

ビッカーブ社製プレート式熱交換器の概要 (第一報)

Presentation of VICARB Plate Heat Exchanger (1)

冷却塔生産部 技術課

岩崎 昭彦
Akihiko Iwasaki
八木 健
Takashi Yagi

Shinko-Pfaunder has started marketing of plate heat exchanger manufactured by world-famous Vicarb of France. This paper describes the product in 2 installments, dealing with the subjects of theory, structure and descriptive account of the product in the first installment and of installation, dismantling and assembly in the second installment.

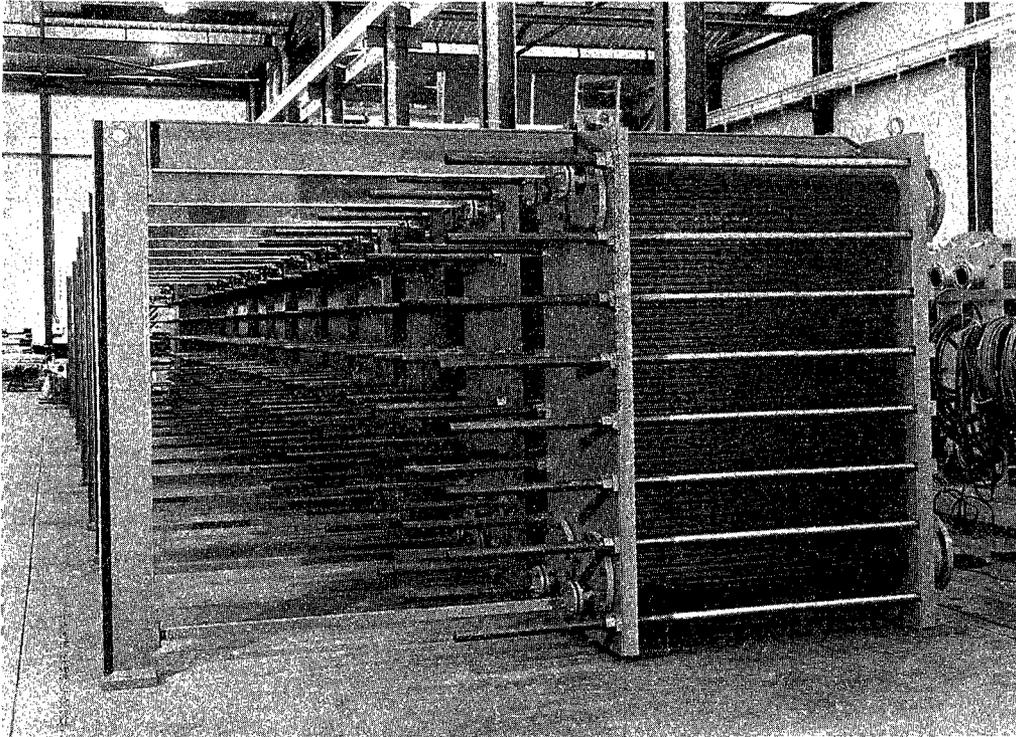


写真 1
プレート式熱交換器
Photo. 1
Plate Heat Exchanger

当社はこのたび世界的な製造実績を誇るフランス・ビッカーブ社製プレート式熱交換器の販売を開始しました。本稿では第一報として、このプレート式熱交換器の性能的な基本理論、構造の説明を行い、第二報にて据付・分解・組立方法を詳説します。

1. ま え が き

プレート式熱交換器は波状のリブをもつ伝熱プレートをガスケットを介して重ね合わせ、プレート間交互に流体を通して熱交換を行うもので、その構造上の取扱いの容易さ、熱交換性のよさおよび経済性の点等大きな利点があり広範囲に使用され、ビッカーブ社はこの分野で世界有数の実績を誇っています。本稿はこのビッカーブ社プレート式熱交換器の性能についての基本理論、構造について説明します。

2. プレート式熱交換器 (略称“PHE”) の選定基準

PHEの型式選定に必要な総括伝熱係数は、与えられた仕様条件から一義的に決定されるものではなく、プレート

に接触して流れる流体の速度で変化する境膜伝熱係数、プレート肉厚、プレートの熱伝導率、汚れ係数によって求められます。従って各種のプレートおよび流路構成について与えられた仕様に合致する型式選定を行い最適の型式をその中から選びだすためにはコンピュータ計算が不可欠となります。

