

水冷圧縮機プレート式熱交換器の洗滌

宗本久弥

琉球大学 極低温センター

概要

近年、プレート式熱交換器が非常に普及し、ヘリウム液化用の水冷圧縮機などにも広く用いられている。コンパクトで高効率が特長のプレート熱交は、その構造ゆえ洗滌にも注意を払わなければならない。しかしそのことはまだあまり知られていないようなので、当液化設備で実施した洗滌について報告する。なお、空冷式の機器は本報告の対象外である。

1. はじめに

当センターは液体ヘリウムおよび液体窒素を製造しており、二代目となる2008年導入の現設備では、どちらも液化用圧縮機に水冷式を採用している。それぞれドイツ Kaeser のスクリー圧縮機 CSD122 型および BSD81 型が各1台で(ともに0.9MPa)、オイルクーラー、ガスクーラーにスウェーデン SWEP のプレート式熱交換器(以下 プレート熱交)が用いられている。また窒素液化設備では圧縮機の後段にCKD(株)の冷凍式エアドライヤー GT7055W 型を設けており、これも冷媒の凝縮器がプレート熱交で水冷式となっている。他にヘリウム液化機用チラー(冷水機)でオリオン機械(株)の RKE1500A-VW 型もプレート熱交を内蔵する。

初代のヘリウム液化用圧縮機は(株)神戸製鋼所の水冷式で、多管式(シェル&チューブ)熱交換器に開放式冷却塔を用いていた。冷却水の濃縮対策もとられていなかったためスケール(水垢)¹⁾が酷く、冷却塔の充填材は石の塊になってしまい交換、熱交も能力が低下しチューブ内を薬品洗滌したことがあった。窒素液化設備は圧縮機、ドライヤーとも空冷式だったためこの問題はなかったが、代わりに塩害に悩まされた。

そこで現設備では密閉式冷却塔を設置し、以来トラブルの気配は感じられなかったが、導入から5年目の2012年、(一社)沖縄県高圧ガス保安協会で「冷凍空調における薬品洗浄技術講習会」が開催されたので、大いに関心を持って参加した。内容は水処理剤を研究開発製造するショーワ(株)によるスケール障害や対応薬品の解説と、その沖縄県内代理店(有)クウケンによるプレート熱交洗滌の実演であった。クウケンは以前から多管式の洗滌や除塩フィルターでも当センターと関わりのある企業である。



図 1. 圧縮機 CSD122



図 2. 圧縮機 BSD81



図 3. エアドライヤー



図 4. チラー

2. プレート式熱交換器の概要

プレート熱交は数十年前から食品工業で発達し、現在では様々な分野へ広がりを見せている。Kaeserでは2002年より水冷圧縮機が従来の多管式からこのプレート式に変わっている。そのため古い高圧ガスの教科書には載っていない。

WEBで検索すればすぐ見つかる^[2]ので細かな特徴や図は省略するが、プレート熱交はステンレスやチタンの耐蝕性薄板を多数積層し、その隙間へ一枚おきに高温流体と低温流体を交互に、逆向きに流す(↓↑↓↑↓↑……。薄板にはプレス加工で洗濯板のような凹凸を付けてあり、広い伝熱面積と凹凸による乱流で熱伝達率が高く、多管式などに比べ大変コンパクトである。

積層はガスケットでシールしたものと、ブレイジング(鐳付け)したのがあり、ブレイジングプレート熱交(英語では Brazed Plate Heat Exchanger、以下 BPHE)は鐳材として銅ないしニッケルの板をステンレス板に挟み、真空加熱炉で製造される。BPHEの大きさには限度があるようで長辺 1.5m 程度までしか見当たらず、それ以上の大型はみなガスケット式となる。Kaeserの圧縮機をはじめ、当センターにあるのは全て BPHE である。

プレート熱交、特に BPHE は省スペース、コストダウン等にメリットがあるが、流路が狭く閉塞しやすいのが弱点で、そのため採用が見送られるケースもある。例えばオリオンのチラー※は、清水が循環する冷却器は BPHE だが、凝縮器は二重管式で、水質の悪い冷却水でも問題が起きにくいよう考慮されている。

