フロン系冷媒 R 1 1 5 ($\text{CClF}_2 \cdot \text{CF}_3$) の
飽和蒸気圧および P V T 性質の測定*矢田 直之*¹, 上松 公彦*², 渡部 康一*²MEASUREMENTS OF THE VAPOR PRESSURE AND
PVT PROPERTIES FOR REFRIGERANT 115

Naoyuki YADA, Masahiko UEMATSU and Koichi WATANABE

This paper reports measurements of the vapor pressure and PVT properties of the R 115 (CClF_2CF_3). The present measurements were made by the constant volume method coupled with isothermal expansion procedures for a certain fixed density of a sample. The measurements were conducted in the range of temperatures from 296 to 443 K and of pressures from 0.8 to 9.6 MPa and of densities from 235 to 1176 kg/m³ along 11 different isochores. The number of data for the vapor pressure is 68 and that of the PVT data is 94. The experimental uncertainties in the temperature, density and pressure were estimated as ± 8 mK, ± 0.1 % and ± 3 kPa, respectively. We calculated the vapor pressure correlation based on our vapor pressure data and Matthias' vapor pressure data. The vapor pressure correlation represents vapor pressure from 227.5 K to critical temperature. Comparing our vapor pressure data with other reported data and correlations, it was found that the present measurements were consistent and reliable. The present PVT data were also compared with other reported data and available equations of state.

Key Words: R 115 (CClF_2CF_3), Critical Point, PVT Properties,
Saturated Vapor Pressure, Vapor Pressure Correlation

1. まえがき

最近では、熱エネルギーの有効利用の手段としてヒートポンプシステム、中でも作動流体として二成分系混合冷媒を用いたヒートポンプシステムが注目を浴びてきている。著者らの研究グループでは、かねてから二成分系混合冷媒の P V T x 性質について実験的研究を行っており、現在までに R 1 2 (CCl_2F_2) + R 2 2 (CHClF_2) 系^(1,2)、R 2 2 + R 1 1 4 ($\text{CClF}_2 \cdot \text{CClF}_2$) 系⁽³⁾、R 1 3 B 1 (CBrF_3) + R 1 1 4 系⁽⁴⁾および R 1 5 2 a ($\text{CH}_3 \cdot \text{CHF}_2$) + R 1 1 4 系⁽⁵⁾の測定を完了し、その熱力学状態曲面の組成依存性を明らかにしてきた。

その結果、二成分系混合冷媒の熱力学状態曲面と成分物質との関係についてある程度の知見を得ることができた⁽⁶⁾。著者らは、これまでの測定から得られた知見をより確かなものにするために、似通った分子構造を持つ冷媒の混合物である R 1 1 5 ($\text{CClF}_2 \cdot \text{CF}_3$) + R 1 1 4 系を今後の測定対象物質に選定したが、本研究ではその測定に先立ち成分物質である R 1 1 5 の飽和蒸気圧および P V T 性質の測定を行った。

フロン系冷媒 R 1 1 5 は、既に工業的に広く用いられている共沸混合冷媒 R 5 0 2 の成分物質の 1 つとして知られているが、その熱力学性質に関する実験的研究の報告例は少なく、特に圧縮液体域における P V T

* 平成元年 3 月 9 日 中国四国支部第 27 期総会講演会において講演, 原稿受付 昭和 63 年 2 月 23 日。

*¹ 正員, 慶應義塾大学大学院 (〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1)。*² 正員, 慶應義塾大学理工学部。

性質の実測値の報告例は存在しない。そこで本研究では、圧縮液体域から過熱蒸気域におよぶ広い温度および圧力範囲において、飽和蒸気圧を含む PVT 性質について高精度で測定を行った。また、得られた飽和蒸気圧の実測値に基づいて飽和蒸気圧相関式を作成し、従来報告されている飽和蒸気圧相関式および実測値との比較を行った。さらに、PVT 性質の実測値については、従来報告されている状態式および実測値との比較・検討を行い、いくつかの新しい知見を得たのでここに報告する。

