

高温出力型ヒートポンプ用作動流体の熱力学性質測定装置の開発 Development of the Apparatus for Measuring Thermodynamic Property of Working Fluids for High Temperature Heat Pump

○田中勝之¹

Abstract: High temperature heat pump can contribute for effective utilization of energy because of its high coefficient of performance as compared to traditional heating system. The coefficient of performance and operating temperature range are dependent on thermophysical properties of working fluids. Environmental friendly substances such as zero ozone depletion potential and low global warming potential are also required for working fluids. Several substances are candidates for working fluids. And then, their thermophysical properties should be provided by equation of state. To develop the equation of state for a working fluid, its experimental data of thermophysical properties is needed. In this study, the apparatus for measuring the vapor pressure and saturated liquid density as fundamental thermophysical properties are constructed. The experimental results for candidates of working fluids for high temperature heat pump are also reported.

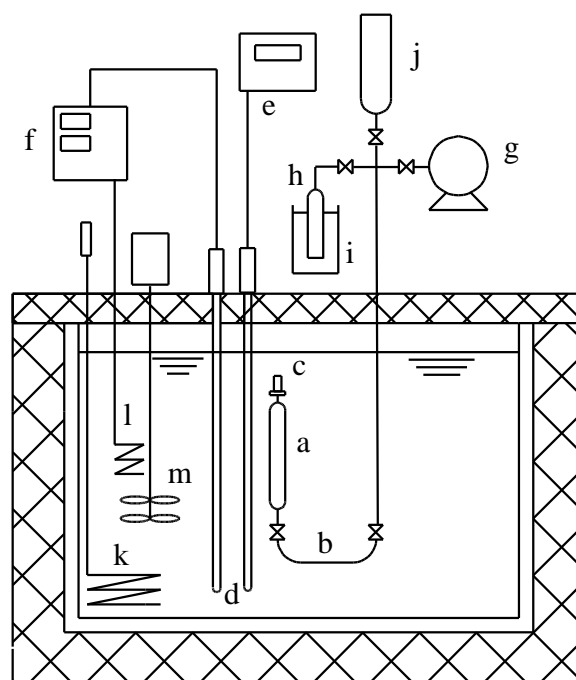
1. はじめに

近年の地球温暖化問題や原子力発電問題の観点から、エネルギーの有効利用における技術開発が活発におこなわれている。その技術の中で、加熱方法として従来のヒータよりも供給するエネルギーに対する放熱量が高いヒートポンプがあり、従来の暖房や給湯の利用よりも高い温度域の 120℃程度の蒸気生成ヒートポンプの開発が期待されている。しかしながら、そのような高温出力型ヒートポンプで使用される作動流体は、従来のものよりも高温域で使用されるため、その熱力学性質も高温域の測定データを得る必要がある。また、温度域に適した作動流体はより高沸点の物質を使用することになることその他、オゾン破壊係数がゼロで、地球温暖化係数が低く、可燃性や毒性がないことが求められる。したがって、候補となる物質は新規のものが多く、その物質に対して迅速に熱力学性質のデータを提供する必要がある。

本研究では、熱力学性質の中でもより基本的な情報となる飽和蒸気圧力と飽和液体密度の測定装置を開発し、候補となっているいくつかの新規の物質の測定結果を得ることができたので報告する。

2. 測定装置

製作した測定装置の概略図を図 1 に示す。装置は大小 2 つの容器 a, b を用いており、2 相域で大容器 a (約 27 cm³) に充填した試料を小容器 b (約 3 cm³) に膨張させて飽和液の状態を充填する。容器は、シリコンオイルの恒温槽内に設置されており、2 本のヒータと PID コントローラにより 10 mK 以内のふらつきで制御され



a: Main cell, b: Sub cell, c: Pressure sensor, d: Platinum resistance thermosensor, e: Thermometer, f: PID controller, g: Vacuum pump, h: Recovery cell, i: Liquid nitrogen, j: Sample bomb, k: Main heater, l: Sub heater, m: Stirrer

Figure 1. Schematic diagram of the apparatus.^[1]

ている。恒温槽内には、制御用の白金抵抗体の他に測定用の白金抵抗体を挿入し、温度測定器により温度を測定し、シリコンオイルと試料が十分に熱平衡状態となるまで安定させることで試料温度としている。定常状態になった後に大容器に取り付けた圧力センサ c で

1 : 日大理工・教員・精機

飽和蒸気圧力を測定し、小容器の試料を回収容器 *i* に液体窒素で凝縮して回収し、回収した質量と小容器の内容積から飽和液体密度を決定する。なお、回収容器の質量は、電子天秤で測定し、小容器の内容積は密度の良く知られている HFC134a を試料として測定し、決定した。

