

VRC 向プロセスガスターボ圧縮機の開発

Development of Process Gas Centrifugal Compressor for VRC

佐野 光 男 回転機械セクター回転機械設計部 部長

酢酸セルロース製造設備への VRC (Vapor Re-Compression : 蒸気再圧縮) 技術を適用した省エネ実証試験を実施した。その主要設備となるプロセスガスターボ圧縮機を当社で開発、製作し、現地試運転が無事終了した。ここに本圧縮機における新規各種検討項目および現地試運転結果について紹介する。

With the aim of saving energy, Vapor Re-Compression (VRC) technique has been tested for a cellulose acetate manufacturing plant. IHI manufactured the centrifugal compressor for this plant, and the test was successfully carried out at this site. This paper summarizes the development of centrifugal compressor design technologies that address issues such as the development of a material that is resistant to corrosive gas, production of a seal that ensures low leakage, and analysis of the rotor.

1. 緒 言

石油・石油化学プラントにおいては、蒸留塔への製品プロセス流量調整のために熱交換器があり、本熱交換器の温度調節には従来水蒸気を用いている。一方、使用される水蒸気量を低減する省エネ手法として①自己熱再生技術②内部熱交換型蒸留塔 (HIDiC) ③蒸気再圧縮 (VRC) 型蒸留塔、などが研究・検証されてきた。しかし、新規プラント投資に伴う経済性、新技術導入による生産停止のリスクが潜在化するため生産現場での普及が進んでいなかった。

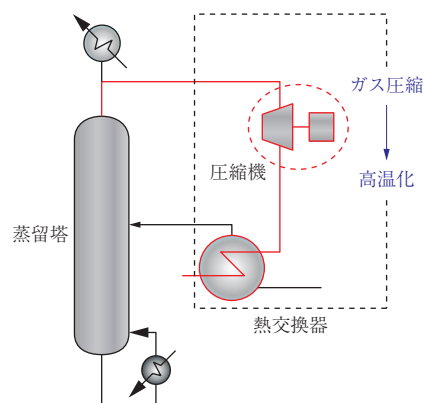
このような状況において、株式会社ダイセルでは既存の酢酸セルロース製造設備に VRC 設備を設置し、実証試験を行った。これは VRC 技術の有機溶剤系蒸留プロセスへの適用としては世界初の試みである。第 1 図に蒸留プロセスにおける省エネフローを示す。本試験結果から 30% の省エネ^{(1) (2)}にめどがかった。

当社は本 VRC 技術の主要設備となるプロセスガスターボ圧縮機の開発、製作、現地試運転を行い、良好な結果を得た。本稿では、そこに至った各種要素技術の検討や現地試運転結果について紹介する。

2. 仕 様

今回開発した圧縮機仕様は以下のとおりである。

取扱ガス	腐食性ガス
吸入圧力	105 kPaA
吐出圧力	443 kPaA



第 1 図 蒸留プロセスにおける省エネフロー
Fig. 1 Flow diagram for energy saving at distillation plant

圧縮機	
形 式	ギヤ内蔵型ターボ圧縮機
型 番	f44C2
回転数	10 692 rpm
圧縮機駆動用主電動機	
定格出力	850 kW

工場組立状況を第 2 図に、現地据付け状況を第 3 図に示す。

3. 設 計 条 件

今回開発した圧縮機において留意した点は以下である。

- (1) ガス流路部における耐腐食性を考慮した材料の選定
- (2) 機外へのプロセスガス漏えい量防止に対する軸シール構造



第2図 圧縮機組立状況
Fig. 2 View of compressor in workshop



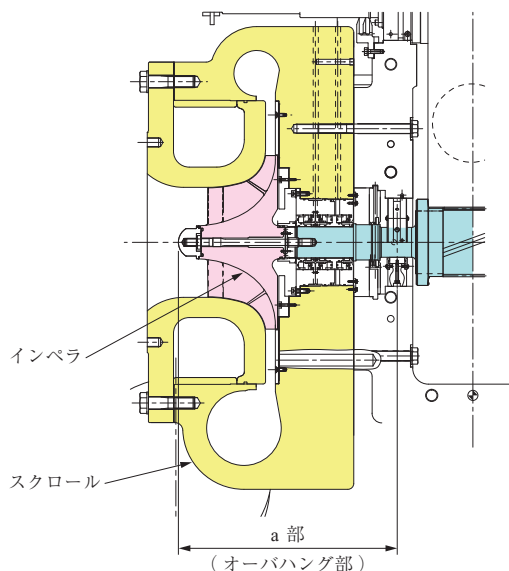
第3図 現地圧縮機据付け状況
Fig. 3 View of compressor on site

