

増速機内蔵型ガス用遠心圧縮機「KOBELCO スーパーターボ」

平田 薫・田中宏明

機械事業部・回転機技術部

Integrally Geared Centrifugal Compressor for Gas Services 「KOBELCO SUPERTURBO」

Kaoru Hirata・Hiroaki Tanaka

The KOBELCO SUPERTURBO, an integrally geared centrifugal compressor for gas services, was designed with a new approach to process gas compression that realizes a substantial reduction in total cost for process gas compression due to its simple construction and packaged design. It can be used for everything from inflammable and explosive hydrocarbons to extremely dangerous gases such as chlorine and oxygen. This technology has been made possible through years of development and the gradual refinement in integrally geared machines and through new shaft seal technologies.

まえがき = 近年，化学，石油化学，石油精製などのプラントには，多くの遠心圧縮機が使用されている。

その遠心圧縮機の構造には，大きく分けて二つの種類がある。一つは一軸型と呼ばれるもので，1本の軸に1枚または複数枚のインペラを取付けたものであり，写真1にその代表的な例を示す。駆動機として低速の電動機がもちいられる場合には，軸継手をもちいて増速機を介して圧縮機と駆動機を結合することになる。従来，伝統的にプロセスガス用途にはこの型が採用されることが多かった。

他方は増速機内蔵型であり，歯車式増速装置のピニオン軸の一端あるいは両端にオーバハングしてインペラを取付けたもので，各インペラのまわりのケーシングは増速機のケーシングに直接取付ける構造となっている。第1図にその例を示す。一つの増速機にピニオン軸は最大3本まで収納できるため，インペラは最大6枚まで取付けることができる。この形式の遠心圧縮機は20世紀半ばにドイツで空気用のものが製作されてから¹⁾，1.5MPa程度までの低圧の空気および窒素用として広く使用されてきた。

本稿では，その中でも，ここ数年，とくにドライガスシールの技術の進歩とともにガス用途に適用範囲を広げてきている増速機内蔵型遠心圧縮機の特徴および適用範囲について紹介する。

1. 増速機内蔵型のガス用途への適用

従来からもちいられてきた増速機内蔵パッケージ型空気圧縮機の外観を写真2に示す。低速の電動機により駆動される大歯車の両側にそれぞれ異なる回転数のピニオン軸を配置し，その両側にインペラを取付けた構造の圧縮機と中間冷却器，潤滑油装置などを一つのパッケージにまとめたものである。この圧縮機は，パッケージ型であるため従来からの1軸型にくらべて非常にコンパクトで，据付工事を含めた圧縮機にかかわるトータルコストの低減をおこなうことが可能となる。

当社では，このような増速機内蔵型遠心圧縮機の利点に着目し，これらを生かしつつ，空気や窒素以外のプロ

セスガスに適用するために，技術開発をおこなってきた。以下に，増速機内蔵型遠心圧縮機をガス用途に適用するに際しての技術的な課題と対応策について述べる。なお当社では，プロセスガス用途の増速機内蔵型遠心圧縮機を「スーパーターボ」と呼称している。

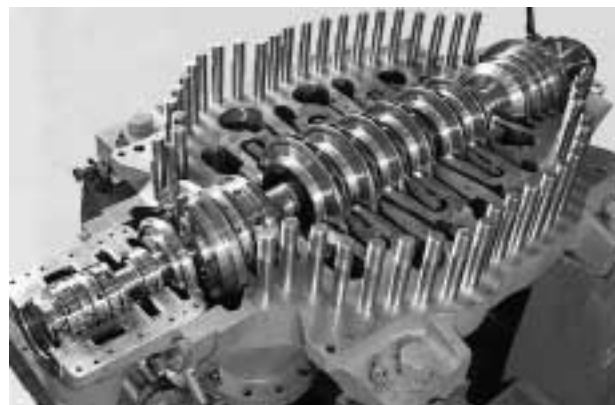


写真1 一軸型遠心圧縮機の構造
Photo 1 Construction of single-shaft centrifugal compressor



第1図 増速機内蔵型遠心圧縮機の構造
Fig. 1 Construction of integrally geared centrifugal compressor

