

A302 CO₂ / NH₃ カスケード冷凍システムの実証

CO₂/NH₃ CASCADE REFRIGERATION SYSTEM

藪下 敏正* (東洋製作所), 北浦 利治* (東洋製作所)

Toshimasa YABUSITA*, Toshiharu KITAURA*

TOYO ENGINEERING WORKS LTD., Yodogawa-Ku, Osaka, 160-0008, Japan

From the viewpoint of the protection of the global environment, it is required that fluorocarbon should be replaced with natural refrigerants. For freezing system of approx. -50°C , ammonia has been used as the only natural refrigerant but the performance with ammonia is not so good.

Recently, development of high-efficiency freezing system also with environmentally-friendly refrigerants has been needed at lower temperature range of -55°C . In order to meet the needs, we have established new technology for CO₂/NH₃ cascade refrigeration system, in cooperation with Kobe Steel, Ltd.

Key words: Natural working fluid.CO₂.Screw Compressor

1. まえがき

従来は冷凍設備用の冷媒としては、ほとんどフルオロカーボンが使用されていたが、近年地球環境保護の観点から、オゾン層破壊が無く、地球温暖化の影響が少ない自然冷媒への転換が求められている。自然冷媒として最も一般的なものとしてアンモニアがあるが、冷却温度 -30°C 以下では COP が小さくなる。又負荷側へ供給する場合、アンモニアは毒性・臭気性があり、万一漏えいした場合を考えると採用しにくい。この為安全な自然冷媒が求められていたが、当社では安全な自然冷媒の一つとして(株)神戸製鋼所と共同で、二酸化炭素(以下 CO₂) / アンモニア(以下 NH₃) カスケード冷凍システムの開発を行ったのでここに紹介する。本システムは負荷側には安全な CO₂ 冷媒のみ供給し、NH₃ の使用は機械室のみ限定して使用するため NH₃ の使用量を少なく出来ると共に、万一 NH₃ が漏えいしても製品へ混入しない。開発にあたっての技術的課題は CO₂ 圧縮機の -50°C 前後での高効率かつ、安定システムの確立 CO₂ 圧縮機の潤滑油、食品認証油採用による安定システムの確立 CO₂ 熱交換器の伝熱性能確認 CO₂ の三重点 (-56.6°C) 近くでの圧縮機の安定した吸入圧力制御等があり、当社ではテストプラントを建設し運転データ等からこれらの技術的課題を解決したのでここに報告する。

2. CO₂ 冷媒について

CO₂ は NH₃ に比べ安全である。吸込みガスの比容積が小さい為、圧縮機が小形になる、吸入配管口径が小さい。低温下(蒸発温度約 -45°C 以下)ではランニングコストが安い。(CO₂/NH₃ カスケード) 低温でも大気圧以上のため、低压側から空気・水分の混入がない。等の利点がある。逆に

長期停止時に内部の圧力が上昇する。CO₂ の絶対圧力 0.518MPa 以下では三重点 (-56.6°C) となり、ドライアイスが生成される等の欠点がある。

3. テストの概要

CO₂ 圧縮機単品の性能については、(株)神戸製鋼所で測定し、システム全般の性能・運転確認は、兵庫県某食品工場にテストプラントを建設し行った。

テストプラントは 2022年3月から約10ヶ月運転し、各種データ採取、安定運転を確認した。Fig. 1 にテストプラントの概略システムを、Fig.2 に全景を示す。又 Table 1 に基本仕様を示す。