- (3) プロセスガスラインへの窒素 (N₂) 漏えい量の最小化
- (4) 安定した運転の実現

3.1 仕様ガスに対する材質選定

プロセスガスが腐食性ガスであることからガスと接触するインペラとスクロールの材質を検討した。第4図に圧縮機断面を示し、インペラとスクロールの組立状況を示す。

インペラ材は以前から高周速用材料として用いられてい



第4図 圧縮機断面
Fig. 4 Sectional drawing of compressor

るチタン材 (Ti-6Al-4V) とし、耐腐食性が確認できた。

一方、スクロール材としては二相ステンレス鋼を選定した。二相ステンレス鋼の採用は今回が初めてであり、製造するうえで各種検討を必要とした。

検討を行った主な項目を以下に挙げる。

- (1) スクロール木型の成形
- (2) 鋳込み方法
- (3) 欠陥発生時の補修溶接要領

コストダウンと調達先の多角化を考慮し、海外メーカーで製作を行った。各種製作要領の作成においては当社調達部が、各工程における品質管理には当社品管部が立合いを逐次行うことによって、納期遅れもなく品質を十分に満足した形で完成できた。第5図に完成したスクロール外観を示す。

3.2 軸シール機構

プロセスガスが危険ガスであるので圧縮機機外へのプロセスガス漏えいは禁止されている。一方、客先システムの

(a) 耐圧試験時の様子



(b) 木型



第5図 スクロール外観
Fig. 5 External view of compressor's scroll

制約上、パージラインのガス（プロセスガス + N₂ ガス）はプロセスラインに戻す必要があり、N₂ ガスのプロセスガスへの混入は可能な限り少なくする必要があった。そこで、本圧縮機には“シングル + ダブル”構造のドライガスシール（以下、DGS）を初採用した。第 6 図にドライガスシール断面を示す。

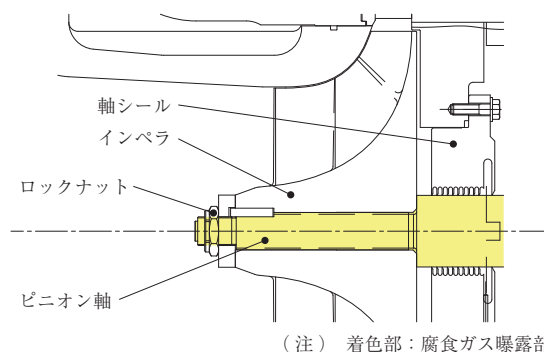
一方、腐食性ガスに対する材質として、インペラやスクロールで採用したチタンおよび二相ステンレス鋼を DGS へ適用することは実績および構造上不可能であるため、まず DGS メーカーでの本ガス下における使用実績の確認を行った。その結果、液体ポンプ用メカニカルシールではあるが SiC（シリコンカーバイド）の適用実績が確認された。そこで、固定環および回転環への SiC 採用可否をメーカーに確認した結果、対応可能となり本材質を腐食性ガスに対する対策とした。

また、固定環背面などに使われているしゅう動材（Oリング）については以前から耐腐食性の高いふっ素系材質とすることで問題の解決を図った。本材質および“シングル + ダブル”構造の DGS を適用した結果、現地でのシールガス漏えい量は当初計画の 1/10 以下に抑えることができ、客先においても本漏えい量であればプロセス側への影響は全く問題ないことが確認され、当初計画を上回る結果を得た。

3.3 ロータ構造と安定性

3.3.1 ロータ構造

従来のロータ構造はピニオン軸にインペラをはめ込み、ロックナットで固定する方法である。第 7 図にロータ構造（従来構造）を示す。この構造の場合ピニオン軸の腐食性ガスに対する曝露面積が多くなる。ここで問題となる

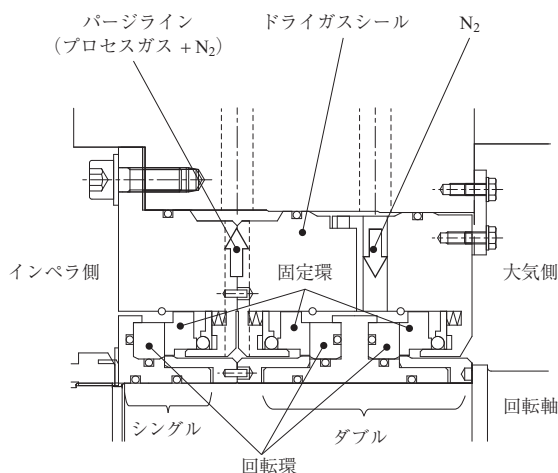


第 7 図 ロータ構造図（従来構造）
Fig. 7 Sectional drawing of rotor (conventional structure)

