

大型オイルフリースクリュ空気圧縮機「エメロードシリーズ」

新村 剛

機械事業部・汎用圧縮機工場

Large-sized Oil-free Screw Air Compressors 「Emeraude Series」

Tsuyoshi Niimura

Today, the growing awareness of environmental issues as well as the demand for clean air, has drawn attention to the necessity for high-efficiency and superior energy-saving characteristics in oil-free screw air compressors. In this report, the new Emeraude series oil-free screw air compressor, which combines the highest efficiency in the range, economic and reliable functionality, equipping with newly developed capacity control system is introduced.

まえがき = 1956年に当社はオイルフリースクリュ圧縮機を国産化して以来、歯形の改良、転がり軸受化に代表される様々な技術改良をおこない、1983年に75kW～150kWクラスを皮切りに1989年までに45kW～400kWクラスの二段オイルフリースクリュ圧縮機ALシリーズを開発した。同時に小型分野へのシリーズを広げ、15kW～55kWクラスの単段機AL-Sシリーズも開発し、電子、薬品、食品製造などあらゆる分野で幅広く利用されている。

近年の動向としては、クリーンエアの要求のみならず環境問題への意識の高まりから、工場電力の約30%を消費するといわれる圧縮機には高効率かつ、すぐれた省エネルギー特性が求められるようになった。また、中小型クラスでは隣家との境界や作業者の近傍に設置される機会が多くなり低騒音化やその音質改善も環境問題にとって重要となってきている。

近年のオイルフリーへの需要の高まりと、徹底した調査からえたユーザーニーズの変化、特徴に対応すべく、当社は1996年にこれまで単段機の領域であった15kW～37kWのクラスで二段オイルフリースクリュ圧縮機の新シリーズ“ALE（エメロード）シリーズ”を上市、ついで1997年に45kW～100kWのクラスの“大型ALE（エメロード）シリーズ”を上市した。

本稿ではこの“大型ALEシリーズ”について報告する。

1. 商品コンセプト

今回開発した大型ALEシリーズの商品コンセプトは、

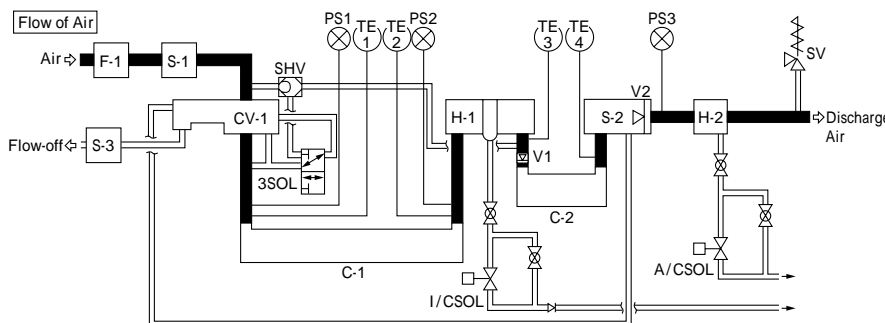
- ・クラス最高の高性能、高効率
- ・音質も配慮した低騒音設計
- ・先進の省エネルギー性能
- ・高い信頼性と安全性の向上
- ・省力、省メンテナンス

の5項目とした。

2. 主要仕様と構造

ユーザーズに基づき全面的に新設計、開発された大型ALEシリーズの系統図、外観、内部および主要仕様を第1図、写真1、写真2および第1表に示す。

圧縮機構造の特徴は、圧縮機本体、増速歯車箱、モータ、ガスクーラを一体化し、ガスクーラの下部に防振ゴムを配置し、効果的に低振動をはかったことにある。また日常の管理情報（圧力、温度、運転時間など）はすべて全面に取付けたITCS（Intelligent Total Control System）モニタで表示され、運転操作やメンテナンスの簡易化が



Symbol	Name	H-2	After-cooler	A/C SOL	Solenoid Valve for After-cooler Drain	PS3	2nd Stage Discharge Air Pressure Sensor
C-1	1st Stage Compressor	F-1	Suction Filter				
C-2	2nd Stage Compressor	SV	Safety Valve	V1	2nd Stage Suction Air Check Valve	TE1	Thermocouple for 1st Stage Suction Air Temperature
CV-1	Volumetric Regulator Valve	SHV	Shuttle Valve	V2	2nd Stage Discharge Air Check Valve	TE2	Thermocouple for 1st Stage Discharge Air Temperature
S-1	Suction Silencer	3SOL	Three-way Solenoid Valve for Volumetric Regulator Valve	PS1	1st Stage Suction Air Pressure Sensor	TE3	Thermocouple for 2nd Stage Suction Air Temperature
S-2	Discharge Silencer			PS2	1st Stage Discharge Air Pressure Sensor	TE4	Thermocouple for 2nd Stage Discharge Air Temperature
S-3	Blow-off Silencer	I/C SOL	Solenoid Valve for Inter-cooler Drain				
H-1	Inter-cooler						



