

(解説)

# 汎用スクリュ圧縮機KOBELION-VS/VXシリーズの開発

## Development of Standard KOBELION-VS/VX Series Screw Compressor



中村 元\*  
Hajime Nakamura



小村一雄\*  
Kazuo Komura

Kobe Steel developed the standard screw compressor KOBELION- VS/VX series to save energy, to reduce unnecessary air delivery and to be eco-friendly. These world-class screw compressors offer high performance and energy efficiency, reduce noise, and consume little lubricating oil. This paper introduces the main feature and key technologies related to these compressors.

まえがき = 近年の環境問題への意識の高まり（温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>削減など）や、製造コスト削減の観点から、省エネルギーに対するニーズが非常に高くなってきている。とりわけ空気圧縮機の消費電力は、日本全体の5%、国内製造事業所の20~30%を占めており、その中で中型油冷スクリュ空気圧縮機の割合が70~80%に達している。そこで、この分野に省エネ性能を追求した特徴ある製品を送り出すことは、環境悪化防止に少なからず寄与するものと考えられ、開発に取り組んだ（図1、2参照）。

当社は、1915年にレシプロ型圧縮機を、1956年にオイルフリースクリュ圧縮機を国内で初めて開発・上市し、現在まで常に技術のトップを走り続けてきた。メーカ各社との開発競争の結果、圧縮機の基本性能である比動力（=入力電力÷風量）は、各社の製品間で数%の差しか認められないほどの成熟製品となった。このような状況の中、当社は、機構・機能共に従来機とは全く異なる省エネ性に優れた圧縮機を開発した。

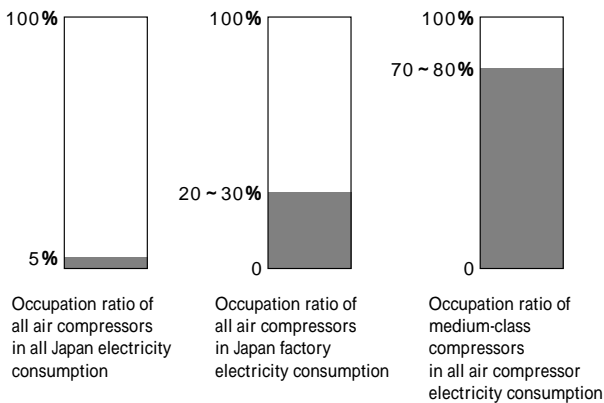


図1 圧縮機の消費電力の割合  
Fig. 1 Electricity consumption ratio of compressor

### 1. KOBELION-VS/VX の開発コンセプト

当社は開発のコンセプトとして、徹底的な動力ロスの削減、世界一の間接負荷性能、圧倒的な低騒音、信頼性・耐久性向上の4つの目標を掲げて、圧縮機の基本的構造や制御方式を基本から見直し、従来技術の延長線上にはない革新的な商品開発を行った。

