

特集

分散型都市エネルギーシステム

# ガスタービン・ガスエンジン

## Gas Turbine and Gas Engine System

山 岸 一 夫\*

Kazuo Yamagishi

### 1. まえがき

世界的規模で環境問題が論議され、炭酸ガス削減の目的からも省エネルギーが強調される中で、日本では大都市を中心に夏場のピーク時の電力供給不安が指摘されている。

こうした状況の中で分散型電源として、並びに一次エネルギーのカスケード利用技術としての、ガスタービン・ガスエンジンによるコージェネレーション（以下コージェネと略記する）が着目され、順調にその普及のテンポを早めてきた。また電源ではないが、強い電源代替性を持ち、高い省エネルギー性を持つ中小型ガスエンジン駆動によるヒートポンプ（ガスエンジン・ヒートポンプ、以下GHPと略記する）が、販売の歴史はコージェネよりも新しいにもかかわらず、急速に普及が図られている。

本稿ではガスタービン・ガスエンジンによるコージェネ、ガスエンジンによるGHPについて、その普及の実態、電力市場における意義、今後の課題、展望について論じたものである。

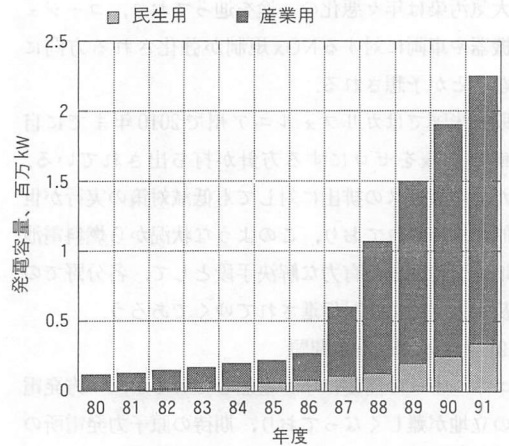
### 2. 普及の実態

#### 2.1 コージェネレーション

日本におけるコージェネは、昭和54年の第二次オイルショック頃から導入が始まり、技術開発の推進、規制緩和等の環境整備が行われる中で順調に発展を続けてきている。

日本コージェネ研究会の集計によると、平成4年3月末現在の導入実績は、産業用が1,910MW、民生用が340MW、合計2,250MWであり、日本全国の総発電量の約1.5%を占めるに至っている（図-1）。

このように産業用が全体の85%を占めているのが特徴的で2度のオイルショックを合理化、省エネで乗り



(日本コージェネレーション研究会)

図-1 コージェネ導入実績 (設置容量)

切った産業界がコージェネの分野でも迅速に対応したことがうかがえる。

#### (1) 産業用

産業用の内訳を原動機別にみると、ディーゼルエンジンによるものが約半分の910MW、ガスタービンによるものが930MW、残りがガスエンジンで70MWである。

ディーゼルエンジンによるコージェネが進んだのは、第二次オイルショック後、世界中で省エネが進められる中でOPECの増産が行われ、需給バランスが崩れ、石油製品の価格が低迷したことによる。産業界は省エネの一環として電力原単位の低減につとめ、安い軽重油を使ったディーゼル発電機の導入を進めると同時に、既設の自衛上の非常用発電設備の常用化を進めた。したがって、中には排熱の利用を行っておらず、コージェネとは言い難いケースや、契約電力量を抑えるデマンド制御型のものも含まれている。

また日本の化学、食品、パルプ産業等の蒸気多消費型産業では、高圧型蒸気ボイラをベースに背圧ター

\*東京ガス(株)研究推進部担当部長，技術士（機械部門）

〒105 東京都港区海岸1-5-20

ビン型のコージェネが古くから活用されていた実績がある。この場合は、蒸気供給が主であるから、発電効率は10%前後と低水準にとどまっていた。

このボイラ型コージェネを、設備更新の機会に、燃料を良質な天然ガスに転換し、高効率ガスタービンを導入して発電と同時に排ガスからの熱回収による蒸気製造を行えば、発電効率は以前の10%から20~31%と向上し、工場全体のエネルギー原単位を大幅に改善することが可能になる。都市ガスによるガスタービン型のコージェネが伸びたのはこの様な理由による。

