



# 残さ油ガス化複合発電プラント向け F形ガスタービンの開発

Development of M701F Gas Turbine for Integrated  
VR Gasification Combined Cycle

園 田 隆<sup>\*1</sup> 小 森 豊 明<sup>\*2</sup> 加 藤 誠<sup>\*3</sup>  
北 内 洋 介<sup>\*4</sup> 岩 好 史<sup>\*5</sup> 秋 月 渉<sup>\*6</sup>  
土 師 俊 幸<sup>\*7</sup> 國 廣 哲 人<sup>\*8</sup>

## 1. は じ め に

近年石油業界においては、主製品の一つであるアスファルトなど重質油の需要が、国内産業・経済構造の変化により減少しつつあるため、新たな活用策として発電プラント用燃料としての用途が高まっている。とくに、減圧残さ油（VR：Vacuum Residue）の活用方法として、都市部での厳しい環境規制にも対応可能なガス化複合発電システム（IGCC：Integrated Gasification Combined Cycle）が最近注目を集めている。当社は、このニーズにこたえるべく、VRをガス化してできたガス（以下、VRガス化ガスと呼ぶ）に類似した低カロリーガス焼きガスタービンの豊富な運転実績をベースに、さらに高効率な高温ガスタービンに適用すべく開発に着手した。本報では、2003年6月30日より新日本石油精製（株）根岸製油所で営業運転を開始した、日本初の残さ油ガス化複合発電プラント（発電端出力：431 MW）向け1350級ガスタービンの設計概要と運転実績等について紹介する。

## 2. VR ガス化ガス焼き IGCC システム

### 2.1 主 要 仕 様

IGCC 複合発電プラントにおける発電設備の主要仕様を表1に、概略系統を図1に示す。当社が担当した複合発電設備は、燃焼温度1350級のM701F形ガスタービン、単車室下向き排気再熱混圧復水式蒸気タービン、再熱三重圧型自然循環式排熱回収ボイラーで構成される。ガスタービンの燃料は、VRガス化ガスを窒素と混合して供給し、蒸気タービン

のガバナはガス化炉へ一定圧の蒸気を供給するため、前圧制御としている。

### 2.2 概 略 系 統

空気分離設備では空気を窒素と酸素に分離し、窒素はガスタービンへ、酸素はガス化炉へ供給する。ガス化炉は、空気分離設備から供給される酸素と複合発電設備から供給される蒸気及びVRを混合して、COとH<sub>2</sub>を主成分とした低カロリーのVRガス化ガスを発生する。本プラントは、VRガス化ガスを空気分離設備から供給される窒素と混合した後にガスタービンへ投入し電力を発生するとともに、ガス化炉設備で必要な蒸気・給水を供給するなど、VRガス化ガス、窒素、蒸気及び給水をインテグレーションした複合発電設備である。

## 3. VR ガス化ガス焼きガスタービンの設計

主機であるガスタービンは実績のある当社標準機 M701F をベースとして、ガスタービン各要素（図2）に対し次の変更を実施した。

### 3.1 燃 焼 器 部

ガス化炉にて生成されるVRガス化ガスは断熱火炎温度が高く、そのまま燃焼させると NO<sub>x</sub> が多量に発生する。このため本プラントではVRガス化ガスに空気分離設備より供給される窒素を混合し、この混合ガスをガスタービン燃料として使用している。本ガスは一般的なガスタービン燃料として知られている天然ガス（LNG）に比べ燃料発熱量、断熱火炎温度が低く、NO<sub>x</sub> の発生量を低減できる。また水素割合が高いため燃焼速度が速く、可燃範囲が広いという特徴をも

表1 複合発電設備の主要仕様

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| 送電端プラント出力           | 342 MW         |
| 発電端プラント出力           | 431 MW         |
| ガスタービン              | 1350 級         |
| 燃 料                 | VR ガス化ガス       |
| 窒素 / VRガス化ガス比率（重量比） | 1.5            |
| 蒸気条件（蒸気タービン入口）      |                |
| 主蒸気 圧力×温度           | 9.8 MPaG × 538 |
| 再熱蒸気 圧力×温度          | 2.9 MPaG × 538 |
| 中圧蒸気 圧力×温度          | 0.7 MPaG × 313 |

