

作品番号：SR494102

空調用クーラー（エバポレータ）熱設計支援ソフト
< 活用手順書・計算事例 >

はじめに

この度は、本ソフトをご覧ご利用頂きありがとうございます。本計算ソフトは最もオーソドックスなクロスフロータイプのフィンチューブ型エバポレータに対する熱設計支援ソフトとして提供するものであります。

多管式クロスフロー型熱交換器は、省エネルギーのための熱回収やプロセス用熱交換器等多方面で使用されている代表的熱交換器の一つであります。

基本構成は伝熱管の外側には伝熱面積を増大させる目的でラジアルフィンやプレートフィン設けるのが一般的であります。フィン側の流体として空気、管内側に冷媒を流し、また伝熱管の材料は主に銅系材料、フィン材としては熱伝導率の比較的高く、比重の小さいアルミニウムが使用されています。これらの構造要素を含めた伝熱特性や構造寸法の予備設計として本ソフトが活用いただけます。

※ 本プログラムを使用頂く上で、結果のいかなる問題やトラブル及びこれらに基づく保証等について著作者は一切の責任を持たないことを予めご承知下さい。

1. 本計算ソフトの熱設計にあたって	----- P3
2. 計算ソフト利用手順	----- P4
3. 計算ソフトによる計算事例	----- P8
3 - 1 計算事例 1 (乾き空気の場合)	----- P9
3 - 2 計算事例 2 (空気中の相対湿度 50%時の場合)	----- P10
3 - 3 計算事例 3 (空気中の相対湿度 80%時の場合)	----- P11

1. 本計算ソフトの熱設計にあたって

1-1 空気側(フィン側)

主に空調用クーラー（エバポレータ）の熱設計にあたり、空気入り側の相対湿度によって空気出側温度が大きく影響されることを考慮する必要があります。乾き空気条件だけで設計すると、特に真夏の高温高湿な条件では設計通りの冷却温度が得られない場合が発生します。そこで、本ソフトでは空気の組成を組み込めるようにし、入側空気の温度及び相対湿度から乾き領域から結露領域に変化する過程での熱伝達率を考慮した（乾き空気対応熱伝達率式及び湿り空気対応の熱伝達率式までを考慮した）対応となっています。

また、フィン側熱伝達率を高めるためのフィン表面に凹凸や波型構造をとる場合がありますが、本ソフトでは平板での熱伝達率及び圧力損失を採用しております。これらの伝熱促進効果と圧力損失割合の増加については不確定要素大きい一義的に確定することは困難であるため熱伝達率補正係数及び圧力損失係数として別途経験則に基づき指定出来るようにしてあります。

1-2 冷媒側（管内側）

冷媒は主にフロン系冷媒が多用され、CFC、HCFC 系や代替フロンとして HFC 系冷媒が主流であります。本ソフトには予め代表的な R134a、R407C、R401A の物性値を相関式として組み込んであり、適正な物性温度、圧力条件での自動読み込みが行われます。もちろんマニュアル入力も可能です。

また、伝熱管入側の冷媒の乾き度 X の状態の選択、冷媒流路のパス数の選択が出来ます。

1-3 熱交寸法と熱設計

一般に、熱交換器を設計する場合の段取りとして、先ず初めに考慮すべきこととして、冷房能力と装置寸法との不可分なトレードオフ関係で、何を目的に作業手順を進めるべきかが問われます。本計算手法ではエアコン用エバポレータを視野に入れ、設置スペースを考慮すべく、熱交換機の横幅（伝熱管の長さ）を決定し、縦の管の段数及び列数をパラメータとして逐次計算し、熱交換能力に見合った空気ファンの必要流量と許容圧力損失を満たすような設計をサポートする事が可能です。

本計算ソフトでは敢えて冷媒循環量は初期設定せず、これらの計算過程から必要量

とされる量が算出されます。波及的にはこれらの結果に基づきコンプレッサー選定仕様の評価が可能であり、更に冷凍サイクルで組み合わせるコンデンサーの設計条件を見積る事も可能となります。

