

ギアド圧縮機の大容量化とプロセスガス分野への適用拡大

MHI Integrally Geared Type Compressor for Large Capacity Application and Process Gas Application

米村直人*1
Naoto Yonemura

二神裕嗣*2
Yuji Futagami

茨木誠一*3
Seiichi Ibaraki



1967年以降様々な市場に納入されてきた増速機内蔵型遠心圧縮機（以後、ギアド圧縮機）の構造と特徴、開発・納入されてきた事例、今後の展開を紹介する。本報では特に、近年急激に大型化が進むPTA（高純度テレフタル酸）プラントで使用される大型ギアド圧縮機トレインと、ガスタービンへ燃料ガスを供給する燃料ガスギアド圧縮機について紹介をする。

1. はじめに

当社製ギアド圧縮機は1967年に初号機を市場に投入して以来、適応範囲を順次拡大し、既に500台以上の圧縮機が各種プラントにおいて使用されている。

従来、ギアド圧縮機は、中間冷却器、潤滑油装置、駆動機などを一つにまとめたパッケージタイプ圧縮機として工場空気源等に使用されることが多かった。しかし近年では、プロセス分野への進出に伴い大型化が進み、適応範囲が拡大している。

当社製ギアド圧縮機の適応範囲を図1に示す。吐出圧力6.0 MPa(A)レベル、吸込流量300 000 Am³/Hレベルと高圧・大容量にも適応可能であり、近年の市場要求にも十分に対応できる。本報ではギアド圧縮機の構

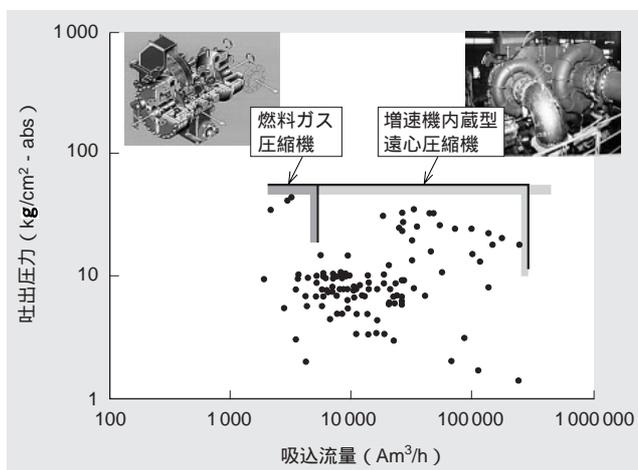


図1 ギアド圧縮機の適用範囲

造と特徴について述べるとともに、適用事例として特に年々大型化が進むPTAプラントに適用される大型ギアド圧縮機トレイン、コンバインド発電プラントのガスタービンへ燃料ガスを供給する燃料ガスギアド圧縮機について紹介する。

2. 構造と特徴

石油化学、化学、空気分離などのプラントでは、多くの遠心圧縮機が使用されている。遠心圧縮機は、構造的に大きく二つのタイプがある。一つは一軸多段型圧縮機で、ガスを圧縮する羽根車を一本の軸に取り付ける構造となっており（図2(a)参照）、これらの羽根車は二つの軸受の間に取付けられる。一軸多段型圧縮機の場合、駆動機の回転数が圧縮機の回転数よりも低い場合は、圧縮機と駆動機の間増速機を設ける。

もう一つのタイプが増速機内蔵型のギアド圧縮機で

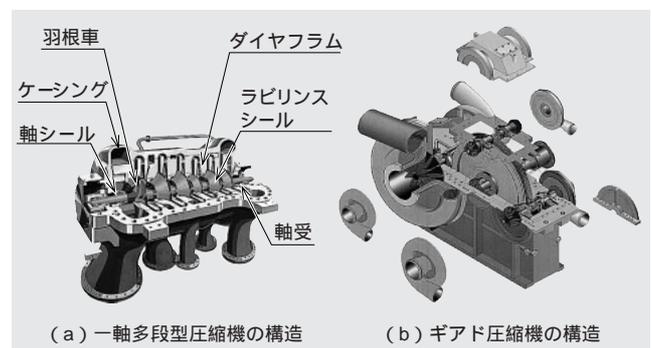


図2 一軸多段型圧縮機とギアド圧縮機（増速機内蔵型遠心圧縮機）の構造 (a)は一軸多段型圧縮機の構造を示す。(b)はギアド圧縮機の構造を示す。

*1 広島製作所ターボ機械技術部

*2 広島製作所ターボ機械技術部コンプレッサ設計課

*3 技術本部長崎研究所ターボ機械研究室

ある。ギアド圧縮機の場合、増速機の高速ピニオン軸の軸端に羽根車が取付けられる構造となっており、オーバハング軸構造となる。ピニオン軸は低速回転するホイールギアの円周上に配置される（図2(b)参照）。

