

特 集 論 文

中国鞍山鋼鉄集团公司向け 300 MW
高炉ガス焼きコンバインドサイクル
プラントの建設と運転実績Anshan Iron & Steel Group Corporation,
China Construction and Operation
Experience of 300 MW Blast Furnace Gas
Firing Combined Cycle Power Plant大塚 春生*¹
Haruo Otsuka田中 聡史*²
Satoshi Tanaka田邊 浩史*³
Hiroshi Tanabe小畑 順司*⁴
Junji Obata原田 昇一*³
Syouichi Harada車 学文*⁵
Che Xuewen

近年、電力不足が続く中国では、国家的な要請もあり、鉄鋼会社が自前で電力を確保するよう求められており、環境保全の面からも高効率な発電プラントの要望が高まっていた。その様な中で当社は、最新鋭・高効率の高炉ガス焼き M701S (F) 形ガスタービンの開発に成功していたことから、2003年7月に中国鞍山鋼鉄集团公司とガスタービンコンバインドサイクルプラントに関するFS(実現可能性評価)を実施し、その有効性を双方で確認した。そこで、2004年5月に正式契約を行い、中国市場初の世界最大級の高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントの導入が実現したが、2007年5月10日に引渡しを完了し、現在、順調に営業運転を継続している。

1. はじめに

高炉ガス焼きガスタービンの燃料には製鉄所で発生する低カロリーの副生ガスを使用するが、当社は、その利用技術については世界的にトップレベルにあり、国内では多くの受注及び運転実績を有している。

この度、中国では初の本格的な高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントの受注となったが、順調に設計、調達、建設が進捗し、2007年5月10日に正式に引渡しを完了した。

プラント熱効率は、高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントでは、世界最高水準の51% (低位発熱量基準) を達成し、環境保全、省エネルギーの両面で優れたプラントであることを実証した。

本稿では、この高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントの建設と運転実績について紹介する。

2. プロジェクトの特徴と概要

2.1 プロジェクトの特徴

本プロジェクトの特徴は次のとおりである。

- (1) 中国市場で初受注に成功した世界最大級の高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントの初号機
- (2) 中国鉄鋼関連の設計研究院との、初の発電プラントの設計協業
- (3) 極寒地域 (冬場の月平均最低気温 - 15℃以下)

への初の発電プラントの設置

- (4) パワートレイン主要機器以外の蒸気サイクル関連機器に中国製を採用した合作プラント

2.2 供給区分

当社はガスタービン、発電機、蒸気タービン、燃料ガス圧縮機の軸構成機器を主体としたパワートレイン部分の設計、製作と、当社供給機器のFOB (Free on Board)、及び、その据付TA (Technical Adviser)、試運転SV (Supervisor) 派遣を担当した。

一方、お客様はパワートレイン部分以外の復水器及び排熱回収ボイラ (HRSG) を含めた蒸気サイクル関連機器、給排水系統、ユーティリティ等の設計、製作、調達及び土建を含めた現地工事、試運転の全般を担当した。本プラントの供給区分を図1に示す。

なお、お客様手配機器に対しては合計5回の技術交流会と、必要に応じて個別の設計支援 (Technical Coordination) を行うことで、問題なく設計協業を進め、合作プラントを完成させることができた。

2.3 プラント全体機器配置

基本的な全体機器配置は、プラントの信頼性確保、現地工事での品質確保の観点から考えれば、極力先行プロジェクトと同一設計とするのが望ましいが、下記の点で設計変更を余儀なくされた。

- (1) 本プロジェクトは極寒地域に設置されるため、ポンプ等のプラント補機類は、原則すべて暖房が完備

*¹ 高砂製作所プラント技術部火力プラント設計課主席*² 高砂製作所プラント技術部電気計装設計課主席*³ 高砂製作所プラント技術部火力プラント設計課*⁴ 原動機事業本部制御システム技術部制御技術二課*⁵ 鞍山鋼鉄集团公司第二発電所長助理