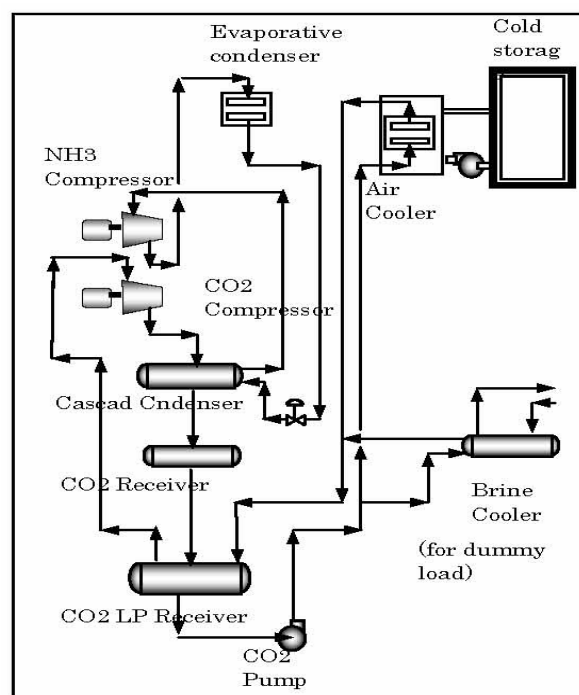


Fig.1 CO₂/NH₃ Cascade system flow



Fig.2 Cover shot

Table 1 Specification of test plant

Capacity	175 kW(at -54)
Screw Compressor	CO2 KS13LV Motor 90kW
	NH3 KS16SV Motor 90kW
NH3 Condenser	Evaporative condenser
CO2 Condenser	Dry expansion
NH3 CT/ET	3 5 / - 2 5
CO2 CT/ET	- 2 0 / - 5 4

4 . CO2 圧縮機

CO2 圧縮機の性能試験は、テストスタンドで蒸発温度 = - 5 6 ~ - 4 5 、凝縮温度 = - 2 5 ~ - 1 5 の条件で容積効率、断熱圧縮効率のデータを採取した。¹⁾

5 . 冷凍機油

CO2 圧縮機の潤滑油として、相溶性のある POE 油と、相溶性はないが、海外規格で食品機械用潤滑油として認証されている例が多い PAO 油について検討した。Table 2 に PAO 油と POE 油の比較を示す。

Table 2 Comparison of PAO and POE

	PAO	POE
Food grade oil	Yes	No
Miscibility with CO2	Immiscible	Miscible
Oil viscosity in CO2 liquid	Very high	Low

潤滑油メーカーの資料では PAO 油は CO2 に溶解しないとされていた。潤滑油が CO2 溶解しないと低圧側で潤滑油が分離し、かつ低温で高粘度の為冷却器に油が蓄積し、伝熱を阻害することが懸念された。当社では CO2 液に対する PAO 油の溶解量を測定し、溶解量は少ないが溶解することがわかった。Fig.3 に

PAO 油の溶解量を示す。

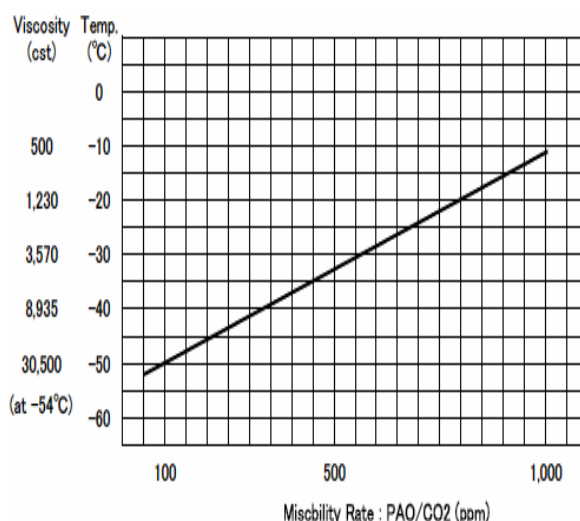


Fig.3 Miscibility of PAO oil in CO2

この事から PAO 油を使用しても圧縮機の油上がり量を少なくすれば、低圧側でも油は CO2 液に溶解し低粘度で圧縮機に戻せることがわかった。テストプラントでは、PAO 油を使用し圧縮機の吐出側に(株)神戸製鋼所製の活性炭フィルターを装備することにより、油上がり量を 2 0 wt ppb 以下とし、低圧レシーバから油を戻せることを確認した。また PAO 油と POE 油での圧縮機の性能の差はほとんど見られなかった。(± 1 %以内) Fig.4 に活性炭フィルターを使用した油分離システムを示す。

