

(解説)

ポリオレフィン用循環圧縮機DHシリーズ

DH Cycle Gas Compressor for Polyolefin



田中宏明*
Hiroaki TANAKA

According to the recent growth of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) demands, lots of plants have been constructed and are still being planned. Furthermore, plant capacity is increasing year after year to achieve high plant performance. Kobe steel has developed and improved compressors to meet the requirements through the years. This paper reports on the cycle gas compressor that is one of the most important apparatus, especially for construction; its special features and also describes prospects for the future.

まえがき = 世界のプラスチック生産量は、2007年には2.6億トンを超えており¹⁾、2008年後半以降の世界同時不況の影響は免れられないものの、今後も発展途上国を中心に着実な成長が見込まれている。汎用ポリオレフィン系樹脂であるポリエチレン（以下、PEという）やポリプロピレン（以下、PPという）の需要は、経済成長の著しいBRICsや発展途上国での消費の伸び、従来からの樹脂消費大国である欧米諸国における需要の伸びに支えら

れ、長期的には堅調に推移していくものと思われる。このため、BRICsや中近東を中心とした産油国において大形のPE、PP製造プラントの建設ラッシュが続いており、2009年以降も多くのプラントが操業を開始する計画になっている。

当社は、これらPE、PPプラントに対して、反応器（リアクタ）での重合反応によって得られた粒状ポリマを1次加工品であるペレットにするために使用される混練造粒装置に加えて、その気相重合プロセスにおいて用いられる循環ガス圧縮機（DHシリーズ）の製造、販売を行っている。また近年では、中国が導入する外国製圧縮機において当社製圧縮機が70%以上の納入シェアを持つのを筆頭に、東南アジアや中東などにも多くの納入実績を有している（表1）。

本稿では、ポリオレフィンプラント（図1）で使用されるDHシリーズ圧縮機の特徴と今後の展望について紹介する。

表1 ポリオレフィンプラントへの当社圧縮機納入実績例
Table 1 Reference list of model DH for polyolefin plant

Delivery	Area	Plant	Model	Driver rating (kW)
2006	Russia	PE	DH9M	3560
2006	Germany	PP	DH9M	1650
2006	Germany	PP	DH7JM	1500
2007	Korea	PP	DH7JM	3450
2007	Korea	PP	DH7JM	1100
2007	China	PE	DH9M	5100
2007	Korea	PP	DH7JM	1300
2008	Thailand	PE	DH9M	4550
2008	Austria	PP	DH7JM	930
2008	China	PE	DH9M	5000
2008	Thailand	PP	DH7JM	1200
2008	Thailand	PP	DH7JM	4000
2008	Saudi Arabia	PP	DH7JM	1400
2009	UAE	PE	DH9M	4400
2009	UAE	PP	DH7JM	3250
2009	UAE	PP	DH9M	2800
2009	China	PE	DH9M	4900
2009	China	PE	DH9M	5510
2009	China	PE	DH9M	4900
2009	China	PP	DH9M	6000
2009	China	PP	DH9M	1750
2009	China	PP	DH9M	1380
2010	China	PE	DH9M	4900
2010	China	PP	DH9M	1550
2010	China	PP	DH7JM	2950

