

# R 13B1 (CBrF<sub>3</sub>) の PVT 関係に関する 評価および検討

小 口 幸 成 ・ 高 石 吉 登  
貴 島 準 一 ・ 谷 下 市 松

Evaluation and Discussion of PVT Relationship  
for R 13B1 (CBrF<sub>3</sub>)

Kosei OGUCHI, Yoshinori TAKAISHI, Jun-ichi KIJIMA  
and Ichimatsu TANISHITA

## Abstract

Although Bromotrifluoromethane R 13B1 (CBrF<sub>3</sub>) is recently expected to be used for a new low temperature refrigerant, the thermodynamic properties of this substance are not wellknown. Therefore, with respect to PVT relationship, vapor pressure, saturated liquid density and critical constants, the available experimental data and their correlations of this substance are compiled, compared, evaluated and examined critically in the present paper.

## 1. ま え が き

フロン系冷媒が冷凍・空調工業界で使用されるようになったのは、1930年にR 12 (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)が開発されて以来のことである。それまで使用されていた二酸化いおう(亜硫酸ガス)、アンモニアなどは毒性が強く、またプロパンなど炭化水素は引火性が強いのに比べ、フロン系冷媒は低い毒性、不燃性、化学的安定性などの性質を有する物質である。したがって、家庭用、食品用、医薬用など多分野にわたって利用でき、今日の冷凍・空調工業界の繁栄をもたらした一大要因と考えることができる。

しかし、1974年にMolinaら<sup>1)</sup>が大気中に放出されたフロン系冷媒が成層圏のオゾン層を破壊するという論文を発表し、今後大気への放出が続けばオゾン層の破壊が進み紫外線が強くなり皮膚癌発生の原因になるかもしれないという警告が発せられるようになり、国際的に政治的問題として発展し、一部の国ではフロンを噴射剤として使用するエアゾールを禁止するように

なった。<sup>2)</sup>

現在、こうしたオゾン問題で論じられているのは主としてR 11 (CCl<sub>3</sub>F)およびR 12 (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)である。これらは、エアゾール、冷媒、プラスチックフォームなどの工業にきわめて多量に使用されている。これらのフロンが対象となる理由は多量に使われているというばかりでなく、オゾン問題の本質は塩素 (Cl<sub>2</sub>) を多く含み、かつ化学的に安定なため大気中で分解されことなく成層圏にまで拡散してしまう点にある。したがって、塩素を含まないフロン類で、R 12の代替品を見出すことが要望され検討されている。

R12は毒性の強いアンモニアの代替品として提案された物質である。アンモニアの沸点は-33.34℃であり、沸点における蒸発潜熱は1368.7 kJ/kgと大きく冷凍用として最もすぐれた物質である。これに対してR 12の沸点は-29.79℃であり、沸点における蒸発潜熱は166.0 kJ/kgでアンモニアの蒸発潜熱の約12%にすぎない。しかし安全性の面からR 12が使用されるようになり、現在ではR 22 (CHClF<sub>2</sub>)の方が多く使用されている。

沸点と蒸発潜熱の値を代表的な低温用冷媒について

Table 1 Boiling Point and Latent Heat of Refrigerants

Refrigerant	Chemical Formula	Boiling Point °C	Latent Heat at 101.325 kPa kJ/kg
ammonia	NH <sub>3</sub>	-33.34	1368.7
R 12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	-29.79	166.0
R 13	CClF <sub>3</sub>	-81.45	149.6
R 13 B 1	CBrF <sub>3</sub>	-57.82	118.0
R 22	CHClF <sub>2</sub>	-40.82	233.3
R 23	CHF <sub>3</sub>	-82.04	238.7
R 500*	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	-33.50	201.0
R 502*	CHClF <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub>	-45.42	172.4
R 503*	CHF <sub>3</sub> /CClF <sub>3</sub>	-87.86	179.3
R 504*	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub>	-57.23	236.2

Note \*: azeotropic mixture

示すと Table 1 のとおりである。同 Table の冷媒中塩素を含まない物質は、アンモニア、R 13B1 および R 23 である。R 23 は沸点が低く極低温用として使用される冷媒であり、中低温用としては R 13B1 が期待されている。しかし Table 1 から明らかなように常圧下における蒸発潜熱が他の冷媒に比して小さく、ほぼ同じ沸点を持つ R 504 の蒸発潜熱の半分にすぎない。したがって、R 13B1 を冷凍用として使用する際には、動作係数、伝熱特性、冷凍サイクルを十分に検討し、動作係数の向上、運転効率の向上をはからなければならない。

