

# 台湾電力天然ガス焚き GTCC 発電設備向け 極低 NO<sub>x</sub> 化アップグレード工事の実績紹介

Actual Results of Upgrading Work to Extremely Low NO<sub>x</sub> for Natural Gas Fired  
GTCC power plant of Taiwan Power Company



小原 裕史<sup>\*1</sup>  
Hirofumi Ohara

中野 淳<sup>\*1</sup>  
Atsushi Nakano

西海 高史<sup>\*2</sup>  
Takashi Nishiumi

中田 直希<sup>\*1</sup>  
Naoki Nakata

小島 一晃<sup>\*3</sup>  
Kazuaki Kojima

清水 幹悦<sup>\*3</sup>  
Motoyoshi Shimizu

ガスタービン・コンバインドサイクル発電プラント(以下、GTCC)は、化石燃料を使用する発電設備の中で最も高効率かつクリーンな発電設備であり、現在もより高効率で環境負荷の低い設備に更新すべく要素開発が進められている。一方で、このような最新高効率の GTCC の運転開始により、既設発電設備の運用機会が低下し、既設プラント事業者の収益悪化とプラント寿命の低下を招く。このような状況に対応すべく三菱日立パワーシステムズ(株)(以下、当社)では、新型機向けに開発された技術を既設機向けにレトロフィットし、既設プラント発電事業者の様々な要求へ対応するアップグレードメニューの開発も行っている。最新ガスタービン技術の既設設備適用にあたっては、それに付随する周辺機器のアップグレードや改造工事も必要となるが、新設プラント設計・建設(EPC 事業)や制御装置開発も併せて手掛ける当社では、その総合力を生かし、プラント全体の適切な改造スコープの提案と、工事や試運転を含むプラント引き渡しまで包括したサービスの提供が可能である。

## 1. はじめに

当社納めの台湾電力向け大潭発電所 Stage-I(M501F 形×6台、約 140 万 kW)、南部発電所(M501F 形、約 25 万 kW)は、それぞれ 2005 年、2003 年の運転開始以降、台湾内の電力需給に大きく寄与してきたが、近年、台湾では、原子力発電設備の運転停止に伴い、電力需要の伸びを火力発電設備の稼働率向上で補う状況にあり、既設火力発電設備の環境負荷の低減と出力増強は、喫緊のニーズである。この電力政策の変化に伴うニーズに応えるため、今回、アップグレードメニューとして既に整備されていた高性能冷却強化タービン翼適用による性能向上に、極低 NO<sub>x</sub> 化を加えたプラントアップグレード工事を実施することとなった。

目玉となる極低 NO<sub>x</sub> 化においては、最新の M501/701J 形で実績のある燃焼技術を M501F 形にレトロフィットすることで対応する一方、当該燃焼技術を適用するにあたって必要なプラント機器のアップグレードも併せて実施した。また、プラント新設工事(EPC 事業)と本体定期点検業務を軸とするサービス工事の双方を手掛ける当社の強みを生かし、台湾内でのサービス案件では初のフルターンキー方式での工事を実施した。制御関連においても、最新燃焼器に対応する制御技術の適用は勿論のこと、運転開始後の長期運用の信頼性を見据えて、当社のデジタルソリューションサービスである MHPS-TOMONI<sup>®</sup>を適用し、タイムリーな顧客サポートを可能にしている。また、プラント寿命の延長に応えるため、制御装置セキュリティアップも含んだ制御装置の更新も併せて実施した。

本報では、台湾電力 GTCC に実施した極低 NO<sub>x</sub> 化改造工事を例にとり、当社の既設 GTCC 向けのプラント稼働率向上に向けた取り組みについて紹介する。

\*1 三菱日立パワーシステムズ(株)サービス本部高砂サービス部

\*2 三菱日立パワーシステムズ(株)ターボマシナリー本部GT技術総括部 大ガ技部

\*3 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部プロジェクト総括部制御システム技術部 主席チーム統括

## 2. 燃焼器極低 NO<sub>x</sub> 化

### 2.1 極低 NO<sub>x</sub> 燃焼器

今回のアップグレードはメニューとして既に整備されていた高性能冷却強化タービン翼適用による性能向上に加え、NO<sub>x</sub> の低減が大きな目的である。運転開始以降適用されている燃焼器の NO<sub>x</sub> レベルは 25ppm であるが、今回のアップグレード後のターゲットは 9ppm とした。

