

950℃級高温追焼き排熱回収ボイラの計画

Development of High-Temperature Supplementary Fired HRSG

藤井 篤之 原動機セクター原動機プラント事業部プロジェクト部
桑原 幹男 原動機セクター原動機プラント事業部プロジェクト部 主幹
長尾 隆央 技術開発本部基盤技術研究所熱・流体研究部
井元 学 株式会社アイメックス 大阪支社 支社長

ガスタービンコージェネレーションシステムにおいて、排熱回収ボイラの発生蒸気量を増加させるため、ダクトバーナを用いて追焼きを行う。高い蒸気需要に対応可能な高効率プラントとして、既設の重油焼きボイラに代わる追焼き装置付コージェネレーションプラントが計画された。950℃に達する高温追焼き排熱回収ボイラのダクトバーナの燃焼性能、壁面材料の耐熱性能、ダクトバーナ配置による壁面温度予測およびダクトバーナ上流の整流構造について、各種の検討を行い、設計の妥当性について検証した。

To meet demand for high steam production rate, a high-efficiency cogeneration plant has been planned to replace old heavy oil combustion boilers, which is known as the high-temperature supplementary-fired cogeneration system. A gas turbine cogeneration system mounted with a duct burner is now used to increase the steam capacity of Heat Recovery Steam Generator (HRSG). The design temperature of duct-fired flue gas was set at 950°C. This paper describes results of design verification of the following points; combustion characteristics of the duct burner, heat resistance of inner wall materials, prediction of maximum temperature for the inner wall, and design for uniform flow distribution in the burner inlet duct.

1. 緒 言

ガスタービンコージェネレーションシステムは、約500℃の高温のガスタービン排気をもつ熱エネルギーを排熱回収ボイラ(HRSG: Heat Recovery Steam Generator)を用いて回収し、エネルギーの有効利用を図っている。

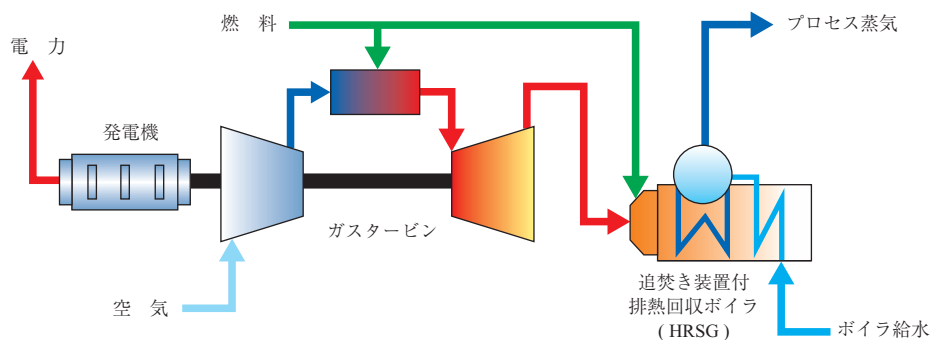
ガスタービン排熱回収のみでは必要な蒸気流量(または蒸気温度)が得られない場合に、HRSG上流にダクトバーナを設置し、追焼きすることでボイラへの入熱を増加させて対応する⁽¹⁾。追焼き装置付ガスタービンコージェネレー

ションシステムの模式図を第1図に示す。

追焼き装置付HRSGは、追焼き量を変化させることで、ガスタービン発電の電力需要とは無関係に、蒸気(熱)の需要に応じて、蒸気量を増減させることができる。

こうした蒸気量の需要に対応可能な高効率プラントとして、既設の重油焼きボイラに代わる追焼き装置付コージェネレーションプラントが計画され、現在、据付け工事中である。

本稿では高温仕様となるHRSGに焦点を絞り、その計画の内容を報告する。



第1図 追焼き装置付ガスタービンコージェネレーションシステム
Fig. 1 Gas turbine cogeneration system with a duct burner

2. 計画主仕様

追焚き装置付コージェネレーションプラント計画の主仕様を次に示す。

ガスタービン	
機 種	LM2500PJ (General Electric 社製 : アメリカ)
排気温度	520℃以上
ダクトバーナ	
形 式	水平5ランナ式
追焚き燃料	天然ガス
追焚き後温度	950℃ (最高)

