排気再燃型ガスタービン・リパワリングシステム導入

—高効率コージェネレーションシステム—

日本紙業株式会社技術部 住 出 敏 克

Repowering System with Gas Turbine exhaust gas reburning

—Co-generation System High Efficiency Repowering System—

Toshikatsu Sumide

The Japan Paper Industry Co., Ltd. Engineering Dept.

As an example at recent Co-generation system for industry use, we introduce its characteristic and operational result of Repowering system with exhaust gas reburning which was first applied in Japan. The repowering system is composed of power boiler and steam turbine which were in use, and of 4 MW class heavy-duty gas turbine set newly. The power boiler was reformed to convert heavy oil into city gas, and for conduction gas turbine exhaust gas. This system produces reduction of energy use about 15%, and of NO_x , CO_2 emission about 30%.

1. はじめに

昨今、成層圏オゾン層の保護、二酸化炭素などによる温暖化現象、酸性雨など地球規模の大気による環境問題が数多く提起されており、これらに対して的確に対応することは、今日の環境問題のなかでも重要な課題の一つである。

既設発電用ボイラの燃料を都市ガスに転換する改造工事に伴い、4 MW 級のガスタービンを導入し、その排ガスを改造ボイラの燃焼用空気に再利用する「排気再燃型ガスタービン・リパワリングシステム」を、当社東京工場（東京都葛飾区）に国内ではじめて昨年8月に完成させ、発電比率の向上及び省エネルギーによりエネルギーコストのダウンと、クリーンエネルギー化により地球環境保全に多少でも寄与できる設備とした。

近年、産業構造の高度化・都市化に伴ってエネルギーの需要の伸びとともに電力供給の不足が懸念され、この解消の方法として「自家発電システム」そのなかでも燃料のエネルギーを最初に電力に変え、その後の残存エネルギーを蒸気などで回収する CGS (Co-generation System) は、電力と熱を同時に得ることでエネルギーの利用効率を高めることができるため、

非常に有効な手段として注目されている。

CGS は、昭和 61, 62 年度に行われた通商産業省による商用電力との連系や特定供給の規制緩和により、広範に設備計画されるようになり、そのニーズも加速度的に大きくなりつつある。ニーズが大きくなるにつれ、CGS も多種多様なシステムが生まれつつある。各種システム例を図 1 に示す。その中でも、既設ボイラ・スチームタービン発電設備にガスタービン発電設備を付設し、その排熱を既設スチームタービン発電設備に利用してコンバインドサイクルを構成し、発電電力と熱効の向上を図ろうとするリパワリングシステムが特に注目を集めている。

2. リパワリングシステム

「産業用リパワリング」とは工場に設置されているボイラ・スチームタービン発電設備にガスタービン発電設備を付設し、ガスタービンの排熱を蒸気タービンに利用してコンバインドサイクルを構成するものであり、ガスタービン分の発電電力の増加と排熱利用による効率向上を図る。産業用リパワリングシステムは、図 2 に示すような概念フローであり、次のような特徴を持つ。

(1) エネルギーを多段的に有効利用（カスケード利

注：略語説明

ST (Steam Turbine), IG (Induction Generator), IM (Induction Motor), GC (Gas Compressor), P (Pump)

図 1 ガスタービン発電設備のシステム例

CGS の多種多様なシステムの中でも、発電出力と熱効率の向上を図るリパワリングシステムが注目を集めている。

注：略語説明 ST (蒸気タービン), GT (ガスタービン)

図 2 産業用リパワリング概念フロー

既存の蒸気タービン発電設備にガスタービンを付設し、リパワリングシステムとする。

用)で、従来比で10~30%の省エネルギーが図れる。

- (2) 付設したガスタービン分の発電電力の増加が図れる。
- (3) 省エネルギーにより、工場のエネルギーコストの低減が図れる。
- (4) 環境面では
 - ①既設ボイラ風箱にガスタービンの排気を導入し再燃することで、排ガス総量の削減ができる。
 - ②省エネルギー効果によりCO₂およびNO_xの低減が図れる。
- (5) 「一般電気事業者」側から見れば発電所に対する分散形電源となり、
 - ①新しい発電所立地を必要としない。
 - ②建設費費用の負担がない。

