

# 環境・省エネルギーに貢献する 給油式スクリー圧縮機

Oil Injection Rotary Screw Compressors Contributing to Environmental Protection and Energy Conservation

田中 英晴

Tanaka Hideharu

高野 正彦

Takano Masahiko

紙屋 裕治

Kamiya Yuji

野崎 務

Nozaki Tsutomu

日立グループの空気圧縮機は、2011年度に100周年を迎える長い歴史の中で研究開発を重ね、さまざまな技術を駆使し、顧客ニーズに応えてきた。近年では、環境問題への意識のいっそうの高まりとともに、工場内の多くの電力を使用している空気圧縮機に対して、今まで以上の省エネルギー・高効率化が国際的に要求されるようになってきている。

こうしたニーズにこれからの100年も応えていくために、空気圧縮機事業をスピーディかつグローバルに展開していく考えである。

## 1. はじめに

空気圧縮機は工場などのエア源として重要な役割を果たしており、工場動力源として欠かせないものである。

日立グループの空気圧縮機の歴史は長く、日立製作所創業の翌年1911(明治44)年に初の100馬力空気圧縮機(定置式横串型往復動空気圧縮機: 佃島製作所製)を納入以来、顧客ニーズに応えるために製品開発を重ね、2011年度には100周年を迎える製品である(図1参照)。

