

(解説)

スクリュウ圧縮機のポリプロピレン／ポリエチレンプラント用 ガス回収圧縮機への適用

Application of Screw Compressors for Gas Recovery to Polypropylene/ Polyethylene Plant



阿部幸治*1
Koji ABE

Polypropylene/polyethylene (PP/PE) plants require compressors for recovering and reusing the gas accompanying product take out. As the size of the plants increases, the capacity of gas required for compressors also tends to rise, increasing the applications of screw compressors. This paper describes the issues, including temperature limit, particle content and suction pressure fluctuation, that one must be aware of when applying screw compressors, as well as the solutions such as cooling fluid injection.

まえがき = 世界のエチレン・プロピレン系誘導品の需要は、世界の経済成長に伴ってアジアを中心に堅調な伸びを続けており、2020年まで年平均4%程度の伸びを続ける見通しである¹⁾。こうした需要の伸びに支えられて生産能力も堅調に増加する見通しであり、中国やインドを含むアジアおよび中東地域を中心に、全世界において多くのプラント新設・増設計画が進められている。

エチレン・プロピレン系誘導品の中でも、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）の製造プラントでは、気相重合プロセスのガス循環用や、製品取り出し時に排出されたガス回収用の圧縮機が必要となる。本稿では、このガス回収用圧縮機へのスクリュウ圧縮機の適用と今後の展望について紹介する。

1. ガス回収用圧縮機の現状

PP, PEプラントの代表的なフロー図を図1に示す。

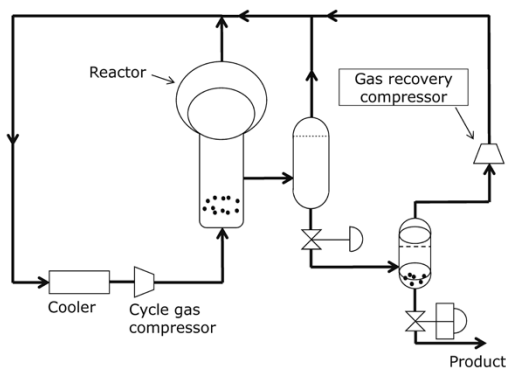


図1 代表的なPP/PEプラントのプロセス
Fig. 1 Process of typical PP/PE plant

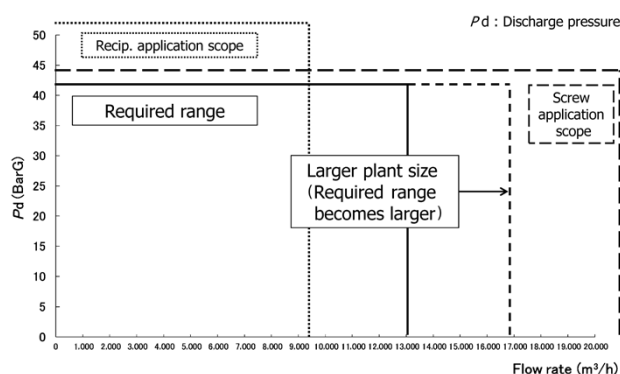


図2 ガス回収圧縮機の要求範囲
Fig. 2 Required range for gas recovery compressor

ガス循環圧縮機で圧縮されたガスは、リアクタ内に導入されて重合反応を起こし、粒状ポリマが生成される。このポリマをリアクタから取り出す際には、プロセスガスも同時に排出されてしまう。このため、プロセスガスを回収して再利用するためのガス回収用圧縮機が必要となる。このガス回収用途（以下、本用途という）には、ラビリンス式往復圧縮機を使うことが一般的であった。しかしながら、近年の需要拡大に伴い、プラントの大型化傾向が強まり、圧縮機の要求風量も増える傾向にある。いっぽうで、ラビリンス式往復圧縮機は、その構造上の制約から大容量機には適さず、複数台での対応を余儀なくされる場合が増えてきている。PP, PEプラントに使用するガス回収用圧縮機の要求範囲を図2に示す。