2.1 熱 取 支

$$Q = q_1 \cdot c_1 (t_{e1} - t_{s1}) = q_2 \cdot c_2 (t_{s2} - t_{e2})$$

ここに Q: 熱量 kcal/h
q: 流量 kg/h
c: 比熱 kcal/kg・°C
t_e: 入口温度 °C
t_s: 出口温度 °C

添字 1 は被冷却側の、2 は冷却側の流体を示します。

2.2 対数平均温度差 (Δt_m)

$$\Delta t_m = \frac{t_{e1} - t_{s1}}{\ln \frac{t_{e1} - t_{e2}}{t_{s1} - t_{s2}}}$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } \Delta t_{ch} &= t_{e1} - t_{s2} \\ \Delta t_{fr} &= t_{s1} - t_{e2} \end{aligned}$$

2.3 伝熱面積

$$S = Q/K \cdot \Delta t_m \cdot F$$

ここに S : 伝熱面積 m^2
 K : 総括伝熱係数 $kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$
 F : 補正係数

2.4 総括伝熱係数

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{e_o}{\lambda_o} + R_1 + R_2$$

ここに α : 境膜伝熱係数 $kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$
 e_o : プレート肉厚 m
 λ_o : プレートの熱伝導率 $kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$
 R : 汚れ係数 $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$

・汚れ係数Rは通常、PHE用として下記の値を用います。

- ・海水 : $5 \times 10^{-5} \quad m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$
- ・特に汚れた河川水 : $8 \times 10^{-5} \quad m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$
- ・河川水 : $4 \sim 6 \times 10^{-5} \quad m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$
- ・軟水 : $2 \times 10^{-5} \quad m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$
- ・飲料水 : $1 \times 10^{-5} \quad m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$

2.5 境膜伝熱係数

$$Nu = aR_o^b P_r^c \frac{(\mu)^{0.14}}{(\mu_p)} \text{ および } Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$$

ここに a, b, c : プレートの形状による特性定数
 $0.1 < a < 0.35$ μ ; 流体の粘度
 $0.65 < b < 0.75$ μ_p ; プレート壁温度における流体の粘度
 $0.33 < c < 0.40$
 R_o : レイノルズ数(無次元) ; 流体のある流量および流速での特性値
 Nu : ヌッセルト数(無次元) ; 熱伝達特性値
 d : 水力学的直径 = プレート間隙の2倍。
 P_r : プラントル数
 λ : 流体の熱伝導率 ($kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$)

2.6 圧力損失

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

ここに ΔP_1 : プレート内圧損。すなわち動的損失であり、流速の2乗に比例します。 ΔP_1 が高くなればなる程Kは大きくなります。

ΔP_2 : 分配とノズルによる圧損。プレート枚数の2乗に比例します。

圧損は極力小さくとどめるべきです。

2.7 熱移動単位数(NTU)

$$NTU = \frac{KS}{q_c} = \frac{t_{e1} - t_{s1}}{F \cdot \Delta t_m}$$

このNTU値は熱伝達の難易度を示し、この値が大きい程、熱交換はより困難となります。

例えば $t_{e1} : 70^\circ C \rightarrow t_{s1} : 30^\circ C$ (高温側)
 $t_{s2} : 68^\circ C \leftarrow t_{e2} : 28^\circ C$ (低温側)

$$\Delta t_{ch} : 2^\circ C \quad \Delta t_{fr} : 2^\circ C$$

$$\therefore \Delta t_m = 2^\circ C, \quad t_{e1} - t_{s1} = 40^\circ C, \quad NTU = \frac{40}{2} = 20$$

通常プレートはそのパス数で決るNTU値を有してお

り、伝熱面積 $2 m^2$ のプレートでは $NTU = 3 \sim 4$ 、 $1 m^2$ のプレートでは $NTU = 2 \sim 3$ です。

この例に於ては $2 m^2$ のプレートで6パスを必要とします。

2.8 パス数の概念

N : 全プレート枚数

N-2 : 実質的に熱交換に関与するプレート枚数

N-1 : 間隙数

$\frac{N-1}{2}$: 流体ごとの間隙数

S_o : 間隙の断面積

S : 間隙の総断面積

Sの値を非常に大きくとると、流速は伝熱係数と同様に小さくなります。このような場合は複数パスの循環を考慮する必要があります。

n : パス数。1パス当りの断面積は S/n となります。

3. 標準PHEの仕様

添付のデータシートで第1表はコンピュータにインプットすべきデータであります。第2表はコンピュータによりアウトプットされるデータであり、選定されたPHEの仕様諸元を示します。