空気圧縮機およびそのシステムの消費電力は、全工場電力の多くを占めており、環境意識のいっそうの高まりに伴

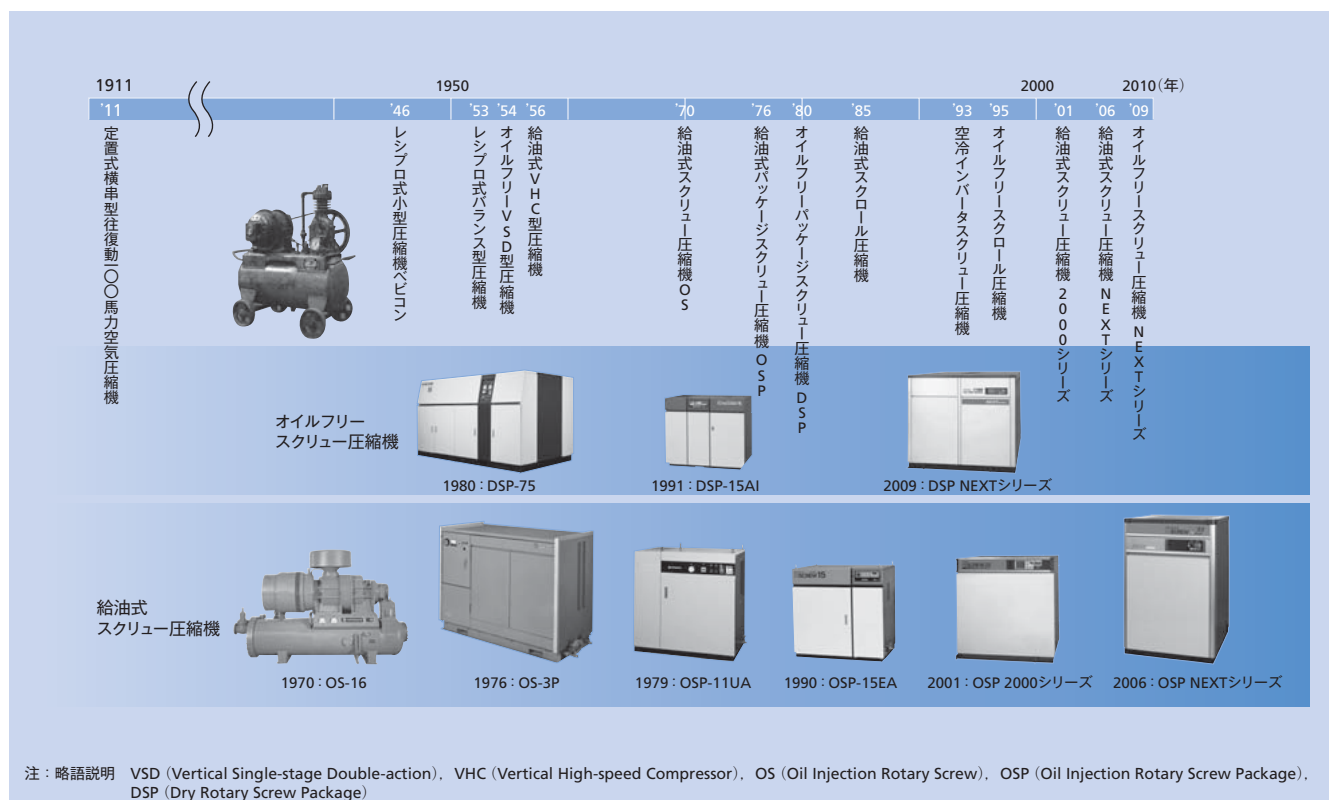


図1 | 日立グループにおける空気圧縮機の歴史

1911(明治44)年に初の100馬力空気圧縮機を納入して以来、2011年度で100周年を迎える。

い、地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>排出量削減を推進するうえでも、空気圧縮機の省エネルギー性能向上への需要はますます高まってきている。

ここでは、幅広い産業分野で使用されている空気圧縮機の中で、現在主流となっている給油式スクリー圧縮機における、日立グループでの省エネルギー・高効率化への取り組みとグローバル展開について述べる。

## 2. 省エネルギーに対する製品開発

工場設備で使用されるさまざまな電力のうち、空気圧縮機およびその関連システムに消費される電力は全体の約20%から25%にも上る(図2参照)。このため、工場設備の省エネルギーによるコスト削減だけでなく、地球温暖化防止など環境保護の観点からも、空気圧縮機の省エネルギー・高効率化に対するニーズは高く、今後、国際的にもますます強まると考えられる。

### 2.1 給油式スクリー圧縮機

日立グループの給油式パッケージスクリー圧縮機は、省エネルギー性能や顧客の使い勝手向上などを図るため、継続的に新シリーズの開発を行っており、現在は第7世代となるNEXTシリーズを製造、販売している(図3参照)。このシリーズは世界的に高まる省エネルギーニーズに対応し、スクリー圧縮機の心臓部である圧縮機本体を一新したものである。スクリーロータ歯面の形状は、圧縮機の性能や騒音に対して影響が大きい。NEXTシリーズではスクリーロータ歯面の接触の安定化を図った高効率、低騒音の新歯型を開発し搭載している。

可変容量制御機のモータには、日立グループの可変容量ドライブ技術を結集したDCBL(Direct Current Brushless)永久磁石モータを22~75 kW機に搭載して製品の省エネルギー化を図っている(図4参照)。

さらに、ユニット内の低圧力損失化も図り、圧縮機本体だけでなくユニットトータルとしての省エネルギー化を実現した。

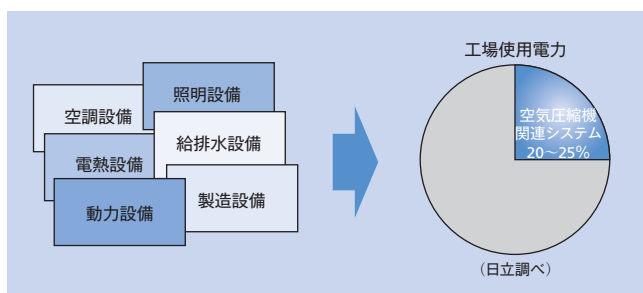
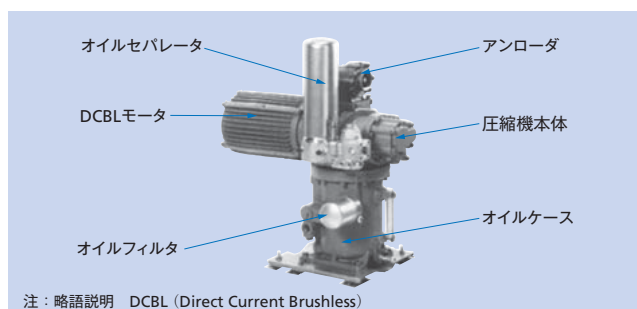