なお、冷凍サイクルの構築にとって必要なコンデンサーにつきましては別売、熱設計支援ソフト CON10 v 01 があります。

2. 計算ソフト利用手順

2-1 ソフトの立上げ

eval1v01.exe を選択し、クリックすると「直交流型熱交換器（エバポレータ）計算プログラム」と題した入力画面が現れます（図 1）。パスワードのカラムに指定されたパスワードを入力すると計算に必要な諸数値の入力が可能となります。また、限定機能確認版を選択した場合は、パスワードは不要ですが動作確認のみで、サンプル数値のみの動作確認が可能となります。

単位系は旧工学単位及び SI 単位から選択出来ます。

図 1. ソフト立ち上げ時の状態

2-2 入力項目及び操作

① 諸元入力

このソフトには予めサンプル数値データが登録してありますので、特に諸数値を入力することなしにサンプル計算が実行出来ます(図4)。このサンプル値に実際の数値に入れ替えて計算すると理解し易いです。諸元サンプル値を OFF にしますと全ての値が解除されます。また、ON にするとサンプル値が表示されます。

なお、フィン材の寸法は入力項目にはありませんが、以下の様に定義してあります。伝熱管の縦方向の管ピッチ(垂直中心距離) P_v 、また横方向の管ピッチ(水平中心距離) P_h とし、フィンブロックの縦の長さ $H = N_v \times P_v + 0.5 \times P_v$ 、奥行き幅 $W = N_h \times P_h$ 、管長手方向幅 L はベンド部を除く1パス当たりの管の長さとなります(図2参照)。

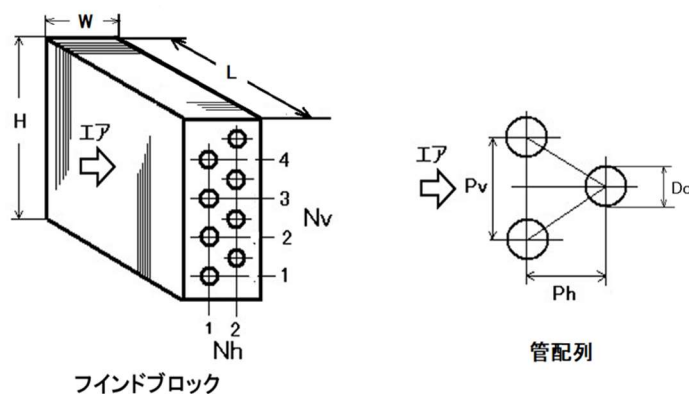


図2.フィンブロック及び管配列

② 冷媒流路パス

空気側は1パス指定です。冷媒側パスは、以下のような選択が出来ます。

- 1) 縦段直列パス : 縦段のみ直結(直上管とのリターンベンド)
- 2) 縦段2列毎直列パス : 縦2列交互直結(縦2列交互リターンベンド)
- 3) 1パス : 管全数が1パス(リターンベンド無)

