

**JAREF** vol. 5 ver. 1.0

# **HFOs & HCFOs**

**JSRAE Thermodynamic Tables**

---

Edited by

**Yohei KAYUKAWA**

National Metrology Institute of Japan

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

**Chieko KONDOU**

Graduate School of Engineering, Nagasaki University

**Naoya SAKODA**

Department of Mechanical Engineering, Kyushu University

**Keishi KARIYA**

Department of Mechanical Engineering, Saga University

**Sho FUKUDA**

Department of Mechanical Engineering, Kyushu Sangyo University



Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE)

**JSRAE Thermodynamic Tables, Vol.5, "HFOs and HCFOs, Ver. 1.0" (June 2021)**

Copyright © 2021 by Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE).

All rights reserved. June 1, 2021. The entire risk of the use of any information in this book is assumed by the user. No part of this book can be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the written permission of the publisher.

**JSRAE Thermodynamic Tables Editorial Working Group**

**Compiler**

Yohei KAYUKAWA

**Authors**

Yohei KAYUKAWA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

Chieko KONDOU (Nagasaki University)

Naoya SAKODA (Kyushu University)

Keishi KARIYA (Saga University)

Sho FUKUDA (Kyushu Sangyo University)

**Reviewers**

Ryo AKASAKA (Kyushu Sangyo University)

Yukihiro HIGASHI (Kyushu University)

Akio MIYARA (Saga University)

Published by

Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE)

Nihonbashi-Otomi Bldg. 5F, 13-7, Nihon-bashi Odenma-cho, Chuo-ku, Tokyo, 103-0011 Japan

Phone: +81-3-5623-3223, Fax: +81-3-5623-3229,

<https://www.jsrae.or.jp/>

ISBN 978-4-88967-146-9 C3053 ¥12728E

# CONTENTS

<b>1</b>	<b>PREFACE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SYMBOLS AND UNITS</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>CONVERSION FACTORS</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>GENERAL PROPERTIES</b>	<b>9</b>
4.1	Molecular structure of the refrigerants . . . . .	9
4.2	Key properties . . . . .	10
4.3	Saturation curves . . . . .	12
<b>5</b>	<b>EQUATIONS OF STATE</b>	<b>18</b>
5.1	Helmholtz energy equations of state for thermodynamic properties . . . . .	18
5.2	Correlations for transport properties . . . . .	28
<b>6</b>	<b>DATABASE</b>	<b>33</b>
6.1	Critical point . . . . .	33
6.2	Vapor pressure . . . . .	37
6.3	Saturated liquid density . . . . .	48
6.4	Saturated vapor density . . . . .	57
6.5	PVT property . . . . .	66
6.6	Ideal-gas specific heat-capacity . . . . .	82
6.7	Isobaric specific heat capacity . . . . .	90
6.8	Isochoric specific heat capacity . . . . .	94
6.9	Speed of sound . . . . .	97
6.10	Surface tension . . . . .	104
6.11	Thermal conductivity . . . . .	108
6.12	Viscosity . . . . .	115
	<b>APPENDIX</b>	<b>142</b>
A.1	Thermophysical property tables (temperature-based) . . . . .	142
A.2	Thermophysical property tables (pressure-based) . . . . .	191
B	Pressure-enthalpy diagrams . . . . .	208
C	Models of the reference fluid (R134a) in the ECS model . . . . .	217

## 緒言

日本冷凍空調学会 (JSRAE) は、冷媒物性に関する最新情報を「日本冷凍空調学会熱力学表 (コード名: JARef)」として提供しています。

これらの状態方程式、相関式およびデータは校閲を経て刊行された学術論文として報告されたものを対象とし、日本冷凍空調学会冷媒技術委員会の委員によって慎重に評価した結果に基づいて選定されています。また、この熱力学表では高い信頼性を有すると評価された実測値群との比較図を掲載して、状態方程式ならびに相関式の信頼性が判断できるように試みております。これまでに、以下の熱力学表が刊行されています。