これを達成するため、1500℃級、1600℃級の G、J 形で実績のある技術を用いた 1400℃級 F 形燃焼器を開発した。G、J 形においては、タービン入口温度を上昇させることでプラント熱効率を向上させているが、タービン入口温度の上昇は NO<sub>x</sub> の増加につながるため、最新の燃焼技術を採用することで高いタービン入口温度においても NO<sub>x</sub> の低減を図っている。この技術を既存燃焼器に適用することで、9ppm 達成が可能となる(図1)。

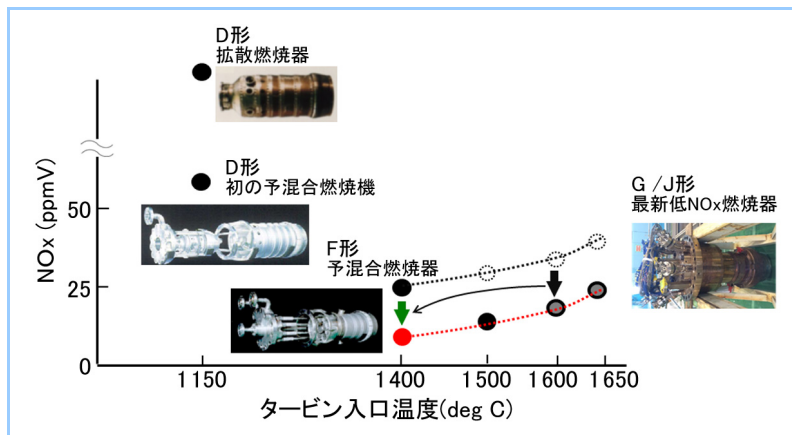


図1 ガスタービン入口温度上昇と燃焼器開発の変遷

G、J 形の燃焼技術の1つが'Vノズル'の採用である。'Vノズル'の採用により、燃料と空気混合をより均一化することでピークの火炎温度を下げ、従来のタービン入口温度を保ちながら NO<sub>x</sub> 排出量を低減することが可能となる。また、内筒と尾筒に J 形で開発した先進 TBC を適用することで、既存燃焼器と同等の信頼性を保ちつつ冷却空気を減らし、火炎温度を下げることで NO<sub>x</sub> を低減している(図2)。



図2 Vノズルとガスタービン内筒

### 2.2 周辺機器改造

最新燃焼器での極低 NO<sub>x</sub> 化は、燃料ガスを複数の系統から噴射する燃料ステージングにより可能となっており、これを実現するため燃料ガスユニットを新製し、既設燃料ガスユニットとの取り換え工事を実施した。また、燃料ガス組成の変動に対応するためのカロリーメータの追設や、燃料中に含まれる異物を取り除くためのカートリッジフィルタの追設といった、最新燃焼器適用に伴うプラント機器のアップグレードも併せて実施した。

制御面では、燃焼振動発生時の負荷変動を最小限に抑えるため、燃焼振動を監視し自動的にパラメータを調整するシステム A-CPFM (Advanced Combustion Pressure Fluctuation Monitoring Control) のバージョンアップや、燃焼パラメータの制御をより高精度で実現する制御方式の導入等のソフトウェア改造も合わせて実施した。

## 2.3 適用後の試運転結果

大潭火力発電所での極低NO<sub>x</sub>燃焼器アップグレード適用初号機での、GT 負荷に対するNO<sub>x</sub> 値の傾向を図3に示す。アップグレード適用の結果、当初の開発ターゲットである9ppm@15% O<sub>2</sub> に対して1ppm 以上の裕度を持って運用できていることが分かる。同時に、高性能冷却強化タービン翼適用の結果、目標の性能向上も得られたことを確認した。