図3参照。

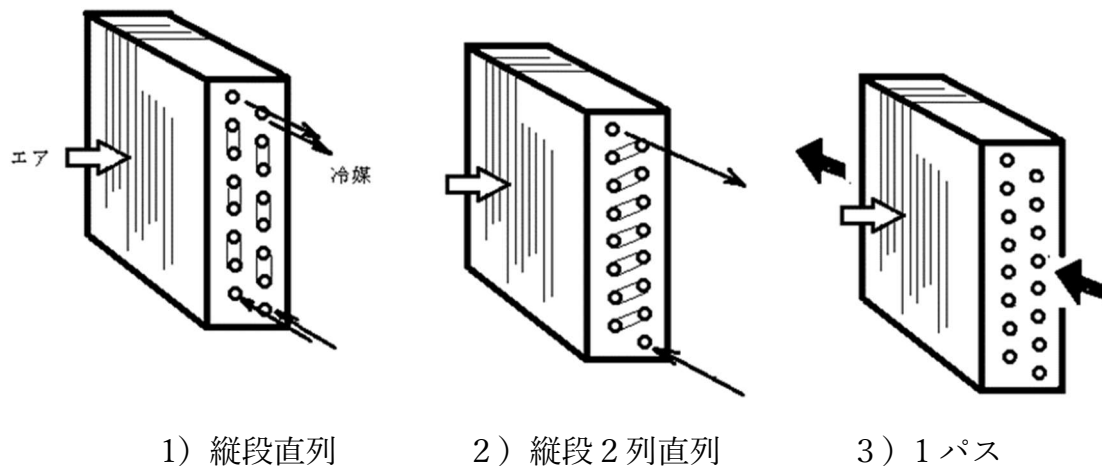


図 3. 管流路パス

③ 空気の組成選択

空気中の水分量はエバポレータの設計にとって重要なファクターとなります。本ソフトでは主要4成分 N₂、O₂、CO₂、H₂O (%) を規定します。先ず、N₂、O₂、CO₂ を入力し、更に諸元入力項目の相対湿度カラムに相対湿度 (%) を入力することで自動計算されて H₂O 値 (%) がカラムに表示されます。

なお、相対湿度がゼロの場合、N₂、O₂、CO₂ は案文補正され合計 100% として表示されます。

④ 冷媒物性値の入力

冷媒サンプル値を初期表示するようにしてありますので、サンプル値を OFF にする事でblankとなり新たに任意入力が可能となります。

本ソフトでは予め冷媒 R407C、R134A、R407C の物性値を登録してありますのでこれらの物性値を選択しますと適正な温度、圧力条件の下での物性値を呼び込むことが可能となります。

⑤ 熱伝達率及び圧力損失補正係数

管内及び管外側の熱伝達率及び圧力損失補正カラムは通常 1 が登録してあります。特に、フィン側の伝熱促進用凹凸構造による熱伝達率増加及び圧力損失の増加分の補正として入力することが出来ます。但し、この数値は個々の表面構造によって異なりますので経験則に基づき設定する必要があります。

