

プレート式熱交換器とその応用製品

Plate Heat Exchanger and It's Technology Expansion

駒 野 宣 夫*

Norio Komano

1. はじめに

プレス成形加工された金属板を多数積層することによって熱交換すべき流体のチャンバーを構成し、効率の高い熱交換を行うことができるプレート式熱交換器は、空調 化学 鉄鋼 半導体 船舶 電力 繊維 および食品工業など広い分野で利用されている。

しかもこのプレート式熱交換器から派生した製品も増え、加熱 冷却の他に 蒸発 凝縮操作に用いられている。

本稿ではこれらのプレート式熱交換器の構造、特徴、設計計算および応用製品について紹介する。

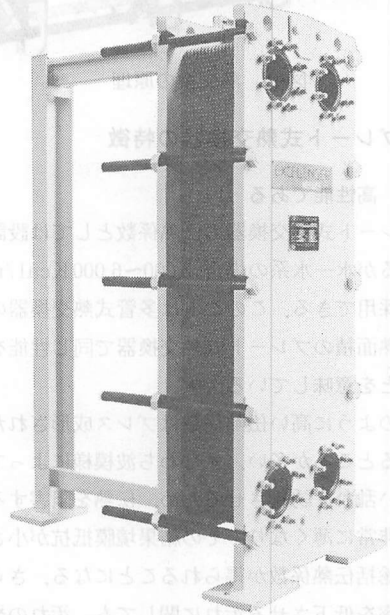
2. プレート式熱交換器の構造

プレート式熱交換器の外観を写1に示す。ステンレス チタニウム ニッケルなどの各種金属板にプレス加工された伝熱プレート（写2）に合成ゴム アスベスト 弗素樹脂製のガスケットを介して重ね合せ、固定フレームと移動フレームの間で締め付けることによって容器が構成される。

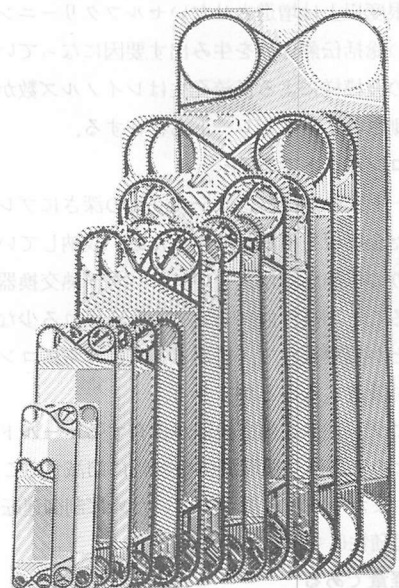
このように伝熱プレートを1枚ずつ交互に上下反転させて重ね合わせることによって図-1に示すように高温流体と低温流体が1枚おきに流れて熱交換を行う構造になっている。

この構造はプレート式蒸発器およびプレート式凝縮器についても同じであるが、蒸発あるいは凝縮側と媒体側のプレス成形模様を異ならせているのが一般的である。

また最近のプレート式熱交換器として積層された伝熱プレートをろう付けによって固着し容器を構成するタイプのものも開発されている。このようにガスケットをなくすことによって、使用される温度範囲が大幅に改善されている。



写1 プレート式熱交換器の外観



写2 伝熱プレート

* ㈱日阪製作所熱交換機部設計開発課課長

〒578 東大阪市東鴻池町2丁目1-48号

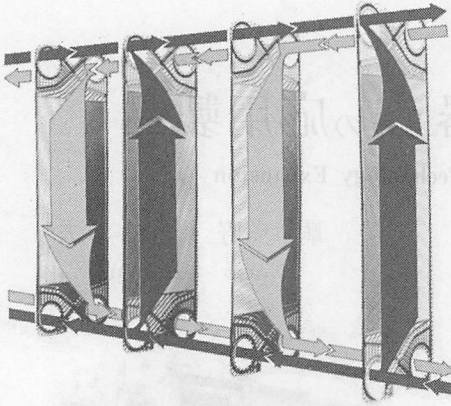


図-1 熱交換の原理

3. プレート式熱交換器の特徴

3.1 高性能である

プレート式熱交換器の伝熱係数としては設計条件にもよるが水-水系の場合 $3,000 \sim 6,000 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ を採用できる。このことは多管式熱交換器の $1/2 \sim 1/3$ の伝熱面積のプレート式熱交換器で同じ性能を発揮することを意味している。