写真1 圧縮機ユニット外観
Photo 1 Outside view of compressor unit

第1図 大型ALEシリーズの系統図
Fig. 1 Diagram of emeraude series

第1表 主要仕様
Table 1 Specifications

TYPE		ALE45	ALE55	ALE65	ALE75	ALE90	ALE100	
Motor Output	kW	45	55	65	75	90	100	
Discharge Pressure	MPa	0.69						
Discharge Air Volume	Hz	50/60						
Dimensions (W×D×H)	Water Cooled	m ³ /min	6.8/6.8	8.6/8.7	10.0/10.0	12.8/12.7	15.4/15.3	16.7/16.7
	Air Cooled	m ³ /min	6.7/6.7	8.3/8.3	9.8/9.7	12.7/12.7	15.2/15.2	16.5/16.5
Weight	Water Cooled	kg	1 840	1 900	1 950	2 600	2 820	2 820
	Air Cooled	kg	1 790	1 850	1 900	2 590	2 810	2 810



写真2 圧縮機内部構造
Photo 2 Compressor internal structure

はかられている。

圧縮機本体の仕様を第2表に示す。今回新しく歯形形状を開発し、2種類のロータで45kW～100kWクラスに対応できるようにサイジングをおこなった。

3. 特徴

3.1 高効率化

3.1.1 ロータ歯形の改良

今回開発された新歯形の特徴は、体積効率、断熱効率を向上させただけでなく、メンテナンス費用の低減を求めるユーザーニーズに対し、安定した性能を長期間確保することを目的とし、加工誤差、形状の経年変化に対して性能変化を小さくしたことにある¹⁾。

第2図に歯形先端のシールエッジ（ロータとケーシング内面とのシール）部の摩耗が性能にもたらす影響についてシミュレーションした結果を示す。今回開発された歯形（歯形：特許出願中）は摩耗に対する性能変化に優れていることがよくわかる。

また、吐出過程最終段階には、第3図に示すトラップ部があらわれる。トラップ部とはラジアルポートがなくなり、アキシヤルポートのみになる歯溝で、歯溝体積にくらべポート面積が極端に小さくなり、この歯溝において過圧縮を起こし動力損失を生じる。歯形は従来の歯形（歯形）にくらべトラップ部体積を26%低減することによって断熱効率を約2.3%向上させた。

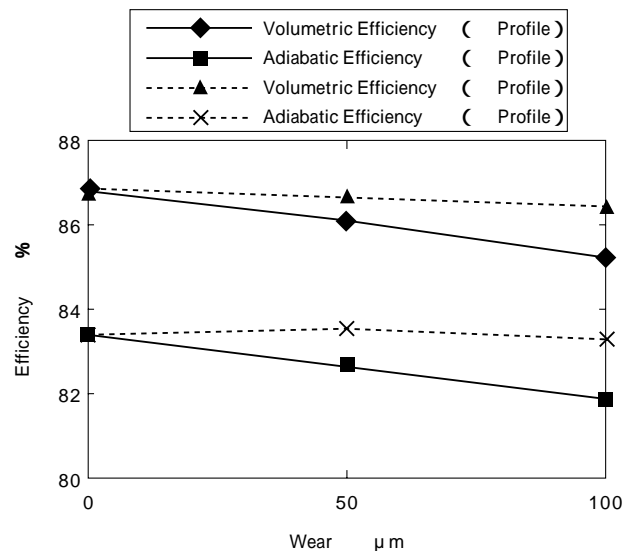
3.1.2 ガスクーラの低圧損化

圧縮機の圧力損失の大きな要因には、ガスクーラの圧力損失がある。ガスクーラの圧力損失が大きいと圧縮比が増大し軸動力が増加する。今回は従来機で採用してい

第2表 圧縮機本体の仕様

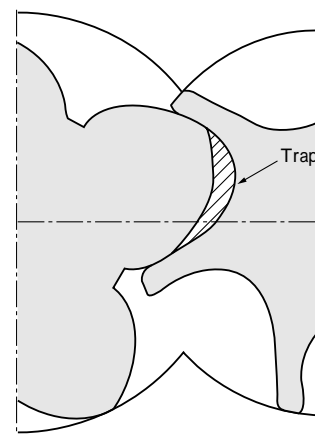
Table 2 Specifications of compressor

Rotor Profile		9BT	11BT
Model		ALE45～65	ALE75～100
Speed of 1st Male Rotor (max.)	rpm	20 459	15 262
Diameter of 1st Male Rotor	mm	93.2	123.3
Tip Speed of 1st Male Rotor	m/s	99.8	98.5
Theoretical Volume	m ³ /h	688.8	1 110.4
Length / Diameter	-	1.5	1.4