2. 従来の研究

フロン系冷媒 R 115 の飽和蒸気圧および PVT 性質に関する実験的研究については Aston ら (1955)⁽⁷⁾、Mears ら (1966)⁽⁸⁾ および Matthias ら (1966)⁽⁹⁾ によって報告されている。しかしながら、Aston らの報告は、温度範囲 170 K から標準沸点まで、圧力範囲最大 0.1 MPa までの低温・低圧域に限られているので、本研究の結果との比較を行うことはできなかった。ここでは、本研究の測定範囲と重複する範囲において実測値のある、Mears らおよび Matthias らの報告について述べることにする。Mears らおよび Matthias らの測定範囲を本研究の測定範囲とともに図 1 に示す。Mears らは、飽和蒸気圧 3.6 点および PVT 性質 90 点の実測値を測定したと報告しており、それらの精度は温度 ± 50 mK、圧力 ± 3 kPa、密度 $\pm 0.1\%$ であり、試料純度 99.9 % と報告している。また、Matthias らは、飽和蒸気圧 1.2 点および PVT 性質 11.2 点を測定しており、それらの精度は温度 ± 20 mK、圧力 ± 5 kPa、密度 $\pm 0.1\%$ と報告しているが、試料純度に関する記述はない。

Mears らおよび Matthias らは、それぞれ自らの実測値などを基礎データとして飽和蒸気圧相関式も作成している。Mears らによる飽和蒸気圧相関式は、自らの実測値と Aston らの低温域における実測値を基礎データとしており、それらの実測値を平均圧力偏差 $\pm 0.33\%$ で再現すると報告している。また、Matthias らによる飽和蒸気圧相関式は、自らの実測値を圧力偏差 $\pm 0.3\%$ 以内で再現すると報告している。

なお、Mears らは自らの PVT 実測値を基礎データとして MH 型と拡張 BWR 型の 2 つの状態式を作成している。また Matthias らは、自らの PVT 実測値を基礎データとして拡張 BWR 型の状態式を作成している。また Morsy (1970)⁽¹⁰⁾ は、Mears らおよび Matthias らの実測値を基礎データとして状態式の作成を行っ

図 1 R 115 の PVT 性質および飽和蒸気圧に関する従来の研究例の測定範囲

ている。

3. 測定原理および測定方法

本研究で用いた実験装置は、1977年に高石らによって設計製作されたものであり、すでに R 12 + R 22 系に関する研究論文においても詳細に報告されている⁽¹⁾。従って、ここでは簡単にその測定原理、測定装置および測定方法について述べることにする。

本研究では、等容法と等温場膨張法とを組み合わせた実験方法を用いて、R 115 の飽和蒸気圧および PVT 性質の測定を行った。予め目標の密度 ρ_0 になるように質量を調整して充填された試料は、内容積既知の試料容器系内に封入される。試料容器系は液浴恒温槽内に設置され、 $\rho = \rho_0$ の等容線に沿って目標温度まで温度を上げて十分定常時間をおいた後、系が熱平衡状態に到達したことを確認した上で、その時の試料温度および圧力を測定する。この操作を所定の温度間隔で繰り返し、 $\rho = \rho_0$ の等容線に沿って一連の測定を終了した後、試料が一相域になる温度において試料を予め高真空排気をした膨張容器系へと膨張させる。そして膨張容器系へ膨張することによって新しく得られた密度 $\rho = \rho_1$ の等容線に沿って、同様に測定を行っていく。測定の際には、試料が二相域の領域において定められた温度における飽和蒸気圧の測定を行うことで、膨張操作等による不純物の混入がないことと装置

の再現性との確認を行った。

このように、本研究では等容法と等温場膨張法とを組み合わせた方法により飽和蒸気圧および PVT 性質の測定を行っており、この方法は一回の試料充填で異なった数本の等容線が得られるため、短時間で多くの実測値を得ることができる。しかしながら、膨張操作を繰り返すことにより試料の密度算出誤差が大きくなるので、本研究では膨張回数を3回までに制限した。