このように高い伝熱係数はプレス成形された波模様によるところが多い。すなわち波模様によって流体に激しい乱れを誘起させるため、伝熱を阻害する層流底層が非常に薄くなり、その結果境界膜抵抗が小さくなり高い総括伝熱係数が得られることになる。さらに伝熱の効率を低下させる汚れに関しても、汚れの発生付着する層流底層が薄いことと流体の乱れが付着した汚れをある限度以上は増進させないセルフクリーニング効果も高い総括伝熱係数を生み出す要因になっている。これらの波模様による乱流発生はレイノルズ数が $10 \sim 15$ で観測されているプレートも存在する。

3.2 コンパクトである

プレート式熱交換器は $1.5 \sim 6.0 \text{ mm}$ の深さにプレス成形された金属板を積層しているため、収納している容積あたりの伝熱面積は大きいコンパクト熱交換器に属していることと高性能によってもたらされる少ない伝熱面積とが相乗されて、機器としては非常にコンパクトに据付設置することができる。

同時にプレート式熱交換器が保有するホールド量が少ないために高価な循環流体を大幅に節減することができる。またホールド量が少ないために制御運転時の温度の追従性にも優れている。

3.3 軽量である

プレート式熱交換器を構成する部品は伝熱プレート、

フレームおよび締付ボルトに区分される。このうち伝熱プレートは通常 $0.5 \sim 1.2 \text{ mm}$ （ロー付けタイプでは 0.3 mm も可能）の薄い金属板をプレス成形し1枚あたりの伝熱面積も $0.015 \sim 3.0 \text{ m}^2$ を超えるものが製造されている。しかもこれらの薄い板厚のプレートでも、高温流体と低温流体間の最高使用差圧は 20 kg/cm^2 に耐えられるように形状設計されている。

またフレームおよびボルトについても圧力毎に標準化が行われ最高使用圧力に適したものが選定される。

このようにプレート式熱交換器の機器重量は他の熱交換器のそれに比べて軽量化が計られている。その上高性能に伴う機器の重量減およびホールド量が少ないことによる運転重量の軽減を加味すれば著しく軽量化され、運搬ならびに据付時の基礎工事が容易になる。

3.4 保守が容易である

伝熱プレートやそのプレートに装着されているガスケットの保守的検および汚れ状態の点検や清掃作業が必要になった場合あるいは仕様の変更などに伴って、伝熱プレートの追加、削減または流路の変更が必要になった場合には、プレート式熱交換器は締付ボルトを操作することによって容易に分解や組立ができる。

すなわちプレート式熱交換器の締付ボルトをゆるめ移動フレームを固定フレームの反対側に移動することで容器全体を分解することができる。しかも分解して保守あるいは仕様の変更作業を行った後に再組立するための余分のスペース、特別な工具および熟練した作業員は必要としないなどの取り扱い易さがある。

4. プレート式熱交換器の設計計算の実際

プレート式熱交換器は基本構造においては対向流れを採用しているが、それぞれの伝熱プレートは大きさ、波模様および対向のさせ方—台形あるいは平行四辺形—においてその種類は多い。このことはその種類の数だけ特性の違うプレート式熱交換器が存在することにつながる。しかもこれらの特性をメーカーが公開していないために詳細な設計はメーカーにまかざるを得ないが、この章では概略設計法について述べることにする。

4.1 メーカーでの設計の実現

プレート式熱交換器のメーカーでも、伝熱プレートの種類が多いことと大きさが同じで波模様が異なる時の組合せまでも考慮して設計する場合、人力では需要家側の期待される応対ができない状態である。このためコンピュータ化によって最適解を求めた後オンライ