HRSG

形 式	横型自然循環式水管ボイラ
最大蒸発量	75 t/h
蒸気温度	517℃ (過熱器出口)
蒸気圧力	9.3 MPa (過熱器出口)

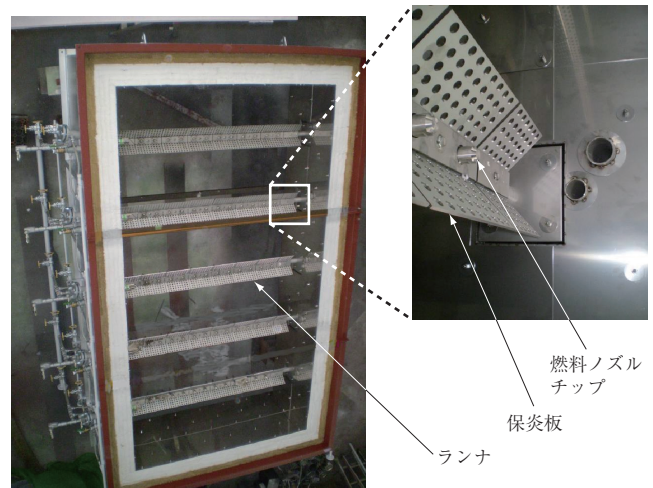
蒸気需要に対応するためには追焚き後温度を高める必要があり、信頼性、経済性を考慮のうえ、上記の主仕様が決定的された。ここで、追焚き装置は一般的なダクトバーナとし、ダクトバーナ後の燃焼室(ダクト)には水冷壁構造を採用せず、内面保温構造とした。

3. 検 討

950℃級高温追焚き HRSG の検討課題を第1表に示す。①ダクトバーナの信頼性 ②壁面金属パネルの耐熱性 ③壁面温度の評価 ④ダクトバーナ上流の偏流の抑制、が主な検討課題である。

3.1 ダクトバーナ燃焼性

追焚きに用いるダクトバーナを第2図に示す。ガスタービン排気ダクト内を水平に横切るように、ランナと呼ばれ



第2図 ダクトバーナ
Fig. 2 Duct burner

る燃料ガスマニフォールドが設置され、各ランナに複数の燃料ノズルを備える拡散バーナである。ランナにはパンチングメタル保炎板が取り付けられ、火炎の安定が図られている。

追焚き量の増加によって、燃焼後の酸素濃度低下による火炎安定性の低下および火炎輻射によるバーナ自身の耐熱性が問題となる。この検証を目的として、ダクトバーナメーカーの燃焼試験炉でガスタービン排気温度、酸素濃度、流速を模擬した実燃焼試験を行った。試験条件を第2表に示す。

燃焼試験炉で観察された火炎の状況を第3図に示す。広いターンダウン(燃焼量調節幅)範囲で、つねに安定した燃焼が確認された。また、ダクトバーナ(保炎板、燃料ノズルチップ、ランナなど)の熱的な損傷は見られず、設計の健全性が実証された。

3.2 炉壁の保温・断熱構造

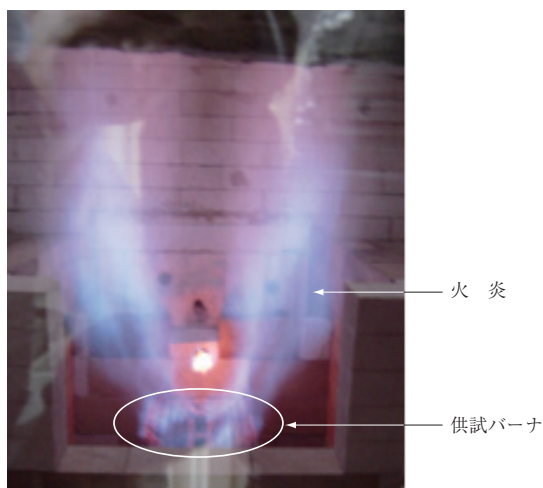
バーナ後の炉壁の構造としては耐火キャストブル(不定形耐火物)、セラミックファイバ断熱材などの種々の候補

