

冷凍サイクル計算プログラムソフト (フルオロカーボン) Ver.2 操作説明書

日本冷凍空調学会 冷媒技術分科会

目次

1 . はじめに	P2
2 . プログラムの実行	P2
3 . 各シートの使い方	P3
3.1) 「飽和表」シート	P3
3.2) 「サイクル」シート	P4
3.3) 「EPR」シート	P6
3.4) 「二段」シート	P8
3.5) 「 $p - h$ 線図」シート	P10
3.6) 「 $T - s$ 線図」シート	P11
3.7) 「検算飽和」シート	P12
3.8) 「検算過熱」シート	P13
4 . 計算上の注意	P15
5 . 折込関数 (計算精度ほか)	P15
6 . 使用上の注意	P16
原著文献	P16
付録 折込関数の応用	P17
A1 . 圧力基準飽和蒸気表	P17
A2 . 二段圧縮一段膨張冷凍サイクル	P19
A3 . 折込関数 (Function) 一覧	P29

1. はじめに

このプログラムソフトは、2004年8月に当学会より発行したソフトを改良し、一段圧縮以外に蒸発圧力調整弁と二段圧縮の冷凍サイクル計算を加え、冷媒もR404A等を追加して表1に示す12種類の冷媒を扱えるようにしています。

本プログラムソフトはMicrosoft社のExcel上で作動します。従って、計算環境としてExcelがインストールされたパソコンが必要です。ExcelのバージョンはExcel97以上を推奨します。

表1 冷凍サイクル計算プログラムソフトの冷媒

No	ファイル名	種類	分子式 又は成分 (質量%)	使用例ほか	文献
1	R 22-Ver2.xls	HCFC	CHClF ₂	最近では殆ど使われない	(1)
2	R 123-Ver2.xls	HCFC	CHCl ₂ CF ₃	ターボ	(2)
3	R 125-Ver2.xls	HFC	CHF ₂ CF ₃		(3)
4	R 134a-Ver2.xls	HFC	CH ₂ FCF ₃	ターボ、冷凍冷蔵	(3)
5	R 143a-Ver2.xls	HFC	CF ₃ CH ₃		(3)
6	R 32-Ver2.xls	HFC	CH ₂ F ₂		(3)
7	R 404A-Ver2.xls	HFC	R 125/143a/134a (44/52/4mass%)	冷凍冷蔵	(3)
8	R 407C-Ver2.xls	HFC	R 32/125/134a (23/25/52mass%)	非共沸混合冷媒	(3)
9	R 407E-Ver2.xls	HFC	R 32/125/134a (25/15/60mass%)	非共沸混合冷媒	(3)
10	R 410A-Ver2.xls	HFC	R 32/125 (50/50 mass%)	擬似共沸混合冷媒	(3)
11	R 410B-Ver2.xls	HFC	R 32/125 (45/55 mass%)	擬似共沸混合冷媒	(3)
12	R 507A-Ver2.xls	HFC	R 125/143a (50/50 mass%)	擬似共沸混合冷媒	(3)

2. プログラムの実行

計算したい冷媒のファイルをダブルクリックするとExcelが起動し、下記ダイアログが表示されます。ここでは「マクロを有効にする」をクリックします。配布されているCD上のファイルはウイルスに汚染されていないことを確認済です。

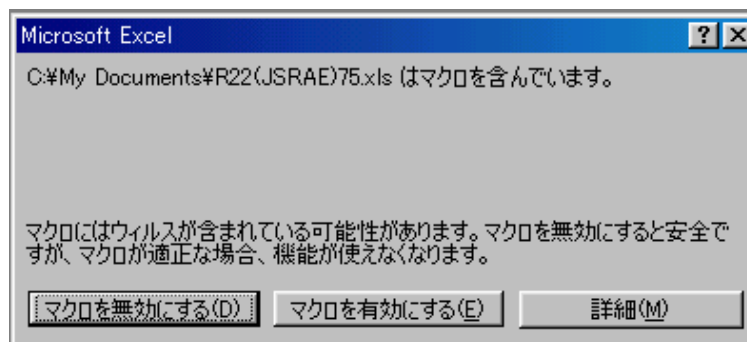


図1. マクロを有効にするダイアログ

「マクロを無効にする」をクリックすると、以前の計算結果が表示されるのみで、新しい計算はできません。

なお、上記のダイアログが出ず直ちにExcelが立上る場合があります。これは使っているExcelのセキュリティレベルが高(H)に設定されている場合です。本ソフトはレベル高(H)に対応していないので、その時は [ツール] [マクロ] [セキュリティ]の順にクリックして レベル中(M)を選択してください。レベル低(L)は勧められません。

3. 各シートの使い方

Excel が立上ると、表 2 に示すシートが表示されます。

表 2 プログラムに含まれるシート一覧

シート名	シートの機能	詳細説明
「飽和表」	温度基準・飽和蒸気表	3.1)
「サイクル」	一段圧縮 冷凍サイクル計算 (含: 理論冷凍サイクル)	3.2)
「EPR」	蒸発圧力調整弁 理論冷凍サイクル計算	3.3)
「二段」	二段圧縮 理論冷凍サイクル計算	3.4)
「p-h 線図」	「二段」「EPR」「サイクル」のデータを書込み可能	3.5)
「T-s 線図」	「二段」「EPR」「サイクル」のデータを書込み可能	3.6)

