

# 高効率コージェネレーションシステム

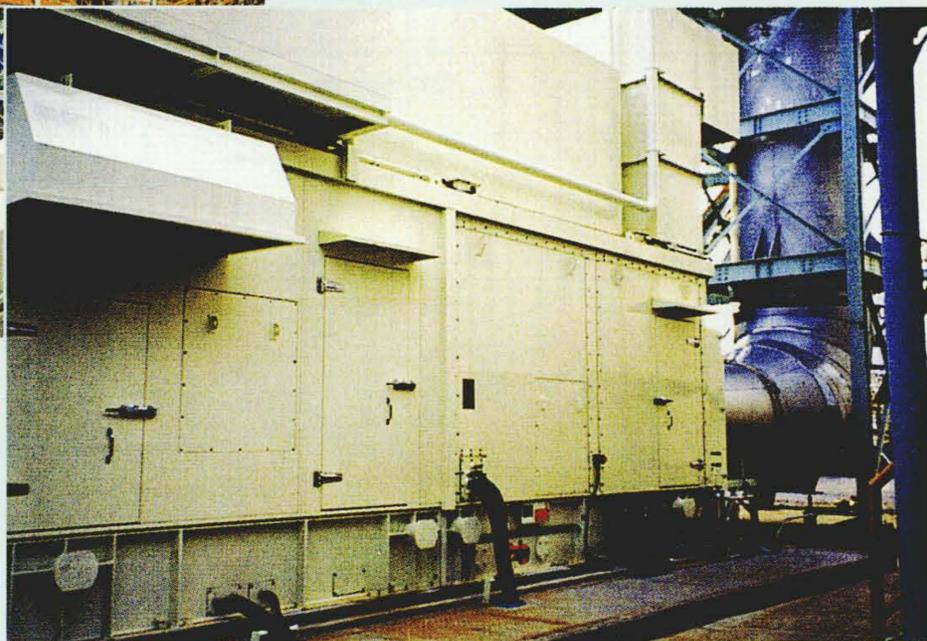
—日本紙業株式会社—

Co-generation System-High Efficiency Repowering System

吉原 穰\* *Yutaka Yoshihara* 梅内 功\*\*\*\* *Kou Umeuchi*  
権田和裕\*\* *Kazuhiro Gonda* 加藤登男\*\*\*\*\* *Norio Katô*  
高山光雄\*\*\* *Mitsuo Takayama*



(a) 日本紙業株式会社リパワリングシステムの全景



(b) ガスタービンの外観

平成5年8月に日本紙業株式会社東京工場で運開したリパワリングシステム 4.0 MW級ガスタービン設備導入による国内初の排気再燃型リパワリングシステムである。エネルギーの有効活用とともに、地球環境保全に貢献している。

産業構造の高度化・都市化に伴ってエネルギー需要が伸び、その結果、酸性雨や温暖化現象といった地球環境保全への対応が求められている。

これらの動向に対し、エネルギーを有効活用するCGS(Co-generation System)は、民生用都市開発の分野だけにとどまらず、一般産業用の分野でも急速に導入されるようになり、そのニーズも加速度的に拡大しつつある。

ニーズの拡大に伴い、CGSも多様化しているが、その中でも、特に熱エネルギーの高効率活用が図れるリパワリングシステムが注目を集めている。

ここで述べる日本紙業株式会社東京工場の自家発電設備は、既設ボイラを使用した国内初の排気再燃方式の産業用リパワリングシステムであり、現在期待どおりの信頼性の高い運転が維持されている。

\* 日本紙業株式会社 技術部 \*\* 日立製作所 日立工場 \*\*\* 日立製作所 システム事業部 \*\*\*\* 日立製作所 機電事業部  
\*\*\*\*\* バブ日立エンジニアリングサービス株式会社 技術本部

### 1 はじめに

近年、産業構造の高度化・都市化に伴ってエネルギー需要の伸びとともに電力供給の不足が懸念され、分散電源・昼間の最大電力のピークカット対策・省エネルギーへの真剣な取組みの重要性が力説されている。

