

K2-14

HFC-245fa の高温域における ppT 性質測定

Measurement of ppT property for HFC-245fa in the high-temperature range

○丸子晃平¹, 田中勝之², 田中誠²*Kohei Maruko¹, Katsuyuki Tanaka², Makoto Tanaka²

Abstract:HFC-245fa is expected as refrigerant in the industrial heat pump running at a high-temperature. Because HFC-245fa has low vapor pressure at a high-temperature compared with existing refrigerants. However, there is few data of the ppT property required to use in the high-temperature range. So, the apparatus for measuring the ppT property using metal bellows was constructed. Then, ppT property for the high-temperature range of HFC-245fa was measured.

1. 緒言

冷媒である HFC-245fa は 120℃ 程度の水蒸気を生成する産業用ヒートポンプでの使用が主になりつつある。産業用ヒートポンプに用いられる冷媒は、高温域での使用となるため、エアコン等の室温付近で使用するような HFC-134a などと比べて、高温下において蒸気圧が低い HFC-245fa のようなものが適している。そのため、HFC-245fa には高温域における物性データが求められるが、その状態方程式の基となっている ppT (圧力-密度-温度) 性質のデータは、高温域を含んでいるものが少ない^[1]。そこで、高温域におけるデータの充足を行うべく、 ppT 性質測定装置を製作し、高温域を含んだ HFC-245fa の液相側での ppT 性質測定を行った。

2. ヒートポンプの原理

ヒートポンプは冷媒の潜熱を用いて吸熱・放熱を行う装置である。図 1 にヒートポンプサイクルを示す。図中の点線は各相の境界を示しており、左端が液相、右端が気相、内側が気液混合相である。

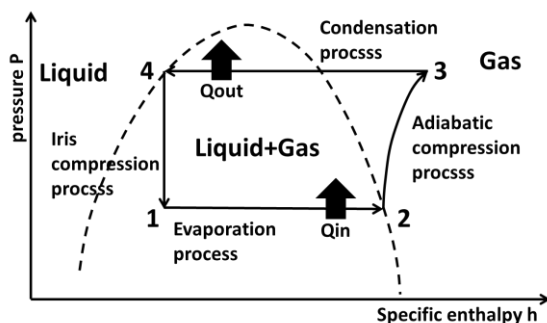


Figure 1. Heat pump cycle

1→2 の過程においてヒートポンプ内の冷媒を蒸発させることで吸熱を行い、周囲の温度を低下させる。逆に 3→4 の過程において凝縮させることで放熱を行い、周囲の温度を上昇させる。産業用ヒートポンプではこの放熱過程を用いて 120℃ 程度の水蒸気を生成し、工場の殺菌工程や洗浄工程などに使用する。

3. 製作した測定装置

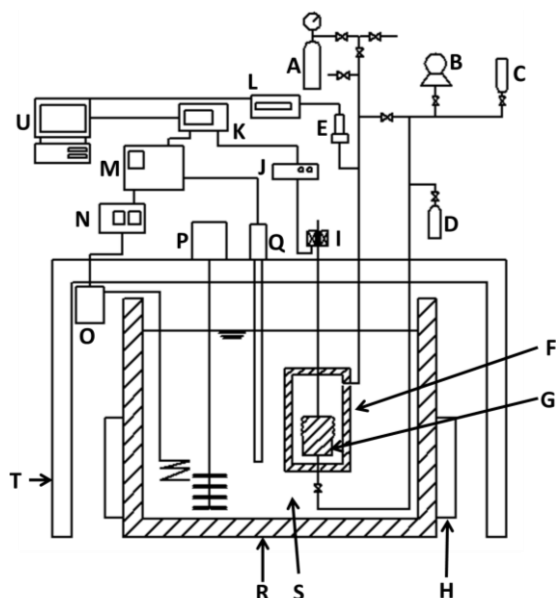
製作した装置は、試料容器として金属ベローズ法を用いた ppT 性質を測定するものである。図 2 に装置の概略を示す。金属ベローズ容器 G は容積が可変であることから、一度の充填で密度を変えて圧力及び温度を測定することが可能である。金属製容器であることから、高温でも容器の耐熱温度を考慮する必要が無く、高温下での測定に適した手法である。

密度 ρ の測定は、あらかじめ測定したベローズ内容積 V で充填した試料の質量 M を除する事から求める。充填した質量は試料回収容器 D により冷媒を回収し、冷媒回収前後での回収容器の質量差から求める。

金属ベローズ容器は压力容器 F で囲われている。压力容器とベローズ容器の間に圧力媒体として窒素ガスを封入し、ベローズを介して冷媒に圧力を加える。窒素ガスの圧力 p_{N_2} は水晶共振式圧力センサ E により測定する。压力容器と試料容器を分けることで、高温にさらされる試料容器に直接圧力センサを取り付ける必要が無く、高温下での測定が可能となる。しかし、ベローズは変位に応じてその内外に圧力差を生むため、あらかじめベローズ内外の圧力差 dp と変位の関係を測定しておく必要がある。これより、窒素ガス圧力から差圧を差し引くことで冷媒の圧力 p を求める事が出来る。ベローズの変位は差動トランス式の変位センサ I により読み取る。ベローズに取り付けられた金属製のロッドがベローズの伸縮と共に変位する。この変位をロッドの外側に取り付けた差動トランスで測定する。

