側・空気側ともに圧力損失の低減を優先した仕様が最適であると判断し、サイクルシミュレーションに組み込んで評価を行ったところ、平均 5% の COP 向上を図ることができた。この優位性は圧縮機回転数などの運転条件によらず一律で確認できた。今後さらに細かい仕様に関する検討を行うことでより大きな性能向上を得ることが出来ると考えられる。

最終結果における各要素のモデルならびに空気側の伝熱モデルをそれぞれ図 2~4 にしめす。

また最適化後の性能比較をアイドル時の条件下で図 5 に示す。

### シミュレーション方法(凝縮器モデル)

**冷媒側熱伝達率相関式**

**強制対流凝縮**  $Nu_f = 0.0152(1 + 0.6Pr_f)^{0.8} \left(\frac{\Phi}{X_{fr}}\right) Re_f^{0.77}$

**自由対流凝縮**  $Nu_s = 0.725H(\xi \frac{GrPr_f}{H_f})^{0.25}$

**摩擦損失比**  $H(\xi) = \xi + \left[10(1-\xi)^{1.1} + 1.7 \times 10^{-4} Re \sqrt{\xi(1-\xi)}\right]$

**運動量圧力損失**  $\left(\frac{dP}{dL}\right)_M = \left[ \frac{G^2 x^2}{5\rho_f} + \frac{G^2(1-x)^2}{(1-\xi)\rho_s} \right]$

※原口・小山らの式(扁平管) **Waseda University Katsuta Lab.**

図2 凝縮器に対する伝熱シミュレーション法

### シミュレーション方法(空気側)

**Kim and Bullard の式**

**Dry condition**  $Re=100-600, FpLp<1$

$j = Re_{fr}^{-0.48} \left(\frac{L}{90}\right)^{0.257} \left(\frac{F_r}{L_r}\right)^{-0.153} \left(\frac{H}{L_r}\right)^{-0.29} \left(\frac{E_r}{L_r}\right)^{0.022} \left(\frac{L}{L_r}\right)^{0.022} \left(\frac{\sigma}{L_r}\right)^{0.001}$

**Wet condition**  $Re=80-300, FpLp<1$

$j = Re_{fr}^{-0.78} \left(\frac{L}{90}\right)^{0.044} \left(\frac{F_r}{L_r}\right)^{-1.02} \left(\frac{H}{L_r}\right)^{-1.27} \left(\frac{E_r}{L_r}\right)^{0.003} \left(\frac{L}{L_r}\right)^{1.07}$

**Chen and Zhang の式**

**Dry/Wet condition**  $Re=200-2500, FpLp>1$

$j = 0.26712 Re_{fr}^{-0.194} \left(\frac{L}{90}\right)^{0.257} \left(\frac{F_r}{L_r}\right)^{-0.237} \left(\frac{H}{L_r}\right)^{-1.068} \left(\frac{L}{L_r}\right)^{1.703} \left(\frac{\sigma}{L_r}\right)^{0.001}$

Fig. Schematic of Louvered Fin **Waseda University Katsuta Lab.**

図3 空気側伝熱に対するシミュレーション法

### シミュレーション方法(蒸発器モデル)

**冷媒側熱伝達率相関式**

**強制対流熱伝達**  $\alpha_{cv} = 0.023 Re_{fr}^{0.8} Pr_{fr}^{0.4} \left(\frac{\lambda_f}{D}\right)$

**核沸騰熱伝達**  $\alpha_{nb} = K^{0.745} \alpha_{pb} \alpha_{ps} = 258.75 \frac{\lambda_f}{D_{nb}} \left(\frac{qD_{nb}}{\lambda_f T_{sat}}\right)^{0.745} \left(\frac{\rho_s}{\rho_f}\right) Pr_{fr}^{0.533} Fr$

$Re_{ps} = (1 + 2X_{fr}^{-0.18})^{2.3} Re_{fr}$

$\eta = \frac{\alpha_{cv}}{\alpha_{ps}}$   $D_{nb} = 0.5 \left[ \frac{2\sigma}{g(\rho_s - \rho_f)} \right]^{0.5}$

【Chen型】  $\alpha = \alpha_{cv} + \alpha_{nb}$

※Yuらの式(扁平管)

**冷媒側圧力損失相関式**

**摩擦圧力損失**  $\left(\frac{dP}{dL}\right)_f = \left(\frac{dP}{dL}\right)_m + \left(\frac{dP}{dL}\right)_a$

$\left(\frac{dP}{dL}\right)_m = \left[ \frac{G^2 x^2}{5\rho_f} + \frac{G^2(1-x)^2}{(1-\xi)\rho_s} \right]$

