

■ 展望・解説 ■

# コージェネレーションの現状と技術開発

## Current Status and Technological Trend of Cogeneration

河崎 俊 実\*  
Toshimi Kawasaki



### 1. はじめに

イラク・クウェートに端を発した中東湾岸紛争の危機は、我々の社会生活に多大な影響を与え予断を許さない状況である。先のオイルショックではエネルギーが有限であり、知恵を出しあってエネルギーを最大限有効に利用しなければと認識したはずであったが、上記の紛争が発生するまでは忘れかけていた感があった。一方エネルギーの有効利用システムとしてコージェネレーションシステム（以下CGSと称す）が注目され、民生用においては昭和54年頃から徐々に設置がなされ、最近では言葉としても、マスコミに登場し一般的に認知されつつある。

このような状況の中で、有限であるエネルギー資源を最大限に効率良く利用するCGSの重要性はさらに高まって行くものと考えられる。ここではCGSの取り巻く制度の経緯について触れ、最近出された総合エネルギー調査会の中間報告書、環境白書について概要を述べる。またガス燃料を中心としたCGSの技術の動向・課題について述べる。

### 2. コージェネレーションの現状と最近の制度面の動き

CGSは古くから産業界に実例があり、我が国では既に製紙業界や石油精製業界においてスチームタービンを中心としたシステムでの実績が数多くある。我が国の発電能力は平成元年9月現在で約1億8500万kWで、その内約10%が自家用発電設備である。このうち殆どが産業用で、スチームタービンを利用したものが多く、これらのうち、CGSがどれ位占めるかはCGSとして整理された統計データがないので、その実数はつかみにくい。前述の製紙業界等で採用されている

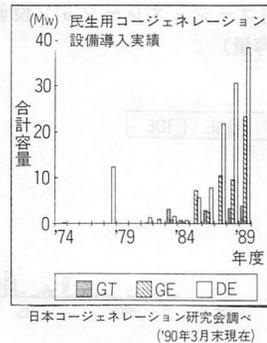


図-1 民生用コージェネレーション設備導入実績 (設備容量)

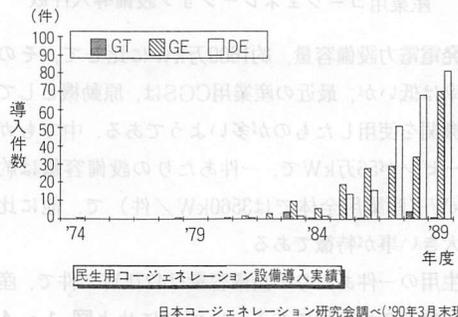


図-2 民生用コージェネレーション設備導入件数

ことから、相当数があるものと思われる。CGSが注目されはじめたのは、産業用ではなくむしろ民生用である。この辺の状況を日本コージェネレーション研究会の調査<sup>(1)</sup>をもとに紹介する。昭和50年代の後半から、ホテル、スーパーマーケット、病院等の民生用に、CGSが導入され始め、平成2年3月末現在では、約19万kW、451件に達している。(図-1、2参照)これらのCGSの原動機は、GE：ガスエンジン、DE：ディーゼルエンジン、GT：ガスタービン等の内燃機関である。

一方、産業用はディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービン等の内燃機関に限定したCGSは、約125万kW、設置数で352件に達している(図-3、4参照)。

\*大阪ガス(株)エネルギー・システムエンジニアリング部  
TES技術開発チームマネジャー  
〒550 大阪市西区千代崎3-2-95

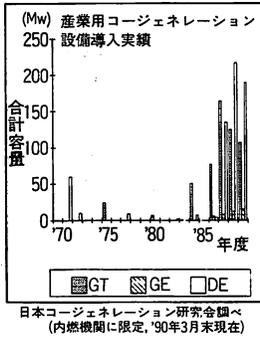


図-3 産業用コージェネレーション設備導入実績 (設備容量)

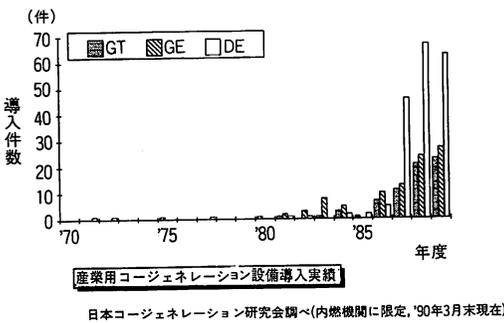


図-4 産業用コージェネレーション設備導入件数

自家発電電力設備容量, 約1600万kWに比して, その補足率は低い, 最近の産業用CGSは, 原動機として内燃機関を使用したものが多いようである. 中でもガスタービンが56万kWで, 一件あたりの設備容量は約8000kW (産業用全体では3560kW/件) で, 他に比して大きい事が特徴である.

民生用の一件あたりの設備容量は427kW/件で, 産業用に較べて小容量である. いずれにせよ図-1~4は民生用, 産業用とも昭和60年頃から着実に増加傾向にある事を示している. これらの要因としては, 原動機をはじめとするハード面の技術の進歩と供に, その経済性, 省エネルギー性が認められ, それに伴うCGSを取り巻く制度面の整備が考えられる. 以下に制度面の整備の経緯と最近の取り巻く環境について述べたい.

2-1 コージェネレーションを取り巻く制度の経緯

CGSが制度面で採り上げられたのは, 昭和60年に通産省資源エネルギー庁公益事業部内に設置された「コージェネレーション運営基準検討委員会」の報告書が初めてである. 表1(2)は昭和62年度迄のコージェネレーション関連の制度についてまとめたもので, そのうち主要な動きについて時系列的に示したものが表2である. これらの主な流れは,