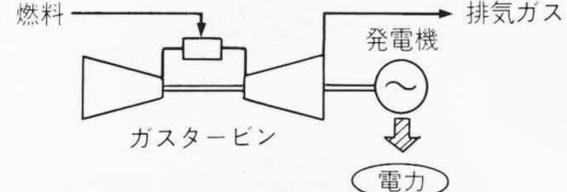
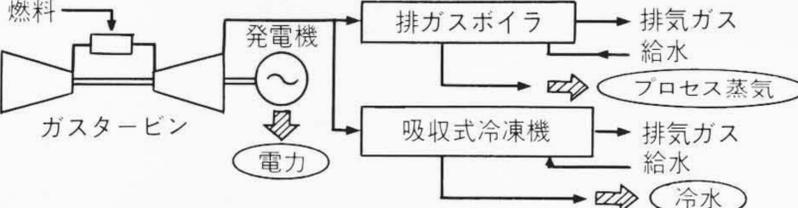
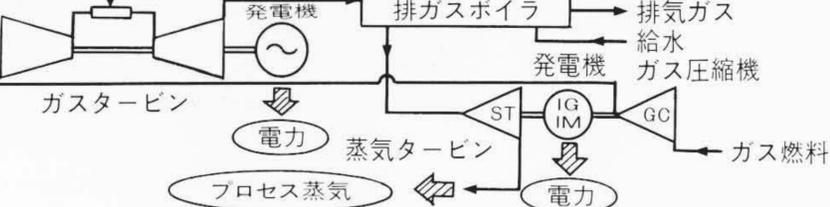
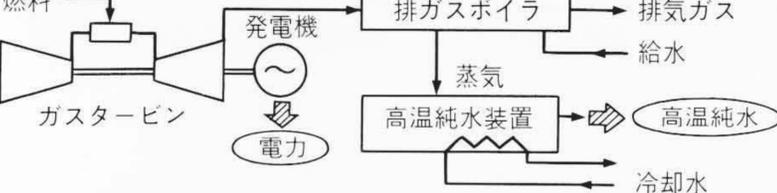
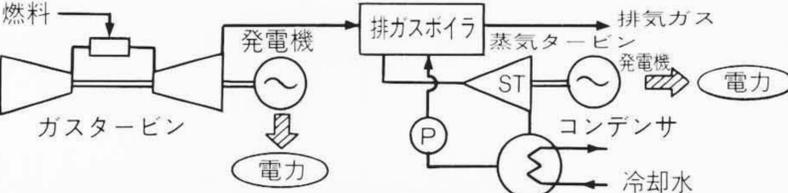
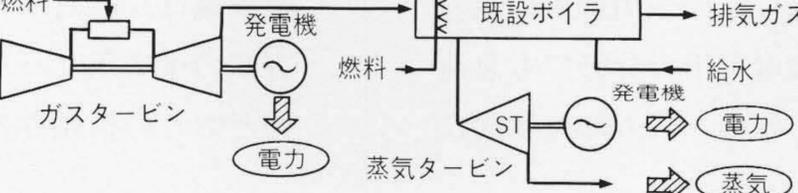
これらへの取組みとして、自家発電システム、特に燃料のエネルギーを最初に電力に変え、その後残存エネルギーを蒸気などで回収するCGS(Co-generation System)が、電力と熱を得ることによってエネルギーの利用効率を高めることができるので、非常に有効な手段として注目されている。

CGSは、昭和61、62年度に行われた通商産業省による

商用電力との関係や特定供給の規制緩和などにより、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・蒸気タービン発電設備にガスタービン発電設備を付設し、その排熱を既設の蒸気タービン設備に利用してコンバインドサイクルを構成し、発電出力と熱効率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。

ここでは、既設ボイラを使用し、ガスタービン排ガスをボイラ燃焼用空気として再利用する、国内で初めての排気再燃方式リパワリングシステムを例にとって述べる。

1. シンプルサイクル		ガスタービン発電機 基本システム	
2. コージェネレーションシステム	<p>発電・蒸気システム</p>		プロセス蒸気および冷水の確保
	<p>メカドラシステム</p>		発電効率向上と補機動力(ガス圧縮機)の確保
	<p>発電・純水システム</p>		高温純水(機械洗浄への利用)
3. コンバインドサイクル		発電効率向上 排熱電力回収	
4. リパワリングシステム		既設ボイラへの排ガスの供給	

