



超大型メタノール・DMEプラント向け 高性能圧縮機・蒸気タービン

High Efficiency Mitsubishi Centrifugal Compressors and Steam Turbines for Large Methanol and DME Plants

大崎 裕章*1
Hiroaki Ohsaki

橋爪 啓*2
Kei Hashizume

堀場 潤一*3
Junichi Horiba

枘谷 穰*4
Jyou Masutani

製品単価の低減すなわちエネルギー効率改善を目指し、メタノールプラントの大型化が近年プラントユーザーの間で進められている。当社もこのニーズに対応して大型プラント用高効率大型圧縮機・タービンの技術開発を行ってきた。本論文では納入してきた適用例を紹介するとともに超大型プラント用圧縮機・タービンを提案する。また、新プロセスプラントであるDME（ジメチルエーテル）プラントに対して、従来のメタノールプラント用機器製作の実績をいかした圧縮機・タービンにて対応できる点を紹介する。

1. はじめに

近年のメタノールプラント容量は、1970年代以前の1500トン/日程度から2500トン/日に拡大しており、さらに5000～7000トン/日のプラントが計画されている。図1にメタノールプラント容量の推移を示す。一方、DMEプラントにおいては、その中間生成物であるメタノールを従来のメタノールプラントよりも多く生産するため、プラント規模がさらに大型化する傾向にある。

2. プラントプロセス及び適用遠心圧縮機

2.1 メタノールプラント

メタノールプラントで使用される主要遠心圧縮機として、以下がある。

- (1) 合成ガス圧縮機
- (2) 循環ガス圧縮機
- (3) 天然ガス圧縮機

メタノールプラントでは、原料天然ガスが水蒸気及びCO₂と適切な混合比で混合され、合成ガスとなる。この合成ガスを合成ガス圧縮機にて100気圧前後に加圧し、反応器内の250～400の触媒層に導いて、メタノール合成反応を行う。

天然ガス圧縮機は、原料天然ガスを改質器に送り込むための加圧が必要な場合に使用される低圧圧縮機である。

当社は循環ガス圧縮機と合成ガス圧縮機を複合させた遠心圧縮機を適用することが多い。図2に一般的なメタノールプラントの機器構成を示す。

合成ガス圧縮機は低圧・高圧の2ケーシング構成とし、高圧合成ガス圧縮機に循環ガス圧縮機を複合化し

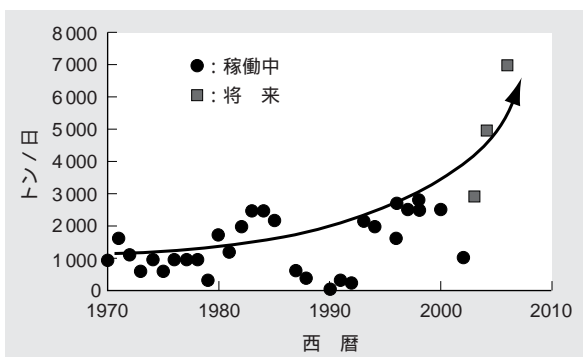


図1 メタノールプラント容量の推移 年々プラントサイズが大きくなってきている傾向を示す。

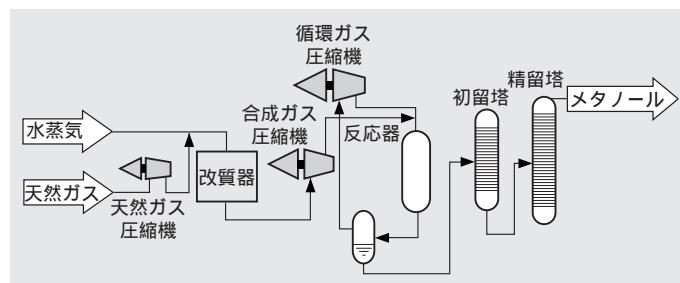


図2 典型的なメタノールプラントの機器構成 メタノールプラントの機器の構成と圧縮機・蒸気タービントレんの適用箇所を示す。

*1 広島製作所ターボ機械技術部長

*2 広島製作所ターボ機械技術部マーケットグループ長

*3 広島製作所ターボ機械技術部マーケットグループ

*4 技術本部高砂研究所ターボ機械研究室主席

ている．合成ガス圧縮機は低圧・高圧とも多段バレル型圧縮機である．図3に2500トン/日メタノールプラント向けの合成ガス圧縮機製品を示す．

当社は圧縮機駆動用蒸気タービンを両軸駆動とし、この低圧・高圧合成ガス圧縮機をそれぞれ蒸気タービンの両側に配置してメンテナンス性を大幅に向上させている．

プラントの大型化に伴い、合成ガス圧縮機、循環ガス圧縮機も大型化する．このため、高圧で大型の遠心圧縮機を適用する必要がある．

図4に7000トン/日の超大型メタノールプラント向けに選定された遠心圧縮機・蒸気タービントレン構成を示す．遠心圧縮機及び蒸気タービンの大容量化に伴い、圧縮機インペラ及び蒸気タービンブレードも大容量化し、高負荷・高効率の機器を設計するには解決すべき課題が発生するが、当社は以下に述べる大型化対応技術の適用により当プラント容量への遠心圧縮機・蒸気タービントレンを供給できることを確認した．