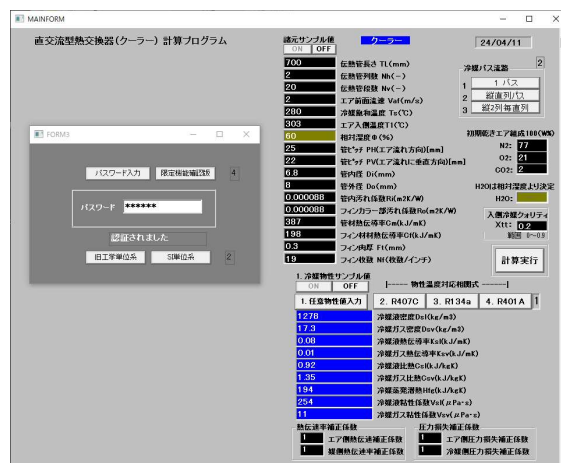


図 4. パスワード入力後のサンプル値表示

⑥ 計算の実行

すべての入力項目の登録が終了後、計算実行ボタンをクリックすることで計算が実行され、計算結果が簡易図と共に表示されます。

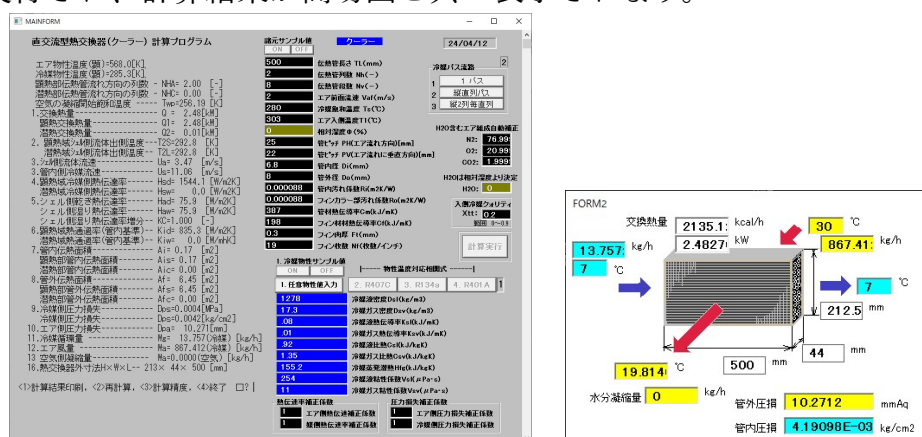


図 5. 計算結果表示例

⑦ 印刷・再計算・計算精度、終了

画面下に 1) 印刷 2) 再計算 3) 計算精度 4) 終了 □? が表示印刷を行う場合は□?をクリックするとプロンプトが現れ、1)を入力すると更に1) 簡易図ハードコピー 2) 計算結果数値印刷 □?が表示されます。

* なお、プリンターの機種によってはソフトを遮断しないと印刷が開始しない場合がありますので、出来るだけ本ソフトでの印刷は予め PC の印刷モードを pdf 優先に切り替え、pdf に一度落とし、終了後まとめて印刷することを推奨。Pdf への印刷は 2 回目以降の印刷は初期ファイル名に逐次インストールされます。

3. 計算事例

3-1 計算事例 1 (乾き空気の場合)

入力画面

図 3 参照

諸元入力項

冷媒物性値選択
又は登録項

フィンの凹凸や管内面溝等による熱伝達率、圧力損失の経験則に基づく補正入力項

図 6 入力画面

図 6 入力画面のスクリーンショットは、直交流型熱交換器（クーラー）の計算プログラム（MAINFORM）の画面を示しています。画面には、クーラーの諸元入力項目、冷媒物性値の選択/登録項目、およびフィンの凹凸や管内面溝等による熱伝達率、圧力損失の経験則に基づく補正入力項目が示されています。

クーラーの諸元入力項目（図 3 参照）:

- 諸元サンプル値: ON / OFF
- 伝熱管長さ TL (mm): 500
- 伝熱管列数 Nh (-): 2
- 伝熱管段数 Nv (-): 20
- エア前面流速 Vaf (m/s): 2
- 冷媒飽和温度 Ts (°C): 280
- エア入側温度 T1 (°C): 303
- 相対湿度 ϕ (%): 0
- 管ヒッチ PH (エア流れ方向) [mm]: 25
- 管ヒッチ PV (エア流れに垂直方向) [mm]: 22
- 管内径 Di (mm): 6.8
- 管外径 Do (mm): 8
- 管内汚れ係数 Ri (m²K/W): 0.000088
- フィンカラー部汚れ係数 Ro (m²K/W): 0.000088
- フィンカラー部熱伝達率 Cm (kJ/mK): 387
- フィン材料熱伝達率 Cf (kJ/mK): 198
- フィン肉厚 Ft (mm): 0.3
- フィン枚数 Nf (枚数/インチ): 19

冷媒物性値選択/登録項目:

- 1. 任意物性値入力: 1278, 17.3, 0.08, 0.01, 0.92, 1.35, 194, 254, 11
- 2. R407C
- 3. R134a
- 4. R401A

フィンの凹凸や管内面溝等による熱伝達率、圧力損失の経験則に基づく補正入力項目:

- 熱伝達率補正係数: エア側熱伝達率補正係数, 媒側熱伝達率補正係数
- 圧力損失補正係数: エア側圧力損失補正係数, 冷媒側圧力損失補正係数

その他の入力項目:

