

高効率化技術を適用した蒸気タービン改造による CO₂ 排出量削減への取組み

Initiative for CO₂ Reduction by Steam Turbine Retrofit
with Performance Improvement Technologies



中野 隆*¹
Takashi Nakano

赤石 裕二*²
Yuji Akaishi

徳本 壮男*³
Takeo Tokumoto

田中 健太郎*⁴
Kentaro Tanaka

山本 英雄*⁴
Hideo Yamamoto

有馬 直也*⁵
Naoya Arima

脱炭素へ向けた取組みが世界的に行われ、発電市場においても再生可能エネルギーの導入が進んでいる。その一方で、電力の安定供給のためには一定量の火力発電設備は今後も維持されると予想され、火力発電におけるCO₂排出量の抑制は必須となっており、既設発電設備も例外ではない。発電設備主要機器として用いられてきた蒸気タービンは、長期運転による経年的な劣化が避けられず、その対策として内部部品の更新がしばしば行われるが、更新と同時に最新の高効率化技術を適用した改造を行うことで、高効率化による燃料削減、すなわちCO₂排出量削減という付加価値を生み出すことができる。本報では最新の高効率化技術を適用した蒸気タービンの改造事例及びCO₂排出量削減効果について述べる。

1. はじめに

蒸気タービンを長期間使用すると経年的な劣化が進み、損傷発生のリスクが増加してくる。特に、発電所生涯の後半では予期せぬ損傷発生のリスクが高く、そのため運転開始後25年から35年で主要部品の老朽更新を実施し、潜在リスクを排除する例が多い。老朽更新を行うことで将来発生するであろう補修費用を抑え、かつ計画外停止などによる想定外の損害を防ぐことができる。これら老朽更新対象となる蒸気タービンの効率は決して高くなく、最新の高効率化技術を適用した改造を同時に実施することで、燃料削減、CO₂排出量削減という付加価値を新たに生み出すことができる。

また、自家用発電設備では、経年的な劣化以外にも、事業環境の変化等によって出力、工場送気量といった運用条件が建設当時の計画から変化し、最適な状態から外れた運転となっている場合も多い。最新の運用条件に合わせた改造を行うことで、プラント効率最適化を行うことも可能である。

2. 高効率化を行った蒸気タービン改造事例

三菱重工業株式会社(以下、当社)は、蒸気タービンの高効率化ニーズに応えるべく、最新の高効率化技術を適用した最新鋭サイド排気高性能蒸気タービンを開発し、第二T地点(当社の実証発電設備)で性能及び信頼性の検証を行った⁽¹⁾。最新鋭の蒸気タービンへ適用した高効率化技術は、小容量から大容量の幅広い出力レンジ、既設機改造を含めたあらゆる蒸気タービンに

*1 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部 部長

*2 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部 主幹技師

*3 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部 グループ長 技術士(機械部門)

*4 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部 主席技師

*5 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部

適用可能な技術であり、順次展開を行っている。

2.1 蒸気タービン全体改造事例

超々臨界圧火力発電所で使用される 500MW 級蒸気タービンの改造工事を実施した。この蒸気タービンは、高中圧タービンと2台の低压タービンから構成され、1995年に運転開始されたものであり、改造を実施するまで25年以上運用されていた。プラント寿命の延長、効率向上、メンテナンスコストの削減を目的とし、プラント改修工事の一環として、高中圧タービンの全換装と低压タービンの内部換装を実施した。タービン改造の概要を図1に示す。タービン改造による性能向上により、年間約 95000トンの CO₂ 排出量削減が見込まれる。