第2図 シールエッジ摩耗と性能の関係

Fig. 2 Relationship between seal edge wear and efficiency

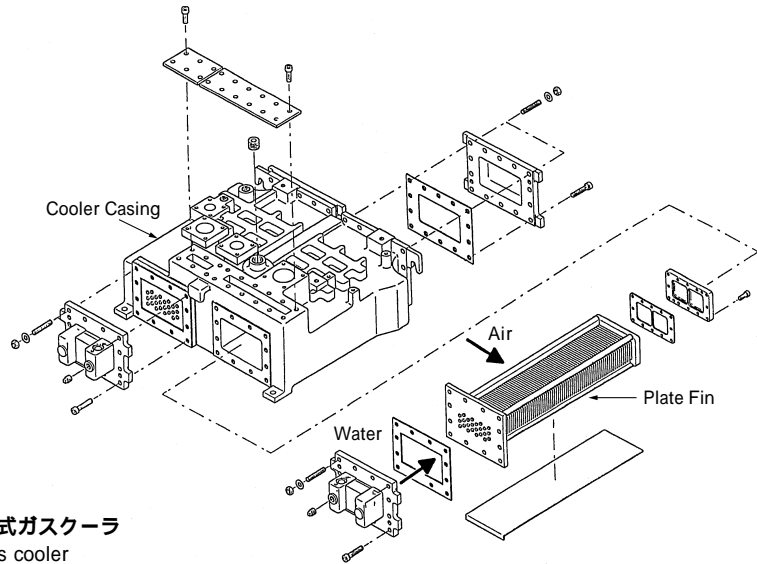


第3図 トラップ

Fig. 3 Trap

たシェルアンドチューブ式に替え、第4図に示すプレートフィン式ガスクーラを採用した。

ガスクーラの圧力損失を低減するためには、ガス流速



第4図 プレートフィン式ガスクーラ
Fig. 4 Plate fin type gas cooler

を低減する必要があるが、ガス流速が小さくなるとガス側の熱伝達が低下するため、冷却性能を保つためにはより多くの伝熱面積が必要となる。従来のシェルアンドチューブ式ガスクーラで伝熱面積を大きくするためには、チューブ本数や長さを増加させなければならず、クーラサイズが大きくなる難点がある。いっぽう、プレートフィン式ガスクーラはフィンピッチを変えるだけで容易に伝熱面積を大きくすることができ、クーラサイズをコンパクトにまとめるうえでも非常に有利であり、圧力損失低減に効果的である。

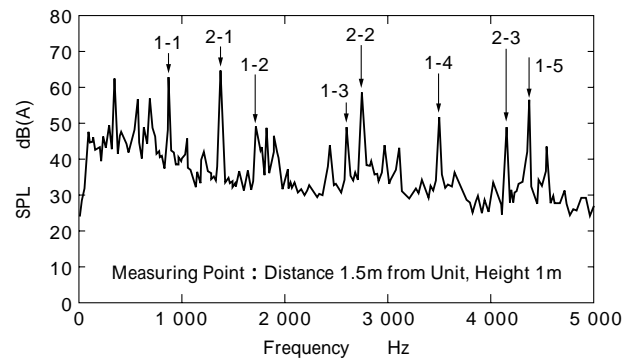
3.2 低騒音化

スクリュウ圧縮機は、雄ロータの回転数と歯数との積を基本周波数とする脈動がある。とくにオイルフリースクリュウ圧縮機は、油冷式にくらべると約2~3倍の高回転であるため脈動周波数は一般に1kHzを超える高周波数となる。このためオイルフリースクリュウ圧縮機の騒音は高周波音が主成分となり、耳障りに聞こえる。とくに高圧段の2段本体側の脈動は、下流側に圧送される空気の脈動になるため、騒音や配管振動の原因になることがある。

