

高速電動機直結型 高効率、増風量スクリュ圧縮機の開発

株式会社 神戸製鋼所

機械エンジニアリングカンパニープレジデント 小谷 重遠

(株)神戸製鋼所 汎用圧縮機工場 設計室 課長 中村 元

(株)神戸製鋼所 汎用圧縮機工場 設計室 南屋敷 正道

(株)神戸製鋼所 汎用圧縮機工場 設計室 中西 海

(株)神戸製鋼所 汎用圧縮機工場 設計室 星川 明

(株)神戸製鋼所 汎用圧縮機工場 設計室 小村 一雄

はじめに

近年の環境問題（温暖化防止CO₂削減等）への意識の高まりや、製造コストの削減という観点より、省エネルギー機器へのニーズが高まってきた。その中で空気圧縮機は、国内事業所の消費電力の20～30%を消費しており、特に15～75kWの中型圧縮機は上記消費電力の70～80%を占めている。その中で当社は最も効率が良い永久磁石同期電動機を採用し、圧縮機の高効率化をリードしてきた。従来の圧縮機の開発は、圧縮機本体の高性能化と、駆動源であるモータの高効率化に注力され、基本性能はほぼ成熟状態に達しており、各社ともほとんど性能差のない状態にあった。その中で更なる高効率化を目指すには、圧縮機機構や制御技術も含め、従来技術の延長線上にはない全く新しい技術開発が必要であった。

開発のねらい

当社は、従来の圧縮機を基本構造から見直し、まず、エネルギーロスの発生源を徹底的に削減する事を目標に掲げた。

次に、省エネルギーの効果を市場で確実に感じてもらえる製品を開発する事を目標とした。これは、ユーザでの平均負荷率が約70%

であるにもかかわらず、圧縮機メーカーは100%負荷時の性能を最重要視してきた事を考え、中間負荷特性の改良を重要課題とした。

省エネルギーに対する考え方も、従来の消費電力の削減という観点だけでなく、エネルギーの有効利用を可能とすることも検討課題とした。

一方、環境負荷の軽減にも着目し、油消費の削減や低騒音化にも取り組んでいる。

ここまでの紹介で、省エネルギーと環境負荷の軽減をキーワードに5つの開発目標設定を掲げている、この新商品では全ての項目で世界に誇れる最高水準の技術を実現している。図1は、開発機の外観図である。



図1 開発機外観図

装置の概要

この圧縮機は、7200rpm高速電動機直結構造を世界で初めて実現し、従来の圧縮機にあるエネルギーロスの発生源を徹底的に排除した超高効率型スクリュウ圧縮機である。圧縮機は吐出圧力が低下すれば同一吐出空気量でも定格軸動力を発生できないことに着目し、圧力低下時には圧縮機の回転数を上げ、定格電力まで運転できる世界初の増風量制御方法の開発により、125%までの増風量運転と全回転数領域での運転を可能とした。また、駆動源の電動機をスクリュウロータと直結する事により、従来は構造上不可欠であった増速装置、軸封（シール機構）、電動機軸受などのエネルギーロスの発生源を徹底的に排除した構造を採用している。これら技術課題を克服し、従来比で全負荷時の消費電力性能を5.6%アップし、部分負荷性能では最大32.2%も向上させ世界トップの性能を有するとともに、環境にも配慮した世界トップの低騒音・低油消費を実現した圧縮機の開発に成功した。