表1 コージェネレーション関連の制度

区分	内容
設置	① コージェネレーション運営基準検討委員会 (資源エネルギー庁公益事業部昭和61年5月29日) ・系統連系技術要件ガイドラインの運用 ・業務用予備電力制度
	② コージェネレーション問題検討委員会 (資源エネルギー庁公益事業部 昭和62年8月3日) ・同一ビル内への電気供給認可 (特定供給)
保安	① コージェネレーション運営基準検討委員会 (資源エネルギー庁公益事業部 (昭和61年5月29日)) ・ガスタービン等の保安 (ガス保安の観点からのガイドライン) ・電気主任技術者の選任 ・コージェネレーションの保安マニュアル (内発協ほか, コージェネレーション保安体系検討委員会)
	② コージェネレーション問題検討委員会 (資源エネルギー庁公益事業部 昭和62年8月3日) 電気主任技術者の委託ほか
	③ 建築物にかかるコージェネレーションシステムの導入指針等検討委員会 (建設省, 住宅・建築省エネルギー機構) ・建築物にかかる安全対策基準 (ガイドラインの作成) 昭和62年8月発足
環境	① 環境庁「固定型内燃機関大気汚染対策検討委員会」昭和62年9月
普及助成策	① 通産省工業技術院ムーンライト計画 (燃料電池, スターリングエンジンの技術開発)
	② 通産省 ・21世紀マンション技術研究組合 (燃料電池を利用したコージェネレーションシステム技術) ・アドバンスコージェネレーションシステム技術研究組合 (ガスエンジン・ガスタービンの高効率化, 省スペース) ・財) 石油産業活性化センター (コージェネレーション用ディーゼルエンジンの開発) ・LPG利用のコージェネレーションシステム開発
税制・融資等	① エネルギー高度化促進税制 (熱併給型動力発生装置, 高効率ガスタービン) ② 日本開発銀行融資 ・エネルギー有効利用 61年度 ・コージェネレーション普及促進 62年度

表2 コージェネレーションをとりまく技術開発・制度の流れ

	昭和55年	60年	61年	62年
技術開発		S56年 ●小形ガス燃料技術研究組合 GNP: ガスエンジンモーターポンプ	S61年 ●石油産業活性化センター ディーゼルエンジン	S62年 ●アドバンス・コージェネレーションシステム 技術研究組合 (ACT90) ガスタービン・ガスエンジン
研究	S53年 ●高効率ガスタービン技術研究組合	S60年4月 ●日本コージェネレーション研究会発足	S61年5月 ●コージェネレーション運営基準検討委員会発足	S62年8月 ●コージェネレーション問題検討委員会発足 特定供給認可 保安対策検討 電気主任 (建設省)
制度		S60年4月 ●日本コージェネレーション研究会発足	S61年5月 ●コージェネレーション運営基準検討委員会発足 8月 ●系統連系技術要件ガイドライン ●業務用予備電力制度 11月 ●21世紀エネルギービジョン	S62年8月 ●コージェネレーション問題検討委員会発足 特定供給認可 保安対策検討 電気主任 (建設省) 9月 ●環境庁「固定型内燃機関大気汚染対策検討委員会」(昭62年)

- 1) コージェネレーション運営基準検討委員会報告  
—通産省資源エネルギー庁公益事業部 (昭和61年5月29日)
- 2) 系統連系技術要件ガイドラインの設定  
—同上, (昭和61年8月1日)
- 3) 業務用自家発予備電力供給条件認可  
—同上, (昭和61年8月1日)
- 4) 21世紀エネルギービジョン「複合エネルギー時代の幕開け」  
—通産省資源エネルギー庁 (昭和61年11月14日)
- 5) コージェネレーション問題検討委員会報告  
—通産省資源エネルギー庁 (昭和62年8月3日)
- 6) 一の建物内における電気の供給の特定供給許価  
—通産省資源エネルギー庁公益事業部 (昭和62年11月1日)

である。1) のコージェネレーション運営基準検討委員会の報告では、2) の「系統連系技術要件ガイドライン」の設定と3) の「業務用予備電力契約制度」の考え方が提示され、その結果、商用電源との系統併入、いわゆる系統電力とのパラランが可能となり、また業務用予備電力契約 (現行名称は自家発補給電力契約) が行えるようになった。この報告書の骨子は表3に示す通りである。その後、CGSの技術開発の進展等による導入の本格化に対応するため、昭和62年5月14日に通産省公益事業部に発足した「コージェネレーション問題検討委員会」では、

①CGSの導入規模等についての定量的分析(需給WG)

②CGSにかかわる技術課題 (技術WG)

③CGSにかかわる制度・運営上の課題 (制度WG) の三つの側面から検討が加えられ、昭和62年8月3日に報告の取りまとめが行われた。同委員会の報告のポイントは、表3の通りであり、需給面では、概ね昭和62年度から昭和75年度 (西暦2000年)迄の民生用の累積導入量は40万kWから110万kW程度であると予想され、制度面では第三者への適切な電気供給のあり方について提案がなされた。これを受けて、昭和62年11月1日には、一の建物内における電気の供給の特定供給が許可となり、一の建物所有者がその建物内のテナントへの電力の供給が可能となった。

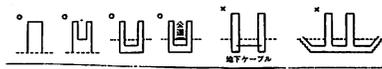
この後の主要の動向については、

- 7) ガスタービン・ディーゼル機関の大気汚染防止法による規制  
—大気汚染防止法施行令の改正 (昭和63年2月1日)
- 8) 電気主任技術者の不選任制度  
—電気事業法施行規制の改正 (昭和63年5月2日)
- 9) 燃料電池等の新エネルギーシステムの実用化への規制緩和  
—電気事業法施行令の改正 (平成2年6月1日および系統連系技術要件ガイドラインの改正 (平成2年6月28日))