KOBELION-VS/VX（図3参照）は様々な特徴を有しているが、本稿では、他社機と大きく異なる4つのポイントに絞って紹介する。

### 2. KOBELION-VS/VX の特長

#### 2.1 高速モータ直結型本体構造

スクリュ圧縮機本体のロータ軸に電動機のロータを直接取り付け、電動機軸受が不要となるオーバハング直結構造を他社に先駆けて実現した。電動機軸受では1.5%、

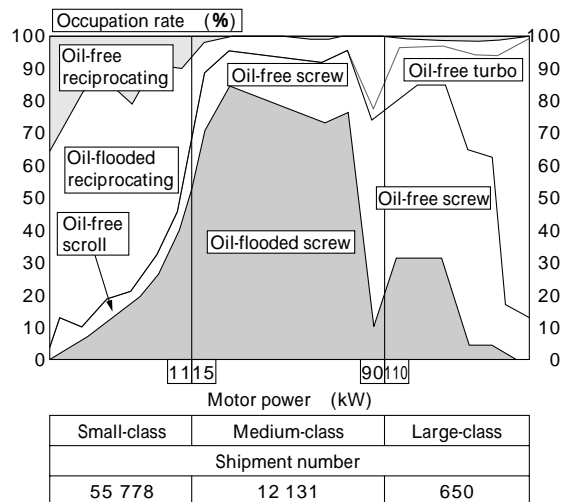


図2 圧縮機の出荷台数比率  
Fig. 2 Shipment number ratio of compressor

\*機械エンジニアリングカンパニー 汎用圧縮機工場



図3 開発機の外観

Fig. 3 Photographs of developed compressor

増速機では1%のロスが発生し、これらのロスを失くす究極の形が直結構造である。この機構を実現するためには、高速で運転でき、かつ高効率な電動機が不可欠となる。そのため、小型・軽量の高速永久磁石電動機を新開発し、従来3600RPM回転だった誘導電動機の最高回転数を2倍の7200RPM回転にまで高め、ベルトやギヤの増速装置を廃止した。

また、専用のケーシングを持つ電動機構造の特徴を活かして、軸端部を密封化し、軸封のメカニカルシールを削除した。これによりメカニカルロスを3.5%低減し、油を外に漏らさない信頼性の高い本体となった。更にこの構造は低騒音化にも寄与し、部品点数は15%減少しコスト削減をも可能にした(図4参照)。

このオーバハング直結構造を実現するために最も困難な技術課題は、高速化に伴う振動・共振対策であった。

オーバハング取付けとなる電動機のロータを小型・軽量化し、またロータ軸を太くすることで、回転数1次の共振周波数は比較的容易に回避できたが、当初想定していなかった軸回転数の2次成分が加振力となる共振問題が試作段階で発生した。様々な振動対策を実施したが、効果がなく困難を極めたが、最終的に、図5に示すようにプレートの組み合わせによる制振装置を開発し、静止部の電動機ケーシング側から、駆動部であるロータの共振を抑えることに成功した。

この制振装置は、モータ最後部に取付けられ、3~5mm程度の板材を10~15枚重ね合わせてパネで予圧をかけ、軸の固有振動数と回転2次の振動成分が共振し始めようとする領域において、板と板の摩擦を利用し軸の振動エネルギーを熱に変え、振動振幅が発散しないように抑制する機構である。この装置は、共振という物理的に回避し難い現象を非常に簡便に抑止でき、高速電動機直結構造を採用するKOBELION-VS/VXに不可欠の機構で

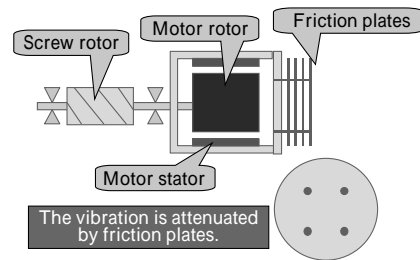


図5 制振装置の外観及びコンセプト

Fig. 5 Appearance & concept of dumping device

ある。

## 2.2 ワイドレンジ制御

圧縮機の理論消費動力は次式によって表すことができる。

$$P_{ad} = \frac{(i+1)k}{k-1} \frac{P_1 q_v}{0.06} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{i+1}} - 1 \right] \text{ (kW)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $P_{ad}$ : 理論圧縮動力、 $i$ : 中間冷却器の数、 $k$ : 空気のポリトロプ指数、 $P_1$ : 吸込空気絶対圧力、 $P_2$ : 吐出空気絶対圧力、 $q_v$ : 吸込空気流量

上式の、 $i, k$  は定数と考え、 $P_1$  は大気圧でほぼ一定とみると、圧縮機の消費動力は「動力( $P_{ad}$ ) 圧力( $P_2$ ) × 風量( $q_v$ )」で簡略的に表すことができる。風量の項は、同一のスクリュウ圧縮機本体であれば回転数にほぼ比例する。

