DAIKIN

KH-1

ダイキンのフルオロカーボンガス

# HFC-32

ダイキン工業株式会社

# はじめに

HFC-32は塩素を含まずオゾン層破壊のない沸点が-52℃のフルオロカーボンです。

HFC-32はオゾン破壊物質であるHCFC-22の主要代替冷媒として世界的に用いられている混合冷媒R-410Aの構成成分であります。しかしながらこのR-410AはGWPが2088と大きいため地球温暖化防止の観点から更に低GWPの冷媒が求められる状況となっています。

HFC-32のGWPはR-410Aの約1/3である上にそれ自身冷媒として優れた特性を持っているため、R-410Aの代替冷媒として単体でこれを用いる技術が開発されました。

特に空調機分野では冷媒候補選択が難しく、自然冷媒などのより低GWP物質も候補に提案されていますが、実用化にはさまざまな課題があります。一方HFC-32は毒性がほとんどなく、化学的にも安定な物質であり、商業生産品であるため容易に入手でき、圧力がR-410Aと同等であり既存技術の延長で使用でき、更に機器のエネルギー効率に優れているため、当面の有力な選択肢となっています。

先進国のR-410A代替だけでなく、途上国のHCFC-22代替としても注目されています。

ただ、若干の微燃性(日本では高圧ガス保安法一般則で可燃性ガスに該当しない不活性なガス、ASHRAE34規格ではクラス2L(微燃))があるため国際的な安全規格に従い、リスクアセスメントの結果などにも配慮して使用することが必要です。

目次

**1.性質**
1-1 一般的性質……2
1-2 燃焼性……3
1-3 飽和蒸気圧曲線……4
1-4 理論冷凍サイクル特性……5
1-5 化学的安定性……5
1-6 水分溶解性……6
1-7 乾燥剤……6
1-8 高分子材料への影響……7
1-9 冷凍機油との相溶性……8
**2.安全性**……9
**3.取扱上の注意**……9
(付)-1 熱力学特性(飽和表)……10,11
(付)-2 圧力・エンタルピ線図……12

# 1.性質

## 1-1 一般的性質

| | | 単位 | HFC-32 | R-410A | HCFC-22 |
|---|---|---|---|---|---|
| 成分 | | | HFC-32 | HFC-32/HFC-125 | HCFC-22 |
| 化学式 | | | $CH_2F_2$ | $CH_2F_2/CHF_2CF_3$ | $CHClF_2$ |
| 混合比率 | | mass% | 100 | 50/50 | 100 |
| 分子量 | | | 52.0 | 72.6 | 86.5 |
| 沸点 | | ℃ | −51.7 | −51.4 | −40.8 |
| 凝固点 | | ℃ | −136 | − | −160 |
| 臨界温度 | | ℃ | 78.1 | 72.0 | 96.2 |
| 臨界圧力 | | MPa | 5.78 | 4.95 | 4.99 |
| 臨界密度 | | $kg/m^3$ | 424 | 486 | 515 |
| 飽和液体密度 | | $kg/m^3$ | 961 | 1059 | 1191 |
| 飽和蒸気密度 | | $kg/m^3$ | 47.34 | 64.87 | 44.23 |
| 粘度 | 飽和液 | mPa·s | 0.116 | 0.121 | 0.178 |
| | 常圧蒸気 | mPa·s | 0.0126 | 0.0129 | 0.0128 |
| 比熱 | 飽和液 | kJ/kg·K | 1.937 | 1.711 | 1.256 |
| | 常圧蒸気 | kJ/kg·K | 0.848 | 0.818 | 0.662 |
| 蒸発潜熱 | (沸点) | kJ/kg | 382 | 275 | 233 |
| 熱伝導率 | 飽和液 | mW/m·K | 125 | 87 | 87 |
| | 常圧蒸気 | mW/m·K | 13 | 13 | 11 |
| 絶縁破壊電圧 | 常圧蒸気 | kV | 2.8 | 4.8 | 7.2 |
| 誘電率 | 飽和液 | | 14.27 | 7.88 | 6.35 |
| 作業環境暴露限界濃度 | | ppm | 1000*2 | 1000*3 | 1000*4 |
| オゾン破壊係数(ODP) | | CFC11=1 | 0 | 0 | 0.055 |
| 地球温暖化係数(GWP)*1 | | $CO_2$=1 | 675 | 2088 | 1810 |
| 水の飽和溶解度 | | ppm | 3400 | 1600 | 1300 |

・データは特に記載のない限り、25℃の値を示す。
*1 地球温暖化係数: IPCC 第4次報告書(2007)に基づく。積分期間100年値。混合物はそれに基づく計算値。
*2 AIHAのWEEL-TWA値。
*3 各成分のAIHAのWEEL-TWA値に基づく計算値。
*4 日本産業衛生学会の推奨値。

## 1-2 燃焼性

HFC-32は可燃性ですが、プロパン等の炭化水素冷媒に比べるとその燃焼性は非常に弱く、微燃性冷媒と位置づけられています。使用にあたっては、各国及び国際的な安全規格に従い、リスクアセスメントの結果などにも配慮して使用することが必要です。