があげられる。

電気主任技術者の不選任制度については、小規模自家発電設備にも、従来の500kW未満の需要設備と同様の

表3 コージェネレーション問題検討委員会報告書のポイント

内容(ポイント)	
需給的側面	(1)わが国におけるコージェネは、主として工業用の分野で発達しており、工業用の自家発電設備の大部分はコージェネであると考えられる。 (2)今後、民生用分野のコージェネは、ホテル・病院等熱需要のバランスの良い場所を中心に、一定程度導入されることが予想される。 (3)民生用分野の導入量は、コージェネ機器コストの低減、エネルギー価格の動向、経済の動向等に依存するが、昭和75年までの累積でおおむね40万kWから110万kW程度の普及と予想される。
制度的側面	(1)コージェネレーションの保安規制のあり方 ①ガス消費機器に関するガイドラインの策定について「高圧ガス消費機器安全技術指針」を(社)日本ガス協会が発行済み ②電気主任技術者の不選任について 基本的には、小規模の自家発電設備について、500kW未満の需要設備と同様に不選任技術者制度 (保守管理について保安協会等に委託できる制度)の適用を可能とする方向で具体的なその範囲について検討する。 ③コージェネレーションの保安マニュアルについて (社)日本内燃力発電設備協会で法令の規制を網羅したマニュアルを作成中。 (2)第3者への適切な電気供給のあり方 (特定供給) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">                         一の建物<sup>*</sup>の所有者が当該建物内の需要に応じて行う電気供給については、電気事業法第17条の特定供給の許可対象として運用する。                          (供給の相手方が、所有者から供給を受けるとともに、一般電気事業者と需給契約を締結する場合を除く)                     </div> ※一建物の概念 
技術的側面	重要な技術課題：①高効率化、②低コスト化、③省スペース化、④低公害化、⑤運転・保守性能の向上 (1)今後の技術開発は構成機器単体の開発のみならず、熱需要の変動に応じた最適システムが構築されるよう、システム的アプローチが重要である。 (2)制度面の変更と一体となった技術開発が重要であり、これらによりコージェネの一面の経済性向上が図られる。 ・コージェネ系統連系形態および保護装置の検討 ・ガスタービンコージェネシステムの定期点検・検査の合理化

制度が適用可能となった事であり、その内容は、500kW未満の発電設備、1000kW未満の需要設備および発電設備と需要設備との合計が1000kW未満の設備に係る事業所であれば、電気保安協会等と委託契約を行えば、電気主任技術者を不選任とすることができるという事である。この制度は、9)の燃料電池、太陽電池、風力発電の新エネルギーシステムにも拡大され、500kW未満の自家用発電設備も、その対象となった。また、燃料電池等の新エネルギーシステムの発電設備は、従来明文化されていなかった手続き、技術基準についても明確化され、結果としては、規制緩和となった。さらに系統連系技術要件ガイドラインも一部改正され同システムが逆変換装置を介して系統連系が可能となった。

環境面、特に排ガスのNO<sub>x</sub>の規制についても、上記のように昭和63年2月にガスタービン・ディーゼル機関が大気汚染防止法の対象施設となり、さらに大都市圏を抱える地方自治体（東京都、大阪府、神奈川県、大阪市、横浜市、名古屋市、神戸市等）では、ガスタービン・ディーゼル機関にガスエンジンを加えてNO<sub>x</sub>値について独自の厳しい指導基準を設定している。なお、環境庁では本年の3月から「固定型内燃機関大気汚染防止対策検討会」を発足させて、現在、未規制のガスエンジンについても規制のあり方について検討が進められている。

## 2-2 コージェネレーションを取り巻く最近の動向

### (1)総合エネルギー調査会の中間報告<sup>3)</sup>

通産省のエネルギー政策を方向づける総合エネルギー調査会は、平成2年6月4日に「地球規模のエネルギー新潮流への挑戦」と題する中間報告を行った。同調査会の省エネルギー部会では、今後の省エネルギー政策について「エネルギーの利用効率化に向けて」という中間報告の中で、CGSは、得られる電力と熱との適切な組み合わせが可能な場合にはエネルギー利用の効率化に寄与するものであり、社会全体のエネルギーロスの縮小のためには、エネルギー効率の向上につながる形でのCGSの普及促進を図ることが必要であると述べている。民生用のCGSの導入規模については、長期エネルギー需給の見通しの中で現状の規模（15万kW）を、燃料電池利用型を中心として2000年度には22倍（約320万kW）、2010年度には70倍（約1040万kW）にまで拡大するものとしている。一方環境問題から見て、環境負荷軽減のための技術開発、また効率向上のための技術開発を推進し、さらに供給の安定性、料金負担

表4 総合エネルギー調査会・省エネルギー部会中間報告  
省エネルギー政策の具体的な推進方策（コージェネレーションシステム）

(イ)エネルギー効率向上につながるコージェネレーションの導入促進。……税制・金融上の助成措置を拡充・強化
(ロ)公害防止対策の強化 環境負荷の低減のためのNO <sub>x</sub> 対策強化（GE；希薄燃焼，三元触媒等，GT；水噴射，予混合希薄燃焼等） 環境適合性に優れたシステム開発（ACT90プロジェクト等）
(ハ)熱・電負荷変動への対応 熱と電気の需要変化に追従した熱電併給が可能となるシステム開発を促進する。
(ニ)技術の開発・導入の推進 効率向上のためのセラミックガスタービン，燃料電池発電等の開発及び導入を図る。

の公平性を損なわないための条件整備、既存の電力システムとの整合性等の課題があるので、これらの課題を解決し、燃料電池等の技術開発等が肝要であると指摘している。具体的な施策は表4の通りである。いずれにせよこの中間報告ではCGSが“燃料電池等”によるものとして位置づけられているのが印象的である。

### (2)環境白書<sup>4)</sup>

総合エネルギー調査会の中間報告に相前後して、副題を“地球化時代の環境問題”と名付けた環境白書（平成2年版）が発行された。特筆すべきことは同書ではじめてCGSが「環境に配慮したコージェネレーション」として採りあげられたことである。CGSはエネルギーの多段階利用を行う設備として、熱需要と電力需要が適切に組み合わせられた場合は総合効率が向上し、エネルギー利用の効率化に寄与し省エネルギーによる二酸化炭素削減方策の一つとして考えられ、さらに社会全体のエネルギーロスの縮小のためには、エネルギー効率の向上につながる形でのCGSの普及促進を図ることが有効な方策の一つであると位置づけられている。また総合エネルギー調査会の中間報告と同様に、環境問題についても触れ、現在のCGSが環境問題のほかに、取扱の困難さ、運転の安定性、料金負担の公平性、燃料のエネルギー政策との整合性、既存の電力システムとの整合性等の課題があり、この課題を解決するシステム作り、技術開発等をさらに進める必要があると指摘している。地域の環境保全に十分配慮しつつCGSの普及をはかるほかCGSの導入に対応し、排出規制の対象施設の拡大等についても検討が必要との事から、前述のガスエンジン規制の動向と一致している。