**加速圧力損失**  $\left(\frac{dP}{dL}\right)_a = G^2 \left\{ \frac{x_{sat}^2}{v_{sat}\rho_s} + \frac{(1-x_{sat})^2}{(1-v_{sat})\rho_s} \right\} - \left[ \frac{x_{in}^2}{v_{in}\rho_s} + \frac{(1-x_{in})^2}{(1-v_{in})\rho_s} \right]$

※小山らの式(扁平管) **Waseda University Katsuta Lab.**

図4 蒸発器に対する伝熱シミュレーション方法

### サイクルモデルによる性能比較

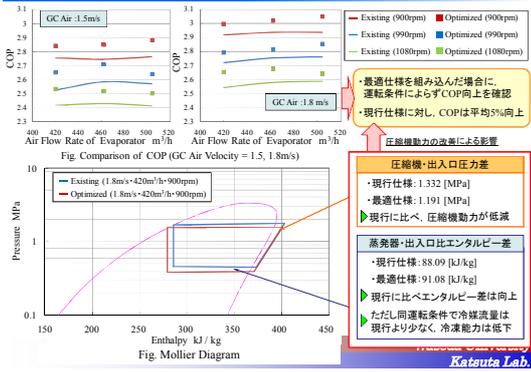


図5 設計因子最適化前後の性能比較

(アイドリング条件)

### (2) 改良型冷凍サイクルからの検討

R744 においてはエジェクタサイクル、内部熱交換サイクルについて検討し、本シミュレーションを用いて COP 向上へ効果を定量化した(研究開始前)。

車載用空調機用次期冷媒として有力である HFO は、シミュレーション評価ならびにベンチテスト結果により、現行冷媒 R134a と比較して性能低下が懸念される。システムの性能向上とコスト軽減をねらって、キャピラリサイクルとガスインジェクションサイクルについてシミュレーションによる検討を行った。その結果、キャピラリを電磁膨張弁の代替で使用しても、ほぼ同じ性能であること、加えて応答性の面で電磁膨張弁が優れていることなどが分った。インジェクションサイクルでは、蒸発器入口エンタルピーが低下し、圧縮機温度の低下により、COP の約 20% 向上が期待できる結果となった。

### (3) 家庭用および業務用の空調機に対する検討

車載用のエアコンが先行しているが、家庭用、業務用の定置型エアコンについても事情は同様であり、近い将来新しい冷媒に切り替わる可能性が濃厚である。そこで、多様な冷媒に適応できるシミュレーションを確立するため、現在使用されている R134a と定置型空調機の次期有力冷媒候補である R32 の性能評価を行い、3 つの冷媒を比較した。なお、各冷媒の条件は他研究者のものを参考にして各圧力を設定した。単体モデルにおいて凝縮器は R32、R134a、R1234yf の順で冷却能力が高い値を示し、圧力損失においては R134a、R1234yf、R32 の順で高い値を示した。また、蒸発器においては R32 が高く、R134a と R1234yf は同等の冷却能力を示した。圧力損失は R134a、R1234yf、R32 の順で高い値となった。

最近になって、協力企業から R32 のベンチテスト結果の提供があったので、機器の詳細

仕様を取得後、シミュレーションを実行する予定である（平成 24 年度）

（４）新しい単管形状によるシミュレーション

各要素の性能向上を期待して、熱交換器を構成する配管を下図のように各セルに突起が付いたアルミ製の扁平管での見直しを進めている。セルは概ね 1mm×0.5mm の長方形流路である。実験及びシミュレーションからその効果を検討する予定である。