以上の観点から、本研究では R 13B1 の熱力学的性質の研究状況を調査し、実測値および各種相関式の評価、検討を行った。

## 記号および単位

 $c_v$ : 定容比熱 J/(kg·K) $c_v^0$ : 理想気体状態における定容比熱 J/(kg·K) $P$ : 圧力 MPa $T$ : 温度 K $t$ : セルシウス度 =  $T - 273.15$  °C $v$ : 比容積 m<sup>3</sup>/kg $\rho$ : 密度 kg/m<sup>3</sup>

## 2. PVT 関係の実測値および状態式に関する評価および検討

PVT 関係に関する実験的研究は Table 2 に示した 3 例と学内報としてまとめられた Martin ら<sup>6)</sup> によるものがある。後者については入手していない。Table 2 のデータ所在を Fig. 1 ( $P$ - $T$  線図) および Fig. 2 ( $T$ - $\rho$  線図) に図示した。du Pont 社<sup>3)</sup> および Perel'shtein ら<sup>4)</sup> の実測値は蒸気域に分布し、鈴木<sup>5)</sup> の

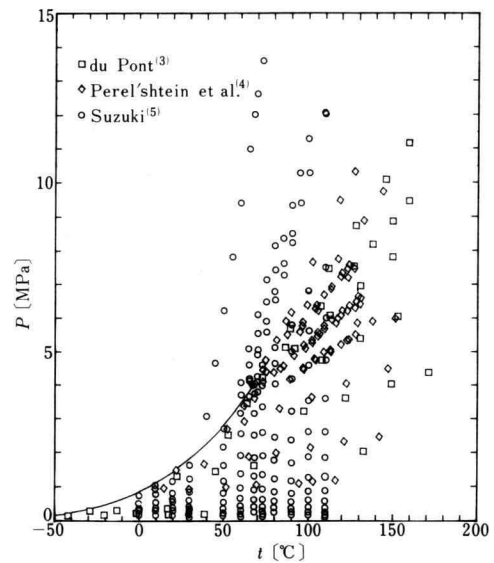


Fig. 1 Experimental Data of PVT Relationship for R 13B1

Table 2 Experimental Investigation of PVT Relationship for R 13 B 1

Investigator	Year	Temperature		Pressure		Specific Volume		Purity of Sample %	No. of Data	Ref.
		Range	Accuracy	Range	Accuracy	Range	Accuracy			
		°C		MPa		m³/kg				
du Pont Perel'shtein et al.	1957	−42~171	—	0.14~11.18	—	0.0014~0.086	—	—	42	3
	1971	10~147	0.01	0.82~10.37	0.1 %	0.0010~0.016	0.14%	99.99	109	4
Suzuki	1980	0~110	0.01	0.12~13.58	0.02%	0.0007~0.178	0.15%	99.97	173	5

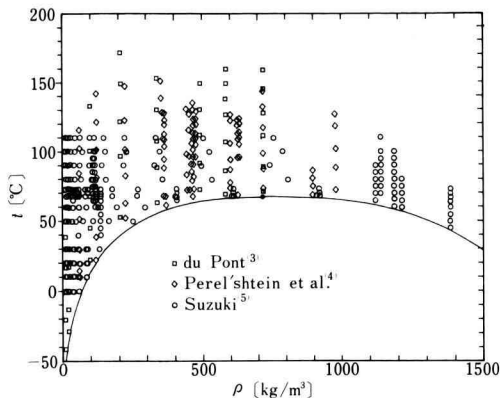


Fig. 2 Experimental Data of PVT Relationship for R 13B1

実測値は液体域および蒸気域に分布している。PVT 関係の実測値は温度 $-42\sim 171^{\circ}\text{C}$ 、圧力 13.58 MPa まで、比容積  $0.0007\sim 0.178\text{ m}^3/\text{kg}$  の領域で得られている。

PVT 関係を表示した状態式は 4 例報告されている。du Pont 社<sup>3)</sup> による状態式は du Pont 社で測定した実測値 42 点に基づいて作成され、有効範囲は温度  $171^{\circ}\text{C}$  以下、圧力 11.2 MPa まで、比容積  $0.0014\text{ m}^3/\text{kg}$  以上である。Rombusch<sup>7)</sup> による状態式は du Pont 社<sup>3)</sup> で測定した実測値 42 点に基づいて作成され、圧力の平均偏差 0.5% で相関している。したがって有効範囲は du Pont 社<sup>3)</sup> による状態式と同様である。Perel'shtein ら<sup>8)</sup> による状態式は、Perel'shtein ら<sup>4)</sup> の実測値 109 点に基づいて作成され、有効範囲は温度 $-120\sim 250^{\circ}\text{C}$ 、圧力 25 MPa まで、比容積  $0.001\text{ m}^3/\text{kg}$  以上であり実測値の範囲より広がっている。鈴木<sup>5)</sup> による状態式は、鈴木<sup>5)</sup> の実測値 173 点の中から 142 点を抽出して作成され、有効範囲は温度  $110^{\circ}\text{C}$  以下、圧力 14 MPa まで、比容積  $0.00072\text{ m}^3/\text{kg}$  以上である。