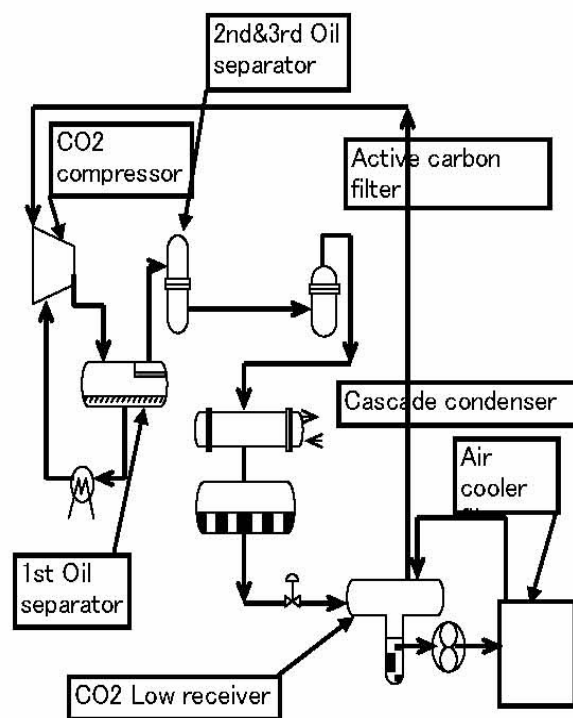


Fig.4 Oil management system

6 . テストプラント運転状況

テストプラントでは、前記 PAO 油の溶解量・油戻しの他 カスケードコンデンサー、空気冷却器の性能 CO2 圧縮機の吸入圧力制御 カスケードシステムの COP の測定を行った。

6.1.カスケードコンデンサーの伝熱性能

カスケードコンデンサーは NH3 の使用量を少なくする為、乾式直膨方式を採用した。テストプラントで使用したカスケードコンデンサーの仕様を Table 3 に示す。

Table 3 Cascade condenser

Type	Dry-Expansion System
Capacity	232kW
CT/ET	- 2 5 / - 2 0
Heat surface area	88 m ²
K-value Design/Measured	530 / 640 W/m ²

6.2.空気冷却器の伝熱性能

テストプラントで使用した冷却機の仕様を Table 4 に示す。

Table 4 Specification of Air cooler

Type	Liquid pump system Plate fin coil
Capacity	64 kW
Refrigerant	CO2
ET	- 5 4
Air temp	Inlet - 4 2 Outlet - 4 8
Heat surface area	320 m ²
Tube	Material:SUS 304
Fin	Pitch 6.35mm Material:Aluminum
K-value (Design)	23W/m ² (Out side) Fv=4.45m/s)

伝熱性能は正面風速 2 . 5 m/s から 5 . 0 m/s について測定、同時に空気側圧力損失も測定した。Fig.5 に結果を示す。

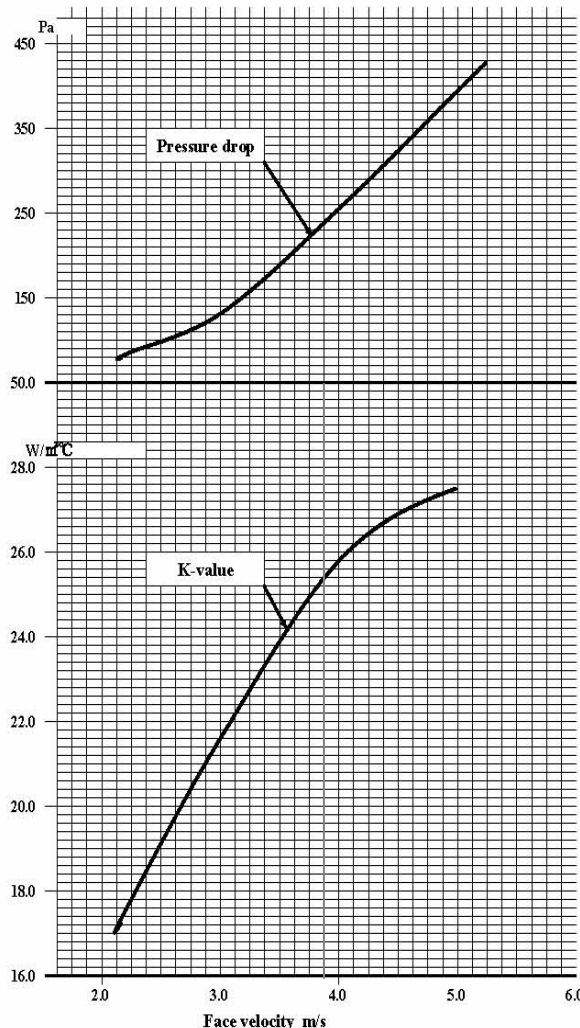


Fig.5 K-value and pressure drop

6.3.吸入圧力制御

CO2 を冷媒として使用する場合、0.518MPa(- 5 6 . 6)で三重点となり、CO2 がドライアイスとなる。低温で使用するためには、吸入圧力が 0.518Mpa 以下にならないように制御することが、重要な問題となる。テストプラントでは、冷却負荷を 1 0 0 % から約 5 0 % (圧縮機スライド弁開度で 1 0 0 % から 7 5 %、空気冷却器の風量を減らした) に変化させ吸入圧力の変動を温度基準で ± 1 以下に制御できることを確認した。吸入圧力の制御は圧縮機のスライド弁とホットガスバイパスを組み合わせで行った。吸入圧力制御の結果を Fig.6 に示す。