注) 計算では各部圧力損失を無視します。なお、理論冷凍サイクルは等エントロピー圧縮です。

3.1) 「飽和表」シート

温度 折込関数 t ℃	圧力 P _s (T) MPa	比容積 v _f m ³ /kg	v _g m ³ /kg	比エンタルピー h _f (T) kJ/kg	h _g (T) kJ/kg	比エントロピー s _f (T) kJ/kgK	s _g (T) kJ/kgK
-40	0.0275	0.000883	0.52641	122.15	378.32	0.3283	1.8373
-38	0.0420	0.000888	0.48081	128.40	378.87	0.3287	1.8311
-36	0.0489	0.000893	0.43920	137.63	380.62	0.3290	1.8250
-34	0.0523	0.000897	0.39232	139.84	381.86	0.3293	1.8188
-32	0.0582	0.000904	0.35622	142.05	382.51	0.3296	1.8124
-30	0.0649	0.000917	0.32230	144.26	383.44	0.3298	1.8078
-28	0.0715	0.000930	0.29400	148.47	384.38	0.3300	1.8028
-26	0.0790	0.000952	0.26706	148.67	385.30	0.3302	1.8004
-24	0.0871	0.000985	0.24450	150.97	385.22	0.3304	1.8002
-22	0.0969	0.001030	0.22258	152.06	387.14	0.3307	1.8004
-20	0.1083	0.001091	0.20480	155.26	388.08	0.3310	1.8008
-18	0.1154	0.001174	0.19190	157.46	388.86	0.3313	1.8010
-16	0.1263	0.001287	0.17269	158.65	389.66	0.3316	1.8015
-14	0.1380	0.001430	0.15694	161.85	390.75	0.3320	1.8001
-12	0.1508	0.001613	0.14491	164.08	391.64	0.3323	1.8004
-10	0.1639	0.001838	0.13564	168.26	392.51	0.3326	1.8007
-8	0.1782	0.002109	0.12902	168.46	393.38	0.3329	1.8002
-6	0.1925	0.002433	0.11572	170.67	394.25	0.3332	1.8007
-4	0.2097	0.002818	0.10708	172.88	395.10	0.3335	1.8008
-2	0.2270	0.003268	0.09954	175.10	395.98	0.3338	1.8001
0	0.2453	0.003793	0.09249	177.32	396.78	0.3341	1.8008
2	0.2648	0.004406	0.08603	178.55	397.61	0.3344	1.8004
4	0.2854	0.005110	0.08012	181.79	398.43	0.3347	1.8004
6	0.3072	0.005913	0.07470	184.04	399.24	0.3350	1.8001
8	0.3300	0.006817	0.06971	186.29	400.04	0.3353	1.8008
10	0.3547	0.007831	0.06513	188.55	400.82	0.3356	1.8004
12	0.3808	0.008964	0.06099	190.82	401.60	0.3359	1.8001
14	0.4076	0.010226	0.05701	193.10	402.37	0.3362	1.8008
16	0.4362	0.011627	0.05321	195.39	403.12	0.3365	1.8004
18	0.4667	0.013178	0.05000	197.69	403.86	0.3368	1.8001
20	0.4979	0.014980	0.04700	200.00	404.59	1.0000	1.8008
22	0.5311	0.017045	0.04415	202.32	405.31	1.0004	1.8001
24	0.5660	0.019486	0.04150	204.66	406.01	1.0007	1.8008
26	0.6025	0.022313	0.03904	207.00	406.68	1.0011	1.8004
28	0.6408	0.025545	0.03675	209.37	407.37	1.0014	1.8001

図 2 「飽和表」シート (R22 の例)

この表は温度基準で、2 きざみで計算したものです。0 の行(黄色ハッチングされている)には計算に使用した折込関数そのまま残してあり、適宜応用することができます。例えばもっと細かい温度きざみや、圧力基準の飽和表などに応用可能です。

ただし、変更内容を間違えると元の設定に戻らなくなるので、この操作は Excel 初級者の方にはお薦めできません。なお、元の設定に戻らなくなった場合には、配布されている CD から再度インストールし直せば復帰可能です。

折込関数の行にも関数名を記入してあります。関数の詳細は 5 章を参照してください。

3.2) 「サイクル」シート

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		R22 一段圧縮 冷凍サイクル										
2												
3												
4	凝縮温度	Tc	℃	50.0	50.0	50.0	45.0	50.0				
5	蒸発温度	Te	℃	-21.0	-21.0	-20.0	-17.4	7.0				
6	過冷却	Uc	℃	5.0	5.0	5.0	2.0	10.0				
7	過熱度	Sh	℃	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0				
8	圧縮機吐出温度	T2	℃									
9	圧縮機吐出圧力	Pd	MPa (abs)	1.9432	1.9432	1.9432	1.7287	1.9432				
10	圧縮機吸入圧力	Ps	MPa (abs)	0.2360	0.2360	0.2453	0.2705	0.6215				
11	吸入 温度	T1	℃	-16.0	-16.0	-15.0	-12.4	12.0				
12	比エンタルピー	h1	kJ/kg	399.69	399.69	400.13	401.23	410.89				
13	比エンタルピー	h2	kJ/kg	1.7963	1.7963	1.7945	1.7900	1.7527				
14	比体積	v1	m³/kg	0.09835	0.09835	0.09482	0.08646	0.08694				
15	吐出 温度	T2	℃	80.0	80.0	89.3	80.7	73.1				
16	比エンタルピー	h2	kJ/kg	455.54	455.54	454.89	449.89	440.05				
17	比エンタルピー	h2	kJ/kg	1.7963	1.7963	1.7945	1.7900	1.7527				
18	比体積	v2	m³/kg	0.01509	0.01509	0.01503	0.01660	0.01376				
19	液管 温度	T3	℃	45.0	45.0	45.0	43.0	40.0				
20	比エンタルピー	h3	kJ/kg	256.13	256.13	256.13	253.42	249.40				
21	冷凍効果	ahc	kJ/kg	143.56	143.56	143.99	147.80	161.49				
22	圧縮仕事	ahc	kJ/kg	55.85	55.85	54.76	46.66	29.17				
23	凝縮熱量	ahh	kJ/kg	199.41	199.41	198.75	196.47	190.65				
24	成績係数	GOP	%	257.0%	257.0%	263.0%	303.7%	553.6%				
25												

図3 「サイクル」シート (R22の例)

このシートを使って、一段圧縮の冷凍サイクルを計算できます。図4に各点の番号を示します。1は圧縮機吸込み、2は圧縮機吐出し、3は膨張弁入口、4は蒸発器入口です。

シートの黄色ハッチング部分に数値を入力してください。圧縮機吐出圧力～成績係数までの項目を自動的に計算します。E列からI列まで、5つのサイクルを計算可能です。

E列データは「 $p-h$ 線図」、 $T-s$ 線図」のシートに赤い線で書込まれます。E列以外のデータは「線図」と連動していません。

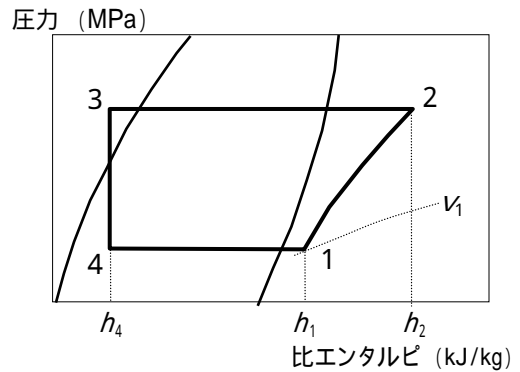


図4 一段圧縮 冷凍サイクル

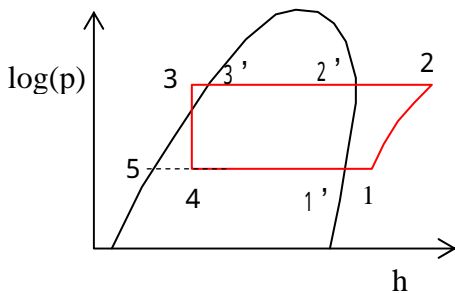


図5 $p-h$ 線図

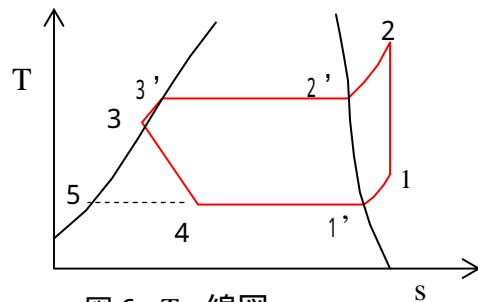


図6 $T-s$ 線図

「サイクル」シート 8 行目の圧縮機吐出温度入力では、実際の圧縮機と理論冷凍サイクルとを区別できません。実際の圧縮機で計算したい場合は、実機の圧縮機吐出し温度を [E8] セルに入力してください。すると、ポリトロップ圧縮 ($pv^n = \text{一定}$) による計算を行います。理論冷凍サイクルで計算する場合は、[E8] セルを空白にしてください。こちらは、等エントロピー圧縮の計算を行います。

