

高温・高圧用溶接形プレート式熱交換器 コンパブロックの概要

Presentation of COMPABLOC® Welded Plate Heat Exchanger



(化)技術部 技術課
平井 清 司
Kiyoshi Hirai

COMPABLOC welded plate heat exchanger provides efficient heat transfer (similar to gasketed plate heat exchanger) and extends the applicability of plate heat exchangers by removing the problems associated with gasket compatibility.

The design offers access to both process and service for cleaning, and can be used at pressures up to 3.1 MPa and temperatures up to 300 °C.

まえがき

従来のガスケットを用いたプレート式熱交換器（以下PHEと称す）と通常が多管式熱交換器の適用分野は、PHEの構造的な制約から異なるものとされてきた。

すなわち、PHEは多数のゴム系プレート間ガスケットを使用しなければならない必要から温度、プロセス液物性に制約がありまた耐圧力も比較的低いのに対し、多管式熱交換器はPHEより伝熱能力は低い温度、圧力に制約が少なく高温、高圧の分野に用いられてきた。

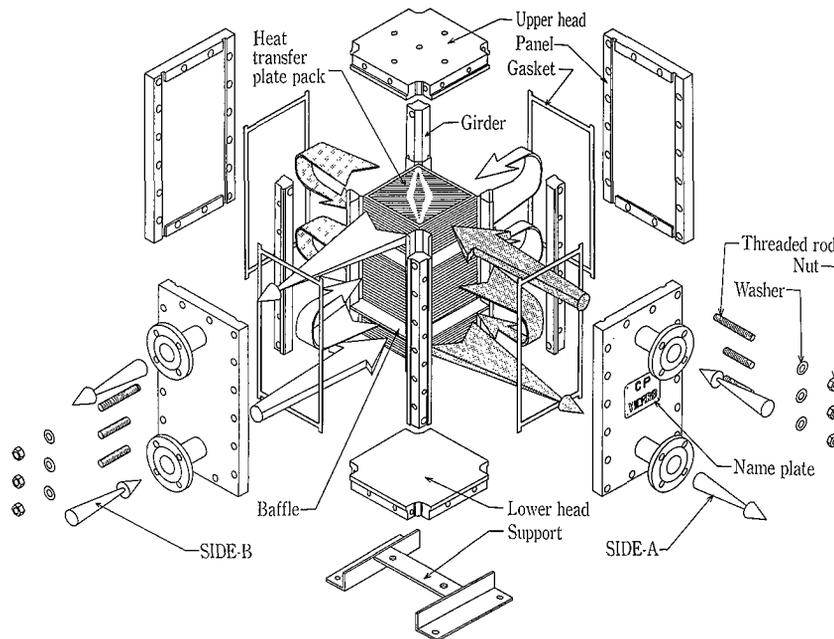
ところが数年前にフランスのピカール社が開発した溶接形プレート式熱交換器のコンパブロックにより、PHEの性能と長所はそのまま温度・圧力限界及びガスケットに関する諸問題が解決され、コンパブロックはPHEと多管式熱交換器の両者の分野に適用できるようになったのである。

コンパブロックは、耐熱・耐圧・ガスケットの問題でPHEの高性能を発揮できなかった分野や用途に、また特殊金属製の多管式熱交換器、炭素鋼製の大型多管式熱交換器、あるいはスパイラル式熱交換器も含めた他の多くの特殊形式熱交換器の代替に用いられ、その実績はこの5年間で3000基以上の多数にのぼっている。

1. コンパブロックの構造

第1図に示すように外板パネルを取り外すと溶接構造の伝熱プレートパックが現れる。それぞれの伝熱面は点検可能であり、特に液-液用途の場合は図のように入口・出口ノズルを片側の外板パネルに集中することにより、配管を取り外すことなく点検・洗浄可能である。