## 3. コージェネレーションの技術開発動向と課題

### 3-1 パッケージ化によるコストダウン

CGSの経済性を向上させるためには、イニシャル

コスト、ランニングコストの低減を図る必要がある。CGSは原動機、排熱回収機器、発電機、配管類、制御機器等から構成される複合システムであり、従来の手法では、一品づつ手作りのオーダーメイドの感が否めなかった。そこでCGSの主要構成機器をパッケージ内にコンパクトに納めて、原動機の汎用化等を作りコストダウンを目指したものが、最近、市場に出て来た。表5は、容量が15kWから450kWクラスについてシリーズ化されたものを示している。同シリーズは都市ガス三社（東京ガス、大阪ガス、東邦ガス）とメーカーの協力を得て開発されたもので、燃料は都市ガス13A（天然ガス系）で原動機としては、ガスエンジンが使用されている。小容量の50kWクラスまでのものは、システムのロードバランス機能を有する排熱放熱装置が内蔵され、システムの簡便化をはかっている。（図-5参照）これらの小容量クラスは主として民生用の温水プールのあるアスレチック施設等に導入されている。200kWクラス以上では排熱回収について温水回収タイプ、温水+蒸気回収タイプの二種類が用意されており、特に産業用ではプロセス蒸気としての利用が多いようである。設置場所についても屋内型、屋外型のオプション対応が可能である。

一方ガスタービンについても、同様なパッケージ化の流れがあり、従来小型設備で難しいとされていた、1000kWクラスでの高効率化、パッケージ化が実現している。このシステムは、昭和61年より前記の都市ガス3社と三井造船の4社で共同開発されたもので、そ

の開発コンセプトは

- (1)発電効率25%、排熱回収効率50%
- (2)発電出力1000kW、蒸気約3T/h
- (3)コンパクトな設置スペース
- (4)低廉なイニシャルコスト
- (5)低運転経費、容易な管理

の5項目で、昭和63年にガスパワー1000の名称で商品化されている。その概略仕様を表6に示す。このシステムの標準配置は図-6の通りで、パッケージ内には、ガスタービン本体、発電機がコンパクトに収納されている。なおこのシステムでは環境適合性をはかるため水噴射装置を標準装備して低NO<sub>x</sub>化にも十分な配慮を行っている。

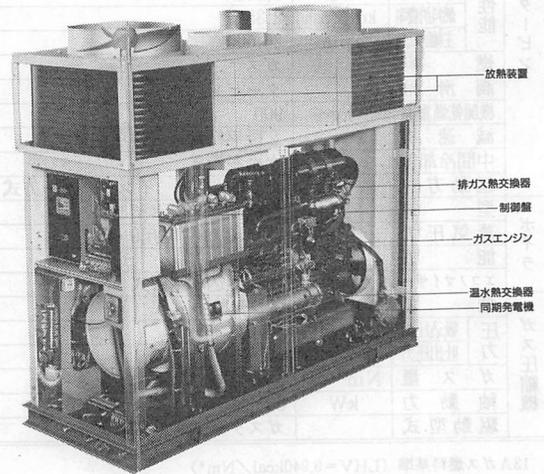


図-5 ガスエンジンパッケージの外観（15kWの例）

表5 ガスエンジン ガスパワースリールズ主要仕様表（50Hz/60Hz）

容量クラス	15kWクラス		30kWクラス		50kWクラス		100kWクラス		200kWクラス		200kWクラス		300kWクラス		300kWクラス		450kWクラス		450kWクラス			
型式	GP-15E		GP-30E		GP-50E		GP-100E		GP-200E		GP-200E(S)		GP-300E		GP-300E(S)		GP-450E		GP-450E(S)			
メーカー	柳コボタ		御金門製作所		日本車輛製造		日産自動車販売		西芝電機													
周波数(Hz)	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60		
発電出力(kW)	15	16.5	32	36	50	60	80	100	205	200	205	200	255	310	255	310	380	460	380	460		
発電電圧(V)	200		200		200		200		6,600		6,600		6,600		6,600		6,600		6,600			
排熱回収	熱媒	温水(80°C)		温水(88°C)		温水(85°C)		温水(85°C)		温水(90°C)												
	回収熱量(Mcal/h)	27.5	32.0	55.0	63.0	84.0	102.0	132.0	165.0	292.0	292.0	287.0	287.0	373.0	455.0	367.0	449.0	551.2	685.6	546.7	680.6	
燃料消費量(Nm <sup>3</sup> /h)	5.2		5.8		9.9		11.3		16.2		19.3		24.3		29.3		56.7		56.4			
	発電効率(%)	25.0	24.6	28.0	27.6	26.7	26.9	28.5	29.5	31.3	30.7	31.3	30.7	31.8	31.1	31.8	31.1	31.3	30.6	31.3	30.6	
効率	排熱回収効率(%)	53.2	55.5	55.9	56.1	52.2	53.2	54.6	56.7	51.8	52.1	50.9	51.2	54.1	53.1	53.2	52.3	52.8	53.1	52.4	52.7	
	総合効率(%)	78.2	80.1	83.9	83.7	78.9	80.1	83.1	86.2	83.1	82.8	82.2	81.9	85.9	84.2	85.0	83.4	84.1	83.7	83.7	83.3	
NO <sub>x</sub> 対策	希薄燃焼		触媒		触媒		触媒		触媒		触媒		触媒		触媒		触媒		触媒			
排熱放熱装置	ラジエータ(組込み)		ラジエータ(組込み)		ラジエータ(組込み)		ラジエータ(組込み)又はクーリングタワー		クーリングタワー(別途)													
寸法	長さ	1,840mm		2,450mm		3,180mm		3,250mm		6,450mm		6,160mm		6,150mm		5,860mm		6,100mm		6,080mm		
	巾	710mm		1,350mm		1,705mm		1,630mm		1,800mm		2,750mm		1,900mm		2,800mm		2,760mm		2,880mm		
高さ	1,630mm		2,330mm		2,386mm		2,250mm		2,900mm		2,900mm		3,100mm		3,100mm		3,100mm		3,450mm		3,450mm	
	重量	1,070kg		2,550kg		3,800kg		3,900kg		8,400kg		9,910kg		8,300kg		10,150kg		12,350kg		13,000kg		
ガス供給圧力	200mmH <sub>2</sub> O		1.0~3.0kg/cm <sup>2</sup> G		1.0~3.0kg/cm <sup>2</sup> G		1.0~2.8kg/cm <sup>2</sup> G															
騒音値	70dBA		70dBA		73dBA		75dBA		75dBA(屋外) 85dBA(屋内)													