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。

## 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・蒸気タービン設備にガスタービンを付設し、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出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(カスケード利用)でき、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出力の増加が図れる。
- (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、省エネルギー効果により、CO<sub>2</sub>およびNO<sub>x</sub>の低減が図れる。
- (5) 事業用火力発電所に対する分散形電源という観点からすれば、
  - (a) 新規の発電所立地を必要としない。
  - (b) 増設分の設備費だけを考えればよい。

などのメリットがある。

## 3 日本紙業株式会社東京工場における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

日本紙業株式会社東京工場：旧亀有工場(以下、東京工場と言う。)には、ボイラ・蒸気タービン発電設備が昭和42年に設置されており、以来約26年間運転が行われて工場操業に寄与している。東京工場は東京都葛飾区に位置

し住宅地域にあるため、周辺環境への配慮は非常に重要なことと言える。日本紙業株式会社の自家発電設備は、C重油を使用(排煙脱硫装置付き)している大型設備である。同社では東京都で平成3年3月から施工された「ボイラ室素酸化物排出低減指導要項」の主旨に従って、既設ボイラの13 Aガス化を検討していたが、燃料コストがネックとなっていた。このような背景から、今回燃料のガスへの転換を実施すると同時に、リパワリングシステムを導入し、エネルギーコストの削減とともに、あわせて環境のよりいっそうの改善・自家発電率の向上を図ることとなった。

### 3.2 システム概要

このリパワリングシステムのシステムフロー構成を**図3**に示す。主要機器の仕様は次のとおりである。

#### (1) ガスタービン

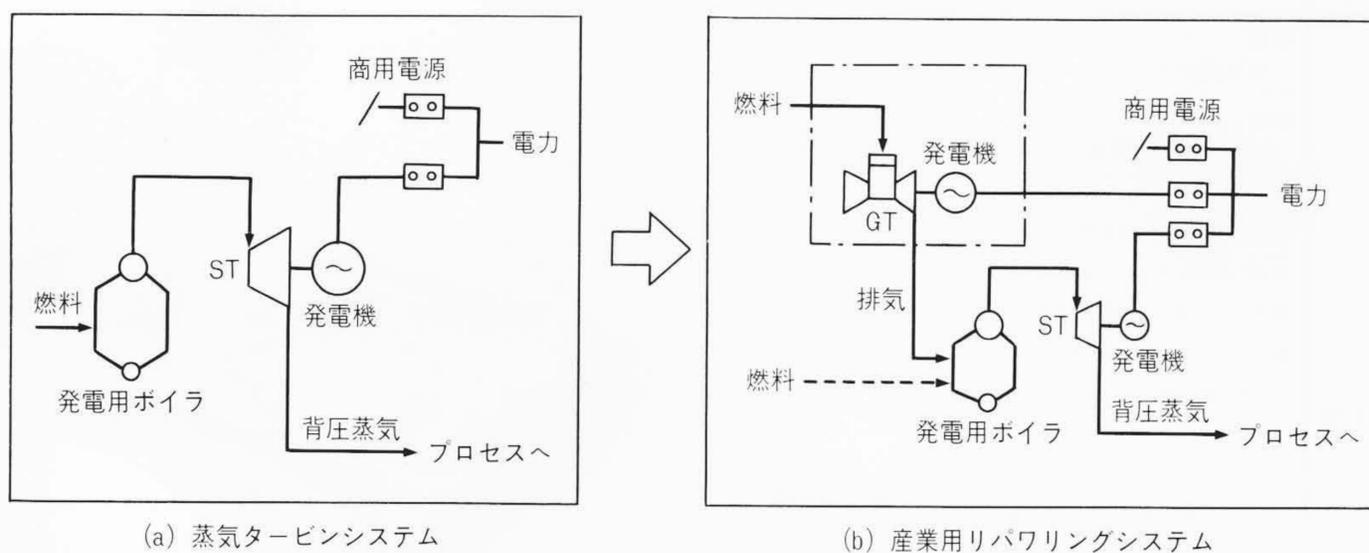
ガスタービンは長時間連続運転に耐えられるヘビードューティ型で、4,300 kW(大気温度7℃で)を出力する。その排ガスは排出量約65,500 kg/h、温度約500℃である。