燃焼性データと各種規格による分類

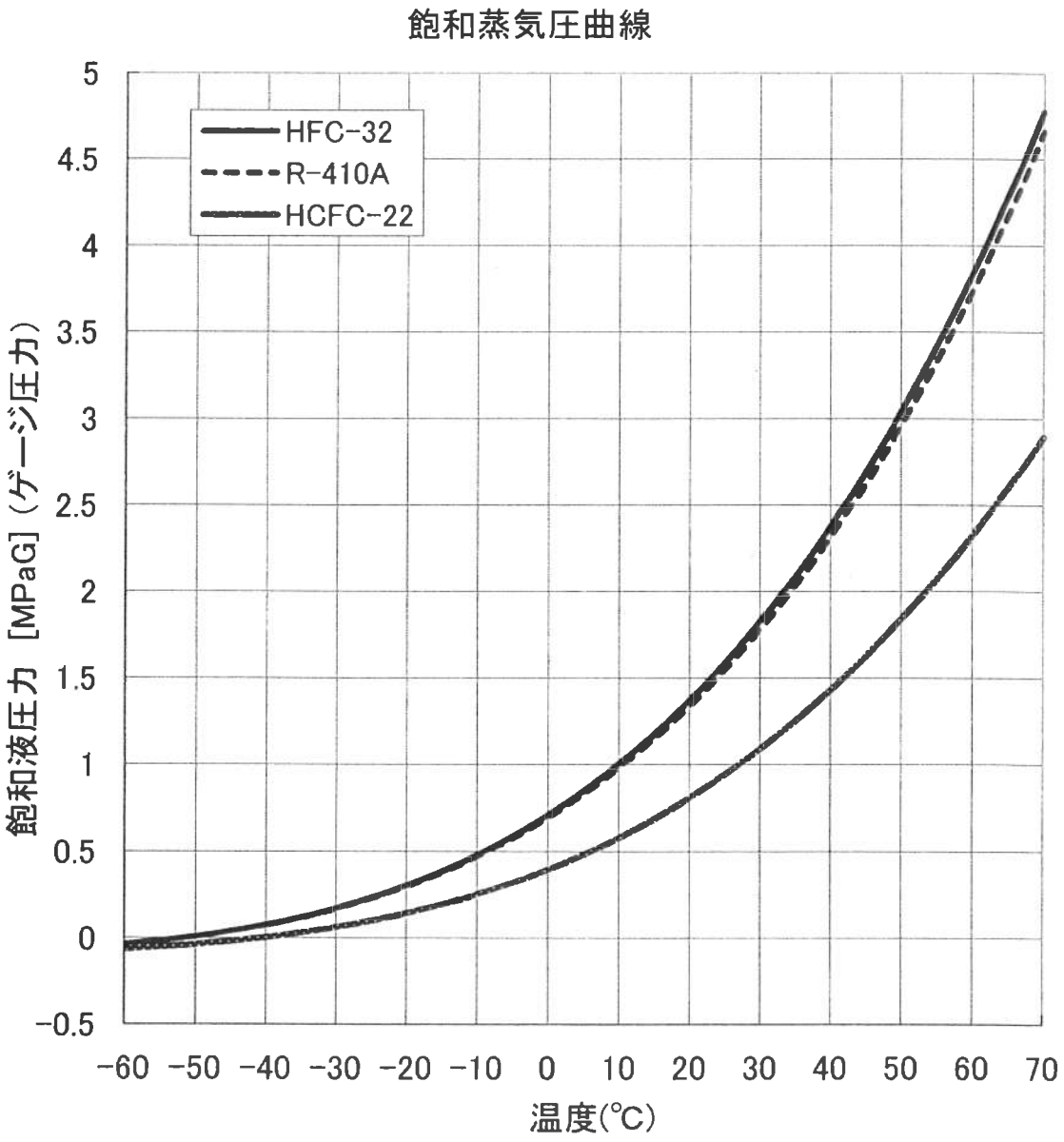
| 冷媒 | | HFC-32 | R-410A | R-22 | アンモニア | プロパン |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 燃焼範囲（空気中） | 燃焼下限界（LFL）vol.% | 13.6 | 無し | 無し | 15 | 2.2 |
| | 燃焼上限界（UFL）vol.% | 28.4 | | | 28 | 9.5 |
| 最小着火エネルギー | mJ | 30～100 | — | — | 不確定 | 0.25 |
| 最大燃焼速度（BV） | cm/s | 6.7 | — | — | 7.2 | 38.7 |
| 燃焼熱（HOC） | kJ/kg | 9,400 | — | — | 18,600 | 45,700 |
| 高圧ガス保安法（一般高圧ガス保安規則） | | 可燃性ガス非該当 不活性ガス | 可燃性ガス非該当 不活性ガス | 可燃性ガス非該当 不活性ガス | 可燃性ガス | 可燃性ガス |
| ASHRAE規格 | | 2L（微燃性） | 1（不燃性） | 1（不燃性） | 2L（微燃性） | 3（強燃性） |
| ISO規格 | | 2L（微燃性） | 1（不燃性） | 1（不燃性） | 2L（微燃性） | 3（強燃性） |
| GHS（化学品の分類および表示に関する世界調和システム） | | 区分 1（極めて可燃性の高いガス） | 区分外 | 区分外 | 区分 1（極めて可燃性の高いガス） | 区分 1（極めて可燃性の高いガス） |

(参考)日米及び国際規格による冷媒の燃焼性分類

| 制定 | 日本 | ASHRAE（米国） | 国際標準化機構（ISO） | 国際連合（UN） |
|---|---|---|---|---|
| 規格等 | 高圧ガス保安法（一般高圧ガス保安規則） | ASHRAE 34-2010 | ISO/FDIS 817:2012 | GHS改定3版:2009 |
| 燃焼性分類 | 可燃性ガス<br>掲名ガス　および<br>LFL≦10vol.%　または<br>UFL-LFL≧20% | クラス3;強燃<br>LFL≦0.10kg/m³　または<br>HOC≧19,000kJ/kg | クラス3;強燃<br>LFL≦3.5vol.%　または<br>HOC≧19,000kJ/kg | 区分1;極めて可燃性の高いガス<br>LFL≦13vol.%　または<br>UFL−LFL≧12% |
| | | クラス2;弱燃<br>LFL＞0.10kg/m³　かつ<br>HOC＜19,000kJ/kg<br>クラス2L;微燃<br>BV≦10cm/sec | クラス2;弱燃<br>LFL＞3.5vol.%　かつ<br>HOC＜19,000kJ/kg<br>クラス2L;微燃<br>BV≦10cm/sec | 区分2;可燃性の高いガス<br>区分1以外の燃焼範囲を有するもの |
| | 不活性ガス<br>掲名ガス　および<br>可燃性ガス以外の<br>フルオロカーボン | クラス1;不燃<br>燃焼範囲なし | クラス1;不燃<br>燃焼範囲なし | 区分外<br>燃焼範囲のないもの |

## 1-3 飽和蒸気圧曲線

下図にHFC-32及びR-410A、HCFC-22の温度と飽和圧力の関係を示します。
この図から解るように、HFC-32はR-410Aに近い圧力となります。



## 1-4 理論冷凍サイクル特性

HFC-32はR-410Aに比べ能力が約15%、COPが約6%高く、能力、エネルギー効率共に極めて優れた性能を示します(このため地球温暖化問題に対しては、機器のCO2排出への間接影響を小さくすることに寄与できます)。しかし吐出ガス温度が約20℃高くなりますので、機器設計に配慮が必要です。

| | | HFC-32 | R-410A | HCFC-22 |
|---|---|---|---|---|
| 蒸発圧力 MPa | | 3.14 | 3.07 | 1.94 |
| 凝縮圧力 MPa | | 0.81 | 0.80 | 0.50 |
| 温度グライド*1 ℃ | | – | 0.11 | – |
| 吐出温度 ℃ | | 106 | 83 | 88 |
| 冷房 | COP*2 | 2.75 | 2.57 | 2.90 |
| | 能力 kJ/m³ | 4812 | 4150 | 3010 |
| 暖房 | COP*2 | 3.75 | 3.57 | 3.90 |
| | 能力 kJ/m³ | 6562 | 5764 | 4049 |

| | |
|---|---|
| 蒸発温度 | 0℃ |
| 凝縮温度 | 50℃ |
| 過熱温度 | 0K |
| 過冷却温度 | 0K |
| 圧縮機効率 | 70% |