図2 | 工場使用電力の消費例  
一般的な工場で使用される全電力のうち、約20~25%の電力を空気圧縮機とその関連システムで消費すると言われている。



図3 | 給油式スクリー圧縮機NEXTシリーズの外観  
現在7.5 kWから75 kWと、132 kW/160 kW機(中国市場のみ)を展開している。



注：略語説明 DCBL(Direct Current Brushless)

図4 | 空気圧縮機の主要要素を一体化した構造

22 kWと37 kWの可変容量制御機では、DCBLモータに加え空気圧縮機の主要要素を一体化することで、動力伝達ロスと圧力損失ロスの低減を図っている。

## 3. 高効率最適化に向けた研究開発

空気圧縮機は産業革命以来の長い歴史がある機械であり、今日までさまざまな研究開発が続けられてきた。特にスクリー圧縮機に関しては、近年の急速な計算技術の進歩により、運転時のさまざまな現象を解析することが可能となっている。これらを基に開発した圧縮機の性能との相関が深いロータ間隙間の定量的評価手法と、圧縮要素とモータを機械・電機一体で解析する技術について以下に述べる。

### 3.1 ロータ間隙間の定量的把握方法の構築

スクリー圧縮機は一对を成すスクリーロータを基本要素とし、軸の回転により、ロータ間に形成された溝空間を順次縮小することによって空気を圧縮する構造である(図5参照)。したがって、ロータ間に形成される隙間の縮小は効率向上に不可欠である。しかし、ロータは複数の曲面によって構成された複雑な形状であり、形成される隙間は三次元形状であるため、従来は隙間量の定量的把握には相当な手間と時間を要していた。

ロータ間隙間に影響する要因として、ロータの熱変形、歯形誤差、ケーシングの熱変形などが挙げられる。そして、隙間量は各要因によるロータ表面の変位量を加算し、ロータ表面間距離が最小となる位置を求めると定量的に求める

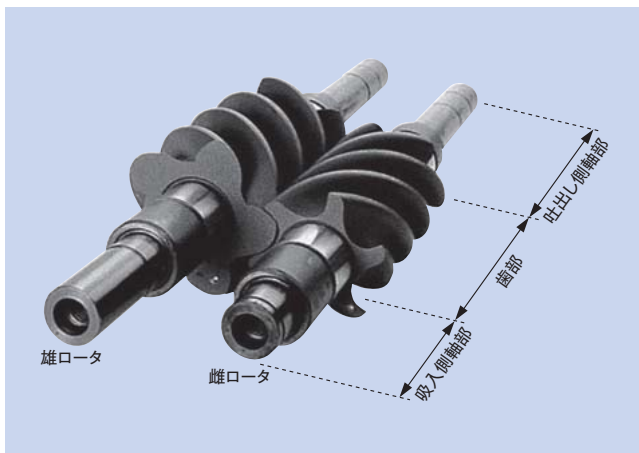


図5 | スクリューロータ

独特の断面形状を有する歯部と、その両端にある軸部から構成されている。

ことができる。ところが、各接点に極小値を求める作業が発生するため、計算が非常に煩雑であるという課題があった。

そこで、新規に理論座標を基準に各要因によるロータ表面の法線方向の変位量を積み上げることで隙間量を算出する手法を開発し、ロータ間隙間の最適化を図るようにした<sup>1)</sup>。この手法では煩雑な計算をすることなくロータ間の隙間量の把握と最適化を図ることができるため、スクリー壓縮機の省エネルギー・高効率化に大いに貢献している(図6, 図7参照)。