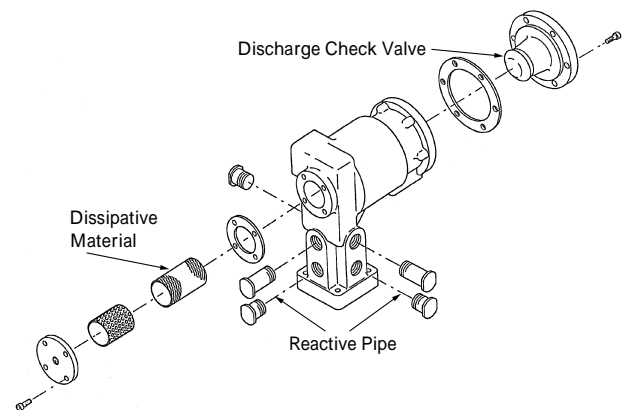
第5図に従来のオイルフリースクリュウ圧縮機の騒音を周波数分析した結果を示す。図中の数値は段数-脈動次数を表しており、たとえば2-1は2段側本体の1次成分であることを表している。第6図に新しく設計した吐出サイレンサを示す。吐出サイレンサは圧縮機から圧送される空気の音圧を減少させ、騒音レベルをさげることを目的としたものであるが、最近の技術課題の一つに低騒音化に加えて耳障りな音を取り除く音質改善がある。

従来の吐出サイレンサはステンレスウールなどを吸音材とした吸音型が一般的であったが、広い周波数範囲で万遍なく消音するには適しているが、特定の周波数を大幅に低減することはできないため、従来の吸音型に加えて、特定周波数を低減するに適している共鳴型消音器を併用した。

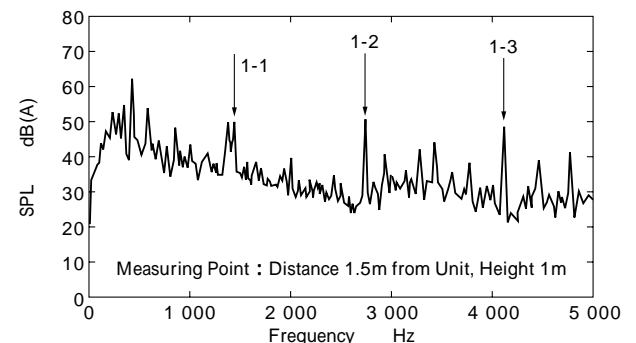
共鳴型消音器は、低減したい周波数を共鳴周波数とする共鳴器を消音器の中に設けることで、そこを通過する空気の流れから特定の周波数の成分を除去するものであ



第5図 従来機の騒音特性
Fig. 5 Conventional noise frequency analysis



第6図 吐出サイレンサ
Fig. 6 Discharge silencer



第7図 共鳴型サイレンサをもちいた場合の騒音特性
Fig. 7 Noise frequency analysis with resonator

る。

第7図に、共鳴周波数を2段側本体の脈動1次周波数と2次周波数として、吸音型と共鳴型を併用した消音器を搭載した圧縮機ユニットでの騒音測定結果を示す。対策を講じていない1次側本体の脈動成分は現れているのに対し、共鳴器を設置している2段側本体の脈動成分はほぼ除去されていることがわかる。この技術により、音質改善とともに従来機にくらべ5~10dB程度もの大幅な低騒音化を図ることができた。

3.3 運転制御による省エネルギー

オイルフリースクリュー圧縮機は油冷式のようにロータ室内の圧縮過程で潤滑油で冷却することがないため圧縮比の増加により吐出温度が非常に高くなる。このため油冷式のように連続した吸気絞りができず、全負荷と無負荷運転の繰り返しとなる。

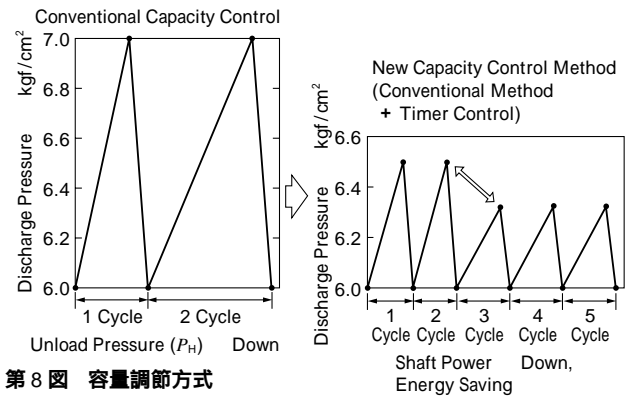
第1図に示したように、2段圧縮機本体(C2)と吐出逆止弁(V2)の間から、1段圧縮機本体(C1)の吸気側に設けられた吸気調整弁(CV1)に放風用配管を設け、全負荷時にはこの放風配管は吸気調整弁によって全閉となり圧縮空気は全量圧送される。無負荷時にはこの放風配管は開放となり圧縮空気は全量大気中に放風される。この作動を反復することにより容量調整がおこなわれる。

