

特集

[省エネ・省力・効率化]

スマートエアソリューションの 新たなる進化

Atlas Copco's Smart Air Solution

アトラスコプロ株式会社 コンプレッサ事業本部
アプリケーション技術課 プロダクトスペシャリスト 田中 聡

1 はじめに

近年の地球温暖化問題やエネルギー問題を解決するために、産業機械の分野では省エネルギー対策が緊急の課題である。コンプレッサは産業機械分野ではあらゆる用途に使用されており、特に製造業においては上述の問題を避けて通ることはできない。

エネルギー消費の観点から言えば、コンプレッサのランニングコスト（電気代）がトータルライフコストの約70%を占めると言われており、コンプレッサの高効率化はトータルライフコストを考慮した省エネルギー対策に最大限の効果を発揮する。

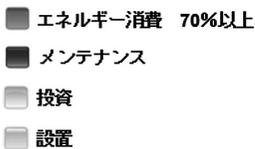


図1 トータルライフコスト

当社は1873年、スウェーデン、ストックホルムでの創立以来、コンプレッサや関連機器の技術開発に邁進してきたトップメーカーである。

本稿においては、2018年5月に当社が世界に先駆けて開発した最先端の省エネ効率最大35%を実現するオイルフリースクリュコンプレッサ、ZR75-160VSD+シリーズをさらに発展させた上位機種、ZR200-355VSD+シリーズを紹介する。



写真1 ZR200-355VSD+シリーズ外観

2 省エネルギー効果

この度発表されたZR200-355VSD+シリーズは、2018年に発売されたZR75-160VSD+シリーズの上位機種として設計思想を踏襲しつつ、さらなる改良を加えている。

図2は従来型機と新型機のエネルギー原単位（SER）を比較表示したものである。

従来型 ZR315VSD と新型 ZR315VSD+ を比較すると、SER で平均 7.5% 改善されている。また、吐出空気量 (FAD) においては、約 28% の増加が達成された。

**SER(エネルギー原単位) & FAD(吐出空気量)
新型機種 vs 従来機種 (0.7 MPa時)**

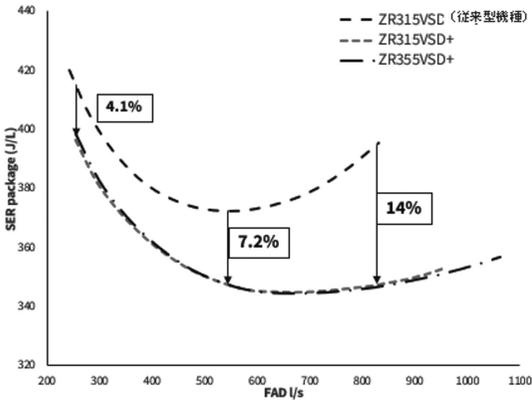


図2 エネルギー原単位 (SER) 性能曲線カーブ

また、インバータで制御するコンプレッサは、低回転領域から高回転領域まで広いターンダウン幅と低くフラットな SER が求められるが、ZR200-355VSD+ シリーズは従来型に対して +6% の広いターンダウン幅を持ちながら、全域に渡って低い SER を実現することに成功した。

図3は、新型機の性能曲線がより低い位置 (SER が低い領域) にあって、しかもより広い FAD の範囲 (ターンダウン幅) に展開することによって、高効率でかつ幅広い運転パターンに対応可能であることを示している。とりわけ FAD の中間領域の SER が低い位置にあることは、インバータ駆動機にとって高い性能を発揮できることを示している。