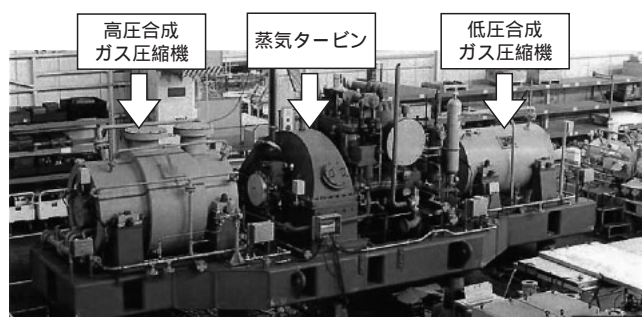


図3 2500トン/日メタノールプラント用合成ガス圧縮機トレン（機器全長9.0m） 2500トン/日メタノールプラント用合成ガス圧縮機トレンの製品実績を示す．

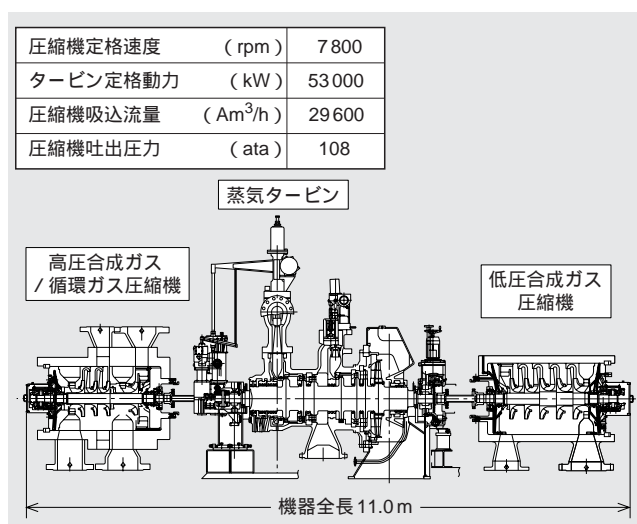


図4 7000トン/日メタノールプラント用合成ガス圧縮機トレン 将来の大型プラントである7000トン/日プラント用の当社提案の合成ガス圧縮機トレンとその諸元を示す．

2.2 DMEプラント

DME（ジメチルエーテル）は燃焼させても硫黄酸化物やすすを発生せず、窒素酸化物の発生量も化石燃料に比べ大幅に低減できるクリーンな新燃料として、また国策としても注目されている新エネルギーである．

現在工業用として検討されているDMEプラントには、2.1のメタノールプラントにて合成されたメタノールを脱水反応させ、DMEを合成させる間接法がある．この場合、メタノールプラント向けに適用されている遠心圧縮機技術をそのままDMEプラントにも適用できることになる．そして、メタノールの生産に加え、DMEを生産するためプラント規模は従来のメタノールプラントよりもより大型化したものとなる．よって、遠心圧縮機・蒸気タービン等機器についても大型メタノールプラントに適用している技術を適用する必要がある．

一方、水素と CO_2 を合成させて直接DMEを製造するプラントも検討されている．なお、当社はDME利用に対応するための製造、輸送、貯蔵、利用のための一連の製品開発に携わっており、新エネルギー活用・環境保護へ向け積極的に活動を行っている．

3. プラント大型化対応技術

3.1 高効率化技術

プラント大型化により遠心圧縮機の効率はプラント運転コストに従来以上に大きく影響する．このため、合成ガス圧縮機に適用できる大風量インペラの高効率化を図り、従来比1%の向上を実現している．

3.2 大容量化技術

(1) 高圧力係数化インペラ

プラント大型化による圧縮機の大風量化に対応するため、高効率大風量インペラを適用する必要があるが、大風量インペラは軸方向の厚みが大きくなる傾向にあるため、数枚の大風量インペラを圧縮機ケーシング内に収めるにはインペラ段数を低減し、軸受間距離を短くすることが望ましい．すなわち、軸受間距離の増加は回転軸の運転安定性上好ましいことではなく、安定性確保のためには運転速度の低減が必要になる．