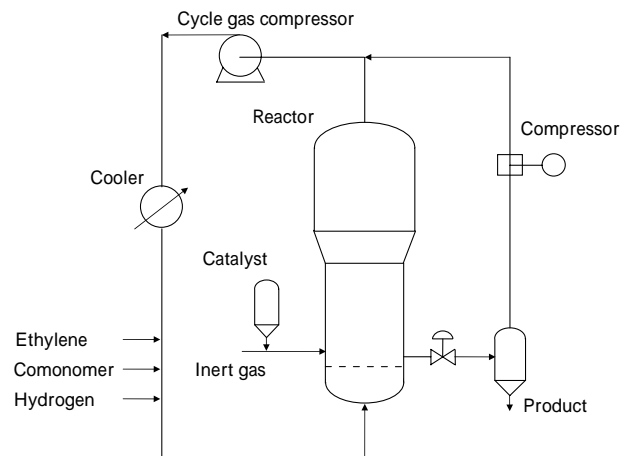


図1 代表的なポリオレフィンプラントのプロセス²⁾
Fig. 1 Typical polyolefin plant process

*機械エンジニアリングカンパニー 圧縮機事業部 回転機技術部

1. 本体構造の特徴

ポリオレフィンプラント用途（以下、本用途という）では、圧縮機に要求される圧力比が小さいため、単段機での対応が一般的である。また、圧力も中圧であることから円筒形ケーシング構造（バレル型）が採用される。典型的な圧縮機仕様として、当社 DH9M 型の仕様を表 2 に示す。また、ユニットは、圧縮機およびカップリングを介して駆動する電動機のみで構成される。

図 2 に圧縮機外観を示す。本圧縮機は、American Petroleum Institute（米国石油協会）の API STANDARD 617 Chapter2 で規定される構造であるが、図 2 に示したとおり、インペラは軸受の外側、ロータの軸端にオーバハンクして取付けられている。本用途の適用機種である当社 DH シリーズの本体構造例を図 3 に示す。軸シール

表 2 典型的な圧縮機仕様
Table 2 Typical specification of compressor

Model		DH9M (Single stage barrel casing type)
GAS		Hydrocarbon, Hydrogen, Nitrogen
Suction volume	(m ³ /h)	57,290
Suction pressure	(MPaA)	2.50
Suction temperature	()	85.00
Discharge pressure	(MPaA)	2.67
Rated speed	(rpm)	2,977
Driver type		Induction motor
Driver rated output	(kW)	5,100
Shaft seal		Tandem dry gas seal
Capacity control method		Inlet guide vane device



図 2 圧縮機 DH の外観例
Fig. 2 Example of model DH

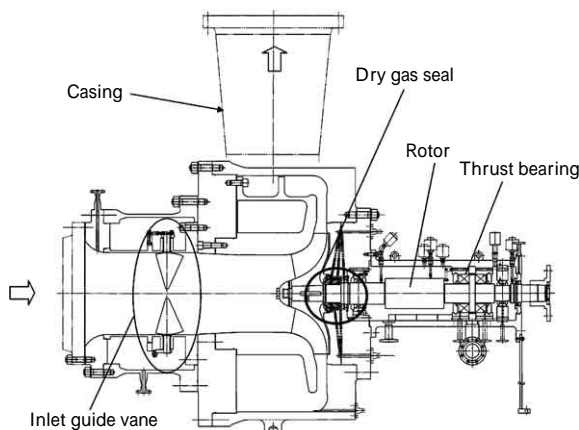


図 3 圧縮機 DH 本体構造例
Fig. 3 Construction of model DH

には、タンデムドライガスシールが採用され、インペラの軸受側に位置し、プロセスガスが系外へ漏れるのを防止している。オーバハンク単段型であるため、軸シールは一つで済み、そのメンテナンスは両持タイプの一軸型圧縮機に比べて容易である。しかしながら、インペラで発生するスラスト力は大きく、スラスト軸受の選定には注意を要する。軸受は軸受箱に納められ、圧縮機ケーシングに取付けられている。また、容量調整装置として、インペラ入口部の周方向速度成分を変化させることにより、インペラ特性を変えて効率良く容量調整を可能にする入口案内翼装置を標準採用している。

2. インペラ

本用途では、圧縮機は重合プロセスにおいてガスを循環させるために用いられ、この特性から一般的な圧縮機に比べて大容量かつ低圧力の仕様となる。また、機械的な信頼性から、電動機と圧縮機の間には増速機は置かず、カップリングを介して直接駆動することを要求されることが多い。

この要求を満たすため、大容量の処理に適した高比速度タイプのインペラが採用される。加えて、このような低圧力比では、通常使用されるインペラでは設計点からサージングまでの圧力上昇が小さく、わずかな圧力変動によってサージングに突入する可能性がある。このため当社では、とくに本用途向けに開発した、サージングまでの圧力上昇の大きな特性を持つインペラを使用している。