表8 ACT90 技術開発スケジュール

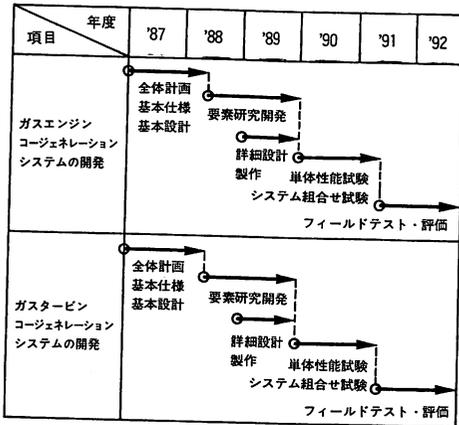


表9 セラミックガスタービンの開発目標

項目	目 標			
	エンジン熱効率	タービン入口温度	軸出力	排ガス特性
セラミックガスタービン	42%以上	1350℃	300kW級	法令基準値以下
セラミック部品	高温強度 (1500℃)		破壊靱性 (室温)	
	最低弾性係数	ワイルド係数 (参考値)	15MPa・m以上	
	400MPa以上	20以上		

(備考：熱効率は燃料の低位発熱量に基づく熱入力に対するエンジンのグロス軸出力の比とし、大気条件は気圧760mmHg、温度15℃を基準とする。)

表10 セラミックガスタービン (CGT) 開発スケジュール

研究項目	年度	63	1	2	3	4	5	6	7	8	備考
1. 耐熱セラミック部材の研究開発	セラミック部材の研究										
	要素技術の研究及び要素機器のタービンへ実装										
2. 要素技術の研究開発											
3. 設計試作運転研究 (1) 基本設計	基本設計										
(2) 第1次設計試作運転研究	基本型CGT試作(900℃)										
(3) 第2次設計試作運転研究	基本型CGT試作(1200℃)										
(4) 第3次設計試作運転研究	パイロットCGT試作(1350℃)										
4. 社会適合性研究 (1) 環境適合性の検討	環境保全性の検討										
	負荷形態の解析、経済性										
(2) 利用システムの検討	運転管理等の検討										

3-2 高温化、高効率化

前節の小型ガスタービンの例にもあるように、最近のガスタービンの高効率化は、ガスタービンの作動温度の上昇に負う事が大きい。熱力学の先駆者であるカルノーが説くように、高温化による効率アップはCG

Sの原動機としての永遠の課題であるといえる。

最近の国レベルの技術開発の動向として、ACT90 (アドバンス・コージェネレーションシステム技術研究組合) の開発動向およびムーンライト計画の一環として推進されているセラミックガスタービンの開発について概要を述べる。

ACT90は昭和62年からスタートした電力・ガス事業者、ガスエンジン製造業者、ガスタービン製造事業者、電機機器製造業者、吸気式冷温水機製造業者、計17社の企業で構成される技術研究組合の略称である。ACT90の目指す基本設計概要は表7の通りで、ガスエンジンでは、高圧縮比、高希薄燃焼により原動機軸端効率を40%以上としている。ガスタービンでは500kWクラス、900kWクラスで、タービンの入口温度を引上げて1200℃とし、ガスタービン軸端効率を30%以上を目標としている。技術開発のスケジュールは表8に示すように1992年を開発完了とし、現在は中間評価の段階と考えられる。環境の適合性 (NO<sub>x</sub>) については、当初、自主規制でスタートしたが、その後、東京都の環境規制が設けられた等の情勢の変化があったため、目標仕様に変更され、現在に至っている。ACT90の目指すのは、省スペース、高効率のCGSの実現であり、次世代のCGSとして期待されている。

一方さらにガスタービンの高温化をねらった、セラミックガスタービンの研究開発であるが、同プロジェクトは昭和63年にスタートし9年間の年月と約150億円のコストをかけて行われる国家プロジェクトである。研究開発の目的は、コージェネレーション、可搬式発電等に使用される中小型エンジンの高効率化、低公害化及び燃料の多様化を促進することであり、このためセラミックガスタービンの研究開発を行う壮大なプロジェクトである。セラミックガスタービンのねらいは表9に示すようにガスタービンの作動温度の上昇で、タービン入口温度で1350℃、エンジン効率42%を目指す等、非常に高度な開発目標が掲げられている。本プロジェクトの開発の鍵を握るのは何と言っても耐熱セラミック部材の開発である、この要素技術のブレークスルーが開発の加速につながるものと考えられる。セラミックガスタービンの開発スケジュールを表10に示す。なおこのガスタービンを前提として表10にもあるように、社会適合性研究も合わせて検討され、(社)日本ファインセラミックス協会内に部会が設置されている。同部会ではシステム各種特性や関係法令などの諸条件に基づき、各利用分野における社会との適合性

表11 ガスエンジンの低NO<sub>x</sub>化技術  
三元触媒法と希薄燃焼法の比較（無対策エンジンとの比較）

	三元触媒法	希薄燃焼法（副室式）
現 況	・1500kWクラスまで実績あり	・外国製で一部実績あり ・国産機は現在開発中
最 大 出 力	・5%程度低下	・10%程度向上
発 電 効 率	・1~2%程度低下	・3%程度以上向上
排 ガ ス 温 度	・高くなる（600~650℃）	・低くなる（400~450℃）
排 熱 回 収 効 率	・向上	・低下
メンテスコスト	・高い（触媒の交換等）	・同程度と期待される
耐 久 性	・高温化による課題あり	・不明
到達可能NO <sub>x</sub> 濃度	・低い	・高い