- 冷媒バス流路: 1 バス, 縦直列バス, 縦2列毎直列
- 初期乾きエア組成 100 (W%)
- N2: 77, O2: 21, CO2: 2
- H2Oは相対湿度より決定
- H2O:
- 入側冷媒乾き度 Xtt: 0.2
- 範囲: 0~0.9
- 計算実行

相対湿度 0%時 100%に設定

空気の組成。H2Oは相対湿度入力後自動表示。N2, O2, CO2は案分

計算実行ボタンをクリックすると計算が開始され、計算結果画面が表示される図 7。

3-1 計算事例 1 (相対湿度 0 % の空気の場合)

FORM2

交換熱量 6967.6 kcal/h 30 °C 2246.1 kg/h

8.1019 kW

187.97 kg/h 7 °C

512.5 mm

44 mm

500 mm

17.162 kg/h 500 mm

水分凝縮量 0 kg/h

管外圧損 11.0417 mmAq

管内圧損 2.35505E-03 kg/cm2

相対湿度 0 % の場合乾き空気となり、湿りによる結露（水分凝縮）は発生しない。

3-2 計算事例2（相対湿度50%の湿り空気の場合）

MAINFORM

直交流型熱交換器(クーラー) 計算プログラム

エア物性温度(顕)=566.7[K]
 冷媒物性温度(顕)=284.2[K]
 顕熱部伝熱管流れ方向の列数 - NHA= 2.00 [-]
 潜熱部伝熱管流れ方向の列数 - NHC= 0.00 [-]
 空気の凝縮開始飽和温度 ---- Twp=291.44 [K]
 1. 交換熱量 ----- Q = 6.76[kW]
 顕熱交換熱量 ----- Q1= 6.76[kW]
 潜熱交換熱量 ----- Q2= 0.01[kW]
 2. 顕熱域シェル側流体出側温度 --- T2S=292.0 [K]
 潜熱域シェル側流体出側温度 --- T2L=292.0 [K]
 3. シェル側流体流速 ----- Ua= 3.46 [m/s]
 3. 管内側冷媒平均流速 ----- Us= 5.53 [m/s]
 4. 冷媒側熱伝達率(管外dry) --- Hsd= 2137.5 [W/m2K]
 冷媒側熱伝達率(管外wet) --- Hsw= 0.0 [W/m2K]
 5. シェル側乾き熱伝達率 ----- Had= 66.7 [W/m2K]
 シェル側湿り熱伝達率 ----- Haw= 66.7 [W/m2K]
 シェル側湿り熱伝達率増分 --- KC=1.000 [-]
 6. 顕熱域熱通過率(管内基準) --- Kid= 937.6 [W/m2K]
 潜熱域熱通過率(管内基準) --- Kiw= 0.0 [W/mhK]
 7. 管内伝熱面積 ----- Ai= 0.43 [m2]
 顕熱部管内伝熱面積 ----- Ais= 0.43 [m2]
 潜熱部管内伝熱面積 ----- Aic= 0.00 [m2]
 8. 管外伝熱面積 ----- Af= 16.12 [m2]
 顕熱部管外伝熱面積 ----- Afs=16.12 [m2]
 潜熱部管外伝熱面積 ----- Afc= 0.00 [m2]
 9. 冷媒側圧力損失 ----- Dps=0.0002[MPa]
 10. エア側圧力損失 ----- Dpa= 10.614[mm]
 11. 冷媒循環量 ----- Wg= 156.860(冷媒) [kg/h]
 ★ 冷媒飽和蒸気エンタルピー差 Dh= 37.07[kJ/kg]
 12. エア風量 ----- Wa=2214.34(冷媒) [kg/h]
 13. 空気側凝縮量 ----- Wcon= 0.000(空気) [kg/h]
 14. 伝熱管壁温度 --- Tw=273.0(潜域), 288.3(顕域) [K]
 16. 熱交換器外寸法H×W×L-- 513× 44× 500 [mm]