ンによって営業所を経由して需要家の方に回答する方法を講じている。

4.2 プレート式熱交換器の概略設計法

図-2に伝熱プレートの大きさや波模様を総括したプレート式熱交換器の特性図を示す。この特性図は水-水系の熱交換器で高温流体も低温流体もワンパスで処理できる範囲を示している。また設計条件の目安としては、高温流体と低温流体の平均温度は30~60℃に流量比は0.8~1.2に適用することができる。

①計算例

60℃の高温流体 100m³/hr を40℃まで冷却する。このときの低温流体は32℃の冷却水を用いるものとする。また高温流体の圧力損失は0.5kg/cm²まで許容する。また適用するプレートの1枚あたりの伝熱面積は0.5m²とする。

②交換熱量 q Kcal/hr

$$q = 100 \times (60 - 40) \times 1,000 \times 1 = 2,000,000 \text{ Kcal/hr}$$

③低温流体出口温度 t℃

$$t = 32 + 2,000,000 / (120 \times 1000 \times 1) = 48.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

高温流体の平均温度 = (60 + 40) / 2 = 50℃

低温流体の平均温度 = (32 + 48.7) / 2 = 40.35℃

高温流体/低温流体の流量比 = 100/120 = 0.83

から図-2の特性図を適用することができる。

④平均温度差 ΔT LMTD °C

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(60 - 48.7) - (40 - 32)}{\ln \frac{60 - 48.7}{40 - 32}} = 9.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

⑤移動単位数 NTU = (T₂ - T₁) / ΔT LMTD

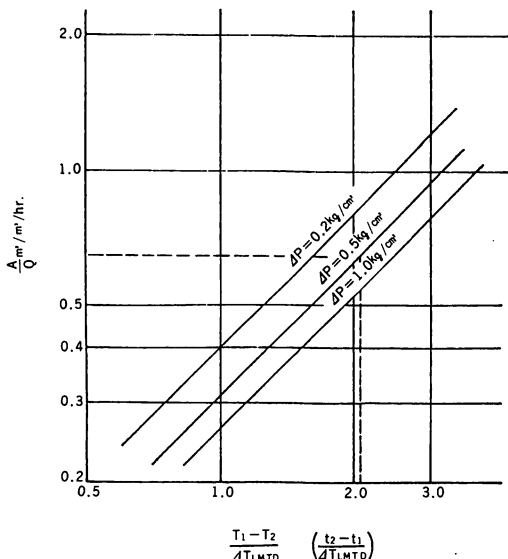


図-2 プレート式熱交換器の特性図

$$\frac{T_2 - T_1}{\Delta T \text{ LMTD}} = \frac{20}{9.6} = 2.08 \text{ }^\circ\text{C}$$

⑥所要伝熱面積 A m²

圧力損失 ΔP = 0.5 kg/cm²の処理流量あたりの伝熱面積を図-2から求めれば

$$A/Q = 0.65 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{hr}$$

となり、処理流量 100 m³/hr では

$$A = 0.65 \times 100 = 65 \text{ m}^2$$

となる。

⑦所要プレート枚数 N

所要プレート枚数は固定フレームと移動フレームに隣接して伝熱に寄与しないプレート2枚を含めて

$$N = \frac{65}{0.5} + 2 = 132$$

となる。

⑧低温流体の圧力損失 ΔP kg/cm²

低温流体側の圧力損失は高温流体側を基準にして

$$\Delta P = 0.5 \times (120/100)^{1.9} = 0.71 \text{ kg/cm}^2$$

を求めることができる。

4.3 プレート式熱交換器特性図の設定根拠

図-2を用いれば前節のように概略設計を行うことができるが、この特性図を設定できる背景としていろいろな特性をもった豊富な種類の伝熱プレートを用意できる前提がある。すなわちワンパスのプレート式熱交換器の場合、

$$A = (2n - 1) \times a$$

$$Q = QR \times n$$

ここでnは高温または低温流体側のプレート数

aはプレート1枚あたりの伝熱面積 (m²)

QRはプレート1枚に流れる流量 (m³/hr)