上述の PVT 関係の実測値および状態式を比較検討するために、最も比容積範囲の広い鈴木<sup>5)</sup> による状態式を基準とし、圧力偏差によって各値、各式間の関係を求めた。Fig. 3 に、 $0^{\circ}\text{C}$  以下、 $0^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ 、 $68^{\circ}\text{C}$  (臨界等温線近傍)、 $73^{\circ}\text{C}$ 、 $90^{\circ}\text{C}$ 、 $110^{\circ}\text{C}$  の各等温線またはその近傍の温度に沿って、基準式からの圧力偏差を示した。Fig. 3 の横軸は密度であり、比容積の逆数である。Fig. 3(a) では圧力偏差が 0.5%  $\sim$  1.5% と大きくなっているが蒸気域であり低圧力のためである。Fig. 3(b)~(k) では、du Pont 社<sup>3)</sup> による実

測値と鈴木<sup>5)</sup> の実測値は比較的良好な一致を示しているが、Perel'shtein ら<sup>4)</sup> の実測値は鈴木<sup>5)</sup> の実測値より約 1% 以上低い圧力を示している。また鈴木<sup>5)</sup> の実測値はパーネット法によって測定されたが、比較的ばらつきがある。du Pont 社<sup>3)</sup> による状態式と Rombusch<sup>7)</sup> による状態式は同じ実測値に基づいて作成されているため、状態式相互間の一致は比較的良好なはずであるが、Fig. 3(b)~(e) では約 0.5% 以上の圧力偏差が存在する。Perel'shtein ら<sup>8)</sup> による状態式は、Perel'shtein ら<sup>4)</sup> の実測値より約 0.5% ほど高い圧力偏差を示している。これは Perel'shtein ら<sup>4)</sup> の実測値の存在範囲より状態式の有効範囲を広げたために生じたとも考えられるが、状態式の係数に誤植がないか検討の必要がある。

以上の検討で明らかな事は、従来報告されている実測値に傾向の異なった 2 グループが存在することであり、どちらが正しい値かを判断することは不可能であろう。今後の実験的研究によって明らかにする必要がある。よって、現状では 1~2% 程度の圧力偏差で、実測値および状態式を入手できるが、PVT 関係の実測値および状態式としては極めて大きな偏差であり、これらの状態式から誘導される熱力学的性質の信頼性はきわめて低いものと推測できる。

### 3. 飽和蒸気圧の実測値および相関式に関する評価および検討

飽和蒸気圧に関する実験的研究は Table 3 に示した 5 例と Martin ら<sup>6)</sup> および Jaeger<sup>9)</sup> によるものがある。Martin ら<sup>6)</sup> は温度 $-108\sim 66^{\circ}\text{C}$  の範囲で 14 点を測定し、Jaeger<sup>9)</sup> は温度 $-28\sim 50^{\circ}\text{C}$  の範囲で 6 点を測定しているが、いずれも文献を入手していない。実測値の分布状況を Fig. 4 に図示した。

飽和蒸気圧の相関式は 4 例報告されている。du Pont 社<sup>3)</sup> による相関式は温度 $-70\sim 67^{\circ}\text{C}$  の範囲で、McDonald ら<sup>10)</sup> による相関式は温度 $-143\sim -57^{\circ}\text{C}$  の範囲で、Rombusch<sup>7)</sup> による相関式は温度 $-84\sim 67^{\circ}\text{C}$  の範囲で、Perel'shtein ら<sup>8)</sup> による相関式は温度 $-120\sim 66.9^{\circ}\text{C}$  の範囲でそれぞれ作成されている。

上述の飽和蒸気圧の実測値および相関式を比較検討するために、最も温度範囲の広い Perel'shtein ら<sup>8)</sup> による相関式を基準とし、飽和蒸気圧の圧力偏差によって各値、各式間の関係を求めた。Fig. 5 にその偏差を図示した。