第1表 熱交換器データシート

Table 1 Data sheet for heat exchangers

| Performance | Unit | Side-1 | Side-2 |
|--------------------------|--|--------|--------|
| Fluid Circulated | | | |
| Inlet Flow Rate(Liq.) | kg/h | | |
| (Vap.) | kg/h | | |
| (Tot.) | kg/h | | |
| -Condensed Vapour | kg/h | | |
| -Sprayed Liquid | kg/h | | |
| -Steam | kg/h | | |
| -Non Condensables | kg/h | | |
| Liquid | | | |
| -Specific Weight | kg/dm ³ | | |
| -Specific Heat | kcal/ ^o C kg | | |
| -Thermal Conductivity | kcal/h·m· ^o C | | |
| -Dynamic viscosity | Centipoise | | |
| -Vapour-non Condensables | | | |
| -Molecular Weight | | | |
| -Specific Weight | kg/m ³ | | |
| -Specific Heat | kcal/ ^o C·kg | | |
| -Thermal Conductivity | | | |
| -Dynamic Viscosity | | | |
| -Latent Heat | | | |
| Temperature In | ^o C | | |
| Out | ^o C | | |
| Inlet Pressure | kg/cm ² gauge | | |
| Limit Pressure Drop | kg/cm ² | | |
| Fouling Factor | m ² ·h· ^o C/kcal | | |
| Heat Exchanged | kcal/h | | |
| LMTD | ^o C | | |

第 2 表 熱交換器データシート

Table 2 Data sheet for heat exchangers

| Performance | Unit | Side-1 | Side-2 |
|---|--------------------------|--------|--------|
| Definition of The Unit: Number of Exchangers: Overall Surface: | | | |
| Nb. Circuits in Parallel | | | |
| Nb. of Exchanger in Series Per Circuit | | | |
| Definition of One Heat Exchanger | | | |
| Type | | | |
| Correction on LMTD | | | |
| Transfer Rate | kcal/h·m ² ·C | | |
| Calculated Surface | m ² | | |
| Surface Area Per Exch. | m ² | | |
| Surface Area Per Plate | m ² | | |
| Number of Plates | | | |
| Construction Data Per Heat Exchanger | | | |
| Distance Between Plates | mm | | |
| Number of passes | | | |
| Velocity | m/s | | |
| Pressure Drop | kg/cm ² | | |
| Working Pressure | kg/cm ² gauge | | |
| Design Pressure | 〃 | | |
| Test Pressure | 〃 | | |
| Design Temperature | °C | | |
| Connections | | | |
| Position: In/Out | | | |
| General Dimentions | | | |
| Fluid Volume Inside | ℓ | | |
| Weight Dry | kg | | |
| Weight Flooded | kg | | |
| Overall Width | mm | | |
| Overall Length | 〃 | | |
| Overall Height | 〃 | | |
| Plate Thickness | 〃 | | |
| Size A Min./Max. | 〃 | | |
| Size B Min./Max. | 〃 | | |
| Size C | 〃 | | |
| Size D | 〃 | | |
| Materials | | | |
| Plates | | | |
| Connections | | | |
| Gaskets | | | |

