

石油・石油化学産業における コージェネレーション

藤田 哲男

1. はじめに

コージェネレーションすなわち熱利用設備において発生する熱を単なる加熱用だけでなく発電用としても利用する方式¹⁾は、実に古くて新しいテーマである。古くは、19世紀後半から燃料節減を目的として採用され始めた経緯があり、その後も製造業において自前でスチームを発生させ自家発電で電力を賄うのが一般的であった。このことは、当時は公共電力供給者としての電力会社の供給信頼性が十分でなく、かつコストも高いことに起因していた。

しかし、発電技術が進歩し電力供給の信頼性が向上したことで、発電規模の大型化により発電単価が低下したことで、電力会社からの電力供給が支配的となり、産業電力の割合は大幅に減少し今日に至っている。

この傾向は電気事業法で電力供給に制約のある日本の場合には特に顕著と考えられる。

一方、1973年から1974年にかけての第1次オイルショックおよびそれに続く1979年の第2次オイルショックを契機として、エネルギー価格が大幅に上昇したことにより再びコージェネレーションを見直す気運が高まってきた。

つまり、できるだけ熱利用効率を改善するため従来からあるスチームタービンによる発電システムに加え、ガスタービンを組み合わせた複合発電システムの導入が各産業分野で検討されるようになった。特にエネルギー多消費産業である石油・石油化学産業において、近年とみにその傾向が進みつつある。アメリカでは、天然ガスをベースとした大規模なガスタービンコージェネレーションプロジェクトが目白押しである。では、日本の石油・石油化学産業の分野のコージェネレーション計画はどのように進められているか、その一端についてふれてみたい。

ふじた てつお 東燃石油化学㈱ 川崎工場
〒210 川崎市川崎区浮島町7-1

2. 石油・石油化学産業のエネルギー体系

エネルギー源および石油化学原料としての石油をほとんど輸入に頼らざるを得ない日本では、産油国のごときエネルギーリッチ地域における石油・石油化学産業に伍して競争力を維持してゆかねばならず、大幅な需要の拡大は望めない一方で省エネルギーを進めなければならないという命題を負っている。元来、石油・石油化学産業ではスチームタービンによるコージェネレーションが主体であり、自家発電とともにスチームを熱源として利用するシステムが組み込まれてきたが、省エネルギーがスチーム需要側を中心として進んだため、自家発電量が抑えられる傾向となり、逆にポリオレフィン事業や新規事業などの下流部門を中心として電力需要が増加するというアンバランスな体系に移行しつつある。

このことを、もっとわかりやすくするために、ここで石油・石油化学プラントにおける一般的な熱利用システムを簡単に図示すると図1のようになる。

この図を見てもわかるように、熱源(プロセスヒート)としての需要があることを想定したトッピングサイクル¹⁾によるコージェネレーションシステムとなっており、このような形式が熱効率としては最適となると考えられる。理論的には、熱効率はボイラー効率と同じと考えていいが、これを達成するにはボイラーなどで発生したスチームを発電または動力源として利用した後、その排気をすべて熱源として利用することが条件となる。したがって省エネルギーが進み熱源としての利用率が低下すると、どうしてもバランスをとるために復水の割合を増加させなければならなくなり、必然的に熱効率は低下する傾向となる。このような関係を図で表わすと図2の通りである。

- 1) トッピングサイクル：ボイラーで発生したスチームを使いタービンで発電するサイクルの一般的な呼び方。逆に低圧系の廃熱回収でフロンタービンなどで発電するようなサイクルをボトムサイクルと呼ぶ。