- HFCs and HCFCs (Vol. 1, Ver. 1:1994)
- HFCs and HCFCs (Vol. 1, Ver. 2: 2004)
- R 410A (Vol. 2, Ver. 1: 2008)
- HFO-1234yf (Vol. 3, Ver. 1: 2010)
- HFO-1234ze(E) (Vol. 4, Ver. 1: 2011)

モントリオール議定書キガリ改正に見られるように、高い GWP を有する HFC 冷媒の削減に向けた国際的な取組は年々強化されています。2000 年代の終わり頃から二重結合を含む新たなフッ素系化合物として HFO (hydrofluoroolefin) 系の冷媒が登場したことに対応し、2010 年、2011 年に第 3 巻 HFO-1234yf および第 4 巻 HFO-1234ze(E) をそれぞれ刊行しました。

その後も新たな低 GWP 冷媒が次々に開発され、それらの実用化に向けて熱物性のデータ収集や状態方程式の整備が進んでいます。今回刊行する熱力学表“HFOs and HCFOs (Vol. 5, Ver. 1.0)”では、既刊の R1234yf, R1234ze(E) に加えて、すでに実用化が始まっている、もしくは近い将来の実用化が期待される 6 物質を加えて以下の低 GWP 冷媒を取り上げました。

- trifluoroethylene (R1123)
- *cis*-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R1224yd(Z))
- *trans*-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233zd(E))
- 2,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234yf)
- *trans*-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze(E))
- *cis*-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze(Z))
- 3,3,3-trifluoropropene (R1243zf)
- *cis*-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene (R1336mzz(Z))

本熱力学表には、これらの冷媒に対して公表されている熱力学性質や輸送性質の実測値を、推奨される状態方程式や相関式との比較とともに掲載致しました。状態方程式および相関式は、R1123 を除いて、2018 年 6 月に公開された REFPROP Ver. 10.0 に収録されている式を推奨式としています。R1123 については 2020 年に公開された、より信頼性の高い式を推奨式としました。今後、新たな状態方程式等の公開に合わせて、本熱力学表の内容も更新していく予定です。

本熱力学表の編纂に携わった JSRAE 熱力学表編集ワーキンググループの各委員は以下の通りです（主査およびワーキンググループ委員のみ掲載）。

### 冷媒技術委員会

主査 赤坂亮（九州産業大学）

JSRAE 熱力学表編集ワーキンググループ

粥川洋平（産業技術総合研究所）

近藤智恵子（長崎大学）

迫田直也（九州大学）

仮屋圭史（佐賀大学）

福田翔（九州産業大学）

- 本書に収録されている偏差図および巻末の飽和表の物性値はいずれも、第5章で推奨式として紹介する状態方程式ならびに相関式により計算されます。
- 飽和蒸気圧力、飽和液密度および飽和蒸気密度に関しては、繰り返し計算を必要としない相関式を補助式として掲載しました。
- 伝熱等の計算に必要な輸送性質の情報を充実させるべく、REFPROP で用いられている熱伝導率および粘性率に関する相関式および拡張対応状態原理について詳しく紹介しました。なお、これらの式に用いられる臨界定数等の値は熱力学状態方程式に用いられるものとは異なる場合があります。
- 一般気体定数、アボガドロ定数ならびにボルツマン定数については、2019年のSI単位の定義改訂により不確かさを持たない定義値として確定しましたが、これらの値は式の作成時にパラメータとして用いられていることから、統一した値は掲載せず、それぞれの式の原著論文の値を載せています。
- 3章“Conversion factors”に関してはこれまで、非SI単位を含む複数の単位同士の相互換算係数を載せていましたが、今回から非SI単位からSI単位への換算係数のみに変更しました。
- 4章“General properties”では本書で取り上げる8物質を含むCFC, HCFC, HFC系冷媒など57物質に関する基本性質、地球温暖化係数（GWP）、ならびにオゾン層破壊係数（ODP）の情報をひとつの表にまとめて掲載しました。
- モル質量の値は同位体の存在比の幅が存在するため、一意に定まりません。本熱力学表に収録した8冷媒のモル質量は、その冷媒の状態方程式または相関式の原著論文に記載された値を掲載しています。その他の冷媒については、REFPROPが冷媒に関する物性計算の標準として用いられていることに鑑み、4章“General properties”の一覧表にはREFPROPで用いられているモル質量の値を小数点以下2桁まで記載しました。

