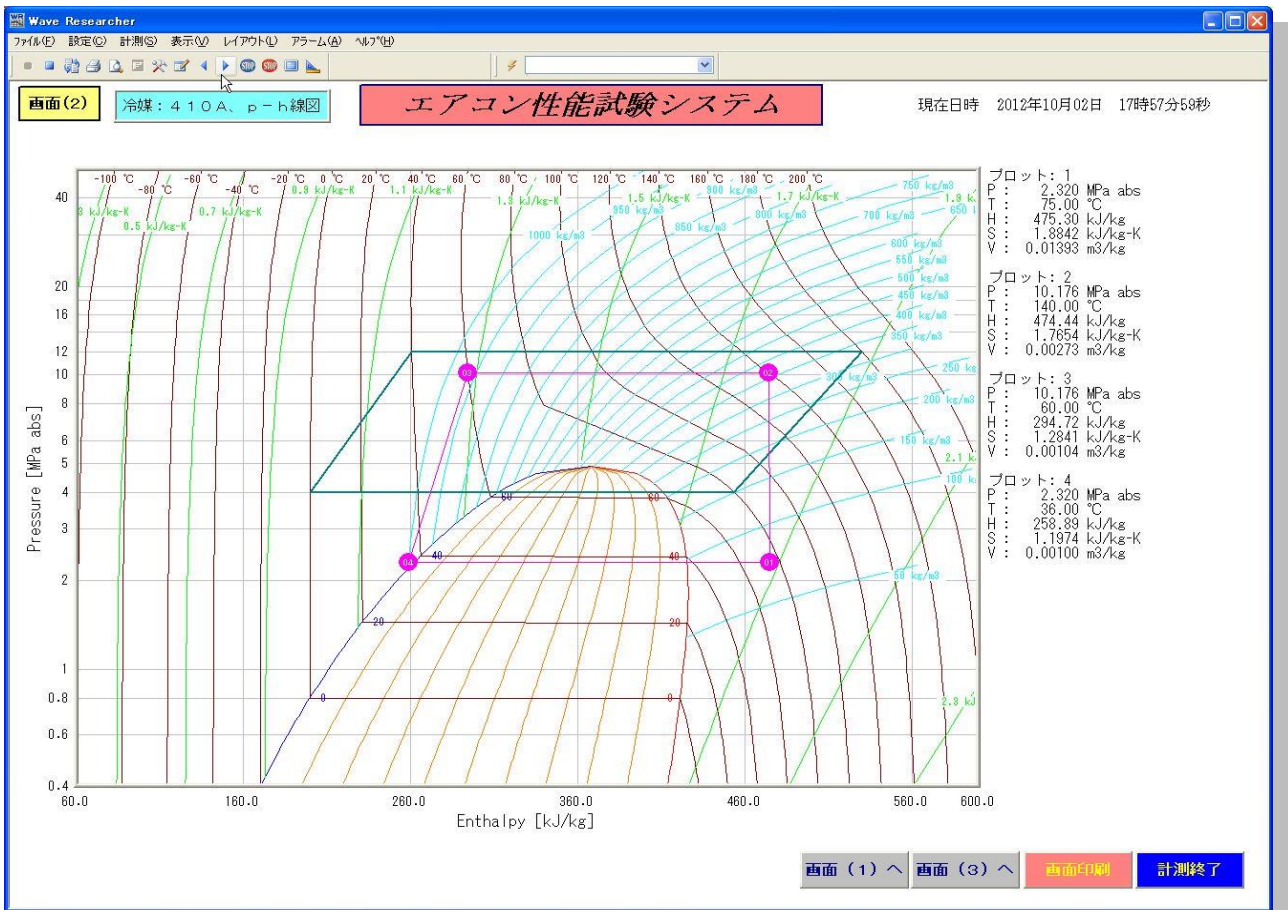


WAVE RESEARCHER

横河電機株式会社 SMARTDAC+/MX/MWシリーズデータアキュイジションシステム対応
エアコン等、冷媒物性データ収集解析対応版 Ver4 R2

導入ガイド



 **Habilis Corporation**

1. 「Wave Researcher」® 冷媒物性データ収集解析システムについて

本システムは、1992年に発売以来、研究所、工場で長年にわたる使用実績と数多くの改造事例を持つデータ収集解析パッケージ「Wave Researcher」の業務別パッケージであり、エアコン、冷蔵庫、自動販売機、冷凍ショーケース等で使用されている冷媒に関する各種データの収集・冷媒物性解析のためのソフトウェアです。冷媒の効率を測定するために必要な、外気温度・エバポレータ温度・コンデンサ温度・冷媒温度・冷媒圧力等のデータは、横河電機株式会社データアキュジションシステムを使用してリアルタイムに収集します。これらのデータから冷媒物性の演算を行い、モリエル線図やトレンドグラフ等でリアルタイムに画面表示しながらパソコンに保存します。当システムでは「Wave Researcher」に国際的に冷媒物性データベースの標準版として流通している、米国NIST（国立標準技術研究所：[National Institute of Standards and Technology](http://www.nist.gov)）の「REFPROP」Ver 9のデータベースを組み込み、2004年から削減要請されている、代替フロンHFC134a、R407c、R22、R410A、R404A、HC（炭化水素系）のR600a（イソブタン）、R600（ブタン）、R290（プロパン）、RC270（シクロプロパン）や、現在各社が新製品への対応を始めた次世代冷媒HFO-1234yfやHFC-32、自然冷媒であるR744（CO₂）やR717（アンモニア）冷媒の他、177種類の冷媒に対応しております。

2. 今、何で冷媒物性に関する研究開発が重要とされているのか？

今までに家庭用、業務用空調機で使用されてきた冷媒はフロン（ハイドロクロロフルオロカーボン：HCFC）と呼ばれ、無害で安定した化学物質としてエアコン、冷蔵庫、自動販売機等で冷媒として使用されてきました。しかしながら、1970年代に、フロン中の塩素原子がオゾン層を破壊するということになり、フロンの使用が規制されはじめました。

現在は、塩素を含まないハイドロフルオロカーボン（HFC）への転換が2005年には家庭用、業務用空調機の98%とほぼ完了し、2010年には全廃となります。

しかしながら、現在主流となっているHFC冷媒についても地球温暖化係数（GWP）の面で大きな影響があるということとなり、1997年の京都議定書においてHFC関連も規制の対象となりました。