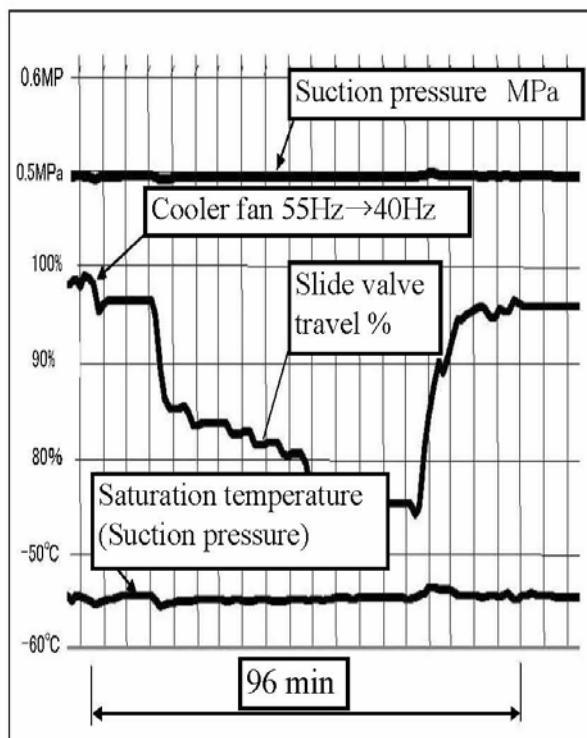


Fig.6 CO2 Suction pressure controllability

6.4.COP

CO₂/NH₃ カスケード冷凍システムの COP (冷凍能力 ÷ 圧縮機軸動力) を NH₃ 凝縮温度 + 3.5、CO₂ 蒸発温度 5.5 から - 4.5 について測定した。測定結果を Fig.7 に示す。

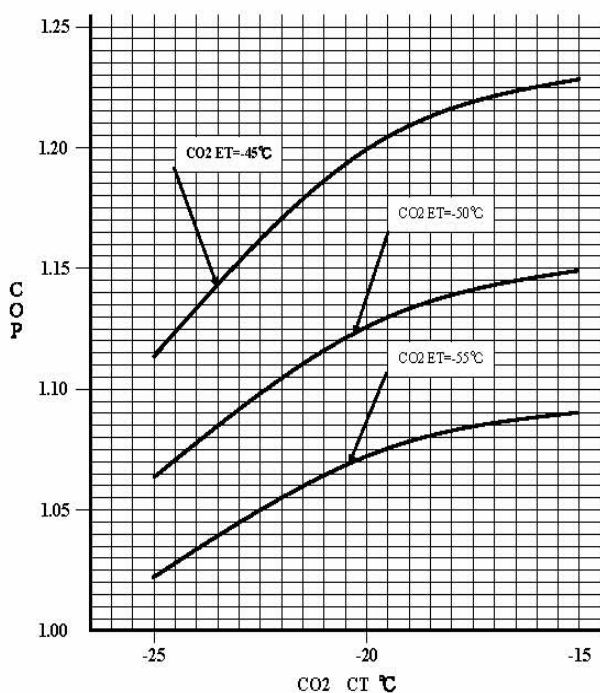


Fig.7 COP

CO₂/NH₃ カスケード冷凍システムでは、NH₃ 二段圧縮冷凍システムに比べ、蒸発温度 5.5 では約 2.0% COP が良いことが確認できた。

7. あとがき

今回スクリー冷凍機メーカーの(株)神戸製鋼所殿、テストプラントの建設を許可いただいた兵庫県の商品工場殿の御協力のもと、オイルインジェクションタイプのスクリー冷凍機を使用した CO₂ / NH₃ カスケード冷凍システムの実用化の目処がつき今後実施プラントにて更に性能向上、コストダウンに向けて研究を続けていく。

参考文献

- 1) 岸本好司; CO₂ と NH₃ の二元冷凍システムの紹介、第 49 回ターボ機械協会講演会 P144 - 148、2002 年