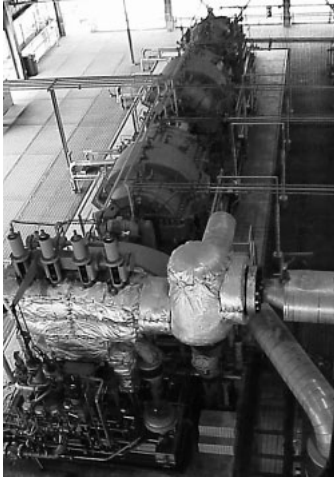


超大型エチレンプラント用遠心圧縮機・蒸気タービン

Mitsubishi Centrifugal Compressors and Steam Turbines for Mega Ethylene Plant



大崎 裕章*1 橋爪 啓*2 平石 英司*3
 Hiroaki Ohsaki Kei Hashizume Eiji Hiraishi
 野田 寿男*4 枅谷 穰*5
 Sumio Noda Jyou Masutani

エチレンプラント向け圧縮機は当社風力機械部門の主力機種である。近年エチレンプラント規模が大型化する傾向にあり、圧縮機・蒸気タービンサイズもプラント規模に比例し大型化が進んできている。本報では、これまでのエチレンプラントに適用してきた高効率大型遠心圧縮機・蒸気タービンの適用例を紹介するとともに、大型化に対応した高効率化技術及び信頼性向上技術について紹介し、超大型遠心圧縮機・タービンのトレン構成を提案する。

1. はじめに

近年エチレンプラントのユーザ間では、プラント製品単価を下げるためプラント規模の大型化が進められており、現在最大エチレンプラント規模である年間100万トン/年クラスから、150万トン/年さらには200万トン/年クラスへと急激なプラント規模拡大傾向にある。プラント規模の拡大とともに圧縮機・蒸気タービンの高効率化の強い要求が以前にもましてなされている。本報では、多数の実績を有する当社のエチレンプラント向け圧縮機・蒸気タービンの適用例をエチレンプラント規模の変遷を交えながら紹介する。また、大型圧縮機に適用する高効率化技術及び信頼性向上技術について述べ、さらに今後市場拡大が予想される

超大型エチレンプラントにこれら技術を適用した圧縮機と蒸気タービンのトレン構成例を紹介する。

2. エチレンプラント向け圧縮機の変遷

図1はエチレンプラント規模の推移及び当社適用圧縮機型式を示したものである。年々エチレンプラント規模は増加傾向にあり、増加に伴い適合圧縮機型式も大きなものになってきている。

また、蒸気タービンの供給蒸気量においては図2に示すように、低圧部はなだらかな増加に対して、高圧部の蒸気量は飛躍的な増加傾向にあり、大流量吸込み部の開発要求が高まっていることが分かる。