なお、理論圧縮・実際圧縮共に、サイクル各部の圧力損失は無いものとしています。

冷凍サイクルを描いていない $p - h$ 線図が必要な場合は、E 列の凝縮温度、蒸発温度(E4、E5 セル) を消去します。「サイクル」シートの他に、「EPR」「二段」シートでも線図に書込んでいるので、そちらのデータも同様に消去する必要があります。

データを消去したとき、いくつかのセルに #VALUE が表示される場合がありますが、プログラムの動作に問題はありません。再びデータを書込めば、正常に計算します。

「サイクル」シートの形は冷媒によって変えてあります。R 407C 等は非共沸混合冷媒なので圧力を入力します。擬似共沸混合冷媒は温度基準で入力しますが、飽和圧力に圧縮機側の蒸気圧力(気相圧力)を用いています。

「サイクル」シートのデータを書き換えた場合、R 407C では計算時間が長くなる場合がありますが異常ではありません、計算が終了するまで待ってください(1 ~ 10 秒)。なお、他の冷媒では R 407C より速く計算します。

「サイクル」シートは計算式が埋めこんであり、誤操作によって式を壊してしまわないように保護をかけてあります。従って、黄色ハッチング部分以外には書き込みができません。Excel 上級者ならば、保護を外し独自の冷凍サイクルなどに応用展開が可能です。ただし、元に戻らなくなる恐れがあるので、初級者は保護を外さないことをお勧めします。

補足) シート保護の外し方

追記や修正などをする場合は、下記方法でシート保護を外してから行ってください。

- 1) 「ツール」 「保護」 「シート保護の解除」の順にクリックします。すると、シート保護が解除されます。解除のパスワード(後述)は省略しており不要です。
- 2) 修正が完了したら、再度シート保護をかけておく事を推奨します。

「ツール」 「保護」 「シートの保護」の順にクリックすると保護がかかります。そのとき図 7 のダイアログが出ます。必要ならばパスワードを設定してください。設定したパスワードは保護の解除時に必要になるので、憶えておく必要があります。

ダイアログの保護対象は全てチェックを付けたままを推奨します。

なお、同様の方法でブックの保護もかけられますが、動作が不安定になる場合がありますのでお勧めしません。

(ブックとは各シートを含む Excel ファイル全体を意味します)

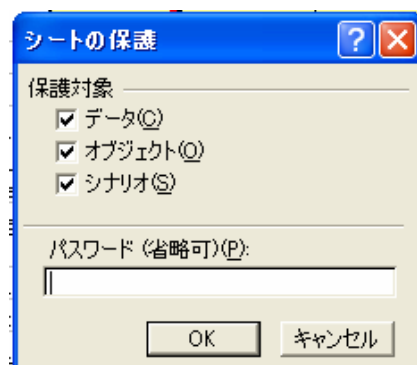


図 7 シートの保護ダイアログ

3.3) 「EPR」シート

(蒸発圧力調整弁(EPR)を用いたサイクル)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	R22 蒸発圧力調整弁の理論冷凍サイクル										
2	この列の数値が緑色に書込まれます。 蒸発温度、蒸発圧力を消去すれば、緑色への書き込みは消えます。										
3											
4	入力	凝縮温度	Tc	℃	48.0	50.0					
5		蒸発温度(蒸発器Ⅰ)	Ta	℃	0.0	0.0					
6		蒸発温度(蒸発器Ⅱ)過熱	Ta	℃	-40.0	-30.0					
7		過冷却	Uc	℃	5.0	5.0					
8		過熱度(蒸発器Ⅰ、蒸発器は点?)	Sh	℃	5.0	5.0					
9		過熱度(蒸発器Ⅱ、蒸発器は点?)	Sh	℃	10.0	10.0					
10		流量流量比(蒸発器Ⅰ/全体)				0.4	0.4				
11		圧縮機吐出圧力	Pd	MPa (abs)		1.8556	1.9432				
12		蒸発圧力(蒸発器Ⅰ)	Pa	MPa (abs)		0.4979	0.4979				
13		蒸発圧力(蒸発器Ⅱ)	Pa	MPa (abs)		0.1053	0.1639				
14	凝結温度	T1	℃		-20.9	-14.2					
15	吸込	比エンタルピー	H1	kJ/kg	399.78	402.64					
16		比エントロピー	S1	kJ/kg-K	1.8710	1.8411					
17		比体積	V1	m³/kg	0.22384	0.14576					
18	吐出	吐出温度	T2	℃	119.7	108.9					
19		比エンタルピー	H2	kJ/kg	482.28	472.20					
20		比エントロピー	S2	kJ/kg-K	1.8710	1.8411					
21		比体積	V2	m³/kg	0.01809	0.01644					
22	液管	液管温度	T3	℃	43.0	45.0					
23		比エンタルピー	H3	kJ/kg	253.42	256.13					
24	蒸発器Ⅰ出口温度	T5	℃	5.0	5.0						
25	出口比エンタルピー	H5	kJ/kg	408.29	408.29						
26	EPR 出口温度	T6	℃	-7.3	-5.4						
27	蒸発器Ⅱ出口温度	T8	℃	-30.0	-20.0						
28	出口比エンタルピー	H8	kJ/kg	394.18	398.90						
29	冷凍効率(蒸発器Ⅰ)	gH1	kJ/kg	154.87	152.16						
30	冷凍効率(蒸発器Ⅱ)	gH2	kJ/kg	239.30	246.74						
31	性能	gHe	kJ/kg	205.53	208.91						
32	圧縮仕事	gH	kJ/kg	82.50	69.56						
33	凝縮熱量	gHh	kJ/kg	228.86	216.07						
34	成績係数	COP	%		249.1%	300.3%					

図8 「EPR」シート (R22の例)

このシートは、図9のように2つの蒸発器を持ち、そのどちらか又は両方に蒸発圧力調整弁が設置されている冷凍サイクルを想定しています。計算できるのは理論冷凍サイクルです。(等エントロピー圧縮で圧力損失は無視)