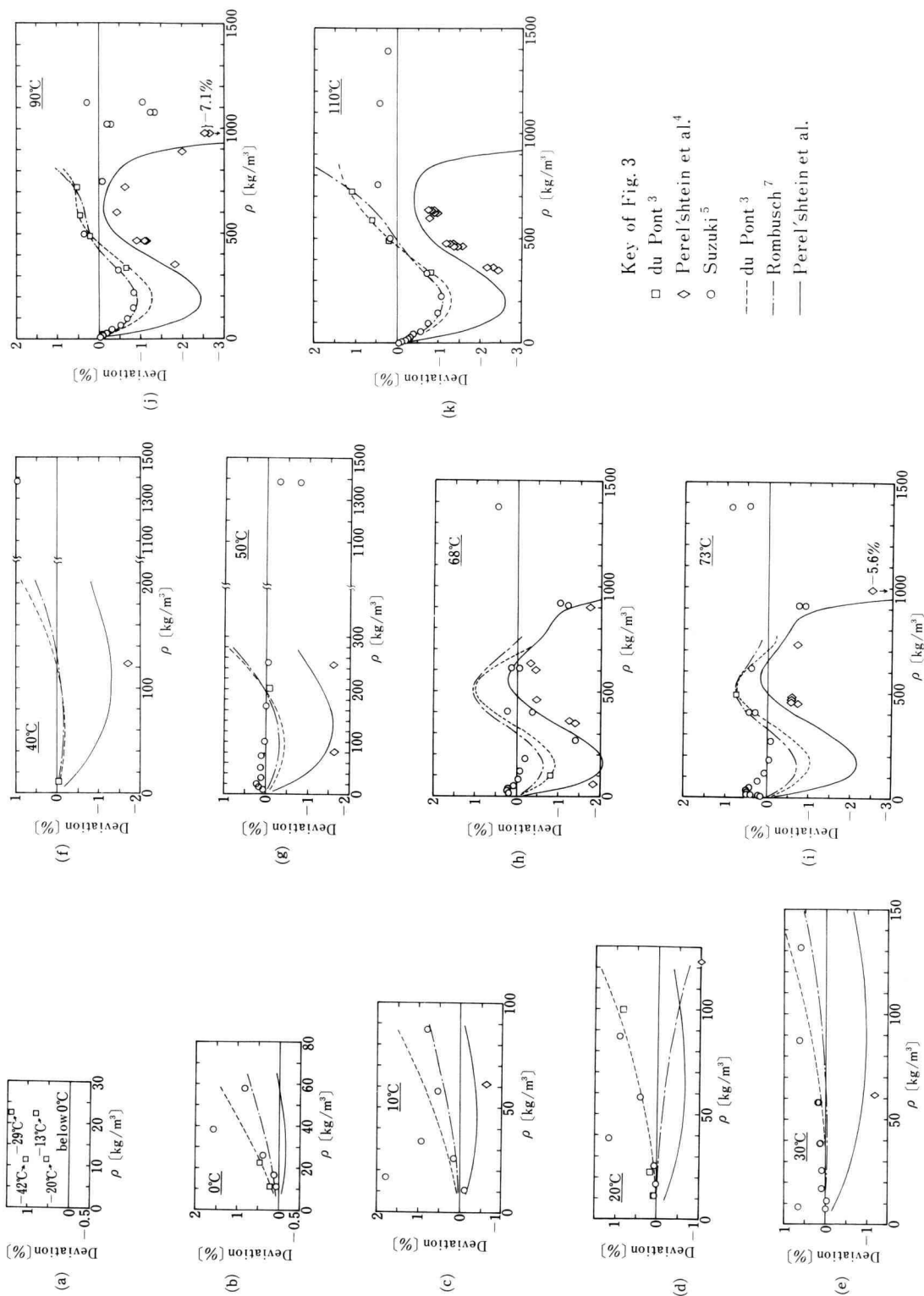
Fig. 3 Deviation Plot of Pressure from Suzuki's Equation<sup>(6)</sup> for PVT Relationship of R 13B1

Table 3 Experimental Investigation of Vapor Pressure for R 13 B 1

Investigator	Year	Temperature		Pressure		No. of Data	Purity of Sample %	Ref.
		Range	Accuracy	Range	Accuracy			
		°C		MPa				
du Pont	1957	−70~67	—	0.054~3.96	—	19	—	3
McDonald et al.	1959	−59~−57	—	0.097~0.1	—	3	—	10
Elchardus et al.	1964	−80~20	—	0.03 ~1.48	—	6	—	11
Perel'shtein et al.	1971	−113~66.9	0.01	0.002~3.95	0.1 %	25	99.99	4
Suzuki	1980	5~65	0.01	0.97 ~3.81	0.02%	23	99.97	5, 12