3. 測定結果

高温出力型ヒートポンプの作動流体として候補と考える物質の測定をおこなった。HFC245fa は冷凍空調機器の作動流体である冷媒で使用されている代替フロン系のハイドロフルオロカーボン (HFC 系) である。代替フロンは塩素を含まないのでオゾン層を破壊しないが、温暖化係数が高い。しかしながら、HFC245fa をベースにヒートポンプの開発が始まっており、基準としてその測定をおこなった^[1]。そこで、二重結合をもつオレフィン系 (HFO 系) は大気寿命が短く、温暖化係数が低い。HFO1234ze(Z) は図 2 に示したとおり、蒸気圧も HFC245fa に近く、その代替物となりうる。ただし、図 3 に示したとおり、HFO1234ze(Z) の飽和密度は HFC245fa よりも小さいので、単位体積あたりの質量が小さく、ヒートポンプが比較的大型になる。HFO 系は大気寿命が短いことから、塩素を加えた HCFO 系もオゾン層に到達するまでに分解し、オゾン層破壊に寄与しないと考えられる。そこで、HCFO1233zd(E) と HCFO1233xf を候補として測定した。また、より沸点が高く、より高温のヒートポンプが期待できるエーテル系の HFE 系について HFE7000(R347mcc)^[2] と HFE7100 の測定結果を得た。

4. おわりに

エネルギーの有効利用に貢献できる高温出力型ヒートポンプの開発に必要な作動流体の熱力学性質の内、飽和蒸気圧力と飽和液体密度を測定可能な装置を製作し、作動流体の候補となるいくつかの物質について測定結果を得ることが出来た。本測定装置で得られるデータは、温度を変数とした相関式の作成に用いられ、使用を想定した温度における耐圧設計の指標となる飽和蒸気圧力の算出や、ヒートポンプのサイズの指標となる飽和液体密度の算出ができるようになるだけでなく、任意の状態様々な熱力学性質を算出できる状態方程式の開発に用いられ、データベースとして利用することができるようになるための基本的な情報となる。なお、ヒートポンプと同様に作動流体として

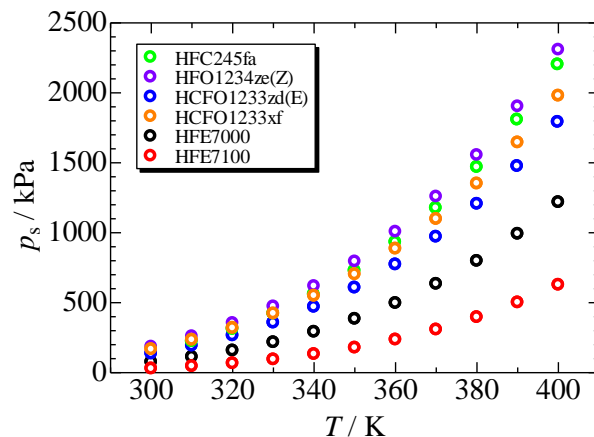


Figure 2. Results of saturated vapor pressure.

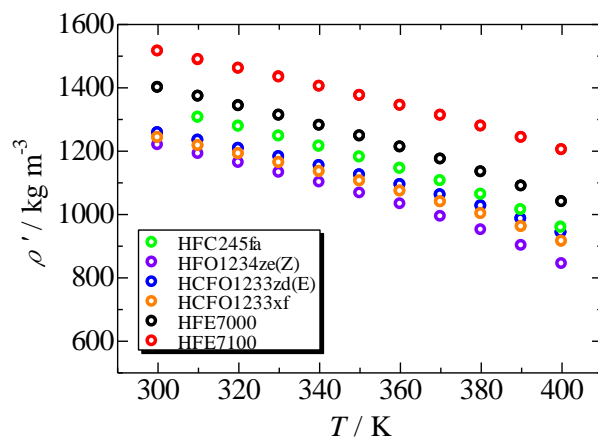


Figure 3. Results of saturated liquid density.

利用するオーガニックランキンサイクルによる発電システムへ向けた応用も期待でき、本報で開発した装置を用いて研究を発展させたいと考えている。

謝辞

本研究は、日本大学理工学部より平成 25 年度理工学部応用科学研究助成金『高温出力型ヒートポンプ用作動流体の熱力学性質測定装置の開発』の一部として実施した。ここに、記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 田中勝之:「R 245fa の飽和蒸気圧力と飽和液体密度の測定」, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.31, No.1, p.11-17, 2014.
- [2] 田中勝之:「R 347mcc の飽和蒸気圧力と飽和液体密度の測定」, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.31, No.3, p.305-310, 2014.