黄色ハッチング部にデータを入力してください。蒸発温度や蒸発器出口の過熱度は蒸発器ごとに入力が必要です。EPRの設定圧力に相当する温度を蒸発

温度のセルに入力してください。R407C等の非共沸混合冷媒では、蒸発温度のかわりに蒸発圧力で入力します。なお、EVAPをEPR側とすることを推奨します。

両方の蒸発器共にERP付とする場合も、同様に設定する蒸発温度を入力してください。

次に、2つの蒸発器に流れる冷媒流量比を入力します。EVAP側流量/全体流量を流量比としており、流量比=1とするとEVAPの無い蒸発器1つだけのEPRサイクルになります。

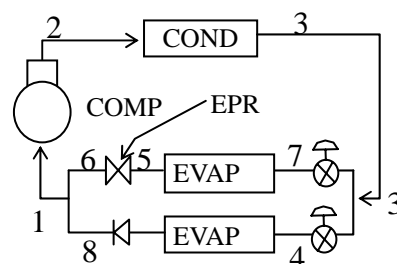


図9 EPR 冷凍サイクル

計算した EPR サイクルは $p - h$ 線図、 $T - s$ 線図に緑色の線で書込まれます。書込まれるのは E 列データだけです。書込んだサイクルは下図の形をしています。なお、点印は付いていません。図 9 と図 10 ~ 11 は記号を合わせてあるので各点の対応状況を確認してください。

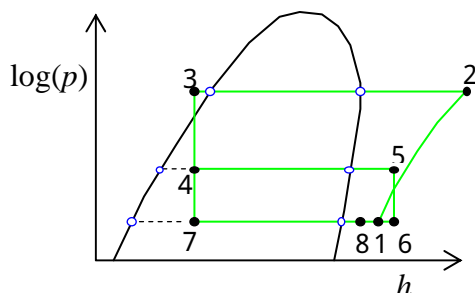


図 10 $p-h$ 線図

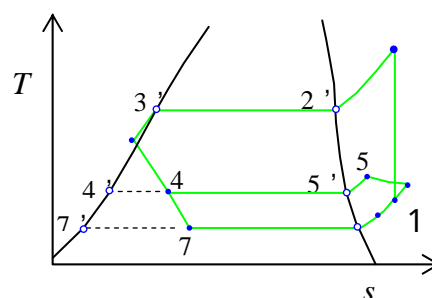


図 11 $T-s$ 線図

各状態点を表 3 に示します。ダッシュ付きの番号は直近の飽和線上の点を意味します。

表 3 EPR 冷凍サイクルの状態点

点	状態点	点	状態点
1	圧縮機吸込み (点 8、点 6 の混合)	5	EVAP 出口、EPR 入口
2	圧縮機吐出し	6	EPR 出口
3	膨張弁入口	7	EVAP 入口
4	EVAP 入口	8	EVAP 出口

冷凍サイクルを描いていない線図が必要な場合は、E 列の凝縮温度、蒸発温度 (E4、E5 セル) を消去してください。同様に、「サイクル」「二段」シートのデータも消去する必要があります。その際に、いくつかのセルに #VALUE が表示される場合がありますが、プログラムの動作に問題はありません。再びデータを書込めば正常に計算します。

「EPR」シートにも計算式が埋めこんであり、誤操作によって式を壊してしまわないように保護をかけてあります。従って、黄色ハッチング部分以外に書込みはできません。Excel 上級者ならば、保護を外し独自の冷凍サイクルなどに応用展開が可能です。ただし、元に戻らなくなる恐れがあるので、初級者は保護を外さないことを推奨します。

入力する際の注意事項は 3.2) 項と同じですので、そちらも参照してください。

3.4)「二段」シート

(二段圧縮一段膨張の理論冷凍サイクル)

R 22 二段圧縮一段膨張 理論冷凍サイクルの計算							
この表の数値が緑色に書き込まれます。 飽和温度を消去すれば、緑色への書き込みは消えます。							
① 入力項目			中間冷却器CF' (0~100%)	70%			
to 低圧段飽和温度℃	-20.0		低圧段圧縮機吸込過熱度 K	10			
tm 中間段飽和温度℃			高圧段圧縮機吸込過熱度 K	7			
tk 高圧段飽和温度℃	45.0		凝縮器出口液過冷却度 K	5			
② 計算結果	飽和温度	圧力	温度	比体積	比エンタルピー	比エントロピー	
	℃	MPa	℃	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/(kg·K)	
1 低圧段圧縮機吸込	-20.0	0.245	-10.0	0.0971	403.5	1.807	
2 低圧段圧縮機吐出	8.5	0.651	35.7	0.0415	428.3	1.807	
3 高圧段圧縮機吸込	8.5	0.651	15.5	0.0376	413.0	1.756	
4 高圧段圧縮機吐出	45.0	1.730	67.5	0.0155	438.1	1.756	
5 凝縮器出口	45.0	1.730	40.0	0.000886	249.4		
7 主膨張弁入口	45.0	1.730	13.0	0.000809	215.3		
③	(高圧流量/低圧流量)	R _{min}	R _{max}	R計算結果			
計算結果 R 冷媒流量比		1.094	1.391	1.302			
まとめ	kJ/kg	高圧給動力	低圧給動力	合計給動力	冷凍効果	COP	
Δh 比エンタルピー差		25.1	24.9	57.5	188.1	3.270	

図 12 「二段」シート (R 22 の例)

図 5 に二段圧縮一段膨張の冷凍サイクルを示します。中間冷却器および膨張弁を 2 つ持ち、同一冷媒がサイクル内を循環するサイクルです。なお、計算できるのは理論冷凍サイクルです(等エントロピ圧縮で圧力損失は無視)。

他の入力シートと同様に、黄色ハッチング部に入力します。

中間冷却器 CF' (コンタクトファクター) 等については、付録 A 2 章を参照してください。計算方法の詳細を説明してあります。

計算した二段圧縮冷凍サイクルは $p-h$ 線図、 $T-s$ 線図に青い線で書込まれます。ただし、書き込まれるのは E 列データだけです。書込んだサイクルは図 14、図 15 の形をしています。両図は、図 13 と記号を合わせてあるので、各点の対応を確認してください。