最近の傾向として夏場の電力不足が深刻になるにつれ、電機、機械産業で自衛的にコージェネを導入する例もでてきているが、バブル崩壊後の景気の低迷からやや伸びがスローダウンしていることも否めない事実である。

## (2) 民生用

民生用に於いてもディーゼルのウェイトは高く、実績値340MWのうち60%を占める。この理由は産業用の場合と同様、オイルコストの低水準により、主に地方都市に於いてホテル、レジャー施設等での普及が進んだことによるものである。その他の理由としては①ディーゼルエンジンはガスタービン・ガスエンジンに比べて生産される機種、量とも多く相対的に低コストである。②発電効率が30%~40%と高い。③電力会社の業務用電力が割高である等が挙げられる。

しかしディーゼルエンジンによるコージェネは、大都市では殆ど普及していない。その理由は排ガス性状による。周知のように東京、大阪等の大都市では、煤塵、NO<sub>x</sub>に対する規制が年々厳しくなっているが、ディーゼルエンジンの現状の技術レベルでは、それへの対応が出来ないからである。

民生用のガスタービンの実績では、MWクラスの容量のものが中心(平均2MW)であり、超高層ビルや地域冷暖房プラントに設置されている。大都市中心に普及している関係上、燃料には専ら都市ガスが使用されている。

このクラスのコージェネの発電効率は20%前後で必ずしも高くなく、蒸気発生割合は約50%ではるかにこの方が大きい。従って、地域冷暖房プラントのように蒸気駆動型の冷暖房システムに適しており産業用の蒸気多消費型業種の場合と類似の側面もっている。

ガスエンジンによるコージェネは比較的小容量のものが中心である(平均300kW)ガスエンジンとして

は専ら車両用ガソリンエンジン、汎用ディーゼルエンジンからの転用型が活用されている。したがってディーゼルエンジンコージェネのように、エンジンをそのまま活用できる場合と比べて、コスト的にどうしても割高になる。また平均容量が小さいこともコストアップの要因となっている。それは制御機器等、容量の大小に関係なく発生するコストが、単位kW当たりのコストを押し上げるからである。

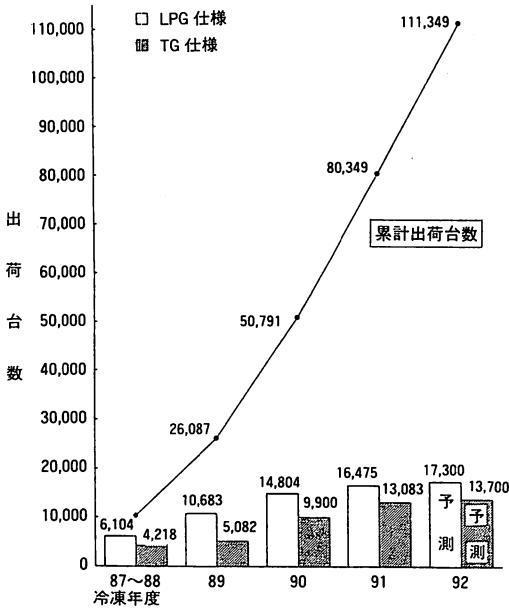
民生用の実績は上記3方式を合わせても全体の15%で、産業用の実績には遠く及ばない。その主な理由として①年間の稼働率が低いこと。②熱電比(熱と電気との比)のミスマッチがあるからである。産業用の場合は装置産業であるから、24時間連続運転される場合が多く年間の稼働時間は6,000~8,000時間と長い。それに対して民生用は昼間稼働型で、稼働時間は2,000~3,000時間で半分以下である。そのため投資回収年数が長期化して経済性が阻害されてしまうケースが多い。

熱電比のミスマッチについてみると、出山側(エンジン側)はガスエンジンで1.5~2、ガスタービンで2~3である。それに対して需要側は事務ビルの1以下から、ホテルの3程度まで業種によりかなりばらつきがあるが、このうち出力側とマッチングするのは、ホテル、病院、レジャー施設だけとなり、最も需要の多い事務所ビルは適合しにくいことになる。但し事務所ビル郡を一括冷暖房する地域冷暖房のシステムは、プラントが蒸気駆動型であれば、熱電比は5近い値であるから、ガスタービンによるコージェネがぴったり適合する。しかし最近では景気の低迷から都市再開発計画が下降気味であり、地域冷暖房そのものが影響を受けている。