第1表 検討課題と検証方法
Table 1 Study items and approaches for verification

項 目	課 題	検 証 方 法	結 果
ダクトバーナ	高ターンダウン 安定燃焼	実燃焼試験 (バーナ要素) 3.1 節	良 好
	耐熱健全性 (保炎板など)		良 好 (耐熱温度以下)
燃 焼 室 炉 壁	壁面耐熱性 (金属プレート)	950℃加熱試験 3.2 節	良 好
	最高温度予測	CFD (燃焼) 3.3 節	良 好 (850℃以下)
整流ダクト	偏流の抑制	CFD 3.4 節	良 好 (圧損の低減)

第2表 試験条件
Table 2 Test conditions

項	目	単 位	試験条件 (最高)	実機計画
ガスタービン 排ガス	温 度	℃	550	525
	O ₂ 濃度	%	13.4	13.8
	流 速	m/s	15.1	15.0
燃 料	バーナチップ数	個	3	60
	発熱量 (チップ当たり)	MJ/h	2 760	2 550



模擬ガスタービン排気

第3図 火炎の状況
Fig. 3 Flame shape

を検討したが、断熱材飛散のリスクを軽減するため、断熱材表面に金属ライナプレート（パネル）を設けることとした。高温部炉壁（ダクト）の断熱仕様を第3表に示す。

高温ガスに触れる壁面金属パネルの耐熱性が問題となるが、壁面金属パネルには、オーステナイト系ステンレス鋼を採用し、実際の設計と同様に熱による伸びを考慮して、壁に取付けたうえで、950℃加熱試験を実施した。パネル取付けの形状（ダクト内壁）を第4図に示す。

2度の起動・停止を含む合計12時間の加熱試験で、壁面金属パネルおよび取付け金具類に大きな変形、割れなどは見られず、950℃の環境に十分に耐えることを確認した。

第3表 ダクトの断熱仕様
Table 3 Insulation specifications for duct wall

項 目	材 質	最大厚さ (mm)	パネルサイズ (mm)
ライナプレート	NAR-AH-4	3	600×600
断熱材（内層）	けい酸カルシウム	150	-
断熱材（外層）	グラスウール	150	-
外壁構造材	SS400	6	-



第4図 ダクト内壁
Fig. 4 Duct inner wall

なお、長期の運用においては、高温酸化減肉が問題となるが、こうした高温酸化量はミルメーカの連続酸化試験結果などに基づき、必要となる腐れ代を設けている。

3.3 炉壁温度の予測

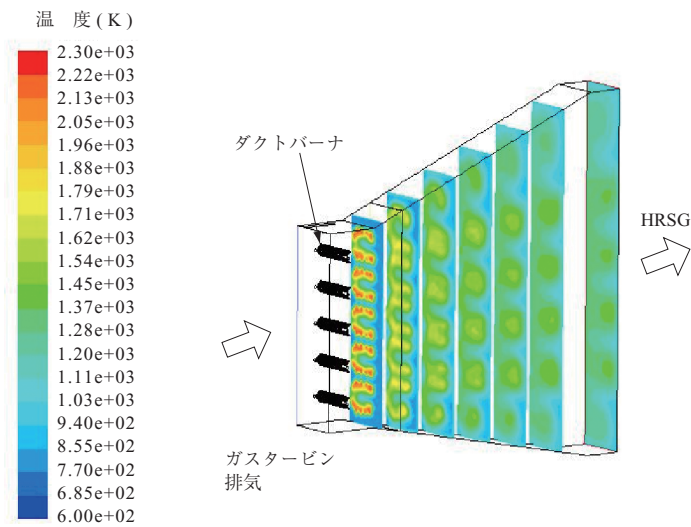
前述の壁面金属パネルの信頼性を確保するためには、金属パネルへの火炎の直接接触を避けることが肝要である。そこで、火炎形状、壁面温度を燃焼数値解析（CFD：Computational Fluid Dynamics）によって予測した。解析にはFLUENT 6.0を用いた。第5図に温度分布（CFD結果）を示す。火炎が広がって壁面に直接接触することはなく、壁面温度は最高でも850℃程度に収まる結果となった。