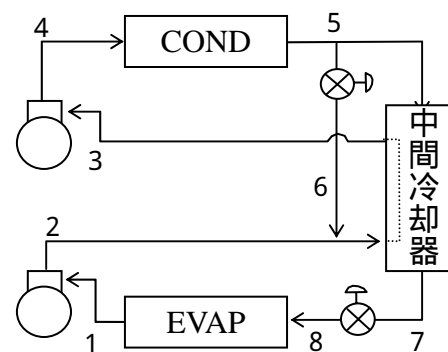


図 13 二段圧縮一段膨張冷凍サイクル

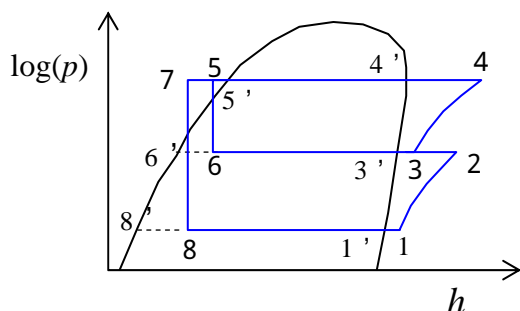


図 14 p - h 線図

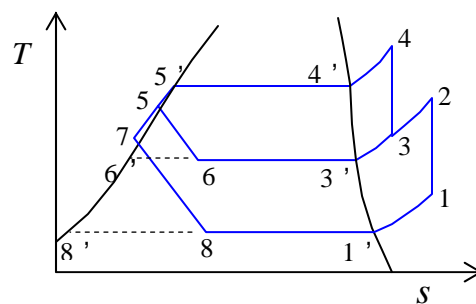


図 15 T - s 線図

各状態点を表 4 に示します。ダッシュ付きの番号は直近の飽和線上の点を意味します。

表 4 二段圧縮一段膨張冷凍サイクルの状態点

点	状態点	点	状態点
1	低段圧縮機吸込み	5	高段用膨張弁入口
2	低段圧縮機吐出し	6	中間冷却器液側入口
3	高段圧縮機吸込み (点 2、点 6 の混合)	7	低段用膨張弁入口
4	高段圧縮機吐出し	8	蒸発器入口

冷凍サイクルを描いていない線図が必要な場合は、[C5] [C6] [C7]セルのデータを消去してください。同様に、「サイクル」「EPR」シート of データも消去する必要があります。その際に、いくつかのセルに #VALUE が表示される場合がありますが、プログラムの動作に問題はありません。再びデータを書込めば正常に計算します。

「二段」シートにも計算式が埋めこんであり、誤操作によって式を壊してしまわないように保護をかけてあります。従って、黄色ハッチング部分以外に書込みはできません。Excel 上級者ならば、保護を外し独自の冷凍サイクルなどに応用展開が可能です。ただし、元に戻らなくなる恐れがあるので、初級者は保護を外さないことを推奨します。

入力する際の注意事項は 3.2)項 3.3)項と同じですので、そちらも参照してください。

3.5) $p - h$ 線図

例として、R22 の $p - h$ 線図を示します。

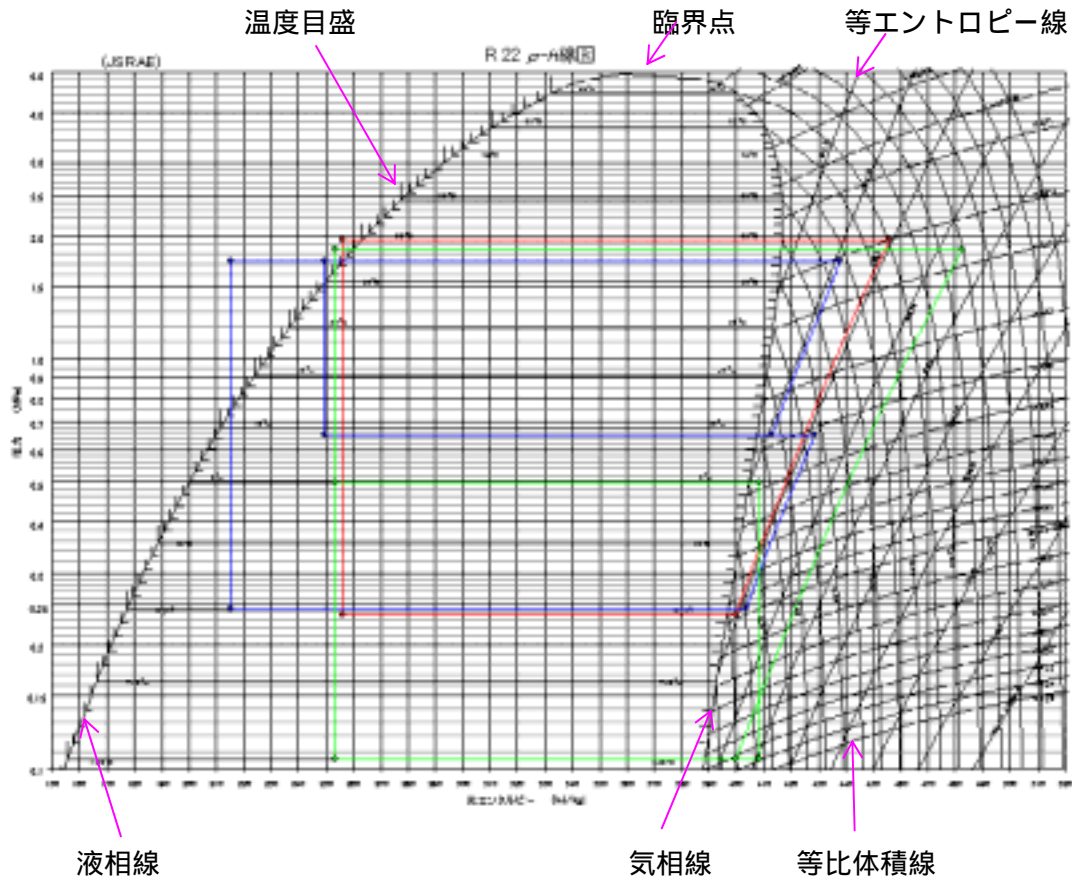


図 16 「 $p - h$ 線図」シート (R22 の例)

$p - h$ 線図は縦軸を圧力（対数目盛）、横軸を比エンタルピーとする線図です。気相線、液相線上に温度を2 刻みで目盛ってあります。なお、本プログラムソフトでは圧縮液域の等温度線や2相域の等乾き度線は省略しています。

上記 $p - h$ 線図には、各シートの入力データに基づく冷凍サイクルが表示されています。赤い線は「サイクル」シートデータによる一段圧縮冷凍サイクル、緑の線は「EPR」シートデータによる蒸発圧力調整弁の理論冷凍サイクル、青い線は「二段」シートデータによる二段圧縮一段膨張の理論冷凍サイクルを示します。

冷凍サイクルの線の消し方は、3.2)~3.4)の説明を参照してください。

[Ctrl] と **[g]** のボタンを同時に押すと、保存・出力用の線図をイメージデータとして作ることができます。イメージデータにはプログラムが付きませんので、ファイルを小さくできます。また、詳細情報は添付されませんので、情報を保護することができます。

なお、「 $p - h$ 線図」シートも誤操作予防のために保護をかけてあります。Excel 上級者ならば、保護を外して独自の $p - h$ 線図を作ることも可能です。