## 2.2 ガスエンジンヒートポンプ-GHP

GHPを一口で表現すれば、「ガスエンジンコージェネの発電機の替わりにヒートポンプ用圧縮機をつないだもの」と言うことができる。先の日本コージェネ研究会の産業用コージェネの集計値のなかには、ガスエンジンの動力直接利用(空気圧縮機の駆動など)も含まれている。GHPはヒートポンプ駆動に特化した、ガスエンジンコージェネの一形態である。

電気式ヒートポンプの爆発的普及にともない、民生用のコージェネが電気式ヒートポンプの電源になっている例もしばしば見受けられる。この場合は発電機とモーターを介して、ヒートポンプの圧縮機を駆動するので両者のエネルギー変換効率(動力 $\leftrightarrow$ 電気の変換効率で0.85~0.9程度)が掛かってしまう。GHPは直



資料作成：GHPコンソーシアム

図-2 GHPの生産出荷推移

接駆動であるため、そのような損失を排除している。直接駆動のもう一つの利点は、負荷制御を回転制御で行なうことができる点である。発電機の場合は周波数を一定に維持して負荷制御を行う必要があり（したがってエンジンの回転数も一定）、部分負荷時のエンジン効率は大幅に低下してしまう。GHPはエンジンの回転数を制御しと部分負荷制御を行うことができ、この場合はエンジンの効率はかえって上昇する。最近の電気式ヒートポンプは電力用半導体の進歩により、家庭用、業務用ともインバータを搭載して圧縮機の回転数制御を行い、ON-OFF損失の軽減、ヒートポンプサイクル効率の向上が図られている。しかしこの場合も交流→直流→交流の変換損失（10～15％）高調波によるモーター効率の低下（5～10％）が避けられない。GHPの場合はこのような損失はいっさいなしに、圧縮機の回転数制御によるメリットだけをエンジンの効率を高めながらキープできるのである。

GHPは以上のようなシステム構成上の合理性、各構成要素の特性から、従来方式の冷暖房システムにはない有利性が発揮されているが、これを箇条書きで列記すると以下の通りである。

### 1) 省エネルギー

ガスエンジンの排熱を暖房運転時にフルに活用するほか、部分負荷運転時（ヒートポンプは定常時は殆ど部分負荷運転になる）の効率が高いことからきわめて

省エネルギー性が高い。業務用で10～15％の省エネになり、家庭用で従来システムに比して40％以上省エネになったケースも報じられている。

### 2) 省燃費

省エネルギーがそのまま省燃費につながる。また各ガス会社が割安な料金制度（小型空調機器専用需給契約）を採用しているケースが多く、他方業務用電力が割高なこともあり、電気式に比して50％以上省燃費になる場合がある。

### 3) 設備コストが割安

GHPは、ガスエンジンをはじめ主要構成要素はそのほとんどが自動車部品、電気式ヒートポンプ機器の転用である。更に二次側（室内側）は電気式のものをもそのまま利用している。従って重装備（排熱回収、防音等）な割には機器コストは割安である（電気式の2割高程度）。2)の省燃費と併せて、設備費増し分が1年で回収できる場合もある。

### 4) 快適性

エンジンの排熱利用により暖房の立ち上がりが早く、従来ヒートポンプの弱点とされている外気温低下時の能力低下が小さい。暖房が一次的に停止する霜取り運転も不要となっている。心配されていた騒音・振動についても、充分な対策がとられ電気式と同等になってきている。マンションのベランダに設置された例があるほどである。

GHPは以上述べたような、一般のコージェネとはひと味違った持ち味があるため、昭和61年の販売開始以来順調な立ち上がりを見せている（図-2）。当初は電力デマンド回避志向の市場での、隙間商品的存在であったが、最近ではインテリジェントビルやハイテク工場の空調にも使われるようになった。図-2からも明らかのように、過去5年間の累積販売台数は11万台となり、容量では1台当たりの平均が約7馬力であるから、80万馬力となっている。