## 4.2 Key properties

Refrigerant (Type)	Molecular formula	CAS number	M g mol <sup>-1</sup>	T <sub>b</sub> K	T <sub>g</sub> K	T <sub>c</sub> K	P <sub>c</sub> kPa	P <sub>s</sub> kg m <sup>-3</sup>	v <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>	ω	ODP	Total lifetime(ys)	GWP <sub>100y</sub>
R10 (HFO)	CO <sub>2</sub>	56-23-5	44.01	313.07	n.a.	313.07	7380	1562	227	0.133	0.00	32	2110
R11 (CFC)	COClF	75-69-4	137.37	296.86	162.69	471.11	4408	554.0	249.0	0.159	1.0	52	5160
R12 (CFC)	CO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	75-71-8	120.91	243.40	116.10	385.12	4136	965.0	214.0	0.179	0.81 <sup>3</sup>	102	10300
R13 (CFC)	COF <sub>2</sub>	75-72-9	104.46	191.57	92.00	302.00	3879	582.9	179.2	0.172	1.0	640	13000
R14 (HFO)	CF <sub>4</sub>	75-73-0	88.00	145.10	86.94	227.51	3790	625.7	140.7	0.178	0	50000	6630
R20 (HFO)	CH <sub>2</sub> Cl	67-66-3	119.37 <sup>1</sup>	334.28 <sup>2</sup>	n.a.	506.86 <sup>2</sup>	5370 <sup>3</sup>	900 <sup>2</sup>	239 <sup>2</sup>	0.218 <sup>2</sup>	-	0.501	18
R21 (HFO)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	75-43-4	102.92	282.01	142.80	451.48	5181	526.0	195.7	0.205	0.036	1.7	150
R22 (HFO)	CHF <sub>2</sub> Cl	75-45-6	86.47	232.34	115.73	369.30	4990	523.6	165.1	0.221	0.034 <sup>3</sup>	11.9	1760
R23 (HFC)	CHF <sub>3</sub>	75-46-7	70.01	191.13	116.02	299.29	4632	526.5	133.0	0.253	0	228	12690
R32 (HFC)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	75-10-5	52.02	221.50	136.34	351.25	5782	424.0	122.7	0.277	0	5.4	705
R40 (HFO)	CH <sub>3</sub> Cl	74-87-3	50.49	249.17	175.51	416.30	6990	363.2	139.0	0.150	0.015	0.9	4.3
R41 (HFC)	CH <sub>3</sub> F	593-59-3	34.03	194.64	123.82	317.28	5937	316.5	107.5	0.200	0	2.6	116
R113 (CFC)	COCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	76-13-1	187.38	320.74	236.93	487.21	3332	960.0	304.6	0.253	0.82 <sup>3</sup>	98	6080
R114 (CFC)	COF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	76-14-2	170.92	276.74	180.63	419.83	3257	580.0	294.7	0.252	0.80	189	8590
R115 (CFC)	COF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	76-15-3	154.47	233.93	173.75	353.10	3129	614.8	251.3	0.249	0.36	540	7310
R116 (HFO)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	76-16-4	138.01	195.06	173.10	293.03	3048	612.3	225.0	0.257	0	10000	11100
R123 (HFO)	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	306-83-2	152.93	300.97	166.00	456.83	3662	550.0	278.1	0.282	0.01	1.3	80
R123a (HFO)	CHClCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	354-33-4	152.927 <sup>1</sup>	302.60 <sup>2</sup>	n.a.	461.56 <sup>2</sup>	3600 <sup>2</sup>	550 <sup>2</sup>	278 <sup>2</sup>	0.233 <sup>2</sup>	0.030	4.0	370