大気温度：15℃，大気圧：0.1013 MPaA，相対湿度：60%

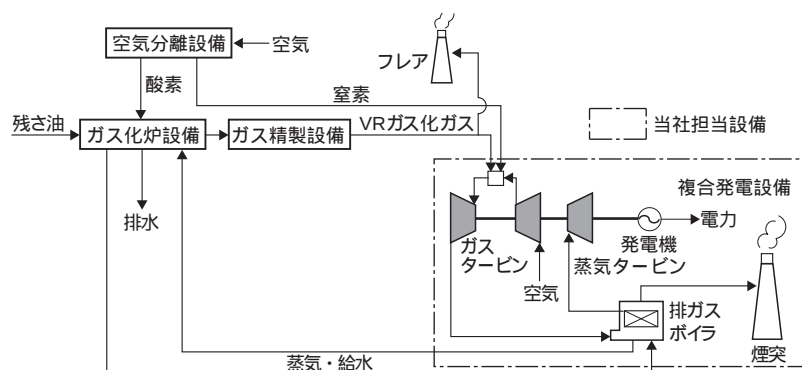


図1 プラント概略系統 IGCCプラント全体の概略系統と当社供給設備を示す。

<sup>\*1</sup> 技術本部高砂研究所制御システム研究室主席

<sup>\*2</sup> 原動機事業本部タービン技術部ガスタービン技術課主席

<sup>\*3</sup> 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術三課主席

<sup>\*4</sup> 高砂製作所タービン技術部ガスタービン計画・推進グループ長

<sup>\*\*</sup> 高砂製作所タービン技術部ガスタービンエンジン開発グループ

<sup>\*\*</sup> 高砂製作所タービン技術部ガスタービン燃焼器グループ

<sup>\*\*</sup> 高砂製作所プラント技術部コンバインドプラント設計課長

<sup>\*\*</sup> 高砂製作所プラント技術部コンバインドプラント設計課

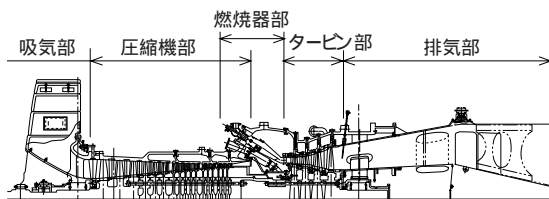


図2 IGCC向けM701F形ガスタービン断面  
IGCC向けM701F形ガスタービンの断面図を示す。

表2 ガスタービン排ガス環境計測結果

| 環境値 | NO <sub>x</sub> 濃度                     | ばいじん濃度                  | SO <sub>x</sub> 濃度                     |
|-----|----------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| 単位  | ppm vol dry<br>(16% O <sub>2</sub> 換算) | mg/m <sup>3</sup> N dry | ppm vol dry<br>(16% O <sub>2</sub> 換算) |
| 規制値 | 2以下                                    | 1以下                     | 2以下                                    |

VRガス化ガス焼き最大負荷運転時：発電出力431 MW

つ。これらの燃料特性から、拡散燃焼器を適用してもガスタービン出口でのNO<sub>x</sub>排出濃度は天然ガスの予混燃焼器並みまで低減可能であり、本プラントにおいては燃料性状の変動に対し安定燃焼が可能な拡散燃焼器を採用している。

また、本プラントではガス化炉起動前に灯油焼きによりガスタービンを先行起動する必要があるため、ガス及び油のデュアル燃料焼き対応が可能な燃焼器となっている。

### 3.2 圧縮機部・タービン部

タービン入口温度一定の場合、低カロリーガス焼きでは通常の高カロリー燃料焼きに比して燃料量が増加するためタービン通過燃焼ガス量が増加する。高炉ガスなどを用いた従来の低カロリーガス焼き機では圧縮機を標準機に比べて小型化し、吸気量を減少させてタービン通過流量を標準機並みに低減させる手法をとるが、本プラントでは出力向上を図るべく、吸気量を標準機と同等としている。このため燃料量の増加により標準機に比べて圧力比が高くなり圧縮機のサージングに対し厳しい条件となる。本IGCC向けガスタービンでは、タービン1段静翼の取付け角変更にて圧力調整を実施するとともに、圧縮機を高圧力比仕様に変更する対策を施している。