## 3. 電力供給における位置付け

現在日本の総発電容量は1億6千万kWと云われる。その中でガスタービン・ガスエンジンにコージェネが産業用・民生用合わせて約230万kW、GHPがkW換算で約50万kW合わせて300万kW弱である。2％弱のシェアでありながら、電力供給における位置付けを論じるのは、いささかおこがましいかも知れないが、もしこれらがなかったら原発3基分の電源確保が必要であったするならば、多少背伸びすることも許される

であろう。

電力会社の電源構成で重要なのは、夏場のピーク負荷時のものであり、このときは表1に示すような構成になっている。即ちベース負荷を受け持つのは、原子力発電並びに大容量火力発電である。これらの電源は年間稼働型であるから、設備費は高くとも極力高効率の発電システムが採用されており、発電効率が43%に達する超超臨界圧気力発電、50%近い高性能コンバインドサイクルシステム等がその例である。

中間負荷を補うのが、貯水池式水力発電、中間火力発電である。これらの電源は主に昼間稼働型であり、毎日の起動・停止が要求される。従って熱効率は低くても起動・停止操作の容易な中容量の電源が当てられる。

夏場の冷房負荷に対応するのが、ピーク負荷用電源であり、この電源としては稼働率が低いので熱効率は余り問題にならず、むしろ立地の容易さ、起動の迅速さが要求される。揚水式発電、単純（複合でない）オープンサイクルガスタービンが代表的なものである。揚水式発電は夜間電力でいったんダムに貯水しておき、昼間再度電気に戻して使用するので、この間の損失を避けられず、元の電気エネルギーは65～70%減ずる。また単純オープンサイクルガスタービンの熱効率は20～30%と低い値である。

以上の電源構成の中にあって、ガスタービン・ガスエンジンによるコージェネ、ガスエンジンによるGHPはどの様に位置づけられるだろうか、それを表1の右側に示した。即ち24時間連続運転で稼働率の高い産業用コージェネはベース負荷に対応し、昼間稼働型の民生用コージェネは中間負荷に対応する。夏場の冷房によるピーク負荷を受け持つのがGHPである。

日本の電力会社の電源の年間平均稼働率は50%台であり、欧米の電力会社のそれ（60～70%）に比して低い。平成4年の夏場のように、景気の低迷からkWhが落ち込み、業務用・家庭用の冷房需要増加により、kWだけが伸びるような傾向が続くとこの稼働率がさらに下がることが懸念される。毎年巨額な設備投資をし続けている電力会社の設備稼働率がこの様に低いのは、国民経済的にみてもマイナスであろう。

産業用コージェネは確かに省エネ効果も大きく、生産工場のエネルギー費用の節減にも貢献している。しかしこの部分だけが突出すると、いいとこ取り（クリームスキミング）のそしりは免れぬであろう。やはり、大きく電力負荷の平準化に寄与する民生用のコージェ

ネ、及び直接的にピークカットに貢献するGHPを同時にのばして、バランスを取っていくことが必要であり、またそうすることがガス会社の季節的な負荷の平準化にもつながる。そのため行政も税制優遇、利子補給等の助成措置を取って支援している。

表1 負荷形態と対応電源

	電力会社	コージェネ・GHP
ピーク負荷	揚水、 ガスタービン	GHP
中間負荷	水力、 中間火力	民生用コージェネ
ベース負荷	原子力、 新鋭火力	産業用コージェネ

#### 4. 今後の課題と展望

##### 4.1 技術開発

現在までに実用化されているコージェネは、ガスエンジン式、ガスタービン式を問わず、技術的には在来技術の延長ないしは組み合わせによるものであった。ガスエンジンとしては、ディーゼルエンジン、ガソリンエンジン転用型がもっぱら利用されている。ガスタービンは、非常用発電機用あるいは小型航空機用のものが転用されている。したがって、性能面、機能面あるいは耐久性の点において必ずしも満足できない場合も少なくなかった。またNOx等環境対策も不十分であった。