第2図にその伝熱部である伝熱プレートパック及び断面を示す。流路Aと流路Bは交互に直交して熱交換し全体のパスとしては向流を形成している。第2図の断面図は3ハ



第1図 コンパブロック全体構成図
Fig. 1 Exploded view of COMPABLOC

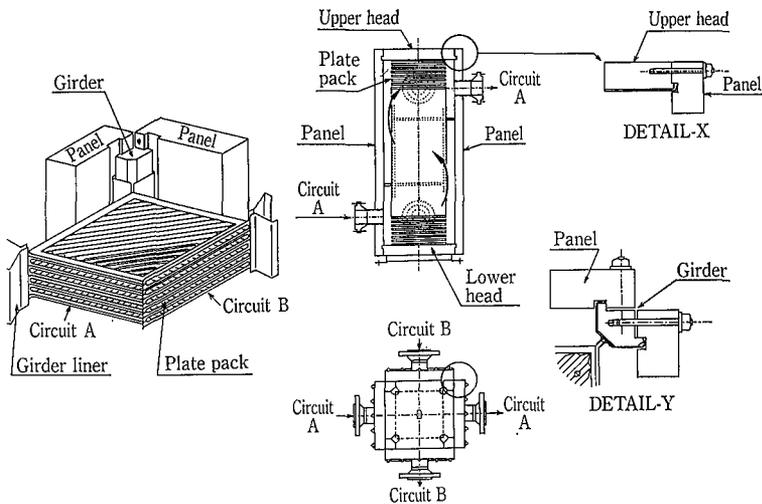
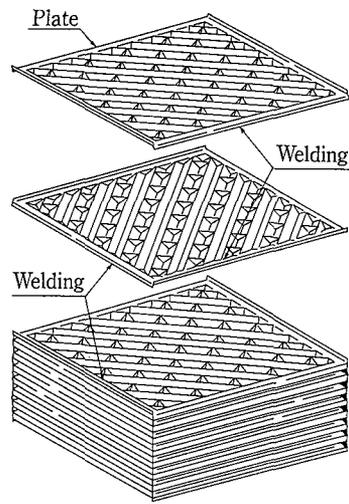


図2 コンパブロックの詳細構造
 fig. 2 Construction details of COMPABLOC



第3図 プレート同士の溶接
 Fig. 3 Welding of plates at mating edges

の例である。

伝熱プレートパックは通常 0.8 mm~1.0 mm の板をプレスしたプレートを互いに90度ずつずらして、プレート間5 mm としてプレートの折曲げた端辺同士を必要枚数だけ自動突き合わせ溶接したもの(第3図)に支柱ライナー及び天板・底板ライナーを溶接で取り付けられたものである。

(第4図)

第2図は支柱・天板・底板の機械加工したものを互いにボルト止めした状態を示す。(DETAIL-X, DETAIL-Y:同様)伝熱プレートパックは支柱ライナー部を支柱に滑込ませて取り付けているのみであり支柱・天板・底板と一切溶接を行わず、その材質は全て同材質例えば SUS, Ti, Hastelloy 等である。(第1図, 第2図)

必要なパス数に応じて調節可能なバッフルを取り付け、接続ノズル付きの外板パネルをボルト止めしている。スケッチは外板パネルのみに使用されており配管のフラジガスケットと同じ材質のものが使用される。(第1図, 第2図)

コンパブロックの特長

いままでに無い、全く新しい溶接形プレート式熱交換器の特長として、次に示す点が挙げられる。

(1) 伝熱性能

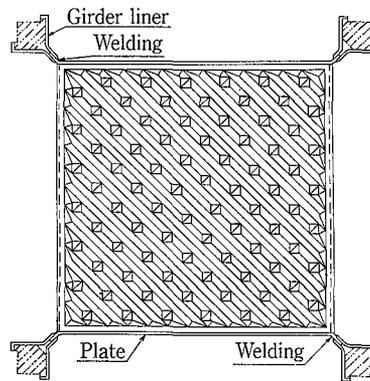
PHE とほぼ同等の性能であり、多管式熱交換器の3~5倍の高いU値が得られる。例えば水-水系の場合概略の値として約6000 W/m²・K である。(約5160 kcal/m²・h・°C)

(2) 温度差

個々のプレート間の流れは直交流、流路全体としては対向流となっている。このため被冷却側と冷却側の温度差を最小とすることが可能である。(熱回収に最適)