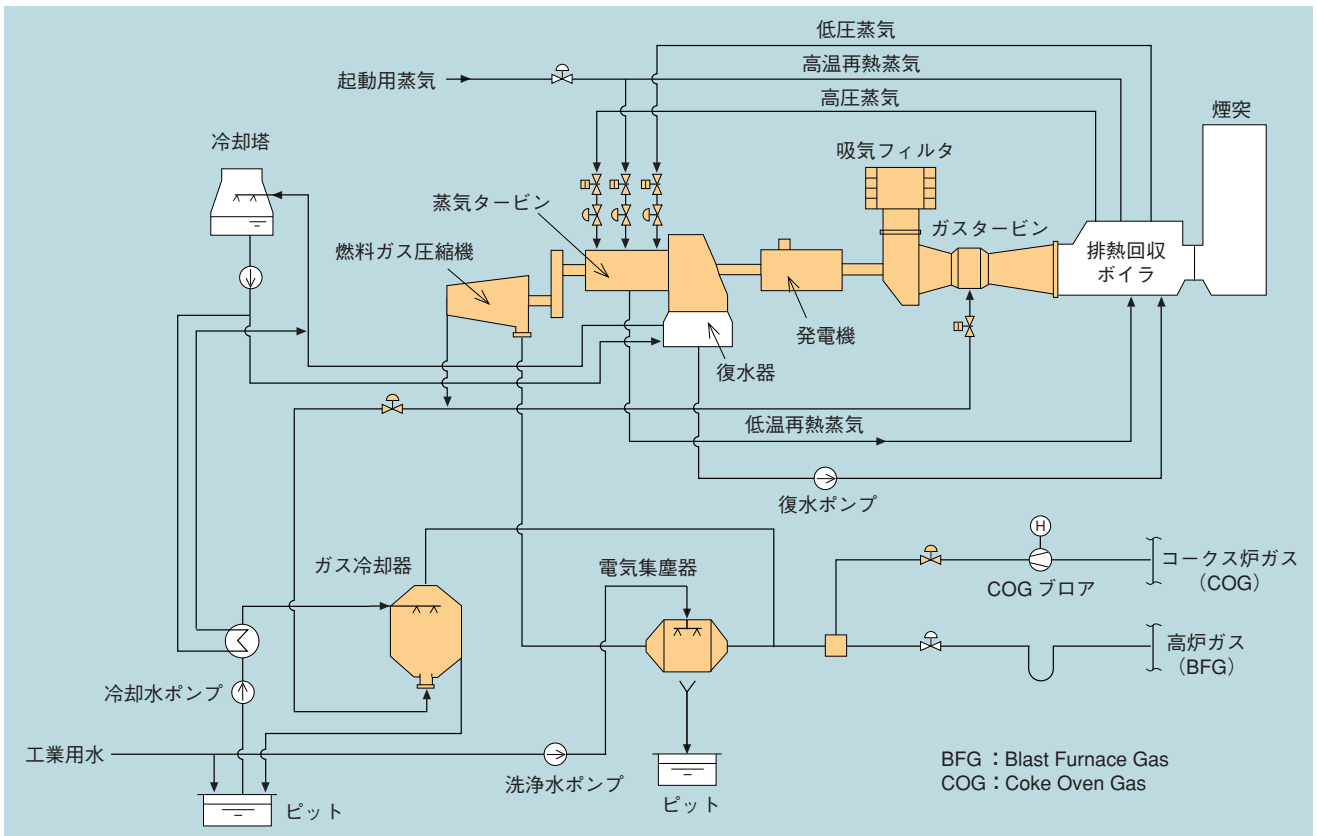


図1 供給区分
着色部は当社供給範囲の機器を示す。

した建屋内に設置し、屋外に設置せざるをえない水系配管に対しては原則、凍結深度以下に埋設設置することとした。

(2) 先行プロジェクトでは、原則、予備機を設置していないが、本プロジェクトでは蒸気サイクル関連機器に中国製のポンプ等を採用することから、すべて予備機設置とした。

