

SR064761

プレート式熱交換器のための  
予備熱設計支援計算ソフト

P H E X 3 6

《 活用手順書・計算事例 》

## はじめに

プレート型熱交換器は、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る。

基本構造は金属の薄板を積層させ、熱媒体である低温側流体と高温側流体を板間を交互に流し熱交換を行うもので、通常、板の表面には熱伝達率を高めるための様々な溝が作られている。また伝熱部材は主にステンレス系が多く使われ、特に耐食性を要求される場合はチタン材などが使用される。

本ソフトはプレート式熱交換器について、予備的な熱設計の支援ソフトとしてプログラミング化したものであり、用途としては熱設計支援、既存熱交換器設備の性能チェック等、様々な用途での予備的設計支援に狙いを置いた。

本ソフトの計算対象範囲は顕熱計算として気体、液体、また潜熱計算として、凝縮、蒸発、水分湿り気体、に対応している。熱伝達率の式についてはその出展と式を掲載した。

特に多用される水、湿り、乾き気体については相関式化し、最適な物性値が自動的に呼び込まれる環境を整えた。

### 《計算式の出展》

- 平行平板プレートの熱伝達率 Ryinova ら
- 三角平行平波形の熱伝達率 岡田ら
- 三角傾斜波形の熱伝達率 岡田ら
- コルゲート三角平行平波形の熱伝達率 岡田ら
- 凝縮熱伝達率 尾花 熱交換器設計ハンドブックより
- 蒸発熱伝達率 Chen ら

なお、プレート式熱交換器は採用するプレート構造にふさわしい熱伝達率の相関式を組込むことが理想であります。プレートの溝構造は用途に応じ多岐に亘り、熱伝達率の式もそれに応じ異なります。本計算ソフトはこれら全てに対応するものではなく、採用した熱伝達率は、広く採用されている代表的なプレート構造に対するいくつかの式を引用しておりますので、ご利用になる場合には、あくまでも参考用としてご利用いただくことをご理解下さい。従いまして、本ソフトの中で引用されている溝形状を外れるような場合は適用外となります。

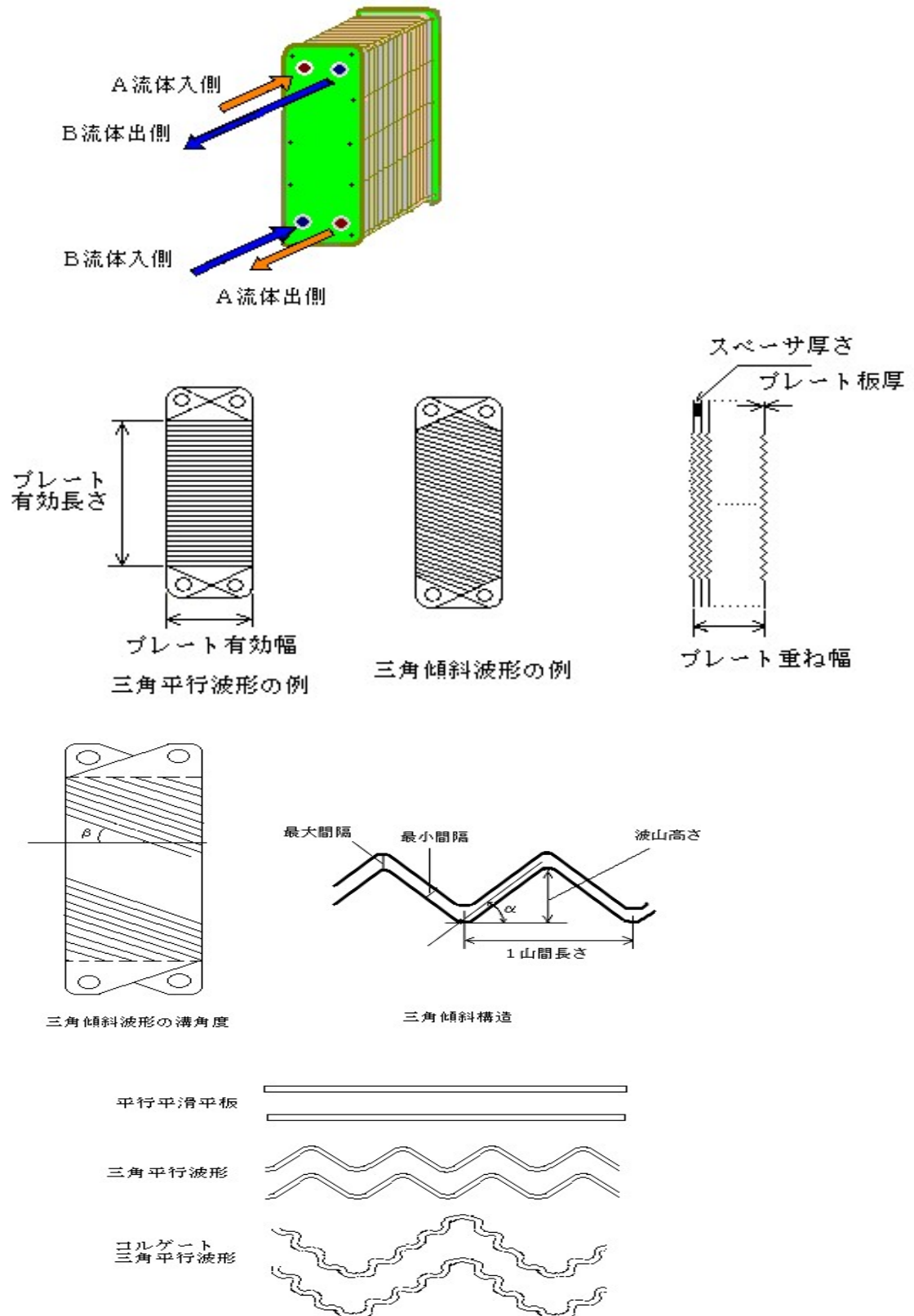
一方、本ソフトには組み込まれた熱伝達率式以外にプレート構造に対し、流速や流体の種類等に対する熱伝達率が把握されている場合、熱伝達率をマニュアル入力することも可能です。また、特殊なプレートを開発し、その熱伝達率の実験式をお持ちの場合は特別仕様でその式をプログラムの中に組み込むこともお引き受けいたします（有償）。