本研究で用いた測定装置の概要を図2に示した。恒温槽内の実験装置は主として、試料容器A(内容積約 301 cm^3) および 高圧弁1、2、ダイヤフラム式差圧計Cまでの試料容器系、膨張容器B(内容積約 55 cm^3) を含み高圧弁2および高圧弁3までの膨張容器系から成り立っている。試料容器A、膨張容器Bおよびダイヤフラム式差圧計Cは、長時間一定温度に保つことができるように恒温槽G内に設置されている。試料にヘッド差を持たせないように、試料容器、膨張容器およびダイヤフラム式差圧計を同一水平面上に設置した。また、膨張操作時に試料容器と膨張容器の内部で密度分布の不均一が生じないように、2つの容器は揺動台の上に設置されている。真空排気には容器内の汚染の心配のないターボ真空ポンプH、恒温槽内での伝熱媒体としては室温から 340 K までの範囲で使用可能なシリコンオイルを使用している。

本研究では、R 115の試料を正確に目標密度に充填するために、供給容器を用いて試料の充填を行った。すなわち、試料はポンプから供給容器に一度充填され、そこで予め計算された目標質量に調整され、精密級化学天秤によって $\pm 2 \text{ mg}$ まで正確にひょう量された後試料容器内に充填される。試料が充填された試料容器は恒温槽内に設置され、ダイヤフラム式差圧計の下部まで試料を膨張させた後、初期密度の等容線に沿ってある温度間隔で温度および圧力の測定を行う。試料の温度は、直接測定することが困難なため試料容器近傍に設置され IPTS-68 に準拠して検定された白金抵抗測温体Fにより、伝熱媒体の温度を測定して試料の温度とした。また、圧力はダイヤフラム式差圧計Cを介し、窒素ガスを圧力伝達媒体として 4 MPa 以下では空気式重錘型圧力計Oを、それ以上の圧力範囲においては油式重錘型圧力計Nを用いて測定を行った。

4. 測定結果

本研究において飽和蒸気圧および PVT 性質の測定を行った範囲は、温度 $296 \sim 443 \text{ K}$ 、圧力 $0.3 \sim 9.6 \text{ MPa}$ 、密度については $235 \sim 1176 \text{ kg/m}^3$ の範囲

A: Sample cell; B: Expansion cell; C: Differential pressure detector; D: Heater; E: Stirrer; F: Platinum resistance thermometer; G: Thermostated bath; H: Vacuum pump; I: Bourdon tube differential pressure gage; J: Nitrogen cylinder; K: Electronic device for detecting differential pressure; L: Nitrogen gas damper; M: Oil-gas separator; N: Oil-operated dead weight pressure gage; O: Air-piston gage; 1--11: Valves

図2 測定装置の概要

であり、その結果、11本の等容線に沿って飽和蒸気圧6.8点およびPVT性質9.4点の実測値を得ることができた。得られた実測値を表1に示し、その分布を圧力-温度線図上に表したものを図1に示した。表1において*印を付したデータは、試料容器内において気液両相が共存している状態を示し、その圧力値は飽和蒸気圧を示しており、その密度の値は試料容器内の試料の質量を試料容器の内容積で除して求めた値である。

測定誤差は温度 $\pm 8 \text{ mK}$ 以内、密度 $\pm 0.1 \%$ 以内であり、圧力については 4 MPa 以下で $\pm 1.1 \text{ kPa}$ 以内、 $4 \sim 10 \text{ MPa}$ 以下で $\pm 2.7 \text{ kPa}$ 以内である。なお、本研究で冷媒 R 115として測定に使用した試料 $\text{CClF}_2 \cdot \text{CF}_3$ の純度はガスクロマトグラフによる成分分析の結果 $99.999 \text{ wt\%}$ であり、不純物としては水分、酸分等がそれぞれ数 ppm 含まれている。