表12 ガスエンジン低NO<sub>x</sub>化技術の課題

項目	三元触媒法	希薄燃焼法
技術の概要	排ガス中の3成分（NO <sub>x</sub> 、CO、HC）を同一触媒で同時に処理するシステムである。それぞれの成分を有効に取り去るには、酸化側と還元側で量的均衡を保つ必要がある。高、空気を極めて厳密にコントロールする必要がある。	燃料を理論空気比より空気比の高い混合気で燃焼し、燃焼温度を下げることによってNO <sub>x</sub> の発生を下げる。 単室式と副室式があり、副室式では従来の燃焼室構造では燃焼出来ない範囲まで空気比を拡大しNO <sub>x</sub> 低減を図る。 高効率化が可能で、外国製の中大型機で一部商品化されている。
技術課題	最適空気比制御・触媒寿命等の信頼性・耐久性の向上。	国産希薄燃焼ガスエンジンは現在開発途中である。 本格的なNO <sub>x</sub> 低減が期待される副室式の技術課題は ・高空気比における安定燃焼 ・高効率化と高空気比の最適化 ・小口径シリンダへの適用
備 考 点	・コストダウン ・耐久性、信頼性の確認のためには長時間要す。	・エンジン燃焼室の構造改善が必要で開発には費用と耐久性等の確認時間が必要。 ・国レベルでは平成5年度を目標に技術開発中（ACT90 NO <sub>x</sub> 300ppm 効率40%）

を勘案しながら、同システムの実用化のために最適ガスタービン利用システムの構築について検討を行っている。

高効率化、高温化の傾向は以上の通りであるが、これに伴って環境の適合性、特にNO<sub>x</sub>については、燃焼の高温化に従い、NO<sub>x</sub>の排出は増大する傾向にある。このトレード・オフの関係にある高温化、高効率化と低NO<sub>x</sub>化の矛盾を、如何に調和させ、克服することが

今後の重要な課題であると思っている。

3-3 ガスエンジンの環境適合技術

前記の環境白書でも述べられているように、環境に配慮したコージェネレーションの推進のためにも、環境対策が重要であることは言うまでもない、環境対策上特に留意するのはNO<sub>x</sub>であり、ガス燃料の場合問題となるのは、高温燃焼によるサーマルNO<sub>x</sub>の排出である。現在、実用化が一番近いのが、三元触媒法と希薄燃焼法であると考えられる。前者は排ガス中の3成分（NO<sub>x</sub>、CO、HC）を同一触媒で、同時に除去するシステムで後者は、燃料を理論空気比より空気比の高い混合気で燃焼させ、燃焼温度を下げることににより、サーマルNO<sub>x</sub>を抑制するものである。両者は一長一短があり、どのシステムが有利であるかは、現在のところ判断に迷うところである。表11は中型クラスにおいて無対策エンジンとの対比で、三元触媒法と希薄燃焼法を、筆者の私見を混えて比較したものである。両者の低NO<sub>x</sub>化技術の技術課題は表12に示す通りである。三元触媒の技術課題はシステムとしての耐久性向上、信頼性向上である。そのためには高度な制御システムの開発、そのシステムを構成する、触媒、酸素センサー、触媒容器の三位一体となったシステムとしての実証試験が重要である。当社でも現在、精力的にこの分野の技術開発を進めている次第である。

3-4 ガスタービン触媒燃焼の技術開発

CGS用ガスタービンについての課題は、高効率、NO<sub>x</sub>の排出削減である。当面の課題としては、ガスエンジンと同様に低NO<sub>x</sub>化技術の推進であろう。ガスタービンの低NO<sub>x</sub>化対策として既に水・蒸気噴霧による方法は、実績が増えつつあり、希薄予混合燃焼器の研究も進められている。最も厳しい規制に対応するアン

表13 触媒燃焼に関する研究開発の比較

比較項目	東京電力・東芝 <sup>7)</sup> 8)	関西電力・電中研 <sup>9)</sup> 10)	航技研 <sup>4)</sup>	川崎重工 <sup>11)</sup> 12)	大阪ガス <sup>13)</sup>
燃 焼 方 式	ハイブリッド触媒燃焼	ハイブリッド触媒燃焼	触媒燃焼	触媒燃焼	ハイブリッド触媒燃焼
寸 法	φ300mm×50mm 2段	φ100mm×25mm 3段	φ80mm×25mm 3段	φ220mm×25mm 6段	φ50mm×50mm 3段
材 質	パラジウム-アルミナ系	白金-アルミナ系	パラジウム系、パラジウム-白金系（組合せて4層積作）	白金-アルミナ系	パラジウム系
構 造	ハニカム（コージェライト） 200cps	ハニカム（コージェライト） セルピッチ1.5mm	100or200cps	ハニカム（コージェライト） 200cps	ハニカム 200cps
圧 力	大気圧	大気圧	10,19,4,29.6ata	9ata	1~5ata
ガ ス 流 速	14~34m/s	27,35m/s	12,20m/s	10m/s	6m/s
空 気 温 度	300℃	300℃	400℃	300℃	300℃
触 媒 入 口 温 度	450℃	300℃	500,600,700℃	450℃	450℃
触 媒 出 口 温 度	800℃	970℃	1100℃	1100℃	1000℃
燃 焼 器 出 口 温 度	1500℃	1300℃	1100℃	1100℃	1200℃
燃 料	都市ガス（13A）	工業用LPG	国産天然ガス	CH <sub>4</sub> 92%, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 8% 100m <sup>3</sup> /h	都市ガス（13A） 1.6m <sup>3</sup> /h
備 考	・触媒温度800℃以上にすれば、燃焼効率99%以上、NO <sub>x</sub> 4ppm程度 ・触媒耐圧力損失が大きすぎる	・燃焼出口温度1150℃以上で安定燃焼1300℃で燃焼効率ほぼ100%、NO <sub>x</sub> 5ppm（16%O <sub>2</sub> ） ・触媒耐圧力損失が大きすぎる	・パラジウム触媒は、大気圧下では活性が高く、高圧では低い ・高圧では触媒表面積が不足する為、気相反応が起こる条件でなければ高い燃焼率が得られない	・最大負荷時で燃焼効率98%以上、NO <sub>x</sub> 5~6ppm（15%O <sub>2</sub> ） ・実証では、大気圧に比べて触媒の劣化が早い	・圧力1.5ata、触媒出口温度1000℃にて燃焼効率99.9%、NO <sub>x</sub> 42ppm（0%O <sub>2</sub> ） ・圧力の影響は、5ataまでは圧力に比例した燃焼量増大が可能