などのメリットがある。

3. システムの基本計画

3.1 リパワリングシステム導入の背景

東京工場のボイラ・スチームタービン発電設備は昭和42年に設置され、以来26年間無事故で運転され工場の操業に寄与している。工場は東京都葛飾区に位置し周辺は住宅地域であるため、近隣住民の方に対する環境への配慮は非常に重要であり、大気関係ばかりで

なく各種公害規制値を遵守して操業している。ボイラは、燃料にC重油を使用し硫黄酸化物対策のため排煙脱硫装置を付設し、窒素酸化物対策としては低NO_xバーナーチップ、二段燃焼装置などで運転してきた。

東京都では平成3年3月15日、工場または事業場に設置されているボイラによる大気の汚染の防止を目的とし、「ボイラ窒素酸化物排出低減指導要綱」を施行した。今までの窒素酸化物の濃度規制は210 ppmであったが、この指導要綱によると液体燃料を使用した場合110 ppm (O₂ 0%換算) 以下に低減しなくてはならず、液体燃料を使用していたのでは指導基準の遵守はむづかしいと判断し、都市ガス(13A)へ転換することを検討したが、燃料コストの上昇が大きな問題であった。このような背景からボイラの燃料転換と同時に「リパワリングシステム」を導入し、総合的にエネルギーコストの削減と自家発比率の向上を図り、あわせて環境面に配慮したクリーンエネルギー化を実現した。

3.2 システムの概要

本リパワリングシステムのフロー構成を図3に示し、概略説明する。

(1) ガスタービン (写真1)

ガスタービンは、日立製作所が提携した英国EGT (European Gas Turbines Ltd.) 社製で長

図3 日本紙業株式会社システムフロー

ガスタービン排ガスは混合器で大気と混合され、ボイラ燃焼用空気としてボイラに供給される。

写真1 ガスタービンエンクロージャー（内部にガスタービン、発電機、減速機などが入っている。右側下部は潤滑油タンク）

写真2 ガス焚き改造発電ボイラ

時間連続運転に耐えるもので、出力は4,300 kW (at 7℃吸気温度) のヘビーデューティ形「Typhoon」と称し、排ガスの排出量は約65,000 kg/hで、排ガス温度は約500℃である。設置方法はガスタービン・発電機ともに防音構造の屋外エンクロージャーに収納し、ガスタービンの排気出口部分にもサイレンサーを設け、騒音には非常に配慮して設置した。

(2) ボイラ (写真2)

ボイラはC重油専焼（排煙脱硫装置付）の既設をガス焚きボイラに改造し、ボイラ単独運転の場合は大気燃焼方式で、ガスタービン運転中はその排気を取り込む排気再燃方式のいずれも運転可能なものであり、プロセス蒸気量のバランス上から、最大蒸気発生量は72 t/hから62 t/hに変更し、スチームタービンは8,000 kWでそのまま使用している。

(3) 燃焼モード (写真3)

ガスタービンとボイラ間の煙風道にバイパススタックと、ガスタービンの排ガスを大気に放出するダンパ (DM-3) を設けるとともに、低温エコノマイザ入口には大気放出時の排ガス遮断ダンパ (DM-1) を設けた。

①排気再燃モード（常用運転）

DM-1を開きDM-3を閉じることによりガスタービンの排ガスはボイラに導入され、押込通風機よりの大気と混合器で混合されボイラの燃焼用空気として再利用される。

②大気燃焼モード

DM-1を閉じDM-3を開くことによりガスタービンの排ガスはバイパススタックより大気に放出され、ボイラは押込通風機からの大気だけを燃焼用空気として運転される。このモードはガスタービンとボイラがそれぞれ単独運転の場合やガス

写真3 ガスタービン発電設備煙風道

タービンが停機の場合に使用する。

(4) 窒素酸化物排出規制への対応

窒素酸化物は、ガスタービンとボイラがそれぞれ単独運転時には、ガスタービンは「定置形内燃機関に係る窒素酸化物排出低減指導要綱」（平成元年2月1日施行）を、ボイラは「ボイラ窒素酸化物排出低減指導要綱」を遵守するため各々100 ppmをクリアできる設備とした。表1に主要機器の仕様を示し、図4にガスタービンの構造図を示す。

4. システムの特徴

産業用コージェネレーションシステムでは、各工場にマッチしたシステムの構築・設計が必要条件である。とくに、製紙工場の場合は夏季、冬季のプロセス蒸気量の変動、抄紙機の定期修理、紙切れ、大型機器の事故停機などその運転パターンは多種多様であり、これらに充分に対応できるシステムでなければならない。