このため高圧力係数インペラを適用してインペラ段数を低減し、より剛性が高く、安定性に優れたロータを実現している．

図5は従来インペラと高圧力係数化インペラの圧力係数の比較例を示し、当インペラの設計流量点にて10%の圧力係数の増加を達成した．

(2) 高ボス化インペラ

高圧力係数インペラにおいては、同時に高ボス化

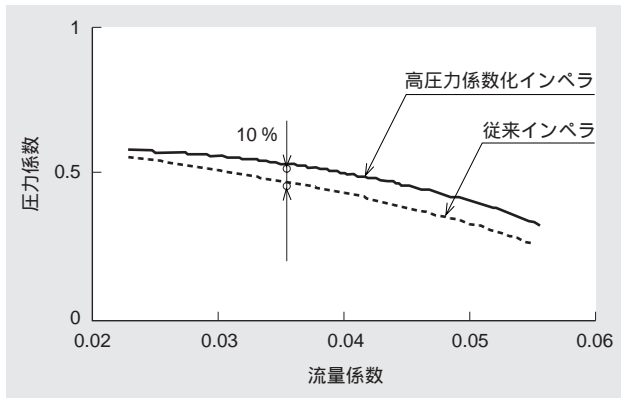


図5 高圧力係数化インペラと従来インペラの圧力係数比較 高圧力係数化インペラが従来のインペラに比べ圧力径数にて10%の増加を達成したグラフを示す。



図7 250mm長翼概観 250mm長翼の概観を示す。

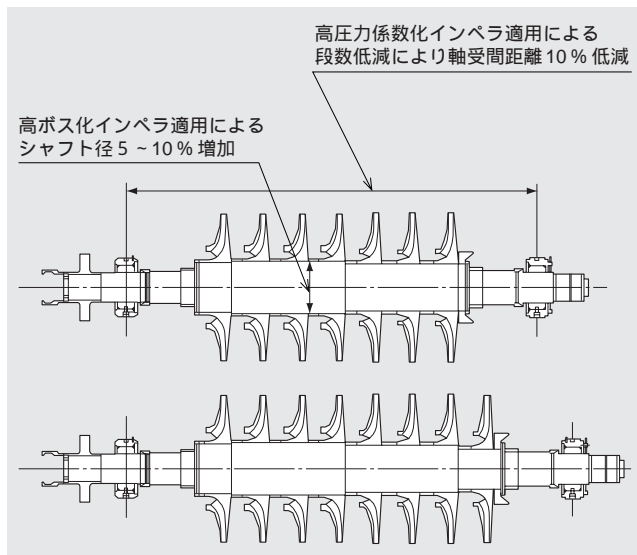


図6 大容量化技術を適用したロータ(上段)と従来ロータ(下段) 軸受間距離を10%低減, シャフト径を5~10%増加し, 大型圧縮機でも高い剛性をもつロータを示す。

(インペラ内径の増加)も図っており, インペラの焼きばめを行うシャフトを太くし, 剛性の高いロータを実現している。

3.3 軸安定化技術

遠心圧縮機の運転時のロータには, ロータを加振する力と振動を減衰する力が働いている。振動を減衰する力に比べ加振力が大きい場合, ロータは不安定となる。

当社従来の加振力低減機構(スワールキャンセラ)及び振動減衰力増大機構(オーバハングダンパ)に加え, 上記3.2(1),(2)によって軸受間距離を短く, シャフトは太くしてロータ剛性を高めることにより優れた安定性を実現している。当ロータと従来ロータの比較を図6に示す。軸受間距離を10%短くし, インペラ焼きばめ部シャフトを5~10%太くしてロータ剛性を大幅に向上させることができた。