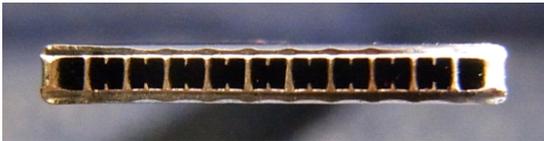


図 6 多穴扁平管（アルミ製）

（５）アンモニア冷媒に関する実験成果とサイクルシミュレーション

本研究課題で取り扱うべき冷媒の一つは R744 以外の自然冷媒である。特に食品産業や大型冷凍倉庫加えて船舶などに用いられるアンモニア（R717）を候補に考えていた（研究開始前）。その理由として、アンモニアは、ODP が 0、GWP が極めて小さいため、地球環境への影響の心配がなく、実機への更なる普及が期待されているためである。しかしながら、シミュレーションを行うに当たってアンモニア冷媒を用いた熱交換器における伝熱性能に関する基礎データが極端に少なく、性能が十分に把握されていないことが判明した。また、R717 の冷凍機油の影響に関する研究はさらに少なく、特に実使用時の冷媒流量範囲での実験的な検証が十分なされていないことが確認できた。そこで、本研究では単管での蒸発熱伝達実験と相溶性冷凍機油の影響を実験的に把握すること、加えてナノ・マイクロ技術を応用したプレート熱交換器を R717 と R744 間のカスケード熱交換器（R744 をブラインとする冷凍サイクル用）として使用する場合の伝熱特性を実験的に把握することとした。

①単管蒸発器試験

単管蒸発器を直接通電加熱して、NH<sub>3</sub> 冷媒の蒸発熱伝達特性試験を行った。蒸発器は内径 7.5mm、長さ 10m の水平管を使用した。以下に単管蒸発器試験の概要図を図 7 に示す。図 8 にクオリティ 0～1 までの平均熱伝達率と質量流束との関係を示す。図中には、平成 23 年度取得した非相溶性油のデータも合わせて示す。NH<sub>3</sub> の熱伝達率は質量流束の増加に伴い、強制対流熱伝達の影響を受

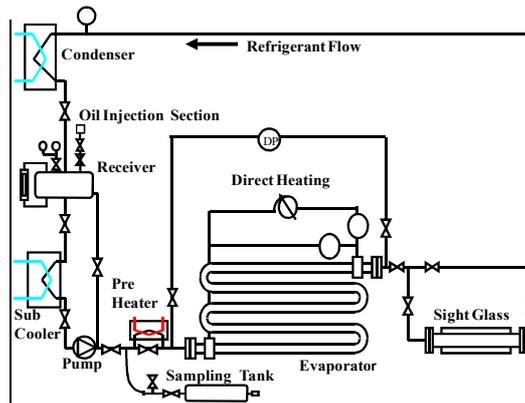


図 7 単管伝熱性能試験装置概略図

けて、熱伝達率が増加する。相溶性油混入試験は、冷媒の流動様式が環状流へと遷移する高質量流束の条件において、僅かに熱伝達率が低下する結果となった。しかし、同程度のオイル循環量の非相溶性油と比べ、熱伝達の低下は非常に小さいと言える。

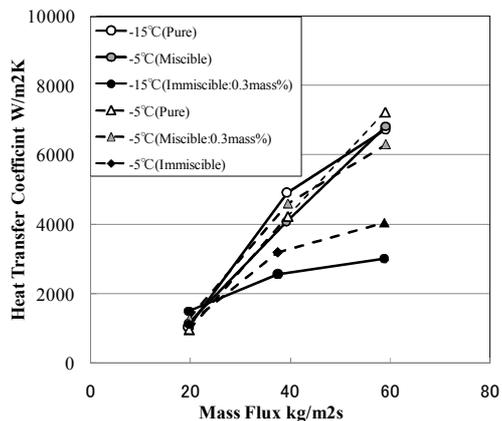


図 8 平均熱伝達率に対する冷凍機油の影響

② マイクロチャンネル熱交換器

図 9 に本研究で用いた実験装置の概要を示す。マイクロチャンネル熱交換器で NH<sub>3</sub> と CO<sub>2</sub> が熱交換することにより、NH<sub>3</sub> が蒸発、CO<sub>2</sub> が凝縮することで伝熱性能試験を行った。マイクロチャンネル熱交換器の流路サイズは□1.0、0.5、0.25mm の三種である。外側熱交換器体格はいずれも同じである。熱交換器内でそれぞれの流体は各出入り口に対して斜め方向に通過する。

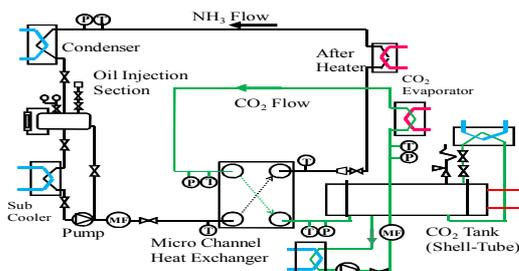


図9 マイクロチャネル性能試験装置

図10に0.5mmのマイクロチャンネルにおける実験結果と計算値の比較を示す。この結果より、低流量では計算値が実験値より、30%程度高い傾向がみられるが、層流熱伝達モデルを用い、計算することにより実験値と比較的良く一致する結果を得た。今後以上のようなデータ取得を積み重ねて、シミュレーション法を確立する予定である。