プラント規模増加とともに、図3に示すように圧縮機効率の増加も図られてきており、1986年、高効率

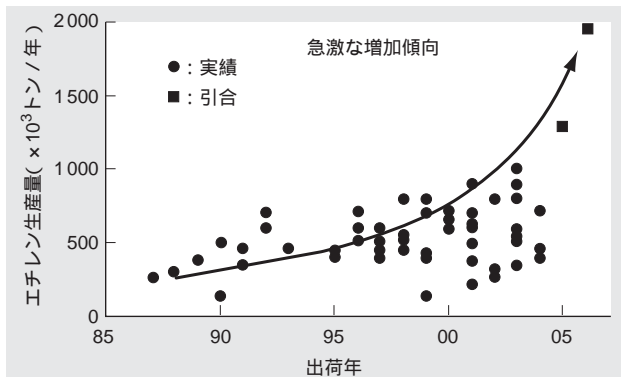


図1 エチレンプラント規模の推移 年々プラントサイズが大きくなってきている傾向を示す。

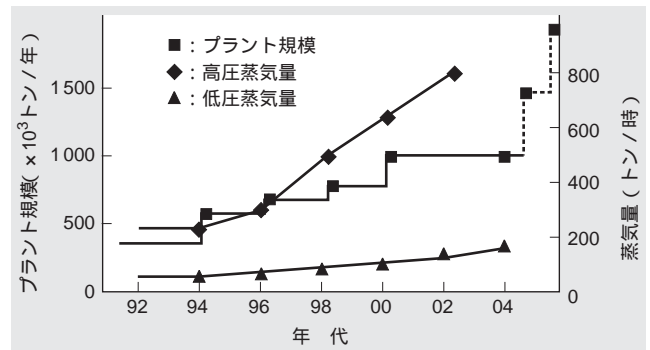


図2 エチレンプラントにおける蒸気条件の推移 低圧部はなだらかな増加に対して、高圧部の蒸気量は飛躍的な増加傾向にあることを示す。

*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 広島製作所ターボ機械技術部タービン設計課
 *5 技術本部高砂研究所ターボ機械研究室主席

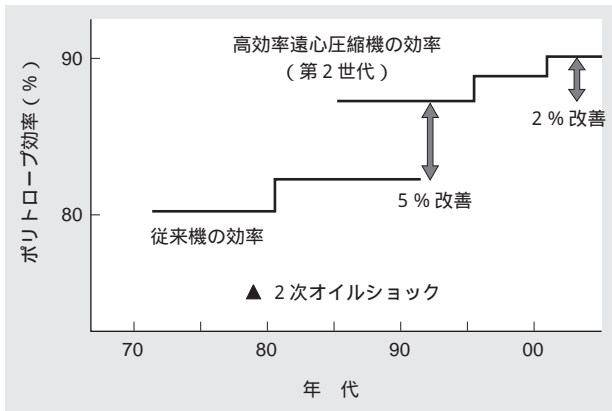


図3 エチレンプラントにおける圧縮機効率の変遷
プラントサイズ増加とともに圧縮機効率の増加も図られてきており、更なる効率改善の必要性を示す。

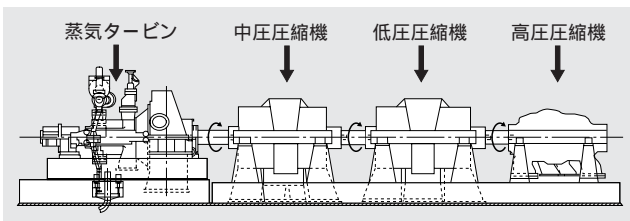


図4 大型エチレンプラント用圧縮機・蒸気タービン構成
当社最大クラスのエチレンプラント向けチャージガス遠心圧縮機・蒸気タービンの紹介。

三次元インペラを適用することで5%の効率改善を行ったが、更なる効率改善を図るべく研究開発を行っている。

図4は当社最大クラスのエチレンプラント向けチャージガス遠心圧縮機・蒸気タービンを示したものである。トレン構成は蒸気タービン+中圧圧縮機+低圧圧縮機+高圧圧縮機となっている。低圧圧縮機は両吸込型、中圧、高圧圧縮機は背面配列型とし、重量低減をねらって低圧、中圧圧縮機は溶接鋼板⁽¹⁾、高圧圧縮機は高い耐圧性能を持つ鋳鋼製ケーシングを採用している。

100万トン/年規模のチャージガストレンは、一般的に4台の圧縮機にて構成されることが多いが、当社では150万トン/年規模まで、3台の圧縮機構成とすることが可能である。

圧縮機の数を少なくすることにより、以下の利点がある。

- 省スペースによる建設コスト低減
- 予備品の削減
- 保守性向上

同クラスの圧縮機と蒸気タービンの両方を1社にて供給できることは当社の強みである。

一般的に遠心圧縮機では140万トン/年クラスまでの対応が限界であるといわれているが、当社では更に

大型のプラントに高効率・高信頼性の遠心圧縮機を提供すべく超大型圧縮機に必要な技術の開発・検証を行っている。

3. 大型遠心圧縮機の大容量・高効率化・信頼性向上技術

3.1 高効率インペラの開発

プラントの大型化により、遠心圧縮機の効率がプラントのランニングコストに及ぼす影響がますます大きくなってきた。遠心圧縮機の高効率化で最も重要な要素はインペラである。当社遠心圧縮機では、高効率を達成するため圧縮機の全段に三次元インペラを採用し、より広範囲のガス条件、運転条件で最高の性能を追求すべく高効率インペラのラインナップを図っている⁽²⁾。近年のエチレンプラント大型化傾向に対応すべく、大型圧縮機に適用できる大流量、なおかつ高効率の新型インペラの開発も完了した。図5は大流量に対応したインペラの一例である。