R124 (HFO)	CHClCF <sub>3</sub>	3697-99-0	136.48	261.19	74.00	395.43	3624	950.0	243.7	0.289	0.022	5.9	530
R125 (HFO)	CHF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	354-33-6	120.02	225.06	172.52	339.17	3618	573.6	209.2	0.305	0	30	3450
R134 (HFC)	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	359-35-3	102.031 <sup>1</sup>	250.16 <sup>2</sup>	n.a.	391.74 <sup>2</sup>	4606 <sup>2</sup>	536 <sup>2</sup>	190 <sup>2</sup>	0.290 <sup>2</sup>	0	10	1135
R134a (HFC)	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	311-97-2	102.03	247.08	168.85	374.21	4069	511.9	199.3	0.327	0	14	1360
R141b (HFO)	CH <sub>3</sub> COClF	1717-00-6	116.95	305.20	189.68	477.50	4212	458.6	255.0	0.220	0.102 <sup>3</sup>	9.4	800
R142b (HFO)	CH <sub>3</sub> COF <sub>2</sub>	75-68-3	100.50	264.03	142.72	410.26	4035	446.0	225.3	0.232	0.057 <sup>3</sup>	16	2070
R143a (HFO)	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	430-46-2	84.04	225.91	161.34	345.86	3761	431.0	195.0	0.252	0	51	3030
R152a (HFO)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	75-07-6	68.05	249.13	154.96	396.41	4517	368.0	179.5	0.275	0	1.6	148
R161 (HFO)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	353-36-6	48.06	235.61	130.00	375.25	5046	302.0	159.1	0.230	0	0.219	6
R218 (HFO)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	76-19-7	188.02	236.36	125.45	345.02	2940	626.0	230.4	0.317	0	2600	9900
R225a (HFO)	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	422-95-0	202.935 <sup>1</sup>	323.24 <sup>2</sup>	n.a.	476.71 <sup>2</sup>	3060 <sup>2</sup>	556 <sup>2</sup>	365 <sup>2</sup>	0.337 <sup>2</sup>	0.025	1.9	127
R225b (HFO)	CHClCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	507-55-1	202.935 <sup>1</sup>	326.55 <sup>2</sup>	n.a.	484.91 <sup>2</sup>	2980 <sup>2</sup>	555 <sup>2</sup>	366 <sup>2</sup>	0.299 <sup>2</sup>	0.033	5.9	525
R227ea (HFC)	CF <sub>3</sub> CHClF <sub>2</sub>	431-69-0	170.03	256.81	146.35	374.90	2925	594.3	246.1	0.357	0	36	3140
R236ea (HFC)	CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CHClF <sub>2</sub>	431-63-0	152.04	279.32	n.a.	412.44	3420	565.0	289.1	0.369	0	11.4	1370
R236fa (HFC)	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	690-39-1	152.04	271.66	179.60	398.07	3200	551.3	275.8	0.377	0	213	7680
R240a (HFC)	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	679-66-7	134.05	298.41	196.00	447.57	3941	525.5	255.1	0.355	0	6.6	720
R240fa (HFC)	CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	460-73-1	134.05	288.20	170.00	427.01	3651	519.4	256.1	0.376	0	7.9	860