5. 検討

本研究で用いた実験装置は元来、PVT 性質の測定を主眼としたものであるが、圧力-温度線図上における等容線の屈折点を求めることによって、そのときの温度・圧力に対する飽和液体密度または飽和蒸気密度を決定することができる。すなわち、等容線が高圧側に屈折する点を飽和液体密度点、低圧側に屈折する点を飽和蒸気密度点として決定するのである。同様に、温度-圧力線図上において等容線が屈折点を持たない点として、臨界点を決定することができる。しかし、

表 1 R 115 の P V T 性質および飽和蒸気圧の実測値

ρ (kg/m ³)	T (K)	P (MPa)	ρ (kg/m ³)	T (K)	P (MPa)	ρ (kg/m ³)	T (K)	P (MPa)
* 236.2	313.104	1.3166	574.0	383.116	5.0052	* 828.1	346.128	2.7132
* 236.0	333.095	2.0699	573.7	393.168	5.6395	* 828.0	349.123	2.8850
235.9	343.140	2.4407	573.3	403.433	6.2902	827.9	350.120	2.9513
235.8	353.147	2.6502	573.1	413.126	6.9026	827.9	351.140	3.0563
235.7	363.209	2.8529	572.8	423.189	7.5377	827.8	352.096	3.1584
235.5	373.157	3.0489	572.4	433.127	8.1653	827.8	353.148	3.2682
235.4	383.138	3.2401	572.1	443.191	8.8011	827.6	358.150	3.8145
235.3	393.250	3.4318	* 575.9	315.121	1.3809	827.3	363.498	4.4060
235.2	403.728	3.6275	* 575.6	323.140	1.6569	826.9	373.156	5.5205
235.1	413.164	3.8013	* 575.4	331.126	1.9779	826.5	383.143	6.7011
235.0	423.175	3.9831	* 575.3	335.147	2.1632	826.0	393.178	7.9055
234.8	433.173	4.1553	* 575.1	342.150	2.5019	825.5	403.143	9.1099
234.7	442.991	4.3289	* 575.0	348.126	2.8253	* 923.7	326.054	1.7755
* 361.9	303.129	1.0292	574.9	349.148	2.8802	922.4	353.146	3.7833
* 361.7	313.093	1.3122	574.9	350.144	2.9399	921.9	363.100	5.2258
* 361.5	323.090	1.6565	574.9	351.146	3.0019	* 1042.2	305.087	1.0768
* 361.3	333.157	2.0673	574.8	352.150	3.0616	* 1041.6	316.649	1.4277
* 361.2	343.169	2.5511	* 575.5	312.139	1.2811	* 1041.2	324.125	1.6953
361.0	353.126	3.0409	* 575.3	320.157	1.5487	* 1041.0	329.142	1.8947
360.8	363.138	3.4002	* 575.0	330.135	1.9362	* 1040.8	333.139	2.0700
360.5	383.100	4.0841	* 574.8	339.159	2.3479	1040.6	336.084	2.3354
360.1	402.889	4.7300	* 574.7	343.152	2.5494	* 1040.7	334.141	2.1148
359.7	423.121	5.3854	574.1	363.158	3.7630	* 1040.7	335.107	2.1593
359.4	442.859	6.0155	573.8	373.124	4.3729	1040.6	337.150	2.5427
* 361.1	345.169	2.6633	* 574.4	351.104	3.0062	1040.5	338.137	2.7383
* 361.1	347.147	2.7716	* 574.4	352.160	3.0703	1040.2	343.227	3.7454