3.4 ダクトバーナ上流の整流構造検討

ダクトバーナ上流のガスタービン排ガス流れの偏りによって、追焚き後の火炎の偏りや壁面にホットスポットが発生することは、HRSGにとって深刻な問題となる。

ガスタービン排気の局所流速は100 m/s以上に達する。短距離で流路を拡大し、ダクトバーナ近傍では断面平均流速で約15 m/sまで減速しなければならない。また、エルボやディフューザによる偏流の発生を抑制することも要求される。

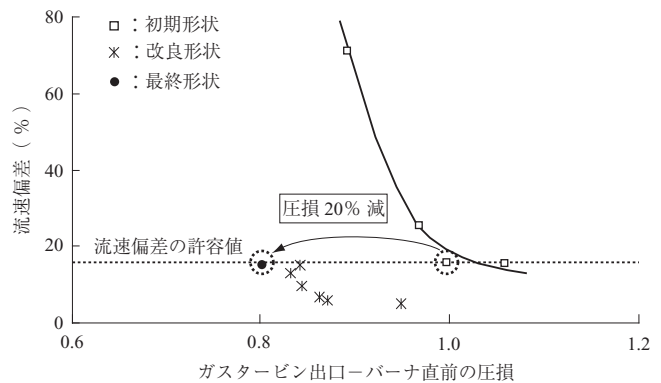
一方で、整流目的でガスタービン排気に圧損を与えることは、ガスタービン出力の低下につながる。圧損低減と



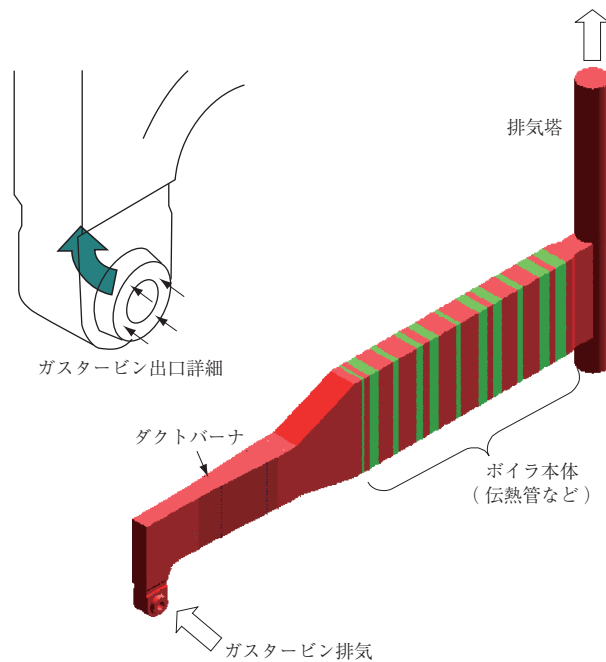
第5図 温度分布 (CFD結果)
Fig. 5 Temperature distribution (by CFD analysis)

整流はトレードオフの関係にあり、両者を考慮してダクト形状を計画した。STAR-CD 3.26 を用いた数値解析によって、整流部の圧損-流速偏差の予測および整流構造を検討した。第6図にCFD解析形状の一例を、第7図に整流部の圧損-流速偏差の解析結果を示す。

当初のダクト形状では、流速の偏差をバーナ設計の許容範囲に抑えるためには圧損が過大となった。しかし、
① 形状変更 ② 整流格子の配置における検討 ③ 抵抗係数



第7図 整流部の圧損-流速偏差の解析結果
Fig. 7 Pressure loss vs. flow deviation



第6図 CFD解析形状の一例
Fig. 6 Sample shape of CFD modeling

の調整, によって偏差を許容値以下に抑えつつ, 圧損を約 20%低減できた.

4. 結 言

追焚き後ガス温度 950℃を実現するダクトバーナ, 壁面断熱構造, 壁面温度予測, ダクトバーナ上流の整流構造について各種検討を行い, 設計の妥当性を検証した.

これらの検討結果は実機設計に反映され, 現在, 据付け中のプラントでの今後の試運転において, 本設計計画の妥当性を検証していく.

参 考 文 献

- (1) Cahrls E. Bankal : Industrial Burners Handbook
CRC Press Inc. (2003. 10) pp. 621 - 643