*1 露点沸点温度差
(この場合は凝縮圧力における値を示す)

*2 成績係数
(エネルギー効率の指標)

## 1-5 化学的安定性

HFC冷媒の化学的安定性に影響を与える要因は、冷凍機油、水分、共存金属、乾燥剤や空気の混入などです。
下記データはHFC-32／エステル油のシールドチューブ試験例です。
HFC-32の安定性はR-410Aとほぼ同等の傾向を示します。

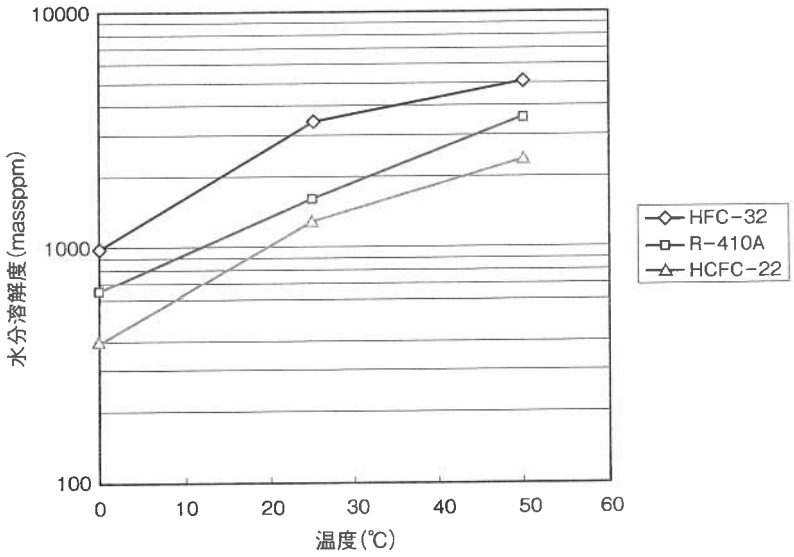
シールドチューブ試験結果　冷媒／油=1/1(mass比)
金属(Fe, Cu, Al)丸棒共存
冷凍機油　HFC-32,R-410A／POE、HCFC-22／鉱油

| 冷媒 | 加熱期間(日) | 加熱温度(℃) | 酸生成物*濃度 HCl,HF(massppm) |
|---|---|---|---|
| HFC-32 | 30 | 175 | 1 |
| | 60 | 175 | 4 |
| R-410A | 30 | 175 | 2 |
| | 60 | 175 | 3 |
| HCFC-22 | 30 | 175 | 9 |
| | 60 | 175 | 35 |

*冷媒の分解によって生じる酸性物質

## 1-6 水分溶解性

フルオロカーボン類の飽和水分溶解度は一般的に低い傾向にありますが、HFC-32は既存冷媒(HCFC、混合HFC冷媒)よりも高い水分溶解度を示します。




## 1-7 乾燥剤

冷凍システム中の水分を除去して、氷結によるキャピラリー詰りを防止し、更にエステル油の加熱分解を防止するため乾燥剤を使用する場合があります。

水分吸着に有効な乾燥剤として合成ゼオライド(モレキュラー・シーブス®など)がありますが、冷媒は吸着せず水分のみを選択吸着させるために冷媒の分子径より小さい細孔径のモレキュラー・シーブスが適切です。冷媒の分子径とモレキュラー・シーブスの適合性を示します。

| 冷媒/分子径(Å) ＼ モレキュラー・シーブス* 細孔径(Å) | | 4A-NRG* 4 | XH-9* 3 | XH-10* 3 |
|---|---|---|---|---|
| HFC-32 | 3.3 | × | △～× | ○ |
| R-410A | 3.3,4.2 | × | ○ | ○ |
| HCFC-22 | 3.8 | × | △～× | ○ |

