



近冷工 これからの 技術情報

『これからの技術』を語る……P. 8~19
『新技術・新製品』紹介……P.20~57
近冷工専門委員会報告……P.60~65

第2号

平成27年
7月31日発行

新機種 VEM 冷凍機の紹介及び 現行アンモニア冷凍機の吐出温度低減対策

長谷川鉄工株式会社
技術部 野崎 脩

1. はじめに

1987年のモントリオール議定書採択以前の産業用冷凍冷蔵倉庫では、単一冷媒で使い勝手が良いR22が多く使用されていた。採択後は自然冷媒であるNH₃の見直しが図られ、当社でも自社製NH₃レシプロ冷凍機を採用した設備の提案、施工を行ってきた。

また、2003年頃よりNH₃/CO₂冷凍設備が普及し始め、現在では採用件数は増加しており、NH₃冷凍機の使用域を広げる要求が高まってきている。

今回は本格リリース間近である新機種冷凍機VEMシリーズと現行NH₃二段冷凍機における高段吐出温度低減対策について紹介する。

2. VEM 冷凍機

2-1 特徴

新機種のVEMシリーズは、高速多気筒冷凍機製造開始から60年の実績と超低温で使用されるマグロ漁船等で定評のあるベストセラー冷凍機VZシリーズ（VZM：気筒径=132mm 行程=106mm、VZL：気筒径=132mm 行程=132mm）の高性能・高品質を受け継いでいる。

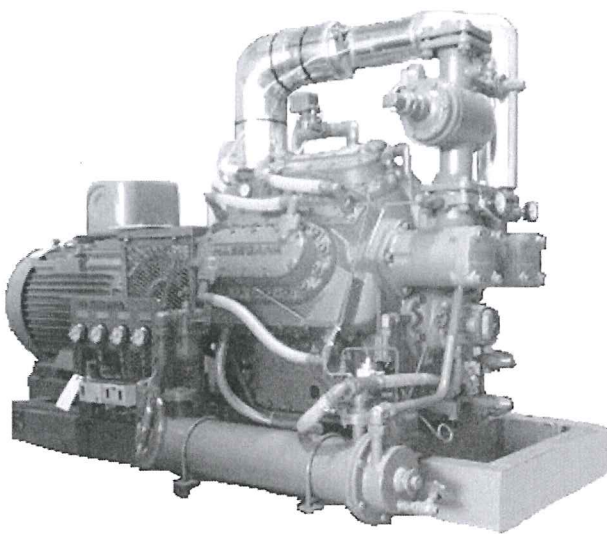


写真1 VEM28AD モータ直結駆動 外観

・VEMシリーズは二段機と単段機があり、二段機は最高回転数でのNH₃法定能力を20トン

未満とし、ユニット型以外の形式となる場合でも冷凍保安責任者の選任が不要の範囲として、より幅広くユーザーに使用していただけるものとしている。

- ・マルチシリンダー化（8気筒）とし、気筒配置をバランスの良いものとし、振動を低減しており、ピストン押しのけ量が同容量の現行機と比較し、10%以上振動値が低下している。
- ・駆動方式は写真1の直結駆動の他、冷凍機のクランクケースに取付けるフランジタイプモータ（インバータ対応あり）も選択できる。
- ・容量制御は各バンクをアンロードさせる段階制御方式の他に、インバータ駆動による回転数制御方式も可能とし、冷凍機1台で複数の冷蔵庫を冷却する場合や細かな容量制御が必要な場合に無効動力を低減させ、省エネ効果を大きくしている。図1は単段機での段階制御と回転数制御時の電力消費比率のグラフである。

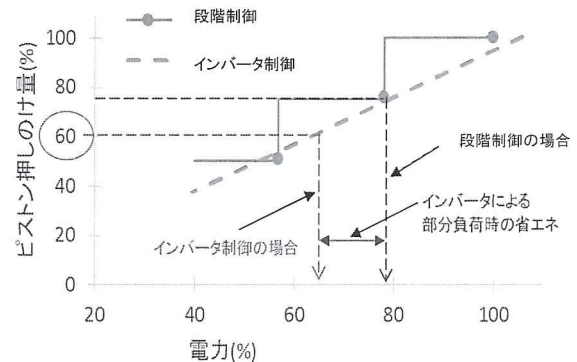


図1 容量制御（段階制御と回転数制御）

- ・オイルポンプは-80kPa以下の吸入圧力でも油圧を確保できるギア式を採用している。
- ・NH₃レシプロ冷凍機は運転条件により、吐出温度が高くなる場合がありその対策として、VZシリーズに比べクランクケース水冷ジャケット面積を1.5倍以上大きくし吐出温度上昇を低減させている。同条件でのテストケースでは5℃以上の温度低下が確認されている。
- ・圧縮ガスが吐き出される吐出弁廻りは、圧縮熱をジャケット冷却水により多く取り出せる