オリオンはドライヤーも凝縮器が二重管式である。一方、CKDのドライヤーは凝縮器が BPHE で、定期洗滌を前提に洗滌用配管(後述)を標準装備し、対照的に感じる。ちなみに両社とも空気冷却器にエアドライヤー用 BPHE^[3]を使っていない。理由は知らない。

なお、プレート熱交の耐圧は数 MPa までで、2014 年現在、15~20MPa のヘリウム回収用圧縮機に用いられている例はなさそうである。台湾のメーカーで超高圧(最高使用圧力 15MPa)を謳う BPHE^[4]があるが、恐らく高圧ガス保安法には対応しないであろう。多段圧縮機の低圧段だけなら特定則に対応した国産品^[5]で可能かと思われる。



図 5. BPHE の外観
(BSD81 のオイルクーラー)



図 6. スケールの付着
(ガスケット式)



図 7. スケールの付着 (BPHE)

※ ややこしいが、チラーやドライヤーは冷凍機の冷媒が流れる二つの熱交換器を持つ。一つは冷媒の凝縮器、もう一つは水(チラー)ないし圧縮空気(ドライヤー)の冷却器(冷媒にとっては蒸発器)である。凝縮器には空冷式もあるが、ここでは水冷式を論じている。凝縮器を冷やす水は「冷却水」、チラーで得られる水は「冷水」と呼ばれる。

3. 薬品洗滌の概要

プレート熱交において、スケールは伝熱を妨げるだけでなく、前述のとおり閉塞を招きやすい。薬品洗滌は流路に薬品を流して付着したスケールを溶解除去するが、完全に閉塞してしまうと薬品を流すことが非常に困難となり、溶解できなくなる。ガスケット式であれば分解洗滌もできるが、BPHE は分解できないのでこうなると丸ごと交換するしかない。またガスケット式であっても、薬品洗滌で済めば分解するより早い。スケールの付着具合は配管を外して内視鏡で観察する方法もあるが、一般的でない。機能しなくなる前に早期発見するには、冷却水の出入口温度差、圧力損失、流量を監視することが重要である。

洗滌は熱交に薬品を循環させるため、熱交の近くで配管を外すか分岐して、水槽とポンプを接続し洗滌回路を構成する。保守も考慮した配管設計がされていれば(適切な位置に弁やポート)、苦勞することはない。

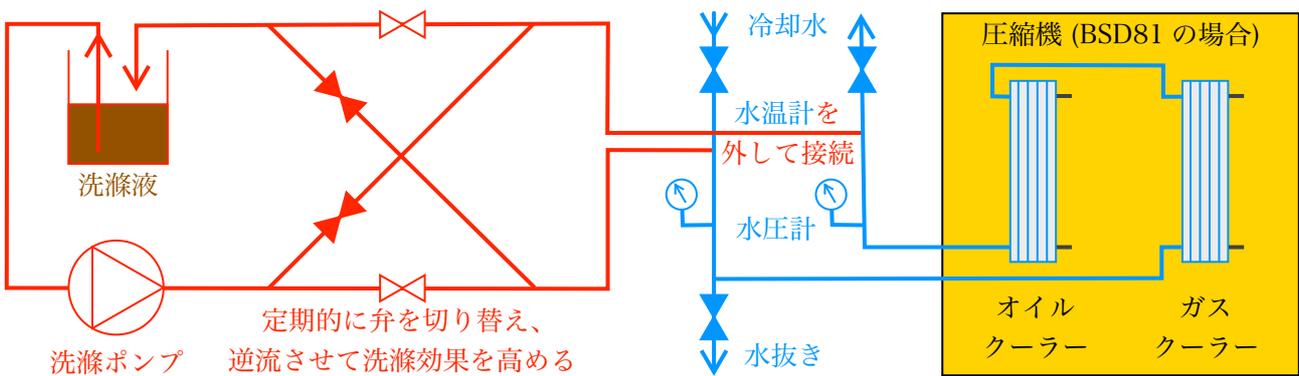


図 8. 洗滌回路の例

CSD122 の冷却水はオイルクーラー、ガスクーラーが並列



図 9. 洗滌回路に利用した水温計 (中段)