機種構成においても従来の 250kW, 315kW 機に加えて 200kW, 355kW 機を新設し、より最適な機種選定が可能となっている。

**ターンダウン幅
新型機種 vs 従来機種 (0.7 MPa時)**

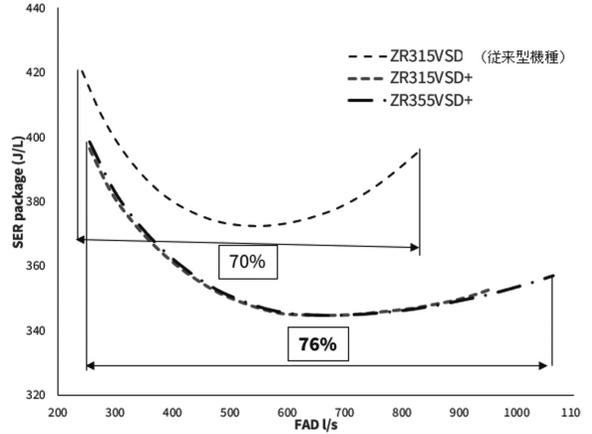


図3 ターンダウン幅比較

3 技術的特徴

3-1 スクリュ圧縮部 (圧縮エレメント)

スクリュコンプレッサの心臓部であるエアエンド=圧縮エレメントは、本シリーズのために新たに設計された。

当社は1950年代にSRM社 (Svenska Rotor Maskiner 社) と共同で世界初となるオイルフリースクリュコンプレッサを開発した。オイルフリースクリュコンプレッサのオス/メススクリュロータは、ロータどうしおよびケーシングとの間に僅かな隙間を維持しつつ非接触で高速回転するため、隙間が大きければ圧縮効率が低下する。本シリーズではコンピュータ解析により、オス/メススクリュロータとケーシングとの隙間を限界まで縮小することに成功した。また、冷却ジャケットの最適な配分により圧縮部全体の熱膨張を均一化することによって最適隙間を常に維持するとともに、エアの入口/出口の形状を改善することによって抵抗を低減してエアの吸入と吐出の効率を高めることが可能となった。

スクリュ歯形はオスロータとメスロータのピッチサークル (P.C.D.) が重なる位置で近接するため、万が一接触しても相対速度はゼロであり、オス/メスロータの歯先の3点でシールする構造から圧縮部の内部隙間を最小にでき、エアリークが少ない構造となっている (図4参照)。

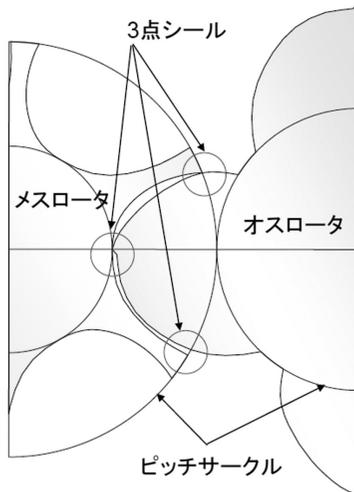


図4 スクリュ歯形

また、スクリュロータにはテフロンとテフロングラファイトを層状にコーティングすることで高い耐熱性と自己潤滑性を与え、ロータ表面の腐食防止や接触時の損傷防止を図っている。当社では単に表面に塗布しているのではなく、特殊な方法 (社外秘) でコーティングを行うことによって、オス/メスロータ間の最適で最小な隙間を確保して最大の効率を引き出すことに成功した。

さらに軸受については、世界最大級のベアリングメーカーであるSKF社と共同開発した高精度セラミックベアリングを採用している。一般に機械部品の製造に当たっては狙った寸法に対するばらつきを表わす統計学上の正規分布曲線に対し標準偏差 $\pm 3\sigma$ 以内を合格とするが、当社で採用しているベアリングは $+1\sigma$ 以内のパ