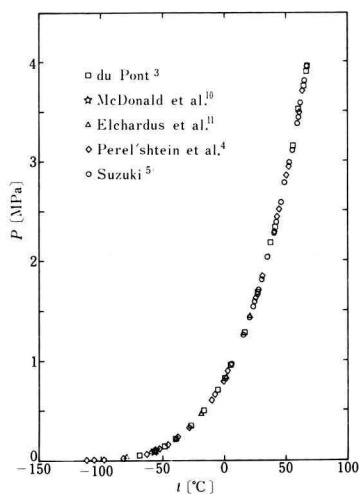


Fig. 4 Experimental Data of Vapor Pressure for R13B1

実測値に関しては、Perel'shtein ら<sup>4)</sup>の実測値と鈴木<sup>5)</sup>の実測値は良い一致を示しているが、du Pont 社<sup>3)</sup>の実測値と鈴木<sup>5)</sup>の実測値とは約 0.5 % 異なっている。この傾向は PVT 関係の比較結果と相反する結果である。McDonald ら<sup>10)</sup>の実測値は Perel'shtein ら<sup>4)</sup>の実測値と 0.2 % 以内で一致している。よって実測値については、du Pont 社<sup>3)</sup>の実測値の示す傾向より、

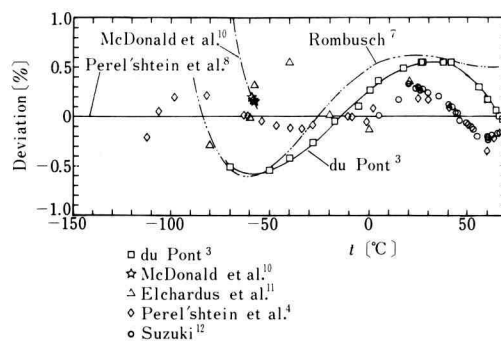


Fig. 5 Deviation Plot of Vapor Pressure for R13B1

Perel'shtein ら<sup>4)</sup>、McDonald ら<sup>10)</sup>、鈴木<sup>5),12)</sup>の実測値の示す傾向の方が信頼性が高いと考えられる。相関式の比較結果も Fig. 5 に示されているが、これらの実測値を精度よく相関している式は存在していない。

#### 4. 飽和液体密度の実測値および相関式に関する評価および検討

飽和液体密度に関する実験的研究は Table 4 に示した 3 例と Martin ら<sup>6)</sup>、Jaeger<sup>9)</sup> および Geller ら<sup>18)</sup> によるものがある。Martin ら<sup>6)</sup>は温度 -67~66°C の範囲で 10 点を、Jaeger<sup>9)</sup>は温度 -20~56°C の範囲で 8

Table 4 Experimental Investigation of Saturated Liquid Density for R13 B 1

Investigator	Year	Temperature		Density		No. of Data	Purity of Sample %	Ref.
		Range	Accuracy	Range	Accuracy			
		°C		kg/m <sup>3</sup>				
du Pont	1957	−100~67	—	740~2200	—	13	—	3
Tomanovskaya et al.	1970	−80~−10	—	1700~2100	—	8	—	13
Higashi et al.	1982	61.8~66.9	0.01	770~1110	0.2%	7	99.99	14

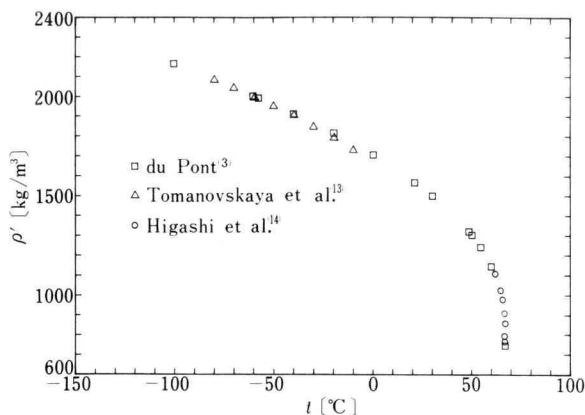


Fig. 6 Experimental Data of Saturated Liquid Density for R 13B1

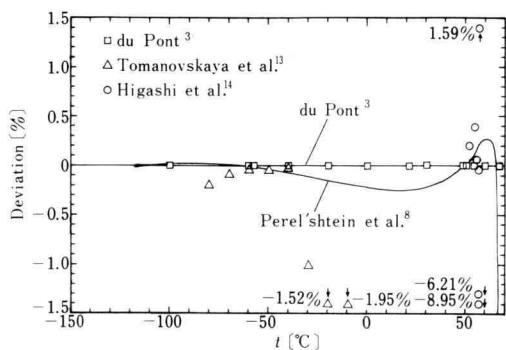


Fig. 7 Deviation Plot of Saturated Liquid Density for R 13B1

点を, Gellerら<sup>18)</sup>は温度 $-80 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の範囲で9点をそれぞれ測定しているが, いずれも文献を入手していない。実測値の分布を Fig. 6 に図示した。Tomanovskaya ら<sup>13)</sup>の引用データは出典が明かか