各ピニオン軸の回転数は、歯車の歯数を調整することにより、各羽根車の最適な回転数に設定することが可能となる。

ギアド圧縮機は、高速回転するピニオン軸に直接羽根車が取付けられており、羽根車、歯車、軸受、軸封シール、ケーシングといった圧縮機を構成するすべての機械的要素技術を総合的に評価していくことが極めて重要なポイントとなる。当社では、自社で実施した試験研究で確立した設計基準をベースに各要素技術を設計し、機械的信頼性の高いギアド圧縮機を製作供給している。

機械設計の例として軸の振動安定性解析結果を図3に示す。軸を振動させる励振力の一つに圧縮機羽根車で発生する空力励振力がある。図3は空力励振力を考慮した場合と、考慮しなかった場合の安定性の解析結果を示している。羽根車励振力を考慮すると安定性が低下してしまうことが分かる。このように、ギアド圧縮機の振動解析においては、羽根車で発生する励振力等も考慮して事前検証を行う必要がある。またギアド圧縮機はその運転条件（負荷）により、歯車の接線力が変化しロータの挙動が大きく変化する。そのため、部分負荷でのピニオン軸の軸振動解析も重要である。

また、プラントニーズによっては圧縮機トレイン構

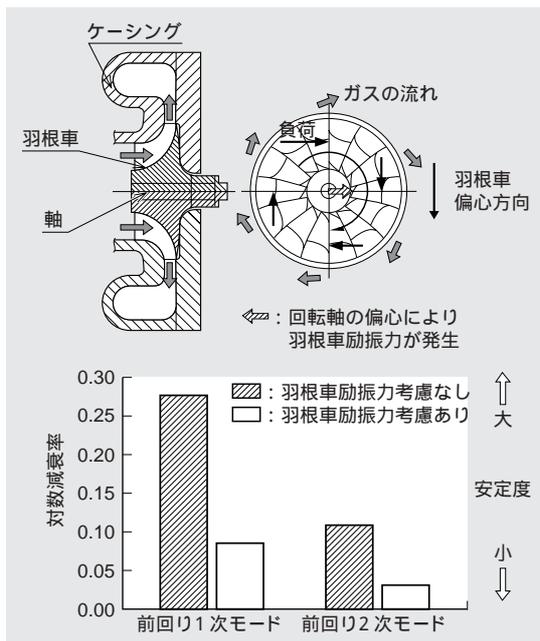


図3 羽根車励振力の有無による軸系の振動安定性の比較 軸安定性を示す対数減衰率は、羽根車励振力を考慮することにより低下する傾向が見られる。

成が、ギアド圧縮機、一軸多段型圧縮機、エキスパンダ、蒸気タービン及びモータといった複数の回転機器から構成されることがある。このような複雑なトレインとなった場合でも、当社ではすべてのターボ機械の設計製作を行っているため、各機器の機械的検証はもとより、プラントニーズ（ガスバランス、動力バランス）に合わせたトレイン構成、及びその運用方法等の総合的な評価を実施し、最適なトレインの提案が可能である。

各ピニオン軸の回転数を自由に選択できるギアド圧縮機の特徴をいかしたものとコンバインド型ギアド圧縮機がある。これは一つのギアケーシングに、異なる用途の圧縮機羽根車、或いは動力回収用エキスパンダの羽根車を設けたギアド圧縮機である。図4にコンバインド型圧縮機の例を示す。コンバインド型ギアド圧縮機を採用することにより、複数の圧縮機ケーシングの統合及びその付属機器の削減が可能となるため、大幅な設置スペースの削減ができる。そのみでなく、各回転機器の軸受損失等のメカロス低減、潤滑油装置の小容量化など、様々なロスを低減することが可能となるため、プラントにおける省力化を図ることができる。