(3) プレート間ガスケット

プレート間は溶接構造によりガスケットが無いのでPHEでは不可能である高い圧力(3.1 MPa)・高温(300 °C)あるいはPHEに使用されているゴム系



第4図 支柱ライナーの溶接
 Fig. 4 Welding plates to girder liner

ガスケットが使用できない液体(溶剤等)に適用可能である。

(4) 片側流体を保持しての点検

一方の流路の内容液を保持したまま他方の流路の点検が可能である。

(5) メンテナンス

両方の流路の外板パネルを取り外せば、伝熱プレートにアクセス可能となるので洗浄が非常に容易である。

(6) 設置面積

設置面積は多管式熱交換器に比較して約1/10~1/3と非常にコンパクトであり、またPHEに比較しても約1/1.7と最小である。

(7) バッフルの調整

取り外し及び調整可能なバッフルにより、流路のパス数に変更可能であり仕様変更に対応しやすい。

(8) 各種耐食金属対応

材質はステンレス、高合金鋼, Ti, Hastelloy, Ni 等ほとんどの金属で製作可能である。

第 1 表 コンパブロック PHE と多管式熱交換器との比較

Table 1 COMPABLOC, PHE vs, shell & tube exchanger

Item	COMPABLOC welded plate exchanger	Gasketed plate exchanger (PHE)	Shell & tube exchanger
Space	Requires 1/10 to 1/3 the space	Requires 1/10 to 1/2 the space	Twice the space required for removal of tube bundle
Heat transfer efficiency	High U values 3 to 5 times greater	High U values 3 to 5 times greater	Low U value
Fouling	Low due to induced turbulence of plate corrugations	Low due to induced turbulence of plate corrugations	High due to circular cross-section and channeling
Servicing/Repairs	Easy-plug plate(s)	Easy-change plate and/or gasket	Plug tube(s) or replace tubes
Inspection	Remove panels and inspect	Disassemble and inspection	Difficult-Normally remove tube bundle
Expansion	No-but can change passes	Add plates	No
Maximum press.	3.1 MPa	2 MPa	>3.1 MPa
Maximum temp.	300 °C	150 °C normal elastomers	>300 °C
Maximum flow	2 000 m ³ /h	4 000 m ³ /h	Unlimited
Temp approach	3 °C	2 °C	10 °C
Temp cross	Possible	Possible	Not possible
Holdup volume	Low	Low	High
Multiple duty	Not possible	Possible on same frame	Not possible

第 2 表 コンパブロック型式表

Table 2 Size range of COMPABLOC model CP

CP	N	30	50	70	90				
		S (m ²)	0.69	1.15	1.61	2.07			
CP 20	N	40	60	80	100*				
	S (m ²)	2.44	3.66	4.88	6.10				
CP 30	N	60	80	100	130	160	200*	240*	
	S (m ²)	6.48	8.64	10.8	14	17.2	21.5	25.8	
CP 40	N	120	160	200					
	S (m ²)	19.7	26.3	32.8					
CP 50	N	100	150	200	250	300			
	S (m ²)	27	40.5	54	67.5	81			
CP 75	N	150	200	250	300	350	400	450	500
	S (m ²)	95.9	127.8	159.8	191.7	223.7	255.6	287.6	319.5

N=Number of plates

S=Exchange surface

* =Optional (no series manufacturing)

(9) 圧力容器規格対応

ASME U スタンプに対応 (3.1 MPa, 300 °C 迄これより高圧, 高温も可能)

第 1 表にコンパブロック, PHE と多管式熱交換器の比較を示す。

3. コンパブロックの型式 (伝熱面積の範囲)

コンパブロックはモデルとして CP 15, CP 20, CP 30, CP 40, CP 50, CP 75 の 6 種類があり, 伝熱面積は最小 0.69 m² の CP 15-30 から最大 319.5 m² の CP 75-500 が標準仕様となっている。

その一覧表を第 2 表に示す。

尚, モデル名の数字は, 正方形プレートの一辺のおよそ大きさを意味している。

例: CP 40 はプレート 1 枚がおよそ 40 cm × 40 cm の大きさ

第 3 表 プロセス用コンパブロックの販売実績 (~92年9月)

Table 3 Summary for process application of COMPABLOC (~Sept.1992)