ただし、全体の配置・配管計画に大きく影響する高炉ガス系統、及びタービン建屋内配置については基本的に先行プロジェクトの配置を採用したことで、現地工事では手戻り作業がほとんど発生せず、ほぼ予定どおりに据付工事を完了させることが出来た。また、ポンプ類は、原則すべて予備機設置としたことで、プラント全体の信頼性向上につながった。

3. プラントの特徴と概要

3.1 プラントの特徴

本プラントの特徴は次のとおりである。

- (1) 最新鋭・高効率の高炉ガス焼き M701S (F) 形ガスタービンを使用したコンバインドサイクルプラントの採用
- (2) 低大気温度時の起動及び負荷運転を考慮したガスタービン吸気加熱器の採用
- (3) HRSG 等のお客様手配機器を含めたプラント全

体統合制御の実現

- (4) 中国語表示の監視・制御画面を使用した自動制御システムの採用

3.2 プラントの構成

プラント構成は、ガスタービン、発電機、蒸気タービンに、増速歯車装置を介して燃料ガス圧縮機を同軸上に配列した一軸式コンバインドサイクルプラントであり、軸起動には既設蒸気を使用した蒸気タービン起動方式を採用したシンプルな構成とした。図2にタービフロア配置、図3に全体組立断面図を示す。



図2 タービフロア配置
手前からガスタービン、発電機、蒸気タービン、燃料ガス圧縮機が一軸に結合されている。

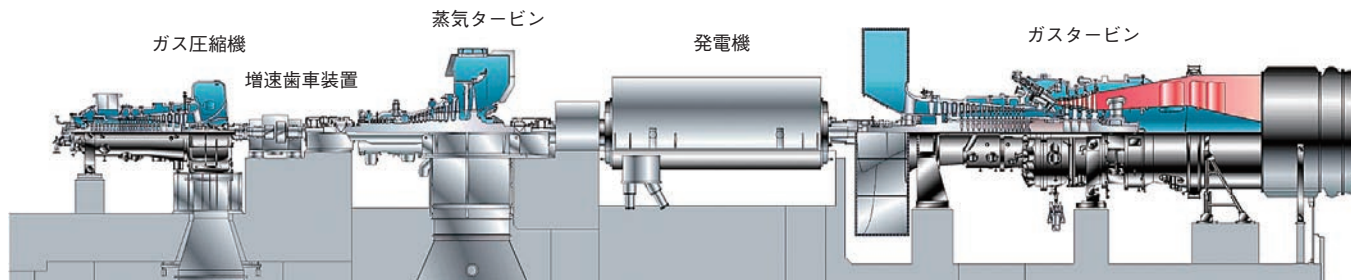


図3 全体組立断面図

3.3 主要機器諸元

主要機器諸元を表1に示すが、HRSGはお客様の手配機器である。また、図4にプラント出力特性を示

表1 主要機器の諸元

主機名	項目	仕様
発電設備	型式 出力	一軸形コンバインド発電設備 300MW
ガスタービン	型式 出力 タービン入口ガス温度 回転数	解放サイクル一軸形 M701S(F) (三菱重工) 183.0MW 1300℃ 級 3000 rpm
排熱回収ボイラ (HRSG)	型式 蒸気流量	横置三圧再熱自然循環型 (中国杭州ボイラ) 568.4t/h 内訳 高圧 239.9t/h 中圧 282.2t/h 低圧 46.3t/h
蒸気タービン	型式 出力 蒸気圧力/温度 回転数	単車室再熱混圧復水形 SRT-30.5" (三菱重工) 117.0MW 高圧 10.2MPa(a)/538℃ 中圧 2.95MPa(a)/538℃ 低圧 0.49MPa(a)/245℃ 3000 rpm
発電機	型式 容量 冷却方式 回転数	横置円筒回転界磁同期形 (三菱電機) 340000 kVA 水素冷却 3000 rpm
燃料ガス圧縮機	型式 回転数	単車室軸流形 (三菱重工) 5025 rpm