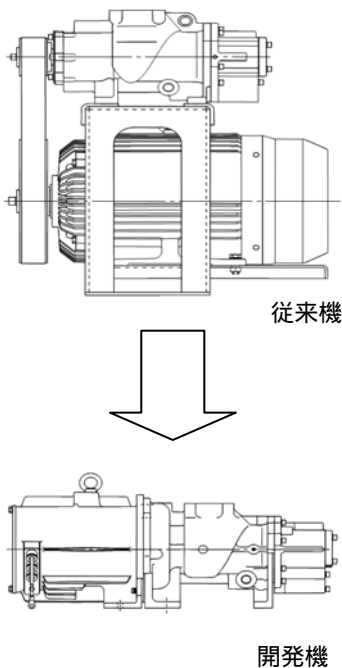


図2 従来機から開発機への変化

技術上の特徴

ここでは大きく5つの特長についての的を絞って説明する。

1. 高速電動機 - 本体直結構造

従来3600回転だった電動機の最高回転数を倍の7200回転にまで高めることを可能にした小型・軽量の高速永久磁石電動機を開発し、これをスクリュウ本体のロータ軸にオーバハング直結構造にするとする理想的な構造を世界に先駆けて実現した。これにより、インバータによる総合効率ダウンをカバーするとともに、ベルトやギヤ等の増速装置、メカニカルシール、電動機のグリース軸受までもが不要にすることで、メカロスの削減、低騒音化、信頼性向上、コスト削減を可能にした。この構造を実現するためには、高速化に伴う振動・共振対策、電動機の小型化と小型化に伴う冷却対策などの克服すべき課題があった。先ず高速回転化に伴う共振振動対策では、オーバハング取り付けとなる電動機を小型・軽量化して対策を行い、高次の共振に対しては従来技術に無い制振装置を開発し対策したが、この制振技術は、それなしでは決して高速電動機直結構造を実現できない極めて重要な技術である。また、冷却対策については、他冷式ファンの採用とファンの定動力制御により、冷却効率の向上と省エネルギーを同時に実現した。図2に従来機との構造の差異、図3に開発機の構造図、図4にカットモデルを示す。

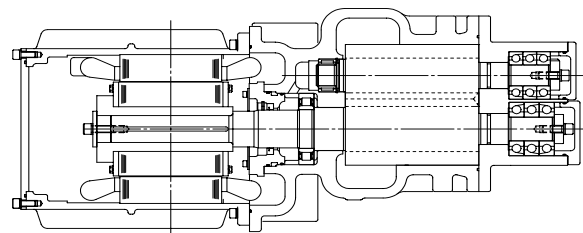


図3 高速IPMモータ直結スクリュウ圧縮機本体

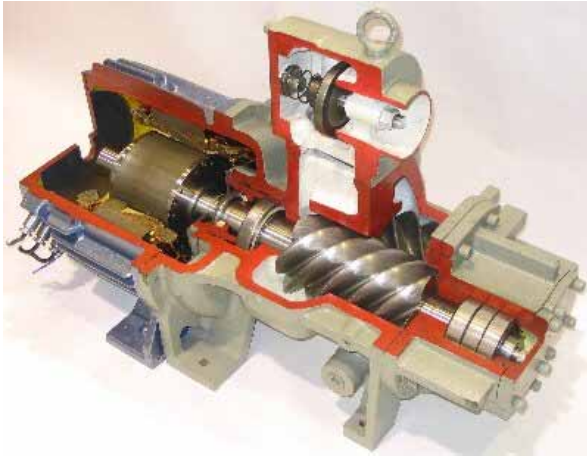


図4 圧縮機本体 + 電動機カットモデル

2. ワイドレンジ制御

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。

圧縮機は、吐出圧力が下がるほど消費電力は少なくなる。従来の圧縮機は商用電源で運転された場合、固定された回転数であるため吐出圧力が低くなると消費電力は少なくなるが、定格出力での運転は不可能であった。この新商品は、消費電力を監視し、吐出圧力が低い場合には制御可能な最高回転数が高くなり風量が増えるのがポイントで、吐出圧力を従来の定格圧力である0.69MPaから0.39MPaにまで下げることにより最大25%もの風量を増やすことができる。つまり、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。(図5)

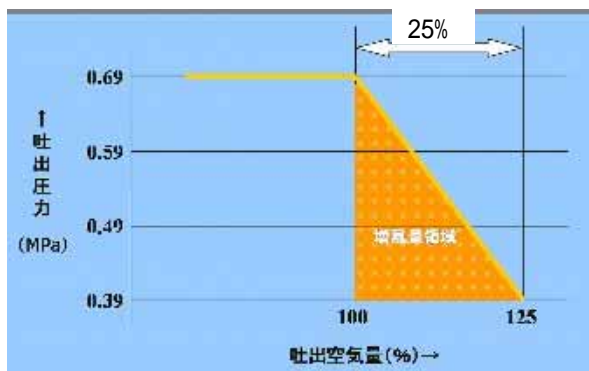


図5 ワイドレンジ制御の増風量

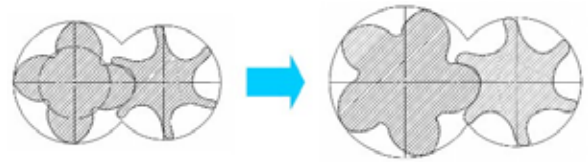


図6 従来4 x 6 歯型 (左) と新5 x 6 歯型

3. 新設計本体による性能向上

ロータの歯形の見直しとロータケーシングの見直しにより、風量アップと低騒音化を図った。従来機は雄ロータが4枚、雌ロータが6枚の4 x 6 歯形であるのに対し、開発機では5 x 6 歯形としている。軸を太くしてオーバーハングでモータを直結するのに十分な剛性を持たせるとともに、風量がアップし、音圧レベル減少に依る低騒音化を実現した。(図6)

4. 全域回転数制御

他社インバータ機が定格回転数の30% (当社従来機は20%) までしか制御出来ないのに対し、開発機では10%までの低速制御を可能にし、低回転域での消費電力改善と、従来機・他社機にある圧力調整弁と吸気調整弁を排除した。