その結果、自然冷媒であるプロパン、イソブタン、シクロプロパンなどの炭化水素系化合物や、アンモニア、水、空気、二酸化炭素などを冷媒として使用する方向での研究開発が急激に進んでおります。

しかし自然冷媒、例えばCO₂を採用する場合、その化学特性の面で高い圧力を必要とすることからコスト面での検討も重要なポイントとなります。

<参考>最新の自動車用冷媒「ハイドロフルオロオレフィン」HFO-1234yf

自動車業界に関しては、石油枯渇、自然エネルギー活用への方向から、ハイブリットカー、電気自動車への急激なシフトが進んでおり、バッテリーの利用効率を高くする必要性から、電動エアコンの性能向上が最優先課題になっています。

現在カーエアコン用冷媒として主流になっている（HFC）R-134aも、2011年から欧州連合（EU）指令による新型車に対する段階的廃止が開始となり、EU地域では2017年までに廃止する方向で進んでおります。

2008年11月、米国デュポン社は発表した自動車用冷媒「ハイドロフルオロオレフィン」HFO-1234yfは、極めて低い地球温暖化係数（GWP）と、R-134aとの互換性が高いことから、最も低いコストで移行できるといわれております。

その他、一般的な家庭用エアコンに使用されているR410Aに比べて温暖化係数が1/3と低く、効率に優れ、装置の設計変更が少ないHFC-32に注目が集まっています。

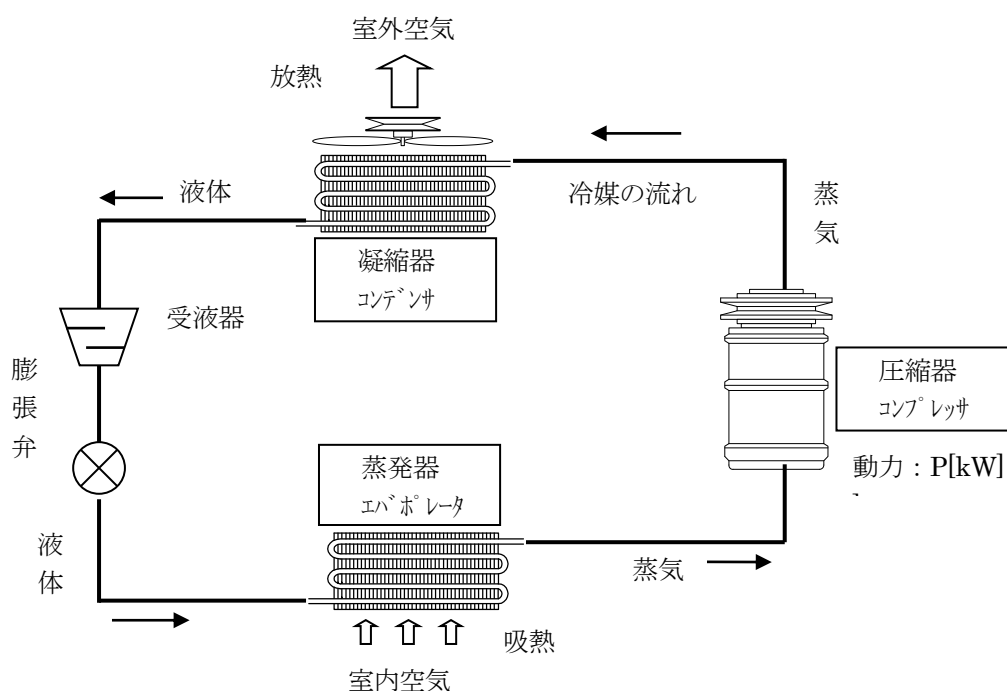
3. 冷凍機の動作と冷媒の働き

「Wave Researcher」冷媒物性解析版の仕様を理解する上で、冷凍機の基本動作を示す冷凍サイクルについて復習してみましょう。

物質を冷却するには、冷媒液が蒸発するときの潜熱を利用して、物質から熱を取り入れることによって行います。但し、熱を吸収して蒸気となった冷媒を大気中に放出することはできないので、冷媒蒸気を加圧し、高温になった冷媒を放熱器を利用して冷却すれば凝縮して液化します。これが冷凍サイクルです。

そこであまり高くない圧力まで冷媒蒸気を圧縮し、常温の水や空気でも冷却すれば凝縮液化する物質を冷媒に選べばよい訳です。

①エアコンの冷凍サイクル



冷凍サイクルとは冷媒が「蒸発」⇒「圧縮」⇒「凝縮」⇒「膨張」の4つの工程を循環するサイクルのことをいいます。冷媒は冷凍サイクル内を循環しながら、周囲から熱エネルギーを吸収したり、外部に放出したりして、蒸気や液体状態になったりして、絶えず状態変化を繰り返しています。従って、冷凍サイクル内各部での冷媒の状態変化と出入りの熱量との関係を定量的に計測できれば、装置の冷凍能力や圧縮器が必要とする軸動力や冷却水量、空気量などを計算できます。

②冷媒の状態測定とモリエル線図表示

冷媒を使用して出し入れできる熱量はその圧力 p (MP a)、比体積 v 、温度 t により決まることから、冷凍装置を設計する場合、限られたコスト内でいかに効率良く熱量の出し入れができる冷凍サイクルを作るかがポイントとなります。

但し、冷凍装置を稼働させている現場で比体積値を計測することは困難なため、冷媒蒸気では、計測しやすい圧力 p と温度 t を測定し、冷媒の状態を表示するモリエル線図 ($p-h$ 線図) や、冷媒を提供しているメーカーが作成した熱力学性質表から比体積や比エンタルピーを計算します。