以上、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. プレート構造	-----	4
2. 計算ソフト入力手順	-----	6
3. 計算事例	-----	8
3-1 計算事例 1 (水／水)	-----	8
3-2 計算事例 2 (蒸発／熱媒)	-----	9
3-3 計算事例 3 (凝縮／水)	-----	10

# 1. プレート構造と熱伝達率

## プレート構造例



## 2, 計算ソフト入力手順

Step 1 : 計算プログラム phex ファイルを起動させるとライセンスキー入力ウィンドウが表示されるので所定のキーコードを入力する。制限付使用の場合はコードを入力しないで「次へ」のボタンをクリックする。

Step 2 : 単位系の選択メニュー【SI 単位系】【旧工学単位系】 の選択ボタンが表示されるので、どちらかを選択する。

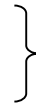
Step 3 : 「プレート構造による熱伝達率の選択」のウィンドウ (FORM8) が表示される。プレート構造に対応した 12 種類の式に対応しており、任意のボタンをクリックする。

### ■熱伝達率式を引用する場合

ボタン 1 : 平行平滑プレートの式

ボタン 2 : 三角平行波プレートの式

ボタン 3 : コルゲート三角平行波プレートの式



プレートの波一山当たりの長さ、波山高さを入力する

### ■プレート形状別熱伝達率の選択

ボタン 4 ~ 12 : 形状別固有熱伝達率の選択

OK ボタンをクリックする。

Step 4 : プレートパス流路の選択ウィンドウ (FORM10) が表示される。n-1 型、n-n 型流路の選択を行う。選択ボタンをクリック後 OK ボタンをクリックする。

■ n-1 を選択した場合、パス選択ウィンドウ (FORM9) が表示される。A 流体側に単 1 流路のパスを形成し、B 流路は複数並流列 n を 1 単位パスとして複数パス (B 流体パス数) を形成する。n = 2 ~ 6 までの場合はボタンで選択する。引続き B 流体パス数を入力し OK ボタンをクリックする。もし、A 流体側と B 流体側をそのまま入替える場合は「B⇒A 入替」ボタンをクリックすることで切替後のプレートパス流路の選択ウィンドウ (FORM9) が表示される。

また、n = 7 以上の場合は「並流列数 n」のカラムに数値を入力する。

「次へ」のボタンをクリックする。

■ n-2 を選択した場合、流路形態が A 流体側と B 流体側が同一となる。「1 パス当たりの並流列数 n」を下段左のカラムに入力する。次にパス数 (A = B) を下段中央のカラム入力する。