3. パウダ対策

3.1 インペラのパウダ対策

これらのプロセスでは、ガス中に重合したパウダを含むケースがほとんどであり、圧縮機はパウダへの対応が必須となる。

従来、ガス用途に用いられるインペラは、ハブ、ブレード、およびカバーによってガス通路を構成するカバー付タイプであり、本用途においても同様にカバー付インペラを用いていた。しかしながら、本プロセスはガス中に PE・PP のパウダを含むことから、カバー付インペラにおいては、ケーシングとインペラ入口カバーディスクとの間に設けられるラビリンスシール部などのガスが滞留する部分においてパウダが堆積することによってロータがアンバランスになり、振動の原因となる。また、堆積したパウダがガス通路をふさぐことによって圧縮機性能の低下を招くため、頻繁に圧縮機のメンテナンスを行わなければならないなど、運転上の弊害となっていた。

その解決手段として当社では、カバーを持たないオープンタイプのインペラを 1999 年に独自に開発し、当社が納入したカバー付タイプのインペラを、顧客の協力を得てオープンタイプインペラに交換し、その特性を実証・確認した上で同様な用途に適用を行ってきた。このインペラの開発においては 3 次元粘性流動解析も行った。従来用いられていたカバー付インペラ、および開発したオープンインペラの流れ解析例を図 4 に示す。この図は、

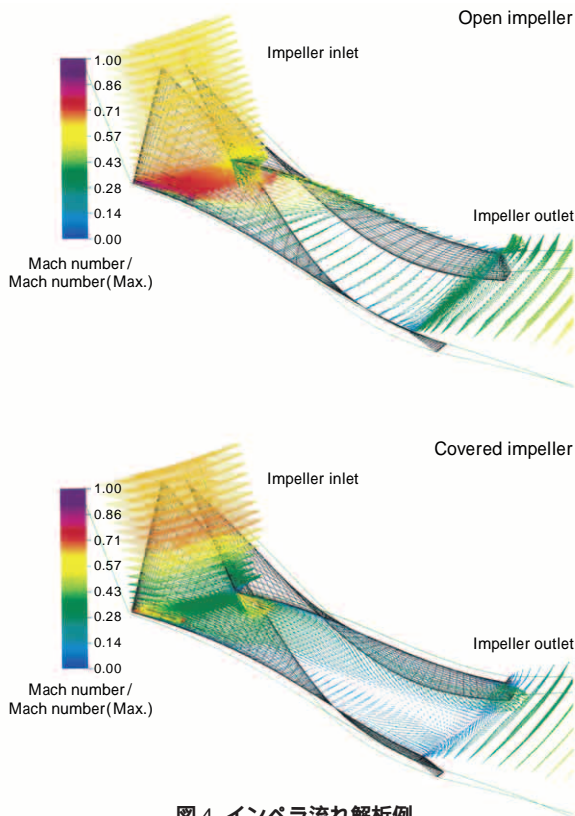


図4 インペラ流れ解析例
Fig. 4 Example of flow analysis of impeller

インペラブレード間のガス通路シュラウド近傍の相対マッハ数を表す。とくにインペラ入口部では、カバー付インペラに比べてオープンインペラの方が高い速度を保ち、低流速域が解消されていることがわかる。このことから、オープンインペラでは、カバー付インペラの入口部で見られたガス滞留部でのパウダ堆積を防ぐ効果があるものと期待される。また、インペラの背面形状にも工夫を施し、プロセスガスがインペラ背面に逆流しないようにパuffaガスの流れをコントロールしている。