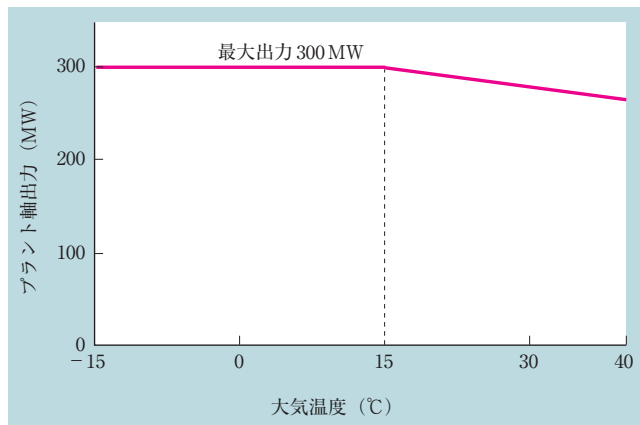


図4 プラント出力特性

すが、大気温度 15℃以下で最大出力 300 MW 運転が可能な設備となっている。

3.4 低大気温度対策

ガスタービンは作動用媒体として大量の空気を必要とするが、大気温度の低下は出力の増大が期待出来る一方、極端に低下すると、以下の問題が発生する。

- (1) スラスト力増大、圧力比増加に伴う圧縮機サージマージン減少による最大出力制限
- (2) 燃焼振動増大による起動・昇速時の燃焼不安定領域の発生

そこで、寒冷時にガスタービン吸気を蒸気で加熱する吸気加熱器を設置している。

加熱用の蒸気源として、起動・昇速時は補助蒸気を使用し、負荷運転時は HRSG からの低圧蒸気を抽気して使用しており、その蒸気は復水器に回収することで排水量低減による環境への配慮も図っている。図5に吸気加熱システム概略系統図を示す。