本新型インペラは次のような特徴を有している。

(1) 高効率化

CFD(図6)にて高効率インペラの開発を行い

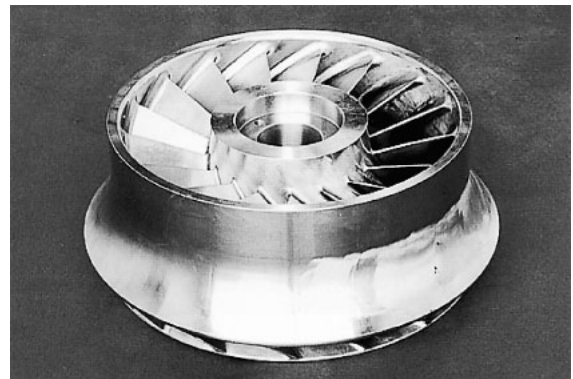


図5 大流量インペラ 大流量に対応したインペラ写真にて吸込流路部が広く筒に近い形状になっていることを示す。

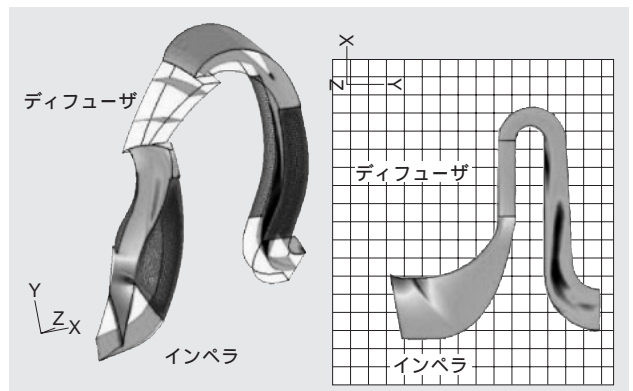


図6 インペラCFD解析 CFDにて高効率インペラの開発を行い高性能インペラの開発を行っている。

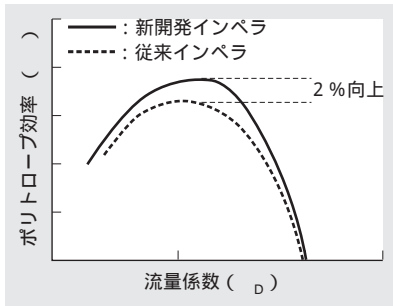


図7 インペラ効率比較 従来のインペラ効率に対して2%の性能向上が図れたことが分かる。

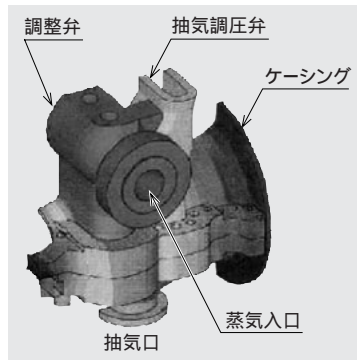


図9 高圧車室の定常温度分布

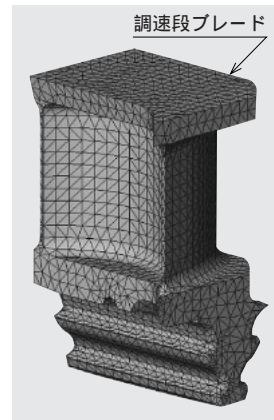


図10 調速段ブレードの三次元ソリッドモデル

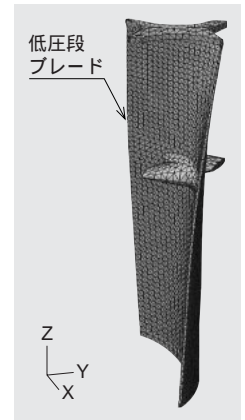


図11 低圧段ブレードの三次元ソリッドモデル

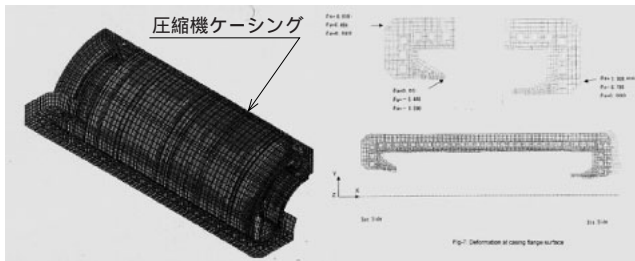


図8 FEM適用ケーシング設計 大型化に際してFEMを適用することで信頼性を高めた設計を行っていることを示す。

ポリトロープ効率従来比2%アップを達成した。図7に性能テスト結果を示す。

(2) 高圧力係数化

プラント大型化による大流量化に対応した高効率かつ高圧力比インペラを開発した。

(3) 高ボス比

大型回転体の問題となる軸振動を低減させるため、インペラの軸径を従来より高めた高ボス化(従来比5~10%アップ)を図り、剛性の高いロータを実現した。

(4) 製作方法改善

溶接による変形を防ぎ計画性能を達成するため、溶接箇所を少なくし製作精度の向上を図った。

本インペラの開発により、高性能、高信頼性の圧縮機提供が可能になった。

3.2 大型圧縮機ケーシング設計