浴槽 R 内は熱媒体であるシリコンオイル S で満たされており、浴槽の外壁面を覆うメインヒータ H により、目標温度近傍まで加熱する。細かな温度制御はサブヒータ O により行う。サブヒータは PID コントローラ N に接続される。PID コントローラは浴槽内に挿入した白金抵抗温度計 Q が測定した温度を基に、設定した温度となるようにサブヒータの出力を制御する。二つのヒータを用いる事で、浴槽内を目標温度の約±

10mK で制御する事が出来る． 温度の測定は浴槽内温度を一定に制御し， 浴槽内温度と冷媒の温度が十分に平衡するまで時間を置くことで， 浴槽内温度を冷媒の温度とみなして測定する．



A : nitrogen-gas bomb, B : vacuum pump, C : sample filling vessel, D : sample recovery vessel, E : pressure sensor, F : pressure vessel, G : metal-bellows cell, H : main heater, I : displacement sensor, J : displacement gage, K : digital multi-meter, L : pressure indicator M : thermometer bridge, N : PID controller, O : sub heater, P : stirrer, Q : platinum resistance thermometer, R : thermostated silicone-oil bath, S : silicone-oil, T : flame, U : PC

Figure2. Schematic diagram of the apparatus

4. 測定方法

今回の測定では HFC-245fa の液相での密度の測定から飽和液密度と飽和圧力を求めた． 測定は温度を 310K から 420K まで 10K おきで一定にし， 5000kPa から等温膨張させたときの密度の変化を測定する． 密度は等温線に沿って測定される． 等温線において， 液体状態である 5000kPa から膨張させていくと， ある密度以降で圧力の変化が無くなる． これは冷媒が沸騰することにより圧力が一定になる為である． この時の圧力が飽和蒸気圧であり， 等温線の傾きが変化した点の密度が飽和液密度である． 各等温線の屈折点を結ぶことで， 飽和線を描くことが出来る． この飽和線により液相と気液混合相の境界を示す事が出来る． 以上の測定結果を基に， 飽和蒸気圧-温度の関係を求めることで， 飽和蒸気圧曲線を得る事が出来る． 飽和蒸気圧は相変化し

終わるまで一定であることから， この曲線で気相と液相の境界を示す事が出来る．

5. 測定結果

図 3 に圧力-密度の測定結果， 図 4 に飽和蒸気圧曲線を示す． 計 101 点での測定を行った． 図 3 において点線は等温線， 実線は飽和線を示している． 400K での測定結果において， 他の温度と異なる密度変化であることが分かる． これは， 冷媒温度が平衡する前に測定してしまったことによるものだと考えられる． そのため， 400K の測定において， 引き続き再測定による検証を行っていく．

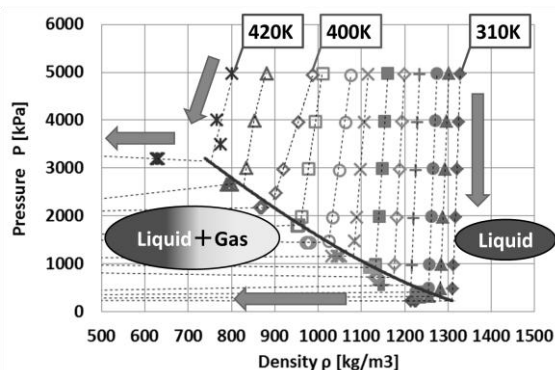


Figure3. Pressure-Density diagram

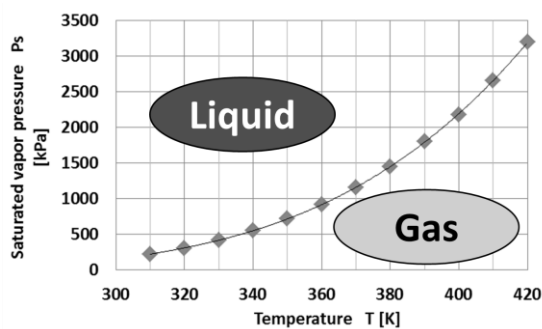


Figure4. Saturated vapor pressure-Temperature diagram

6. 結言

本測定により， HFC-245fa の ppT 性質データの充足がなされ， 状態方程式の高温域における精度の向上を図ることが可能となった． 今後は気相側からの測定によって， 今回求めた飽和圧力の正確性の検証とともに飽和気体密度を求めることを行う．

7. 参考文献

[1] Eric W. Lemmon : “Short Fundamental Equations of State for 20 Industrial Fluids”, J. Chem. Eng., Vol.51, pp785-850, 2006