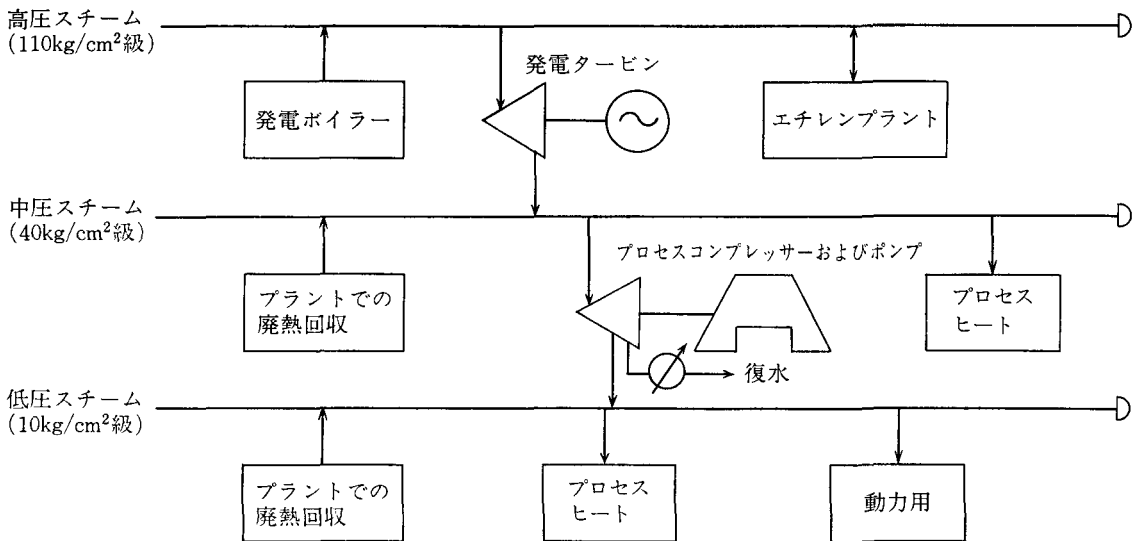


図1 石油・石油化学プラントの蒸気システムの例

蒸気の熱源としての利用率が下り、相対的に自家発電が減少すると、電力需要に応えるためにどうしても電力会社からの購入電力(買電)に依存することになる。

周知の通り日本の電力料金体系は諸外国に比べても非常に割高であり、また料金の中に占める固定費相当分が多い(約70%と言われる)ことで、原油安、円高の状況下でも依然として格差のある状況は変わっていない(図3参照)。このため、費用負担の面からはなかなか軽減されないことになる。

そこで、自家発電量を増加させるため、たとえば復水タービンによる発電システムを有する所ではこれを生かすことも考えられるが、同じ復水方式であれば超臨界圧力発電の買電に比べ、産業用の場合、熱効率が理論的に低く単純な比較では勝ち目がないといえる。つまり、電力会社の平均的な熱効率(発電機端では)は、38%程度だが、産業用ではせいぜい30%に止まるからである。このよう

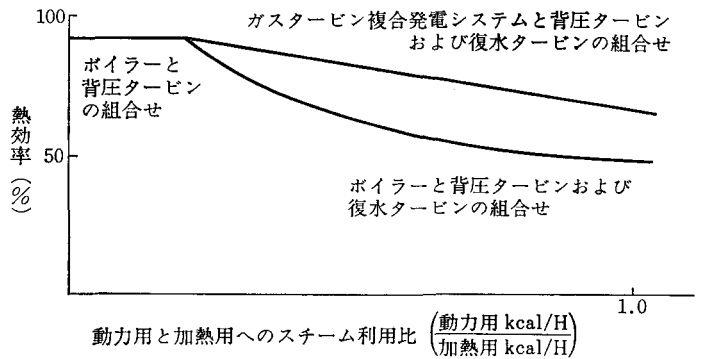


図2 コージェネレーション熱効率の関係

に、プラント内での熱効率が低下し買電への依存傾向が強まる中で、産業側としても何らかの対策を講ずる必要が生じてきたが、ここで蒸気の副産物が少なく発電比率の高いガスタービンとその廃熱を利用する複合発電システムがクローズアップされてきたのである。