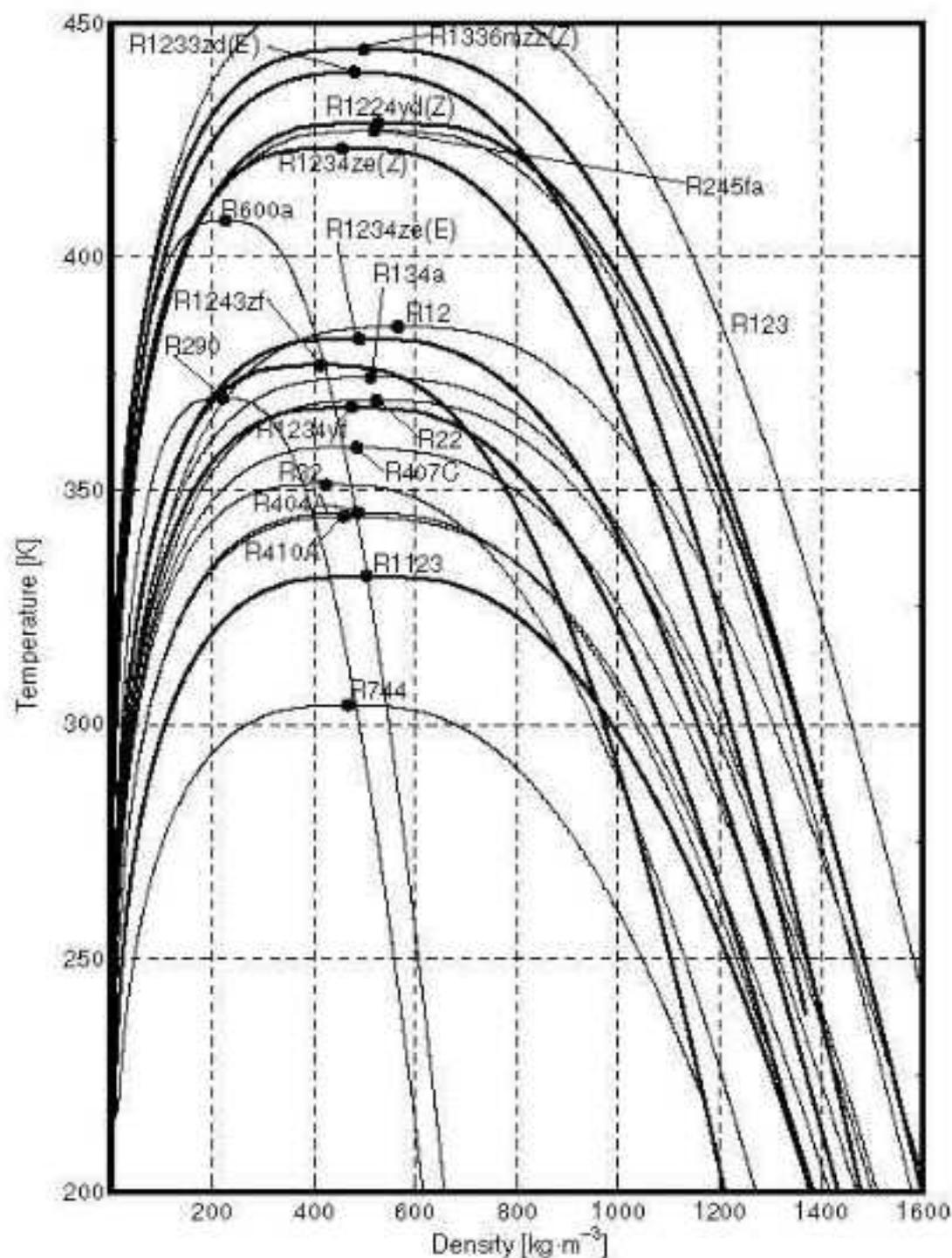


Figure 4-3. Saturation densities.

## 5 EQUATIONS OF STATE

### 5.1 Helmholtz energy equations of state for thermodynamic properties

#### 5.1.1 Functional form

$$\alpha(\tau, \delta) = \frac{a}{RT} = \alpha^0(\tau, \delta) + \alpha^r(\tau, \delta) \quad (5-1)$$

$$\tau = \frac{T_c}{T} \quad (5-2)$$

$$\delta = \frac{P}{P_c} \quad (5-3)$$

#### Ideal gas part:

$$\alpha^0(\tau, \delta) = \ln \delta + N_1^0 + N_2^0 \tau + N_3^0 \ln \tau + \sum_{i=4} N_i^0 \ln [\exp(\eta_i \tau) - 1] \quad (5-4)$$

#### Residual part:

$$\alpha^r(\tau, \delta) = \sum_{i=1} N_i^r \delta^{b_i} + \sum_i N_i^r \delta^{d_i} \exp(-\delta^{b_i}) + \sum_i N_i^r \delta^{d_i} \exp[\eta_i(\delta - \epsilon_i)^2 + \beta_i(\tau - \gamma_i)^2] \quad (5-5)$$

Note that coefficients  $N_1^0$  and  $N_2^0$  in the ideal-gas part are adjusted so that the specific entropy,  $s_0$ , and enthalpy,  $h_0$ , of the saturated liquid at 273.15 K are  $s_0 = 1.0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  and  $h_0 = 200.0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively.