4. 標準構造のPHE仕様

4.1 フレーム

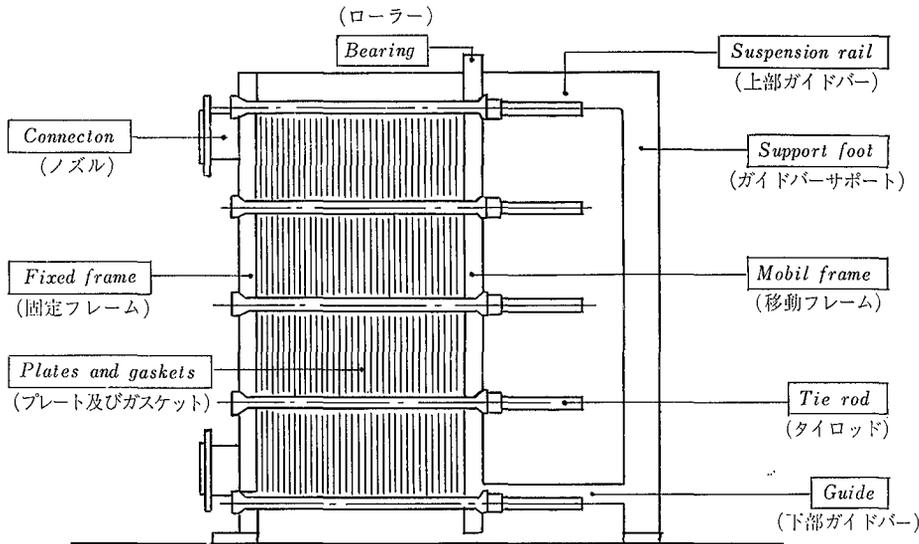
- ・固定フレーム および 移動フレームは 強固な厚鋼板製です。
- ・上部ガイドバーは 固定フレーム および ガイドバーサポート上に設置されており、プレートを懸吊支持すると共に、プレートの洗浄の際、プレートの取外しおよび再取付けを容易にします。
- ・下部ガイドバーは、プレートを定位置に保持するものであります。
- ・タイロッドは熱交の全周に等間隔に付いており、固定フレームと移動フレーム間のプレートを締付調整します。確実な熱交の組立には油圧による締付方法を採用しております。
- ・組立完了後は、フレームに塗装またはエナメルコーティングを施します。

4.2 プレート

- ・ピッカー社のプレートには3種類の波形形状があります。
- (1) HKタイプ: このタイプはプレートの長手方向に垂直の波形をもった型式で、さらに流路方向に平行に突起が並んでおり、この突起が、隣接するプレートをサポートしています。これらの突起の数と位置は、各プレートのみならず熱交全体が最適な強度を保つ様設計されています。
- (2) FPCタイプ: このタイプは、プレートの長手方向に平行の波形をもっています。突起はHKタイプとよく似ていますが、ほとんど垂直です。
- (3) CHタイプ: このタイプは、ヘリングボーン状の波形を有しています。二つの波形の間にあるブリッジの数はHKタイプ及びFPCタイププレートよりも多く、高圧力差に耐えることができますが、閉塞の傾向が若干強くなります。
- ・HKタイプと傾斜角度の緩い波形を使ったCHタイプは、高い熱伝達率を取れますが圧損は高くなります。
- ・FPCタイプと傾斜角度の鋭い波形を使ったCHタイプは熱伝達率は低くなり圧損も低くなります。
- ・HKタイプとFPCタイプは同一フレーム内に組み込み可能であります。
- ・CHタイプでは、傾斜角度の異なるプレートを、同一フレーム内に組み込み可能であります。
- ・ピッカー社は、プレス可能な全ての金属又は合金のプレート、例えば、ステンレス、チタン、0.2%パラジウム入りチタン、ハステロイB,C,G、タンタル、アルミニウム合金、キュプロニッケル、キュプロアルミニウム、ニッケル合金、モネル、インコネル、フェラリウム、インコロイ825、カーペンター20、等々で製作可能であります。

4.3 ガasket

- ・ほとんどのガスケット用材質として、多種多様の合成ゴムを使用することが可能です。例えば、ニトリル、エチレン、プロピレン、ブチル、ブチル系樹脂、バイトン等々。
- ・ガスケットは石綿でも製作可能であります。



第1図 標準構造材仕様
Fig. 1 Specifications of Standard Structural Members

- これらのガスケットを扇状のエッジにそって溝に正確に取り付けます。接着の際は、特殊工具は不要であり、ユーザーにて、容易に接着可能であります。
- 数年間の運転後でも、ガスケットは取外し、また再使用可能であります。

4. 4 ノズル

- 流体はノズルを通り、フレームに接触することなく第1番目のプレート開口部から最後列のプレートへと流れます。ノズルはプレートと同材料で製作されています。

5. 設計および使用上の留意点

5. 1 プレート

- プレート間へ流体を通さないプレートの開口部は、その周囲をガスケットにより十分シールし、開口部は大気開放となっています。
- 隣接する交互のプレート間には、金属接触部が多接触となるように設計上配慮されています。
- プレートは上部ガイドバーでサポートされ、小溝を付けたボトムバーはガイドの役目に使用されています。
- 両端のプレートは、入口および出口の流体をシールするため、固定フレームと移動フレームに密着して取付けます。