2019 年1月の初号機運転開始以降、プラントは安定運用を継続しており、長期運用の信頼性の観点からも問題ないことが証明されている。

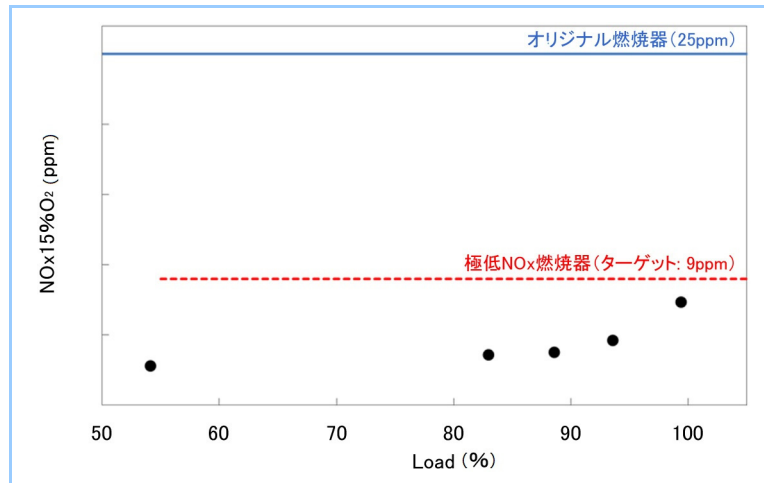


図3 大潭試運転結果

## 3. 工事関連

### 3.1 工事概要

前項で述べたとおり、本アップグレードは、本体周辺のみならずプラント関連機器の改造工事も含めた、従来定期点検工事の枠を超えた大型改造工事である。プラント関連では、既設から新製燃料ガスユニットへの入替、その他カートリッジフィルタの設置等も含めたガス系統改造、本体関連では、車室取替えと周辺抽気及び冷却空気の配管改造などが主要な改造項目として挙げられる。

### 3.2 主要工事内容

#### 3.2.1 燃料ガスユニット換装

燃料ステージングの精密化による燃料ガス系統の変更に伴い、既設から新製燃料ガスユニットの換装工事を実施した。既設ユニット取り外しは、当社としてもこれまで未経験の作業であったが、入念な事前準備により、干渉物の撤去、各配管および電線管の縁切りを実施し、問題なく撤去することができた。

また、新製燃料ガスユニット据付は、長期運用後のプラントに新製燃料ガスユニットを適用するため、ユニット内配管と既設配管との取り合い作業に懸念があったが、既設ユニットの基礎をそのまま流用することによって、取り合い点も問題なく合わせることができた(図4)。



図4 新製燃料ガスユニット据付

### 3.2.2 燃焼器兼圧縮機車室取替え作業

最新の低 NOx 燃焼器適用に伴い、燃焼器兼圧縮機車室(以下 燃兼圧車室)の形状が変更となり車室新規製作となるため、現地工事にての燃兼圧車室換装工事を実施した。

当社としては現地工事中の燃兼圧車室取替作業は初めての試みであったため、事前の懸念事項の洗い出しと検討を実施し、対策案を策定した上で本工事に臨んだ。

第1に、既設車室の卵型変形によって、燃兼圧車室が拘束され、吊り上げ困難となる懸念があった。この対策として、既設車室の卵型変形を矯正する固定治具を使用した(図5)。この固定治具を使用することにより、既設車室の変形を矯正することが可能となり、既設燃兼圧車室の吊り上げ、新製燃焼器兼圧縮機車室の吊り込みを問題なく実施することができた。

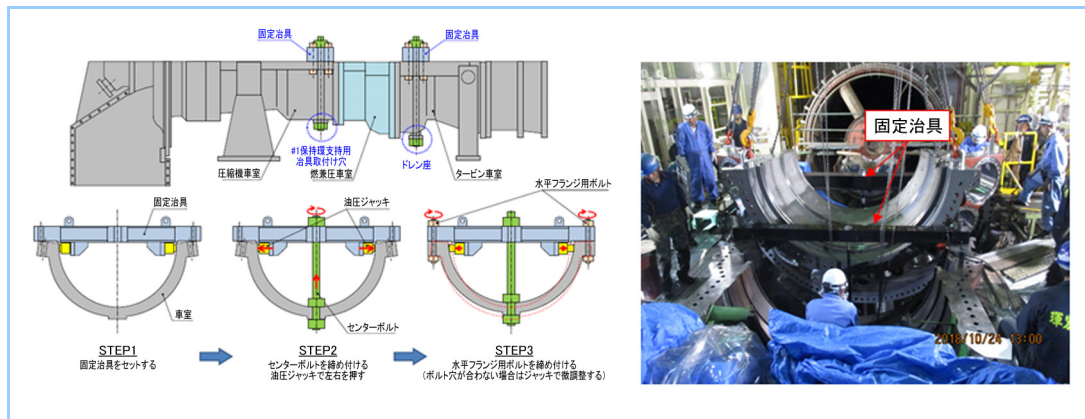


図5 既設車室の卵型変形を矯正する固定治具

また、既設車室と新製車室結合時の芯だしについても懸念があったが、実績のある所内新規製時の工法と同様に、車室間の位置を決めるインローを用いて芯だしを実施し、問題なく組み立て作業を完了することができた。

