

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18日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560229

研究課題名（和文）CO₂系混合冷媒に対する高精度状態方程式の開発と分散型熱物性データベースへの応用研究課題名（英文）Reliable Equations of State for Mixtures Containing CO₂ and Its Application to a Network Database System for Thermophysical Properties Data

研究代表者

赤坂 亮（AKASAKA RYO）

九州産業大学・工学部・准教授

研究者番号：60369121

研究成果の概要（和文）：

環境への負荷が小さいため次世代冷媒の一つとして注目されている CO₂ 系混合冷媒に着目し、CO₂+R32, CO₂+R23, CO₂+R41, CO₂+R134a, CO₂+R125, CO₂+R152a および CO₂+ジメチルエーテル（DME）に対する熱力学モデルを開発した。また、研究期間の後半においては、CO₂ 系混合冷媒のみならず、新たな次世代冷媒候補として注目され始めた R1234yf および R1234ze(E) を含む混合冷媒も研究対象とし、これらに対するモデルも開発した。本研究課題で開発した熱力学モデルは、冷凍サイクルやヒートポンプサイクルの性能予測に用いることができる。

研究成果の概要（英文）：

Due to low environmental impact, refrigerant mixtures containing CO₂ are considered as candidates for a next-generation refrigerant. This work developed thermodynamic models for mixtures of CO₂ with R32, R23, R41, R134a, R125, R152a, and dimethyl ether (DME). Additionally, models for mixtures with novel refrigerants R1234yf and R1234ze(E) were also developed. These models are applicable to cycle performance calculations for refrigeration and heat-pump cycles.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：光学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：CO₂, HFC, 低 GWP, 地球温暖化, 気液平衡, 混合冷媒, 熱物性データベース, 状態方程式

1. 研究開始当初の背景

次世代冷媒の一つとして注目されている CO₂ 系混合冷媒の実用化研究は、プロセスの最適化や熱伝達特性の解明など多方面から進められており、一部の成果は特許申請されている。しかしながら、これらの研究の基盤

となるような信頼性の高い状態方程式は未だ開発されておらず、混合冷媒の熱力学性質の計算においては純冷媒の状態方程式の単純混合等の簡易的な手法が用いられている。このような簡易モデルから推算される熱物性値の精度は詳細な機器設計には不十分であ

り、今後実用化をさらに推し進めてゆくためには、気液平衡、PVT 性質および比熱を精度良く推算できるモデルが必要である。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、CO₂ 系混合冷媒の実測値情報を収集・評価し、それを元にした高精度の状態方程式を開発することにある。さらに、多くの研究者に共通の基盤情報となるために、開発した状態方程式に基づく熱物性値計算ソフトウェア（熱物性データベース）を提供する。このようなソフトウェアを用いることによって、ヒートポンプや冷凍サイクルの高度な解析や設計が可能になる。

3. 研究の方法

一般的な Peng-Robinson 式などの 3 次型状態方程式を用いた手法は容易であるが、推算される熱物性値の信頼性は低い。本研究では、純物質に対してすでに開発済みの高精度 Helmholtz 型状態方程式を用いた混合モデルを開発する。このような混合モデルを用いた熱物性値の計算は極めて複雑であるが、飽和状態、PVT 性質、エンタルピー、エントロピー、比熱等を実測値の不確かさの程度に再現することができる。

4. 研究成果

(1) 既存の CO₂ 混合冷媒に対する熱力学モデルの開発

CO₂+R32, CO₂+R23, CO₂+R41, CO₂+R134a, CO₂+R125, CO₂+R152a および CO₂+ジメチルエーテルに対する熱力学的性質の実測値情報を収集・評価し、これらの混合冷媒に対する熱力学モデルを開発した。CO₂+R32 および CO₂+DME に対するモデルを用いて計算した沸点・露点曲線と実測値との比較を図 1 および 2 にそれぞれ示す。