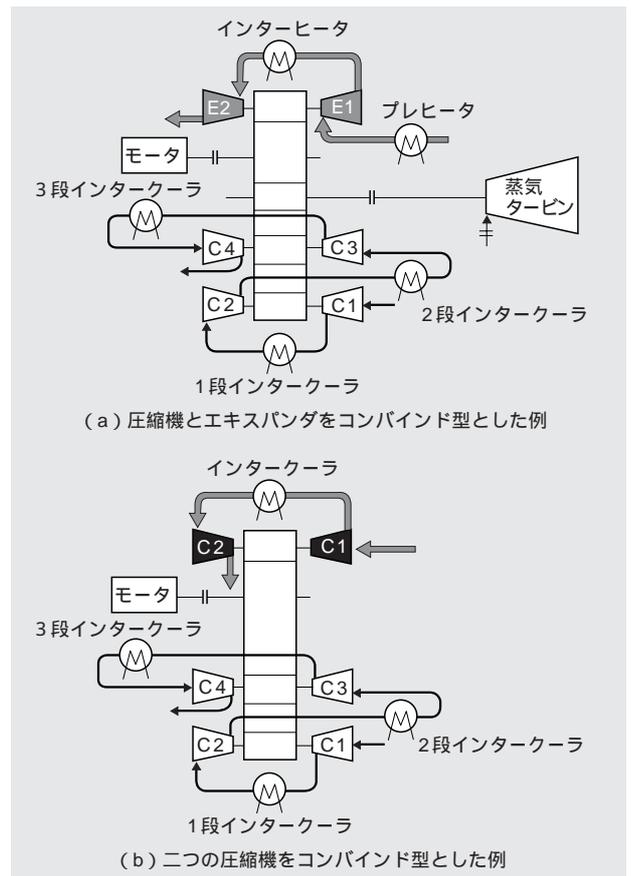


図4 コンバインドギアド圧縮機の事例 (a)に圧縮機とエキスパンダのコンバインド型を示す。(b)に二つの圧縮機のコンバインド型を示す。

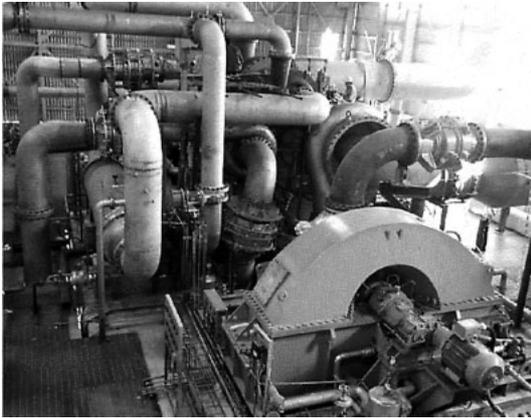


図5 PTAプラント用コンバインドギアド圧縮機 圧縮機とエキスパンダのコンバインド型となっている。

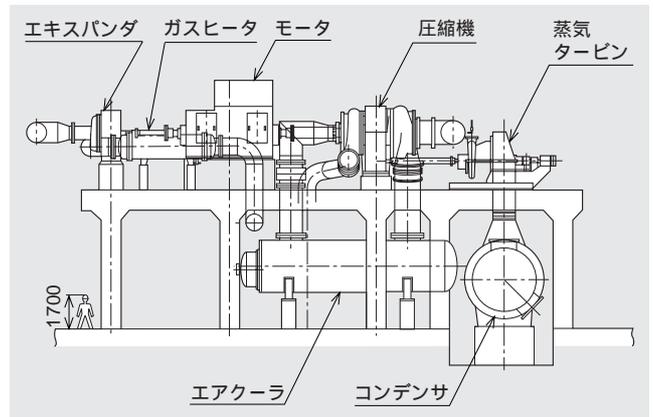


図6 50万T/Y PTAプラント用圧縮機トレイン エキスパンダ - モータ - 圧縮機 - 蒸気タービンで構成される圧縮機トレイン。

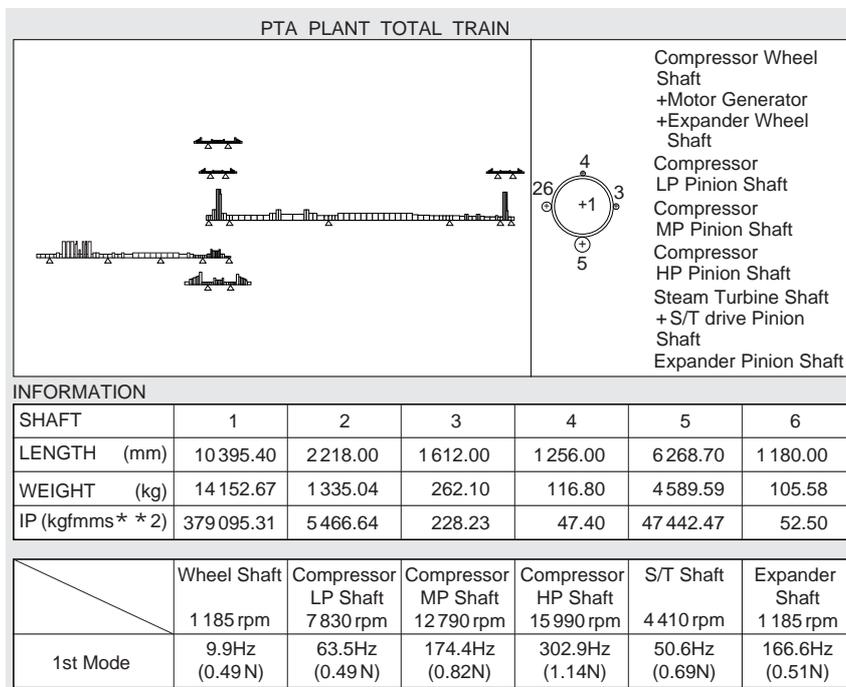


図7 PTAプラント用圧縮機トレインのねじり振動解析 軸系につきねじり振動解析を実施している。

トレイン全体の

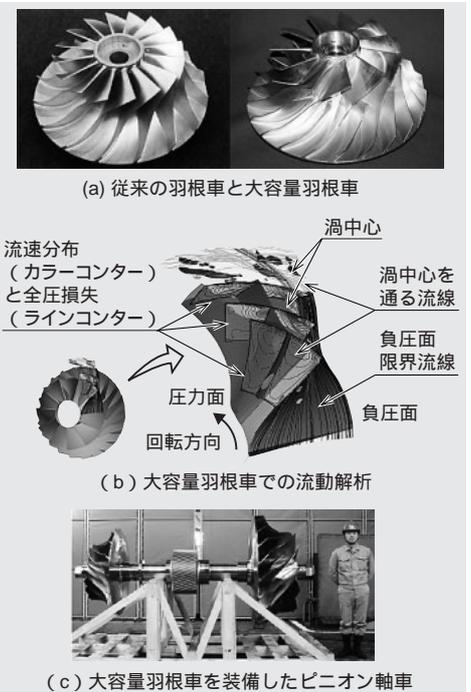


図8 大容量羽根車 (a)は従来の羽根車と大容量羽根車, (b)は大容量羽根車での流動解析, (c)は大容量羽根車を装備したピニオン軸車。