3. コージェネレーション体系の変化とその背景

すでに述べてきたように、コージェネレーションシステムの見直しにさいしては、従来からの蒸気タービンによるトッピングサイクルに、ガスタービンなどの内燃機関を加えた複合型発電システムの導入が進められてきている。これらのシステムではガスタービンに限らず、ガスエンジンやディーゼルエンジンを利用する型式もあるが、石油・石油化学産業のような大規模プラントにお

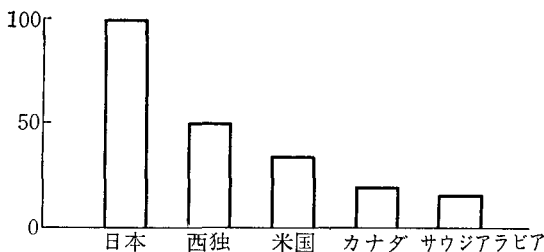


図3 電力料金の国際比較(日本を100とする)

いては、主に以下の理由によりガスタービンが最も利用しやすいものと考えられる。

- ①燃料の多様性—副生ガスや副生油などの余剰燃料の利用が可能である。
- ②発電効率としては高くないが²⁾、廃熱の利用によってシステム効率を高められ、また回収スチーム圧力を高くすることができ、既設とマッチングしやすい。
- ③NO_x 排出抑制技術が進み受け入れやすくなった。
- ④運転の信頼性・容易性および規模の選択の幅がある。いずれにしても、これらの複合発電システム自体はずいぶん前からあるものであるが、これらが急速に導入されるようになった背景を整理してみると以下の通りである。
- ⑤エネルギー価格の高騰に伴って熱効率はできるだけ上昇させる必要がある。
- ⑥プラントにおけるスチーム需要と電力需要のアンバランス化が進み買電依存の傾向が強まっている。
- ⑦副生するスチーム量を抑えられるので、燃料単位当りの発電効率が高い。
- ⑧特にガスタービンの場合は、余剰燃料としてのオフガスや副生油を有効利用できる。
- ⑨従来は、信頼性が必ずしも高くなかったガスタービンだが、近年の技術の進歩でベースロード用としても充分使用できる見通しがついた。

2) ガスタービンの発電効率：近年とみに効率上昇が図られているが、現時点では30%程度が多い。

⑩ガスタービンの高効率化が進んでいる（ガスタービン入口温度は年々上昇してきている）。

⑪省エネルギー設備として見直されたことにより、投資減税や日本開発銀行融資などの優遇措置が講じられるようになった。

⑫1986年以降の逆オイルショックによる原油価格の下落とそれに続く円高の進行で、燃料価格はかなり大幅に低下したにも拘らず買電価格はあまり下らず、ますます割高感が強くなっている。

⑬システムとしての低コスト化が図られ、投資を決断しやすい金額になってきた。

このような背景の下に石油・石油化学産業においてもガスタービン複合発電システムの導入が進みつつある。

これらのシステム導入を推進するに当たっては、必然的に電力会社との競合が避けられなくなるが、エネルギー利用の効率化を進めるためには、国家的見地からさらに積極的にバックアップすべきであると考ええる。