## 5.1.4 R1233zd(E)

Table 5-3. Numerical constants for the Helmholtz equation of state for R1233zd(E) (Mondéjar, 2015).

Fundamental constants								
$T_c$	$\rho_c$	$R$			$M$			
439.6 K	3.68 mol dm <sup>-3</sup>	8.3144621 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>			130.4944 kg kmol <sup>-1</sup>			
Range of validity								
$T_{min}$	$T_{max}$			$P_{max}$				
195 K	550 K			100 MPa				
Coefficients for the ideal-gas part, Eq. (5-4)								
$i$	$N_i^0$	$u_i$						
1	-16.4562356954883171							
2	10.095964662989191							
3	4.0							
4	11.795	630.0						
5	8.6848	2230.0						
Coefficients for the residual part, Eq. (5-5)								
$i$	$N_i$	$a_i$	$d_i$	$l_i$	$\gamma_i$	$\beta_i$	$\gamma_i$	$\epsilon_i$
1	0.0478487	1.0	4					
2	1.60644	0.26	1					
3	-2.27161	1.02	1					
4	-0.530687	0.7	2					
5	0.169641	0.4	3					
6	-1.85458	1.46	1	2				
7	-0.321916	2.3	3	2				
8	0.636411	0.66	2	1				
9	-0.121482	2.7	2	2				
10	-0.0262755	1.19	7	1				
11	2.37362	1.62	1		-0.748	-1.29	0.89	0.508
12	-0.901771	1.13	1		-1.473	-1.61	1.13	0.366
13	-0.455962	1.7	3		-1.39	-0.8	0.7	0.38
14	-0.602941	1.35	2		-0.86	-1.34	0.91	0.773
15	-0.0594311	1.5	2		-1.8	-0.49	1.2	1.17

\*  $N_1^0$ ,  $N_2^0$  are from REFPROP (ver. 10) FLD file.

\*\* The universal gas constant,  $R$ , and molar mass,  $M$ , are slightly different in REFPROP ver. 10.

### 6.3 Saturated liquid density

Correlations for the saturated liquid density:

$$\rho' = \rho_c \left[ 1 + \sum_1^n N_i \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^{A_i} \right] \quad (6-2)$$

Table 6-18. Numerical constants of the saturated liquid density correlation, Eq. (6-2)

Refrigerant	R1123	R1224yd(Z)	R1233zd(E)	R1234yf
First author	Akasaka	Akasaka	Mondejar	Richter
Year	2020	2017	2016	2011
$T_c/K$	331.73	428.69	439.6	367.85
$\rho_c/(\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3})$	6.147	3.55	3.66	4.17
$N_1$	1.9578	0.939	7.0378	0.14328
$N_2$	2.406	1.7931	-14.55	2.1007
$N_3$	-5.3582	0.043779	21.707	0.48993
$N_4$	4.0164	-0.097119	-18.338	-0.26122
$N_5$	0.49887	-	7.1635	0.39037
$A_1$	0.337	0.22	0.53	0.11
$A_2$	1.38	0.62	0.85	0.41
$A_3$	2.15	1.0	1.2	0.71
$A_4$	2.59	1.8	1.6	1.0
$A_5$	13.6	-	2.0	2.0

Refrigerant	R1234ze(E)	R1234ze(Z)	R1243zf	R1336mzz(Z)
First author	Thol	Akasaka	Akasaka	McLinden
Year	2016	2019	2019	2020
$T_c/K$	382.513	423.27	376.93	444.50
$\rho_c/(\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3})$	4.29	4.0	4.3	3.044
$N_1$	1.1913	1.3241	2.387	2.1782
$N_2$	2.2456	2.3135	-1.2213	0.68072
$N_3$	-1.7747	-1.2904	4.8105	-0.17224
$N_4$	1.3096	0.67545	-5.7706	0.39416
$N_5$	-	-	2.6755	-
$A_1$	0.27	0.265	0.362	0.35
$A_2$	0.7	0.75	0.83	0.878
$A_3$	1.25	1.3	1.31	1.58
$A_4$	1.9	1.95	1.82	2.34
$A_5$	-	-	2.4	-