モリエル線図や熱力学性質表は冷媒ごとに作成されています。

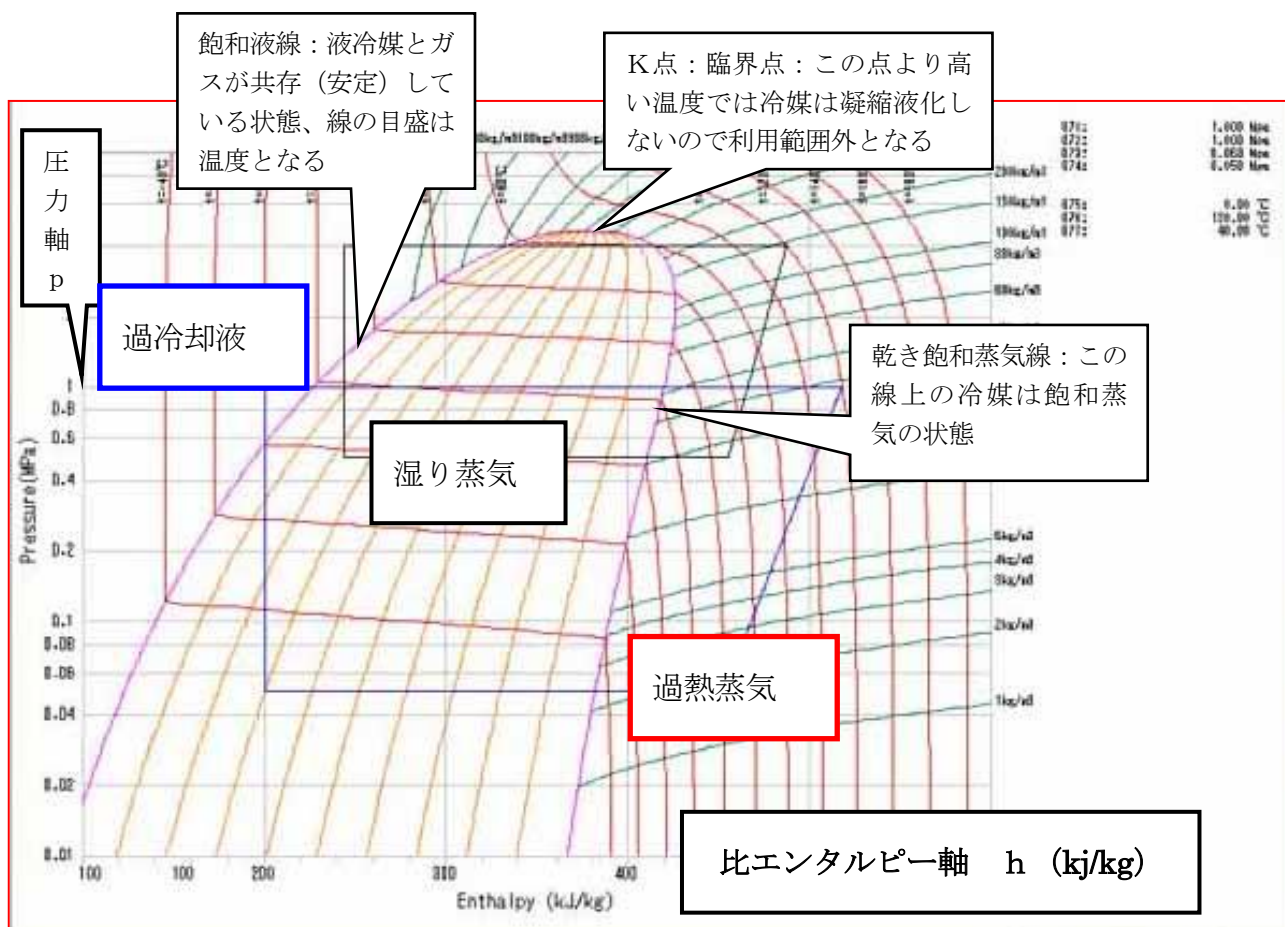
(参考) 比体積：冷媒 1 k g (単位質量) が持っている体積 ($m^3/k g$) のことである。
比体積が大きくなるとガスは薄くなる。(ガスの密度が小さくなる)

モリエル線図の目的：冷凍機内の冷媒の状態を表示

「Wave Researcher」冷媒物性解析版で表示できるモリエル線図は、冷媒ごとに「REFPROP」の冷媒データベースを使用して行います。

Y軸：冷媒の絶対圧力 p [MP a · a b s] = ゲージ圧力 (各配管の圧力) + 大気圧
グラフの上部方向が高い圧力を示す。

X軸：比エンタルピー h [k j / k g] ⇒ 冷媒 1 k g の中に含まれるエネルギー
グラフの右方向が高いエネルギーを持つ。



3つの領域の説明

過冷却液：飽和温度よりもさらに温度の低い液の領域

過熱蒸気：飽和温度よりもさらに温度の高い過熱蒸気の領域

湿り蒸気：液体と蒸気が混合し、共存状態にある場合をいう。

この状態で少しでも熱が加えられると液体の一部が蒸発となり、反対に少しでも熱を取られると、蒸気の一部は凝縮して液体となる。

*蒸気の湿り度について：蒸気にもベタベタの湿り状態から、カラカラの乾き状態まであり、その度合いを「乾き度」または「湿り度」として表現します。

*蒸気の乾き度：蒸気中の気相部分と液相分の重量割合のことです。

*等乾き度線は、線上の各飽和圧力における湿り蒸気の乾き度を表しています。

参考資料：R-404Aの熱力学性質表一部：旭硝子殿の資料による

温度(°C)	圧力(kPa)		密度(kg/m ³)		比容積(m ³ /kg)		比エンタルピ(kJ/kg)		
	液	蒸気	液	蒸気	液	蒸気	液	蒸気	潜熱
-70	28.38	26.74	1377	1.574	0.00073	0.6355	111.1	324.6	213.5
-68	32.06	30.28	1372	1.767	0.00073	0.5658	113.4	325.9	212.5
-66	36.12	34.19	1366	1.98	0.00073	0.5051	115.8	327.1	211.3
-64	40.58	38.49	1360	2.212	0.00074	0.452	118.2	328.3	210.1
-62	45.48	43.23	1354	2.466	0.00074	0.4056	120.6	329.6	209