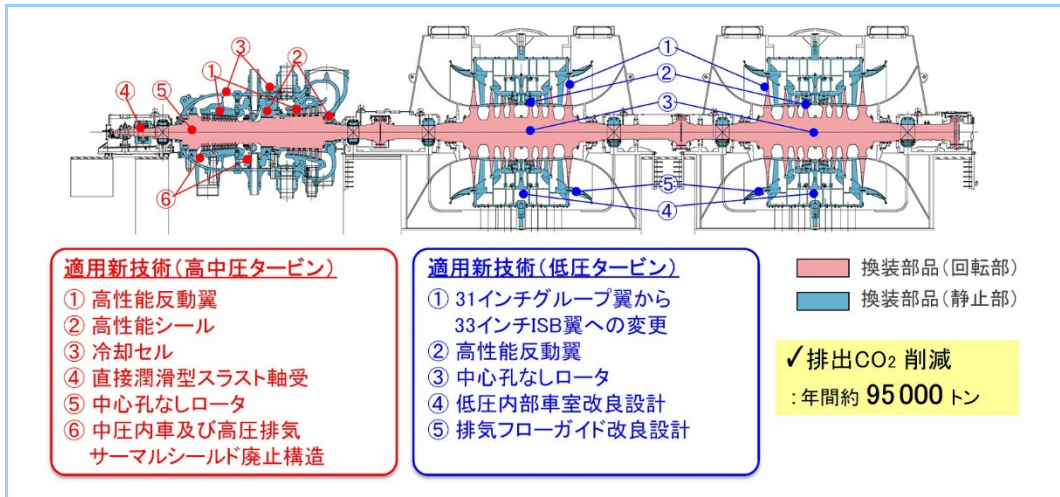


図1 タービン全体改造の概要

高中圧タービンでは、最新の高効率反動翼設計を適用して翼列効率を高めた。既存ラビンスシールは、経年的な漏れ損失増加に伴う性能劣化を低減するためにアブレイダブルシールに改良した。高効率化だけでなく、劣化抑制、信頼性向上、メンテナンス性向上についても配慮した改造としている。タービン停止中に機能する冷却セルを外部車室上半部に追加設置することで、車室の上下温度差を低減し、シール劣化につながる可能性のある車室の猫ざり変形を抑制するようにした。新しいロータは中心孔を廃止し、信頼性を高めるために焼き嵌め式のカップリングから一体式のカップリングに変更した。また、高压排気部のサーマルシールドを廃止し、メンテナンスの簡素化を図った。

低压タービンでは、高性能反動翼の適用に加えて、最終段翼を31インチグループ翼から33インチ ISB(Integral Shroud Blade)翼に変更し、さらに排気フローガイド形状を最適化することで排気損失を低減した。また内部車室の設計を変更し、車室変形を抑制する構造を採用している。

2.2 高中圧タービン改造事例

製鉄所で使用される 100MW 級蒸気タービンの改造工事を実施した。当該機は1986年に運転開始されたものであり、延命化のために寿命消費の大きい部品を更新し、あわせて経済性を向上させたいというお客様のご要望に応えるために、高中圧タービンの改造工事を実施した(図2)。本改造による性能向上により、年間約 46000トンの CO₂ 排出量削減が見込まれる。

高中圧タービン外部車室は既設機のを継続使用し、タービンの内部部品を、高性能化技術を適用して設計したものへ置き換える改造を実施した。既設機設計である衝動翼から高効率反動翼を適用した設計への変更、高性能シール適用による漏洩損失の低減、直接潤滑型スラスト軸受適用による機械損失の低減を行うことで、大幅な性能向上を実現させた。また、主蒸気入口部の構造変更、車室冷却蒸気の流れを改善することで、外部車室内面が高温蒸気に晒されない構造とし、継続使用する高中圧タービン外部車室の信頼性の向上を図っている。