#### (2) ボイラ

既設の改造により、燃料転換とともにボイラ単独・排気再燃のいずれの運転も可能とした。最大蒸気発生量は62 t/hであり、バーナは排気/大気兼用の新型としガスタービンの背圧を下げるため、バーナ、節炭器、空気予熱器などを低圧損型とした。

#### (3) 煙道

ガスタービンとボイラ間の煙道に、ボイラバイパススタックとガスタービン排ガス大気放出ダンパ(DMP-3)を設置するとともに、低温エコノマイザ入口には、大気



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。

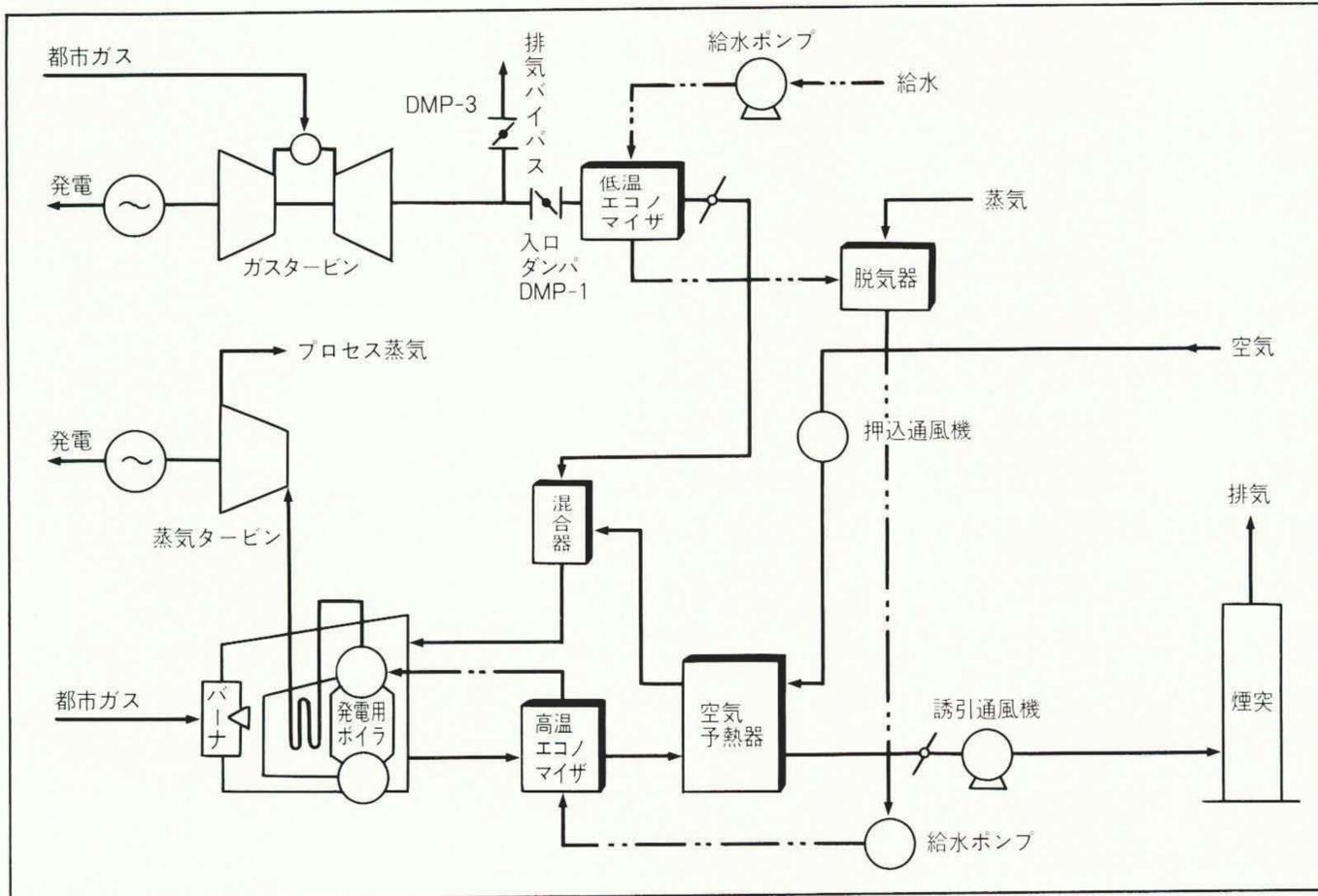


図3 日本紙業株式会社システムフロー ガスタービン排ガスは混合器で大気と混合され、ボイラ燃焼用空気としてボイラに供給される。

放出時のガス遮断ダンパ(DMP-1)を設ける。排気再燃時にはDMP-1を開き、DMP-3を閉にすることによってガスタービン排ガスをボイラに導入する。また、ガスタービン・ボイラ単独運転時には、ガスタービン排ガスをバイパススタックから大気に排出し、ボイラは、押込通風機からの燃焼用空気だけで運転することとした。

主要機器の仕様を表1に、ガスタービンの構造を図4に示す。

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62t/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°Cで)	
	●回転数	16,500 r/min	
	●燃料	I3Aガス	
	●NOx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 72 t/h 改造後 62 t/h	●既設改造 ●燃料転換
	最高使用圧力	ゲージ圧 $912 \times 10^4$ Pa	
	過熱器出口蒸気圧力	ゲージ圧 $814 \times 10^4$ Pa	
	過熱器出口蒸気温度	483 °C	
	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	

#### 4 リパワリングシステムの特長と効果

##### 4.1 システムの特長と確立条件

産業用CGSは事業用発電所とは異なり、使用者側のニーズに合わせたシステムの構築・設計が特に必要条件となる。したがって、多様化する使用者の要望にこたえるための適切なシステムエンジニアリングこそが、CGS導入成否の重要な要素となる。特に製紙工場の場合、夏季・冬季のプロセス蒸気の変動、大型機器の補修、原料切れ(紙切れ)による主要電動機のトリップなど、その運転パターンは多種多様であり、これらに十分対応できる