ではなく実測値であるかどうか不確かである。東ら<sup>14)</sup>の実測値は臨界点近傍の共存曲線測定の一環として得られたものである。

飽和液体密度の相関式は du Pont 社<sup>3)</sup>, Rombusch<sup>7)</sup>および Perel'shtein ら<sup>8)</sup>によって報告されている。du Pont 社<sup>3)</sup>による相関式は du Pont 社<sup>3)</sup>の実測値に基づいて作成され, 有効範囲は温度 $-100 \sim 67^{\circ}\text{C}$ である。Rombusch<sup>7)</sup>の報告している相関式は, du Pont 社<sup>3)</sup>による相関式をメートル単位系に単位換算しただけであるから本質的に du Pont 社<sup>3)</sup>による相関式と同一のものである。Perel'shtein ら<sup>8)</sup>による相関式は有効温度範囲 $-120 \sim 66.9^{\circ}\text{C}$ で作成されているが基礎データは不明である。

上述の飽和液体密度の実測値および相関式を比較検討するために, du Pont 社<sup>3)</sup>による相関式を基準とし, 飽和液体密度の同式からの偏差を Fig. 7 に図示した。東ら<sup>14)</sup>の実測値は臨界点近傍において測定されたも

Table 5 Selected Critical Constants for R 13 B 1

Investigator	Year	Critical Temperature $^{\circ}\text{C}$	Critical Pressure MPa	Critical Density $\text{kg}/\text{m}^3$	Ref.
Eiseman, Jr.	1952	66.9	4.344	779.7	15
Reed	1952	67.5	4.04	—	16
du Pont	1957	67.0	3.964	744.8	3
Eston Chemicals	—	67.44	4.05	—	17
Rombusch	1964	67.0	3.9846	744.8	7
Perel'shtein et al.	1972	66.9	3.9577	717.3	8
Higashi et al.	1982	$66.93 \pm 0.01$	$3.956 \pm 0.002$	$764 \pm 3$	14