図5に圧縮機とエキスパンダのPTA用コンバインド型ギアド圧縮機の写真を示す。

3. ギアド圧縮機の適用拡大

3.1 大型ギアド圧縮機

大型ギアド圧縮機が使用される代表的な例がPTAプラントにおける大型圧縮機トレインである。

PTAプラントサイズは年々増加傾向にあり, 1990年代には25万T/Yクラスから40万T/Yクラスに, 2000年代に入り現在までは50万T/Yクラスから70万T/Yクラスのプラントが主に建設されており, 今後は100万T/Yクラスへと, さらなるプラントサイズ拡大の傾向にある。図6に50万T/YクラスのPTA用圧縮

機トレインの例を示す。

PTAプラント用圧縮機トレインでは, 駆動機はモータのほかに, 動力回収を図り, プラントで発生する低圧蒸気及び排ガスを取り扱う混気蒸気タービンとガスエキスパンダが使用されるため, これらの機器の配置, 運用方法を最適化することが重要なポイントとなる。

この圧縮機トレインはプラントの反応設備へ空気を供給する, いわばプラントの心臓の役目を果たすものであり, 非常に高い機械的信頼性を要求される。PTA圧縮機トレインについて, 機械的信頼性を検証する軸のねじり振動解析の結果を図7に示す。圧縮機のピニ