新機構のワイドレンジ制御とは、「吐出圧力に応じて電動機の定格動力まで回転数制御を行う定動力・増風量制御」である。吐出圧力が低くなるほど制御可能な最高回転数が高くなり風量を増やすことがポイントで、吐出圧力を従来の定格圧力の0.69 (MPa) から0.39 (MPa) にまで下げると、最大25%もの増風量ができ、省エネルギーと共にエネルギーの有効活用をも可能にした。

このワイドレンジ制御については37kW機を例に図6で詳しく説明する。

定格吐出圧力が0.69 (MPa)の状態では吐出風量の最大値は6.2 (m<sup>3</sup>/min)で、必要動力は37 (kW)である。そこで吐出圧力を0.39 (MPa)に下げると、こ

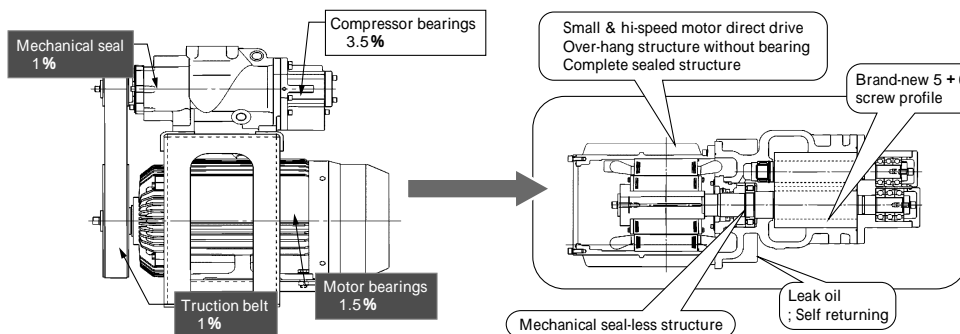


図4 本体直結構造による損失の減少

Fig. 4 Loss decrease by main body direct connection structure

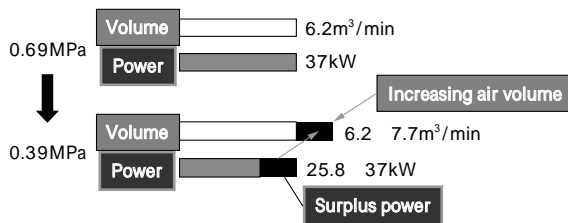


図6 増風量概念  
Fig. 6 Concept of air volume increase

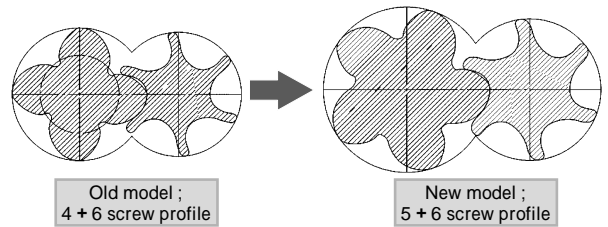


図8 スクリュー歯形  
Fig. 8 Screw profile

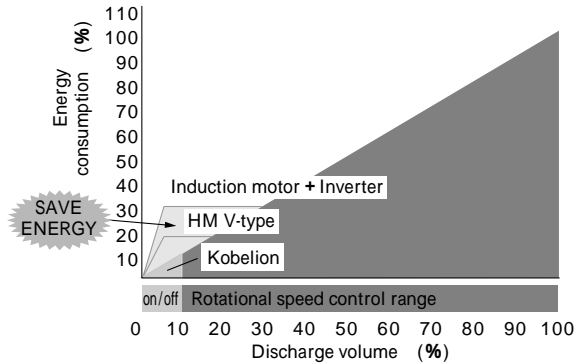


図7 回転数制御範囲  
Fig. 7 Range of rotational speed control

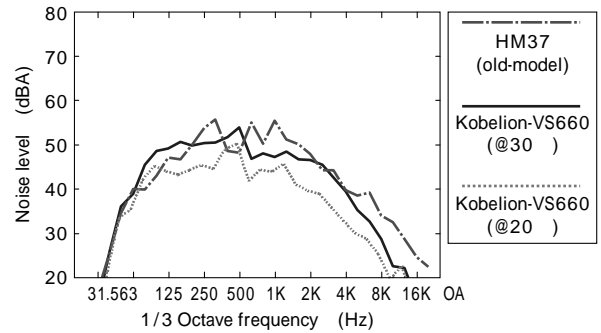


図9 騒音比較  
Fig. 9 Noise comparison

れまでの圧縮機の動力は25.8(kW)に下がるが、風量は6.2(m<sup>3</sup>/min)で変わることはなかった。これは電動機の回転数を定格回転数以上に上げることができないからで、従来はこれが常識とされてきた。

しかし、新開発のワイドレンジ制御では、吐出圧力を常に監視し、圧力が下がって動力が減少し電動機に余裕が出た場合、回転数を余力分上げて風量を増やすことができる。この例では、風量は6.2(m<sup>3</sup>/min)から7.7(m<sup>3</sup>/min)に増加している。

この増風量機能の恩恵で、1ランク出力の小さい機械を選定することが可能となり、低コスト・省スペース・省メンテナンスに大きく貢献している。