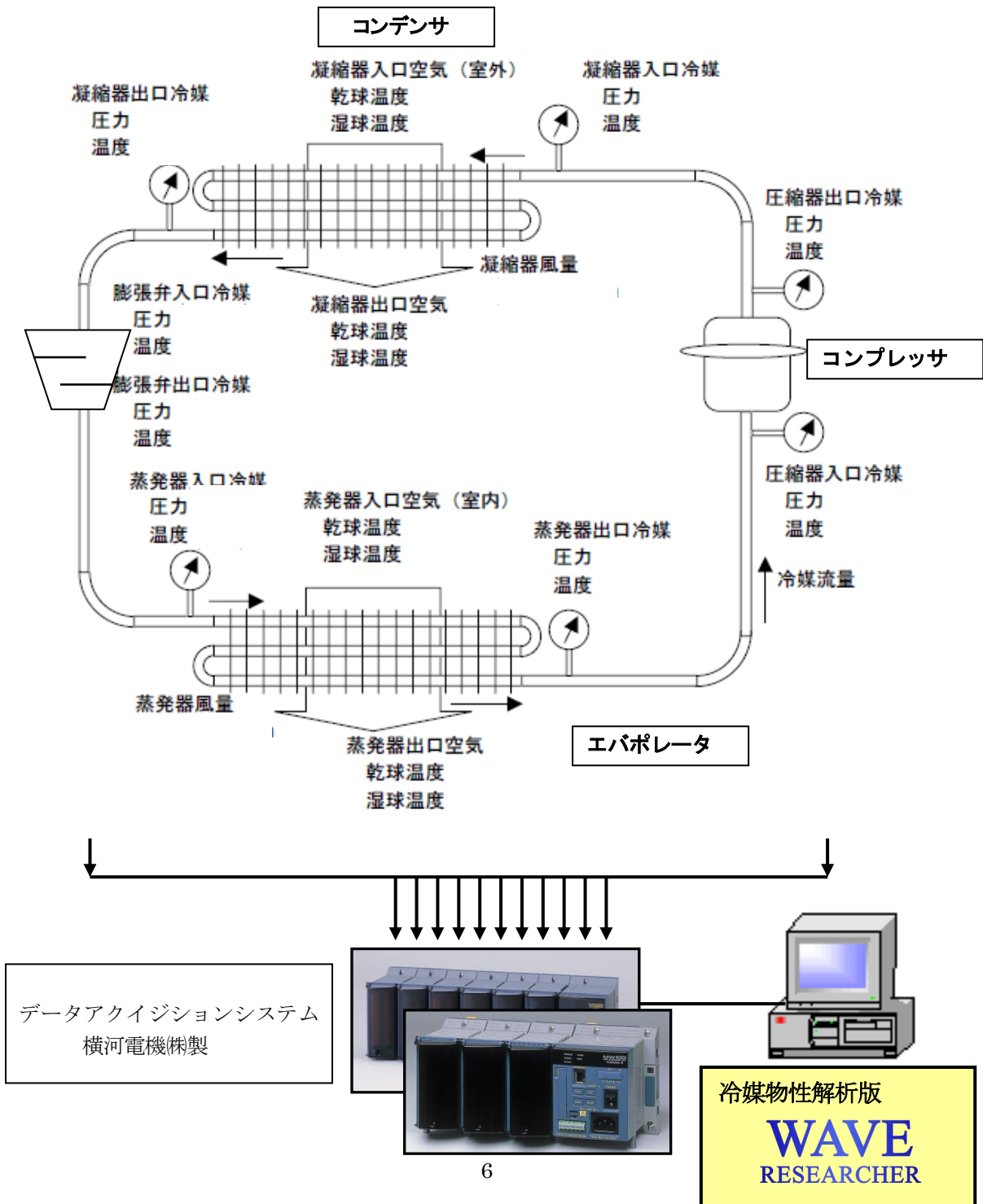
4. 冷媒物性データ収集解析版を使うには

「Wave Researcher」冷媒物性解析版と横河電機(株)製のデータアキュイジションシステム「SMARTDAC+ /MX/MWシリーズ」を使用して、以下に示すエアコン試験装置の温度、圧力データを計測して、冷媒物性解析を行なうケースについて説明します。

① エアコン試験装置の構成例

エアコンの冷凍サイクル上にある各点の温度、圧力、流量等のデータを測定器に入力します。

SMARTDAC+ /MX/MWシリーズでは最短100msでサンプリング可能ですが、「Wave Researcher」でリアルタイムに冷媒物性を計算、モリエル線図を表示するのは最短500msサンプリングです。



②MX/MWシリーズに入力する温度、圧力データとチャンネル指定例

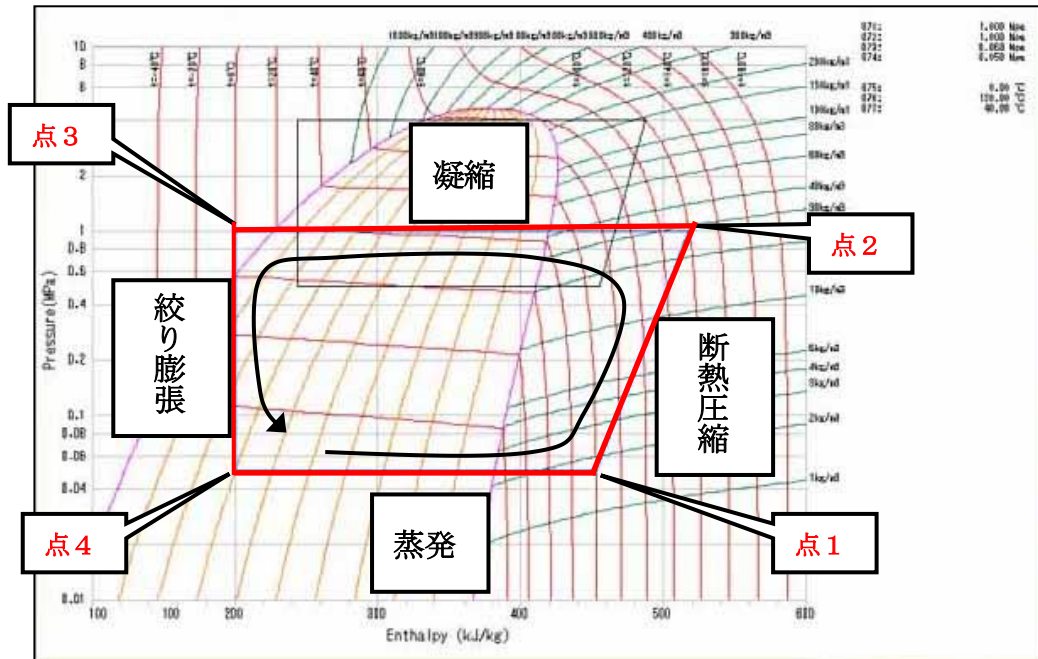
番号	チャンネル名称	単位	センサ	備考
01	凝縮器入口空気（室外）乾球温度	℃	測温抵抗体	
02	凝縮器入口空気（室外）湿球温度	℃	測温抵抗体	
03	凝縮器入口冷媒圧力	kPa	圧力計	
04	凝縮器入口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
05	凝縮器出口空気乾球温度	℃	測温抵抗体	
06	凝縮器出口空気湿球温度	℃	測温抵抗体	
07	凝縮器出口冷媒圧力	kPa	圧力計	
08	凝縮器出口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
09	蒸発器入口空気（室内）乾球温度	℃	測温抵抗体	
10	蒸発器入口空気（室内）湿球温度	℃	測温抵抗体	
11	蒸発器出口空気乾球温度	℃	測温抵抗体	
12	蒸発器出口空気湿球温度	℃	測温抵抗体	
13	蒸発器入口冷媒圧力	kPa	圧力計	
14	蒸発器入口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
15	圧縮器出口冷媒圧力	kPa	圧力計	
16	圧縮器出口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
17	圧縮器入口冷媒圧力	kPa	圧力計	
18	圧縮器入口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
19	蒸発器出口冷媒圧力	kPa	圧力計	
20	蒸発器出口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
21	冷媒流量	kg/min	流量計	
22	蒸発器風量	m3/min	風量計	
23	凝縮器風量	m3/min	風量計	
24	膨張弁入口冷媒圧力	kPa	圧力計	
25	膨張弁入口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
26	膨張弁出口冷媒圧力	kPa	圧力計	
27	膨張弁出口冷媒温度	℃	測温抵抗体	
28	消費電力	kW	電力計	
29	外気温	℃	熱電対	
30	湿度	%	湿度計	
31	大気圧	Pa	気圧計	