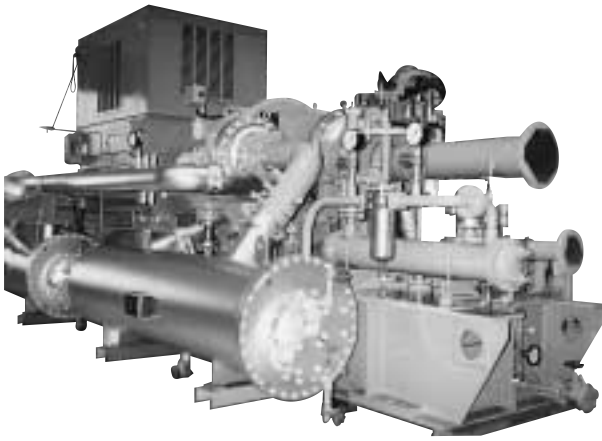


写真2 増速機内蔵パッケージ型空気圧縮機の例
Photo 2 Example of packaged, integrally geared centrifugal air compressor

1.1 ドライガスシール

ガス用途の圧縮機では、とくにハイドロカーボンなどの可燃性・爆発性ガスに対するシール技術が重要となってくる。このためのシールとしては、従来は一軸型遠心圧縮機には油膜シールが一般的にもちいられていたが、これを増速機内蔵型遠心圧縮機に適用するにはロータダイナミクスを含めた技術的な課題も多く、適用されていなかった。しかしながら、高周速領域までシール性能が安定しているとともに、シール油が不要でパッケージ化に有利なドライガスシールが開発され、このシールを採用することにより、増速機内蔵型遠心圧縮機をガス用途に適用することができるようになった。これは、一軸型ケーシングで使用されている油膜シールがウェットであるのに対して、ガス雰囲気であることからドライガスシールと呼ばれている。ドライガスシールの断面図を第2図²⁾に示す。なお、塩素や酸素などドライガスシールをもちいることのできないガスに対しては、カーボンパッキンやラビリンスを採用する。

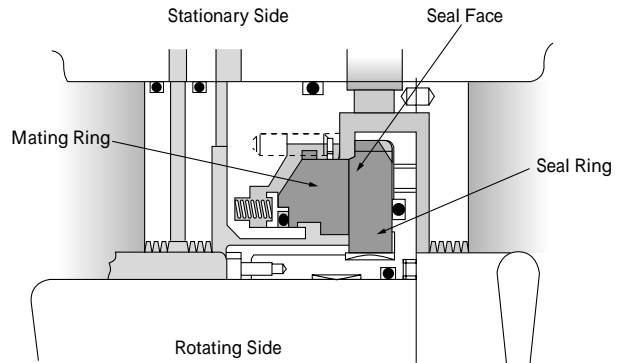
ドライガスシールは回転側の溝にガスを巻き込み、昇圧することにより数ミクロンの隙間を保持し、非常に漏れの少ない状態でシールするものである。このシールは隙間が小さくならうとすれば急激に面を開こうとする力が大きくなり、逆に隙間が広がらうとすれば狭くならうとする力が大きくなり、基本的にバランスする機能を持っている。また、漏れ量は通常のラビリンスの数百分の1以下で非常に小さい。増速機内蔵型にもちいられている例を第3図に示す。

1.2 インペラの選定

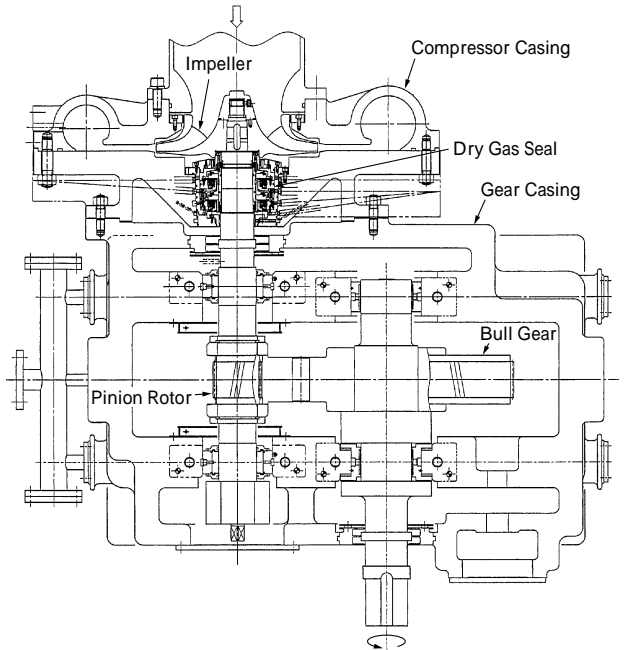
この圧縮機にて扱うガスには、それぞれ可燃性、腐食性、分子量の大きさなどの特性の違いがあり、その違いに対して、オープンインペラ、カバー付インペラなど最適なインペラ形状および炭素鋼、ステンレス鋼など各部品の材質の選定をおこなう。