既にカバー付タイプからオープンタイプへ交換した機械を含めて20台以上の運転実績があり、パウダを含むガスに対して有効であることが実証されている。

3.2 入口案内翼装置

圧縮機吸込部にあり、容量調整を行う入口案内翼装置においても、案内翼が取付けられる配管内径側軸貫通部にガス滞留部があり、パウダ堆積に対する考慮が必要である。当社では、入口案内翼装置ガス通路部の外側にもう一つチャンバを設けて二重構造とし、そこにドライガスシールに用いられるパuffaガスと同じガスを導入し、入口案内翼軸を通じて常に少量のガスをプロセス系内に流す構造とした。これにより、ガスの滞留をなくし、パウダの堆積を防ぐことができる。また、外側のチャンバに窒素ガスを導入することによっても同様にパウダの堆積を防ぐことが可能である。

3.3 シールガスシステム

前述のとおり、ガス用途の遠心圧縮機に通常適用されるタンデムドライガスシールを軸封として用いる。このシールでは、フィルタを通して清浄にした吐出ガスを、非常に狭い隙間を保って運転されるプライマリーシール

部にパuffaガスとして供給するのが一般的である。しかしながらこの用途では、プロセスガス中にパウダが含まれていることから、圧縮機吐出ガスをパuffaガスとして用いることは避け、プロセスに混入しても問題のないエチレンまたはプロピレンなどをパuffaガスとして用いるのが通常である。また、プライマリーシールとセカンダリーシールの間にはラビリンスを設け、 N_2 ガスを供給してプライマリーシールから漏れてきた少量のパuffaガスとともにフレアラインへ排出する。このラインにおいては、流量または圧力を計測し、ドライガスシールの異常検知が行われる。加えて、セカンダリーシールの大気側にはセパレーションシールを設け、 N_2 ガスを供給して軸受側から軸シール側に潤滑油が混入するのを防いでいる。

4. メンテナンス性

本圧縮機は、大容量を処理する機械であり、機械本体も大きくなる。そこで当社では、圧縮機本体部分のメンテナンスを行う場合に、インペラや軸シールを含むローター式を圧縮機吸込側の反対側に分解できるような構造を採用し、軸受、軸シール、インペラの点検ができるようにしている。この構造を採用することにより、重量の大きな本体部品を分解することなく回転部品の点検を行うことができることから顧客より好評を得ている。図5および図6にロータ組立品分解例を示す。