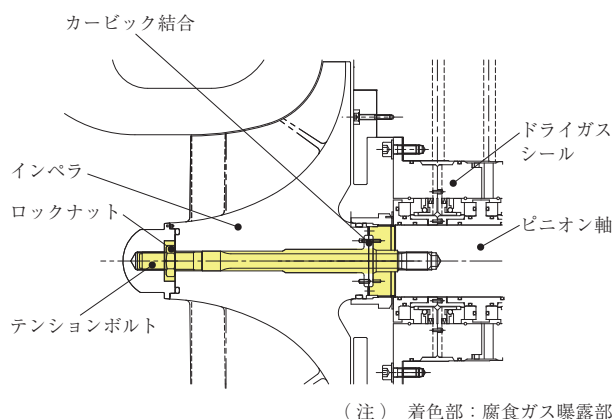
のが、ピニオン軸へは歯切りを行うため炭素鋼である必要があり、耐腐食性材質への変更ができないことであった。そこで、インペラとピニオン軸のそれぞれに組付け用の歯切り加工を行い、それぞれの歯をかみ合わせることでインペラとピニオン軸を結合させるカーブック結合を採用した。第 8 図にロータ構造（本工事構造）を示す。この方法を取り入れることでピニオン軸の全長も短くすることができ、さらにピニオン軸の腐食性ガスへの曝露面積を抑えることが可能となった。ただし、本方式においても隙間部は存在するので、腐食性ガス侵入の可能性を低減する方法として、各部に O リングを設置している。

3.3.2 ロータ安定性

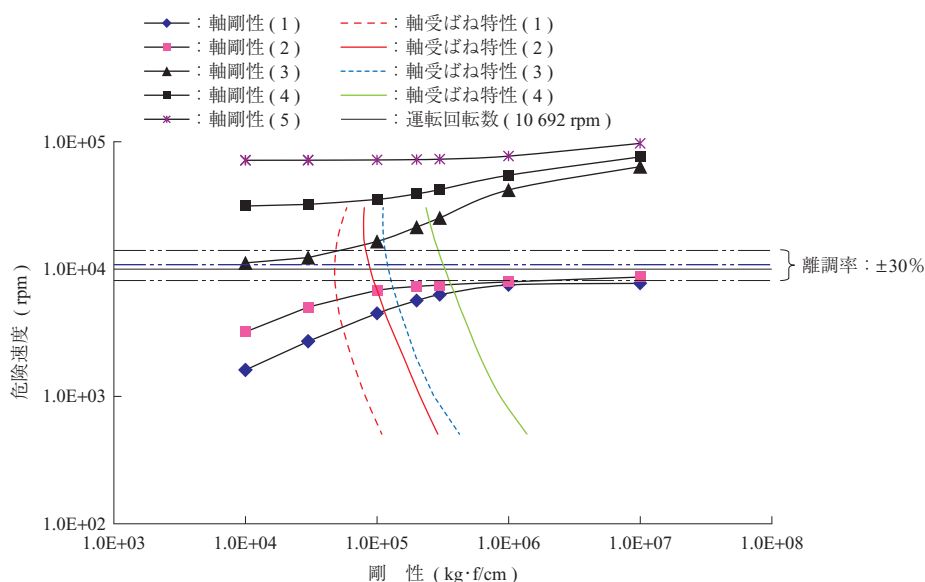
3.2 項において説明したように軸シール機構に“シングル + ダブル”ドライガスシールを採用することにした。これに伴い軸受の外側となるオーバハング部（第 4 図に示す a 部）が従来設計より長くなり、回転中の振れ回り増加に伴うロータの安定性低下が懸念された。また、本圧縮機の運用として起動～停止の状況においてさまざまな運転方法が推測された。そこで最適なロータ形状の選定およ



第 6 図 ドライガスシール断面
Fig. 6 Sectional drawing of dry gas seal



第 8 図 ロータ構造図（本工事構造）
Fig. 8 Sectional drawing of rotor (current structure)



第9図 危険速度解析図
Fig.9 Critical speed map

びさまざまな運転点を考慮したロータ安定性解析を行った。

その結果、以下の施策を実現することで、ロータの回転安定性を保つことが可能となることを確認した。

- (1) 運転回転数が従来機と同様に2次危険速度と3次危険速度の間にある。
- (2) 危険速度と運転回転数の離調率30%以上を確保する。
- (3) 軸受のサイズアップとシャフト剛性アップによるたわみ比10%以下を達成する。

第9図に本ロータ形状における危険速度解析図の一例を示す。

これらの検討の結果、現地試運転では最大でも10 μm程度の軸振動値となり、非常に安定した運転結果を得ることができた。

4. 現地運転結果

2015年3月に現地試運転が開始され先に述べたように安定した圧縮機となった。また、軸シール漏えい量も当初目標に対して微小漏えい量となり各種事前検討に対し十分な結果が得られた。今後、長期運転に対する各種事前検討

の妥当性の検証を進め、さらなる知見を深めていくことが必要と考えている。

5. 結 言

VRC 向プロセスガスターボ圧縮機への取組みについて解説した。これまで当回転機械設計部は Air Like Gas (空気、窒素、酸素) に特化した事業展開を行ってきたが、本圧縮機の開発成功に伴い、今後はさまざまなガスに対応した圧縮機の開発、事業展開を行っていく所存である。

— 謝 辞 —

本圧縮機の開発に当たって、多大なご協力をいただいた株式会社ダイセルの関係各位に対して、ここに記し、深くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 株式会社ダイセル：決算説明資料 2015年3月 (オンライン入手先) < <http://www.daicel.com/news/2015/0521.html> > (参照 2016-04-18)
- (2) 株式会社重化学工業通信社：雑誌 ENN 第25号 2015年9月 pp.42 - 43