## 4. VRガス化ガス焼きIGCC運転方法

本プラントの起動では、発電設備を先に起動し、発生電力にて空気分離設備を立ち上げることで、空気分離設備による多量の消費電力を抑え、平行してガス化炉の起動準備を行う。

空気分離設備起動完了後、複合発電設備側との蒸気・給水のインテグレーションを行い、ガス化炉設備を起動・昇圧し、ガスタービンが灯油からVRガス化ガスに燃料を切り替える負荷まで負荷上昇する。その際、ガス化炉から発生するVRガス化ガスは、燃料切替え完了まで焼却処理される。ガスタービンは燃料切替え後、ガス化炉から発生したVRガス化ガスを燃料とし、空気分離設備から供給される窒素ガスと燃焼器前で混合したガスを燃焼させ、発電機を回し発電する。

## 5. VRガス化ガス焼きIGCCの運転実績

ガスタービンの起動用燃料として使用する灯油での運転からVRガス化ガス運転への燃料切替え時の運転データを図3

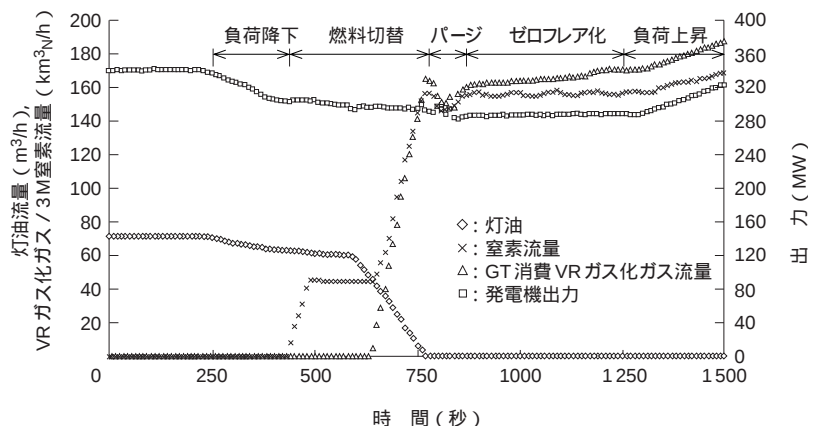


図3 燃料切替え時の運転結果  
燃料切替えにおけるプラント挙動の時系列変化を示す。

に示す。燃料切替えの概略手順は以下のとおりである。

負荷降下：灯油焼き運転にて燃料切替え負荷であるGT200 MW（発電端出力約300 MW）まで負荷降下する。

燃料切替え：ガスタービン燃料を灯油よりVRガス化ガスと窒素の混合ガスへ切り替える。燃料切替え中に大きな負荷変動はなく、良好に移行できている。

燃料切替え後パーズ：VRガス化ガスへの燃料切替え後に、ガスタービン上流灯油配管のパーズを行う。

ゼロフレア化：燃料切替え中はガス化炉より供給されるVRガス化ガスを焼却処理しているため、燃料切替え完了後にVRガス化ガスの焼却処理を停止させる。

負荷上昇：運用負荷まで負荷上昇を行う。

VRガス化ガス焼き運転時におけるガスタービン排ガスの環境規制値を表2に示す。VRガス化ガス焼き最大負荷（発電端出力431 MW）運転時における環境計測の結果、規制値をすべて満足する良好な結果が得られた。

## 6. ま と め

2003年6月より営業運転を開始した世界最大ユニット容量のVRガス化ガス焼きIGCC複合発電プラントの発電設備に関し、設計要領と運転実績について記した。

エネルギー資源の有効活用や環境負荷低減のニーズにこたえるべく、より一層の技術開発に努め、今後とも当社はこの分野での先駆的な役割を果たしていく所存である。