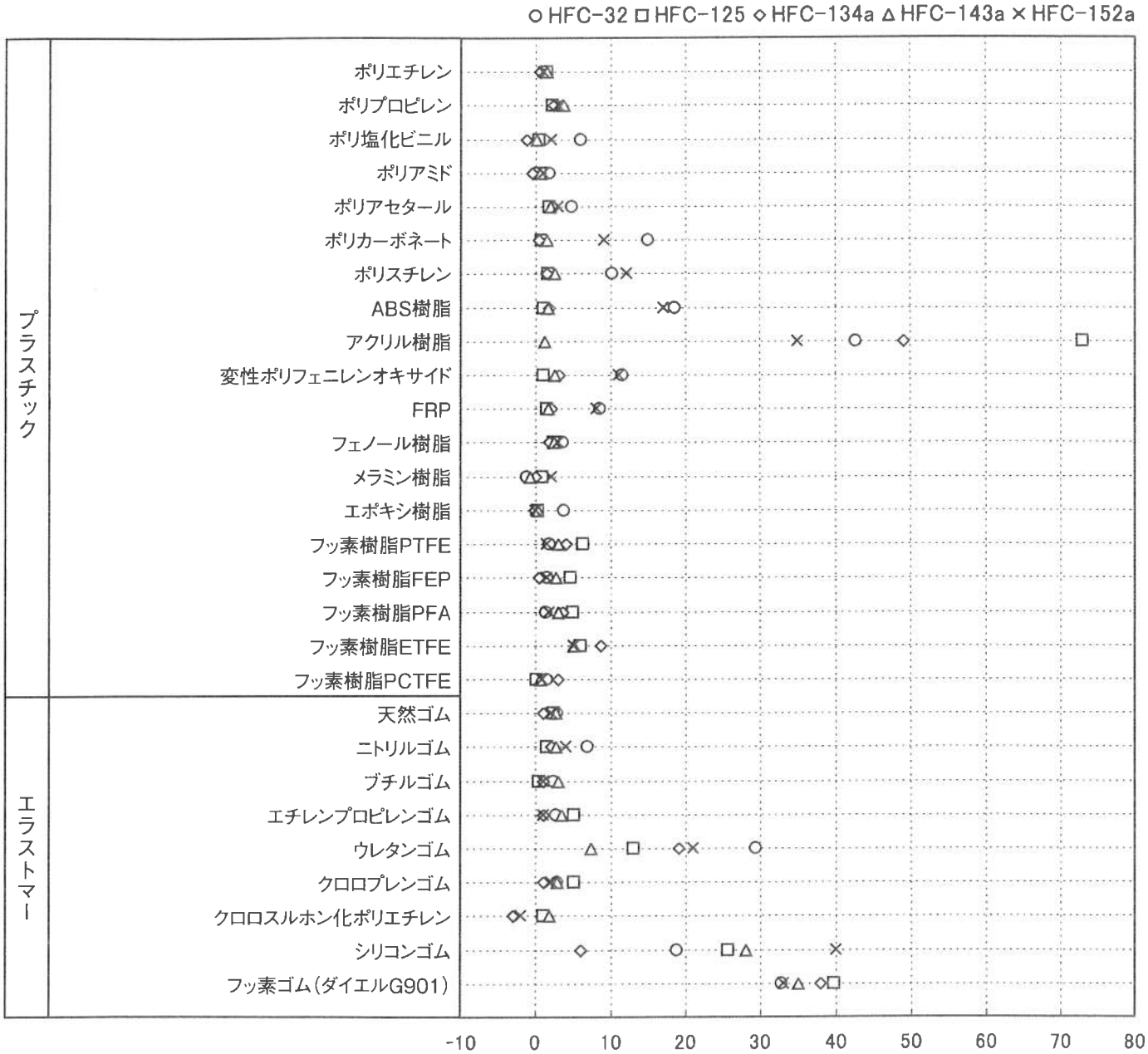
○適切
△要注意
×不適切

*ユニオン昭和(株)製　　参考:水の分子径2.8Å

注)乾燥剤は冷媒を劣化させる一因ともなりますのでその選択には十分注意下さい。

## 1-8 高分子材料への影響

試験結果はHFC-32及び既存HFC成分の高分子材料への影響を示したものです。
プラスチックやゴムは、同じ成分でも加工法、充てん剤、可塑剤、架橋剤等の種類や量によっても
性質が異なり、また冷凍機油と共存した状態では予想外の変化をもたらすことがあります。
そのため、実用上の信頼性については、その材質について個々に確認試験を行うようにして下さい。




測定条件：50℃で2週間浸漬し取り出し直後に測定

## 1-9 冷凍機油との相溶性

一般的にHFC類は鉱油系冷凍機油との相溶性は悪く、分離する傾向にあります。
HFC類用冷凍機油としてはポリオールエステル系(POE)、ポリビニルエーテル系(PVE)、ポリアルキレングリコール(PAG)等の合成油が推奨されています。

冷凍機油との相溶性(低温側領域)

| | HFC-32 | R-410A |
|---|---|---|
| 鉱油 | 非相溶 | 非相溶 |
| R-410A用POE油 | 20℃で分離 | −10℃で分離 |
| R-410A用PVE油 | 20℃で分離 | −47℃で分離 |

HFC-32はR-410Aと比較すると油との相溶性が乏しいため、R-410A用冷凍機では油戻りが不十分になり潤滑不良を起こす可能性があります。現在、冷凍機油メーカーで相溶性を改善したHFC-32用冷凍機油の開発が行われています。HFC-32を単独冷媒としてご使用になる場合は、冷凍機油メーカーにお問い合わせ願います。

## 2.安全性

HFC-32は、米国TSCA、欧州EINECSで登録済みであり、日本でも化審法の審査が終了し、当社は製造許可を受けています。

毒性については、世界の主要フルオロカーボンメーカーが自主的に毒性を調べるべく、PAFTを結成して詳細な毒性試験を実施しました。試験は既に終了しており、いずれの項目においても、実用上問題となるような所見は無く、R-410A、R-22と同等あるいは、それ以上に安全であろうと思われます。

注) PAFT:代替フルオロカーボン国際共同安全性確認試験

| | CAS | REACH | 作業環境曝露限界濃度* |
|---|---|---|---|
| HFC-32 | 75-10-5 | 200-839-4 | 1000ppm |

* 8時間の時間加重平均値、米国産業衛生協会の推奨値による

## 3.取扱い上の注意

(1)法規

HFC-32は、液化ガスには、高圧ガス保安法の適用を受けます。従ってご使用前に高圧ガス保安法をご参照ください。この法規には高圧ガスによる災害を防止する為に、必要な基準を定めてあります。

(2) 容器の取り扱い

HFC-32は、高圧ガスですので、高圧容器に充填されています。容器自体は安全性の高いものですが、乱暴に取り扱いますと、容器に損傷を生じたりして思わぬ事故の原因となります。落としたり、倒したり、あるいは強く打ったり、転がしたりしないように、くれぐれも注意してください。

(3) 貯蔵

HFC-32は、可燃性ガスには該当しません(日本では高圧ガス保安法一般則で不燃性不活性なガス)。一般の高圧ガス同様貯蔵には、通風の良い冷暗所を選んでください。また、高圧容器には、安全装置が設置されていて、一定温度(可溶栓)、または圧力(バネ式安全弁)以上になるとガスが噴出することがありますので、ご注意ください。

(4) 換気

HFC-32のガスは、空気より重いので低部に滞まる傾向があります。ガス漏れにより室内に充満しますと酸素が必要量より少なくなって酸素欠乏症状を起こすことがあります。

(5) 保健衛生上の注意

HFC-32は、一般の液化高圧ガスと同様直接皮膚に触れたり、目に入れたり、飲んだりしないようご注意ください。
緊急処置法を下記に示します。

●吸引した場合

・被災者を新鮮な空気のある場所に移動し、呼吸しやすい姿勢で休息させてください。
・毛布等で保温してください。
・呼吸が弱かったり、止まっている場合は、衣類を緩め呼吸気道を確保した上で人口呼吸を行ってください。
・必要に応じて医師の診察を受けてください。

●目に入った場合

・直ちに清浄な水で15分間以上洗眼し、こすったりまばたきをできるだけ避けてください。
・必要に応じて専門医にすぐ連絡して診察を受けて下さい。
・このような事故を避けるために保護眼鏡をかけることが必要です。

●直接皮膚への接触

・HFC-32を液体状態で大気中に放出すると、蒸発により急激な温度低下を起こします。
・液体が皮膚などに触れると、凍傷を起こすことがあります。
・多量に皮膚に触れた場合、凍傷を起こしますので、直ちに専門医の診察を受けてください。