4. ガスタービン複合発電システムの導入状況

4.1 概要

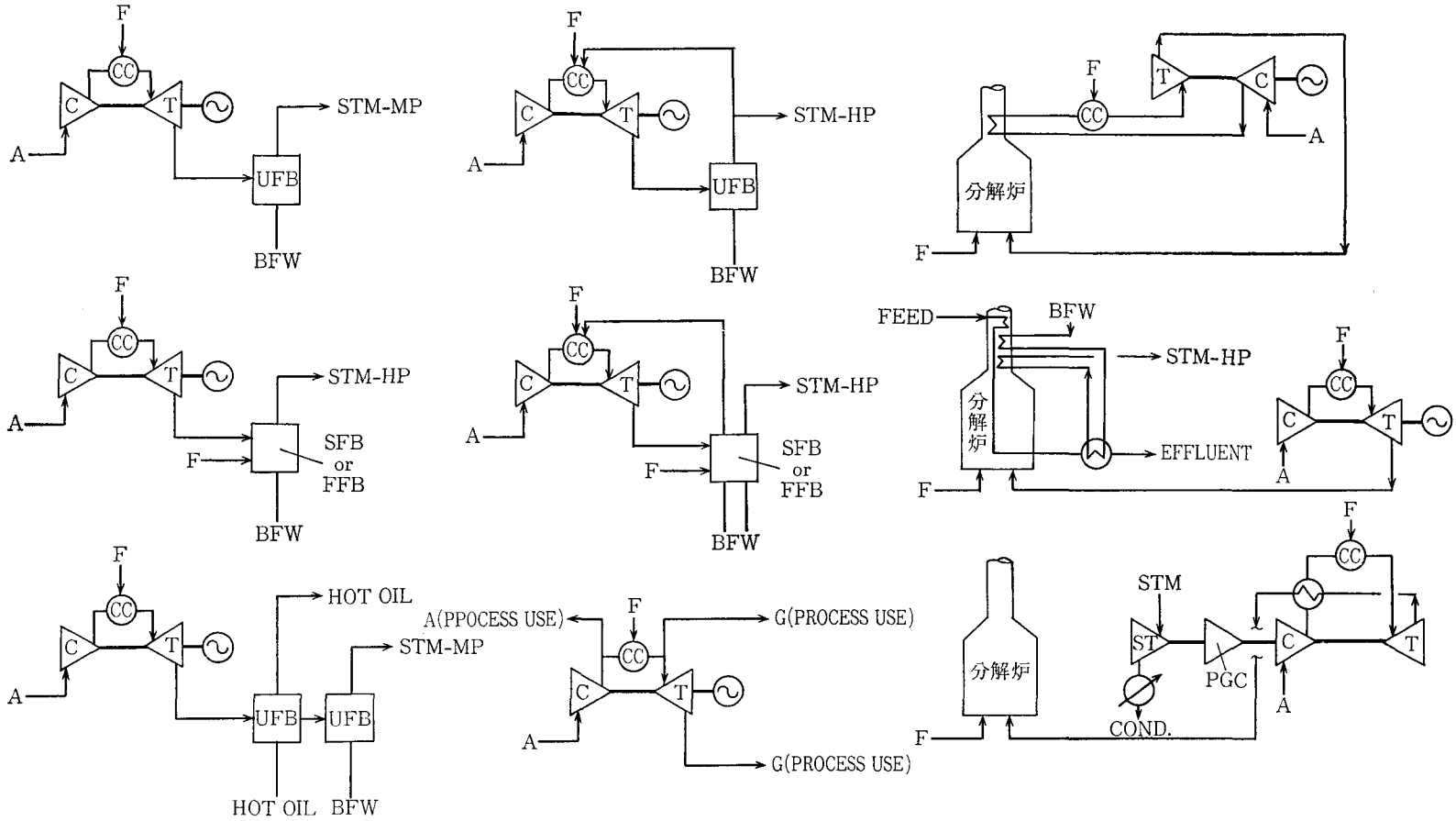
石油・石油化学産業におけるガスタービン複合発電システムは従来のスチームタービンシステムを補完する形であるが、特徴的なのはエチレンプラントの分解炉にガ