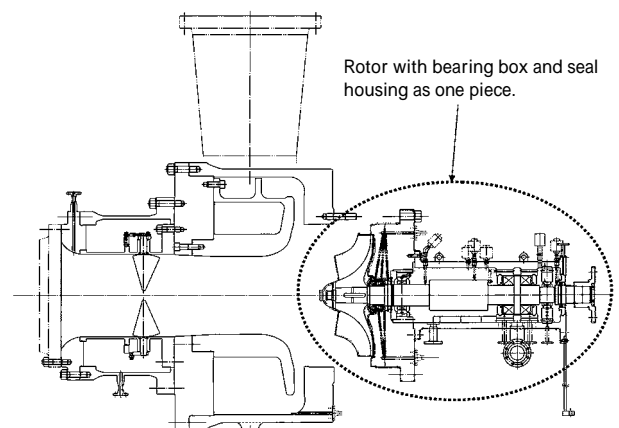


図5 圧縮機 DH ロータ組立て品分解図
Fig. 5 Dismantling of rotor assembly from compressor casing

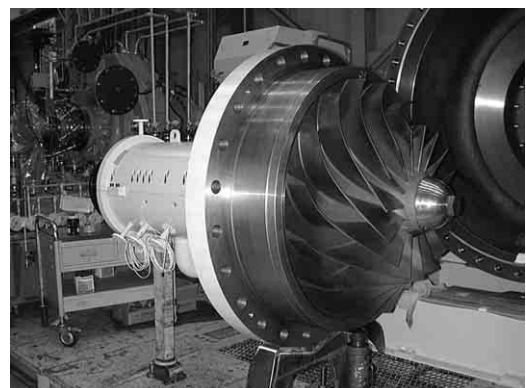


図6 圧縮機 DH ロータ組立て品分解例
Fig. 6 Example of Dismantling of rotor assembly

5. 特殊要求事項への対応

5.1 配管からの高荷重への対応について

これらPEおよびPPプロセスでは大容量を処理するため配管口径が大きい。また、構成機器が比較的少なくプロセスの系がシンプルであり、プラント設計上、熱膨張などによって発生する配管の伸びを吸収するための自由度が小さい。このため、プラントによってはAPIで規定されている許容値の3倍近くの圧縮機ノズル荷重およびモーメントを要求されるケースも出てきており、圧縮機本体のノズル強度はもとより、圧縮機台板の構造に工夫を加えることによって配管から受ける荷重やモーメントの影響を小さくするなど、できる限り要求にこたえられるような対応を行っている。

5.2 プラントトリップ時の対応

ポリオレフィンプラントでは重合反応が起こっており、プラントが緊急停止となった場合にはリアクタ内に重合したパウダが残る。プラント再起動時にはその残存パウダを除去する必要があるが、そのための労力と時間は多大なものとなる。

顧客においては、圧縮機を停止させることなく可能な限り運転を継続したいという強い要求がある。そのため、例えば瞬時停電が起こった後にも直ちに再起動できるシステムの構築を行っている。また、一部のプロセスでは、電動機停止後にプロセス系内のガスエネルギーを利用したタービンによって圧縮機を継続運転し、重合反応を緩やかに停止させるシステムを構築するなど、それぞれの顧客固有のニーズに則した対応を行っている。

6. 今後の展望

6.1 プラント大形化

当社が納入した圧縮機容量の推移（図7）が示すように、近年、旺盛な需要やプラントの高效率化を背景にプラントの大形化が進んでいる。これまでの実績を超えるような大容量圧縮機の需要も出始めてきているなか、当社は、こうした市場ニーズにこたえるべく、大容量に対応できるシリーズの拡大や、同じ機器構成で対応するた

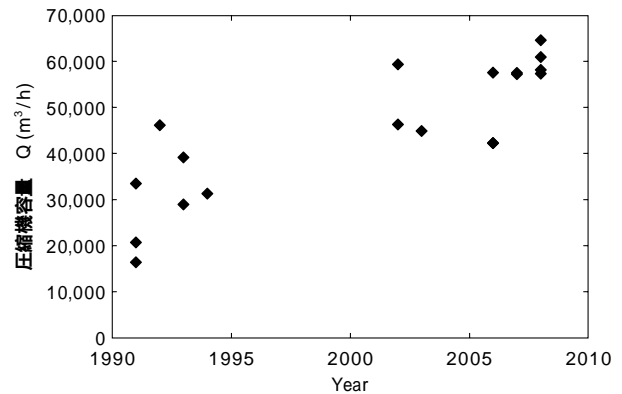


図7 圧縮機容量の推移

Fig. 7 Transition of compressor capacity

めのさらなる高比速度のインペラの開発などに取組んでいく必要があるものと考えている。

6.2 電動機起動電流制限

圧縮機の大形化に伴って電動機出力も大きくなり、プラント電源設備の仕様に基づく起動電流の制限がこれまで以上に厳しくなっている。これまでも同様な課題があったものの、電流制限はより厳格になってきており、プラント設計を行う上での重要な要素になりつつある。

むすび= PEおよびPPプラントの気相重合プロセスに用いられる循環圧縮機は、構造的には非常にシンプルな機械ではあるが、ガスがパウダを含むという特殊な条件で使用されるため、プラントを安定して操業するためにはその信頼性がとくに重要になる。当社は、これら各種プロセスにおいて豊富な運転実績を有する数少ないメーカーの1社であり、今後予想されるプラントの大形化に合せた技術開発とメニューそろえを行い、引続き顧客の要求にこたえていきたい。

参考文献

- 1) “2008年のプラスチック産業 JPIF2008年統計資料集概況”，プラスチック，Vol.60, No.6, 工業調査会，2009, p.5.
- 2) 佐伯泰治ほか編著：新ポリマー製造プロセス（1994）p.110，工業調査会．