Applications	'87	'88	'89	'90	'91	'92	Tota
Oil & gas	—	7	16	24	18	10	75
Process application	—	—	—	—	35	10	45
Condensers	21	17	5	8	21	16	88
Thermal oil	2	13	5	11	12	6	49
Edible oil & fatty acids	—	—	—	3	16	23	42
Caustic soda	—	—	10	4	5	—	19
H ₂ SO ₄	—	—	—	1	9	2	12
Brine/NaCl	—	—	—	—	1	—	1
Total	23	37	36	51	117	67	331

4. 実績

コンパブロックは既に日本を除く世界中で, 3 000 基以上の実績があるが特にその中でプロセス用としての実績の主要な集計を第 3 表に示す。

5. コンパブロックの用途

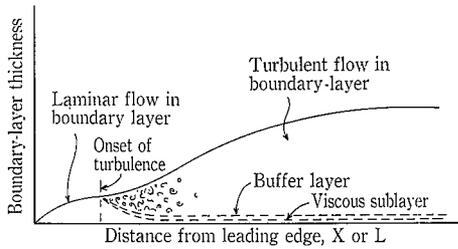
コンパブロックは次のような用途に適している。

- (1) 低粘度液—低粘度液 (0.01 Pa·s 以下)
(10 CP 以下)

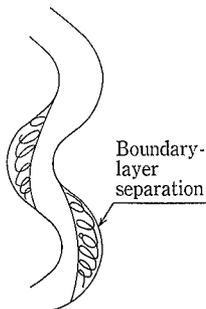
高温・高圧の用途やゴム系ガスケットが不適の場合コンパブロックが最適である。一方 PHE は非常に外的な場合を除いて伝熱面積が最小であり, 温度・圧力が限界内であれば PHE が選択される。

- (2) 中粘度液 (0.01 Pa·s ~ 0.1 Pa·s)
(10 CP ~ 100 CP)

この粘度領域では多管式熱交換器のような直管の汚



第5図 平面上の流れ断面
Fig. 5 Flow profile on a flat surface



第6図 プレートの凸凹による境界層の剝離
Fig. 6 Boundary-layer separation on a corrugated plate

路における流れは層流になりがちである。

これに対しコンパブロックやPHEではプレートの波型の効果により、通常の熱交換器内部流速の場合は粘度が $0.07 \text{ Pa}\cdot\text{s} \sim 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($70 \text{ C P} \sim 100 \text{ C P}$) 程度まで流れが乱流となっているので、熱交換効率が高く温度・圧力・ガスケットの耐食性よりどちらかを選択する。第5図、第6図に上記に関連した流れの模式的な図を示す。

(3) 高粘度液 ($0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以上)
(100 C P 以上)

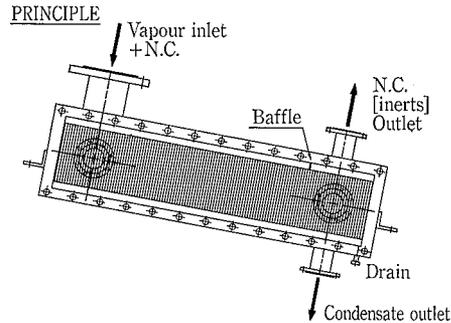
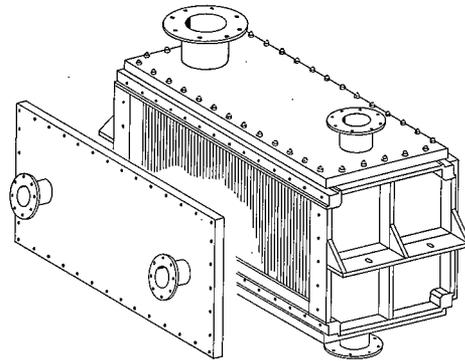
高粘度液は、どのようなタイプの熱交換器であっても流れが層流になりやすく、また液分配が良好でないと伝熱性能だけでなく他に種々の問題を生じるが、特に冷却の場合は良好な液分配が得られ難い。コンパブロック、PHEはこの要求に適合しており且つ非常に高粘度ではコンパブロックを並列ではない単一の流路構成とすることにより、他の熱交換器では不可能である良好な液分配が可能となる。