ーツのみ合格という厳しい品質基準をクリアしている。セラミックベアリングの寿命は金属ベアリングの1.5倍の60,000hrを達成した。

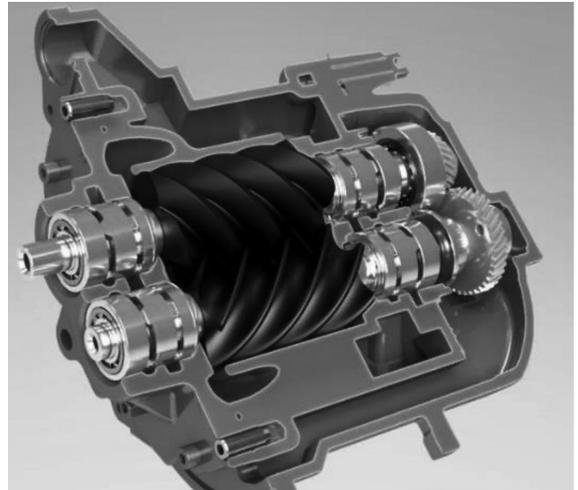


写真2 スクリュ圧縮部断面図



写真3 高精度、高寿命 セラミックベアリング

3-2 自社製高効率永久磁石 (IPM) モータ

スクリュ圧縮部を駆動するモータは自社開発した新型の水冷式高効率永久磁石モータを採用している。後述する自社製NEOSインバータユニットとの組み合わせによるコンプレッサ専用設計によって、幅広い回転数領域でのスムー

ズな運転が可能となった。また、IEC60034-30によるモータ効率クラスは、プレミアム効率IE3やスーパープレミアム効率IE4をはるかに超えたウルトラ効率IE5を実現している。(効率97.3~97.5%)

さらに保護等級はIP66を確保し、5年間の保証を提供する。

なお、後述のとおり本シリーズにはIPMモータが2台ずつ搭載され、それぞれ低圧段圧縮部と高圧段圧縮部を別々に駆動し、常に最適な運転状態を維持するように回転数のバランスを最適に維持しながら運転することが可能となっている。

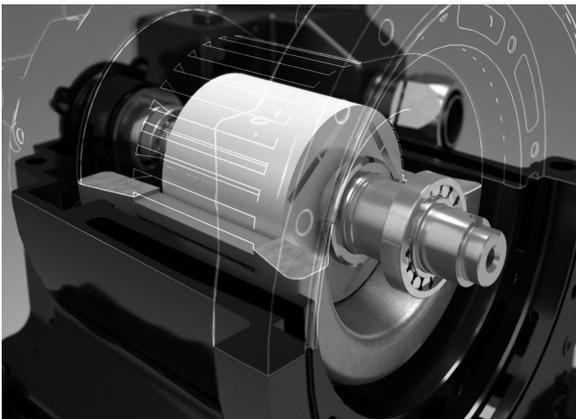


写真4 自社製高効率永久磁石モータ

3-3 自社製コンプレッサ専用 ツインインバータユニット (NEOSドライブ)

本シリーズには自社でコンプレッサ専用開発されたNEOSインバータドライブユニットが2台搭載され、低圧段圧縮部と高圧段圧縮部にセットされた2台のIPMモータの連携を取りながら別々に駆動する。

また、水冷式永久磁石モータとNEOSインバータユニットは周囲温度50℃の高温環境においても正常運転を可能とした。

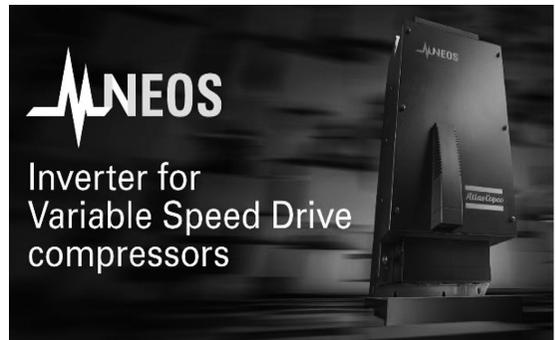


写真5 自社製専用NEOSツインインバータユニット

3-4 スマートアルゴリズム制御

一般的な二段圧縮式コンプレッサでは、1台のモータの回転を増速ギアを介して低圧段、高圧段圧縮部の双方に同時に伝えることによって駆動する。この際、特にインバータ駆動機では負荷の変動に応じて変化するコンプレッサ出口空気圧力を指針として、圧力が一定となるようにモータ回転数を変化させるが、低圧段、高圧段各圧縮部の回転数比率が固定されているため最適な圧縮効率バランスを維持することは難しい。

本シリーズでは、出口空気圧力だけでなく、低圧段圧縮部と高圧段圧縮部の中間空気圧力も感知することにより、負荷変動に応じた最適な効率の圧縮バランスを得るように、低圧段圧縮部用モータと高圧段圧縮部用モータの回転数を相対的に加速または減速させる。(図5参照) スマートアルゴリズム制御のロジックは以下のとおりである。