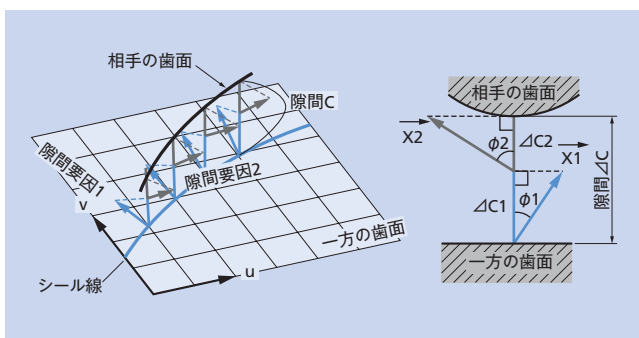


図6 | 理論座標を基準とする隙間の積み上げ

各要因による変形の法線方向成分だけを積み上げて積算し、隙間の変化量 $\Delta C$ を算出する。

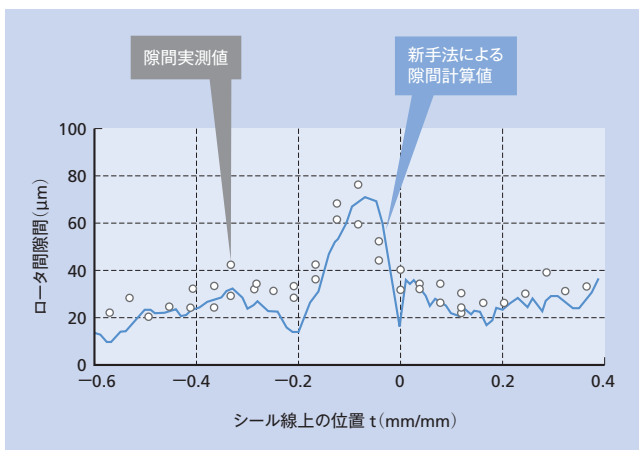


図7 | 新手法による隙間計算値と実測との比較

新手法による計算値は実際隙間を精度よく計算できている。

### 3.2 機械・電機一体解析手法とその適用

近年、さまざまな機器において複数の解析技術を駆使し、システム全体の動的な挙動を把握できるシミュレータを構築できる環境が整いつつある<sup>2)</sup>。シミュレータの統合により、各事象の境界部分を固定した境界条件として解析した場合よりも解析精度の向上が期待でき、起動時などの非定常な状態の解析も可能となるため、実際の運転状態で発生するさまざまな検討を机上で実施することができる。

スクリー壓縮機で統合シミュレータを構築する場合、モータ系モデル、機械系の壓縮機本体モデル、空気圧力系モデルの三つのモデルが互いに相関する解析モデルとなる。統合シミュレータの解析<sup>3)</sup>で、起動時の挙動を解析した例を図8に示す。同図の青色線は計算結果、灰色線は実機の測定結果であり、計算結果と実測はほぼ一致している。また、アンロード弁の作動に伴うトルクの減少や、始動時のトルク増大などの特徴的な点も十分な精度で計算ができるため、モータの最適制御による壓縮機の省エネルギー化を可能とした。このように統合シミュレータを活用していくことで、製品開発の迅速化が図れるようになった。