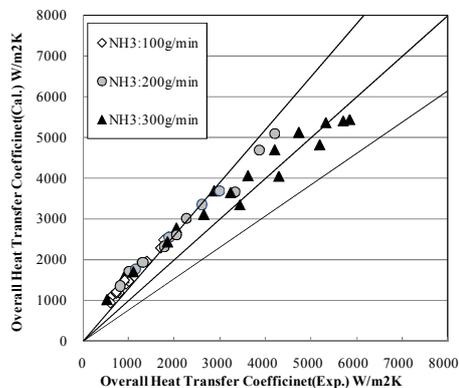


図10 0.5mm 流路における実験結果と予測

## 5. 主な発表論文等

[論文] (計4件)

① A. Kaneko and M. Katsuta The Development of Performance Prediction Methods for as Automotive CO2 A/C Cycle Trans ASME, J. of Thermal Science and Engineering Application Vol. 3, No. 2, (2011). (査読有)

[学会発表, 国際会議] (計3件)

① M. KATSUTA, THE DEVELOPMENT OF PERFORMANCE PREDICTION METHODS FOR AN AUTOMOTIVE CO2 AIR CONDITIONING CYCLE ASME Proceedings of the International Heat Transfer Conference IHTC14, (2010, 8) Washington, DC, USA. (査読有)

② M. Katsuta, N. Miyachi, T. Oshiro, Yohno Cooling Heat Transfer Characteristics of R744 -Experimental Research of Cooling Heat transfer and Pressure Drop in Super Critical Condition-The 5<sup>th</sup> Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning Proceedings of 5<sup>th</sup> ACRA

2010 Waseda, Tokyo, Japan. (査読有)

④ Masafumi KATSUTA, Shinya KISHI, Naoyuki MIYACHI, Takahiro OSHIRO EVAPORATING HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF R744-RELATION BETWEEN THE EVAPORATING HEAT TRANSFER AND FLOW PATTERN OF REFRIGERANT WITH OIL- The 4th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning Proceedings of 4th ACRA 2009 Taipei, Taiwan. (査読有)

[学会発表, 国内] (計10件)

① 金子, 勝田, 堀, 凹凸平板間の伝熱・圧力損失特性に関する研究—ステンレス熱交換器への展開— 第48回伝熱シンポジウム, G321, (2011-6).

② 勝田, 西田, 宮元, NH3冷媒の蒸発伝熱特性に及ぼす相溶性冷凍機油の影響, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2011年次大会論文集 A322 505-508, (2010-9)

③ 勝田, 山下, HF0-1234yf冷媒の凝縮伝熱特性に及ぼす関係の影響, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2011年次大会論文集 C-113, 207-210, (2011-9)

④ 鈴木, 小松, 勝田, 強制循環系反応装置を用いた低GWP冷媒を含む冷媒の迅速測定技術, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2011年次大会論文集 C121, 211-212, (2011-9)

⑤ 勝田, 深井, 関根, 水-空気二相流の流量分配特性—流路形状および冷媒流量分配再現のための入口流入条件の検討—, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2011年次大会論文集 C231 383-386, (2011-9)

⑥ 勝田, 大城, 谷中, HF0-1234yf冷媒の凝縮伝熱特性, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2010年次大会論文集, B124, (2010-9).

⑦ 勝田, 金子, 目崎, 宮下, 結露を含む車載用熱交換器の空気側伝熱特性, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2010年次大会論文集, B211, (2010-9).

⑧ 勝田, 西田, ネルソン, 広瀬, 盛林, NH3冷媒の沸騰伝熱特性に及ぼす非相溶油の影響—水平平滑管内の沸騰熱伝達に関する実験的研究—, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2010年次大会論文集, B322, (2010-9).

⑨ 深井, 山縣, 勝田, 水平多連分岐管の気液二相流分配—局所的形状が分配特性に及ぼす影響—, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2009年次大会論文集, C323, (2009-10)

⑩ 大野, 勝田, CO2冷凍サイクルの冷却熱伝達特性—超臨界域における冷却熱伝達・圧力損失に関する実験—, JSRAE (日本冷凍空調学会) 2009年次大会論文集, C333, (2009-10)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者 勝田 正文

(KATAUTA Masafumi)

研究者番号: 20120107

早稲田大学・理工学術院・教授