* 「Wave Researcher」でチャンネルを登録する画面例



③冷凍サイクル上の測定点とモリエル線図描画上の指定について

基準冷凍サイクル



モリエル線図を描画するには最低限、基準冷凍サイクル上の1～4点の温度と圧力データを入力する必要があります。

- 点1. 蒸発器を出て圧縮器に吸入される過熱蒸気の温度と圧力データ
- 点2. 圧縮器吐出口を出て凝縮器に入る過熱蒸気の温度と圧力データ
- 点3. 凝縮器で凝縮（冷却）されて冷媒が乾き飽和蒸気から湿り蒸気⇒飽和液状⇒過冷却液になった状態
- 点4. 過冷却液が膨張弁を通過して蒸発器に入り前の湿り蒸気の状態

チャネル設定

プロット情報

番号	圧力チャネル	単位	温度チャネル	単位	絞り膨張
01	015 蒸発器出口冷媒...	MPa	016 蒸発器出口冷媒...	℃	<input type="checkbox"/>
02	011 圧縮器出口冷媒...	MPa	012 圧縮器出口冷媒...	℃	<input type="checkbox"/>
03	005 凝縮器出口冷媒...	MPa	006 凝縮器出口冷媒...	℃	<input type="checkbox"/>
04	022 膨張弁出口冷媒...	MPa	023 膨張弁出口冷媒...	℃	<input type="checkbox"/>

<メモ>登録するデータ列は、左回りでデータ線を描画するように登録してください。

ゲージ圧 → 絶対圧

手入力 hPa

実測値 hPa

プロット点表示

プロット点にマークを表示

プロット点に番号を表示

OK キャンセル

追加 変更 削除 上移動 下移動

P [MPa Abs]

H [kJ/kg]