1.3 ロータダイナミクス設計

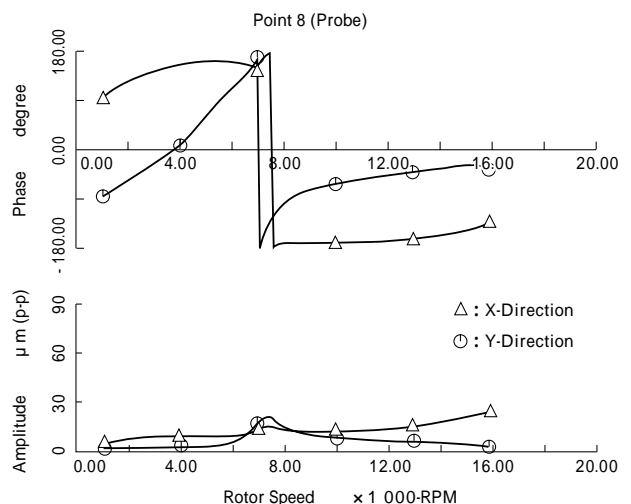
シール部が二重に直列配置されたタンデムドライガスシールの採用などで長くなったオーバハング部に対する安定性、ならびに高密度のガスからもたらされる不安定化力に対して十分な安定性を確保するロータダイナミクス



第2図 ドライガスシール断面図(シングルタイプ)
Fig. 2 Sectional drawing of dry gas seal (single type)



第3図 ドライガスシールの増速機内蔵型遠心圧縮機への適用例
Fig. 3 Example of integrally geared centrifugal compressor with dry gas seal



第4図 増速機内蔵型遠心圧縮機のアンバランス応答解析例
Fig. 4 Example of unbalance response analysis for integrally geared centrifugal compressor with dry gas seal

クス設計を実施している。ロータダイナミクス検討の一例として、単段の増速機内蔵型圧縮機のアンバランス振動応答解析の結果を第4図に示す。本図から、回転

数に対して軸振動の変化は緩やかで、減衰性があり十分に安定していることがわかる。この圧縮機は、当社工場での運転試験においても機械的に良好な運転結果がえられている。

1.4 中間冷却の要否と段間配管の熱膨張対策

とくに高温時に腐蝕性が強くなるガスを扱う場合には、その特性に応じて中間冷却の要否を決定する。中間冷却をしない場合には、圧縮機吐出温度が上昇するため、配管そのものに十分なフレキシビリティを持たせるなどの段間配管の熱膨張対策をおこなう。

1.5 高压用ケーシングの採用

1 5MPa を越える用途に対して高压に耐え、漏れを完全に防止するバレル形状を採用する。ただし、塩素などの毒性ガスに対しては、ケーシングの漏れ防止策として、高压用と同等のバレル形状をもちいている。この例として、第 5 図に塩素圧縮機の断面図を示す。

2. スーパーターボの特徴

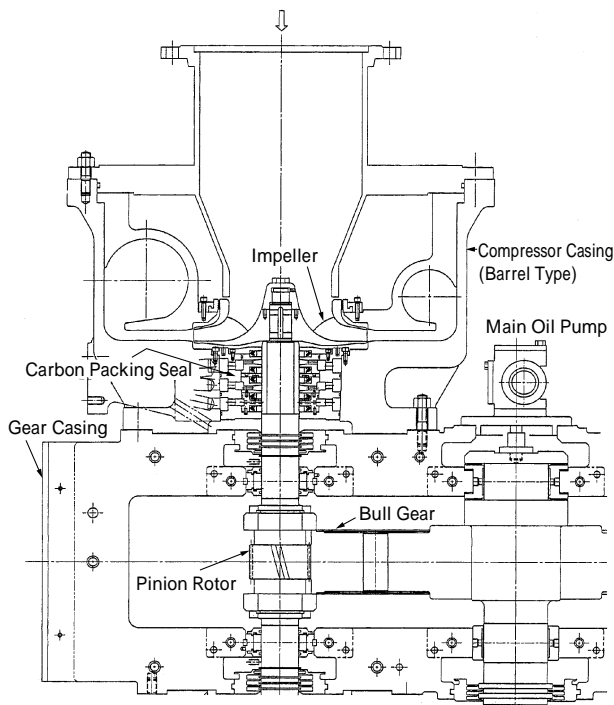
従来からの増速機内蔵型圧縮機のシンプルな構造とパッケージ設計という良い特徴を受け継ぎ、スーパーターボは一軸型遠心圧縮機と比較して、次に示すような特徴がある。