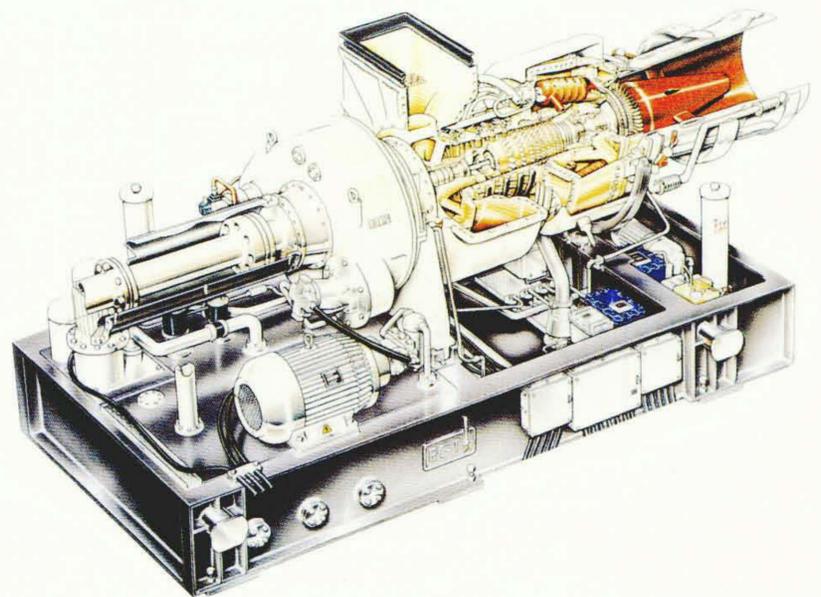


図4 ガスタービンの構造 ガスタービンは、長時間連続運転に耐えられるヘビーデューティー型である。

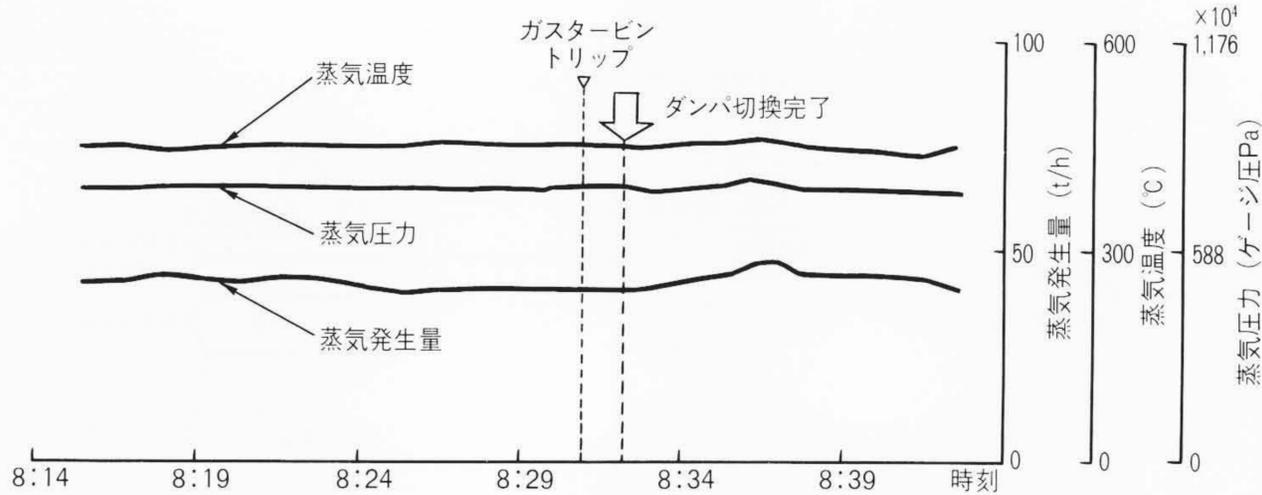


図5 ガスタービントリップ時のボイラ単独運転への移行  
ボイラ蒸気約40 t/h, ガスタービン出力3,600 kW出力運転時で, ガスタービンがトリップしたときの蒸気状態の変化を示す。

システムを確立する必要がある。

(1) プロセス蒸気の確保

製紙工場では, その製造工程で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の供給を可能にするボイ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る。万一ガスタービントリップなどが発生した場合でも, ボイラの停止は許されるものではなく, プロセス蒸気の供給量を一定に保持する必要がある。そこで, ガスタービントリップ時は各ダンパ, 燃料量, 空気量などが予め計画されたバックアップシステムに沿って作動し, この結果, 蒸発量, 圧力, 温度にほとんど変動のない状態で排気から大気燃焼へと自動切換えできることを確認した(図5参照)。

(2) エネルギーコストの低減

製紙工場では, 製品コストに対するエネルギーコストの割合が大きいため, エネルギーコストは直接製品コストに影響する。そのため, さまざまな工場内電力負荷, プロセス蒸気負荷に対しても, 最もエネルギーコストが安価となるように運転パターンを考慮しなければならない。

(3) 自家発電率

リパワリングシステム導入前までは, 自家発電電力約6,000 kW, 商用電力約5,500 kWであったが, リパワリング導入後は平常時, 自家発電電力約1万kW, 商用電力約1,500 kWとなり, 自家発電率が一気に87%となった。工場内負荷が低下した場合には, 自家発電率は90%以上にまでもなることもある。また, 東京工場は24時間操業であることもあり, ガスタービン, 蒸気タービン, ボイラはもちろんのこと, 受・変電設備をも含めた自家発電設備全体に高信頼性が要求される。