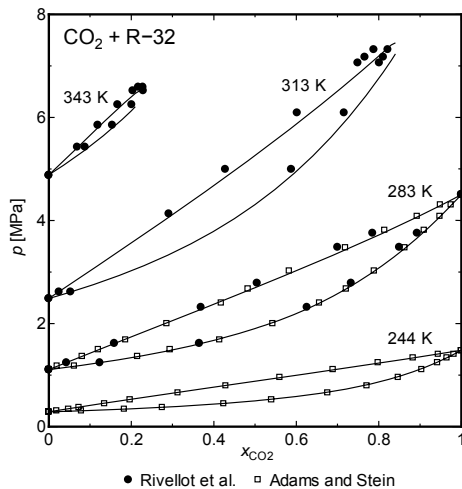


図 1 CO₂+R32 混合冷媒の気液平衡

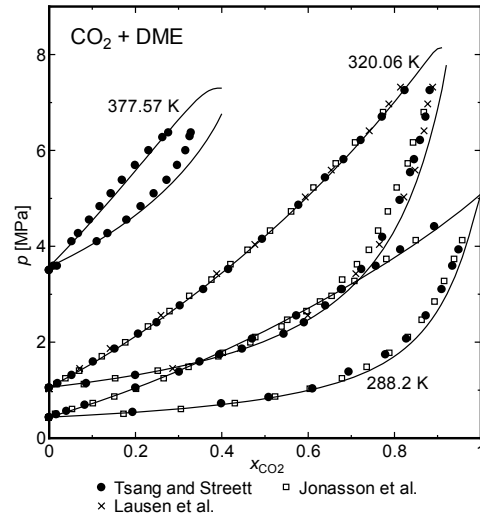


図 2 CO₂+DME 混合冷媒の気液平衡

(2) R1234yf および R1234ze (E) に対する状態方程式およびそれに基づいた混合モデルの開発

R1234yf および R1234ze (E) は本研究課題の開始後に注目を集め始めた新規冷媒であり、地球温暖化係数が極めて小さいという特徴を持つ。本研究課題ではこれらの冷媒に対する状態方程式の開発と、それに基づいた混合モデルの最適化を行った。図 3 はこの混合モデルを用いて計算した R32+R1234yf の沸点・露点曲線と実測値との比較である。