(4) 蒸気と低粘度液

高耐食性が必要な場合やサニタリー用途/頻繁な分解洗浄が必要な場合は、高圧蒸気の場合にコンパブロックが適している。低圧蒸気の場合はPHEが適している。非腐食性の液の場合は、炭素鋼製多管式熱交換器が適している。

(5) 汚れ度の大きな流体

一般的に汚れ度が大きいことは熱交換器にとって深刻な問題であるが、懸濁粒子による汚れ度が大きい場合は流れの良好な分配性が必要でありコンパブロック



第7図 非凝縮ガスを含む場合の凝縮器
Fig. 7 COMPABLOC applied as condenser with inerts

ク、PHEが他の形式の熱交換器より有利である。

溶質が熱的分解により（すなわち、重炭酸カルシウム、炭酸カルシウム）、または温度の上昇による溶解度の低下（硫酸カルシウム）により、伝熱面にスケールが付着する場合は、伝熱面にアクセスできるコンパブロック、PHEが優れているのは明かである。

(6) 熱影響性流体

よく知られているように熱の影響を受けて変質しやすい流体を取り扱うに際して大事なことは、滞留量と滞留時間並びに表面温度に限界があることである。これらの要求に対しては、良好な液分配性能と高い伝熱係数と小さな滞留量を持つコンパブロック、PHEが、優れていることを示している。またその流路内の流れの乱れの多さにより、高い伝熱係数が得られるだけでなく（それにより最終の温度差がより少なくなる。）表面に形成される境界層が成長しないことにより、焼き付き等の生じにくいコンパブロックが優れているといえる。

(7) 蒸気凝縮

非腐食性の場合には炭素鋼製多管式熱交換器（胴側に蒸気）でもよいが、より高耐食性が必要な場合にはサブ・クール程度合いを任意に設計できるコンパブロックが特に適している。

非凝縮ガスを含む場合は、コンパブロックにより計算どおりの凝縮液のサブ・クーリングが得られるので最高の凝縮性能が得られる。

第7図、第8図に凝縮器の適用例を示す。コンパブロックは流路が短く圧力損失が少ないので特に凝縮器には最適である。

(8) 液蒸発

非腐食性の場合には通常は炭素鋼製多管式熱交換器が標準的と考えられているかも知れないが高耐食金属が必要な場合コンパブロックは十分なメリットがある。

なお、フラッシュ蒸発の場合を除きサーモサイホン式の場合は熱交圧損と液ヘッド差に注意が必要である。

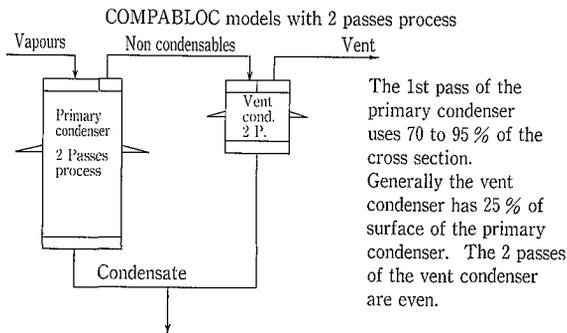
6. コンパブロックの適用分野

コンパブロックは次に示す分野に特に適している。

(1) 蒸留プラント (第9図にそのフローの一例を示す)

オーバーヘッド型凝縮の場合、一般的にいて蒸気の凝縮液はサブ・クールをできるだけ少なくして蒸留塔へ戻すことが必要である。最も一般的にこの用途に使われているタイプの熱交換器は多管式熱交換器であるがそのような用途に対しては、通常大口径の蒸気の配管が必要でありまた大多数の場合には(特にコンデンサーが塔の底に配置された場合は)凝縮液の戻りラインのポンプアップが必要である。