361.1	348.112	2.8202	* 574.4	352.720	3.1051	1039.9	348.148	4.7298
361.1	349.126	2.8794	* 574.4	352.944	3.1183	1039.6	353.168	5.7531
361.0	350.122	2.9245	574.4	353.148	3.1316	1039.3	358.578	6.8665
361.0	351.125	2.9627	573.5	383.165	5.0075	1039.0	363.140	7.8142
360.6	373.129	3.7473	573.2	393.163	5.6394	1038.7	368.236	8.8749
360.3	393.152	4.4090	572.9	403.179	6.2746	* 1176.4	298.588	0.9162
* 454.3	313.100	1.3103	572.6	413.121	6.9022	* 1176.2	303.119	1.0253
* 454.1	323.136	1.6591	572.3	423.203	7.5387	* 1175.6	313.145	1.3150
* 453.9	333.336	2.0763	572.0	433.157	8.1658	1175.0	323.094	3.0439
* 453.6	343.995	2.5958	571.7	443.169	8.7938	* 1175.4	317.798	1.4563
453.4	353.113	3.1159	* 735.3	327.114	1.8224	1175.3	318.134	1.6074
453.2	363.192	3.5989	* 735.2	332.163	2.0330	1175.3	319.128	1.8928
453.0	373.134	4.0628	* 735.0	337.157	2.2503	1175.2	320.122	2.1774
* 453.6	348.121	2.8242	* 734.6	346.170	2.7181	1174.8	325.158	3.6513
* 453.5	350.109	2.9407	* 734.5	349.137	2.8860	1174.6	328.149	4.5171
453.5	351.806	3.0398	* 734.5	350.196	2.9445	1174.5	330.148	5.1109
453.4	352.930	3.1036	* 734.5	351.188	3.0088	1174.3	333.173	6.0083
452.8	382.952	4.5007	* 734.4	352.123	3.0677	1173.9	338.506	7.5904
* 576.0	310.501	1.2362	734.4	353.128	3.1457	1173.5	343.328	9.0294
* 575.7	323.151	1.6615	734.0	363.150	4.0097	* 1170.4	298.961	0.9282
* 575.6	325.179	1.7342	733.6	373.132	4.9058	* 1169.6	313.127	1.3142
* 575.3	336.985	2.2416	733.2	383.364	5.8567	1169.4	317.250	1.4577
* 575.1	344.304	2.6114	732.8	393.123	6.7764	1169.3	318.225	1.4829
574.8	353.147	3.1266	732.5	403.182	7.7324			
574.5	363.160	3.7591	732.1	413.157	8.6865			
574.3	373.135	4.3745	731.7	422.968	9.6285			
* 575.0	348.142	2.8289	* 829.8	303.067	1.0277	注: *印は試料容器内において気液両相が共存している状態を示し、その圧力値は飽和蒸気圧を示しており、その密度の値は試料容器内の試料の質量を試料容器の内容積で除して求めた値である。		
* 574.9	350.171	2.9468	* 829.4	313.110	1.3161			
* 574.9	351.142	3.0033	* 829.0	323.220	1.6604			
* 574.8	352.698	3.1022	* 828.6	333.179	2.0700			
574.8	354.144	3.1937	* 828.2	343.123	2.5538			