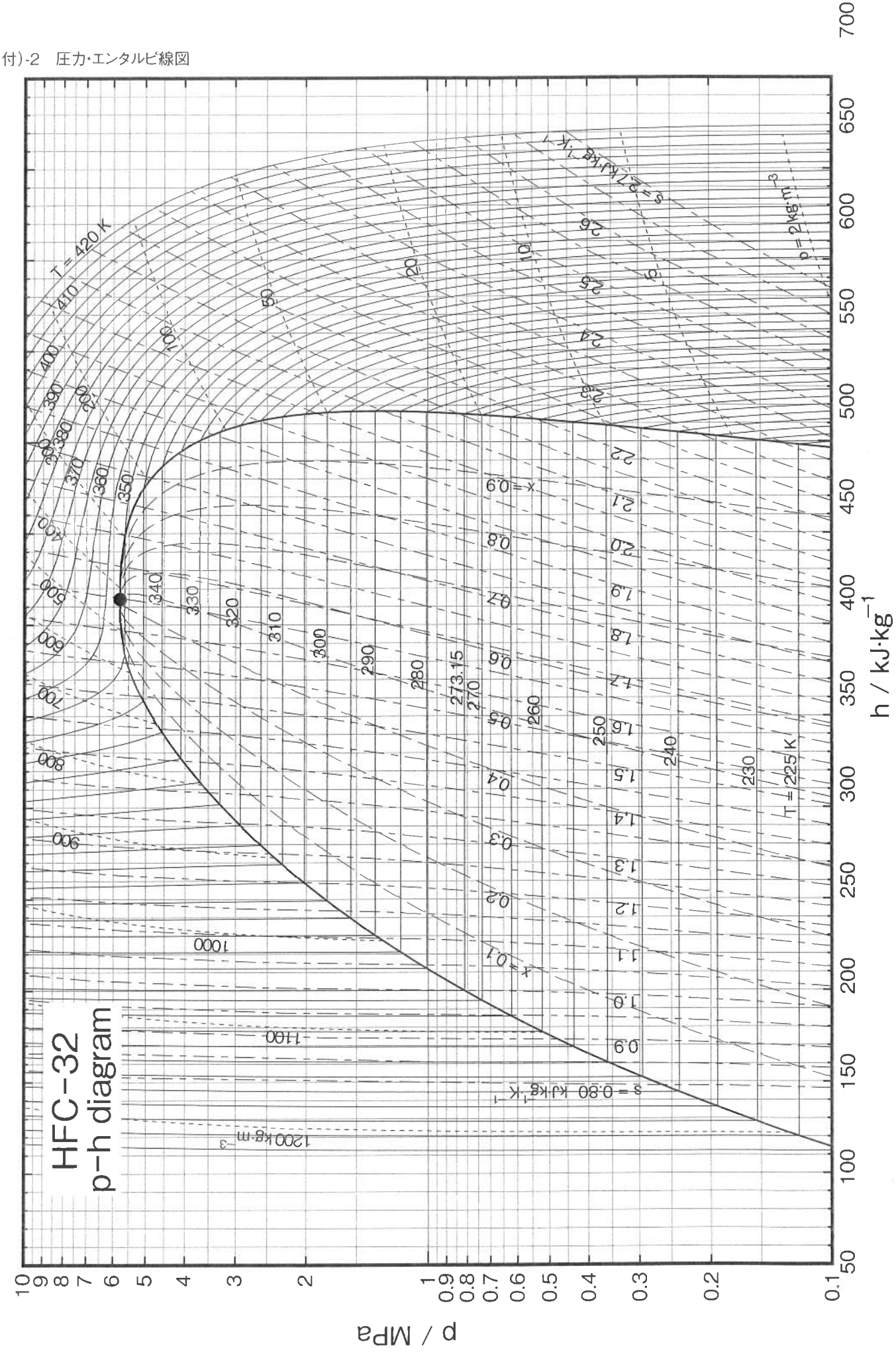
# 熱力学特性(飽和表)