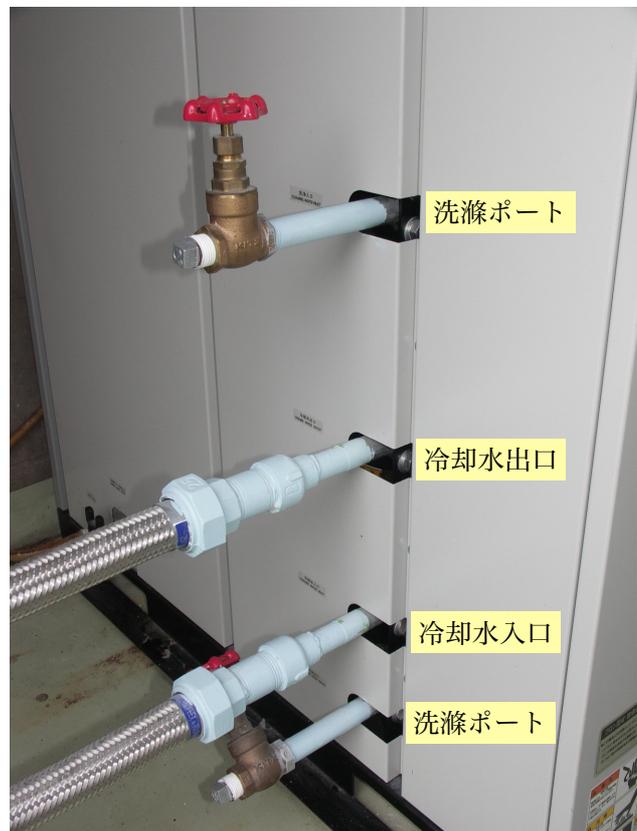


図 10. 標準装備の洗滌用配管 (CKD のドライヤー)

薬品はスケール(カルシウム、シリカ)を効率よく分解しつつ、しかし各部材は傷めない、プレート熱交専用のもの⁶⁾を用いる(特にステンレスはハロゲン化物イオンに弱く、一般にはCl⁻を注意するが、洗滌ではシリカによく用いられるF⁻が厳禁)。洗滌の終了は、水槽で洗滌液の性状変化を見て判断する。

熱交の近くで洗滌回路を組めずに配管が長くなると、配管を洗滌液で満たすため多量の薬品が必要になってしまう。なお、配管は十分な口径があるので多少のスケール付着では洗滌しなくてよい。もし配管洗滌も必要ほどの状況であれば、プレート熱交は疾うの昔に閉塞して使い物にならず、洗滌不能の筈である。実際にBPHE交換となってしまった液化施設の話も聞く。当センター初代の冷却水設備はスケールが酷く、何の対策もなかったが、当時はまだ熱交が多管式で辛うじて洗滌できたのは幸いだった。

4. 洗滌の実施

現設備は冷却塔を密閉式にしたとはいえ、冷却水(冷却塔と機器との循環水)は蒸留水等でなく、水道水をそのまま用いている。初めに述べた機器4台のうち、水の系が異なるチラーを除き、圧縮機とドライヤーのBPHEには不安があった。どれもまだ不調は見られなかったが、BPHE内部の状態はわからなかった。

そこで昨年(2013年)、クウケンと相談し、まず一番小さなドライヤーだけを洗滌してみることにした。薬品の消耗具合でスケールの付着状況を推測し、その結果で圧縮機2台の洗滌要否を判断する作戦である。洗滌は講習会のおとり道具を揃え、薬品だけクウケンから購入して自分で実施するという選択肢もあったが、薬品の取り扱いや反応の見方、廃液処理等をまだ充分身に付けておらず、また使用頻度が低いかもしれない資機材を買い揃えるのも難がある。今回も作業を含めてクウケンに依頼することとした。