3.6) $T - s$ 線図

例として、R22 の $T - s$ 線図を示します。

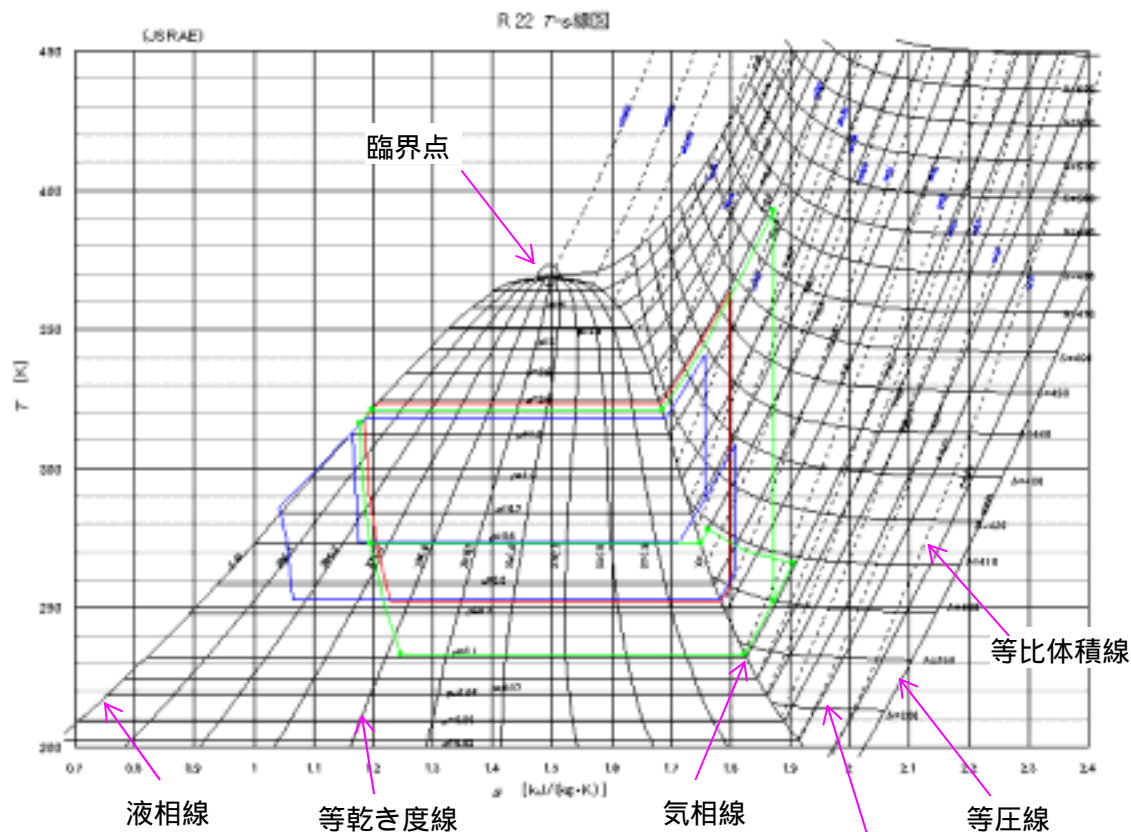


図 17 「 $T - s$ 線図」シート (R22 の例) 等エントロピー線

$T - s$ 線図は縦軸を温度（絶対温度）、横軸を比エントロピーとする線図です。等圧線、等エントロピー線、等比体積線などが書込まれています。この線図ではカルノーサイクルが長方形になります。種々冷凍サイクルを書込んだときに、長方形に近いものほど高効率になります。例えば R123 のような長方形に近いものは高効率を得やすい冷媒になります。

上記 $T - s$ 線図には、各シートの入力データに基づく冷凍サイクルが示されています。赤い線は「サイクル」シートデータによる一段圧縮冷凍サイクル、緑の線は「EPR」シートデータによる蒸発圧力調整弁の理論冷凍サイクル、青い線は「二段」シートデータによる二段圧縮一段膨張の理論冷凍サイクルを示します。

冷凍サイクルの線の消し方は、3.2)~3.4)の説明を参照してください。

Ctrl と **g** のボタンを同時に押すと、保存・出力用の線図をイメージデータとして作ることができます。イメージデータにはプログラムが付きませんので、ファイルを小さくできます。また、詳細情報は添付されませんので、情報を保護することができます。

なお、「 $T - s$ 線図」シートも誤操作予防のために保護をかけてあります。Excel 上級者ならば、保護を外して独自の $T - s$ 線図を作ること可能です。

3.7)「検算飽和」シート (飽和蒸気域の計算誤差を示すシート)

例として、R 22 の「検算飽和」シートを示します。

このシートは飽和蒸気域での本ソフトの計算誤差を示しており、原著に記載された数値と本プログラムソフトの計算値とを対比して誤差を計算しています。表中、原データの列は原著に記載された数値で、本ソフトの列は本プログラムソフトの計算値です。差の列は誤差を示しており、 $[\text{本ソフト計算値}] / [\text{原著データ}] - 1$ を%で表示しています。

本シートに示された範囲で、誤差はほとんど0.00%以下と小さいことが確認できています。ただし、原データの有効桁数が小さい場合などでは、四捨五入のために誤差の%値が大きくなっていますので、その領域のデータは丸め誤差があることに注意してください。

また例えば下表のように低温域の飽和液比エンタルピーの場合などでは誤差が少し大きくなっていますが、その理由は分かっていません。このような場合には、本ソフトの計算値はシートに示された誤差を含むとして取扱ってください。