OK ボタンをクリックする。

Step 5：右上の PASS ボタンを押すとデーター入力可能な状態とります。

A 流体側物性値の選択：選択範囲は 1 ～ 4 の範囲で 1 ～ 3 は物性値を予め相関式で組み込んであり計算過程の中で温度との整合化が図られるようになっている。

ボタン 4 はそれ以外の物性値についてマニュアルで入力する選択ボタンとなっている。これらの中から目的番号を選択する。B 流体側物性値の選択ボタンは 5 ～ 7 で 5 はブランク、6、7 は A 側と同様に相関式が組み込まれている。いずれかを選択する。

■ 相関式の物性値を引用する場合

A 流体側相関式物性選択ボタン

ボタン 1：飽和水分湿り気体の相関式の組み込み[H <sub>2</sub> O、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> （容積%）] ボタン 2：乾き気体の相関式組み込み[H <sub>2</sub> O、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> （容積%）] ボタン 3：水の物性相関式の組み込み
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

B 流体側物性選択ボタン

ボタン 5：ブランク ボタン 6：乾き気体の相関式組み込み[H <sub>2</sub> O、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> （容積%）] ボタン 7：水の物性相関式の組み込み
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ボタンをクリックすると次に主要入力画面 FORM5)が表示される。必要なカラムに数値を入力後 OK ボタンをクリックする。

■ マニュアルボタン 4 を選択した場合、次に条件選択画面(FORM7)が表示される。流体の種類や熱伝達率の設定条件を入力後 OK ボタンをクリックすると次に主要入力画面 FORM5)が表示される。必要なカラムに数値を入力後 OK ボタンをクリックする。

Step 6：熱交換器の仕様緒元の入力のためのカラムで、画面右側縦に示されたカラムに数値を入力する。なお、最上段の「開く」ボタンをクリックするとサンプル値が表示されるので試用として利用出来る。また、サンプル値をそのまま利用し必要な数値を入替えて使用しても良い。

熱交換器の仕様緒元入力	
[ ]	プレート板厚(mm)
[ ]	プレート間隔(スペーサー厚さ)(mm)
[ ]	有効プレート幅(mm)
[ ]	A 流体側パス数(-)
[ ]	B 流体側パス数(-)
[ ]	有効プレート枚数(-)
[ ]	プレート材の熱伝導率(w/mK)
[ ]	A 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ ]	B 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ ]	凝縮液膜厚さ(mm)
[ ]	A 流体側飽和圧力(MPa)
[ ]	A 流体側飽和液表面張力

Step 7：仕様緒元の入力が完了したら「計算開始／再設定」ボタンをクリックし、「はい」を押すと計算が開始される。

### 3 . プレート式熱交換器計算事例

#### < 顕熱計算事例 >

##### 3-1 計算事例 (水/水)

高温側流体入側温度 90 °C、流量 2000 kg/h、低温側流体入側温度 20 °C、流量 2000 kg/h の場合の低温側出側温度を 80 °C にするためのプレート寸法び交換熱量、圧力損失を求める。  
但し、プレート構造は三角平行波形、1 山ピッチ 10 mm、山高さ 7 mm とする

- ① プレート構造による熱伝達率引用式の選択ウィンドウ FORM8 より “■計算式による設定” の、2 の三角平行波形計算相関式をクリックする。  
更に、プレートの 1 山あたりのピッチ間隔のカラムに 10 を入力する。更に、波山高さのカラムに 7 を入力する。次に “OK” ボタンをクリックする。
- ② FORM10 のウィンドウが表示され、流体パス n-1 型又は n-n 型構成を設定する。ここでは n-n 型を選択し、OK ボタンをクリックする。次に FORM9 のウィンドウが表示され、パス数 (A 流体パス数=B 流体パス数) 及び 1 パス当たりの並流数 n をカラムに入力する。ここでは暫定的に 1 パス当たりの並流数 n=2、パス数=4 を入力する (ここで、プレート枚数確認ボタンをクリックするとプレート枚数が 15 と表示される)。OK をクリックする。
- ③ MAINFORM ウィンドウが表示され、“PASS” ボタンをクリックする。上部カラムの “物性値相関式自動読み込み” の A 流体に「水の物性相関式」3、B 流体に同じく「水の物性相関式」7 のボタンをクリックする。
- ④ FORM5 のウィンドウが表示され、ここでは “Step2” の主要項目入力の A、B 流体の入側流体温度及び流量をカラムに入力する。ここでは A 流体側を低温側とし、293 (20 °C)、B に 363 (90 °C) を入力する、また、流量は低温側 A に 0.555 kg/s (2000 kg/h)、B 流体に 0.555 kg/s (2000 kg/h) を入力する。また、ここではプレート長さを 600 mm として入力しておく。OK ボタンをクリックし、MAINFORM の右カラムに以下の数値を設定する。