諸元サンプル値

クーラー

24/04/28

冷媒パス流路

1 パス

2 縦直列パス

3 縦2列毎直列

H2O含むエア組成自動補正

N2: 75.38

O2: 20.55

CO2: 1.958

H2Oは相対湿度より決定

H2O: 2.096

入側冷媒乾き度

X: 0.2

範囲 0~0.9

計算実行

1. 冷媒物性サンプル値

ON OFF

1. 任意物性値入力

2. R407C

3. R134a

4. R401A

1

1278 冷媒液密度 Dsl(kg/m3)

17.3 冷媒ガス密度 Dsv(kg/m3)

0.08 冷媒液熱伝導率 Ksl(kJ/mK)

0.01 冷媒ガス熱伝導率 Ksv(kJ/mK)

0.92 冷媒液比熱 Csl(kJ/kgK)

1.35 冷媒ガス比熱 Csv(kJ/kgK)

194 冷媒蒸発潜熱 Hfg(kJ/kgK)

254 冷媒液粘性係数 Vsl(μPa·s)

11 冷媒ガス粘性係数 Vsv(μPa·s)

熱伝達率補正係数

1 エア側熱伝達率補正係数

1 媒側熱伝達率補正係数

圧力損失補正係数

1 エア側圧力損失補正係数

1 冷媒側圧力損失補正係数

<1>計算結果印刷, <2>再計算, <3>計算精度, <4>終了 □?

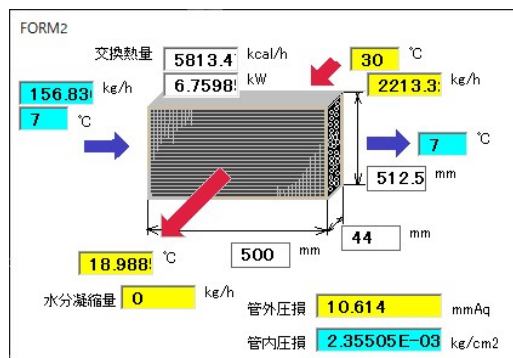


図8. 相対湿度50%時の計算事例

湿り空気の露点温度が18°Cなのでフィン側での空気中の水分凝縮が発生しうる状態、実際には伝熱素子表面温度が14°Cであるため一部結露は発生する。

3-3 計算事例 3 (相対湿度 80%の湿り空気の場合)