オン軸、ホイール軸及び各駆動機の軸を合わせ、トレイン全体で総合的なねじり振動解析を行っている。

ギアド圧縮機従来のパッケージタイプよりPTAプラントのような大型化のニーズに対応するために開発した大容量羽根車を図8(a)に示す。大容量羽根車は主翼と中間翼で構成され、入口部の翼枚数は従来羽根車より少なくし、羽根車出口の翼高さは従来羽根車より約50%増大させ、大容量化を図っている。羽根車出口部での翼枚数は従来羽根車より多く、翼負荷を約30%低減することで、高圧力比での高効率化を図っている。図8(b)に大容量羽根車での流動解析を示す。羽根車内部の複雑な三次元流れの渦構造をCritical Point理論を用いて把握したものである。このような流動解析技術⁽¹⁾を活用して羽根車の高性能化を行っている。大容量羽根車を装備したピニオン軸車を図8(c)に示す。

大型化に伴い歯車の大型化も必要となるため、これらに対応する大型歯車の研究開発も当社にて実施している。

3.2 プロセスガスへの適用

次にプロセスガス分野に適用した例として、コンバインド発電プラントのガスタービンに燃料ガスを供給するギアド圧縮機を紹介する。図9に構造を示す。

燃料ガスギアド圧縮機は、発電用のガスタービンの燃料ガスを昇圧・供給する目的で使用されるため、この圧縮機が止まってしまうと、ガスタービンが止まり発電できなくなってしまう。そのため、ガスタービン同様、極めて高い信頼性を要求される。

特に、ガスタービンの負荷遮断運転、DSS運転といった過酷な運転条件に対応可能な信頼性の高い制御システムを備えることが本圧縮機の重要な要素となる。当社では燃料ガスギアド圧縮機のシミュレーション技術を確認し、負荷遮断等の負荷変動に対する制御応答の事前シミュレーションを実施することとしている。

またこの圧縮機は燃料ガスを取り扱い、吐出圧力も5.0 MPa(A)レベルとなるため、シール部にはタンデムタイプのドライガスシールを採用している。

当社は2001年に、燃料ガスギアド圧縮機の初号機を開発・納入した。納入前の社内試験では、全負荷試験で機械的確認を行うとともに、性能試験を実施し所定の性能であることを確認した。またDSS運転での信頼性を実証するため、約150回の発停試験を繰返し、その後の開放試験で諸部品が良好であることを確認した。納入後も安定した運転を継続している。燃料ガスギアド圧縮機は、この実績により信頼性の評価を得ることができ、その後合計12台の受注に至っている。

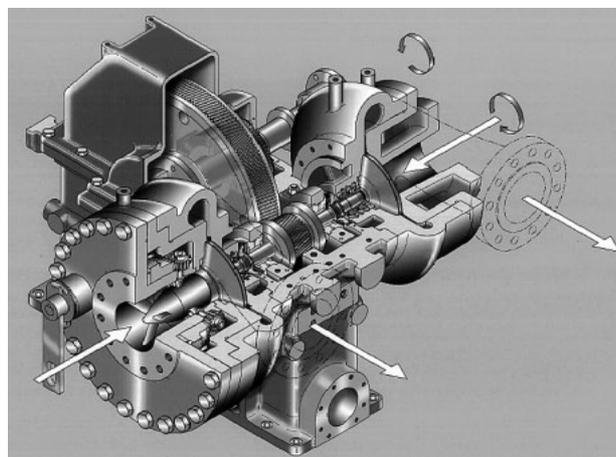


図9 燃料ガスギアド圧縮機 2段型の燃料ガスギアド圧縮機の構造を示す。

今後もガスタービンを使用するコンバインド発電の伸長が予想されるため、この実績を基に更なる拡販を図っていく。

4. 今後の展開

大型ギアド圧縮機については、将来の100万T/Yクラスの大型PTAプラント用圧縮機トレインに対応していくとともに、天然ガスを環境規制に適応した液体燃料に変換するGTL (Gas To Liquid) プラント等で使用される大型空気分離プラント用圧縮機にも適用を図る。

また、プロセスガス分野については、燃料ガスギアド圧縮機で積み上げた実績と一軸多段型で長年蓄積した各プラントへの適用技術を基に、石油化学・石油精製・化学プラントにおける様々なプロセスガス圧縮機に適用を図っていく。

5. まとめ

今後も、大型化、高圧化、プロセスガスへの適用と適用範囲拡大が益々進んでゆくギアド圧縮機の市場であるが、プラント側のニーズを的確に把握し、最適なギアド圧縮機を供給することで、ユーザの要望にこたえていきたい。

参考文献

- (1)内田ほか、ターボ機械を支える先進流動解析技術、三菱重工技報 Vol.40 No.6 (2003) p.336



米村直人



二神裕剛



茨木誠一