REFPROP Ver. 9.0

| 温度 (℃) | 蒸気圧 (kPa) | 密度 (kg/m3) | | 定圧比熱 (kJ/kgK) | | 比エンタルピ (kJ/kg) | | | 比エントロピ (kJ/kgK) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 液 | 蒸気 | 液 | 蒸気 | 液 | 蒸気 | 潜熱 | 液 | 蒸気 |
| -60 | 64.96 | 1236 | 1.969 | 1.576 | 0.833 | 101.38 | 492.11 | 390.73 | 0.596 | 2.429 |
| -59 | 68.65 | 1233 | 2.074 | 1.577 | 0.838 | 102.95 | 492.64 | 389.69 | 0.603 | 2.423 |
| -58 | 72.52 | 1230 | 2.183 | 1.578 | 0.843 | 104.53 | 493.17 | 388.64 | 0.611 | 2.417 |
| -57 | 76.56 | 1228 | 2.297 | 1.579 | 0.848 | 106.11 | 493.70 | 387.59 | 0.618 | 2.411 |
| -56 | 80.77 | 1225 | 2.415 | 1.581 | 0.853 | 107.70 | 494.22 | 386.53 | 0.625 | 2.405 |
| -55 | 85.17 | 1222 | 2.538 | 1.582 | 0.858 | 109.28 | 494.74 | 385.46 | 0.632 | 2.399 |
| -54 | 89.76 | 1219 | 2.667 | 1.584 | 0.863 | 110.86 | 495.26 | 384.39 | 0.640 | 2.394 |
| -53 | 94.55 | 1217 | 2.800 | 1.585 | 0.868 | 112.45 | 495.77 | 383.32 | 0.647 | 2.388 |
| -52 | 99.54 | 1214 | 2.938 | 1.586 | 0.873 | 114.04 | 496.27 | 382.24 | 0.654 | 2.382 |
| -51.7 | 101.3 | 1213 | 2.988 | 1.587 | 0.875 | 114.59 | 496.45 | 381.86 | 0.656 | 2.380 |
| -51 | 104.7 | 1211 | 3.082 | 1.588 | 0.878 | 115.63 | 496.78 | 381.15 | 0.661 | 2.377 |
| -50 | 110.1 | 1208 | 3.232 | 1.589 | 0.883 | 117.22 | 497.27 | 380.06 | 0.668 | 2.371 |
| -49 | 115.8 | 1206 | 3.387 | 1.591 | 0.889 | 118.81 | 497.77 | 378.96 | 0.675 | 2.366 |
| -48 | 121.6 | 1203 | 3.548 | 1.593 | 0.894 | 120.40 | 498.26 | 377.85 | 0.682 | 2.361 |
| -47 | 127.7 | 1200 | 3.715 | 1.594 | 0.900 | 122.00 | 498.74 | 376.74 | 0.689 | 2.355 |
| -46 | 134.0 | 1197 | 3.888 | 1.596 | 0.905 | 123.60 | 499.23 | 375.63 | 0.697 | 2.350 |
| -45 | 140.6 | 1194 | 4.067 | 1.598 | 0.911 | 125.20 | 499.70 | 374.50 | 0.704 | 2.345 |
| -44 | 147.4 | 1192 | 4.253 | 1.600 | 0.917 | 126.80 | 500.17 | 373.38 | 0.711 | 2.340 |
| -43 | 154.5 | 1189 | 4.446 | 1.602 | 0.922 | 128.40 | 500.64 | 372.24 | 0.717 | 2.335 |
| -42 | 161.9 | 1186 | 4.645 | 1.604 | 0.928 | 130.01 | 501.11 | 371.10 | 0.724 | 2.330 |
| -41 | 169.5 | 1183 | 4.851 | 1.606 | 0.934 | 131.62 | 501.56 | 369.95 | 0.731 | 2.325 |
| -40 | 177.4 | 1180 | 5.065 | 1.608 | 0.940 | 133.23 | 502.02 | 368.79 | 0.738 | 2.320 |
| -39 | 185.6 | 1177 | 5.286 | 1.610 | 0.946 | 134.84 | 502.47 | 367.63 | 0.745 | 2.315 |
| -38 | 194.1 | 1174 | 5.515 | 1.612 | 0.952 | 136.45 | 502.91 | 366.46 | 0.752 | 2.310 |
| -37 | 202.9 | 1172 | 5.751 | 1.614 | 0.958 | 138.07 | 503.35 | 365.28 | 0.759 | 2.306 |
| -36 | 212.0 | 1169 | 5.995 | 1.616 | 0.965 | 139.69 | 503.78 | 364.10 | 0.766 | 2.301 |
| -35 | 221.4 | 1166 | 6.248 | 1.619 | 0.971 | 141.31 | 504.21 | 362.90 | 0.772 | 2.296 |
| -34 | 231.1 | 1163 | 6.508 | 1.621 | 0.977 | 142.93 | 504.63 | 361.70 | 0.779 | 2.292 |
| -33 | 241.2 | 1160 | 6.778 | 1.624 | 0.984 | 144.56 | 505.05 | 360.50 | 0.786 | 2.287 |
| -32 | 251.6 | 1157 | 7.056 | 1.626 | 0.990 | 146.18 | 505.47 | 359.28 | 0.793 | 2.282 |
| -31 | 262.3 | 1154 | 7.343 | 1.629 | 0.997 | 147.81 | 505.87 | 358.06 | 0.799 | 2.278 |
| -30 | 273.4 | 1151 | 7.639 | 1.631 | 1.004 | 149.45 | 506.27 | 356.83 | 0.806 | 2.273 |
| -29 | 284.9 | 1148 | 7.945 | 1.634 | 1.010 | 151.08 | 506.67 | 355.59 | 0.813 | 2.269 |
| -28 | 296.7 | 1145 | 8.260 | 1.637 | 1.017 | 152.72 | 507.06 | 354.34 | 0.819 | 2.265 |
| -27 | 309.0 | 1142 | 8.585 | 1.639 | 1.024 | 154.36 | 507.45 | 353.08 | 0.826 | 2.260 |
| -26 | 321.6 | 1139 | 8.920 | 1.642 | 1.031 | 156.01 | 507.83 | 351.82 | 0.833 | 2.256 |
| -25 | 334.6 | 1136 | 9.266 | 1.645 | 1.038 | 157.66 | 508.20 | 350.54 | 0.839 | 2.252 |
| -24 | 348.0 | 1133 | 9.622 | 1.648 | 1.045 | 159.31 | 508.57 | 349.26 | 0.846 | 2.248 |
| -23 | 361.8 | 1130 | 9.989 | 1.651 | 1.052 | 160.96 | 508.93 | 347.97 | 0.852 | 2.243 |
| -22 | 376.0 | 1127 | 10.37 | 1.654 | 1.060 | 162.62 | 509.28 | 346.66 | 0.859 | 2.239 |
| -21 | 390.7 | 1124 | 10.76 | 1.657 | 1.067 | 164.28 | 509.63 | 345.35 | 0.865 | 2.235 |
| -20 | 405.8 | 1121 | 11.16 | 1.661 | 1.075 | 165.94 | 509.97 | 344.03 | 0.872 | 2.231 |
| -19 | 421.3 | 1117 | 11.57 | 1.664 | 1.082 | 167.61 | 510.31 | 342.70 | 0.878 | 2.227 |
| -18 | 437.3 | 1114 | 12.00 | 1.668 | 1.090 | 169.28 | 510.64 | 341.36 | 0.885 | 2.223 |
| -17 | 453.7 | 1111 | 12.43 | 1.671 | 1.098 | 170.95 | 510.96 | 340.01 | 0.891 | 2.219 |
| -16 | 470.7 | 1108 | 12.88 | 1.675 | 1.106 | 172.63 | 511.28 | 338.65 | 0.898 | 2.215 |
| -15 | 488.1 | 1105 | 13.35 | 1.678 | 1.114 | 174.31 | 511.58 | 337.28 | 0.904 | 2.211 |
| -14 | 506.0 | 1102 | 13.82 | 1.682 | 1.122 | 175.99 | 511.89 | 335.90 | 0.911 | 2.207 |
| -13 | 524.4 | 1098 | 14.31 | 1.686 | 1.130 | 177.68 | 512.18 | 334.50 | 0.917 | 2.203 |
| -12 | 543.3 | 1095 | 14.82 | 1.690 | 1.139 | 179.37 | 512.47 | 333.10 | 0.924 | 2.199 |
| -11 | 562.7 | 1092 | 15.34 | 1.694 | 1.147 | 181.07 | 512.75 | 331.68 | 0.930 | 2.195 |
| -10 | 582.6 | 1089 | 15.87 | 1.698 | 1.156 | 182.76 | 513.02 | 330.25 | 0.937 | 2.192 |
| -9 | 603.1 | 1085 | 16.42 | 1.702 | 1.165 | 184.47 | 513.28 | 328.82 | 0.943 | 2.188 |
| -8 | 624.1 | 1082 | 16.98 | 1.706 | 1.174 | 186.18 | 513.54 | 327.37 | 0.949 | 2.184 |
| -7 | 645.7 | 1079 | 17.56 | 1.711 | 1.183 | 187.89 | 513.79 | 325.90 | 0.956 | 2.180 |
| -6 | 667.9 | 1076 | 18.16 | 1.715 | 1.192 | 189.60 | 514.03 | 324.43 | 0.962 | 2.176 |
| -5 | 690.6 | 1072 | 18.77 | 1.720 | 1.201 | 191.33 | 514.26 | 322.94 | 0.968 | 2.173 |
| -4 | 713.9 | 1069 | 19.40 | 1.725 | 1.211 | 193.05 | 514.49 | 321.44 | 0.975 | 2.169 |
| -3 | 737.8 | 1066 | 20.04 | 1.730 | 1.221 | 194.78 | 514.70 | 319.92 | 0.981 | 2.165 |
| -2 | 762.3 | 1062 | 20.71 | 1.735 | 1.231 | 196.52 | 514.91 | 318.40 | 0.987 | 2.162 |
| -1 | 787.4 | 1059 | 21.39 | 1.740 | 1.241 | 198.26 | 515.11 | 316.85 | 0.994 | 2.158 |
| 0 | 813.1 | 1055 | 22.09 | 1.745 | 1.251 | 200.00 | 515.30 | 315.30 | 1.000 | 2.154 |