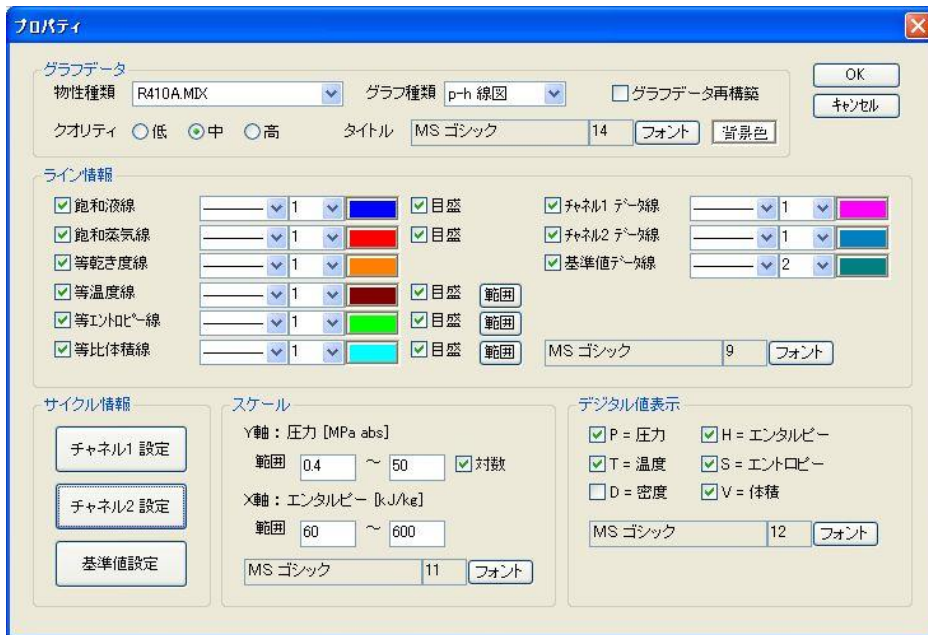
*絞り膨張は、直前プロット点のエンタルピーを参照します。

圧力については絶対圧力を指定する必要があるため、測定した大気圧から換算するか手入力するかを指定する

冷凍サイクルに対応して左廻りに温度と圧力のチャネルを指定する

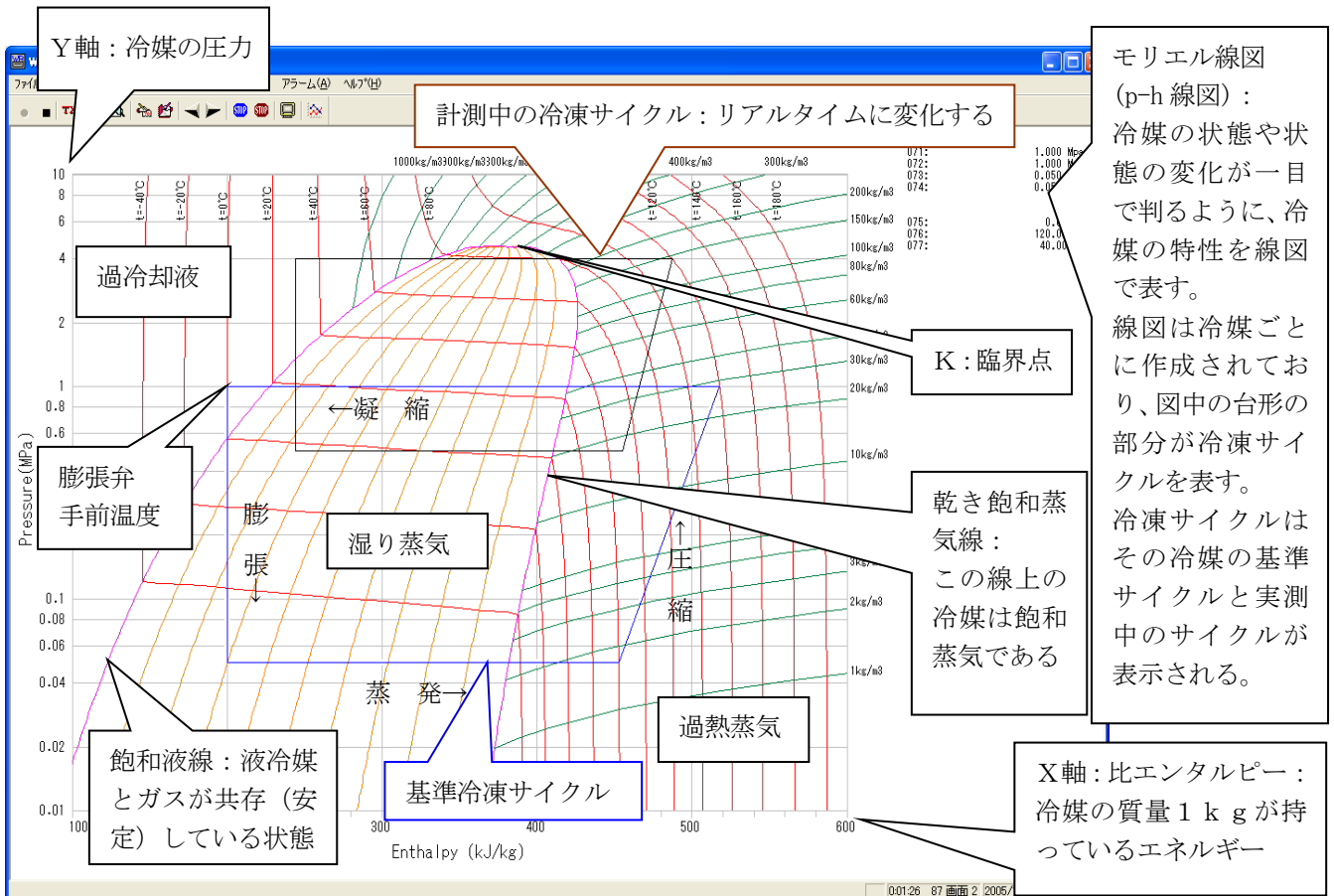
*モリエル線図を描画するときのスケールや冷媒の種類、グラフの種類等を指定する。

グラフ種類： p-h線図 圧力-比エンタルピー：冷媒の質量1kgが持っているエネルギー
 t-s線図 温度-エントロピー



④冷媒物性データ収集解析版による測定画面例

冷凍サイクル上の温度、圧力等のデータをリアルタイムに収集して「Refrprop」の冷媒物性データベースにより、計算した結果をモリエル線図に描画します。



*基準冷凍サイクル：この範囲は任意に指定可能：一般的に蒸発温度が-15℃、凝縮温度が30℃、膨張弁直前温度を25℃の温度条件によるサイクルの状態を示す。

5. 冷媒物性データ収集解析版の応用事例

①冷凍装置の評価に必要な計算を行なう方法について

a : 冷凍効果を算出するには

「Wave Researcher」冷媒物性解析版ではモリエル線図を表示し、線図の右側に表示されている冷凍サイクル上の各プロット点の比エンタルピー値を表示することができます。

さらにモリエル線図上に表示されている比エンタルピー値をファイルに保存する場合や、「Refprop」が用意している Refprop 関数を使用して任意に演算を行なうには、「Wave Researcher」の基本機能であるリアルタイム/後処理演算機能内で Refprop 関数を使用した演算式を登録することが必要です。

又、あらかじめ計測条件機能で入力チャンネルの指定以外に、演算結果が代入される演算チャンネルの指定を行ないます。

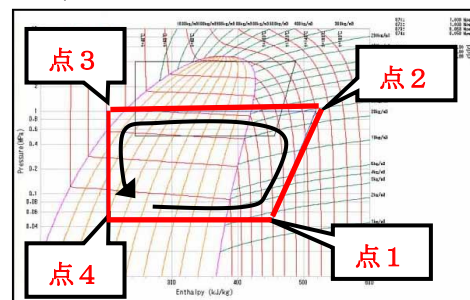
- ・演算チャンネルの指定（演算結果が代入される任意のチャンネルを、入力チャンネル指定の後ろに登録する）

93		A013	CH13	演算	0.00	100.00					OFF		
94		A014	CH14	演算	0.00	100.00					OFF		
95		A015	CH15	演算	0.00	100.00					OFF		
96		A016	CH16	演算	0.00	100.00					OFF		
97		A017	CH17	演算	0.00	100.00					OFF		
98	点4のエンタルピー	A018	CH18	演算	0.00	100.00					kJ/kg	OFF	
99	点1エンタルピー	A019	CH19	演算	0.00	100.00					kJ/kg	OFF	
100	点1-点4=冷凍効果	A020	CH20	演算	0.00	100.00					kJ/kg	OFF	

冷凍サイクルの蒸発器で冷媒 1 k g 当たり、周囲から熱を奪う量 W_r は、
p-h 線図上の点1と点4の比エンタルピーの差なので

$$W_r = h_1 - h_4 \quad [\text{kJ/kg}] \text{ となります。}$$

これが冷凍効果です。



- ・演算式の指定

RefPropSetUp("CO2","SI")