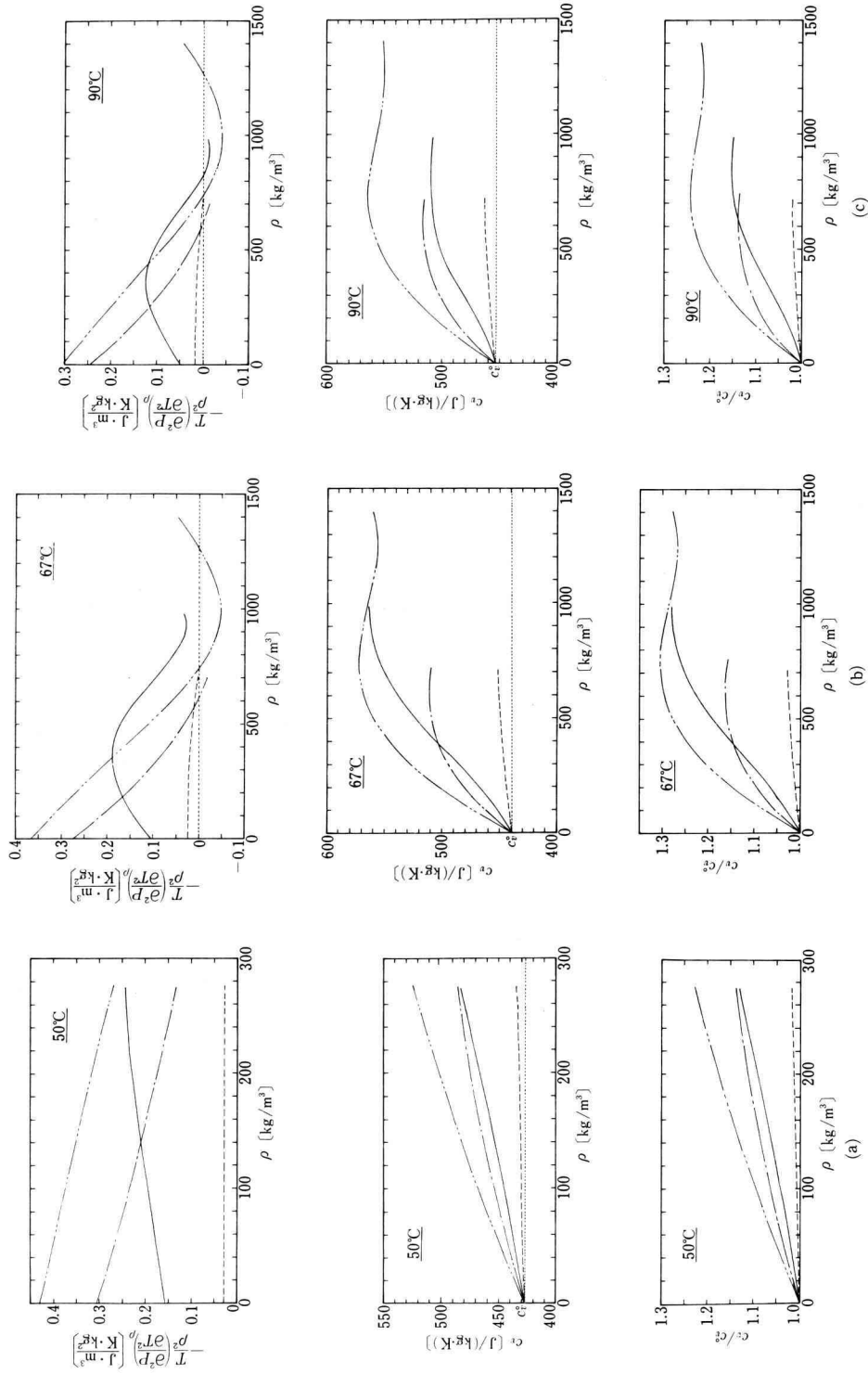


Fig. 8 Comparison of Derived Properties from Equations of State

のであり、偏差の基準とした相関式の臨界定数の選定値と東らの選定値が相違しているために大きな偏差となっている。

Fig. 7 からわかるように、実測値数が少ないため、データの信頼性、相関式の良否を判断することは困難である。未入手のデータを加える必要もあるが、実験精度の高い実測値が報告されていないため、今後の実験的研究によって明らかにする必要がある。

## 5. 臨界定数の評価および検討

公表されている臨界定数を Table 5 に示した。東ら<sup>14)</sup>は臨界温度をメニスカスの消滅を観察して決定し、臨界密度を臨界点のごく近傍と思われる実測密度値より推測によって決定し、臨界圧力を鈴木<sup>5)</sup>による飽和蒸気圧の相関式より計算して決定した。鈴木<sup>5)</sup>による飽和蒸気圧の相関式は鈴木<sup>5)</sup>の実測値を臨界点近傍では良く相関しているが、温度 20℃ 以下では実測値をあまり良く相関していないので Fig. 5 から除外してある。その他の研究者による決定方法は不明な部分が多いが、臨界圧力は一般に飽和蒸気圧の相関式を外挿して求め、臨界密度は直径線の法則によって求めることが多い。東ら<sup>14)</sup>の臨界温度を除いてはいずれも信頼性が低く、今後の実験的研究によって明らかにする必要がある。

## 6. 誘導状態量に関する検討

状態式から誘導される熱力学的状態量の中で、状態式の特徴が良く現われる性質として定容比熱がある。定容比熱は

$$\left(\frac{\partial c_v}{\partial v}\right)_T = T \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_v \dots\dots\dots (1)$$

または

$$\left(\frac{\partial c_v}{\partial \rho}\right)_T = -\frac{T}{\rho^2} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_\rho \dots\dots\dots (2)$$

すなわち、

$$c_v = c_v^0 + T \int_{\infty}^v \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_v dv \dots\dots\dots (3)$$

$$= c_v^0 - T \int_0^{\rho} \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_\rho d\rho \dots\dots\dots (4)$$

によって状態式から求められる。式 (1) は状態式  $P = P(v, T)$  を温度に関して二階微分を行うため、状態式の曲率に影響される量であるから状態式の特徴が現わ

れやすい。したがって、誘導状態量に関する検討として式 (2) および式 (2) の積分値である定容比熱、式 (4)、を前述の 4 状態式より求め、Fig. 8 に示した。

Fig. 8 は、(a) 50℃、(b) 67℃ (臨界温度近傍)、(c) 90℃ の各等温線に沿って、定容比熱への圧縮性の影響を示す式 (2)、状態式から誘導される定容比熱式 (4) および、現気体状態の定容比熱  $c_v^0$  に対する定容比熱の比について図示したものである。