を示す。

また 2n >> 1 であれば A = 2n × a で表すことができ、

$$q = U \times A \times \Delta T \text{ LMTD}$$

$$= U \times 2n \times a \times \Delta T \text{ LMTD}$$

$$q = Q \times \rho \times C \times (T_1 - T_2)$$

$$= QR \times n \times \rho \times C \times (T_1 - T_2)$$

$$\frac{2 \times a \times U}{QR \times \rho \times C} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta T \text{ LMTD}}$$

を求めることができる。

ここでUは伝熱係数 (kcal/m²・hr・°C)

ρは比重量 (kg/m³)

Cは比熱 (Kcal/kg°C)

を示す。

この右辺の仕様が任意に設定されても左辺のプレート特性が追従できるだけのプレート種類または組合せが可能でなければならない。

5. プレート式熱交換器の応用製品

プレート式熱交換器の製造当初は酪農を中心とした食品工業で分解洗浄ができるという衛生さがかわれて利用されていたが、その特徴が他の工業分野で認められるにつれ、改良や開発も活発化しプレート式熱交換器の機能の向上、各種規格での製造認可（ASME U、圧力容器、高圧ガスなど）およびプレート式の応用製品が誕生し今日に至っている。この章ではこれら応用製品を簡単に紹介する。

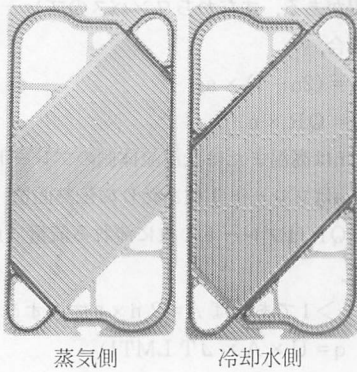
5.1 プレート式蒸発器

プレート式蒸発器は蒸発プレートと蒸気プレートを交互に組み合わせ、蒸発プレートに入った処理液は器内の温度差で自己蒸発を行うとともに蒸発プレートを上昇～下降する短時間で加熱蒸発が行われる。

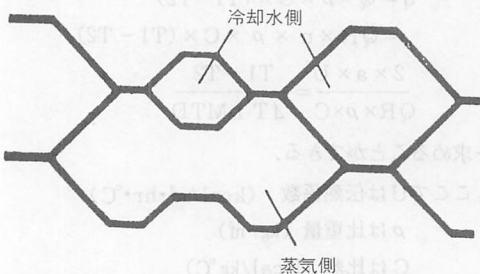
またプレート式蒸発器として薄膜下降方式の大容量蒸発プレートも商品化されている。これらのプレート式蒸発器は濃縮～回収プロセスや海水の淡水化用として使用されている。

5.2 プレート式凝縮器

プレート式凝縮器も蒸発器と同様凝縮プレートと冷



写3 プレート式凝縮器伝熱プレート



写4 プレート式凝縮器の流路断面図

却水プレートを交互に積層して凝縮伝熱を行っている。

この凝縮器プレートとしては写3および図-3に示すように蒸気側の流動抵抗を少なくするための流路の確保に工夫を行っている。またシール用のガスケットとしては有機溶剤蒸気にも耐えられる弗素樹脂クッションガスケット（クッション材は合成ゴム）を用いている。これらのプレート式凝縮器は蒸溜塔の凝縮プロセス、廃ペーパーの熱回収および乾燥用空気の脱湿に採用されている。

5.3 シェル・アンド・プレート式凝縮器

シェル・アンド・プレート式凝縮器はプレート式凝縮器より多量の蒸気を処理するために開発された商品で図-4に示すようにシェル内に蒸気が導入され、交互に配列している凝縮プレートの外周から伝熱プレートを流下する構造になっている。このため伝熱プレートに打ち抜かれた通路を通過する時の無駄な圧力損失がなく、しかも凝縮側伝熱プレートにプレス加工で施されたフリユートと凝縮液を排出するドレネージの効果で従来型に比べて3倍にも及ぶ高い伝熱係数が得られる。