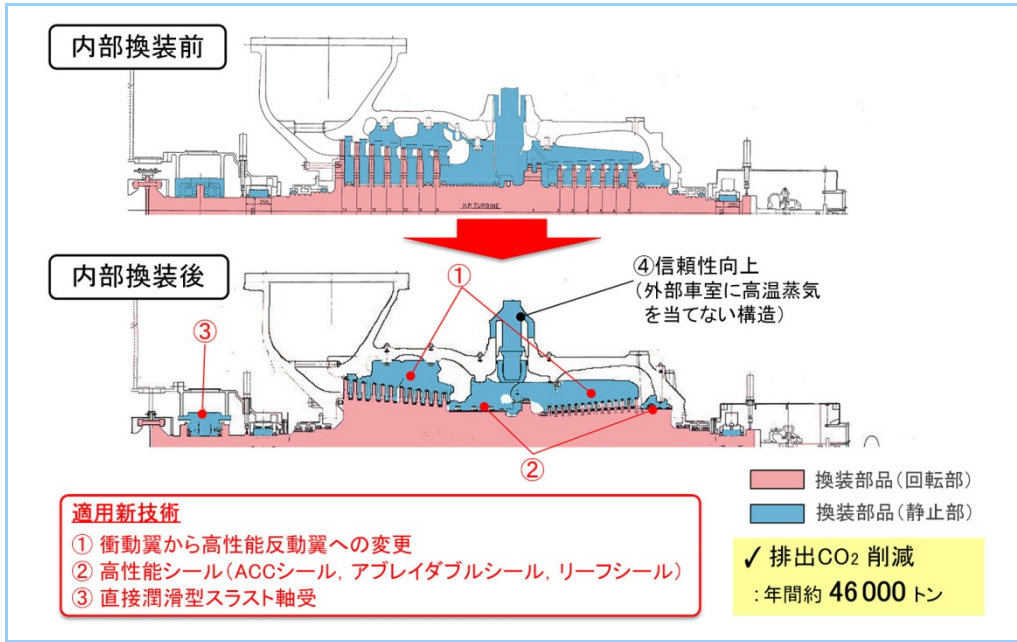


図2 高中圧タービン改造の概要

2.3 低圧タービン改造事例

亜臨界圧発電所で使用される 400MW 級蒸気タービンの改造工事を実施した。当該機は 1984 年に運転開始されたもので、改造実施までに 30 年以上運用されていた。設備所在国政府の方針により、石炭からガスへの燃料転換が必要となること、また炭素税が増税されることから、高効率化のために低圧タービンの改造工事を実施した (図3)。本改造による性能向上により、年間約 43000 トンの CO₂ 排出量削減が見込まれる。

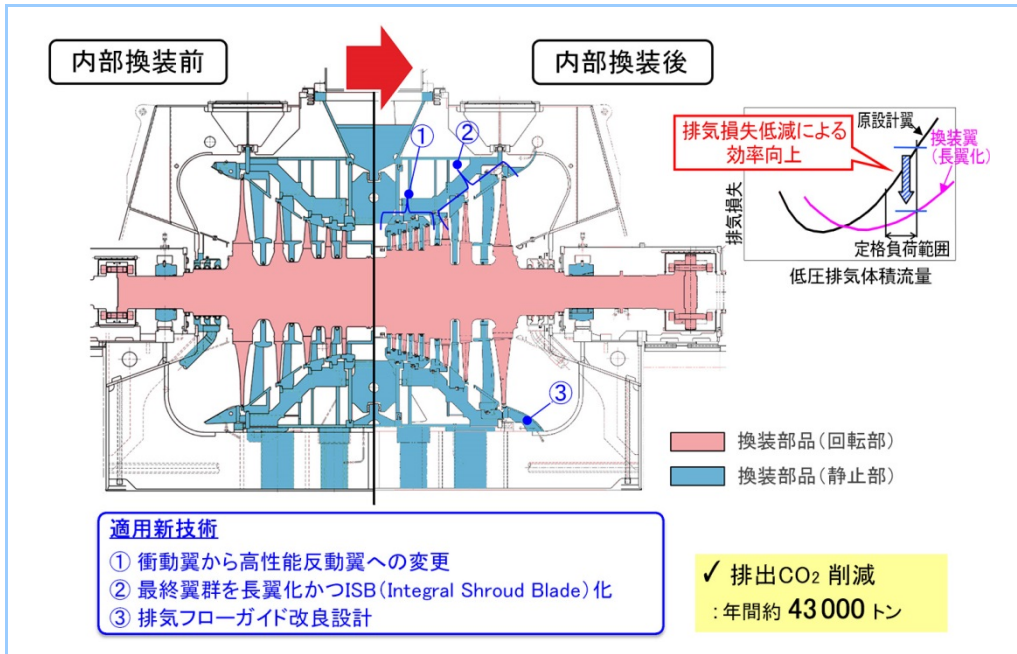


図3 低圧タービン改造の概要

低圧タービン外部車室は既設機のを継続使用し、タービンの内部部品を、高性能化技術を適用して設計したものへ置き換える改造を実施した。低圧タービン上流側は、既設機設計である衝動翼から高効率反動翼を適用した設計へと変更し、最終用翼群は 33.5 インチグループ翼から 36 インチ ISB 翼へと長翼化することで、排気損失を低減し性能向上を図ると同時に、排気フローガイド形状の改良設計も行った。