このような状況の中で、昭和62年に国のプロジェクトとして、1990年代に総合効率90%のアドバンスト・タイプのコージェネを実用化すべく、「アドバンスト・コージェネレーション技術研究組合」-Act'90が設立された。Act'90は主に民生用分野に横準を定め、①熱負荷の大きいホテル・病院等に適合するシステム②熱負荷は小さいが冷熱負荷の大きい事務所ビルに適合するシステムについて、ガスタービン・ガスエンジンそれぞれ2システムの高効率化、低NOx化、コンパクト化を図った開発を進めてきている。

民間レベルに於いても、市場動向、エネルギー価格動勢、規制緩和（NOxについては強化）等をふまえて、実戦的な技術開発が盛んに行われ、コージェネ導入の初期段階に比べて、性能、低NOx、コンパクト及び価格面で格段に進歩してきている。

新しいシステムの市場導入を図るには性能もさることながら、極力コストを低く抑えることが非常に重要である。例えば発電効率を $\eta$ とすると、コージェネに

よる電力のkWh当たりのコストは

発電コスト (円/kWh)  $A/\eta \cdot (B + \eta)$

(A, B, はそれぞれ燃料コスト, 排熱利用の程度によって決まる常数)

で与えられるが,  $\eta$  に対する円/kWhのカーブは $\eta$ の上昇に伴って緩やかに下降してくるからである。従って高効率を狙うあまり, あまりにコストが上昇することは許されない。

GHPについては, 販売台数も多いことから, ガスエンジンシステムとしてはコージェネの場合より完成度は高くなっている。これは前述したように, ガスエンジン以外は主要部品が, 電気式ヒートポンプと部品が共通であることも幸いしている。最大の課題は2000年をにらんで, オゾン破壊サイクルの成立しない冷媒(例えばHFC)をどう選択していくかであろう。この課題も電気式と共通のものである。

#### 4.2 環境整備

コージェネは省エネに貢献し, 環境対策上も好ましいことから, 国は積極的な規制緩和, 誘導政策を講じてきた。系統連系ガイドライン, 業務用予備電力契約, 特定供給条件の一部緩和, 電気主任技術者不選任制度等がその主たるものである。

平成4年4月には, 各電力会社が太陽, 風力等の自然エネルギー, ゴミ焼却場からの余剰電力と共に, コージェネにおける余剰電力についても買い取り契約制度を新たに設定した。この制度は電力会社がコージェネを公式に認知したという意味でも画期的なことである。しかし買い取り料金のレベルでみるならば, コージェネに十分なインセンティブを与えるものとはいい難い。今後料金レベルのアップと買い取り形態に応じた弾力的運用が望まれる。

さらに特定供給条件については, 現在1建物内だけにしか認められていないため, 地域冷暖房システムの場合のように, 熱負荷が大きいため設置可能容量が充分あってもそれが出来ないケースがある等, 大変窮屈な面がある。民生用コージェネを伸ばすためにも一層の緩和が望まれる。

#### 4.3 将来展望

バブル経済の崩壊により, 現在日本の産業・経済社会は混迷状態にあり, 5年先, 10年先の展望はきわめて困難になってきている。平成2年6月に通商産業省総合エネルギー調査会がまとめた, 日本の長期エネルギー需給見通しにしても, 当時とはバックグラウンドが全く変わってしまった今日では, 見直しの必要性に

迫られているというのが実態ではないかと思われる。

その中でコージェネの将来展望を試みるというのは, 暴挙にも等しいとのそしりは免れないかも知れない。しかし省エネ, 環境問題及び都市の電力需給の緩和が待たなしの命題であるとするならば, 努力目標的に数字を挙げてそれに向けての努力を続けることは必要と思われる。

コージェネの行く末を占う上で重要なのは民生用のコージェネをいかにして普及するかである。昨今の景気の低迷で産業用電力が前年度実績を割っているのに対して, 家庭用, 業務用の電力だけが伸び続け, それらの冷房負荷のために最大電力が増大しているという現実を見てもその重要さがうかがえる。