5. 2 固定フレームと移動フレーム

- 1パス向流型PHEには全て固定フレームにノズル接合部が設けられています。
- フレームの全周にはタイロッド用穴が等間隔に配分されています。
- 移動フレームはローラーを介して、上部ガイドバーでサポートされ、下部支持バーがガイドとなっています。

5. 3 タイロッドおよびナット

- タイロッドは追加プレート分を見込んだ長さにあります。
- タイロッド最小径は19mmであります。
- タイロッドの両端に専用ナットおよびワッシャーを

取付け、固定フレームと移動フレームを固定します。

5. 4 上部ガイドバー

- 移動フレームのローラー移動のため、上部ガイドバー上面は特に滑らかな仕上げを施してあります。
- 上部ガイドバーは滴水状態での熱交の1.5倍の重量(移動フレーム、タイロッド、ナットおよびノズル重量を含む)をサポートできる様設計されています。

5. 5 接続部(ノズル)

- 入口、出口の接続方式は、フランジ、ネジ込みいずれの方式でも可能です。

- 接続用ネジ部開口部には、プレート材質と同じ金属およびガスケット材料と同質のエラストマーを取付けます。

- ノズル突出長さは組立を確実にし、ノズルフランジボルトを交換するのに十分な寸法にしています。

5. 6 プレート用ガスケット

- ガスケットはプレート伝熱面周囲の溝および流体出入口の周囲に取付けられます。プレートの溝はガスケットを組み込み可能な様に設計してあり、また圧力によって流体が溝から漏れない様に設計されています。
- ガスケットとガスケット溝の構造は、プレートの位置決め、取付けが容易にできる様に設計されています。ガスケットはプレート間が金属接触するまで圧縮されます。
- プレートのガスケット埋込み溝表面には、ガスケット材質に適合しかつプレートとガスケット間を十分接着可能な合成ボンドを塗布します。
- ガスケット溝の表面は、溶剤での洗浄かサンドブラストを施し、十分乾燥の後に接着剤を塗布します。洗浄には布ヤスリや研磨剤を使用してはなりません。
- 両端のプレートとフレーム間に使用するガスケット以外は全て同一材質とします。ガスケットは継ぎ目のない一枚ものを使用します。

5. 7 塗装

フランジ上面とガスケット表面以外の熱交表面には、メーカー標準規格に従った塗装を行います。

5. 8 ガスケットの許容温度

ガスケット材料に対する最大許容温度は以下の通りです。

- | | |
|---------------|----------------------------|
| • ニトリル系：140°C | • EPDM (エチレン・プロピレン系)：150°C |
| • ブチル系：150°C | • アスベスト系：180°C |
| • バイトン系：200°C | |