圧力-温度線図上における臨界点(臨界密度)付近の等容線群については、その屈折点を判断することは実際上困難なため、メニスカスの消滅を観察する方法で加幅らが決定した値⁽¹¹⁾を用いて臨界密度および臨界温度を決定した。

すなわち、臨界密度: $\rho_c = 604 \pm 3 \text{ kg/m}^3$ 、
臨界温度: $T_c = 352.945 \pm 0.010 \text{ K}$ であり、
臨界圧力については本研究の飽和蒸気圧実測値に基づいて、臨界圧力: $P_c = 3.120 \pm 0.005 \text{ MPa}$ と決定した。

本研究では、本研究において得られた飽和蒸気圧の実測値68点と、本研究と重複する温度範囲においてその飽和蒸気圧が本研究のものとよく一致している、Matthias らの実測値12点の計80点を基礎データとして、飽和蒸気圧相関式の作成を行った。作成した飽和蒸気圧相関式は次式であり、上述の臨界定数を用いて $\tau (=1-T/T_c)$ を変数として最小二乗法により相関を行った。

$$\ln(P/P_c) = (-7.14372\tau + 4.63333\tau^{1.9} - 6.29645\tau^{2.4}) * T_c/T \quad (1)$$

式(1)の成立範囲は、Matthias らの実測値が存在する 227.5 K から臨界温度である 352.945 K までであり、式(1)は基礎データのほとんどを圧力偏差 $\pm 0.4\%$ 以内で再現する。

本研究の実測値および Mears ら、Matthias らの実測値と式(1)との圧力偏差を示したものが図3である。図中の破線は、Mears らの作成した飽和蒸気圧相関式の計算値と式(1)との圧力偏差を示し、一点鎖線はMatthias らの作成した飽和蒸気圧相関式との圧力偏差を示している。図3から明らかなように、本研究で作成した相関式に対して Mears らの実測値および飽和蒸気圧相関式は約 1.0% 前後高い値を示している。Mears らの飽和蒸気圧の実測値およびその相関式が著者らの実測値よりやや高い値を示すという傾向は、著者らが測定を行ったフロン系冷媒 R 152a の飽和蒸気圧の実測値⁽⁵⁾に関しても同様に見受けられた。一方、Matthias らの実測値および飽和蒸気圧相関式は、本研究で作成した飽和蒸気圧相関式および実測値と $\pm 0.5\%$ 以内でよい一致を示していることがわかる。

次に、本研究によって得られたPVT実測値と従来報告されているMatthias らによる拡張BWR型状態式との比較を行った。ここでMatthias らによる状態式を比較の対象に選んだ理由は、飽和蒸気圧に関して本研究で得られた実測値とよい一致を示しているからである。図4は、圧力-密度線図上においてMatthias らの状態式から計算した等温線と、本研究によって得

図3 飽和蒸気圧実測値および従来報告されている相関式の式(1)からの圧力偏差

図4 本研究によるPVT性質の実測値とMatthias らの状態式との比較

られたPVT実測値とを比較したものである。図4において、破線は本研究と加幅らの研究成果によって決定した気液共存曲線を示し、等温線は20 Kごとに実線で示してある。また ρ_c は臨界密度を、それぞれのプロットは各等温線に対応する本研究によって得られたPVT性質の実測値を示している。また、図5は本研究、Mears ら、Matthias らのPVT実測値のMatthias らの状態式からの圧力偏差を示したものである。図5において、○印はMatthias らの実測値を、△印はMears らの実測値を、×印は本研究による実測値をそ

れぞれ示しており、また、基準線が破線の部分は Matthias らの測定領域外、すなわち Matthias らの状態式の成立範囲外であることを示している。

図 4 から明らかなように、飽和蒸気圧に関して本研究で得られた実測値とよい一致を示している Matthias らの状態式は、等温線群そのものは比較的よい挙動で再現していることがわかる。しかしながら、本研究で得られた PVT 実測値と等温線に沿って比較してみると、低密度域においては比較的良好一致しているものの、Matthias らの状態式の成立範囲外である高密度域では、状態式の方が実測値よりかなり高い圧力を示している。一方、状態式を作成する際の基礎データの存在している領域については、図 5 から明かなように本研究、Mears らおよび Matthias らの PVT 実測値を圧力偏差 $\pm 4\%$ 以内で再現していることがわかる。しかしながら、図 5 を用いて PVT 実測値同士を比較してみると、Mears らの PVT 実測値に関しては図 3 の飽和蒸気圧の実測値と同様に、本研究や Matthias らの PVT 実測値よりも系統的に 2~4% 程度高い圧力の値を示していることがわかる。ここでは、Matthias らの状態式について検討を行ってきたが、Mears らおよび Morsy の状態式についても、高密度域において本研究で得られた PVT 実測値との圧力偏差が大きくなるという傾向は同様に見受けられた。例えば、ASHRAE の熱物性値表⁽¹²⁾に R 115 の状態式として掲載されている Mears らの MH 型状態式は、密度約 1040 kg/m^3 において本実測値と約 30% の圧力偏差をもち、Morsy らの状態式についても同じ密度において本実測値と 20% 程度の圧力偏差を示している。