*1 KOBELCO MACHINERY EUROPE GmbH

2. スクリュ圧縮機の適用

当社スクリュ圧縮機の構造図を図3に示す。吸込ノズルから入ったガスは、互いに噛み合った2本のロータ歯溝に取り込まれ、そのロータが回転して容積が減少することによって圧縮される。この容積の減少に伴う圧縮機構のため、スクリュ圧縮機は容積式圧縮機に分類されるとともに、ロータは回転しているため、回転式の特徴も合わせもつ。このロータの回転速度は比較的高くまで上げることが可能であるため、その最大取り扱い風量は、ラビリンス式往復圧縮機よりも大きい。さらに、圧縮機ユニットの配置サイズも小さくすることが可能である。このため当社では、ガス回収用圧縮機にはスクリュ圧縮機の使用を提案している。PP、PEプラント用スクリュ圧縮機ユニットの典型的な外観を図4に示す。一つの台板上に全ての付属機器を搭載し、省スペース化を図った例である。

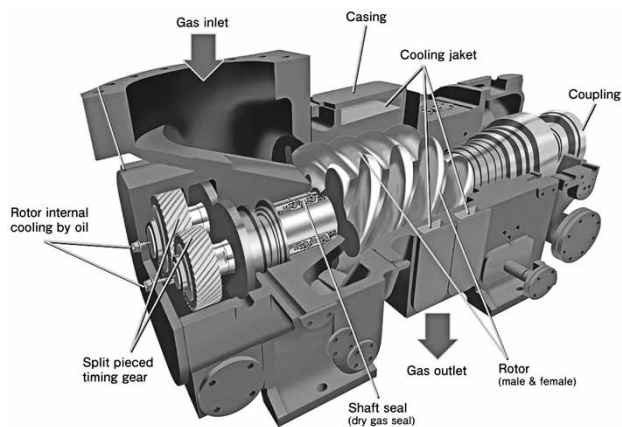


図3 スクリュ圧縮機の構造
Fig. 3 Structure of screw compressor

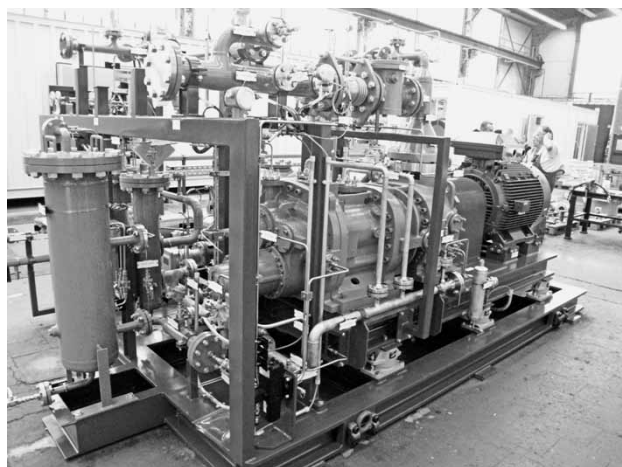


図4 PP/PEプラント用スクリュ圧縮機ユニット
Fig. 4 Screw compressor unit for PP / PE plant

3. 技術的課題とその解決策

3.1 温度制限

本用途には、ガス中に微細なパウダが含まれている。ガス温度が高くなるとそのパウダが溶融して圧縮機内部に固着し、トラブルの発生原因となってしまいます。こうしたトラブルを防ぐために、圧縮機のガス吐出温度には制限が設けることが必要となる。

ガスを圧縮した場合、その吸い込みと吐出の圧力比が大きくなるとそれに応じて吐出ガスの温度が高くなる。ガス温度に制限がある場合は、その温度を超えないよう、圧縮機の段数を増やして圧縮機一段あたりの圧力比を下げ、さらに段間でガスを冷却することによって、圧縮機各段の吐出ガス温度の上昇を防ぐ対応をとる。本用途をラビリンス式往復圧縮機で対応する場合には、二段または三段圧縮とすることが一般的である。