	A	B	D	E	G	H	I	L	M	N	P	R	S	
1					R22 冷凍サイクル計算ソフトの計算精度 (飽和)									
2		1) 臨界点付近では誤差が大きくなっている。原因はPVT式が不安定域に入るためである。												
3		2) 原著文献では精度に関して平均偏差で表して、蒸気圧力:0.072k、比熱:0.53kである。												
4														
5	温度	原著	本ソフト	差	原著	本ソフト	差	原著	本ソフト	差	原著	本ソフト	差	
6	t	ρ_s	PsT	本/原-1	v'	VIT	本/原-1	v''	VPT	本/原-1	h'	HIT	本/原-1	
7	℃	MPa	MPa	%	m ³ /kg	m ³ /kg	%	m ³ /kg	m ³ /kg	%	kJ/kg	kJ/kg	%	
8	-100	0.001957	0.0019570	0.00%	0.00063765	0.00063765	0.00%	0.4009	0.4090	0.00%	86.24	86.27	0.00%	
9	-99	0.002150	0.0021504	0.00%	0.00063868	0.00063868	0.00%	7.7687	7.7680	0.00%	87.50	87.52	0.02%	
10	-98	0.002360	0.0023598	0.00%	0.00063971	0.00063971	0.00%	7.1187	7.1187	0.00%	88.71	88.76	0.05%	
11	-97	0.002586	0.0025863	0.00%	0.00064075	0.00064075	0.00%	6.5312	6.5313	0.00%	89.97	90.00	0.03%	
12	-96	0.002831	0.0028309	0.00%	0.00064179	0.00064179	0.00%	5.9995	5.9995	0.00%	91.19	91.23	0.05%	
13	-95	0.003095	0.0030948	0.00%	0.00064284	0.00064284	0.00%	5.5179	5.5179	0.00%	92.44	92.45	0.02%	
14	-94	0.003379	0.0033792	0.00%	0.00064390	0.00064390	0.00%	5.0808	5.0808	0.00%	93.66	93.68	0.03%	
15	-93	0.003685	0.0036853	0.00%	0.00064495	0.00064495	0.00%	4.6837	4.6837	0.00%	94.87	94.90	0.04%	
16	-92	0.004014	0.0040145	0.00%	0.00064603	0.00064603	0.00%	4.3225	4.3225	0.00%	96.08	96.12	0.04%	
17	-91	0.004368	0.0043680	0.00%	0.00064710	0.00064710	0.00%	3.9937	3.9937	0.00%	97.30	97.33	0.03%	
18	-90	0.004747	0.0047473	0.00%	0.00064818	0.00064818	0.00%	3.6939	3.6938	0.00%	98.51	98.54	0.02%	
19	-89	0.005154	0.0051538	0.00%	0.00064926	0.00064926	0.00%	3.4202	3.4201	0.00%	99.73	99.74	0.01%	
20	-88	0.005589	0.0055891	0.00%	0.00065035	0.00065035	0.00%	3.1700	3.1700	0.00%	100.90	100.94	0.04%	
21	-87	0.006055	0.0060547	0.00%	0.00065144	0.00065144	0.00%	2.9412	2.9412	0.00%	102.11	102.13	0.02%	
22	-86	0.006552	0.0065523	0.00%	0.00065255	0.00065255	0.00%	2.7315	2.7315	0.00%	103.28	103.32	0.03%	
23	-85	0.007084	0.0070836	0.00%	0.00065365	0.00065365	0.00%	2.5394	2.5394	0.00%	104.50	104.51	0.01%	
24	-84	0.007650	0.0076502	0.00%	0.00065477	0.00065477	0.00%	2.3601	2.3600	0.00%	105.67	105.69	0.02%	
25	-83	0.008254	0.0082540	0.00%	0.00065589	0.00065589	0.00%	2.2010	2.2010	0.00%	106.84	106.87	0.02%	
26	-82	0.008897	0.0088969	0.00%	0.00065701	0.00065701	0.00%	2.0519	2.0519	0.00%	108.02	108.04	0.02%	
27	-81	0.009581	0.0095808	0.00%	0.00065814	0.00065814	0.00%	1.9147	1.9147	0.00%	109.19	109.21	0.02%	
28	-80	0.010308	0.010308	0.00%	0.00065928	0.00065928	0.00%	1.7883	1.7882	0.00%	110.36	110.38	0.02%	

図 18 「検算飽和」シート (R 22 の例)

3.8)「検算過熱」シート (過熱蒸気域の計算誤差を示すシート)

例として、R 22 の「検算過熱」シートを示します。

このシートは加熱蒸気域での本ソフトの計算誤差を示しており、原著に記載された数値と本プログラムソフトの計算値とを対比して誤差を計算しています。表中、原著の列は原著に記載された数値で、本ソフトの列は本プログラムソフトの計算値です。差の列は誤差を示しており、 $[\text{本ソフト計算値}] / [\text{原著データ}] - 1$ を％で表示しています。

本シートに示された範囲で、誤差はほとんど 0.00％程度と小さいことが確認できています。ただし、原データの有効桁数が小さい場合などでは、四捨五入のために誤差の％値が大きくなっていますので、その領域のデータは丸め誤差があることに注意してください。

また下表にて温度 60 の比エントロピーのように、誤差が大きくなっている場合がありますが、その理由は分かっていません。ほとんどは丸め誤差であると思われませんが、このような場合には本ソフトの計算値はシートに示された誤差を含むとして取扱ってください。

R 22 冷凍サイクル計算ソフトの計算精度 (圧縮液、過熱ガス)									
比体積									
t	原著	本ソフト	本/原-1	比エンタルピー			比エントロピー		
°C	m ³ /kg	m ³ /kg	%	原著	本ソフト	%	原著	本ソフト	%
-25	0.13615	0.13615	0.00%	146.76	146.76	0.00%	1.194	1.194	0.00%
-20	0.13942	0.13942	0.00%	147.52	147.52	0.00%	1.197	1.197	0.00%
-15	0.14266	0.14266	0.00%	148.29	148.29	0.00%	1.200	1.200	0.00%
-10	0.14587	0.14587	0.00%	149.06	149.06	0.00%	1.203	1.203	0.00%
-5	0.14906	0.14905	0.00%	149.83	149.83	0.00%	1.206	1.206	0.00%
0	0.15222	0.15221	0.00%	150.61	150.61	0.00%	1.209	1.209	0.00%
5	0.15536	0.15535	0.00%	151.39	151.39	0.00%	1.212	1.212	0.00%
10	0.15848	0.15848	0.00%	152.17	152.17	0.00%	1.214	1.214	0.00%
15	0.16158	0.16158	0.00%	152.96	152.96	0.00%	1.217	1.217	0.00%
20	0.16467	0.16467	0.00%	153.75	153.75	0.00%	1.220	1.220	0.00%
25	0.16774	0.16774	0.00%	154.55	154.55	0.00%	1.223	1.223	0.00%
30	0.17081	0.17081	0.00%	155.35	155.35	0.00%	1.225	1.225	0.00%
35	0.17386	0.17386	0.00%	156.16	156.16	0.00%	1.228	1.228	0.00%
40	0.17690	0.17690	0.00%	156.98	156.97	-0.01%	1.231	1.231	-0.01%
45	0.17993	0.17993	0.00%	157.79	157.79	0.00%	1.233	1.233	-0.01%
50	0.18296	0.18296	0.00%	158.62	158.61	0.00%	1.236	1.236	0.00%
55	0.18598	0.18598	0.01%	159.45	159.44	-0.01%	1.238	1.238	-0.01%
60	0.18897	0.18899	0.01%	160.28	160.27	0.00%	1.240	1.241	0.04%
65	0.19197	0.19201	0.02%	161.12	161.11	0.00%	1.243	1.243	0.00%

図 19 「検算過熱」シート (R 22 の例)

4 . 計算上の注意

このプログラムソフトでは、ニュートン法などの逐次近似法を多く用いています。

逐次近似法は求める解を挟むある範囲内で計算を繰返すので、場合によっては式の適用範囲を超えて計算してしまう場合があります。従って、臨界点の近くや低温の領域などでは計算できない場合があります。線図に示された範囲や飽和蒸気表に示された範囲は、計算できた結果を表示したものです。なるべくこの範囲で計算してください。ただし、臨界点付近の領域では表示されている範囲内であっても計算できない等の例外があります。