(4) 電力逆潮防止

今回の東京工場の自家発電設備は, 商用系統と連係して運用するが, 商用系統への逆潮は許容されない。その

ため工場電力負荷が低いとき, 常に自家発電量が工場電力負荷を上回ることはないように, 蒸気タービンよりも速応性のあるガスタービンの発電量を調整し, 商用系統への逆潮を防止する。具体的には, ガスタービンの制御に自動負荷分担装置を設け, 図6に示すような負荷電力

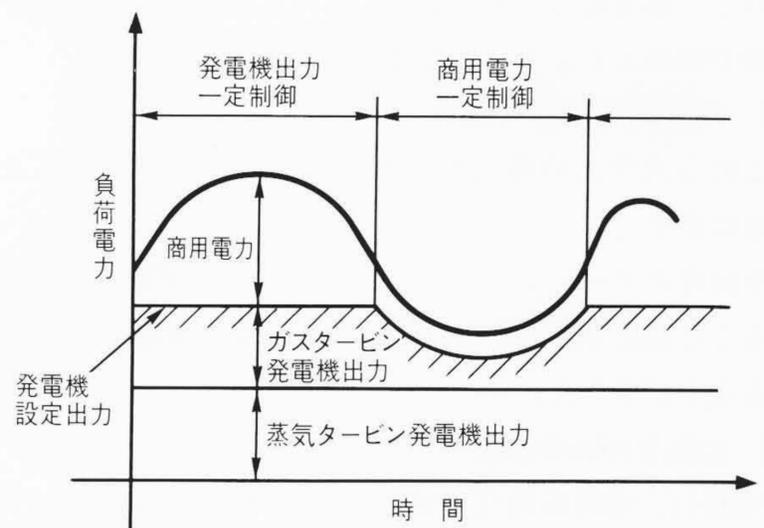


図6 負荷電力変動 負荷電力の変動に対し, 発電機出力一定制御, 商用電力一定制御を切り換えて, 電力逆潮を防止する。

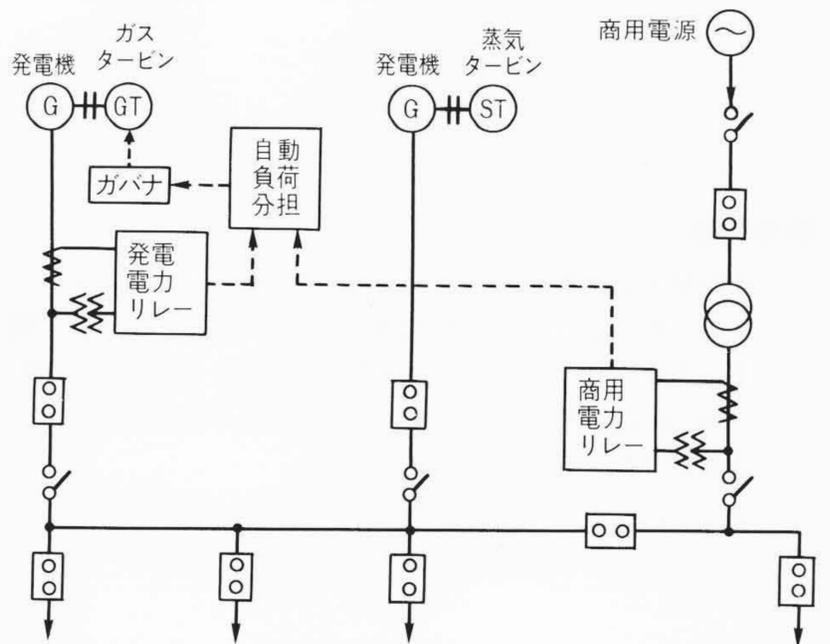
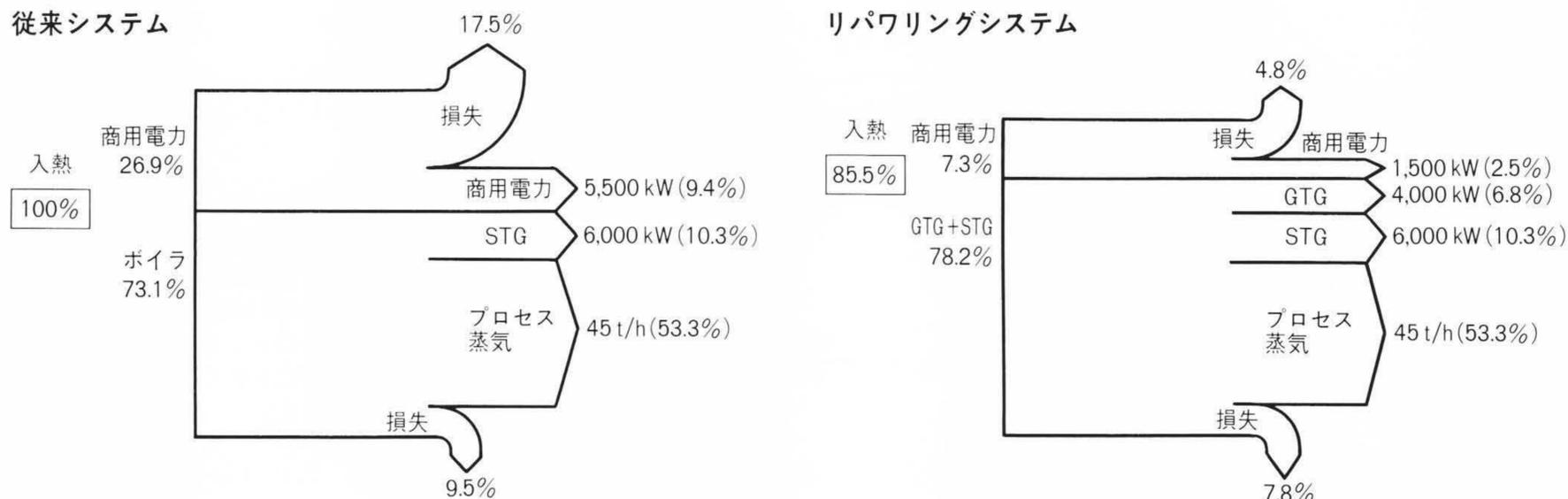