(1) プロセス蒸気の確保

抄紙工程では、多量の乾燥用蒸気を使用する。そのため安定したプロセス蒸気を供給可能にするボイ

表 1 主要機器の仕様

蒸気タービンは既設で、ガスタービンは新設とする。ボイラ最大連続蒸発量は、実情に合わせて 62 t/h に変更した。

機器名称		仕 様		備 考
1. ガスタービン		●形 式 単純開放サイクルー軸型		新 設
		●出 力 4,300 kW（大気温 7℃で）		
		●回転数 16,500 r/min		
		●燃 料 13 A ガス		
		●NO _x 低減方法 水噴射		
2. 蒸気タービン		●形 式 衝動式背圧タービン		既 設
		●出 力 8,000 kW		
3. ボイラ	最大連続蒸発量	改 造 前	改 造 後	●既設改造 ●燃料転換
		72 t/h	62 t/h	
	最 高 使 用 圧 力	ゲージ圧 912×10 ⁴ Pa	ゲージ圧 912×10 ⁴ Pa	
	過熱器出口蒸気圧力	ゲージ圧 814×10 ⁴ Pa	ゲージ圧 814×10 ⁴ Pa	
	過熱器出口蒸気温度	483℃	483℃	
	燃 焼 方 式	C 重油専焼 大気燃焼	都市ガス専焼 大気燃焼および排気 燃焼	

ラの安定連続運転は、工場の生産に直接影響するのできわめて重要であり、東京工場のようにボイラが一缶の工場では必要不可欠である。

万一ガスタービンがトリップした場合でも、ボイラトリップは許されるものではなく、プロセス蒸気は安定送気されなければならない。そのため状況変化に応じた燃料、燃焼用空気、蒸気圧、給水流量などのボイラ運転上必要なファクターや燃焼モードの切替のためのダンパ (DMP-1, DMP-3) の制御性、応答性追従性を重視して迅速かつ的確な対応動作を図るべく DDC による制御と機器を選定した。

(2) 自家発電比率

リパワリングシステム導入前までは、自家発電電力 (STG) 約 6,000 kW, 商用電力 5,500 kW で年間の自家発電比率は 54% であった。リパワリング導入後は平常時、自家発電電力 (STG, GTG) 約 10,000 kW, 商用電力約 1,500 kW となり年間自家発電比率は 88% を目標に計画した。

(3) 電力逆潮防止

工場の自家発電設備は商用系統と連系されているため、商用系統の逆潮は許容されない、そのため工場の電力負荷が低い時、常に自家発電電力量が工場の電力負荷よりも下回るようにスチームタービンよりも操作性、応答性の良いガスタービンの発電量をコントロールしている (図 5, 6)。

5. 総合エネルギー効率

図 7 に本システム導入前と導入後のヒートバランスを示す。

今回ガスタービンを付設しリパワリングシステムとしたことで、入力エネルギー総量を約 14.5% 削減することができた。

6. NO_x, CO₂ 削減

NO_x は、燃料転換 (C 重油から 13 A ガス) およびリパワリングシステム導入における省エネルギーにより、30% 以上削減できた。また、CO₂ も従来システムに比べ約 30% の低減が図れた。

図 4 ガスタービン構造図

図 5 負荷電力変動

負荷電力の変動に対し、発電機出力一定制御、商用電力一定制御を切り換えて、電力逆潮を防止する。

図 6 単線結線図

自動負荷分担装置により、ガスタービン出力を調整する。

従来システム

リパワリングシステム

注1：この図は、従来システムの入力エネルギー総量を100%としている。

注2：略語説明 STG (蒸気タービン発電機), GTG (ガスタービン発電機)

図 7 ヒートバランス

リパワリング導入前の入熱量を 100%とすると、リパワリング導入後の入熱量は 85.5%で済むことになり、リパワリングによる 14.5%の省エネルギーを図ることができた。

7. おわりに

ここで御紹介した当社東京工場の自家発電設備は、既設ボイラを使用した産業用リパワリングシステムで、導入に当たってはメーカー（日立製作所、バブコック日立）、および都市ガス供給を行う東京ガス、ユーザ

ー（日本紙業）の三者が一体となったエンジニアリングによりシステムを構築し、短納期で現地据付工事も最短期間で完成し、平成 5 年 8 月 10 日、ボイラ、ガスタービン発電設備とも使用前検査に合格し本格運転を開始した。