モニア脱硝設備も大型設備では、コストダウンをはじめとする2~3の問題はあるものの、実績ができてくる。ここではこのアンモニア脱硝設備と同程度のNO<sub>x</sub>排出濃度の実現の可能性を持ち、かつ経済性で有利な可能性を秘めているガスタービンにおける触媒燃焼の研究開発について次世代の低NO<sub>x</sub>化技術という面からや、詳細に述べて見たい。表13は最近の触媒燃焼に関する研究概要<sup>7)~15)</sup>をまとめたものである。

触媒燃焼の特長は、可燃限界外の希薄燃料濃度にて完全燃焼することにより、燃焼温度を均一な低温に保つことによって、サーマルNO<sub>x</sub>を極微量に抑制する点

にある。触媒燃焼の研究開発の手順としては、触媒の選定または触媒の開発、大気圧下での燃焼試験、触媒の大型化、加圧下での燃焼試験と進められているが、現状では各社とも表13に示すように、加圧下での燃焼試験段階まで来ており、今後触媒の熱衝撃性、耐久性の改善のための触媒の改良開発を経て、実用化に近くものと思われる。

触媒燃焼方式としては、触媒上のみで燃焼反応を行わせる触媒燃焼法と、触媒上では800~1000℃程度まで燃焼反応を行わせ、さらに燃料を加えて気相燃焼を行わせるハイブリッド触媒燃焼法の二種類がある。前

表14 コージェネレーションシステムの評価手法の事例

NO.	名称	作成者等	ツール	特徴	アウトプット	出典等
1	「分散型電源システムの最適化に関する調査」のための計算プログラム	(財)省エネルギーセンター	大型計算機	・ホテル、病院、事務所、店舗の4通りを設定し、月別、時刻別に熱負荷量と電力需要量を算定 ・評価対象は、建物種別に設備をわけて行っている ・従来システムは「商用電力+電動ターボ冷凍機+灯油ボイラー」を設定している	・省エネルギー ・単純償却年数	「分散型電源システムの最適化に関する調査」S60、4財)省エネルギーセンター
2	「ガスエンジン(ガスタービン)トータルエネルギーシステム技術研究報告書」のための計算プログラム I-S59、3 II-S61、3 III-S62、3	(社)日本ガス協会	パソコン	・計算例としてはホテル、病院を対象としている ・評価対象は建物種別や用途および熱負荷量等を仮定して行っている ・熱負荷計、熱源以外の電力負荷、給湯・蒸気負荷は別もって計算し、エネルギー消費費、ランニングコストの計算とは区別する。その間の受渡しはフロピーディスクで行って行う ・従来システムは「商用電力+電動ターボ冷凍機+ボイラー」方式と「商用電力+吸収式冷凍機+ボイラー」方式の2コースを設定している	・排熱利用割合 ・建物全体のエネルギー使用割合 ・システム系統のみのエネルギー使用割合 ・単純償却年数	
3	「ガスエンジン(ガスタービン)トータルエネルギーシステム技術研究報告書IV」(コージェネレーション設計マニュアル)S63、3	同上	パソコン	・年間冷暖負荷量を計算図表により算定(HASPプログラムの平均的建物) ・コージェネの排熱利用量の年間合計値を求めると「排熱利用曲線」を建物種別(ホテル、病院、オフィス)排熱利用先別、パターン別等により作成し、この図より排熱利用係数を求め、年間排熱利用量を算定する ・年間エネルギーコストを計算する	・年間排熱利用量 ・年間エネルギーコスト	
4	「COGEN-PLAN 1.2」S63、H元	日本コージェネレーション研究会	パソコン	・このプログラムは、あらかじめ想定した複数のエネルギー計画案について省エネルギー性、経済性の評価を行う ・2つのプログラム構成 (1) COGEN-DE/HOTEL、HOSPITAL、OFFICE、SPORTS ホテル、病院、事務所、スポーツ施設を対象とした熱負荷の計算(冷・暖・給・電力負荷) (2) COGEN-DM DM1……COGEN-DE/HOTELで計算された空調負荷に外気負荷、システムロスを加えて、空調設備の熱負荷、送風動力を求めると DM2……設定したCGSおよび従来システムのシステム構成、機器容量、運転条件を与えて、年間各月各時刻の需要を助うため、買電電力、燃料、水のエネルギー関連消費量を求める。省エネルギー性の評価も行う DM3……DM2の計算結果をもとに年間のランニング・コストを算出するとともに、建設費の情報を与えてCGSの経済性評価を行う ・蒸気システム、温水システム、蒸気・温水システム、従来システムが算定可能	・省エネルギー率 ・単純回収年数 ・燃料別消費エネルギー ・自家発電比率	日本コージェネレーション研究会「COGEN-PLAN 1.2」マニュアルより
5	「コージェネレーション導入経済評価システム」S61	東京ガス師	パソコン	・ホテル、病院、事務所ビル、店舗ビルの4用途の建物について標準負荷データを有している。(月別、季節別、時刻別) ・ガスエンジン、ガスタービンの両方式を選択できる ・原動機の部分負荷特性を考慮している ・電力・ガス料金体系を具備している ・各種換気機器の標準カーブを具備している ・発電容量、台数を自由に選ぶことができる	・単純回収年数 ・省エネルギー率	
6	「コージェネレーションの経済評価プログラム」	大成建設㈱	パソコン	・負荷解析プログラム、従来システム解析プログラム コージェネ解析プログラム、経済性評価プログラムの4つのメインプログラムから構成 ・各月の平日、土曜、休日における電力、冷・暖・給の熱負荷24時間データを作成 ・従来システムは8種類のシステムより選択する ・年間経費費率減額と償却年数により経済性評価を行う	・年間経費費率減額 ・償却年数	「コージェネレーションシミュレーションプログラム」88/平成元年1月
7	「コージェネレーションシステム選定プログラム」	日商岩井㈱ (東京工業大学)	パソコン	・月別のエネルギー需要量(電力、冷、熱)および時刻変動パターンをデータベース化 ・適用対象(事務所、ホテル、アパート) ・主要構成機器および台数を入力 ・電力需要量従来方式を基本 ・従来システムは(買電+電動ターボ冷凍機+ボイラー)と(買電+2重動用吸収式冷凍機+ボイラー) ・部分負荷特性を考慮・30通りの算定区分(投入エネルギー量) ・システム所要エネルギー量の算定(Mcal単位)	・年間燃料消費量 ・月別投入エネルギー量 ・月別の省エネルギー率	「日本建築学会第9回電子計算機利用シンポジウム」
8	「最適化手法によるコージェネレーションの評価システム」(CAPシステム)	大阪ガス㈱ (大阪大学)	EWS	・CAP(Computer Aided Planning)システムは時々刻々に変化する負荷に対し混合整数計画法による最適化理論を用いて複雑なエネルギーシステムの最適運転を決定するシステムである ・事務所ビル、ホテル、病院等10種類の負荷データベース ・負荷特性のデータより必要機器・台数を選択する ・機器ごとに時間毎のガス、電力単価を設定 ・EWSによるシステム最適運用方針の計算および決定 ・評価対象システムにはCGSだけでなくヒートポンプシステムも含まれる ・部分負荷特性を考慮	・単純回収年数 ・選定したシステムに対する最適運用方針の決定	