この全域回転数制御は省エネルギーに与える効果が非常に大きく、特に実使用 (中間負荷) 領域での効率が格段に良くなっている。(図7)

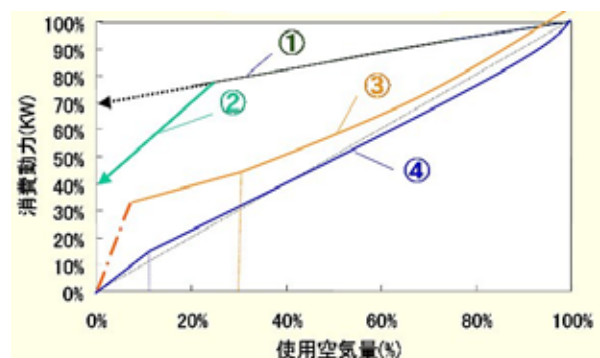


図7 制御方式による消費電力の差
 : 吸込み絞り方式
 吸込み絞り + パージ方式
 従来機回転数制御
 開発機回転数制御方式

5. 遠隔通信機能

圧縮機の省エネルギーと云う発想が、従来圧縮機の性能にのみ着目していたが、実際には運転方法、状況による所も非常に大きい。本開発ではこの事に着目し、遠隔通信機能を搭載することで、メーカーでユーザーの省エネ運転管理をサポートする事も可能とした。

6. 油回収効率の向上

新開発の油回収エレメントによって、吐出空気の中に含まれる油量を従来の0.005cc/m³から世界最高レベルの0.002cc/m³へと飛躍的に少なくすることに成功した。

7. 音質にも配慮した低騒音化

高速モータ - 本体直結構造、新設計本体および冷却ファンのインバータ制御による排気音の低減等により、従来機に対し最大で4dBA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の低減により、他社機に対し全く別次元の機械という印象を持つものになった。(図8参照)

実用上の効果

今回の開発機が対象となる22kW～75kW給油式圧縮機(2002年度 国内出荷機)市場は年間7,000台のマーケットである。2002年度の単年度に出荷された圧縮機の国内消費電力量だけでも2,000百万kWh/年(運転時間8,000時間/年)に上る。一方、2003年度上期における当社開発機の出荷台数は448台であった。従来の吸込絞り方式に比べ、標準負荷(70%負荷時)での省エネ率は30%程度あるので、開発機を市場投入したことによる年間での省エネ電力量は概略

$$(448 \times 2 / 7000) \times 0.3 \times 2000 \text{ 百万 kWh / 年} \\ = 76.8 \text{ 百万 kWh / 年}$$

にもなる。

電力料金を15円/kWhとして計算した場合には、11.5億円/年にのぼり、製品サイクルを6

年とした場合では、6年後には、約5,400台の開発機が稼動しており、年間69億円もの電力量を削減する。

工業所有権の状況

本開発にかかわる特許は22件出願している。現在、この22件全てが公開段階である。

以下に本開発の中で最も特徴的な2件をピックアップして紹介する。

- ・特開2003-3975 スクリュ圧縮機の制御方法
吐出圧力に応じてモータの定格動力まで回転数制御を行う定動力・増風量制御であるワイドレンジ制御
- ・特願2003-343641 制振装置
スクリュウ圧縮機の運転方法2次、3次共振を回避に考案した制振装置

むすび

2003年度の当社生産機におけるインバータ比率は40%を超える伸びを示している。

この販売状況の中で特徴的な事は、省エネルギー、低騒音で市場から多大な評価を受け、再購入ユーザが非常に多い事である。

今回の、ユーザの立場に立った商品コンセプト作り、省エネルギーを妥協無く追求する姿勢を継続し、更なる高付加価値商品の開発に取り組む。

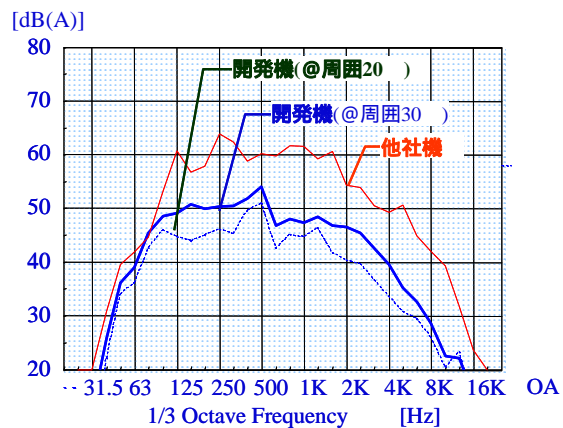


図8 開発機と他社機の騒音比較