この民生用コージェネを普及するためには, 前述したように技術開発, 法制面の条件整備が必要であることは論を待たないが, ここで筆者が強調したいのは, コージェネ導入の前提条件として需要側の負荷の平準化(DSM)が必要であるということである。季節的に大きく変動する電力負荷をそのままにして(電気式冷暖房), そこにコージェネを導入しようとしても, 過大な設備容量を強いられて低稼働率に泣くか, いいところ取りをして電力会社にしわ寄せするかのいずれかになってしまう。

ここで, 冷暖房負荷だけを受け持つガスエンジンシステム—GHP—の存在がクローズアップしてくる。まずGHPを導入して需要家側の電力負荷の平準化を図り(吸収式のガス冷房でも等価), その上で熱負荷を勘案してコージェネ導入の可否, 容量の選定を行うのが正しい手順である。GHPは平成4冷凍年度(平成3年10月～平成4年9月)電気式ヒートポンプが前年度実績を割り込んだ市場環境の中で対前年4%の成長を遂げている。しかしヒートポンプ市場全体の中でのシェアはまだ3%程度であり, 今後大きく成長する可能性を持っている。ガス業界(LPGを含む)では上記のシェアを10%に引き上げるのを当面の目標として努力を続けているが, それが順調に進めば2000年時点で累計実績がMW換算で10,000MWになるという試算がある(GHPコンソーシアム)。

コージェネについては, 先の長期エネルギー需給見通しに於いて2000年時点でのガスタービン・ガスエンジンによる在来型コージェネは, 民生用が1,000MW産業用が14,400MW(自家田を含む)となっている。

## あとがき

新聞報道によると、平成4年首都圏の電力供給がピンチに陥ったことが2回あった。ひとつは3月18日の夕刻、もうひとつは9月4日の昼下がりである。いずれも寒さ、暑さも峠を越し、電力会社の給電担当者がほっと一息ついていたさ中、時ならぬ降雪とフェーン現象によって起こった出来事であった。全く天候は気まぐれであり、これに世界一の規模と品質を誇る日本の大電力供給機構が振り回されたことになる。

この、電力需給はお天気次第という農耕社会的体質は、日本の産業・経済社会のアキレス腱であり、ここを是正しなければ健全な発展はありえないであろう。もはや電力需給の問題は一人電力会社に委ねておいてよい時代ではない。石油・ガス等の他のエネルギー供給事業者は勿論、最終需要家をも巻き込んだ、国民的な課題として取り組むことが必要であると思われる。

る。

日本におけるLNG（液化天然ガス）導入は、既に20年の歴史をもち、現在の導入量は3,700万トンと、世界の輸入量の60%に達している。今やLNGは当初の石油代替エネルギーとしての性格から、原子力・石油と並ぶ基幹エネルギーとしての役割を与えられようとしており、ナショナルパイプライン構想も提案されている。このLNGはガスタービン・ガスエンジンによるコージェネ、ガスエンジンヒートポンプによって高い省エネが達成でき、環境対策に貢献し、電力需給問題の解決に寄与する。

## 参考文献

- 山岸一夫；コージェネレーション技術の開発と利用の現状、日本の科学と技術 Vol. 33, No. 264 (1992) p. 76~83  
 山岸一夫；新しい家庭用暖冷房機—GHP—住宅 Vol. 41, 2月号 (1992) p. 54~63

## 共催行事ごあんない 「第30回日本伝熱シンポジウム」開催について

<開催日> 平成5年5月26日(水)~28日(金)  
 <会場> 横浜市開港記念会館  
 (〒231 横浜市中区本町1-6)  
 <参加費> 一般 事前申込 7,000円 当日 8,000円  
 学生 事前申込 3,000円 当日 4,000円  
 <論文集代> 1セット 8,000円 (消費税込)  
 <事前申込締切> 平成5年5月7日(金)  
 (消印有効)

<申込先> 郵便振替口座：横浜 4-8491  
 第30回日本伝熱シンポジウム準備委員会  
 <参加・講演について問い合わせ先>  
 〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1  
 慶應義塾大学理工学部機械工学科内  
 菱田公一  
 TEL 045-563-1141 FAX 045-563-5943  
 <当日受付> 第1日 午前9:00 (予定) より