圧縮機の大型化に伴い、ケーシング設計においてもより高度な技術が求められるようになった。当社では設計段階にて重量増加、熱伸びの影響、内圧による変形等を図8に示すようにFEMにて詳細に検討を行い、信頼性向上を図っている。

4. 大型エチレンプラント向け高効率蒸気タービン

超大型エチレンプラントに用いるタービンの設計において、従来の設計思想の延長や構造の拡大に対応するには以下の課題がある。

大容量及び高圧・高温車室

大容量・高負荷調速段ブレード

高負荷・高遠心力低圧段ブレード

上記の課題に対して以下のとおり解決した。

4.1 大容量及び高圧・高温車室の開発

高圧・高温蒸気により起動停止時、負荷変動時等の過渡的温度分布による異常ひずみや変形を防止するためノズルボックス構造を採用した。

また、計画設計後の構造評価に当たっては図9に示すように三次元ソリッドモデルを用いて応力変形解析を実施し検証した。

高圧・高温で大容量により不安要素である水平継手面からの蒸気洩れ評価に当たってもボルト締付力に対するリラクゼーションが小さいボルト材の適用及び急激な温度勾配を緩和するサーマルシールドを採用し確立した。

4.2 大容量・高負荷調速段ブレードの開発

大容量・高負荷を満足すべく、調速段ブレードはISB化(Integral Shrouded Blade: 無限縦り翼)を採用し信頼性向上を図った。

詳細設計に当たっては図10に示すようにFEM解析、回転振動試験、翼列試験及び空気タービン試験によりその効果を検証した。

このISB化により、最低次モードの周波数が消滅することを確認し、従来のシュラウド縦りタイプに対し、調速段ブレードの信頼性が大きく向上した。

4.3 高負荷・高遠心力低圧ブロックの開発

過去に例のない高負荷、高遠心力に耐えうる可変速低圧ブロックの開発が不可欠であった。

まずは一次元Row by Row計算及び軸対称フローパターン解析により翼仕様を決定し、シェルモデルによる強度検討にて基本体格を求めた。その後、この翼群に対し、図11に示すように三次元ソリッドモデルに