たとえば、必要な下流圧力が 6kg/cm^2 で圧力制御幅を 1kg/cm^2 とする場合、 6kg/cm^2 で負荷運転開始、 7kg/cm^2 で無負荷運転開始(負荷運転終了)となる。圧縮機の軸動力は吐出圧力の上昇とともに増加するので、負荷/無負荷制御で省エネルギーを実現するには必要な下流側の圧力を確保しながらいかに無負荷運転開始圧力を低くするかにかかってくる。

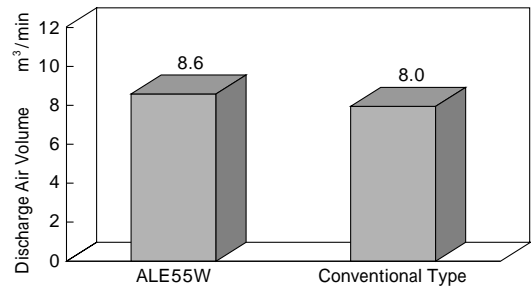
従来のオイルフリースクリュー圧縮機の制御では圧力制御幅は初期に設定したままであるため、下流側に連なる装置の空気消費量が多いほど、負荷運転を開始してからの圧力上昇の速さが遅くなり、その分だけ軸動力がより大きい高圧での負荷運転時間が長くなる。つまり電力量の増加となる。

この電力を低減するために、圧力制御幅を小さくするタイマによる強制無負荷機能を併用した。すなわち、一定時間負荷運転が継続すれば、下流側の圧力が無負荷運転開始圧力に達していなくても強制的に無負荷運転にするものである。第8図に従来の容量調整と新しい容量調整を示す。今回設計した吸気調整弁は負荷/無負荷の周期が従来のものに対し1/2で許容できるため、圧力設定幅を従来の半分にすることができる。さらに、タイマによって2サイクル目からは強制無負荷運転となり初期に設定した無負荷開始圧力に達する前に無負荷運転となるので、必要以上に圧力を上昇させずに下限圧力を保持でき動力の低減が図られることになる。

前述の歯形改良やガスクーラの低圧損化およびこの新しい容量調整を適用した場合、従来機と比較して、吐出空気量と電力消費量にどの程度効果があるかをそれぞれ第9図、第10図に示す。

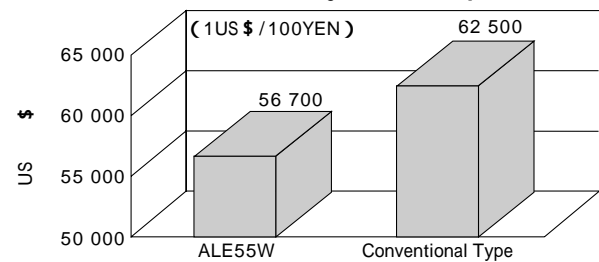


第8図 容量調節方式
Fig. 8 Capacity control



第9図 吐出空気量の比較
Fig. 9 Discharge air volume comparison

Ex.) ALE55W-5 × 1 Unit : Load Percent 90%
(Receiver Tank Volume : 1.7m³)
Conventional Type : Unload/7.0k, Load/6.0k
ALE55W Type : Unload/6.2k, Load/6.0k
Annual Electric Power Cost[Load 90% : 15 cents/kWh (in Japan)
Running : 8 000h/1Year]



第10図 電力量の比較
Fig. 10 Power cost comparison

これらの図からわかるように55kWクラスでは従来機の吐出空気量 $8.0\text{m}^3/\text{min}$ に対し $8.6\text{m}^3/\text{min}$ にまで向上しており、新容量調整の効果を含めると約10%の省エネルギーを実現することができた²⁾。

むすび=オイルフリースクリュー圧縮機に対するユーザーズをもとに開発され、全面的に改良された大型エメロードシリーズは、使用する側の立場に立ち、さらに環境問題にも積極的に取り組んだ商品といえる。今後これを基本にさらに上位機種へとシリーズの拡大、および改善に努力していきたい。

参考文献

- 1) 吉村省二：機論，64-627，C(1998)，p.4380。
- 2) 松村昌義：(社)日本油空圧学会フルイドパワーシステム，Vol.29，No.4，p.54。