2.1 動力消費の低減

各ピニオン軸ごとに異なった回転数が採用できるため、後段において容積が縮小した場合でも、効率など流体性能を高く保つように各段インペラの流量係数を適切に選択することが可能であること、および各段間の冷却が容易であることから動力消費を小さくすることができる。

2.2 メンテナンスの容易性

増速機内蔵型遠心圧縮機は、低速軸大歯車の片側、または両側にピニオン軸を配し、その両端にインペラを取



第 5 図 塩素圧縮機の構造
Fig. 5 Construction of chlorine gas compressor

付けた構造となっている。そのため、歯車、低速軸軸受、圧縮機ピニオン軸軸受の動力伝達部分は、水平分割構造の増速機ケーシング内に収まっており、そのメンテナンスに際しては、増速機の上ケーシングを外すことにより、点検が可能である。また、圧縮機部品は各段独立の構造であるため、比較的軽量であり、点検保守が容易である。

2.3 省エネルギー

インペラを取付けていないピニオン軸の一端を利用する、あるいはピニオン軸を追加することにより、蒸気タービン、動力回収タービンなど、他の回転機との結合が可能である。この場合、元来必要であった発電機、その他の付属品が不要となり、大きなスペースの削減を実現できることになる。しかも、それだけでなく、結合した回転機械の軸受損失、発電機のロスなど様々な損失が低減されるため、システム全体としての高効率化をも図ることができる。圧縮機パッケージにプロセス排ガス用のエキスパンダを組合わせて省エネルギーを図った一例を写真 3 に示す。

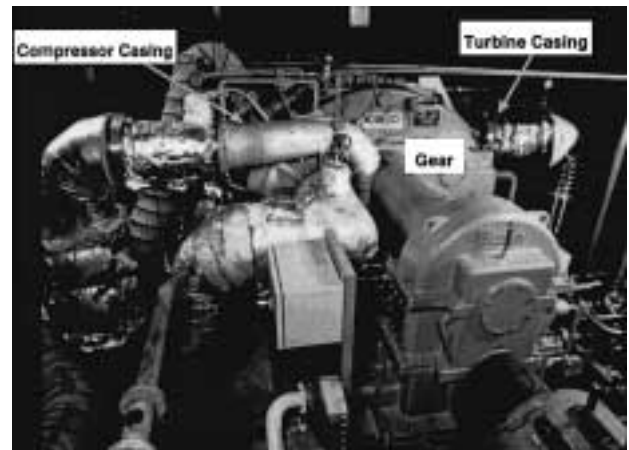


写真 3 エクスパンダを直接結合した例
Photo 3 Example of direct combination with expander

2.4 容量調整装置

これらの圧縮機は、部分負荷での運転を要求される場合があり、効率よく広い運転範囲を実現するために、各段に、IGV 装置ならびに変可ディフューザの容量調整装置を搭載することが可能である。IGV 装置の例を写真 4 に示す。

2.5 その他

一軸型の遠心圧縮機と比較した場合、上述以外のメリットとして、コンパクトなパッケージ型であることから据付スペースが小さくてすむ、2 階基礎が不要である、軸端ポンプを使用しているため高架油槽が不要である、現地連絡配管工事が不要である、現地でのフラッシング工事が不要であるなどを挙げることができる。

3. スーパーターボの用途

当社スーパーターボの実績一覧を第 1 表に示す。現在、よく適用されている用途としては 0.5MPa から 3.0MPa 程度の低ヘッド、単段の循環圧縮機や、大気圧から 0.5MPa までの塩素液化用の塩素圧縮機がある。