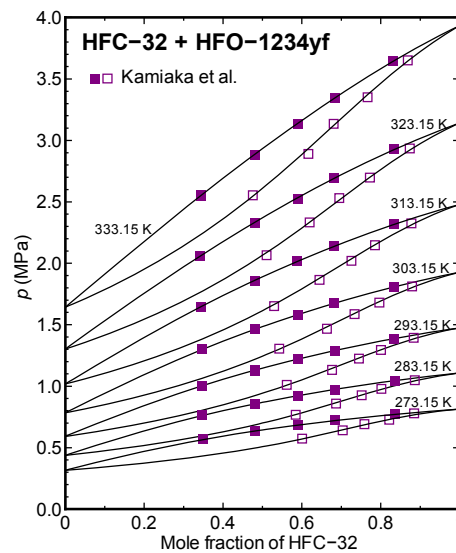


図 3 R32+R1234yf 混合冷媒の気液平衡

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

① R. Akasaka, New Fundamental Equations

- of State with a Common Functional Form for 2, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (R-1234yf) and Trans-1, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (R-1234ze(E)), International Journal of Thermophysics, 32(6), pp.1125-1147, (2011). (査読有)
- ② R. Akasaka, Vapor-Liquid Equilibrium Modeling for Mixtures of HFC-32 + Isobutane and HFC-32 + HFO-1234ze(E), International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, 19(2), pp.93-97, (2011). (査読有)
- ③ 田中勝之, 赤坂亮, 東之弘, HFO-1234ze(E)+HFC-32 混合冷媒の密度および定圧比熱の測定, 日本冷凍空調学会論文集, 28(4), pp.427-434, (2011). (査読有)
- ④ R. Akasaka, An Application of the Extended Corresponding States Model to Thermodynamic Property Calculations for Trans-1, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (HFO-1234ze(E)), International Journal of Refrigeration, 33(5), pp.907-914, (2010). (査読有)
- ⑤ R. Akasaka, K. Tanaka, Y. Higashi, Thermodynamic Property Modeling for 2, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (HFO-1234yf), International Journal of Refrigeration, 33(1), pp.52-60, (2010). (査読有)
- ⑥ R. Akasaka, Viscosity Correlation for 2, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (HFO-1234yf) Based on the Extended Corresponding States Model, Journal of Thermal Science and Technology, 5(2), pp.200-205, (2010). (査読有)
- ⑦ K. Tanaka, Y. Higashi, R. Akasaka, Measurements of the Isobaric Specific Heat Capacity and Density for HFO-1234yf in the Liquid State, Journal of Chemical Engineering Data, 55(2), pp.901-903, (2010). (査読有)
- ⑧ R. Akasaka, Applications of the Simple Multi-fluid Model to Correlations of the Vapor-Liquid Equilibrium of Refrigerant Mixtures Containing Carbon Dioxide, Journal of Thermal Science and Technology, 4(1), pp.159-168, (2009). (査読有)
- ⑨ 赤坂亮, HFC 冷媒および自然冷媒に対する Helmholtz 型状態方程式と熱力学的性質の計算方法, 日本冷凍空調学会論文集, 26(1), pp.1-15, (2009). (査読有)
- State with an Identical Functional Form for HFO-1234yf and HFO-1234ze(E), The 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech, August 21-26, (2011).
- ② R. Akasaka, Thermodynamic Property Model for the Mixtures of Difluoromethane (HFC-32) + Isobutane and Difluoromethane + Trans-1, 3, 3, 3-tetrafluoropropene (HFO-1234ze(E)), International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, West Lafayette, IN, USA, July 12-15, (2010).
- ③ R. Akasaka, T. Tanaka, Y. Higashi, An Application of the Extended Corresponding States Model to Thermodynamic Property Calculations for Trans-1, 3, 3, 3-tetrafluoropropene (HFO - 1234ze(E)), Sustainable Refrigeration and Heat Pump Technology Conference, Stockholm, Sweden, June 13-16, (2010).
- ④ R. Akasaka, Y. Kayukawa, Y. Kano, K. Fujii, Fundamental Equation of State for 2, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene (HFO-1234yf), 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan, February 17-18, (2010).
- ⑤ Y. Kayukawa, K. Fujii, R. Akasaka, Thermodynamic Property Measurements for HFO 1234yf and Its Binary Mixtures, 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan, February 17-18, (2010).
- ⑥ K. Tanaka, Y. Higashi, R. Akasaka, Thermodynamic Properties for Low GWP Refrigerant HFO-1234yf, International Workshop on Environment and Engineering 2009 (IWEE 2009), Yokohama, Japan, November 24-25, (2009).
- ⑦ R. Akasaka, Vapor-Liquid Equilibrium Modeling for Carbon Dioxide + Difluoromethane (R-32) and Carbon Dioxide + Pentafluoroethane (R-125) Mixtures Using Helmholtz Energy Equations of State, AIChE Annual Meeting 2009, Nashville, TN, USA, November 8-13, (2009).
- ⑧ R. Akasaka, Simple Multi-fluid Model for Correlations of the Vapor-Liquid Equilibrium of Refrigerant Mixtures Containing Carbon Dioxide, Thermodynamics 2009, London, UK,

[学会発表] (計 14 件)

- ① R. Akasaka, Fundamental Equations of

September 23-25, (2009).

- ⑨ R. Akasaka, K. Tanaka, Y. Higashi, A Practical Equation of State for 2,3,3,3-Tetrafluoropropene (HFO-1234yf) to Calculate Saturation Properties, 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Boulder, CO, USA, June 21-26, (2009).

[図書] (計2件)

- ① R. Akasaka, Y. Kayukawa, K. Tanaka, Y. Higashi, JSRAE Thermodynamic Table Vol.3 HFO-1234yf, 日本冷凍空調学会, (2010).
- ② R. Akasaka, Y. Kayukawa, K. Tanaka, Y. Higashi, JSRAE Thermodynamic Table Vol.4 HFO-1234ze(E), 日本冷凍空調学会, (2011).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤坂 亮 (AKASAKA RYO)

九州産業大学・工学部・准教授

研究者番号：60369121

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者