新製車室適用によるクリアランスへの影響については、回転部と静止部のクリアランスを適正に保つため、入口車室から排気車室まで一旦仮納めし、各車室の移動量を算出し、適切なクリアランスになるように各内車、タービン翼環の位置を調整することで対応した。

### 3.3 結果

本案件は当社所掌ですべての設計、調達、輸送、工事を行う、サービス案件初の大型改造フルターンキー工事のため、計画段階から徹底した納期管理を実施した。また、現地工事遂行に当たっても、計画段階より、GT 本体や配管工事で懸念事項を洗い出し、対策の事前検討を行い、本番の工事に臨んだ。その結果、大きな工程遅延につながる事象は発生せず、工事品質を確保しつつ円滑な工事遂行が可能となり、計画工期通りの 65 日で工事完遂した。

## 4. 制御装置関連

### 4.1 MHPS-TOMONI<sub>®</sub>による遠隔監視

当該契約においては、低 NOx 化が目玉となるが、長期的な NOx 保証実現のために、本体工事に合わせて当社デジタルソリューションサービスである MHPS-TOMONI<sub>®</sub>を採用した。当社製ガスタービン制御装置(DIASYS Netmation<sub>®</sub>)に Netmation セキュアゲートウェイ(NSGW)というセキュリティ機能付きのデータ送信装置を接続し、ガスタービンの各種データを連続的に当社クラウドサーバに送信することにより、クラウド上の各種監視ソフトを用いて、ガスタービンの運転状態に異常がないか遠隔で監視している。NOx が規定値を超過した場合、またはガスタービンの主要アラームが発生した場合には、クラウドサーバから通知メールが社内関係者に自動送信されるとともに、定常時よりサンプリング周期の高いデータが収集・送信され、原因究明作業がスムーズにできるような仕組みとなっており、速やかに NOx 低減に必要な対処方法をお客様に連絡可能となっている。NSGW では、一方向通信機能により、外部からのガスタービン制御システムへの不正アクセ



スを防ぐとともに、送信データの暗号化、デジタル証明書を用いたクラウドサーバとのセキュリティ認証によって、データを不正に使用できない仕組みとしている。遠隔監視にかかわるシステム構成を図6に示す。