### 2.3 全域回転数制御

KOBELION-VS/VXは、定格回転数の10%までの低速運転を実現していることも大きな特徴である。当社従来機では20%、他社のインバータ機では30%までしか回転数制御はできていない状況である(図7参照)。

その理由は、従来技術では低速回転域になると電動機コイルやロータの損失が増加し、冷却能力が不足して過熱し、その結果、低速回転域での安定な運転ができなかったことにある。

KOBELION-VS/VXの新開発電動機は、ロータでの電氣的なロスが発生しない永久磁石電動機を採用し、かつ、冷却及び低速トルク特性の最適化を図ったことで、低回転域でも安定した容量制御が可能となった。しかも、従来機では不可能だった残圧放気中の再起動を可能としており、0~10%程度の極低負荷時にも圧力変動が少ないスムーズなエア供給を実現している。

これらの結果、従来機に搭載していた圧力調整弁と吸気調整弁を省略でき、信頼性及び調整不要によるメンテナンス性の向上もあわせて実現した。

### 2.4 音質にも考慮した低騒音技術

直結構造を実現できたことによるギヤなどの騒音源の

排除、ロータの新開発歯形の採用(図8)、圧縮機本体の剛性アップや冷却ファンのインバータ制御に伴う排気音の低減などにより、従来機に対し最大で5dBAもの低騒音化を達成した。また、耳障りな高音域での音圧レベルも低減している(図9参照)。

冷却ファンのインバータ制御は、冷却ファンの回転数を吐出温度に応じて回転数制御するもので、低負荷時や周囲温度が低いときにはファン回転数を低くすることができ、低騒音とともに省エネ性能の向上にもつながっている。

むすび=高速電動機との本体直結構造やワイドレンジ制御などの新技術により、性能向上や機能の充実による信頼性向上、及び、メンテナンス性の向上を果たした。これに加え、万一圧縮機本体側から油漏れがあったとしても外部に漏れない構造面や、メンテナンス部品であるメカニカルシール、吸気調整弁、圧力調整弁やモータの軸受を削除するなど、部品削減面からも信頼性、メンテナンス性を向上させた。また、パッケージ内の冷却能力、クーラの冷却能力を増強する部品仕様の面からも信頼性を向上させた。

KOBELION-VS/VXを発売以来、従来10%程度であったインバータ化比率(標準機とインバータ機を合わせた総出荷台数に対するインバータ機の比率)が、今では40%を超えるまでに至っている。これは、KOBELION-VS/VXの高い先進性と省エネ性能が市場から高く評価されたものと認識している。