臨界点のどの位近くまで計算できるかは冷媒によって異なります。R 22 のプログラムは直近でも計算可能ですが、他の冷媒では直近は計算できません。これはプログラムの動作を軽くする目的で、使用しているアルゴリズムでは計算できない範囲が異なるためです。ただし計算できない場合は、プログラムは強制的に中断されます。したがって、臨界点近くの領域の熱力学性質を検討する場合は、原著文献を参照してください。

計算結果が無限大になってしまう場合は、Excel が計算を中断します。この場合、該当セルに #VALUE が表示されます (Excel での中断なので、図 18 の警告は出ません)。入力したデータに誤りがあったのが原因です。適切なデータを再入力すれば正常な状態に戻ります。

計算が収束しない場合は、Excel が延々と計算を続けるのを避けるために、プログラムが自分で計算を中断します。この場合は図 18 の警告表示が出ます。OK をクリックすると、以前の状態に戻ります。計算できない領域のデータを入力したことなどが主な原因です。適切なデータを再入力すれば正常な状態に戻ります。



図 18 警告ダイアログ

5 . 折込関数 (計算精度ほか)

折込関数は、「飽和表」シートの0 の行に組み込まれた関数以外にもありますので、以下に紹介します。これらは Excel の関数と同じように使えます。ただし、その冷媒のプログラム (Excel ではブックと言う) に各関数は付属しており、当該ブック内のシートで使えますが、他の Excel ファイル (ブック) では動作しません。

冷媒が違えば同じ名前の関数でも、状態方程式も定数値も違うので、計算結果は同じにはなりません。従って、関数はブック内のみで使えるようになっています。

プログラムの計算結果と原著文献に掲載された値とを対比した表を、各冷媒の「検算飽和」、「検算過熱」シートに表示してあります。計算精度や計算可能範囲の確認に使ってください。付録の、折込関数 (Function) 一覧 (P.29) も参照してください。

表 5.1) 単一冷媒 (R 22、R 123)

求める状態量		関数名 (単位)	変数
飽和状態	飽和圧力	PsT(T) (MPa)	T=温度 (K)
	飽和温度	TsP(P) (K)	P=圧力 (MPa)
蒸気 (気相)	圧力	PVT(V,T) (MPa)	V=比体積 (m ³ /kg)、T=温度 (K)
	比体積	VPT(P,T) (m ³ /kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エンタルピー	HVT(V,T) (kJ/kg)	V=比体積 (m ³ /kg)、T=温度 (K)
	比エントロピー	SVT(V,T) (kJ/(kg·K))	
温度	TPS(P,S) (K)	P=圧力 (MPa)、S=比エントロピー (kJ/(kg·K))	
飽和液体 (液相)	比エンタルピー	HfT(T) (kJ/kg)	T=飽和液体の温度 (K)
	比エントロピー	SfT(T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfT(T) (m ³ /kg)	
圧縮液体 (液相)	比エンタルピー	HfPT(P,T) (kJ/kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エントロピー	SfPT(P,T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfPT(P,T) (m ³ /kg)	

表 5.2) 単一冷媒 (R 125、R 134a、R 143a、R 32)

求める状態量		関数名 (単位)	変数
飽和状態	飽和圧力	PsT(T) (MPa)	T=温度 (K)
	飽和温度	TsP(P) (K)	P=圧力 (MPa)
蒸気 (気相)	圧力	PVT(V,T) (MPa)	V=比体積 (m ³ /kg)、T=温度 (K)
	比体積	VPT(P,T) (m ³ /kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エンタルピー	HPT(P,T) (kJ/kg)	
	比エントロピー	SPT(P,T) (kJ/(kg·K))	
温度	TPS(P,S) (K)	P=圧力 (MPa)、S=比エントロピー (kJ/(kg·K))	
飽和液体 (液相)	比エンタルピー	HfT(T) (kJ/kg)	T=飽和液体の温度 (K)
	比エントロピー	SfT(T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfT(T) (m ³ /kg)	
圧縮液体 (液相)	比エンタルピー	HfPT(P,T) (kJ/kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エントロピー	SfPT(P,T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfPT(P,T) (m ³ /kg)	

表 5.3) 混合冷媒 (R 404A、 R 407C、 R 407E、 R 410A、 R 410B、 R 507A)

求める状態量		関数名 (単位)	変数
飽和液体	飽和圧力	PfT(T) (MPa)	T=温度 (K)
	飽和温度	TfP(P) (K)	P=圧力 (MPa)
飽和蒸気	飽和圧力	PsT(T) (MPa)	T=温度 (K)
	飽和温度	TsP(P) (K)	P=圧力 (MPa)
蒸気 (気相)	圧力	PVT(V,T) (MPa)	V=比体積 (m ³ /kg)、T=温度 (K)
	比体積	VPT(P,T) (m ³ /kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エンタルピー	HPT(P,T) (kJ/kg)	
	比エントロピー	SPT(P,T) (kJ/(kg·K))	
	温度	TPS(P,S) (K)	P=圧力 (MPa)、S=比エントロピー (kJ/(kg·K))
飽和液体 (液相)	比エンタルピー	HfT(T) (kJ/kg)	T=飽和液の温度 (K)
	比エントロピー	SfT(T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfT(T) (m ³ /kg)	
圧縮液体 (液相)	比エンタルピー	HfPT(P,T) (kJ/kg)	P=圧力 (MPa)、T=温度 (K)
	比エントロピー	SfPT(P,T) (kJ/(kg·K))	
	比体積	VfPT(P,T) (m ³ /kg)	

6 . 使用上の注意

このプログラムソフトを使用することによって、ユーザが受ける可能性がある全ての損害等について、配布元、開発者は賠償請求の責を免れるものとします。

このプログラムは日本冷凍空調学会 冷媒技術分科会が、作成、監修、検査、承認したものです (開発担当 冷媒技術分科会 宇田川義紘)

平成 1 7 年 4 月 14 日 配布元 社団法人日本冷凍空調学会

原著文献

- (1) 渡部他 ; 冷媒熱物性値表(R22 蒸気表)、日本冷凍協会、東京、(1975-11-19)
- (2) 蒔田、田中、渡部他 ; 代替フロン類の熱物性、日本冷凍協会、日本フロンガス協会、(1990-11-20)
- (3) R.Tillner-Roth, J. Li,A.Yokozeki, H.Sato, K.Watanabe ; Thermodynamic Properties of Pure and Blended Hydrofluorocarbon (HFC) Refrigerants (HFC 系純粋及び混合冷媒の熱力学性質)、日本冷凍空調学会、東京、(1998-5-26)