熱交換器の仕様緒元入力	
[ 1 ]	プレート板厚(mm)
[ 5 ]	プレート間隔(スペーサー厚さ)(mm)
[ 300 ]	有効プレート幅(mm)
[ 4 ]	A 流体側パス数(-)
[ 4 ]	B 流体側パス数(-)
[ 15 ]	有効プレート枚数(-)
[ 14 ]	プレート材の熱伝導率(w/mK)
[ 0.0001 ]	A 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ 0.0001 ]	B 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ - ]	凝縮液膜厚さ(mm)
[ - ]	A 流体側飽和圧力(MPa)
[ - ]	A 流体側飽和液表面張力

- ⑤ “計算開始/再設定” ボタンをクリックすると、“予備データ登録は OK?” と表示されるので、入力の見直しがなければ ” はい ” を選択クリックすると計算が開始される。
- ⑥ 最初模式図による計算結果が表示され、これをクローズさせると、結果の一覧表を表示出来る。低温側流体温度は 349K (76.2) °C となり、所定の設定値より低いため、次の調整方法として、プレート長さを長くする方法又はプレート幅を広くする方法、プレート

枚数を増やす方法等があるが、ここではプレート長さを長くする方法を選択し、下段の作業選択番号4（再計算）を入力し、“設定確認”ボタンをクリックしプレート長さを1000 mmに変更し、前と同様なプロセスにて計算を実行させると 353.5K (80.5℃) となり、この時の圧力損失は A 側 0.054MPa, B 側 0.053MPa、プレート寸法は幅 300mm 長さ 1000mm プレート枚数 15 枚となる。


- ⑦ 詳細データのプリントは結果一覧表の下段項目の1をプロンプトに入力することにより印刷対象を選択することが出来る。

#### < 蒸発計算事例 >

##### 3-2 計算事例 (R134a 蒸発/熱水)

加熱側 100 °C の加熱水 10 ton/h で蒸発側飽和圧力 0.1 MPa の R134a 液を 1 ton/h 通過させる場合、R134a の蒸発量及び交換熱量はいくらになるか。

但し、プレート構造は計算ソフト FORM 8 の三角傾斜波型（プレート形状選択 No.7）とし、n-1 型の n=4、2 パス（プレート枚数 15 枚）、プレート幅 400 mm、プレート長さ 1000 mm、その他の諸設定は 3-1 と同様とする。

- ① FORM8 ウィンドウより “プレート形状別選択” の、7 の三角傾斜波形をクリックする。  
このとき、プレートの 1 山あたりのピッチ間隔のカラムに 8.0、波山高さのカラムに 4.0 が表示される。次に “OK” ボタンをクリックする。
- ② FORM10 のウィンドウが表示され、n-1 型を選定する。OK ボタンをクリックする。次に FORM9 のウィンドウが表示され、3-1 型を選択し、B 流体パス数入力のカラムに 2 を入力する（ここで、プレート枚数確認ボタンをクリックするとプレート枚数が 15 と表示される）。OK をクリックする。
- ③ MAINFORM ウィンドウが表示され、“PASS” ボタンをクリックする。上部カラムの “物性値マニュアル入力” の ボタン4をクリックする。
- ④ FORM7 のウィンドウが表示される。“A 流体選択” から “気体” の “蒸発” にマークを入れる。  
次に “熱伝達率の選択” の中から、“A 流体側/B 流体側計算で求める” にマークを入れる。OK ボタンをクリックする。
- ⑤ FORM5 のウィンドウが表示され、“Step2” の主要項目入力の A、B 流体の入側流体温度及び流量をカラムに入力する。A 流体側（蒸発側）に K(°C)、B に 373(100 °C)を入力する、また、流量は A 側に 0.278 kg/s (1000 kg/h)、B 流体に 0.555 kg/s (2000 kg/h) を入力する。また、プレート長さを 1000 mm を入力する。  
次に、【物性値マニュアル入力】のカラムにすべて数値を入力する。OK ボタンをクリックする。