いっぽう、スクリュ圧縮機を本用途に適用する場合には、冷却液を圧縮室内部に注入することでガス吐出温度を下げるができる。これにより、一段または二段圧縮機で対応し、コストダウンを図っている。

本節ではこの冷却液について述べる。

3.1.1 潤滑油

圧縮室に潤滑油を注入する油冷式スクリュ圧縮機はさまざまな用途で多くの納入実績がある。一般的な油冷式スクリュ圧縮機のフロー図を図5に示す。注入した潤滑油は圧縮されたガスと一緒に吐出され、圧縮機下流に設けた油分離システムで分離・回収する。分離された潤滑油は、油冷却器を経て圧縮機に再度注入される。

本用途の取り扱いガスには、プロピレンやブテンなどの比較的分子量の大きい炭化水素系ガスが多く含まれる。これらのガスは潤滑油に容易に溶解し、潤滑油の粘度を下げる性質がある。このため、ガスが溶け込んだ後でも、圧縮機が必要とする粘度が確保できる潤滑油種を選定することが重要である。当社では、当社ブランドの潤滑油を持つうえに、独自に考案した粘度予測シミュレーションによってガス溶け込み後の潤滑油の粘度を予測し、最適な潤滑油種の選定・供給を行うことが可能である。

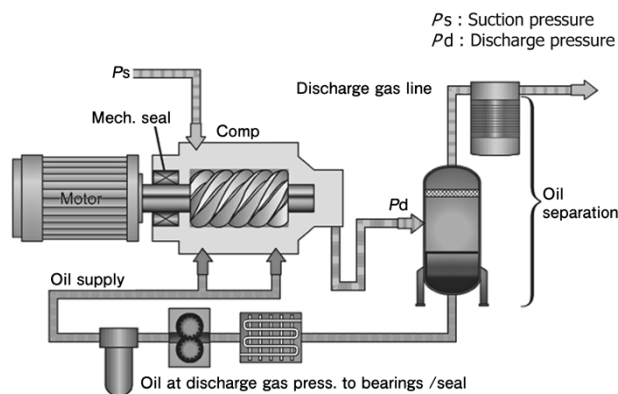


図5 油冷式スクリュ圧縮機のフロー図
Fig. 5 Schematic diagram of oil-injected screw compressor

取り扱いガスには、パウダ以外に重合反応に必要な触媒も含まれる。この触媒と潤滑油中に含まれる添加剤が反応し、重合物を生成する場合がある。市販されている潤滑油に含まれる添加剤の情報は公開されておらず、また予告なく変更される場合があるため、この重合物の生成を防止することは難しい。当社では、プロセスオーナーの協力を得て、取り扱いガスと当社ブランド潤滑油の反応確認試験を実施し、重合物の生成しない潤滑油の供給が可能となっている。また、当社ブランドの潤滑油に含まれる添加剤の情報を把握・管理しているため、重合物の生成しない潤滑油を長期間にわたって安定して供給できる体制を確立している。

油冷式スクリュウ圧縮機では、ガス冷却のために圧縮室に注入した潤滑油は、軸受への潤滑油にも使用される。上述のように、吐出ガス圧力が高く、重炭化水素系ガスが多く含まれる場合には潤滑油の粘度が大きく低下し、軸受に必要とされる粘度を確保することが難しい場合がある。当社では圧縮室と軸受の間に軸封機構を追加し、圧縮室と軸受部を完全に分離した圧縮機を製作することによってこのようなケースにも対応可能としている。軸封部には、エチレンやプロピレンのようなプロセスガス中に混入しても問題のない清浄なガスをシールガスとして供給し、圧縮室の油と軸受部の油が混合しないようにしている。圧縮機の吐出ガスをシールガスとして使用する場合もあるが、パウダの除去や温度が下がることによる液化が起きないように注意が必要となる。軸受部の圧力と圧縮機の吸込圧力とを同程度の圧力にすることによってシールガス圧力との圧力差を小さくし、シールガス消費量が最小限となるような設計としている。圧縮室と軸受部を分離したシステムのフロー図を図6に示す。