## 6.3.3 R1233zd(E)

Table 6-21. Available experimental data for the saturated-liquid density of R1233zd(E)

First author	Year	Purity [mol%]	T [K]	Uncertainty	AAD [%]	N	Method
Hulse	2012	99 <sup>m</sup>	243–293	1 mK 0.1%	0.15	13	Derived from liq. PVT
Raabe	2015	(100 <sup>*</sup> )	273–383	(0.9 to 1.9) kg·m <sup>-3</sup>	0.2	8	Molecular Simulation
Tanaka	2016a	99.5 <sup>m</sup>	300–400	28 mK (1 to 1.4) kg·m <sup>-3</sup> <sup>±</sup>	0.043	11	Extraction method
Raabe Eq. (6-2)	2019b	(100 <sup>*</sup> )	273–383 200–440	(1 to 1.8) kg·m <sup>-3</sup>	0.58 0.01	7	Molecular simulation

<sup>m</sup>: mass%,    <sup>\*</sup>: mol% or mass%, unknown.    <sup>±</sup>: shown by error bars in the deviation plot

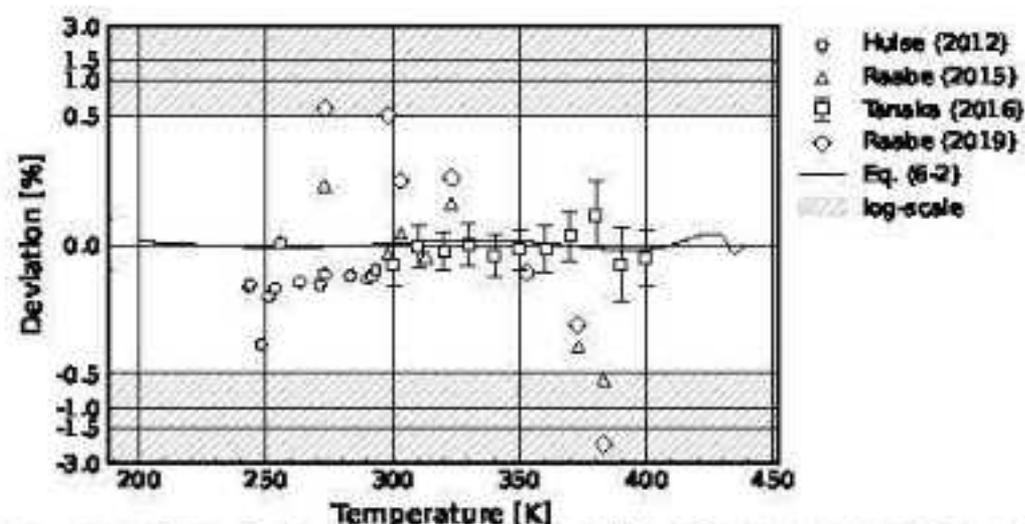


Figure 6-11. Relative deviation in the data for the saturated-liquid density for R1233zd(E) from Eq. (5-1).