⑥ MAINFORM の右カラムに以下の数値を設定する。


熱交換器の仕様緒元入力	
[ 1 ]	プレート板厚(mm)
[ 5 ]	プレート間隔(スペーサー厚さ)(mm)
[ 300 ]	有効プレート幅(mm)
[ 8 ]	A 流体側パス数(-)
[ 2 ]	B 流体側パス数(-)
[ 15 ]	有効プレート枚数(-)
[ 14 ]	プレート材の熱伝導率(w/mK)
[ 0.0001 ]	A 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ 0.0001 ]	B 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ - ]	凝縮液膜厚さ(mm)
[ - ]	A 流体側飽和圧力(MPa)
[ - ]	A 流体側飽和液表面張力

⑦ “計算開始/再設定” ボタンをクリックすると、“予備データ登録は OK？”と表示されるので、入力の見直しがなければ ” はい ” を選択クリックすると計算が開始される。

#### <凝縮計算事例>

##### 3-3 計算事例 (水凝縮/水)

飽和温度 100 ℃の水蒸気 1 ton/h、20℃の水 10 ton/h で凝縮させる場合、凝縮量、交換熱量を求める。プレート構造は計算ソフト FORM 8 の三角傾斜波型（プレート形状選択 No.6）とし、n-1 型の n=6、1 パス（プレート枚数 11 枚）、プレート幅 400 mm、プレート長さ 600 mm、その他の諸設定は 3-1 と同様とする。

- ① FORM8 ウィンドウより “プレート形状別選択” の、7 の三角傾斜波形をクリックする。  
このとき、プレートの 1 山あたりのピッチ間隔のカラムに 8.0、波山高さのカラムに 4.0 が表示される。次に “OK” ボタンをクリックする。
- ② FORM10 のウィンドウが表示され、n-1 型を選定する。OK ボタンをクリックする。次に FORM9 のウィンドウが表示され、3-1 型を選択し、B 流体パス数入力のカラムに 2 を入力する（ここで、プレート枚数確認ボタンをクリックするとプレート枚数が 15 と表示される）。OK をクリックする。
- ③ MAINFORM ウィンドウが表示され、“PASS” ボタンをクリックする。上部カラムの “物性値マニュアル入力” の ボタン4をクリックする。
- ④ FORM7 のウインドウが表示される。“A 流体選択” から “気体” の “凝縮” にマークを入れる。次に “熱伝達率の選択” の中から、“A 流体側/B 流体側計算で求める” にマークを入れる。OK ボタンをクリックする。
- ⑤ FORM5 のウィンドウが表示され、“Step2” の主要項目入力の A、B 流体の入側流体温度及び流量をカラムに入力する。A 流体側（凝縮側）に 373K(100℃)、B に 293K(20 ℃)を入力する、また、流量は A 側に 0.278 kg/s (1000 kg/h)、B 流体に 2.78 kg/s (10000 kg/h) を入力する。また、プレート長さを 600 mm を入力する。  
次に、【物性値マニュアル入力】のカラムにすべての物性値を入力する。OK ボタンをクリックする。

⑥ MAINFORM の右カラムに以下の数値を設定。

熱交換器の仕様緒元入力	
[ 1 ]	プレート板厚(mm)
[ 5 ]	プレート間隔(スペーサー厚さ)(mm)
[ 400 ]	有効プレート幅(mm)
[ 6 ]	A 流体側パス数(-)
[ 1 ]	B 流体側パス数(-)
[ 11 ]	有効プレート枚数(-)
[ 14 ]	プレート材の熱伝導率(w/mK)
[ 0.0001 ]	A 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ 0.0001 ]	B 流体側汚れ係数(m <sup>2</sup> K/W)
[ - ]	凝縮液膜厚さ(mm)
[ - ]	A 流体側飽和圧力(MPa)
[ - ]	A 流体側飽和液表面張力

⑦ “計算開始/再設定” ボタンをクリックすると、“予備データ登録は OK？”と表示されるので、入力の見直しがなければ ” はい ” を選択クリックすると計算が開始される。

⑧ 計算結果が表示され、凝縮量は 700 kg/h、交換熱量は 439,652 W(378,032 kcal/h)となる。また、凝縮 A 流体側圧力損失は 0.253 MPa、B 流体側は 0.001 MPa となる。

⑨ 顕熱側、潜熱側、熱通過率それぞれからの熱収支バランスを確認するには、結果一覧表の下段の“5. 終了/チェック”のプロンプト?に5を入力することでそれぞれの交換熱量比がチェック出来る。

＊ なお、印刷に際し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。

以上