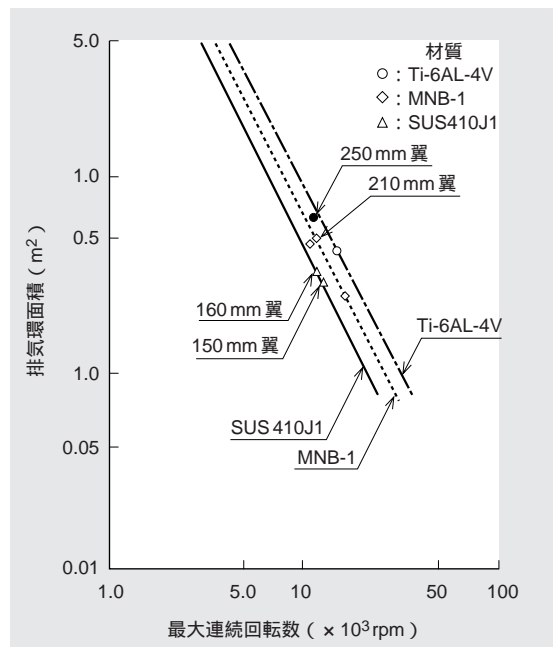


図8 合成ガス圧縮機駆動タービン翼 開発したチタン合金製250mm翼が従来翼より排気環面積が大きく, 大容量域で適用できることを示す。

4. 大型メタノールプラント・DMEプラント向け高効率蒸気タービン

プラント大型化に伴い圧縮機所要動力が増加し, 蒸気タービン定格動力の増大が必要となる。従来このような大容量蒸気タービンにはダブルフロー型を適用するタービンメーカーが多く見られたが, 当社は大風量用長翼を適用したシングルフロー蒸気タービンを適用して対応してきた。シングルフロー型にすることによりダブルフロー型に比べ蒸気流路の圧力損失を大幅に低減でき効率の向上が図れる。また, タービン外形もコンパクトとすることができる。当メリットはプラント大型化に伴い, プラントユーザにとってますます大きなメリットとなる。



図9 2500トン/日メタノールプラント用圧縮機工場立会試験 2500トン/日プラント用圧縮機の工場試験風景を示す。

当社はシングルフロー用大風量用翼として、従来翼でカバーしていなかった高速・大風量域をカバーする250 mm翼を開発して大型プラントに適用しており、今後のさらなるプラント大型化の傾向にも対応できるものである。図7に250 mm翼の外観を示す。また図8に大風量用翼の適用範囲を示す。

5. 製品実績

当社は、大型化するメタノールプラント、DMEプラントに対応できる高効率遠心圧縮機と圧縮機駆動用蒸気タービンを当社同一工場にて同一品質管理のもと製作・提供できる。また遠心圧縮機・蒸気タービンのストリング工場試運転も同一工場で行うことができる。図9に遠心圧縮機・蒸気タービンの工場試験運転の様子を示す。また図10に遠心圧縮機・蒸気タービンの現地運転の様子を示す。

5.1 空力的性能試験結果

2500トン/日メタノールプラント用合成ガス圧縮機、循環ガス圧縮機、天然ガス圧縮機の空力的性能試験を客先の立会のもと行い、高効率圧縮機の性能が確認された。

5.2 機械的性能試験結果

2500トン/日メタノールプラント用合成ガス圧縮機、循環ガス圧縮機、天然ガス圧縮機の機械的性能試験を客先の立会のもと行い、軸受部振動計測値として遠心圧縮機15 μm 以下、蒸気タービンにて10 μm 以下を実現し、API (American Petroleum Institute) 規格の制限値25.4 μm に比しても非常に低く、優れた運転安定性を示した。

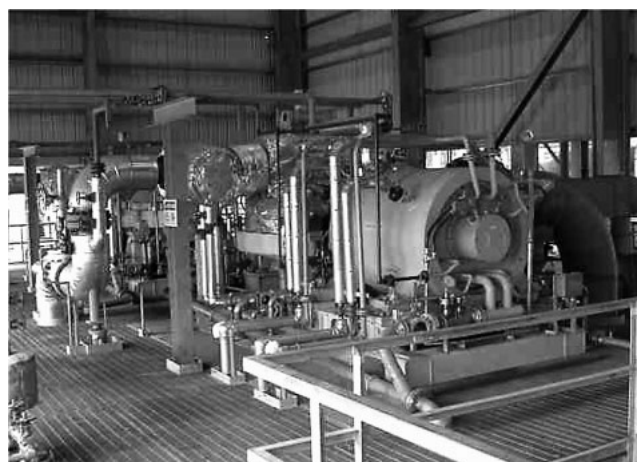


図10 2500トン/日メタノールプラント用圧縮機及び蒸気タービン現地運転 2500トン/日プラント用圧縮機及び蒸気タービンの現地運転風景を示す。

6. まとめ

メタノールプラント及びDMEプラントにおけるプラント大容量化の傾向に対応した大容量高効率遠心圧縮機・蒸気タービン技術開発と実績を紹介した。

今回紹介した大容量化技術を当社遠心圧縮機及び蒸気タービンに適用し、現在計画されている7000トン/日メタノールプラント及びDMEプラントに対応していく所存である。

参考文献

- (1) 藤村ほか, 化学プラント用高効率遠心圧縮機, 三菱重工技報 Vol.33 No.5 (1996)
- (2) 佐々木ほか, Proceedings of the Thirty-First Turbomachinery Symposium (2002) p.75
- (3) 石油学会編, 石油化学プロセス (2002)



大崎裕章



橋爪啓



堀場潤一



栢谷穰