機種名	VEM28A	VEM18A
形式	開放形レシプロ コンパウンド二段	開放形レシプロ単段
冷媒	R717 (NH ₃)	
気筒数	低段：6 / 高段：2	8
気筒口径×行程	115 mm × 90 mm	
回転数	1200 ~ 600 rpm	
ピストン押し の け量 (1200 rpm 時)	低段：403.6 m ³ /h 高段：134.5 m ³ /h	538.18 m ³ /h
法定冷凍能力	19.86 トン	64.07 トン
駆動方法	冷凍機一体フランジモータ、直結、Vベルト	
容量制御	100% - 66% - 33%	100% - 75% - 50%
	インバータ制御(無段階) 1200 ~ 600 rpm	

表 1 VEM 二段機 諸元表

形状とし、吐出温度低下に貢献している。

- 吐出弁廻りは専用設計されており、体積効率に大きく影響するトップクリアランス（ピストン上死点時の弁座との隙間）を最適化し、ピストン押し の け量が VZL 機より約 52% と少ない仕様であるが、COP はそれと同等以上となっている。図 2 に VEM 冷凍機の断面図を示す。

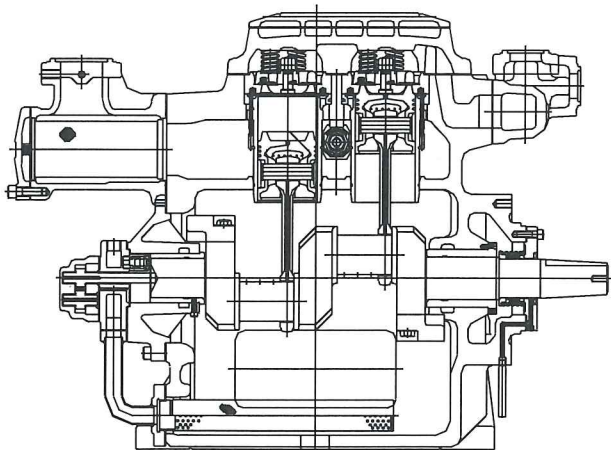


図 2 VEM 冷凍機 断面図

2-2 諸元および外形図

表 1 に二段機および単段機の諸元、図 3 に VEM28A 外形図を示す。

2-3 今後の展開

VEM28A は法定能力 20 トン未満として、各種冷凍冷蔵設備に幅広く使用いただける仕様としており、多くのユーザーにご提案していく体制を取っている。また、NH₃ が主流である海外諸国にも拡販していく。

さらに、2015 年 4 月より施行されたフロン排出抑制法により低 GWP 冷媒対応の機器が必須となる。VEM シリーズはこれに対応すべく開発が進行中である。具体的なテーマとして、次の項目について開発を行っている。

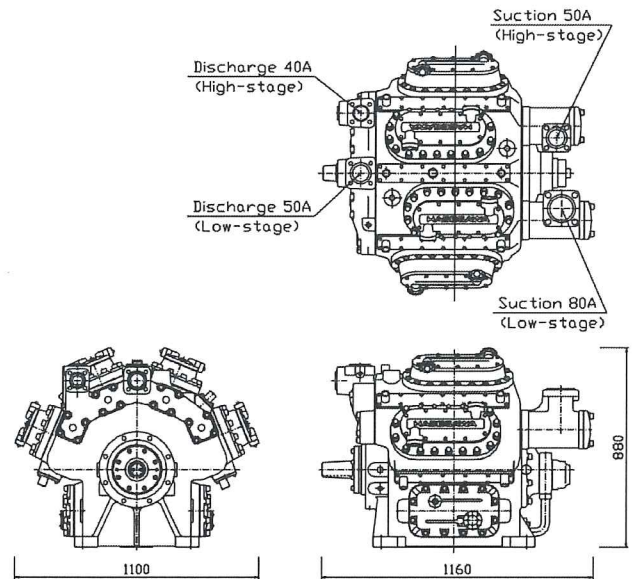


図 3 VEM28A 外形図

- 吐出弁および吸入弁廻りの構造変更による効率向上。
- 冷媒通路形状変更による冷媒流量増加対策。
- クランクシャフト軸封部の機構変更による冷媒漏えい対策。
- 冷凍機油、冷媒と各摺動部のマッチング最適化による耐久性向上。
- 各種部品（クランクシャフト、吸入弁/吐出弁、軸受、容量制御機構等）の強度向上。

耐圧性能の向上は、対応できる高圧域を拡大すべく、既にクランクケースは 2.5MPa 以上の設計圧力仕様としている。

当社では、日々開発が進められている冷凍機を核として自然冷媒および低 GWP 冷媒において安全性・省エネ性・耐久性・低コストを命題として、ユーザーに最適な設備をご提案、ご提供していく。

