

K2-83

## ヒートポンプ用冷媒の熱物性に関する研究 Study on the Thermophysical Property of Refrigerants for the Heat Pump

○丸子晃平<sup>1</sup>, 飯島章<sup>1</sup>, 田中勝之<sup>2</sup>, 田中誠<sup>2</sup>  
Kohei Maruko<sup>1</sup>, Akira Iijima<sup>1</sup>, Katsuyuki Tanaka<sup>2</sup>, Makoto Tanaka<sup>2</sup>

Abstract: The apparatus for measuring the thermophysical properties using metal bellows is constructed. Metal bellows is used as the sample vessel of the refrigerant.  $P\rho T$  (Pressure-Density-Temperature) properties can be measured in wide ranges. And the saturated properties also can be determined. Based on the experimental data, the latent heat can be obtained for estimation of the performance of the heat pump cycle.

### 1. はじめに

地球温暖化が進む現在、エネルギーの有効利用が必要で、産業分野で蒸気を発生させる用途においては熱源としてヒータを使用するよりも電気から熱への変換効率が良いヒートポンプの開発が経済産業省の「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の課題の1つとして取り上げられている。産業用ヒートポンプは焼却炉の廃熱や温泉の排水からの熱を利用し、120°Cの蒸気を作ることが想定されている。冷媒は蒸気を作るために150°C程度での利用となるが、従来冷媒の用途は冷蔵庫やクーラーであり低温での物性測定が行われてきたため、冷媒の高温域を測定できる熱物性測定装置が必要である。そこで本研究では広い温度・圧力での測定が可能な金属ベローズ法を用いた熱物性測定装置を製作し低温側は冷媒の沸点近傍である-20°Cから高温側は150°Cを想定した、高温域を含む熱物性の測定を行う。

### 2. ヒートポンプの原理

図1にヒートポンプサイクルの  $P-h$  線図を示す。破線は冷媒の飽和線を示している。

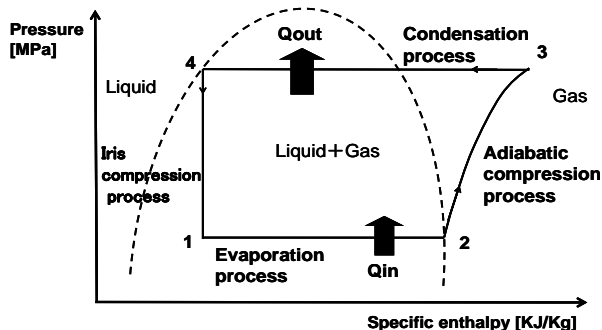


Figure1. Heat pump cycle

ヒートポンプは冷凍サイクル[1, 2]を利用しており、図中の1→2の過程において、冷媒は低温・低圧下で蒸発して周囲の空気から熱を吸収して環境温度を低下さ

せる。逆に3→4の過程で冷媒は高温・高圧下での凝縮により生じた熱を放出して環境温度を上昇させる。クーラーや冷蔵庫などでは吸熱側を使用するが、産業用ヒートポンプでは放熱側を利用する。

### 3. 金属ベローズを用いた熱物性測定装置

今回の研究で製作する装置は金属ベローズ法による冷媒の  $P\rho T$  (圧力-密度-温度) 性質を測定するものである。金属ベローズ法はすでに冷蔵庫やクーラー用冷媒の熱物性計測の実績がある。図2に冷媒を充填する試料容器の構成、図3に測定装置全体の概略図を示す。図2において、鉛直に置いた圧力容器の中に伸縮する金属製のベローズと言われる蛇腹状の容器が入っている。ベローズ内は空洞容器になっておりその断面積はほぼ一定で、軸方向の変位により内容積が変わる。

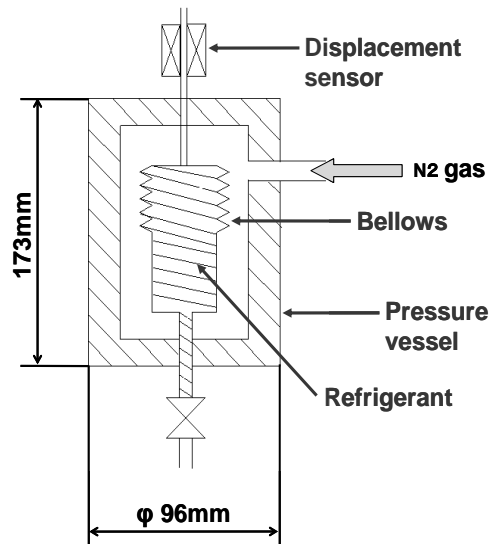
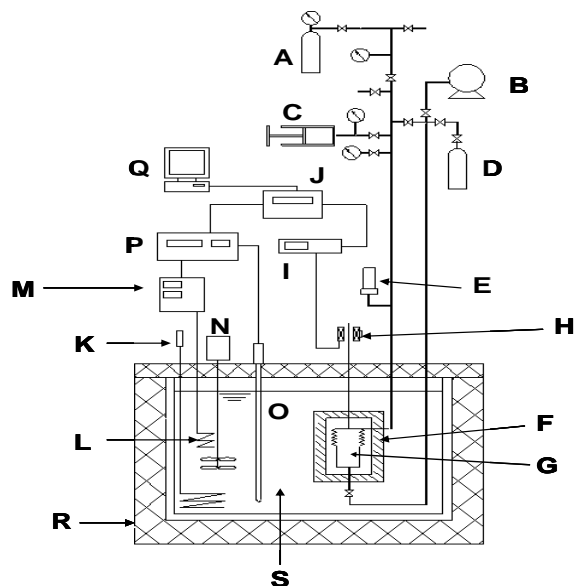