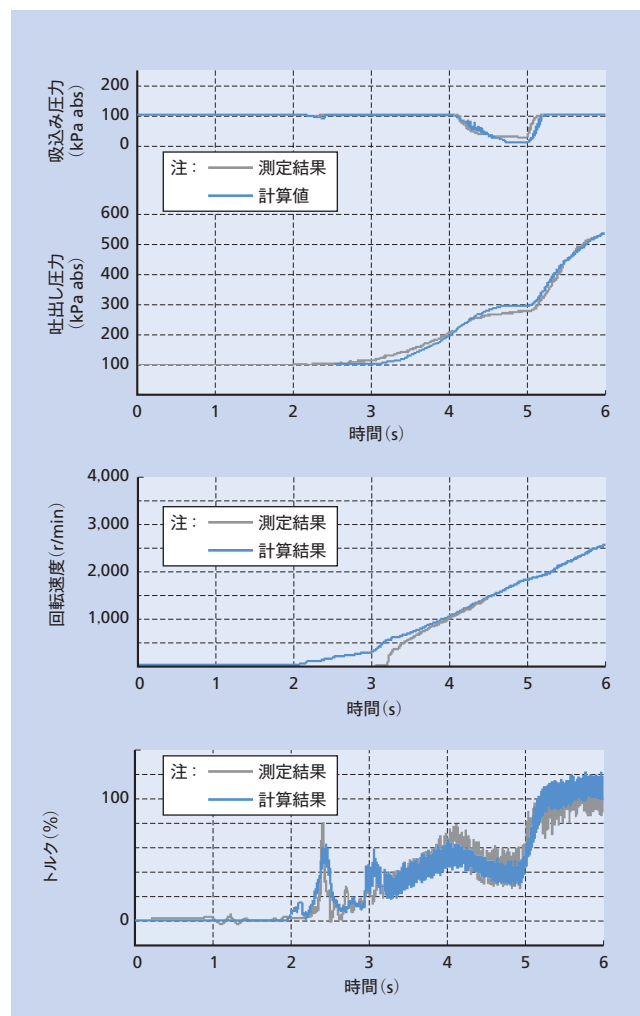


図8 | スクリュー壓縮機シミュレータの解析例と実測との比較

起動時の解析結果は実際に発生する現象をほぼ完全に予測している。



図9 | 南京日立産機有限公司の外観

南京日立産機有限公司では2005年度に生産を開始し、生産量増に対応するため2010年度に増築して生産施設面積を拡張した。

#### 4. グローバル展開

グローバルマーケットにおいては日本国内生産品の輸出に加え、1995年にマレーシアに空気圧縮機の組立工場を設立し、海外生産の第一歩を踏み出した。近年では、経済成長著しい中国市場での受注拡大のため、2005年に南京日立産機有限公司を設立して空気圧縮機を生産を開始、さらに需要増加を受け2010年には生産施設面積を拡張し、国際的に高まる省エネルギー・高効率のニーズに応える体制の構築を進めている(図9参照)。

#### 5. おわりに

ここでは、日立グループの給油式スクリー圧縮機の省エネルギー・高効率化を実現するための取り組みとグローバル展開について述べた。

これからの100年も、空気圧縮機に対する顧客のニーズは、これまでの100年にも増して、めまぐるしく、劇的に、そして国際的に広がっていくことは確実である。

日立グループは、空気圧縮機事業においてもサステイナブルな社会の実現に向け、グループのシナジーを発揮し、顧客ニーズにスピーディに答えていく考えである。

#### 参考文献

- 1) H.Kameya, et al. : Simplified method for calculating inter-lobe clearance distribution along a sealing line between rotors of a screw compressor, International Conference on Compressors and their Systems, IMECH E, pp.193-202 (2007.9)
- 2) 梅田：メカトロ機器開発における連成シミュレーション, MATLAB EXPO2008 制御系設計・トラック, p.107~125 (2008)
- 3) 山崎, 外：スクリー空気圧縮機の統合システムシミュレータの開発, フルードパワーシステム41 (3), 日本フルードパワーシステム学会, p.52~58 (2010.5)

#### 執筆者紹介



##### 田中 英晴

1992年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 空圧システム事業部 汎用圧縮機設計部 所属  
現在, オイルフリースクリー圧縮機の製品開発に従事



##### 紙屋 裕治

1991年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 空圧システム事業部 汎用圧縮機設計部 所属  
現在, 給油式スクリー圧縮機の製品開発に従事



##### 高野 正彦

1995年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 空圧システム事業部 汎用圧縮機設計部 所属  
現在, 給油式スクリー圧縮機の製品開発に従事



##### 野崎 務

1995年日立製作所入社, 機械研究所 生活家電研究部 所属  
現在, 空気および冷媒用圧縮機の研究開発に従事  
博士(工学)  
日本機械学会会員