3. 現行 NH₃ 冷凍機の吐出温度低減対策

3-1 経緯

二段機を用いる NH₃ システムにおいて、吸入温度が低くなり、中圧が 0MPa 近辺になる場合や夏季の高圧上昇、高段吸入過熱度上昇が発生した場合に高段吐出温度は 150℃ 近くまで上昇し、それを超えると冷凍機油の劣化等が早まる。

本項では、機械側で対策を取り、高段吐出温度を低減する方法を紹介する。

3-2 着目点

高段吐出温度が高くなる原理について、圧縮動作を単純化し、断熱圧縮と考えると次式のようになる。

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad \dots \text{式(1)}$$

T_d : 吐出ガス絶対温度 [K]

T_s : 吸入ガス絶対温度 [K]

P_d : 吐出ガス絶対圧力 [MPa]

P_s : 吸入ガス絶対圧力 [MPa]

κ : 比熱比

NH₃ の場合、比熱比 κ が大きいいため、フルオロカーボン系冷媒と比較して、吐出ガス温度が高くなる傾向にある。

式(1)より、圧縮比 $\left(\frac{P_d}{P_s} \right)$ を低く抑えることで、吐出ガス温度 T_d も抑えられることが分かる。

そこで、冷凍機側での吐出温度低減対策として高段側のピストン押しのけ量を小さくし中圧を上げることによって、高段圧縮比を下げられることに着目し、シミュレーションを行った。

3-3 シミュレーション条件

条件は現行の VZM28A (気筒数: 低段 6 気筒、高段 2 気筒) において、高段 2 気筒を表 2 のように変更する条件で行った。

	VZM28A	試験機
高段気筒径 (mm)	132	115
行程 (mm)	106	106
高段押しのけ量比	1	0.76
高段低段押しのけ量比	1 : 3	1 : 3.95

表 2 シミュレーション条件

クランクシャフトストロークに変わりはないが、気筒断面積比より、試験機は高段押しのけ量が約 24% 低減し、高段対低段の押しのけ量比は約 32% 増加する。

図 4 のモリエル線図において、点線は VZM28A、実線が試験機を表したものである。(要素部分の差を強調して描いている。)

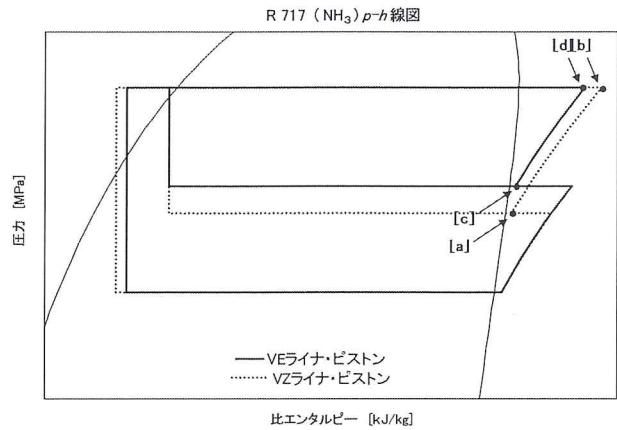


図 4 中圧変化と高段吐出温度変化

点線の VZM28A では低段気筒で圧縮・中間冷却された冷媒は状態 [a] となり、高段気筒で圧縮され状態 [b] へと達する。

対して実線の試験機では高段押しのけ量が減少することで、状態 [c] まで中圧が上昇する。ここから高段側気筒で圧縮され状態 [d] へと達するが、状態 [b], [d] を比較すると、[d] の方が温度が低くなり、効果があると判断できる。

表 3 は高圧、低圧は同条件での VZM28A と試験機の中圧と高段吐出温度の差のシミュレーション結果である。試験機は VZM28A より中圧が上昇し、吐出温度が低減している。

	中圧上昇値 (MPa)	高段吐出温度低減値 (°C)
-30	0.112	8.5
-35	0.089	8.4
-40	0.071	8.2
-45	0.054	7.7
-50	0.042	6.8

表 3 中圧上昇値と吐出温度低減値 (CT=35°C)

3-4 懸念点

しかし、中圧が上がることにより、低段側体積効率率は低下する。それに伴い冷凍能力・軸動力も低下し、起因して COP も低下するのではという懸念もある。

この点について、CT・ET を変更したいくつかの条件について、中圧の変化に伴う COP の変化を計算し、グラフ化したものを図 5 に示す。図 5 より、どの CT・ET 条件でも近い軌跡となっているが、中圧の変化に伴う COP の変化はほとんどなく、条件によっては上がっていることが分かる。