MAINFORM		諸元サンプル値		クーラー		24/04/28	
		ON	OFF				
直交流型熱交換器(クーラー) 計算プログラム							
エア物性温度(顕)=567.9[K] (潜)=293.4[K] 冷媒物性温度(顕)=283.6[K] (潜)=283.3[K] 顕熱部伝熱管流れ方向の列数 --- NHA= 0.49 [-] 潜熱部伝熱管流れ方向の列数 --- NHQ= 1.51 [-] 空気の凝縮開始飽和温度 Twp=299.17 [K] 飽和水蒸気入側エンタルピー E1= 81.35 [kJ/kg] 飽和水蒸気出側エンタルピー E2= 77.87 [kJ/kg]							
1. 交換熱量 顕熱交換熱量 Q1 = 4.49 [kW] 潜熱交換熱量 Q2 = 2.16 [kW]							
2. 顕熱域シェルの流体出側温度 潜熱域シェルの流体出側温度 T2S=299.1 [K] 潜熱域シェルの流体出側温度 T2L=298.4 [K]							
3. シェル側流体流速 管内側冷却平均流速 Ua= 3.45 [m/s] Us= 7.34 [m/s]							
4. 冷媒側熱伝達率(管外dry) Hsd= 3796.0 [W/m ² K] 冷媒側熱伝達率(管外wet) Hsw= 3705.7 [W/m ² K]							
5. シェル側乾き熱伝達率 Had= 59.8 [W/m ² K] シェル側湿り熱伝達率 Haw= 66.5 [W/m ² K] シェル側湿り熱伝達率増分 KC=1.112 [-]							
6. 顕熱域熱通過率(管内基準) Kid=1158.5 [W/m ² K] 潜熱域熱通過率(管内基準) Kiw=1150.0 [W/m ² K]							
7. 管内伝熱面積 Ai= 0.43 [m ²] 顕熱部管内伝熱面積 Ais= 0.11 [m ²] 潜熱部管内伝熱面積 Aic= 0.32 [m ²]							
8. 管外伝熱面積 Af= 16.12 [m ²] 顕熱部管外伝熱面積 Afs= 3.98 [m ²] 潜熱部管外伝熱面積 Afc=12.14 [m ²]							
9. 冷媒側圧力損失 Dps=0.0004 [MPa] 10. エア側圧力損失 Dea= 10.498 [mm]							
11. 冷媒循環量 Wag= 104.162 [冷媒] [kg/h] ★ 冷媒飽和蒸気エンタルピー差 Dh= 37.07 [kJ/kg]							
12. エア風量 Wa=2206.48 [冷媒] [kg/h] 13. 空気減縮量 Wcomf= 2.236 [空気] [kg/h]							
14. 伝熱管壁温度--- Tw=286.6 [潜域], 287.3 [顕域] [K] 16. 熱交換器寸法 H×W×L--- 513 × 44 × 500 [mm]							
冷媒ノズル流路		H2O含むエア組成自動補正		H2Oに相対湿度より決定		H2O: 3.354	
1 パス		N2: 74.41		O2: 20.29		CO2: 1.932	
2 縦直列パス							
3 縦2列並行列							
入側冷媒乾き度 X: 0.2		範囲 0~0.9		計算実行			
1. 冷媒物性サンプル値							
ON OFF		----- 物性温度対応相関式 -----					
1. 任意物性値入力		2. R407C	3. R134a	4. R401A			
127.8		冷媒液密度 Del(kg/m ³)					
17.3		冷媒ガス密度 Dsgv(kg/m ³)					
0.08		冷媒液熱伝導率 Ksl(kJ/K/mK)					
0.01		冷媒ガス熱伝導率 Ksv(kJ/K/mK)					
0.92		冷媒液比熱 Csl(kJ/kgK)					
1.35		冷媒ガス比熱 Csgv(kJ/kgK)					
194		冷媒蒸発潜熱 Hsl(kJ/kgK)					
254		冷媒液粘性係数 Vsl(μPa·s)					
11		冷媒ガス粘性係数 Vsv(μPa·s)					
熱伝達率補正係数		圧力損失補正係数					
I エア側熱伝達率補正係数		I エア側圧力損失補正係数					
I 冷媒側熱伝達率補正係数		I 冷媒側圧力損失補正係数					

<1>計算結果印刷, <2>再計算, <3>計算精度, <4>終了 □?

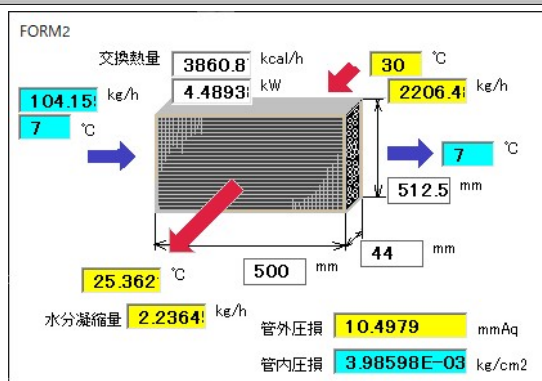


図 9. 相対湿度 80%時の計算事例

湿り空気の露点温度が 30°C なのでフィン側での水分凝縮が発生する状態。

□ 以上 3 ケースの限定条件下でのサンプル計算により、湿度と出側温度との関係は空気入側温度 30℃の場合、相対湿度 0%で 17℃、50%で 19℃、80%で 25℃となり、空気の冷却に於いて湿度の影響が大きくなる（空気を冷やし難い）事例を示した。

以上