3. 運転条件の変化に対応した蒸気タービン改造事例

自家用発電設備では、事業環境の変化等によって出力、工場送気量といった運用条件が建設当時の計画から変化し、最適な状態で運転ができなくなっている場合も多い。この場合、最新の運用条件に合わせて大容量化/小容量化、復水タービンの背圧タービン化、抽気圧力変更といった改造を行うことで、蒸気タービンの性能改善を行うことが可能である。表1に改造メニューの例を示す⁽²⁾。

表1 運転条件の変化に対応した蒸気タービン改造メニューの例

蒸気条件	電力	メニュー	メリット
蒸気需要が増加 タービン呑込を増やしたい	より大きな出力を得たい	タービン大容量化	出力増加による買電量減少 例:40MWタービンの場合 出力 22%向上
蒸気需要は変わらない	発電コスト > 買電価格 であり、復水による発電量を減らしたい	復水タービンの背圧タービン化	プラント効率向上による燃料代の削減など 例:25MWタービンの場合 主蒸気量 7%減
蒸気需要が減少した	低負荷でのタービン効率を向上したい	タービン小容量化	タービン効率向上による出力向上など 例:35MWタービンの場合 タービン効率 6%向上
工場への蒸気供給圧力が変化した	電力需要は変わらないが効率の良い運転をしたい	抽気圧力最適化	抽気圧力損失の低減 例:50MWタービンの場合 抽気圧 30%減, 出力 2.5%向上

3.1 小容量化及び抽気圧力変更改造

2001年に運転開始された、自家発電用抽気復水タービンの改造工事の例を示す。CO₂排出量削減のためにGTコージェネを導入、それに伴う既設ボイラ・蒸気タービンを含めたプラント全体の運転最適化を検討し、既設蒸気タービンの小容量化(86MWから47MWへ)及び抽気圧力を変更(3.7MPaから2.8MPaへ)する改造を実施した。図4に改造工事の概要を示す。

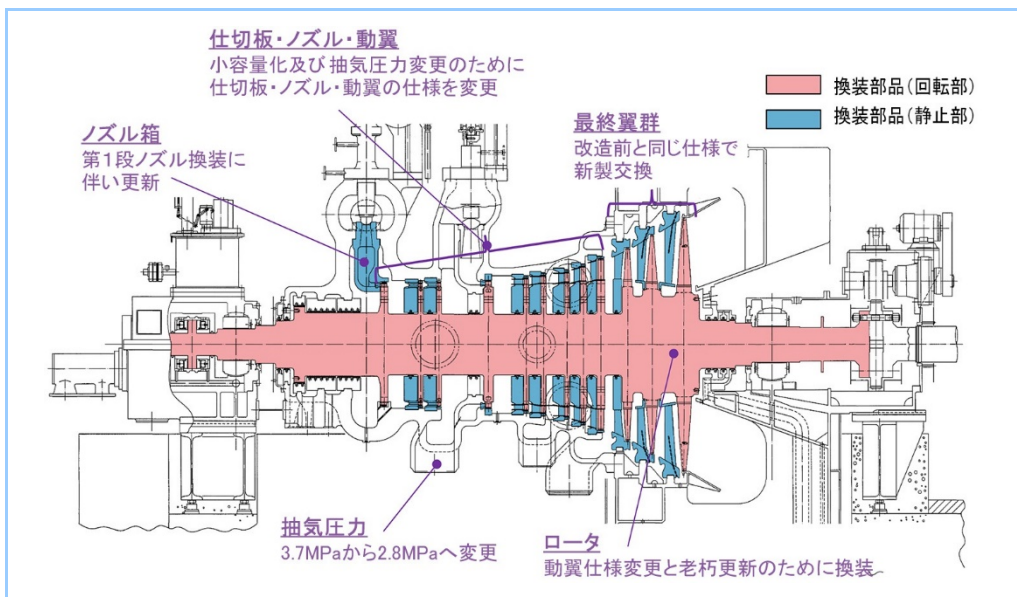


図4 小容量化及び抽気圧力変更改造の概要

第1段ノズル換装に伴いノズル箱を更新、小容量化及び抽気圧力の変更に対応するために、翼高さ、翼枚数といった翼列仕様を変更する必要があるため、仕切板・ノズル・動翼の改造を実施し