このように、Matthias らの状態式をはじめとする従来報告されている R 115 の状態式は、臨界密度以下の低密度域では有効と考えられるが、高密度域においては信頼性に疑問がある。したがって今後は、本研究によって新たに実測値の得られた臨界密度以上の高密度域においても、十分信頼性の高い計算結果を得ることができる状態式の作成が必要である。

最後に、試料を提供して頂きその組成分析をお願いした旭硝子株式会社、白金抵抗測温体の検定をして頂いた通産省工業技術院計量研究所、そして熱伝達媒体として使用したシリコンオイルを提供して頂いた信越化学工業株式会社に深く感謝いたします。また、実験の実施に当たり協力頂いた陰建民氏（本大学大学院研究生）、田沢英昭氏（本大学学生）および浜本広行氏（本大学学生）に深く感謝いたします。

図 5 PVT 性質の実測値の Matthias らの状態式からの圧力偏差

文 献

- (1) 高石吉登ほか 2 名、機論、47-422, B, (1981) p.2050.
- (2) Takaishi, Y. et al., Proc. 8th Symp. Thermophysical Properties, ASME, (1982), Vol. II, p.387.
- (3) Hasegawa, N. et al., J. Chem. Eng. Data, Vol.30, No.1 (1985), p.32.
- (4) Hosotani, S. et al., J. Chem. Eng. data, Vol.33, No.1, in press (1988).
- (5) 矢田直之ほか 2 名、冷論、5-1, (1988), p.107.
- (6) 渡部康一ほか 4 名、日本機械学会創立 90 周年記念事業第 25 回シンポジウム“動力・エネルギー技術の最前線”講演論文集、(1987), p.36.
- (7) Aston, J. G., et al., J. Amer. Chem. Soc. 77, (1955), p.3939.
- (8) Mears, H. et al., J. Chem. Eng. Data, Vol.11, No.3 (1966), p.338.
- (9) Matthias, H. and Löffler, H. J.: “Thermodynamische Eigenschaften von Pentafluoromono-chloräthan(R115)” Lehrstuhl und Institut für Thermodynamik und Kältetechnik, Technische Universität Berlin (1966).
- (10) Morsy, E. T., J. Chem. Eng. Data, vol.15, No.2 (1970), p.256.
- (11) 加幡安雄ほか 3 名、機論、投稿中。
- (12) ASHRAE, Thermodynamic Properties of Refrigerants, (1986), p.31.

討 論

〔質問〕 長谷川 修〔九州大学工学部〕

(1) 実験範囲を等容線で示されたが、2 箇所ほどの等容線で、圧力・温度の高い所が示されていない部分があったが、この点についてご説明いただきたい。

(2) 状態式を示されているが、これから計算によって求めた pseud critical point はどうであっただろうか。

〔回答〕 (1) 論文中的図 1 に示した測定結果の中で、ご指摘のとおり $\rho \approx 975 \text{ kg/m}^3$ と $\rho \approx 480 \text{ kg/m}^3$ の 2 本の等容線については、表 1 に示したようにそれぞれ、363 K, 5.2 MPa および 383 K, 4.5 MPa までの点で測定を終了している。これらの等容線についても当初は、他の等容線と同様に 443 K もしくは 10 MPa まで測定を実施する予定であったが、前述の測

定点の測定が終了し、次の測定点へと移行する中途においてトラブルが生じたため、その時点でそれらの等容線に関する測定を中止した次第である。

(2) 著者らが、本研究で測定した PVT 実測値をも含めた実測値を基礎データとして作成した状態方程式は、文献(付1)に掲載されている。ご質問のこの状態方程式によって求められる臨界条件を満足する臨界定数の値は、臨界温度が 352.79 K, 臨界密度が 604.8 kg/m³, 臨界圧力が 3.115 MPa となり、本論文中 5 章で述べた臨界定数の値とそれぞれ 0.1 % 以内で一致することを確認している。

(付1) 陰・ほか2名, 日本冷凍協会論文集, 5-3(1988), 87.