⇒Refprop 関数を使用する場合最初に冷媒の種類と単位系を宣言する。

CH18 = Enthalpy("TP",@21,@5)

⇒蒸発器入口温度、圧力チャンネルの値から点4の比エンタルピーを計算する。

CH19 = Enthalpy("TP",@25,@6)

⇒蒸発器出口温度、圧力チャンネルの値から点1の比エンタルピーを計算する。

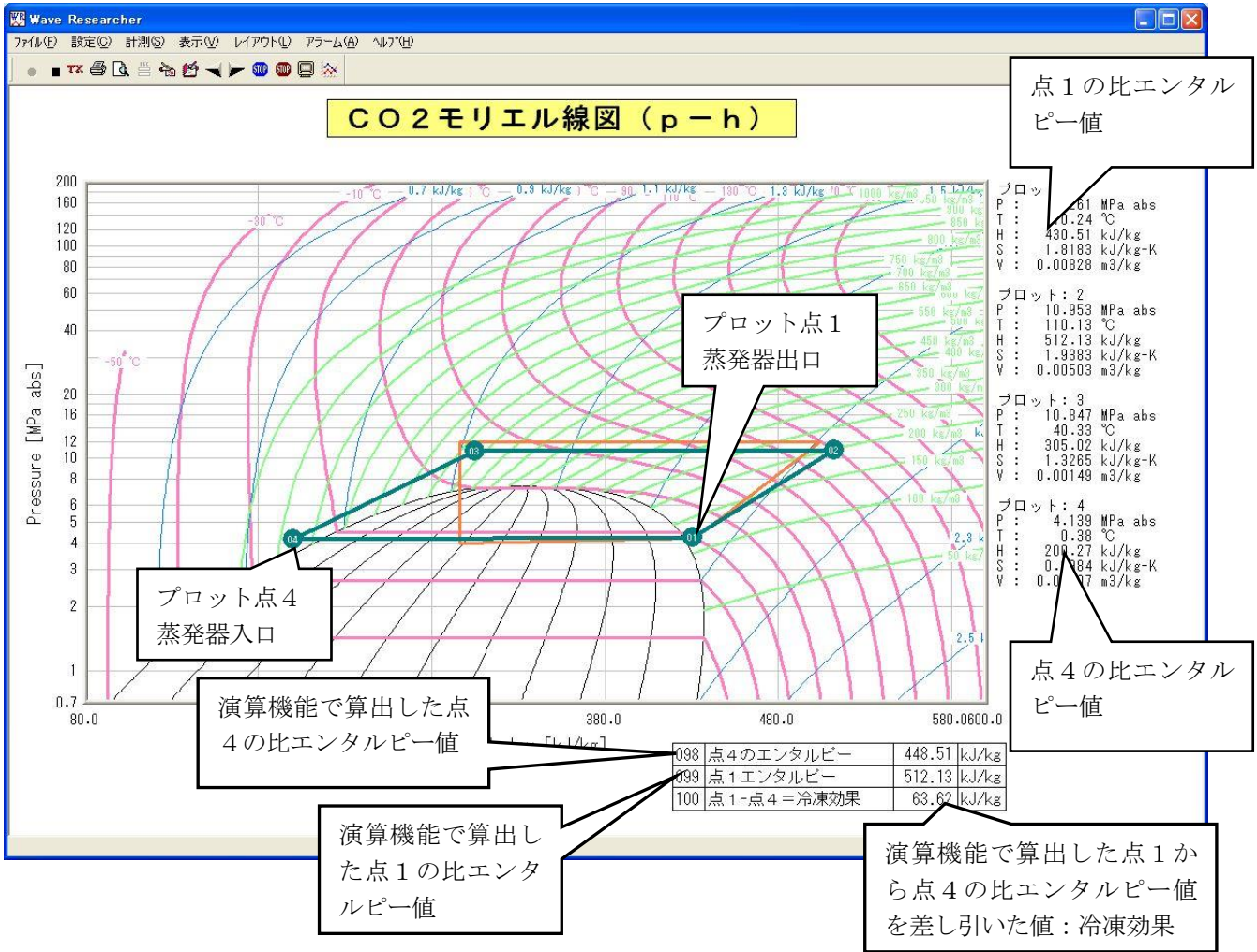
CH20 = CH19 - CH18

⇒点1から点4の比エンタルピーを引く。

Refprop 関数を使用した演算式例

入力、演算チャンネル一覧

・ p-h 線図の表示



b : 成績係数 (COP) を算出するには

省エネ度を表す指数として成績係数があり、この値が小さい方が省エネになります。この冷凍サイクルの効率を表す尺度として使用されている成績係数を算出するのも Refprop 関数を使用して行なうことができます。

動力 P_{th} (理論断熱圧縮動力) を $h_2 - h_1$ で表せば冷凍効果との比が成績係数 (COP)_R となります。

$$(COP)_R = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

これを Refprop 関数を使用して記述するには以下のように指定します。

- RefPropSetUp("CO2","SI") ⇒ Refprop 関数を使用する場合最初に冷媒の種類と単位系を宣言する。
- CH18 = Enthalpy("TP",@21,@5) ⇒ 点4の比エンタルピーを計算する。
- CH19 = Enthalpy("TP",@25,@6) ⇒ 点1の比エンタルピーを計算する。
- CH20 = Enthalpy("TP",@21,@5) ⇒ 点2の比エンタルピーを計算する。
- CH21 = CH19 - CH18 / CH20 - CH19

c : Refprop 関数についての説明

Refprop 関数の使い方についての説明は「R e f p r o p」ソフトウェアライブラリー内の説明書 (Refpropwith instructions and help.XLS)に記述されています。ここではその一部をご紹介します。

①Refprop 関数の先頭に指定するもの。

- 関数を使用する場合、最初に冷媒、単位を記述する

例：冷媒CO₂で、S I 単位の場合

REFPROPSETUP("CO2","SI")