コンパブロックとスパイラル式熱交換器の特別用途



第8図 1次凝縮器及び2次凝縮器
Fig. 8 Primary condenser and vent condenser

としてのいわゆるトップコンデンサーは上記のような配管を行う必要はなく、コンデンサーは塔の頂部に直接フランジ止めされるだけである。

フィード液予熱/底部抜き出しの蒸留プラントの運転の場合、フィード液が蒸留もしくはそれに近い温度まで加熱されていると、より経済的である。

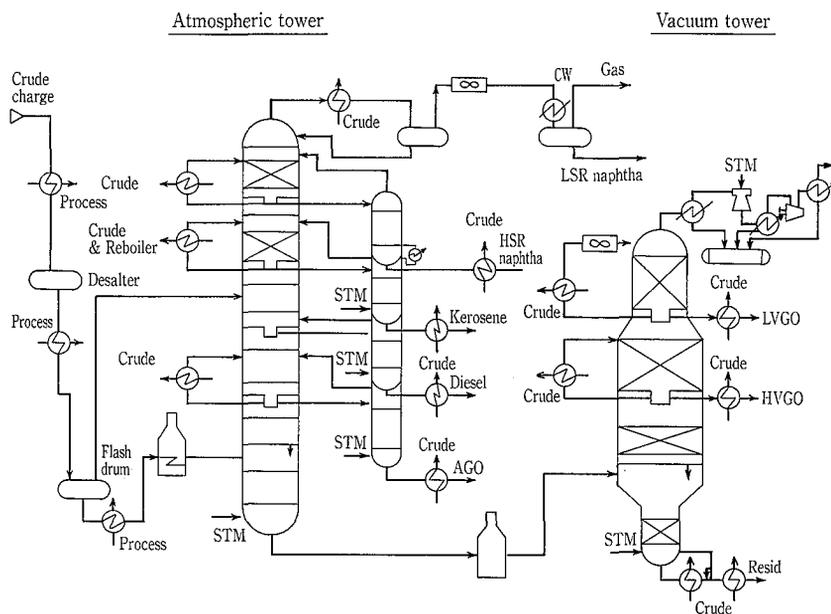
そこで底部から出ていく液でフィード液を予熱することにより熱回収を行うために熱交換器が使われる。大多数のケースでは、2つの低粘度流体の間の熱交換であり、ガスケットの耐溶剤性が問題になる用途ではコンパブロックが高効率な熱回収を行うためには特に有用である。ガスケットの耐溶剤性が問題にならないければPHEが使用可能である。

凝縮液のサブ・クーリングの場合コンデンサーから取り出す凝縮液をサブ・クールすることが必要である。これは“ビルト・イン”タイプのサブ・クーリングかまたは別途サブ・クーラーを取り付けることどちらかにより可能である。

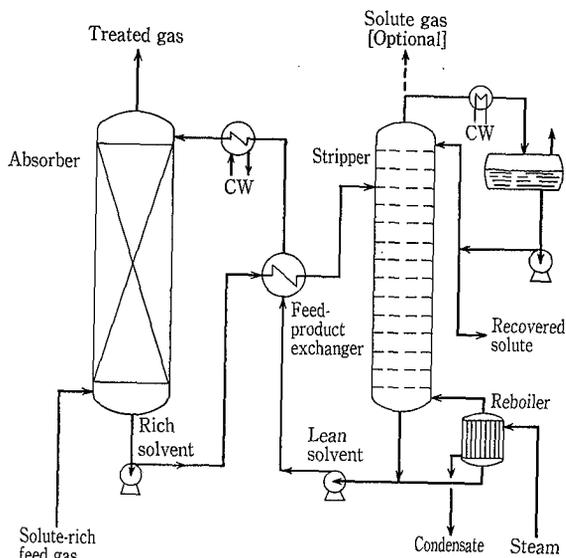
(2) ガス回収と脱ガスプラント

ガスを液に吸収させることと、吸収したガスを回収することはたいていの場合並行して行われ、このために特殊な液が吸収塔と脱ガス塔の間を循環している。

通常の場合、吸収塔は低温で運転されるが脱ガス塔は基本的には沸点温度で運転される。このように温度差があるため、脱ガス塔から出ていく高温の液体と吸収塔を出ていく低温の液体との間で熱交換をするためにコンパブロックが設置される。この場合は標準的な低粘度液体同士の熱交換の適用例である。吸収塔へ行く液体は、より低温の方が望ましく、反対に脱ガス塔へ行く液体は、より高温の方が望ましいのでコンパブロックのような高効率の熱交換器が適しているのである。