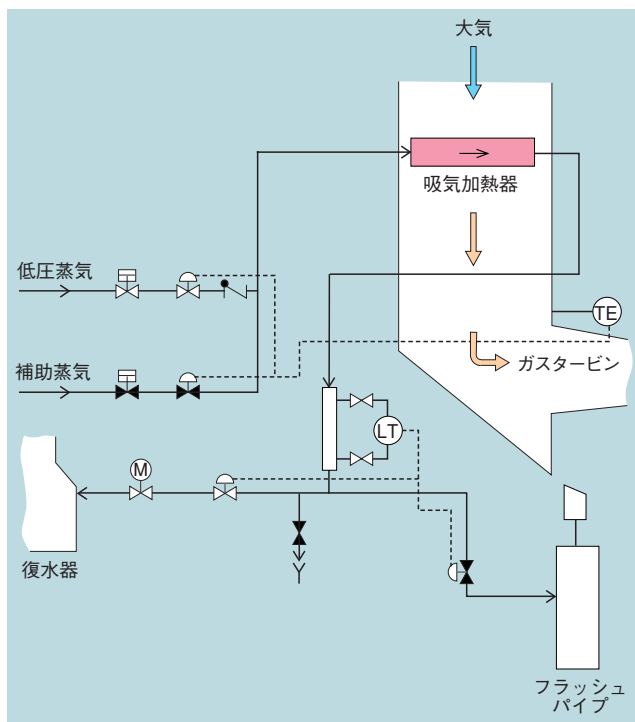


図5 吸気加熱システム概略系統図

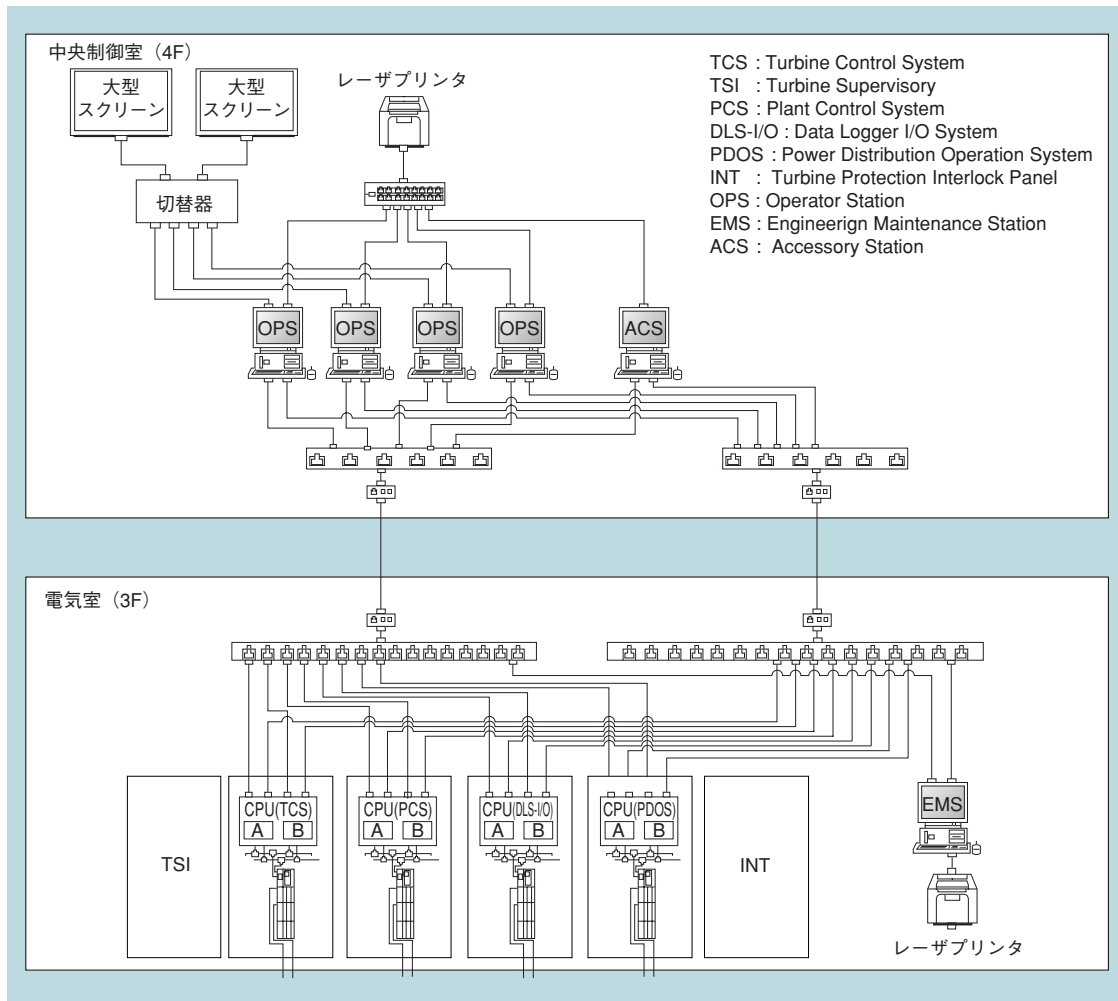


図6 制御システム構成

3.5 自動制御システム

制御システム構成を図6に示すが、当社はHRSG、ボイラ給水ポンプ等のお客様手配機器も含めて、プラント全体に渡る自動制御及び操作・監視を行う制御装置を一括供給した。

運転操作機能としては以下に示す特徴を有しており、運転員の負担軽減を実現している。

- (1) ALR (Automatic Load Regulator) 制御により、運転員は発電機出力を設定(150 ~ 300 MW 範囲内)するだけで所要の発電機出力を得ることができる。
- (2) APS (Automatic Plant Start & Stop System) 制御により、プラント起動時は復水器真空上昇からALR 出力運転到達まで、また、プラント停止時はALR 出力運転状態から復水器真空破壊まで、全ての操作端を自動で動かすことができる。