5. 9 圧力および最大圧力差

• 熱交における設計圧力は二つの構成材(フレームとプレート)に分けて考える必要があります。

- フレーム：標準フレームは10 kgf/cm²の設計圧力で厚みを決定しており、それ以上の圧力では設計仕様

に応じてフレーム厚みをその都度決定します。

b) プレート：プレートは最高差圧に耐え、かつ歪みや伝熱係数の低下を生じないように設計されています。

・水圧試験値に用いる安全係数は、客先仕様の規定に従います。

・第3表には各タイプ毎のプレートの最大試験圧力差を肉厚および材質別に示しています。

6. PHEとシェルアンドチューブ (S&T) 式熱交との対比

| 項目 | P H E | S & T |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1. 効率 | “U”値がS&Tに比べて3~5倍高い | “U”値が低い |
| 2. 据付面積 | S & Tの $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{10}$ | チューブバンドル引き出し用に据付面積の2倍必要 |
| 3. 構造 | 分解が容易 | チューブバンドルを引き出さねばならず複雑 |
| 4. 伝熱面積 | 増減可能 | 一定 |
| 5. 重量 | S & Tの $\frac{1}{2}$ 以下 | 重い |
| 6. 二液の混合 | ガスケットの設計考慮により起りえない | 溶接部やチューブから起り得る |
| 7. 汚れ度合 | 波形と乱流により小さい | 円形断面と層流により大きい |
| 8. 交換 | 容易 1枚1枚のプレート交換のみでよい | チューブの目詰り対策や、チューブ交換が難しい |
| 9. 漏れ | 常に外側へ漏れるので発見が容易 | 漏れの発見のためには特殊方法が必要 |
| 10. 検査 | 分解後目視点検 | チューブバンドルを引き出す要あり困難 |
| 11. 能力アップ | プレートの追加で可 | 不可能 |
| 12. 化学洗浄 | 波形と流路形状のため容易 | 十分可能 ただし死角に注意 |
| 13. 最高圧力 | 20kgf/cm ² | 100 kgf/cm ² |
| 14. 最高温度 | 140~200°C | 500°C |
| 15. 最大流量 | 4,000m ³ /h | 制限なし |
| 16. 最高粘度 | 20,000~30,000CPS | 100,000CPS |
| 17. 圧力損失 | 平均的 | シェル側は低い |
| 18. 熱損失 | 実質ゼロであり断熱材不要 | 熱損失が大きいので断熱材を必要 |
| 19. 特殊合金の使用 | 溶接不要 チタン使用でも低コスト | 溶接が必要 |
| 20. 価格 | ステンレス鋼又はより高級鋼使用の場合でもS & Tより安価 | 炭素鋼使用の場合はPHEより安価 |
| 21. アプローチ | 2°Cまで設計可能 | 最小5~10°C必要 |
| 22. 設計誤差 | ミスはない 万一あった場合でもプレート枚数の追加のみでよい | 常に安全側に設計する必要がある |
| 23. 保有水量 | 少ない | 非常に多い |
| 24. 利用範囲 | プレートを接続することにより多目的運転が可能 | 1基で1用途 |

第3表 最大圧力差：溝とエラストマー付プレート
Table 3 Maximum Differential Pressure : Plates With Channels and Elastomer Gaskets

| Module | Type | Thick-ness | Plates Stainless Steel/Hastelloy | | Titanium Plates | |
|----------------|-------------|------------|----------------------------------|-----|---------------------|-----|
| | | | kgf/cm ² | PSI | kgf/cm ² | PSI |
| V 4 | CH | 0.5 | | | | |
| | | 0.6 | 20 | 290 | 15 | 218 |
| | | 0.8 | 30 | 435 | 25 | 363 |
| V 7 | HK | 0.6 | 10 | 145 | 8 | 116 |
| | | 0.8 | 25 | 363 | 15 | 218 |
| V13 | CH | 0.5 | | | | |
| | | 0.6 | 20 | 290 | 15 | 218 |
| | | 0.8 | 30 | 435 | 25 | 363 |
| V28 | HK | 0.6 | 10 | 145 | 8 | 116 |
| | | 0.8 | 20 | 290 | 15 | 218 |
| | | 1 | 25 | 363 | 20 | 290 |
| V55 | HK | 0.6 | 8 | 116 | 6 | 87 |
| | | 0.8 | 15 | 218 | 12 | 174 |
| | | 1 | 19 | 276 | 15 | 218 |
| V85 | HK or F P C | 0.6 | 10 | 145 | 9 | 131 |
| | | 0.8 | 20 | 290 | 15 | 218 |
| | | 1 | 25 | 363 | 20 | 290 |
| V85 or V50 | CH | 0.6 | 18 | 261 | 15 | 218 |
| | | 0.7 | 25 | 363 | 20 | 290 |
| | | 0.8 | 30 | 435 | 25 | 363 |
| V120 V180 V260 | HK or F P C | 0.6 | 9 | 131 | 8 | 116 |
| | | 0.7 | 13 | 189 | 11 | 160 |
| | | 0.8 | 18 | 261 | 14 | 203 |
| | | 1 | 23 | 334 | 18 | 261 |
| V180 or V260 | CH | 0.6 | 15 | 218 | 13 | 189 |
| | | 0.7 | 22 | 319 | 17 | 247 |
| | | 0.8 | 26 | 377 | 21 | 305 |

7. むすび

以上当社販売品であるピッカー社製プレート式熱交換器の性能的な基本理論および構造の概要について述べてきました。別稿では第二報としてピッカー社製プレート式熱交換器の取扱い説明について記述する予定であります。

当社では別にピッカー工業用プレート式熱交換器のカタログを用意しておりますのでご用命下さい。