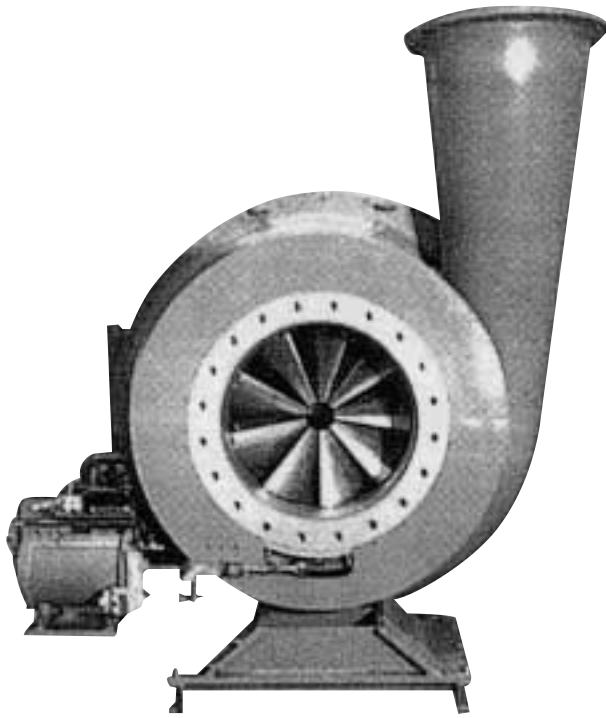


写真4 IGV装置の例
Photo 4 Example of inlet guide vane device

また、銅製錬所に納入された酸素圧縮機を写真5に示す。酸素圧縮機は、良く知られているように機械内部での部品の軽微な接触や、ダストの機内壁面への衝突でさえ、機械の全面焼損に至らしめることがある状況で使用されており、きわめて高い機械的な信頼性を要求される機械である。スーパーターボは、このような用途にも適用されており、順調に運転されている。

循環圧縮機では、表中に記載されているもの以外にも、さらにエチレングリコール/エチレンオキサイド(EG/EO)、ポリプロピレン(PP)、オキソ(OXO)、パラキシレン(PX)などへの適用拡大が見込まれる。

スーパーターボにおいては、各段が独立しており、それを配管で接続しているために、中間流の取扱いが容易であり、圧縮途中で流量が大きく変わる場合も対応しやすく、また各段に独立した容量調整を適用できるので、プロセス冷凍機の場合にも適していると考えられる。

さらに一酸化炭素製造装置用の一酸化炭素圧縮機(5~6段)やガスタービン用燃料ガス圧縮機(2~4段)など、ドライガスシールを使用し、2~3ピニオン軸の圧縮ヘッドの大きいもの、また、メラミンプラント用など、高温のガスを取扱うもの、DRプラント用ブロワなど大

第1表 スーパーターボ実績一覧
Table 1 Achievement list of SUPERTURBO

Gas Handled	Process	Number Delivered	Remarks
Hydrocarbons	VCM, VAM, ALD, PP, Splitter, HDPE	12	Dry Gas Seal
Chlorine	VCM, Caustic Soda, Chlorine Liquefaction	9	Carbon Packing Seal
Oxygen	Air Separation	1	Labyrinth
Ammonia	Anilin, Melamin	3	Dry Gas Seal, Labyrinth
H ₂ O, CO ₂ , H ₂ S	Geothermal Plant	2	Titanium Impeller
	Nitric Acid	1	Combined with Off-gas Expander



写真5 酸素圧縮機の例
Photo 5 Example of oxygen Super Turbo

量のダストが含まれている用途など、多彩な用途へ適用が拡大していくものと期待される。

むすび=高圧化、ガス用途への適用拡大など、増速機内蔵型圧縮機の適用範囲拡大は世界の圧縮機メーカーの共通したトレンドである。当社はすでに豊富な納入実績・運転実績を有する、世界でも数少ないメーカーの1社である。すでに述べたスーパーターボの数多い優れた特長を少しでも多くのユーザに享受していただくために、パイオニアとしてさらなる技術開発と用途拡大を進めていきたい。

参考文献

- 1) 安井信雄：ターボ機械，Vol.24，No.1，(1996)，p.47．
- 2) イーグル工業株式会社，ドライガスシールカタログ．