図 11. 圧縮機の洗滌回路



図 12. 洗滌液を流す向きの変更



図 13. 二種類の薬品でカルシウムとシリカを順次除去



図 14. 薬品を投入して洗滌液の調製



図 15. ポンプで循環中の洗滌液

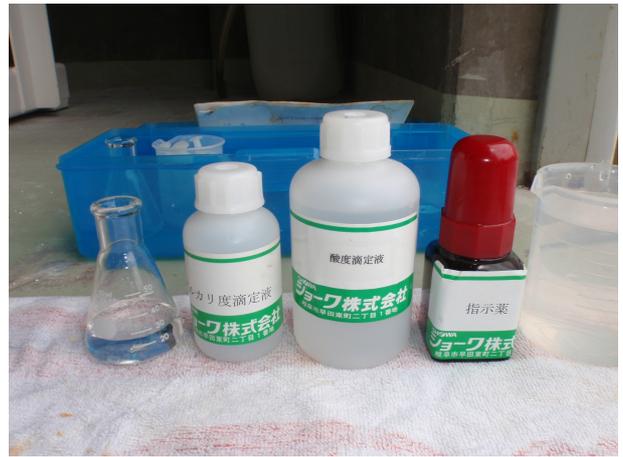


図 16. 洗滌液の反応進行を見る濃度測定キット

結果は、やはりスケールが少々ついていて、しかし洗滌に支障はなく(薬品が流れにくかったり、溶解に時間がかかり過ぎたりせず)、早めの悪くないのタイミングだったと判断された。後日、圧縮機 2 台の洗滌も実施し、同様の評価が出た。この実績より、今後も 4～5 年毎の洗滌実施が適切と考えられる。

5. まとめ

コンパクトで高性能な BPHE が開発され、応用範囲は拡大し身近になっており、21 世紀に入り液化用圧縮機の水冷式にも採用されるようになった。BPHE は構造上閉塞しやすくしかも分解できないため、スケールにより効率低下だけでなくタイミングを逃すと洗滌が困難、あるいは不能となり、交換が必要になる。当センターでは試験的に BPHE の薬品洗滌を実施し、スケール付着の傾向を把握、性能維持と大きな安心を得た。BPHE を有する施設には、まず一度洗滌してみることをお勧めする。閉塞(出入口温度差、圧力損失、流量)を監視する計器がない場合や、洗滌回路の接続が容易でない場合には、配管周りの改修も検討を要する。

最後に、熱交洗滌の講習会を企画された(一社)沖縄県高圧ガス保安協会の又吉氏、設備の設計・保守にご協力いただいている(有)クウケン島田氏、福地氏、本報告書に資料をご提供くださったショーワ(株)、平素圧縮機に関し種々ご教示くださるケーザー・コンプレッサー(株)古井氏、また議論にお付き合いくださる小池酸素工業(株)木下氏に感謝する。

参考文献 (URL は 2014 年 5 月 30 日現在)

- [1] スケールとは? <http://akamizu-akasabi.com/scale/>
- [2] <http://www.swep.jp/> (スウェップ)、 <http://www.hisaka.co.jp/phe/index.html> (日阪製作所)等
- [3] エアドライヤー用 BPHE
http://handbooks.swep.net/RefrigerantHandbook/chapter_10/Pages/10.10-Air-Dryers.aspx
<http://www.kaori-taiwan.com/brazed-plate-air-dryer-j.html>
- [4] 高力(Kaori) C シリーズ超高压ブレイジングプレート式熱交換器
<http://www.kaori-taiwan.com/brazed-plate-series-c-j.html>
- [5] 日阪製作所「各種規格と品質」(高圧ガス保安法 特定設備検査規則)
[http://www.hisaka.co.jp/pdf/phe_general\(japanese\).pdf](http://www.hisaka.co.jp/pdf/phe_general(japanese).pdf) 15 ページ
- [6] ショーワ プレート熱交換器専用洗滌剤プレフラッシュ PC-1、PS-2、濃度測定キット ショウチェッカー
<http://www.showa-water.co.jp/product/product05.html>