なお、制御装置には当社が長年に渡る発電機プラントの制御ノウハウを基に開発したDIASYS-NETMATIONを適用した。

また、制御装置内の重要機器は多重化しており、高度な信頼性を有している。さらに、監視・操作画面は

英語表示に加えて中国語表示にも対応可能なシステムになっており、運転員にとってUser-Friendlyなシステムを実現している。図7に中央操作室のレイアウト、図8に中国語及び英語で表示した系統図画面をサンプルとして示す。



図7 中央操作室(4F)
手前にOPSのデスク盤、奥に2面の大型スクリーンを設置している。

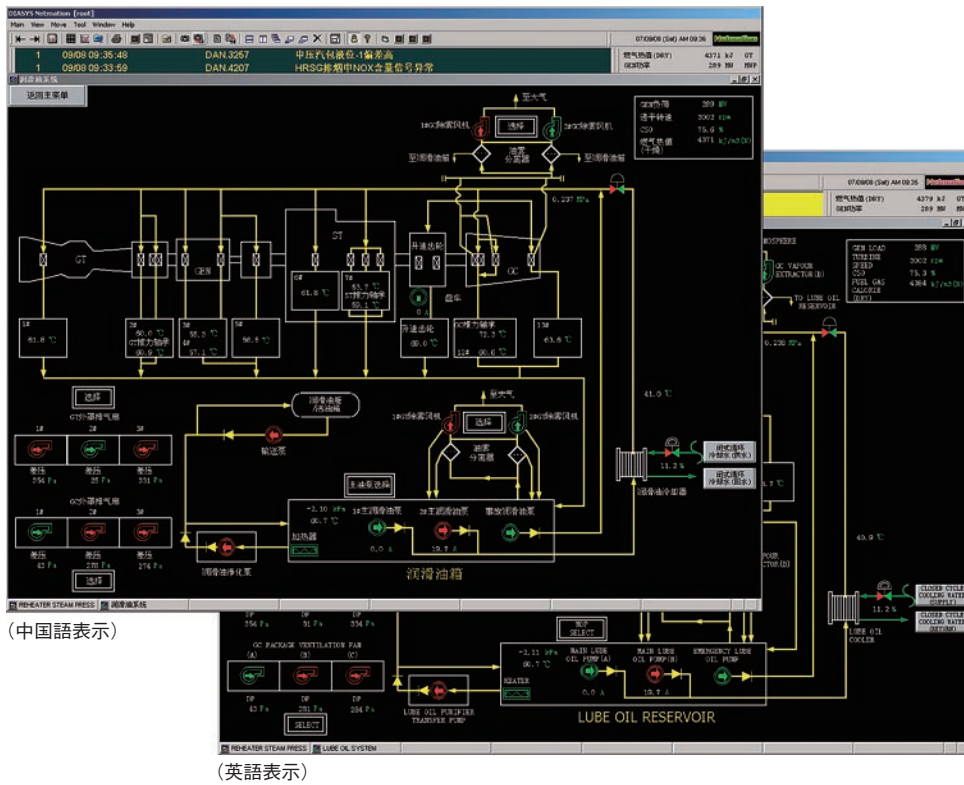


図8 中国語及び英語表示の系統図画面サンプル

4. 建設と試運転工程

当プロジェクトは2004年10月に工事着工となり、工事期間中に2度の厳冬期も経験したが、順調に工事進捗し、2006年4月末に全ての設備の据付が完了した。その後、補機単体試運転調整を経て、9月からは本格的な試運転を開始し、10月初併入、11月に300MW全負荷運転を実施し、2006年末にはほぼすべての試運転項目について運転上問題ないことを確認した。

燃料ガス供給量制限のため一旦試運転を中断し、部分負荷運用を行っていた時期もあったが、2007年4月から試運転を再開し、4月10日に300MWの性能試験及び168時間連続運転を無事完了し、5月10日にプラント引渡しを完了した。