た。低圧最終翼群は、老朽化更新を目的として、改造前と同じ仕様で新製交換した。外部車室は既設機のを継続使用している。外部車室に仕切板が直接取り付けられる構造のため、翼列の改造仕様は、制約を受ける中で成立させる必要がある。

3.2 背圧タービン化改造

1995年に運転開始された、自家発電用二段抽気復水タービンの改造工事の例を示す。設備所在国では、石炭価格の高騰に対して、電力会社への売電価格は当初想定していたほど上昇せず、その結果蒸気タービンの発電コストが買電コストよりも高い状況となっていた。さらにプラント効率を向上させて石炭使用量及びCO₂排出量を削減したいというお客様の意向もあり、工場送気量と発電量バランス検討結果から、既設復水タービンを背圧タービンへと変更する改造工事を実施した。背圧タービン化することで発電量は減少するが、復水器での熱損失の削減や復水系統の補機動力低減によりプラント効率を向上させることができる。また冷却塔使用による白煙問題もあり、背圧タービン化により冷却塔を廃止または一部停止できるメリットもある。図5に改造工事の概要を示す。

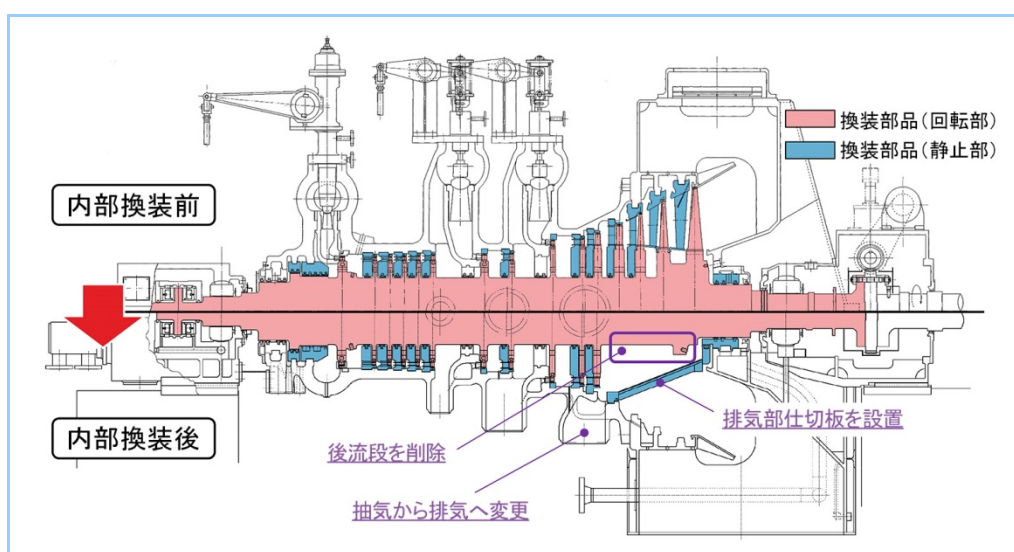


図5 背圧化改造の概要

背圧タービンへの変更として既設抽気段までを残し、タービン出口側の後流4段を廃止した。また、既設外部車室を継続使用するために排気部に仕切板を設置することで、本来抽気を行っていたところを排気へと変更できるよう改造を行った。

4. まとめ

既設蒸気タービン設備の長期運用による老朽部位更新は、将来の補修費抑制、想定外の損傷発生により生じる計画外停止のリスク排除に有効であるが、同時に最新の高効率化技術を適用する改造を行うことで、燃料削減、CO₂排出量削減という付加価値を生み出すことができる。また、運用条件の変化に応じたタービン改造を行うことで、プラント全体の最適化が可能となる。

当社では、今後も更なる高効率化を目指した開発を継続し、より一層環境負荷低減へ貢献できる蒸気タービンを提供していく所存である。

参考文献

- (1) 中野隆ほか, 最新鋭サイド排気高性能蒸気タービンの開発, 三菱重工技報 Vol.58 No.3(2021)
- (2) K. Ikushima, et al., “Strategic Renovation for Existing Steam Turbine in the Electricity Market Changing”, ICOPE-2021-0106