- ・負荷の変動をコンプレッサ出口空気圧力センサーで感知する。
- ・負荷が減少して出口空気圧力勾配が上昇してきた場合、低圧段用モータの回転数を下げ、負荷が増大して出口空気圧力勾配が下降してきた場合、低圧段用モータの回転数を上昇させる。

・高圧段用モータは低圧段用モータに追従するが、その際、中間空気圧力センサーが感知する圧力が最適なバランス圧力より高い場合は高圧段用モータの回転数を低圧段用モータより上昇させる。中間空気圧力センサーが感知する圧力が最適なバランス圧力より低い場合は、高圧段用モータの回転数を下降させる。以上のような回転数のコントロールによって、どのような回転数領域においても低圧段圧縮部と高圧段圧縮部の最適な圧縮バランスを維持することで、どちらか一方に偏った負荷がかかることなく、コンプレッサユニット全体としての効率アップを実現した。

図5にスマートアルゴリズム制御の機器構成を示す。

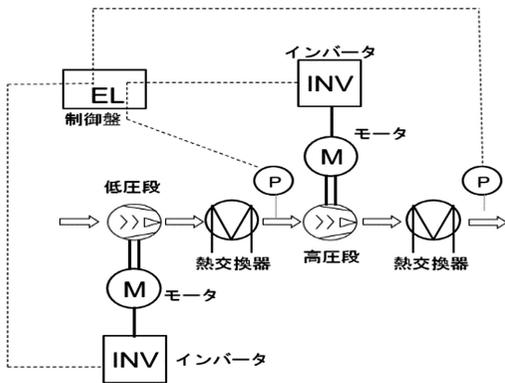


図5 スマートアルゴリズム制御の構成

3-5 排熱再生式 ロータリードラムドライヤ

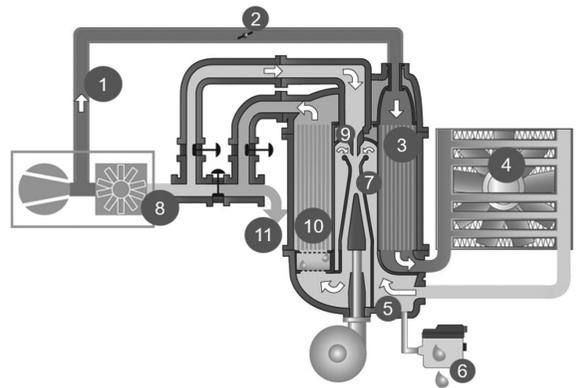
当社のエアドライヤの製品群には他社にない特徴を持ったMDドライヤがある。MDドライヤは吸着剤を使用した排熱再生式エアドライヤの一種であるが、一般の二塔式エアドライヤとは異なり、湿った吸着剤の再生のための圧縮空気のロス（エアパージ）が全くない。

また、2017年にはMDドライヤをさらに発展させたMDGドライヤを開発している。

MDGドライヤのGはGuaranteeを示しており、圧力下露点-40℃を保証する。

ZR200-355VSD+ シリーズには、これらのMDドライヤをキャノピー内に取り付けたZR200-355VSD+FFIMDタイプおよびMDGドライヤとセットしたZR200-355VSD+FFIMDGタイプをラインナップすることにより、圧縮空気の品質をさらに高めて広い用途に対応可能とした。

● MDドライヤの動作原理



再生フロー	
1	熱風コンプレッサ出口 (FADの約40%)
2	再生流用スロットバルブ
3	上から下へ再生 (ドラムの90°再生)
4	再生空気の冷却 (水冷または空冷)
5	一体型水分離
6	水切り
7	冷却再生空気+湿潤空気の混合
乾燥フロー	
8	ウエットエアコンプレッサアウトレット (FADの約60%)
9	ノズルの速度を上げてミキシング
10	下から上への乾燥 (ドラム缶の270°)
11	乾燥空気出口