第9図 蒸留装置のフロー例
Fig. 9 Example of distillation plant



第10図 ガス回収と脱ガスプラントのフロー例
 fig. 10 Gas absorber using a solvent regenerated by stripping

脱ガス塔から排出される蒸気は吸収塔で吸収したガスと吸収液の蒸発した蒸気の混合物である。その蒸気を凝縮させる凝縮器は、ガスを含んだ混合物の部分凝縮（非凝縮性ガスのある凝縮）であり、部分凝縮に適したコンパブロックが使われる。

蒸気直吹き込みにより脱ガス塔への入熱を行う場合は、リボイラーは不要である。

第10図にそのフローの例を示す。

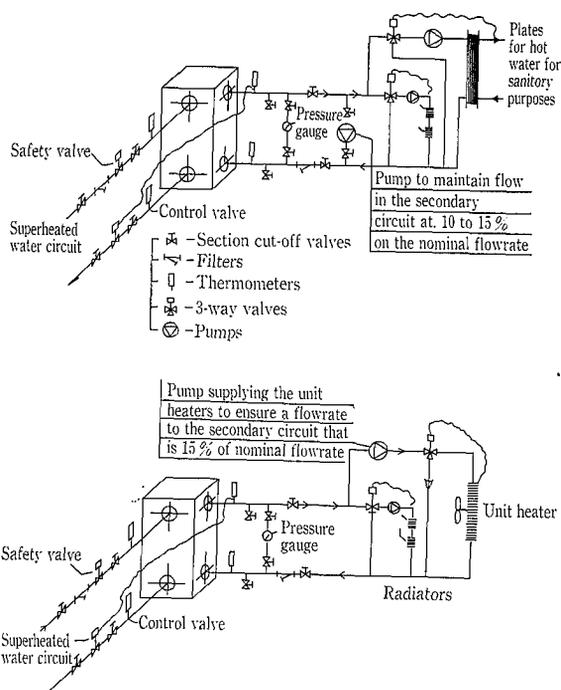
(3) 排ガス処理プラント

大抵の場合、有害な成分（例えば亜硫酸ガス等）は大気中へ放出する前に排ガスあるいは煙道ガスから取り除かなければならない。湿式処理法による場合排ガスは、再生可能な薬液を循環して処理される。もしその成分が再利用される場合にはプロセスはガス吸収/脱ガスプロセスとなる。

ガス処理液体に吸収させる場合は、通常発熱/吸熱（あるいは排ガスが湿っているならば凝縮）を伴うので、ガス処理液体は冷却/加熱されなければならない。亜硫酸ガスのガス処理では、インコロイ825、チタン/チタン Pd 合金または高耐食ステンレス鋼製のコンパブロック、PHEが最適でありその機器配置、運転等は多くの点で中央集中冷却と類似している。

(4) 燃料電池プラント

現在実用化に近づいているリン酸形燃料電池の熱回収用として、その圧力、温度、コンパクト性からコンパブロックは最適であり他の熱交換器の追随を許さないものである。



第11図 高温水用途の場合のレイアウト例
 Fig. 11 Basic layouts for superheated water

(5) 地域冷暖房プラント

蒸気、高温水、普通温水あるいは冷水等の熱媒/冷媒を供給する熱源プラント、サブステーションまたは需要家側の熱交換設備として、コンパブロックは最適であり、特に高温水用途や蒸気熱利用にはプレート間のガスケットの無い利点がフルに発揮される。

第11図に高温水用途の場合のレイアウト例を示す。

(6) 船舶の補機

コンパブロックはそのコンパクト性と、特殊ステンレスや Ti のような高耐食金属が必要な場合でも比較的成本アップが少ないことから船用の補機としても優れている。

むすび

なお最後に日本特許も最近公告されたことを付記する。以上にて溶接形プレート式熱交換器コンパブロックの概要を紹介した。

そのユニークな構造と特長、用途について理解していただきユーザ各位にての伝熱操作・熱回収の改善・改良のきっかけとなれば幸いである。

【参考文献】

- 1) Robert H. Perry and Don Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook"
- 2) 特公平5-14196