3) ガスタービンの排気中の残存酸素は約16%と高く、排気を燃焼用空気として利用できる。

表 1 石油・石油化学産業におけるガスタービン複合発電設備の導入状況

会社および事業所	稼働時期	ガスタービン機種	発電出力 kW	熱回収方法 (1)	スチーム発生量, T/H	燃料の種類
出光興産・山	S. 50年 3月	日立-GE: F-5*	25,000	UFB	54	オフガスまたは重油
浮島石油化学・浮島	S. 60年 3月	三井造船: SB-60	14,000	エチレンプラント 分解	—	炉副生油
出光石油化学・千葉	S. 60年 6月	MHI: MW-251	33,800	エチレンプラント 分解	—	BB炉またはオフガス
昭和四日市石油・四日市	S. 60年 12月	三井造船: SB-120	23,000	UFB	40	オフガスまたはBB
三菱石油・水島	S. 61年 8月	MHI: MF-111	13,500	UFB	21.5	オフガス (バックアップ用にA重油)
三菱レーヨン・豊橋	S. 62年 1月	MHI: MF-111	15,000	UFB	15.1	重油またはLPG
出光興産・愛知	S. 62年 2月	MHI: MF-111	12,900	UFB	21.9	オフガス
丸善石油化学・千葉	S. 62年 7月	MHI: MF-111	10,000	FFB	100	オフガス
昭和シェル石油・崎	S. 62年 11月	MHI: MF-111	12,000	UFB	20.1	オフガスまたはBB
東燃石油化学・川崎	S. 63年 3月	MHI: MW-251	38,000	SFB	140	オフガスまたはBB

* 近く更新される予定



記号説明	: コンプレッサー : タービン : 燃焼器	} ガスタービン F : 燃料 A : 空気 G : ガスタービン排気	UFB : 非助燃式ボイラー SFB : 助燃式ボイラー FFB : 排気再燃ボイラー	ST : スチームタービン PGC : プロセスガスコンプレッサー STM-HP(MP) : 高圧(中圧)スチーム
------	------------------------------	--	---	---