Figure2. Schematic diagram of sample cell

圧力容器と冷媒を入れる容器を分けることによって圧力センサを容器に直接取り付けする必要がなく、センサのリード線の耐熱温度を考慮する必要がない。また冷

1 : 日大理工・学部・精機 2 : 日大理工・教員・精機

媒を入れる試料容器にピストンを用いた場合、シールの耐熱性や高圧下での冷媒の漏れ等の問題があるのに対し、ベローズはシールを使用せず、溶接したインコネル製の金属を用いているので耐熱性に優れている。これらの理由から金属ベローズ法はシリコンオイルの使用可能範囲である約-40~200℃、圧力は圧力センサの上限である 5MPa までの広い温度・圧力範囲での測定が可能で、内容積可変のベローズを使用することで冷媒の充填質量を変えずに広い密度範囲の測定が可能であり、本研究で対象とするヒートポンプの温度領域である 150℃をカバーできるため、この方法を用いた測定装置を採用した。



A : N<sub>2</sub> cylinder, B : Vacuum pump, C : Pressure controller  
 D : Sample tank, E : Pressure sensor, F : Pressure vessel  
 G : Metal bellows, H : Displacement sensor, I : Multi meter  
 J : Displacement gauge, K : Main heater, L : Sub heater  
 M : PID controller unit, N : Stirrer, O : Platinum resistance thermometer, P : Thermometer bridge, Q : PC  
 R : Thermostatic bath, S : Silicone oil

Figure 3. Schematic diagram of the apparatus

測定は  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  と温度を一定に保った下で減圧していき、密度の測定を行う。密度はベローズ内に充填する冷媒の質量と体積の関係から求められる。圧力容器とベローズの空間には N<sub>2</sub> ガスを圧力媒体として充填し、N<sub>2</sub> ガスの圧力の測定からベローズの弾性力による差圧を差し引くことにより冷媒の圧力を決定する。冷媒の温度はシリコンオイルを入れた恒温槽に圧力容器を入れて、ベローズ内の冷媒の温度とシリコンオイルの温度を平衡させて測定する。この時、図 4 の  $P$ - $\rho$  線

図のようにある密度範囲で圧力が一定になる。この時の圧力が飽和蒸気圧であり、圧力が一定になり始めた時と、なり終わった時の密度がそれぞれ飽和液密度と蒸気域密度になる。これらの密度と飽和蒸気力を測定することによって、 $P$ - $\rho$  線図の飽和線を描ける。また飽和蒸気圧とその時の温度をプロットしていき  $P$ - $T$  線図に示すような飽和線を描くことでその傾きが求まる。

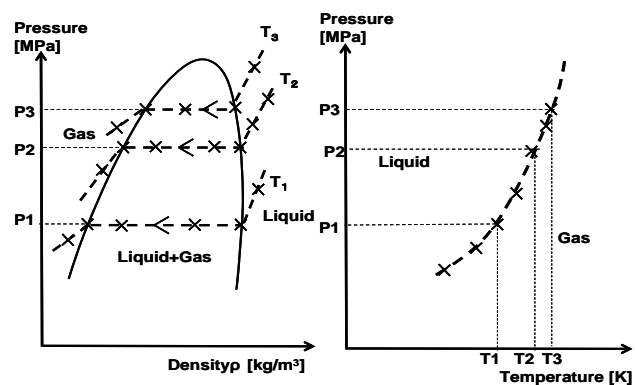


Figure 4.  $P$ - $\rho$  and  $P$ - $T$  diagram

以上のデータを元に、以下のクラウジウス・クラペイロンの式を用いて冷媒の蒸発潜熱を求めることができる。クラウジウス・クラペイロンの式より、

$$\frac{dP_s}{dT} = \frac{\Delta h}{T_s(v''-v')} \quad (1)$$

これを以下のように変形する。

$$\Delta h = \frac{dP_s}{dT} \cdot T_s \left( \frac{1}{\rho''} - \frac{1}{\rho'} \right) \quad (2)$$

ここで、 $P_s$  : 飽和圧力 [MPa],  $T$  : 温度 [K],  $\Delta h$  : 比エンタロピー量 [kJ/kg],  $T_s$  : 蒸発温度 [K],  $\rho'$  : 飽和液密度 [kg/m<sup>3</sup>],  $\rho''$  : 飽和蒸気密度 [kg/m<sup>3</sup>] を示している。

#### 4. 結び

本研究では金属ベローズを使った測定装置の製作をし、物性が広く知られている冷媒 (HFC-134a) の測定を行い装置の健全性を確認した後、地球温暖化係数が低い新たな冷媒の物性測定を行う。

#### 5. 参考文献

[1] 平田哲夫他, 「基礎からの冷凍空調」, pp.10-pp.23, 2009 年  
 [2] 平田哲夫他, 「例題でわかる工業熱力学」 pp.114-pp.115, 2008 年