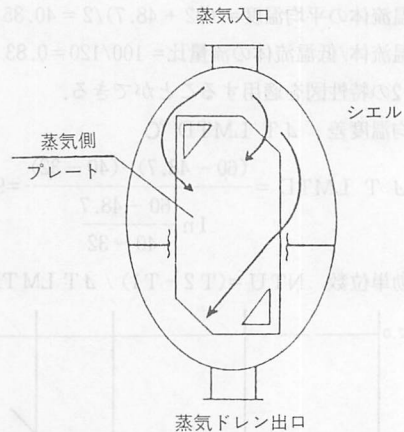


図-4 シェル・アンド・プレート式凝縮器の蒸気の流れ

5.4 ブレージング・プレート式熱交換器

プレート式熱交換器の欠点としては耐圧強度が低いことと耐熱温度が低いことによる使用条件の制限を取り除けないことである。この原因はシール材として、ニトリル、エチレンプロピレンなどの合成ゴムをはじめ弗素樹脂およびアスベストなど非金属製ガスケットを使用しているためである。

このプレート式熱交換器の欠点を改善すべく採用されたのがろう付技術である。ブレージング・プレート式熱交換器は写4に示すように伝熱プレートとフレ

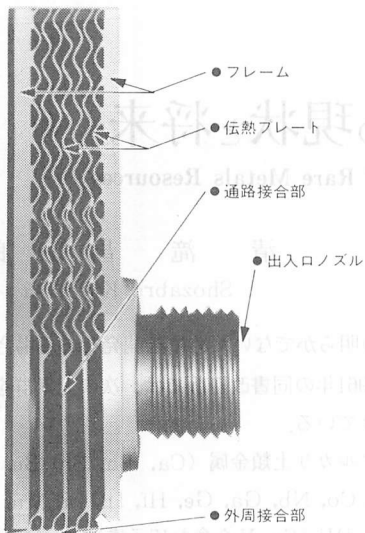


写真4 ブレージング・プレート式熱交換器

ムをろう材で溶融接合するためにガスケットはもちろん締付ボルトをも取り除いた構造になっている。この

ことによって高温高圧および超真空の領域においても非金属製のガスケットでは得られなかった高い信頼性と従来からのプレート式熱交換器の特徴である高性能を得ることができた。

さらに分解を行ってガスケットなどの点検や保守の必要がなくなったことから、分解用のスペースをも削減したために一層のコンパクト化がはかられている。

6. おわりに

プレート式熱交換器の構造、特徴、概略設計法およびプレート式熱交換器から派生した応用製品について述べたが、本稿がプレート式熱交換器ならびに応用製品の理解と設備計画時の参考になれば幸いです。

参考文献

駒野宣夫；配管と装置 1981.2

国際シンポジウム案内

第11回ウラニウム学会年次シンポジウム

(Eleventh Annual Symposium of the Uranium Institute)

<会 期> 1986年9月2日(火)～4日(木)

<会 場> ウラニウム学会 (英国, ロンドン)

<参加費> Stg. £430 (約 112,000)

ウラニウム学会 (The Uranium Institute)は、1975年にウラニウム採鉱業界が主体となって設立された。現在は18か国から65団体が会員になっている。この年次シンポジウムは、この学会の主要行事であり、今回はとくに、「ウラニウムの供給/需要バランス」についての報告が注目を集めている。そのほか、「ウラニウム採鉱における安全性」や「エネルギー政策」などのテーマが関心を集めている。

シンポジウムは、つぎの5セッションに分れて開催される。参考までに、各セッションのテーマをつぎに紹介する。()内は発表件数

第1セッション： エネルギー政策 (4件)

第2セッション： ウラニウム採鉱 (4件)

第3セッション： 人々の態度と廃棄物処理 (3件)

第4セッション： 技術進歩の必然性 (2件)

第5セッション： ウラニウム市場 (5件)

詳細は、下記の同学会事務局までご照会下さい。

Mr. Terence Price

The Uranium Institute

12th Floor, Bowater House

68 Knightsbridge

London SW1X 7LT

U. K.

Tel: 01-225-0303

Telex: 917611 URINST G