## References

- Akasaka, R., (2016)  
Recent Trends in the Development of Helmholtz Energy Equations of State and Their Application to 3,3,3-trifluoroprop-1-ene (R-1243zf).  
*Science and Technology for the Built Environment*, 22(8), 1136–1144  
URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23744731.2016.1268999>.
- Akasaka, R., Fukushima, M., Lemmon, E. W., (2017)  
A Helmholtz Energy Equation of State for *cis*-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R-1224yd(Z)).  
*Proceedings of the 21st European Conference on Thermophysical Properties*, 192, Graz, Austria.
- Akasaka, R., Lemmon, E. W., (2019)  
Fundamental Equations of State for *cis*-1,3,3,3-Tetrafluoropropene [R-1234ze(Z)] and 3,3,3-Trifluoropropene (R-1243zf).  
*Journal of Chemical & Engineering Data*, 64(11), 4679–4691  
URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jced.9b00007>.
- Akasaka, R., Higashi, Y., Sakoda, N., Fukuda, S., Lemmon, E. W., (2020)  
Thermodynamic Properties of Trifluoroethene (R1123) ( $p, \rho, T$ ) Behavior and Fundamental Equation of State.  
*International Journal of Refrigeration*, 119, 457–467  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.07.011>.
- Alam, M. J., Islam, M. A., Kariya, K., Miyara, A., (2017)  
Measurement of Thermal Conductivity of *cis*-1,1,1,4,4,4-Hexafluoro-2-butene (R-1336mzz(Z)) by the Transient Hot-Wire Method.  
*International Journal of Refrigeration*, 84, 220–227  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.08.014>.
- Alam, M. J., Yamaguchi, K., Hori, Y., Kariya, K., Miyara, A., (2019)  
Measurement of Thermal Conductivity and Viscosity of *cis*-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R-1224yd(Z)).  
*International Journal of Refrigeration*, 104, 221–228  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.033>.
- An, B., Yang, F., Duan, Y., Yang, Z., (2017)  
Measurements and New Vapor Pressure Correlation for HFO-1234ze(E).  
*Journal of Chemical & Engineering Data*, 62(1), 328–332  
URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jced.6b00673>.
- An, B., Yang, F., Yang, K., Duan, Y., Yang, Z., (2018)  
 $pVT$  Property of HFO-1234ze(E) in the Gaseous Phase.  
*Journal of Chemical & Engineering Data*, 63(6), 2075–2080  
URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jced.8b00090>.
- Bobbo, S., Bet, A., Scattolini, M., Fedele, L., (2020)  
Saturated Pressure Measurements of *cis*-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R1224yd (Z)) Saturation Pressure.

- Zhang, X., (2019)  
Experimental Measurements of Saturated Vapor Pressures for R1234ze(Z), R600a, and R134.  
*Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 33(3), 779–784  
URL: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.15513>.
- Zhao, C., Bi, S., Froba, A. P., Wu, J., (2014)  
Liquid Viscosity and Surface Tension of R1234yf and R1234ze Under Saturation Conditions by Surface Light Scattering  
*Journal of Chemical & Engineering Data*, 59(4), 1366–1371  
URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/je5001457>.
- Zhao, C., Yuan, Z., Zhang, X., Yin, J., Ma, S., (2021)  
Saturated Liquid Kinematic Viscosity, Surface Tension and Thermal Diffusivity of Two Low-GWP Refrigerants 3,3,3-Trifluoropropene (R1243zf) and *trans*-1-Chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene (R1233zd(E)) by Light Scattering Method.  
*International Journal of Refrigeration*  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.03.012>.
- Zhao, Y., Dong, X., Zhong, Q., Li, H., Zhang, H., Gong, M., Shen, J., (2017)  
The Experimental Investigation of the Vapour Liquid Phase Equilibrium for (Ammonia + 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene) System.  
*The Journal of Chemical Thermodynamics*, 113, 257–262  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jct.2017.06.018>.
- Zhong, Q., Dong, X., Zhao, Y., Wang, J., Zhang, H., Li, H., Guo, H., Shen, J., Gong, M., (2018)  
Adiabatic Calorimeter for Isochoric Specific Heat Capacity Measurements and Experimental Data of Compressed Liquid R1234yf.  
*The Journal of Chemical Thermodynamics*, 125, 86–92  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jct.2018.05.022>.
- Zhuo, K., Zhao, Y., Dong, X., Gong, M., Wu, J., (2017)  
Saturation Pressure Measurement and Correlation of *cis*-1,3,3,3-Tetrafluoropropene at Temperatures Ranging from 243.152 to 373.150 K.  
*Chinese Science Bulletin*, 62(23), 2691–2697  
URL: <http://engine.scichina.com/doi/10.1360/NS972016-00615>.



