

地球温暖化ガス（二酸化炭素）リインジェクション用高性能・高信頼性圧縮機

High Performance, High Reliability Re-injection Compressors for Green House Gas (CO₂)

和田典久*¹ 佐藤恒徳*²
田崎彰範*³ 枅谷穰*⁴

1. はじめに

今日我々は取扱いやすいエネルギー源として石油や天然ガスなどの炭化水素に主に依存している。これらの炭化水素の燃焼で地球温暖化の原因の一つといわれている“温室効果ガス”の一つである二酸化炭素ガス（CO₂）が生成される。また地中から産出される天然ガスの中にCO₂が含まれている場合その処理方法が問題になっている。

近年エネルギー消費を下げることによりCO₂の産出を減少させる試みに加え、発生したCO₂を大気中に放出しないための一連の技術が注目されている（図1）。例えば発電所などのボイラ排ガスなどから効率よくCO₂を回収する排煙脱炭プラントの実用化、また地中へのCO₂の圧入（インジェクション）により石油産出量を増加させたり、帯水層に永久的に閉じ込めておくための高効率インジェクション圧縮機を実用化している。

本稿ではCO₂地中閉じ込めのため開発、適用された大型CO₂遠心圧縮機の特性を述べる。本機の本来の目的の地球環境保全に沿うべく、設計、製作の全工程にわたりHSE（Health, Safety and Environment）を重視した対応がなされた。

2. 機器の概要

本圧縮機トレンはCO₂をほぼ大気圧から203 barまで昇圧

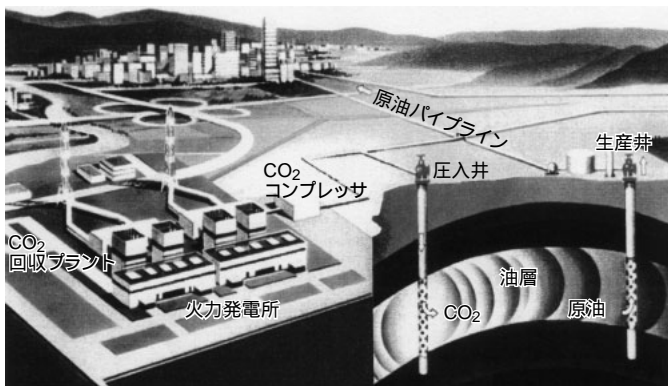


図1 排煙脱炭・リインジェクション概念 発生したCO₂を大気中に放出しないための一連の技術を示す。

するために低圧と高圧の2つの圧縮機から構成され、これを11.7 MWの同期モータにより駆動する。これは、従来の尿素プラントに使用されるCO₂圧縮機と比較し最終吐出圧力は約1.3倍、所要動力は約1.5倍の仕様に相当し、CO₂圧縮機としては世界最大級である。

吐出圧力：203 bar

吸込体積流量：37 100 m³/h（77.6 t/h）

必要駆動力：11.7 MW

この圧縮機トレンは、両軸駆動モータ（軸の両端でモータの出力を取り出すことが可能）をトレンの中心に配置し、その外側に2台の増速ギヤを、更に外側に2台の圧縮機を配置している（図2）。この配置により増速ギヤの動力ロスを最小限に抑えることを可能としている。また、圧縮機は内部品カートリッジを軸方向に抜き出すことで開放できるため、圧縮機ケーシング自身は分解する必要がない。よって圧縮機ケーシングへ接続される主ガス配管の分解なしに圧縮機のメンテナンスが可能である。また低圧と高圧の2台の圧縮機が隣り合わせて配置されている場合、そのままでは干渉により圧縮機の内部品カートリッジを軸方向に抜き出すことができないため、どちらか1台の圧縮機をクレーンで移設してからの作業となる。しかしこの配置ではトレンの両端に圧縮機が位置するため、圧縮機の移設なしに内部品カートリッジの開放が可能であり、メンテナンス性に優れた人にやさしい構成になっている。

また、本圧縮機トレンの駆動機として同期モータの起動には、ソフトスタータを採用している。本圧縮機トレンは電源設備（電源容量）に余裕が無い場所へ設置されるため、直入れ起動を実施すると大きな電流が流れてしまい、このときに地域の他の電力機器に電圧低下などの悪影響を及ぼす可能性が高い。そこでソフトスタータを採用し、起動時の電流を最小限にし他の設備への影響を防いでいる。