図7 単線結線図 自動負荷分担装置により, ガスタービン出力を調整する。



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8 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。

に対し、商用電力一定制御および発電機出力一定制御を自動で切替えるようにした(図7参照)。

#### 4.2 総合エネルギー効率

このシステムの導入前と導入後のヒートバランスを図8に示す。

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

#### 4.3 CO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の削減

NO<sub>x</sub>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での省エネルギーにより、30%以上削減できた。

CO<sub>2</sub>も、従来システムに比べて約30%低減できた。

## 5 おわりに

ここでは、既設ボイラを使用した国内初の排気再燃方式の産業用リパワリングシステムについて述べた。

日立製作所は、自社工場内に設置した4.0 MW級ガスタービンCGS(平成4年10月稼動)で実証した高信頼性システム技術と、環境エンジニアリングをも含めた総合電機メーカーとしての特長を生かして、リパワリングシステムおよびコージェネレーションシステムに積極的に取り組んでいる。

今回の計画および実績が今後のリパワリングおよびコージェネレーション計画の参考となり、省エネルギー・環境問題に少しでも貢献できれば幸いと考える。

## 参考文献

- 1) 火力原子力技術協会：タービン・発電機(改訂版)(平2-1)
- 2) 遠藤，外：JR東日本川崎発電所コンバインプラントの概要と運転実績，火力原子力発電，No.443，Vol.44(平5-8)
- 3) 平田，外：最近のリパワリングシステムの動向について，日本ガス協会誌，46号(平5-8)
- 4) 猿谷：最近のアメリカにおけるコージェネ事情，コージェネレーション，Vol.7(平4-9)
- 5) 高須，外：小特集「電力ピンチに 대응する」の企画にあたって，電気学会雑誌，Vol.113(平5-5)
- 6) 秀島：コージェネレーションの運転・保守，電気と工事，Vol.33，No.6(平4-6)
- 7) 高田，外：産業用リパワリングシステムの実用化，電気学会茨城支所研究発表会予稿集(平5-11)