図 4 ガスタービン複合発電システムの種々の型式
 © 日本オペレーションズ・リサーチ学会 無断複写・複製・転載を禁ず。

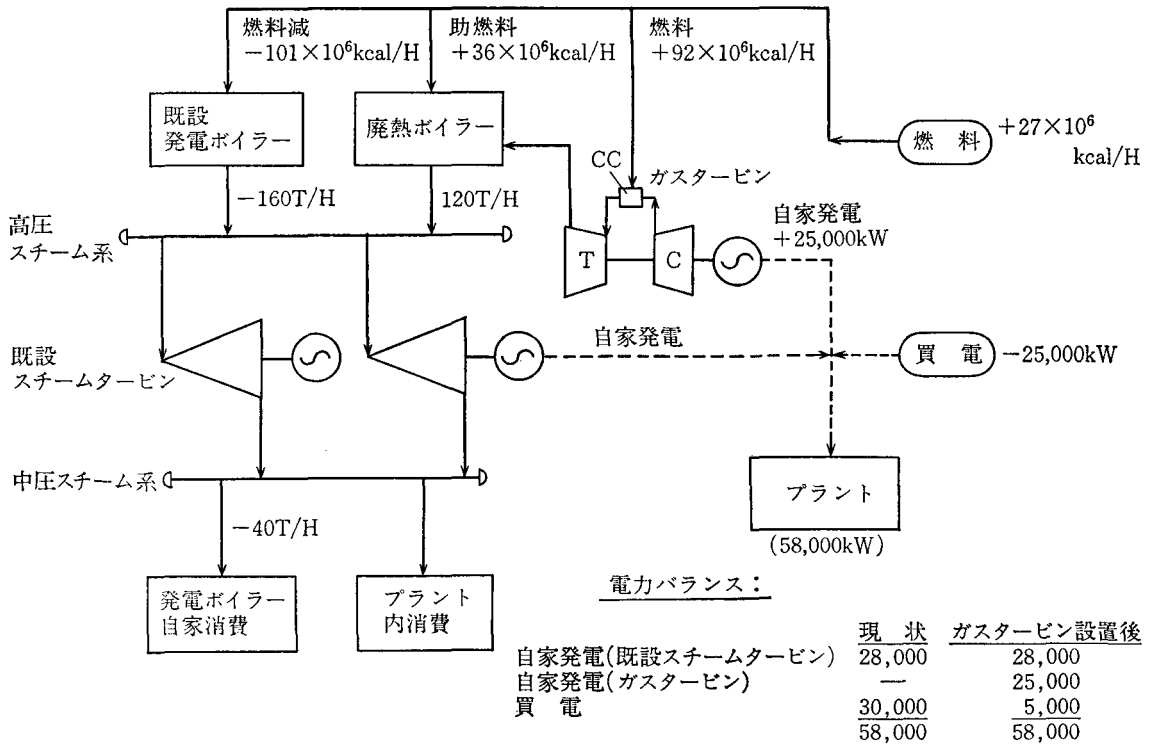


図 5 ガスタービン複合発電システムにおけるスチーム・電力バランス例

スタービンの排気を導入して廃熱回収をする方式をとっている例があることである³⁾、この方式は、新設プラントの場合には採用される例が多く、エネルギー原単位を低減させる上で大いに貢献している。このような例を含めガスタービン複合発電システム型式を図 4 に例示してみた。

これを見てもわかるように、ガスタービンの廃熱回収の方式にも、非助燃式 (UFB: Unfired Wasteheat Boiler)、助燃式 (SFB: Supplementary Fired Wasteheat Boiler)、排気再燃式 (FFB: Fully Fired Wasteheat Boiler) の 3 種類があり、またエチレンプラントの分解炉と組み合わせるにも何種類かの方法が考えられ、各プラントの特徴にあわせたシステムが構成される。

一方、最近の石油・石油化学産業における導入状況を表 1 にまとめてみたが、ガスタービン発電の規模としては、1 万～3 万 kW 程度のものであり、電力会社で設置

された LNG を利用する大規模なシステムで導入されている機種⁴⁾ よりかなり小さいが、日本の場合はこの程度がせいぜいである。アメリカの場合は、石油・石油化学産業においてはかなり大規模にガスタービン複合発電設備を設置する計画が進んでいるが、これは安い天然ガスを利用できることと発生する電力を自家消費以外にも地域の電力会社などに供給できることによると考えられ、日本とはかなり事情が違っている。

4.2 ガスタービン複合発電システムの一例

ガスタービン複合発電システムを具体的な例で示し、その特徴とメリットについて述べてみたい。具体例としては、手前みそではあるが当社 (東燃石油化学) 川崎工場の計画をとりあげた。

当社は川崎市浮島地区で東亜燃料工業とともに、石油精製・石油化学プラントを一体運営し、スチーム・電気などのユーティリティをはじめ、オフガスやナフサなどの半製品類がパイプでつながり、非常に高度にインテグレートされている。しかし、省エネルギーが大幅に進んだためにスチーム需要が落ち込み、ボイラー負荷が当初設計能力の半分にも達しない状態となった結果、発電タービンは背圧タービンであるため自家発電量も抑えら

4) 東北電力東新鴻発電所 (出力計 109 万 kW) の MH I 製: 13.3 万 kW 6 基, 東京電力富津発電所 (出力計 200 万 kW) の GE 製: 16.5 万 kW 14 基。