図6 MDドライヤの動作原理

MDドライヤの構造を図6に示す。

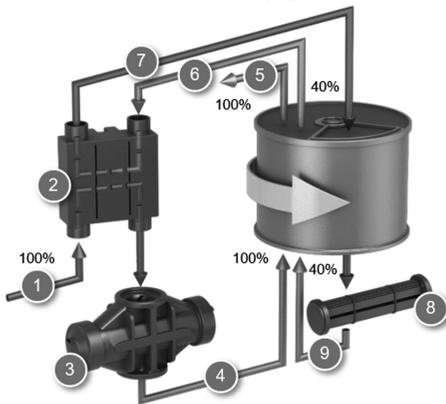
MDドライヤの中には吸着剤（シリカゲル）を含浸させた円筒形のロータがあり、減速機を介して約1.2kW程度の小型モータによってゆ

っくり回転している。

この際、コンプレッサで作られた圧縮空気のうち約 60% はアフタークーラで冷却された後に MD ドライヤに侵入する。残りの約 40% はアフタークーラで冷却される前の熱エネルギーを有した状態で別の配管によって MD ドライヤに侵入し、湿ったロータの吸着剤を乾燥再生するために使用される。

吸着剤の乾燥工程で使用済みとなったエアは熱交換器で冷却され、上述のコンプレッサのアフタークーラで冷却された約 60% のエアと合流し、100% のエア量に戻る。この 100% のエアはロータの乾燥している吸着剤エリアを通過することによって水分を奪われ、乾燥空気として MD ドライヤ出口配管へ供給される。

● MDG ドライヤの動作原理



1	高温の湿った圧縮空気
2	熱交換器
3	水冷式クーラ
4	冷却された湿った圧縮空気
5	乾燥圧縮空気
6	再生圧縮空気
7	加熱再生圧縮空気
8	水冷式再生クーラ
9	冷却された再生圧縮空気

図7 MDGドライヤの動作原理

MDG ドライヤの構造を図 7 に示す。

MD ドライヤが吸着剤の乾燥のためにコンプレッサのアフタークーラを通らない 40% の熱いエアを使用するのに対し、MDG ドライヤはコンプレッサから吐出される 100% 全量の熱いエアをアフタークーラを通さずに MDG ドライヤに取り込み、ロータを通過した乾燥空気の一部に熱交換器で熱エネルギーを受け渡し、この熱い乾燥空気によってより確実に湿ったロータの吸着剤を乾燥させる。

熱エネルギーを受け渡した 100% のエアは MDG ドライヤ内の熱交換器で冷却された後、ロータの乾燥している吸着剤エリアを通過することによって水分を奪われ、乾燥空気として MDG ドライヤ出口配管へ供給される。

このように、MD ドライヤでは湿った吸着剤の乾燥再生のためにコンプレッサ吐出空気の高熱エアを直接使用するのに対し、MDG ドライヤでは乾燥空気に熱エネルギーを与えた高熱エアを使用するため、より確実にロータを乾燥再生することが可能となり、圧力下露点 -40℃ を保証することが可能となった。

4 ZR200-355VSD+ の諸元

表 1 に ZR200-355VSD+ の諸元を示す。

表1 ZR200-355VSD+の諸元表

型式	モータ出力 kW	圧力レンジ (※) MPa (G)	FAD(吐出空気量)	
			0.7MPa(G)時	1.04MPa(G)時
			m ³ /min	
ZR200VSD+	200 (100×2)	0.4-1.04	36.6	28.8
ZR250VSD+	250 (125×2)	0.4-1.04	46.0	37.2
ZR315VSD+	320 (160×2)	0.4-1.04	57.3	47.8
ZR355VSD+	360 (180×2)	0.4-1.04	59.3	54.1

(※) MD,MDG ドライヤ付の場合は 0.6-1.04MPa (G)

5 おわりに

当社では本シリーズに代表されるプレミアム

シリーズとスタンダードシリーズのデュアルオフィサー体制による多彩な機種構成を用意し、ユーザーの多様な用途に応じた最適な機種選定が可能である。

本稿で紹介した最新型オイルフリースクリュ

コンプレッサ ZR200-355VSD+ シリーズは、空気圧縮機として求められるあらゆる性能について究極を追求した製品である。

本シリーズが多くのお客様にとって持続可能な高い生産性に寄与することを切に願う。