5. 試運転結果と運転実績

5.1 試運転結果

(1) 起動特性

本プラントは、蒸気タービン起動方式を採用しているが、定格速度到達後はHRSG発生蒸気の蒸気条件が蒸気タービンに受入可能となった時点で既設蒸気からHRSGの自缶蒸気に切り替え、運用最低負荷である150MWまで自動で負荷上昇する。150MW到達後は運用に合わせて150～300MWの間で任意に負荷を設定することができる。

停止も自動で行われ、次回ホット起動可能までの時間を短縮するため、負荷降下途中に蒸気温度と蒸気タービンのメタル温度のミスマッチが小さくなるようクーリングを考慮した停止手順としている。起動(着火～全負荷運転)に要する時間は、およそ、ホット起動で90分、ウォーム起動で150分、コールド起動で200分である。

(2) プラント性能

実測性能を表2に示すが、基準条件補正後のプラント出力、プラント熱効率(大気温度15℃、低位発熱量基準)は、計画値を充分満足する結果となった。なお、プラント熱効率は、計画値48.5%に対し51.2%を示し、高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントでは、世界最高水準の値を示した。

表2 実測性能

保証項目	計画値	実測値
プラント出力	300MW	313.9MW
プラント熱効率	48.5%	51.2%

(3) 環境特性

本プラントは高炉から発生する低カロリー副生ガスのエネルギーを電力として有効に回収することで、以下の通り環境保全に大いに貢献している。

まず、本プラントでは中国で一般的な石炭焼き火力発電所ではなく高炉ガスを有効利用出来るコンバ

インドサイクルプラントを導入したことで、同出力の石炭焼き発電所の石炭消費によるCO₂発生量相当として年間約190万ton（約7000運転時間/年）を削減できるものと試算することができる。

次に、高炉ガス中にはN化合物やS化合物が含まれているため、ガス性状によって環境特性は大きく左右されるものの、燃焼特性上、低カロリーであるため天然ガスを燃料とした場合に比べて燃焼によって発生するThermal NO_xが低いため、実機でのNO_x排出濃度は15ppm（15% O₂換算：脱硝装置無し）と非常に低い数値となっている。

5.2 運転実績

プラント引渡しが完了した2007年5月から9月末までの約5ヶ月間のプラント稼働率を表3に示す。

稼働率に影響する因子としては、高炉休風等による計画的な停止も含まれるが、引渡し直後は、プラント側の初期故障等が原因で停止した場合もあり、稼働率の低下が認められたが、徐々に信頼性も向上し、9月には、稼働率100%を達成している。

6. ま と め

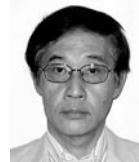
本プロジェクトは中国市場に初導入された本格的な大容量かつ高効率な高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントとして、中国国内でも大きな注目を集めていた。当該設備が順調に稼働したことにより、余剰な高炉ガスの有効利用と、自前電力の安定供給が実現し、環境保全と省エネルギーに大きく貢献出来た。

本プロジェクトの受注を契機に、中国国内では次々

表3 プラント稼働率

年 月	稼働率 (%)
2007年5月度	82.3
2007年6月度	93.0
2007年7月度	91.9
2007年8月度	95.2
2007年9月度	100.0

と高炉ガス焼きコンバインドサイクルプラントが建設中にあり、鞍山鋼鉄の二期工事として遼寧省営口地区で、M701S (DA) 形ガスタービンを使用したコンバインドサイクルプラントの建設も開始されている。これらのプロジェクトは、中国国家発展改革委員会が掲げる“国の省エネ循環経済政策”に合致するものとして、中国の電力安定供給、経済発展に大きな役割を担っていくものと確信する。



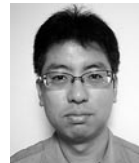
大塚春生



田中聡史



田邊浩史



小畑順司



原田昇一



車学文