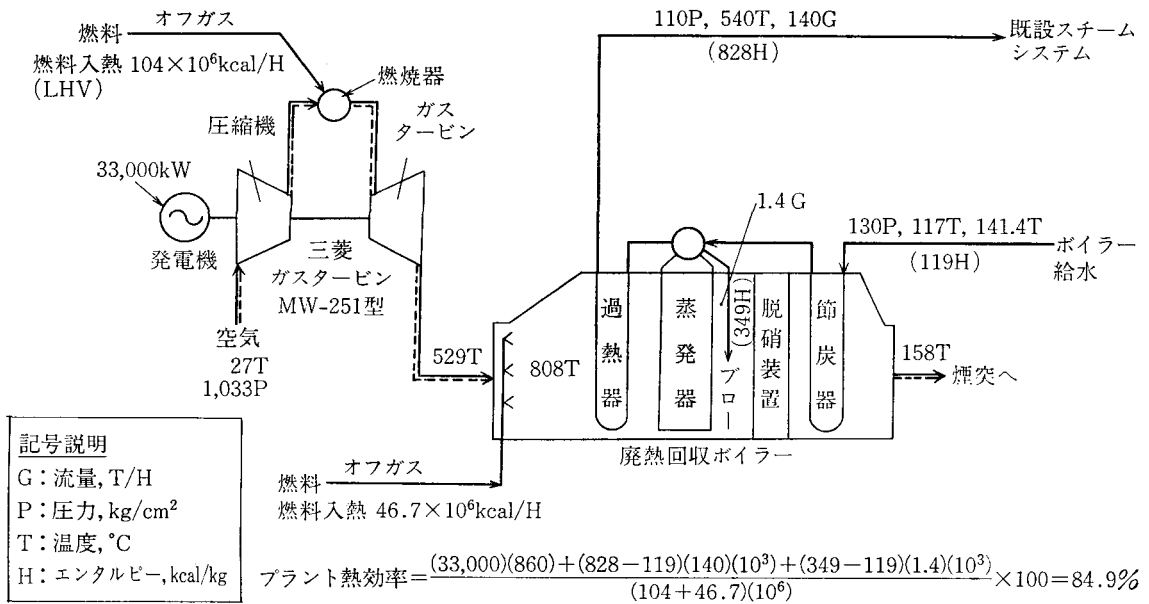


図 6 ガスタービン複合発電設備のヒートバランス例

れることになり、買電依存傾向が強まる一方、オフガスの燃焼処理にも支障をきたすこととなった。そこで、自家発電の増加と余剰オフガスの有効利用を目的として、ガスタービン複合発電設備を計画した。東亜燃料工業へは、電力の特定供給が認められるので、両者一体化してスケールメリットの大きい最大規模の複合システムを指向した。

当工場の場合、電力需要は58,000 kW、スチームタービンによる自家発電が25,000 kWで残りを買電でバランスをとるシステムであるが⁵⁾、これをガスタービン複合発電で置き換えることとし、3万kW級の三菱重工(MHI)製のMW-251(定格出力: 38,000 kW)を選択した(図5参照)。このシステムの経済性は、ガスタービンの排気をいかに効率的に利用するかによって左右されるが、当工場の場合、助燃式廃熱ボイラー(SFB)で、110 kg/cm²の高圧スチームを発生させて既設スチームタービンでの発電を維持できるようにした。この方式での熱効率は、約85%となると予想される(図6参照)。

買電に比べ大幅に省エネルギーを図れることが容易に理解できる。

これらのシステムを設計をする上で留意した点をまと

5) 計画当初は低目に予想していたが、その後需要が増加しているので、実際の発電負荷は3万kW以上となるものと予想される。

めてみると以下の通りである。

- ①ガスタービンの単体効率よりも総合熱効率として最適化をめざす。
 - ②燃料はオフガス(FCC装置からのオフガスを優先的に処理)およびバックアップとしてブタン・ブテン(BB)を利用する。
 - ③廃熱回収はSFBで高圧スチーム発生とし、既設の発電用スチームヘッダーに供給する。
 - ④NO_xの排出を抑制するため、ガスタービンへのスチーム注入のみならず脱硝設備を設置する。
 - ⑤コントロールシステムの信頼性向上—DDCシステムを採用するとともに、当工場のACS(Advanced Control System)に組み入れて、電力デマンドコントロールを可能とする(電気の逆送防止もかねる)
 - ⑥エマージェンシー体制の強化—ガスタービンエマージェンシー時の各プラントの非常停止および東京電力からの予備電力の利用についての考え方を整理する。
 - ⑦夏季と冬季では、スチーム需要が異なり自家発電力にも差異が生ずる。夏季の電力需要の増加に対応できるように、スチーム注入での最大出力を狙う⁶⁾。
- 当工場のガスタービン複合発電設備は1988年3月に本
- 6) 夏季は大気温度が上昇するため、ガスタービン出力が低下するが、これをスチーム注入により補完する。