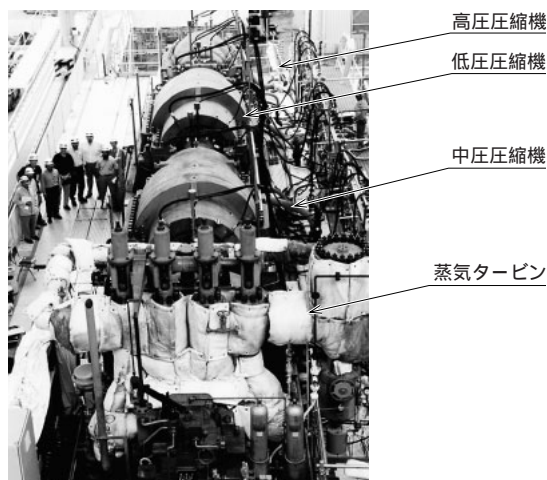


図12 大型圧縮機・蒸気タービンストリングテスト風景

て詳細強度評価を実施した。

静応力については翼一枚ごとの多点拘束条件による解析，振動特性及び応力についてはCyclic symmetry法にて解析を実施し，各部の応力が設計クライテリアを満足することを確認した。

また，実翼試作及び回転振動試験にて試作翼群がほぼ解析どおりの静的及び振動特性であったことを検証した。

5. テスト設備

図12に示すように，当社ではすでに150万トン/年クラスの大型エチレン圧縮機・蒸気タービンを組み合わせたストリングテストができるテスト設備を有している。納入前にストリングテスト，性能テストを実施することで性能を検証し，信頼性の高い製品を供給することが可能である。

今後需要が予想される，200万トン/年クラスに対しては，既存テストスタンドよりさらに大型なテスト設備を新設する予定である。本テストスタンドが完成することにより超大型圧縮機・蒸気タービンのストリングテストが可能になり，圧縮機・蒸気タービンのトレンとしての信頼性を確保することができる。

6. 200万トン/年クラス大型エチレンプラント向け圧縮機・蒸気タービンのトレン構成

超大型チャージガス遠心圧縮機・蒸気タービントレン構成の一例を図13に示す。トレン構成は低圧圧縮機+中圧圧縮機+蒸気タービン+高圧1圧縮機+高圧2圧縮機である。低圧，中圧，高圧1圧縮機は溶接鋼板，高圧2圧縮機は高い耐圧性能を持つ鋳鋼製ケーシングを採用している。蒸気タービンをトレン間に設置することで，出力を分配し，各軸端にかかる出力を下

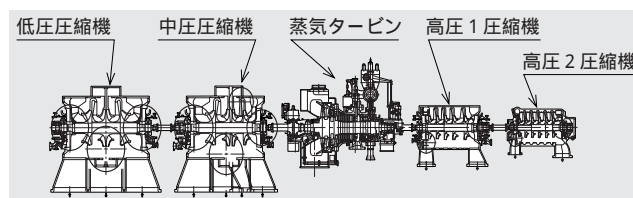


図13 超大型チャージガス遠心圧縮機・蒸気タービントレン構成 今後の超大型トレンの一例を示し，当社が詳細検討を進め基本計画を行っていることを示す。

げトレンの安定性を高めている。

なお，図13のトレンでは，蒸気タービン直下に位置する主復水器サイズが大きくなることより，2nd据付け高さが15mにも高くなり，建設コストに影響を及ぼすが，当社の特徴でもある軸流排気型蒸気タービンを採用することで従来と同レベルの据付け高さにすることも可能である。

7. ま と め

当社は，年々大型化するエチレンプラントに対し，最適な高効率大型圧縮機及び高効率大型蒸気タービンを供給してきており数多くの実績を有している。今後の需要が見込まれる200万トン/年クラス対応の要素技術開発を終了し，超大型圧縮機・蒸気タービンへの実機適用を可能とした。

遠心圧縮機と蒸気タービンの両方を独自の技術，同一製作所にて製作できるのは当社の強みである。

当社の高効率大型圧縮機，蒸気タービンがプラントの高効率化・信頼性向上の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 野島信之ほか，高性能大容量遠心圧縮機の開発，ターボ機械 第17巻 第2号(1988) p.21
- (2) 藤村雅範ほか，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)



大崎裕章



橋爪啓



平石英司



野田寿男



楢谷穰