者は触媒燃焼法のための低NO<sub>x</sub>化のレベルは非常に低い、高耐熱性触媒を必要とし、新たな触媒開発が課題である。したがって現状では、触媒燃焼よりもNO<sub>x</sub>の排出量は多くなるが、後者のハイブリッド触媒燃焼が主流となっているようである。

今後の触媒燃焼の課題としては、予燃焼部分での低NO<sub>x</sub>化、触媒入口での燃料濃度および流速の均一化、気相燃焼での低NO<sub>x</sub>化、燃料および空気の制御機構の開発等があげられるが、最も大きなウェートを占めるのが、高温下で耐え得る触媒の開発であり、低コスト・長寿命触媒の早期開発が望まれるところである。

### 3-5 シミュレーション評価手法

CGSの導入にあたって、検討対象システムがフィジブルかどうかの判断基準を示す評価システムの重要性は言うまでもない。この評価システムについては、現在までに、関連学協会の報告書や、エネルギー関連企業等で多くの研究開発が進められている。これらの評価手法に関して、特徴、アウトプット、ツール等について整理したものが表14である。その中で「分散型電源システムの最適化に関する調査」に用いられた計算プログラムはCGSの評価手法として、我が国で始めてのもので、先駆者的存在といえよう。特に、評価のためのベースとなる電力、空調、給湯等の時刻別負荷データはCGSの計画に携わっている技術者に数多く引用、活用されている。評価手法については、多くの場合、CGSの経済性（単純回収年数等）を求めるための定量的な評価を行うもので、殆どがツールとしてコンピュータを使用している。CGSの経済性評価、省エネルギー性評価においては、特に民生用の建物のように時々刻々に変動する電力、空調、給湯、蒸気等の各負荷パターンを適確に想定し、変動するエネルギー価格も考慮に入れて、検討対象となる建物需要に合わせた最適システムにより最適な運用方策を決めて行く事が肝要である。表14の「最適手法によるコージェネレーションの評価システム」は上記のコンセプトに基づいて開発されたもので、混合整数計画法と呼ばれる数理的な手法を用いて、複雑なエネルギーシステムの最適運転方策を決定するものである。今まで紹介した評価システムは、いずれもCGSの規模、緒元等について設計者が入力する方法をとっている。前述の最適手法に加えて、ペナルティ法と呼ばれる数理手法により、CGSの最適規模を求める提案<sup>17)</sup>もなされている。

CGSを計画・設計する際には、前述のように、建物の負荷のデータベースの構築が必要である。しかしな

が時刻別データともなれば、そのデータは少なく、また仮にデータが得られたとしても、その整理のし方等が不統一で、加工されたデータの本来の持つ意味が不明である等の理由から、現状では、そのデータベースが整備され設計者が十分に活用できる状況にはない。今後は、フォーマットの統一化をはかったCGSの負荷データベースの構築が望まれるところである。

## 4. おわりに

エネルギー消費の増大、資源制約の顕在化、地球環境問題の高まりといった、エネルギーを取り巻く今後の状況は、基本的な認識としてとらえる必要がある。エネルギーの有効利用システムの構築、中でもCGSの適切な普及はその一助となるものである。解決すべき課題はハード面、ソフト面にわたり残されているが、CGSが大規模電源と調和をとって、分散型電源としての健全な発展を願うものとして、CGSの技術開発の促進に期待をしている。

### 参考文献

- 1) コージェネレーション, 日本コージェネレーション研究会 Vol. 5, No. 1 (1990)
- 2) 河崎俊夫; コージェネレーションの現状と取り巻く制度の動向, 太陽エネルギー, Vol. 14, No. 1, 34
- 3) 総合エネルギー調査会中間報告(1990, 6)
- 4) 環境庁編; 環境白書総説 (平成2年度版)
- 5) 藤野耕一ほか; 小型高効率ガスタービンコージェネレーションシステム (ガスパワー1000) の開発, 動力, Vol. 40, 199号, 15~23, (1990, 7)
- 6) 300kW級セラミックガスタービン研究開発状況; 新エネルギー・産業技術総合機構, (1990, 9)
- 7) 古屋富明他; ガスタービン金沢地区講演会講演論文集, 33~39, (1989)
- 8) 古屋富明他; 第9回触媒燃焼に関するシンポジウム, 23~33, (1990)
- 9) 小沢 端他; 第18回ガスタービン定期講演会講演論文集, 103~110, (1990)
- 10) 小沢 端他; 電中研総合報告, WO 5 (1989)
- 11) 林 茂他; ガスタービン金沢地区講演会講演論文集, 41~47, (1989)
- 12) 森 建二他; 第4回触媒燃焼シンポジウム, 1~11, (1987)
- 13) J. KITA JIMA 他; ASME, Paper No. 87-GT-62
- 14) J. KITA JIMA 他; ASME, Paper No. 89-GT-265
- 15) 貞森博己他; 第27回燃焼シンポジウム予稿集171~173, (1989)
- 16) 深谷信彦; 最適手法によるトータルエネルギーシステムの評価手法の開発, コージェネレーション, シンポジウム'88 (1989)
- 17) 伊東弘一, 横山良平; コージェネレーションの最適計画, 産業図書, 111~131 (1990)