格的に稼働した。総投資予想額は約50億円である。

4.3 その他の応用例

4.1でも述べたように、エチレンプラントの分解炉と組み合わせて熱回収を合理的に行なう例もある一方で、ガスタービン出力でコンプレッサーを駆動させる方式もあり、いろいろな応用例が考えられる。

今まで、比較的大規模なプラントを例にしたシステムについてとりあげてきたが、必ずしも大規模でなくても熱併給のバランスがとれるならば、たとえば塩ビモノマープラントのように分解炉を有する場合には上記システムの応用が考えられてもおかしくはない。ガスタービン自体も種々のパラエティーをもってきているので、ケースバイケースで詳細に検討を進めることが必要であろう。

しかし、石油・石油化学産業ではこうしたコージェネレーションシステムに利用する燃料を自前で供給できる一つまり余剰燃料を有効利用することで積極的にとりこんできたといえるが、そうでない場合は購入する燃料価格が高くなって、経済性がとりにくくなることも予想される。換言すれば、石油・石油化学産業においては、できるだけ安価な燃料を手当てし、かつスケールメリットを追求しなければならないということである。

5. 今後のコージェネレーションの動向

ガスタービンの技術開発はさらに進められ、高効率化が図られると予想されること、また製造業の分野でも電力指向が続くと予想されるので、電力コスト削減対策と

して複合型コージェネレーションの導入が進められてゆくと考えられる。いずれにしても、その規模は産業用の場合ある程度抑えられることになるので、アメリカのように電力会社とタイアップして電力供給の範囲を大きくできるようにして投資効果を上げられないか、電気事業法の改善—たとえば特定供給の解釈の幅を拡げられないか—を含め行政側の強い支援を得ながら効率化を図ってゆく必要があると考える。

6. おわりに

ここまで、特に石油・石油化学産業を中心としてコージェネレーションの状況をフォローしてきたが、前述したごとくコージェネレーション自体には特に新鮮味はないのだが、これがクロウズアップされはじめたのは、ビルでの熱併給型のパッケージ型のシステムが安価に造られはじめたことや、ガスタービンなどの技術の進歩で信頼性と効率が向上したこともさることながら、何といても電力料金が割高であることが最大のドライビングフォースである。したがって産業用コージェネレーションはさらに利用が進むと予想されるが、公共電力の安定供給の使命をになう電力会社とは、今後とも存共栄の形で、熱利用の合理化が図られれば、これにこしたことはない。

最後に多分に手前勝手な記述になり、石油・石油化学産業を代表して実情を紹介するには力不足だったことをご容赦願いたい。多少なりとも参考としていただければ幸いである。

昭和63年度役員として以下の方々が就任されましたのでお知らせいたします
(●印の方は新任)。

昭和63年度役員

会 長 ●森村 英典 東京工業大学教授
副会長 竹内 啓 東京大学教授
" 矢島 敬二 (株)日本科学技術研修所顧問
" ●反町 洋一 (株)三菱総合研究所情報工学部門長
庶務理事 森清 堯 (株)電力中央研究所経営情報研究室長
" ●腰塚 武志 筑波大学助教授
会計理事 ●平本 巖 (株)電力計算センター技術部長
研究普及理事 西野 寿一 慶応義塾大学教授

" ●忍田 和良 (株)日通総合研究所流通システム研究室長
編集理事 山田 善靖 東京理科大学教授
●伏見 正則 東京大学教授
国際理事 若山 邦紘 法政大学教授
無任所理事 小和田 正 名古屋工業大学教授
" ●権藤 元 近畿大学教授
" ●真鍋龍太郎 文教大学教授
" ●柳沢 浩 沖電気工業(株)生産センター長
監 事 嶋田 正三 法政大学教授
" ●今野 衛司 日本アイ・ビー・エム(株)技術渉外部長