# 熱力学特性（飽和表）

REFPROP Ver. 9.0

| 温度 (℃) | 蒸気圧 (kPa) | 密度 (kg/m3) | | 定圧比熱 (kJ/kgK) | | 比エンタルピ (kJ/kg) | | | 比エントロピ (kJ/kgK) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 液 | 蒸気 | 液 | 蒸気 | 液 | 蒸気 | 潜熱 | 液 | 蒸気 |
| 1 | 839.5 | 1052 | 22.81 | 1.750 | 1.262 | 201.75 | 515.48 | 313.73 | 1.006 | 2.151 |
| 2 | 866.5 | 1048 | 23.55 | 1.756 | 1.272 | 203.50 | 515.65 | 312.15 | 1.013 | 2.147 |
| 3 | 894.1 | 1045 | 24.31 | 1.762 | 1.283 | 205.26 | 515.81 | 310.55 | 1.019 | 2.143 |
| 4 | 922.5 | 1041 | 25.09 | 1.767 | 1.294 | 207.03 | 515.96 | 308.93 | 1.025 | 2.140 |
| 5 | 951.4 | 1038 | 25.89 | 1.773 | 1.306 | 208.80 | 516.11 | 307.31 | 1.031 | 2.136 |
| 6 | 981.1 | 1034 | 26.71 | 1.779 | 1.317 | 210.58 | 516.24 | 305.66 | 1.038 | 2.133 |
| 7 | 1012 | 1031 | 27.56 | 1.786 | 1.329 | 212.36 | 516.36 | 304.00 | 1.044 | 2.129 |
| 8 | 1043 | 1027 | 28.43 | 1.792 | 1.341 | 214.15 | 516.47 | 302.32 | 1.050 | 2.126 |
| 9 | 1074 | 1023 | 29.32 | 1.799 | 1.354 | 215.94 | 516.57 | 300.63 | 1.057 | 2.122 |
| 10 | 1107 | 1020 | 30.23 | 1.806 | 1.367 | 217.74 | 516.66 | 298.92 | 1.063 | 2.118 |
| 11 | 1140 | 1016 | 31.17 | 1.813 | 1.380 | 219.55 | 516.74 | 297.19 | 1.069 | 2.115 |
| 12 | 1174 | 1012 | 32.14 | 1.820 | 1.393 | 221.36 | 516.80 | 295.44 | 1.075 | 2.111 |
| 13 | 1209 | 1008 | 33.13 | 1.827 | 1.407 | 223.18 | 516.86 | 293.68 | 1.082 | 2.108 |
| 14 | 1244 | 1005 | 34.15 | 1.835 | 1.421 | 225.01 | 516.90 | 291.89 | 1.088 | 2.104 |
| 15 | 1281 | 1001 | 35.19 | 1.843 | 1.435 | 226.84 | 516.93 | 290.09 | 1.094 | 2.101 |
| 16 | 1318 | 997.1 | 36.26 | 1.851 | 1.450 | 228.68 | 516.95 | 288.27 | 1.100 | 2.097 |
| 17 | 1356 | 993.2 | 37.37 | 1.859 | 1.465 | 230.53 | 516.96 | 286.43 | 1.107 | 2.094 |
| 18 | 1395 | 989.3 | 38.50 | 1.868 | 1.481 | 232.39 | 516.95 | 284.57 | 1.113 | 2.090 |
| 19 | 1434 | 985.4 | 39.66 | 1.877 | 1.497 | 234.25 | 516.93 | 282.68 | 1.119 | 2.087 |
| 20 | 1475 | 981.4 | 40.86 | 1.886 | 1.514 | 236.12 | 516.90 | 280.78 | 1.125 | 2.083 |
| 21 | 1516 | 977.4 | 42.08 | 1.895 | 1.531 | 238.00 | 516.85 | 278.85 | 1.132 | 2.080 |
| 22 | 1558 | 973.3 | 43.34 | 1.905 | 1.548 | 239.89 | 516.79 | 276.90 | 1.138 | 2.076 |
| 23 | 1601 | 969.3 | 44.64 | 1.915 | 1.566 | 241.78 | 516.71 | 274.93 | 1.144 | 2.072 |
| 24 | 1645 | 965.2 | 45.97 | 1.926 | 1.585 | 243.69 | 516.62 | 272.93 | 1.150 | 2.069 |
| 25 | 1690 | 961.0 | 47.34 | 1.937 | 1.604 | 245.60 | 516.51 | 270.91 | 1.157 | 2.065 |
| 26 | 1735 | 956.8 | 48.74 | 1.948 | 1.624 | 247.53 | 516.39 | 268.86 | 1.163 | 2.062 |
| 27 | 1782 | 952.6 | 50.19 | 1.960 | 1.645 | 249.46 | 516.25 | 266.79 | 1.169 | 2.058 |
| 28 | 1830 | 948.3 | 51.68 | 1.972 | 1.667 | 251.40 | 516.09 | 264.69 | 1.175 | 2.054 |
| 29 | 1878 | 944.0 | 53.20 | 1.984 | 1.689 | 253.35 | 515.92 | 262.56 | 1.182 | 2.051 |
| 30 | 1928 | 939.6 | 54.78 | 1.997 | 1.712 | 255.32 | 515.72 | 260.41 | 1.188 | 2.047 |
| 31 | 1978 | 935.2 | 56.39 | 2.011 | 1.736 | 257.29 | 515.51 | 258.22 | 1.194 | 2.043 |
| 32 | 2029 | 930.7 | 58.06 | 2.025 | 1.760 | 259.28 | 515.29 | 256.01 | 1.201 | 2.040 |
| 33 | 2082 | 926.2 | 59.77 | 2.040 | 1.786 | 261.27 | 515.04 | 253.77 | 1.207 | 2.036 |
| 34 | 2135 | 921.7 | 61.53 | 2.055 | 1.813 | 263.28 | 514.77 | 251.49 | 1.213 | 2.032 |