式 (2) を示した図より、50℃ の蒸気域では単調な曲線になっているが密度に対する勾配が正のものも負のものも存在する。67℃、90℃ の各図においては 50℃ の場合と異なり状態式間の相違が大きくなっている。特に式 (2) がゼロになる状態では、式 (4) の定容比熱は最大値を示すから、状態式間の相違は大きい。

式 (4) は式 (2) を密度に関して積分した値であるから、式 (2) の図の  $\rho = 0 \text{ kg/m}^3$  からの面積が式 (4) に相当している。よって Fig. 8 の  $c_v$  の図から明らかにように、状態式間できわめて大きな差となる。これを  $c_v/c_v^0$  の図に示すと明らかにように、 $c_v^0$  の 10~30% におよぶ相違が状態式間に存在することになる。

## 7. あとがき

上述の評価および検討により次のような結果が得られた。

(1) PVT 関係の実測値は、du Pont 社<sup>3)</sup>と鈴木<sup>5)</sup>の実測値群と Perel'shtein ら<sup>4)</sup>の実測値群の 2 グループに分かれる。

(2) PVT 関係を相関している状態式も 4 例あるが、状態式間の相違は大きい。特に状態式からの誘導状態量である定容比熱およびその微係数の比較によれば、これらの状態式から誘導状態量を求めることは危険であることが明らかである。

(3) 飽和蒸気圧の実測値の比較では、du Pont 社<sup>3)</sup>の実測値群と Perel'shtein ら<sup>4)</sup>と鈴木<sup>5)</sup>の実測値群の 2 グループに分かれる。鈴木<sup>5)</sup>の実測値は PVT 関係の場合と異なったグループ分けとなり、いずれの実測値が正しいかを判断することをさらに困難にしている。

(4) 飽和液体密度、臨界定数に関しては信頼性の高い実測値が不足している。

(5) 熱力学的性質全般にわたって精度の高い実測値が必要であり、今後の実験的研究によって明らかにしていかなければならない。併せて、R 13B1 を使用する

際の冷凍サイクルに関する研究も行う必要がある。

## 文 献

- 1) Molina, M.J., and Rowland, F.S., *Nature*, Vol. 249 (1974), p. 810-812.
- 2) 鈴木, 冷凍, 58 巻, 666 号 (1983), p. 355-371.
- 3) E.I. du Pont de Nemours Co., "Properties of Freon-13B1", Report B-30.
- 4) Perel'shtein, I.I., and Aleshin, Yu. P., *Thermophysical Properties of Matters and Substances*, Vol. 4, ed. by Rabinovich, V.A., GSSSD, Moscow, (1971), p. 50-64.
- 5) 鈴木正美, 修士論文 (慶応義塾大学), (1980).
- 6) Martin, J.J., Welshans, L.M., Chou, C.H., and Gryka, G.E., "Data and Equations for Some Thermodynamic Properties of Freon-13B1 (CBrF<sub>3</sub>)", Engineering Research Institute, Report on Project M777, University of Michigan, (1953).
- 7) Rombusch, U.K., *Kältetechnik*, Vol. 16, No. 3 (1964), p. 69-76.
- 8) Perel'shtein, I.I., and Aleshin, Yu. P., *Kholod. Tekhn.*, No. 11 (1972), p. 23-27.
- 9) Jaeger, H.P., *die Kälte*, Vol. 7, (1973), p. 276-278.
- 10) McDonald, R.A., Shrader, S.A., and Stull, D. R., *J. Chem. Engng. Data*, Vol. 4, No. 4 (1959), p. 311-313.
- 11) Elchardus, E., and Maestre, M., *La revue generate du froid*, Vol. 55, No. 8 (1964), p. 949.
- 12) 鈴木正美, 上松公彦, 渡部康一, 機講論, No. 800-5 (1980).
- 13) Tomanovskaya, V.F., and Kolotova, B.E., "Freons-Properties and Applications", State Publishing House, Leningrad Branch Office, (1970). (Russian.)
- 14) 東 之弘, 上松公彦, 渡部康一, 機講論, No. 820-17, (1982).
- 15) Eiseman, Jr., B.J., *Refrig. Engng.*, Vol. 60, (1952), p. 496.
- 16) Reed, P., *Air. Cond. and Refrig. News*, Febr. (1952).
- 17) Eston Chemicals, Inc., "Kulene 131, a new low temperature refrigerant", Technical Report.
- 18) Geller, Z.I., and Porichanskii, E.G., *Thermophysical Properties of Matter and Substances*, Vol. 8, ed. by Rabinovich, V.A., GSSSD, Moscow, (1975), p. 67.