3. 圧縮機の特徴

圧縮機本体は、世界最大級のCO₂圧縮機に要求される高度な技術とHSEに有効な数種の特徴を兼ね備えている（図3）。

まず、全ステージとも使用条件により最適化された三次元

*¹ 広島製作所ターボ機械技術部技監・主幹

*² 広島製作所ターボ機械技術部プラント設計課

*³ 広島製作所ターボ機械技術部コンプレッサ設計課

*⁴ 技術本部高砂研究所ターボ機械研究推進室主席

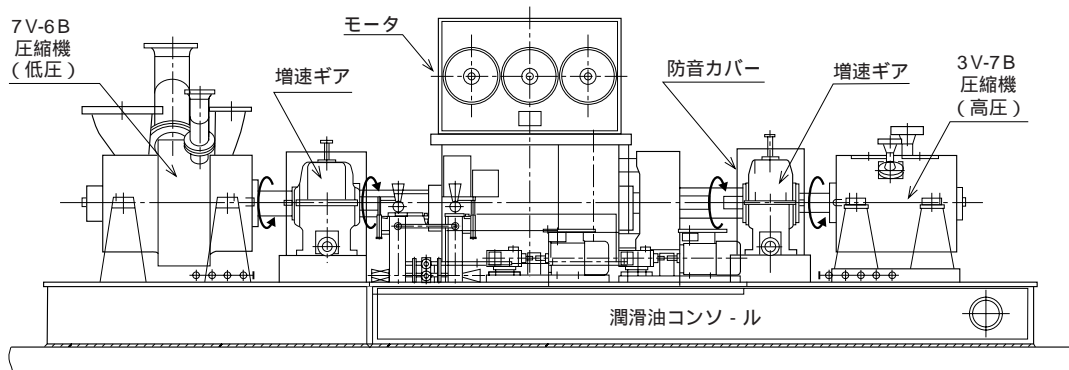


図2 CO₂リインジェクション圧縮機トレン配置図 両軸駆動モータをトレンの中心に配置し、その外側に2台の増速ギアを、さらに外側に2台の圧縮機を配置を示す。

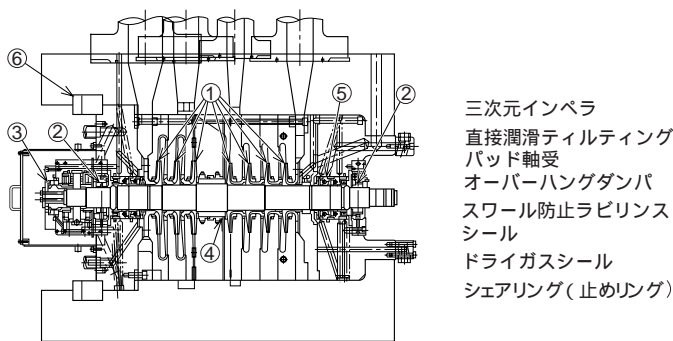


図3 CO₂リインジェクション圧縮機断面図 CO₂リインジェクション圧縮機断面図にて、要求される高度な技術とHSEに有効な数種の特徴を示す。

羽根形状のインペラと静止ガス通路を持ち、1段セクションでは85%もの高効率を達成し、消費電力節減に貢献している。同時に広い運転レンジをも可能とすることで、圧縮機現地使用条件の変化にも十分に対応できる柔軟性を備えている。

CO₂は遠心圧縮機で取り扱われるガスの中でも比較的分子量大い。このため今回の圧縮機のような高圧条件下においては比重が水の3分の1にもなり、これに起因する圧縮機ロータの不安定振動を防止する技術が重要となる(表1)。

今回の圧縮機には、ロータの振動減衰特性を向上させるために軸受外側の軸端部へオーバーハングダンパと称するスクイズフィルム機構のダンパを付加するとともに、ティルティングパッド軸受を採用し軸受自身の不安定化力発生防止を行っている。また、差圧が大きくなる中間仕切壁部のラビリンスシールには、通過するガスのスワールによる不安定化力を防止するために、高圧ガスをラビリンスシール途中にガススワールと逆方向に導くスワールキャンセラを採用している。これらにより高圧条件下でもロータの十分な安定性を確保することに成功している⁽¹⁾。

さらに、高密度ガス中では大気中と比較しインペラの固有振動数が低下し、インペラの共振が発生することがある。これに対し十分な解析を実施することで固有振動数が大気中での約60%まで低下することを確認し、インペラの共振を防ぐための設計を実施している。

表1 CO₂リインジェクション圧縮機吐出ガス条件

吐出圧力 (bar)	203
吐出温度 ()	172.7
ガス分子量	43.96
ガス密度 (kg/m ³)	291

また、圧縮機の空力性能を予測することにおいて、ガス物性値の予測精度が非常に重要となるが、高圧条件下でのCO₂物性値予測は非常に難しい。三菱遠心圧縮機は尿素プラント用CO₂圧縮機にて十分な実績と235 barの工場テスト結果を持っているため、この技術を今回の圧縮機にも適用している。以上のロータ安定性、インペラ共振、そしてガス物性値予測の設計妥当性については、現地運転同様のCO₂ガスを用いた実圧・実負荷工場試運転により問題ないことを圧縮機出荷前に確認している。

4. ま と め

CO₂を取り出し、大気に放出しないための技術は今後ますます現実化し、これまで人類が経験していない1系列5000 t/d ~ 15000 t/d規模の大型のCO₂回収設備が必要になるといわれている⁽²⁾。

当社はこれまで培ってきた一連の技術の更なる研さん、発展を通じ社会の要求にこたえ、より良い地球環境構築のために貢献していく所存である。

参 考 文 献

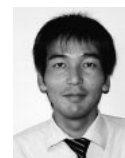
- (1) 川島ほか、尿素プラント用CO₂圧縮機の開発、三菱重工技報 Vol.31 No.2 (1994)
- (2) 飯嶋、光岡ほか、排煙脱炭技術とその適用、三菱重工技報 Vol.34 No.3 (1997)



和田典久



佐藤恒徳



田崎彰範



栢谷 稯