例：冷媒R 4 0 4 Aでm k s 単位の場合

REFPROPSETUP("R404A.MIX","MKS") ※混合冷媒の場合は、.MIX を付けて記述する。

単一冷媒名				混合冷媒名		
acetone.fld	hexane.fld	orthohyd.fld	r114.fld	air	R415B	R500
ammonia.fld	hydrogen.fld	oxygen.fld	r115.fld	R401A	R416A	R501
argon.fld	h2s.fld	parahyd.fld	r116.fld	R401B	R418A	R502
benzene.fld	isobutan.fld	parahyd.fld	r123.fld	R401C	R419A	R503
butane.fld	ibutene.fld	pentane.fld	r1234yf.fld	R402A	R420A	R504
1butene.fld	ihexane.fld	c4f10.fld	r1234ze.fld	R402B	R421A	R507A
co2.fld	ipentane.fld	c5f12.fld	r124.fld	R403A	R421B	R508A
co.fld	krypton.fld	propane.fld	r125.fld	R403B	R422A	R508B
cos.fld	md2m.fld	c3cc6.fld	r134a.fld	R404A	R422B	R509A
c2butene.fld	md3m.fld	propylen.fld	r141b.fld	R405A	R422C	
cyclohex.fld	md4m.fld	propyne.fld	r142b.fld	R406A	R422D	
cyclopen.fld	mdm.fld	so2.fld	r143a.fld	R407A	R423A	
cyclopro.fld	methane.fld	sf6.fld	r152a.fld	R407B	R424A	
D4.fld	methanol.fld	toluene.fld	r161.fld	R407C	R425A	
D5.fld	mliolea.fld	t2butene.fld	r218.fld	R407D	R426A	
D6.fld	mliolen.fld	cf3i.fld	r227ea.fld	R407E	R427A	
decane.fld	moleate.fld	water.fld	r236ea.fld	R408A	R428A	
d2.fld	mpalmita.fld	xenon.fld	r236fa.fld	R409A	R429A	
dmc.fld	mstearat.fld	r11.fld	r245ca.fld	R409B	R430A	
dme.fld	c1cc6.fld	r12.fld	r245fa.fld	R410A	R431A	
c12.fld	mm.fld	r13.fld	r365mfc.fld	R410B	R432A	
ethane.fld	neon.fld	r14.fld	rc318.fld	R411A	R433A	
ethanol.fld	neopentn.fld	r21.fld		R411B	R434A	
ethylene.fld	nitrogen.fld	r22.fld		R412A	R435A	
fluorine.fld	nf3.fld	r23.fld		R413A	R436A	
d2o.fld	n2o.fld	r32.fld		R414A	R436B	
helium.fld	nonane.fld	r41.fld		R414B	R437A	
heptane.fld	octane.fld	r113.fld		R415A	R438A	

- 単位系はS I / M K S / C G S / E N G L I S H (or E) / M I X E D (or M) のいずれかから指定する。

②Refprop 関数の種類 (「Refprop」ver9)

*注意：●印の関数のみ「Wave Researcher」冷媒物性解析版で使用できます。

関 数 名					
●	Temperature	温度		IsothermalCompressibility	等温圧縮
●	Pressure	圧力		VolumeExpansivity	体積膨張
●	Density	密度		AdiabaticCompressibility	断熱圧縮
	CompressibilityFactor	圧縮率		AdiabaticBulkModulus	断熱体積弾性率
●	LiquidDensity	液体密度		IsothermalExpansionCoef	等温膨張率
●	VaporDensity	蒸気密度		IsothermalBulkModulus	等温体積弾性率
●	Volume	容積	●	Quality	品質
●	Energy	エネルギー	●	Viscosity	粘度
●	Enthalpy	エンタルピー	●	ThermalConductivity	熱伝導率
●	Entropy	エントロピー		Prandtl	プラントル数
●	IsochoricHeatCapacity	等積熱容量	●	SurfaceTension	表面張力
●	Cv(isochoric)	定積比熱	●	DielectricConstant	比誘電率
●	IsobaricHeatCapacity	定圧熱容量	●	MolarMass	モル質量
●	Cp(isobaric)	定圧比熱	●	EOSMax(Equation of state)	状態方程式
●	SpeedOfSound	音の速さ	●	EOSMin(Equation of state)	状態方程式
●	Sound	音		MassFraction (mix)	質量分数
	LatentHeat	潜熱		MoleFraction (mix)	モル分率
	HeatOfVaporization	気化熱		LiquidMoleFraction (mix)	液体モル分率
	JouleThompson	ジュール・トムソン係数		VaporMoleFraction (mix)	蒸気モル分率
	IsoentropicExpansionCoef	等エントロピー膨張率			

例1：温度と圧力からエンタルピーを求め、演算1チャンネル目に保存する

CH1=ENTHALPY("TP",@1,@2)

括弧内の、"TP"は引数となるデータの種類の、以下から組み合わせて下さい。

T(TEMPERATURE) / P(PRESSURE) / D(DENSITY) / V(VOLUME) / E(ENERGY) /
H(ENTHALPY) / S(ENTROPY) / Q(QUALITY)

括弧内の、@1,@2 は"TP"に該当する温度チャンネル、圧力チャンネルです。

チャンネル名称と一緒に登録できるタグ名でも指定できます。

例2：温度から飽和圧力を求める

CH2=PRESSURE("T",@1)

飽和は、PRESSURE/TEMPERATURE/DENSITY が使用できます。

引数の種類は、液・蒸気により、TILQ/TVAP/PLIQ/PVAP が指定できます。

③「Wave Researcher」で使用できる標準関数

四則演算, pow(べき乗), abs(絶対値), exp(指数), log10(常用対数), log(自然対数), Sqrt(平方根)

Sin(正弦), Cos(余弦), tan(正接), Asin(逆正弦), asos(逆余弦), Atan(逆正接)

Max(最大値), min(最小値), ave(平均値)

IF文(条件判定式による演算処理の分岐)

株式会社ハビリスホームページ [http : //www.habilis.co.jp](http://www.habilis.co.jp) e-Mail : sales@abilis.co.jp

- 「Wave Researcher」®をベースとしたカスタマイズソフトも承ります。下記宛お問い合わせ下さい。
- 当社はこの他、計測・制御に関する各種ソフトウェアの開発を致します。下記宛お問い合わせ下さい。
- 当、導入ガイダンス記載の内容は、予告なく変更する場合がありますのでご了承下さい。（2016年8月現在）

<p>●開発元</p>  <p>株式会社ハビリス</p> <p>システム営業部 〒108-0014 東京都港区芝4-7-1 西山ビル TEL : 03-3769-6291 FAX : 03-3769-6285</p>	<p>●お問い合わせは</p>
--	-----------------