3.1.2 液化炭化水素

炭化水素系ガスは、圧縮・冷却をすることによって容易に液化するという性質があり、本用途でも圧縮機下流の高圧ラインに液化炭化水素が存在する。この液化炭化水素を冷却液としてスクリュウ圧縮機の吸込み側に注入することで吐出ガス温度の上昇を防ぐことが可能となる。注入した液化炭化水素は圧縮室内で気化し、圧縮ガスとともに吐出される。このガスはガス冷却器で冷却され、その一部は再び液化して圧縮機に注入される。圧縮

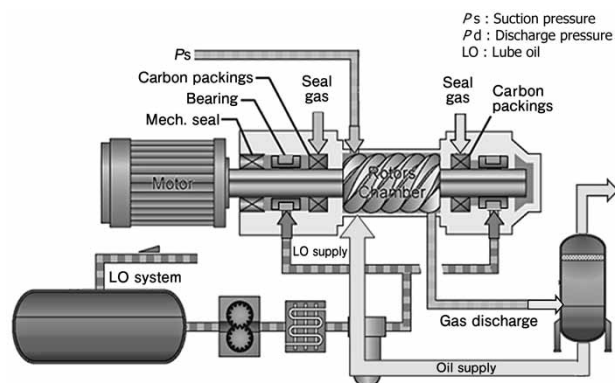


図6 圧縮室と軸受を分離したシステムのフロー図
Fig. 6 Schematic diagram of separation oil system

機吐出ガス温度を制限値以下とするために必要な液化炭化水素量は、圧縮機の効率と合わせて計算する必要がある。このため当社では、圧縮機吐出での凝縮液量およびその組成も含めてプロセスシミュレーションによって算出している。

3.2 パウダ対策

スクリュウ圧縮機のロータはケーシングとの間に一定の隙間を保ちながら回転しているため、圧縮室内に摺動（しゅうどう）部は存在しない。ガス中に含まれるパウダがこのロータとケーシングの隙間に堆積して隙間を減少させる可能性がある。しかしながらこのパウダの堆積は、隙間からのガス漏れ量を減少させるため、圧縮機の効率向上に寄与し、スクリュウ圧縮機の運転に支障はない。

また、パウダがロータ表面に付着することによってロータにアンバランスが生じるが、スクリュウ圧縮機のロータは、一次危険速度よりも低い回転速度で使用される剛性ロータであることと、ロータ表面に付着するパウダ質量はロータ質量に比べて十分に小さいことより、このアンバランスが圧縮機の振動を増加させることはない。

3.3 吸込圧力変動

本用途では、リアクタから製品を取り出した際に随伴するガスを取り扱う。この製品の取り出しは断続的に実施されるため、製品取り出し時には圧縮機の吸込ガス圧力が急激に上昇し、その後圧力が下降する。こうした圧力変動は周期的に発生するが、圧力上昇が発生している時間は短い。そのため、圧縮機の設計は圧力が下降した条件で行う。吸込圧力が上昇して圧縮機の軸動力が上昇しても運転が継続できるよう、その変動に対する制御系の考慮や主モータの定格動力の変動などの設計対応が必要となる。

4. 今後の展望

PP、PEプラントに使用するガス回収用圧縮機として、当社はスクリュウ圧縮機を採用いただくよう提案し、納入実績を増やしている。今後も多くのPP、PEプラント建設の計画が進行中であり、これらに対してスクリュウ圧縮機の拡販を行っていく予定である。また、プラントの大型化に伴う圧縮機要求風量の増加にも対応していきたいと考えている。

むすび＝スクリュウ圧縮機は、信頼性の高さ、省スペース、液体などの異物が含まれるガスも取り扱いが可能などの特長があるため、広く業界で使用されている。本稿では、これらの特長を活かしてスクリュウ圧縮機を適用した一例を紹介した。今後も顧客からのニーズを敏感に把握して新しい分野へのスクリュウ圧縮機適用例を増やし、業界の発展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 経済産業省製造産業局素材産業課. 世界の石油化学製品の今後の需要動向. 2016, p.3-7.