| 35 | 2190 | 917.0 | 63.34 | 2.071 | 1.841 | 265.30 | 514.48 | 249.18 | 1.220 | 2.028 |
| 36 | 2245 | 912.4 | 65.21 | 2.088 | 1.870 | 267.34 | 514.17 | 246.83 | 1.226 | 2.025 |
| 37 | 2302 | 907.6 | 67.14 | 2.105 | 1.901 | 269.38 | 513.84 | 244.46 | 1.233 | 2.021 |
| 38 | 2360 | 902.8 | 69.12 | 2.124 | 1.933 | 271.45 | 513.49 | 242.04 | 1.239 | 2.017 |
| 39 | 2418 | 898.0 | 71.16 | 2.143 | 1.966 | 273.52 | 513.11 | 239.59 | 1.246 | 2.013 |
| 40 | 2478 | 893.0 | 73.27 | 2.163 | 2.001 | 275.61 | 512.71 | 237.09 | 1.252 | 2.009 |
| 41 | 2539 | 888.0 | 75.44 | 2.184 | 2.038 | 277.72 | 512.28 | 234.56 | 1.258 | 2.005 |
| 42 | 2601 | 883.0 | 77.68 | 2.206 | 2.077 | 279.84 | 511.82 | 231.99 | 1.265 | 2.001 |
| 43 | 2665 | 877.8 | 80.00 | 2.230 | 2.117 | 281.98 | 511.34 | 229.37 | 1.272 | 1.997 |
| 44 | 2729 | 872.6 | 82.39 | 2.255 | 2.160 | 284.13 | 510.83 | 226.70 | 1.278 | 1.993 |
| 45 | 2795 | 867.3 | 84.86 | 2.281 | 2.206 | 286.31 | 510.29 | 223.99 | 1.285 | 1.989 |
| 46 | 2862 | 861.9 | 87.41 | 2.309 | 2.254 | 288.50 | 509.72 | 221.22 | 1.291 | 1.985 |
| 47 | 2930 | 856.4 | 90.05 | 2.338 | 2.304 | 290.71 | 509.12 | 218.41 | 1.298 | 1.980 |
| 48 | 2999 | 850.8 | 92.79 | 2.369 | 2.358 | 292.95 | 508.48 | 215.54 | 1.305 | 1.976 |
| 49 | 3069 | 845.1 | 95.62 | 2.403 | 2.416 | 295.21 | 507.81 | 212.61 | 1.312 | 1.971 |
| 50 | 3141 | 839.3 | 98.55 | 2.439 | 2.477 | 297.49 | 507.10 | 209.62 | 1.318 | 1.967 |
| 51 | 3214 | 833.3 | 101.6 | 2.477 | 2.543 | 299.79 | 506.36 | 206.57 | 1.325 | 1.962 |
| 52 | 3289 | 827.3 | 104.7 | 2.518 | 2.613 | 302.12 | 505.57 | 203.45 | 1.332 | 1.958 |
| 53 | 3364 | 821.1 | 108.0 | 2.562 | 2.689 | 304.48 | 504.74 | 200.26 | 1.339 | 1.953 |
| 54 | 3441 | 814.8 | 111.4 | 2.609 | 2.771 | 306.87 | 503.86 | 196.99 | 1.346 | 1.948 |
| 55 | 3520 | 808.3 | 115.0 | 2.661 | 2.859 | 309.29 | 502.93 | 193.64 | 1.353 | 1.943 |
| 56 | 3600 | 801.7 | 118.7 | 2.717 | 2.956 | 311.74 | 501.95 | 190.21 | 1.360 | 1.938 |
| 57 | 3681 | 794.9 | 122.5 | 2.778 | 3.060 | 314.22 | 500.92 | 186.69 | 1.368 | 1.933 |
| 58 | 3764 | 787.9 | 126.6 | 2.845 | 3.175 | 316.75 | 499.82 | 183.07 | 1.375 | 1.928 |
| 59 | 3848 | 780.7 | 130.8 | 2.919 | 3.301 | 319.32 | 498.67 | 179.35 | 1.382 | 1.922 |
| 60 | 3933 | 773.3 | 135.2 | 3.001 | 3.441 | 321.93 | 497.44 | 175.51 | 1.390 | 1.917 |
| 61 | 4020 | 765.7 | 139.9 | 3.092 | 3.597 | 324.59 | 496.14 | 171.56 | 1.397 | 1.911 |
| 62 | 4109 | 757.8 | 144.7 | 3.193 | 3.771 | 327.30 | 494.76 | 167.46 | 1.405 | 1.905 |
| 63 | 4199 | 749.6 | 149.9 | 3.308 | 3.967 | 330.07 | 493.29 | 163.23 | 1.413 | 1.899 |
| 64 | 4291 | 741.1 | 155.3 | 3.438 | 4.190 | 332.90 | 491.73 | 158.83 | 1.421 | 1.892 |
| 65 | 4384 | 732.3 | 161.1 | 3.588 | 4.446 | 335.80 | 490.05 | 154.25 | 1.429 | 1.885 |
| 66 | 4479 | 723.0 | 167.2 | 3.761 | 4.743 | 338.78 | 488.26 | 149.48 | 1.438 | 1.878 |
| 67 | 4576 | 713.3 | 173.8 | 3.965 | 5.092 | 341.85 | 486.33 | 144.48 | 1.446 | 1.871 |
| 68 | 4675 | 703.2 | 180.8 | 4.207 | 5.508 | 345.02 | 484.25 | 139.23 | 1.455 | 1.863 |
| 69 | 4775 | 692.4 | 188.4 | 4.501 | 6.013 | 348.31 | 481.99 | 133.68 | 1.464 | 1.855 |
| 70 | 4877 | 680.9 | 196.7 | 4.865 | 6.639 | 351.73 | 479.52 | 127.78 | 1.474 | 1.846 |

(付)-2　圧力･エンタルピ線図