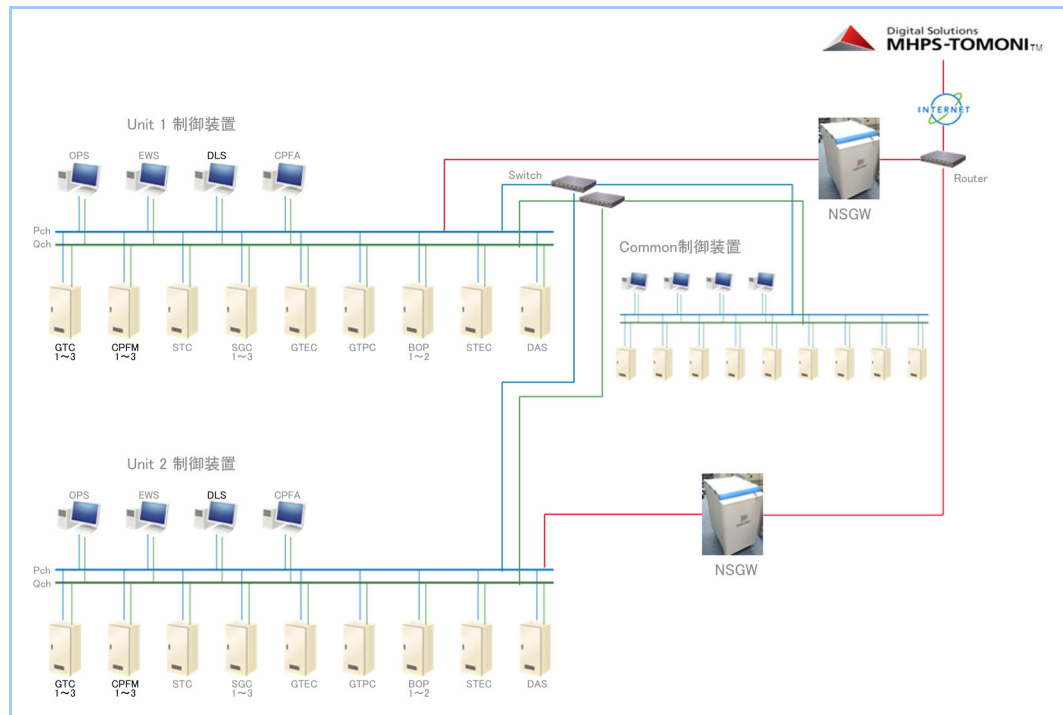


図6 遠隔監視にかかわるシステム構成図(大潭発電所)

## 4.2 制御システムアップグレード

また、MHPS-TOMONI®採用に合わせ、メンテナンス性向上、ならびにセキュリティ機能向上を目的に、ガスタービン制御装置のオペレーティングシステム(OS)のアップグレードを実施した。既設制御装置はマイクロソフト社の Windows 2000 をベースとしたアーキテクチャーであったが、OS のサポート終了、同 OS を適用できる計算機の入手や保守の困難さにより、Windows 10 ベースのシステムを採用した。OS だけでなく、コンピュータ機器、DIASYS Netmation®の制御ソフトウェアも Windows 10 対応の最新バージョンにアップグレードした。本アップグレードにより、ホワイトリスト型マルウェア対策ソフトである Applocker が適用可能となり、アプリケーションのインストールや実行を制限することでガスタービン制御装置全体のセキュリティ機能向上を図っている。アップグレード後のシステムに適用可能なセキュリティ機能を表1に示す。加えて、今回のアップグレードでは、計算機のホスト OS 上に立ち上げた仮想 OS 内で制御システムのアプリケーションを稼働させており、将来に渡るメンテナンスでの利便性を考慮した設計としている。

表1 適用可能なセキュリティ機能一覧

| #  | セキュリティ対策                         | Windows |    |                  |    |
|----|----------------------------------|---------|----|------------------|----|
|    |                                  | NT/2000 | XP | 7                | 10 |
| 1  | ファイアウォールによるネットワーク分割, DMZ         | ✓       | ✓  | ✓                | ✓  |
| 2  | 物理アクセスブロック                       | ✓       | ✓  | ✓                | ✓  |
| 3  | データ収集用の独立した PC (DFPC)            | ✓       | ✓  | ✓                | ✓  |
| 4  | メディアの自動再生を無効にする                  | ✓       | ✓  | ✓                | ✓  |
| 5  | ファイアウォールの不要な通信ポートと不要なサービスをブロックする |         |    | ✓                | ✓  |
| 6  | マルウェア対策ホワイトリスト機能                 |         |    | ✓                | ✓  |
| 7  | Netmation セキュアマネージャによるアクセス制限     |         |    | ✓                | ✓  |
| 8  | 高速バックアップ/リカバリ                    |         |    | ✓                | ✓  |
| 9  | USB メモリ型ウイルスチェッカー                |         | ✓  | ✓                | ✓  |
| 10 | 一元的な Windows アカウント管理             |         |    | ✓                | ✓  |
| 11 | すべてのデバイスのログ管理ツール                 |         |    | ✓                | ✓  |
| 12 | 定期的なセキュリティパッチの提供                 |         |    | ✓<br>(till 2020) | ✓  |

## 5. まとめ

本報で紹介した台湾電力向け極低 NOx 化工事は、2019 年1月の大潭発電所初号機の商業運転開始を皮切りに、2019 年5月時点で5台の工事・試運転が完了し、順次営業運転を開始している。本工事は、低 NOx 化を軸とした、周辺機器や制御装置を含めた大型プラント改造案件であり、既設プラントの稼働率向上に大きく寄与することができた。このようなプラント全体にわたるアップグレードは、主機、プラント、制御装置設計や建設、サービス工事のすべてを手掛ける当社であればこそなし得る提案である。

この後、最終号機となる南部発電所の換装工事完了に向けて、引き続きプロジェクトを継続していくとともに、様々な既設発電事業者の要望に応えるべく、アップグレードメニューの開発に取り組んでいく。

MHPS-TOMONI は、三菱日立パワーシステムズ(株)の米国及びその他の国における登録商標または商標です。

DIASYS Netmation は、三菱日立パワーシステムズ(株)の日本及びその他の国における登録商標です。