COP の増減が微小とはいえ、中圧の増加に伴い、冷凍能力・軸動力は低下するため、シミュレーション条件で決めた試験機の仕様は妥当と考える。

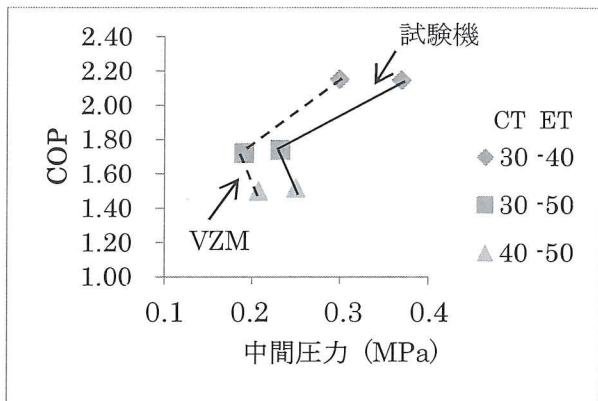


図5 中間圧力と COP

また、中圧が上昇した分、低段吐出温度上昇も懸念材料の一つであるが、10℃程度の上昇で許容範囲内に納まると考えられる。

実機検証試験ではピストンの他に、シリンダライナ、吐出弁廻り、吸入弁、コンロッドを変更する。

今後、検証運転を行い、高段吸入温度コントローラと組み合わせ、最適な吐出温度で運転できるシステムへと進化させる方向である。

4 おわりに

先に紹介した新機種の新機種 VEM28A はリリース前に先行して NH₃ 直膨システムにて使用していただいているユーザーがあり、順調に稼働している。また、当社冷凍機は多くの NH₃/CO₂ 冷凍設備での使用実績があり、VEM シリーズも採用される予定である。

低 GWP 冷媒についても、冷媒メーカーより各種提案されており、NH₃/CO₂ システムで冷却できない温度域や凍結装置等に関してニーズがあり、これらの冷媒に対応する産業用冷凍機が必要となる。

次に紹介した NH₃ 冷凍機の吐出温度低減対策については、レシプロ機ならではの問題であるが冷凍機メーカーである強みを活かし、構造改良と電子制御システムにて安定した吐出温度制御をし、レシプロ機ならではの高効率域での運転を実現させる。

各種技術により、さらに省エネで冷媒漏えいのない安全な冷凍装置をご提案できるよう努めていきたい。

冷熱の総合エンジニアリング企業

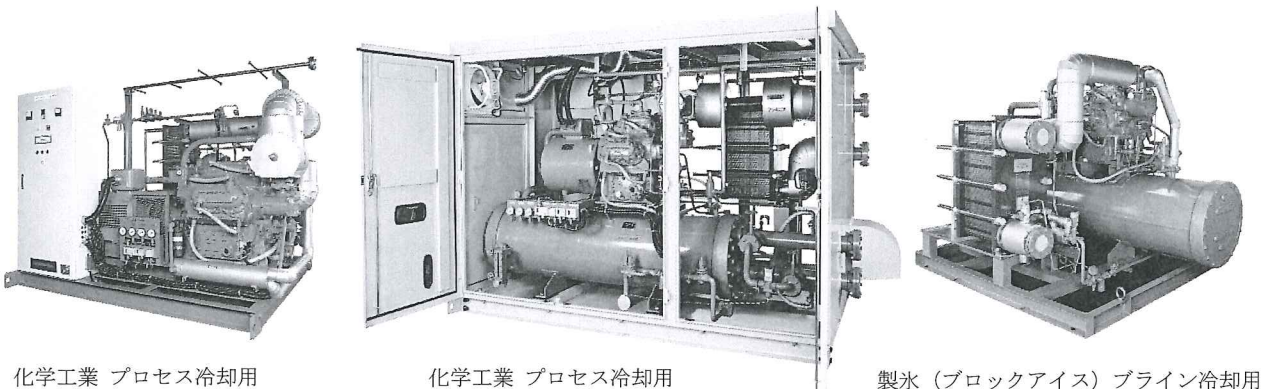
HASEGAWA
REFRIGERATION, LTD.

低温の創造に欠かせない

のシステム・機器

“環境”を考慮して、自然にやさしい冷媒「アンモニア」を使った HBU シリーズ他

HBU シリーズ / HASEGAWA のブラインクーラユニット



化学工業 プロセス冷却用

化学工業 プロセス冷却用

製氷（ブロックアイス）ブライン冷却用

HBU シリーズ / アンモニア冷媒仕様

HBU シリーズ / アンモニア冷媒仕様

HBU シリーズ / アンモニア冷媒仕様

産業用冷凍機製造・販売、冷熱プラントコンサルティング、冷熱の総合エンジニアリング

長谷川鉄工株式会社

本社 大阪市港区波除 1 丁目 4 番 39 号

TEL.(06) 6583-1381 FAX.(06)6583-1389

e-mail: osk @ hasegawa-jpn.com

東京支店・札幌営業所・尼崎臨海工場