

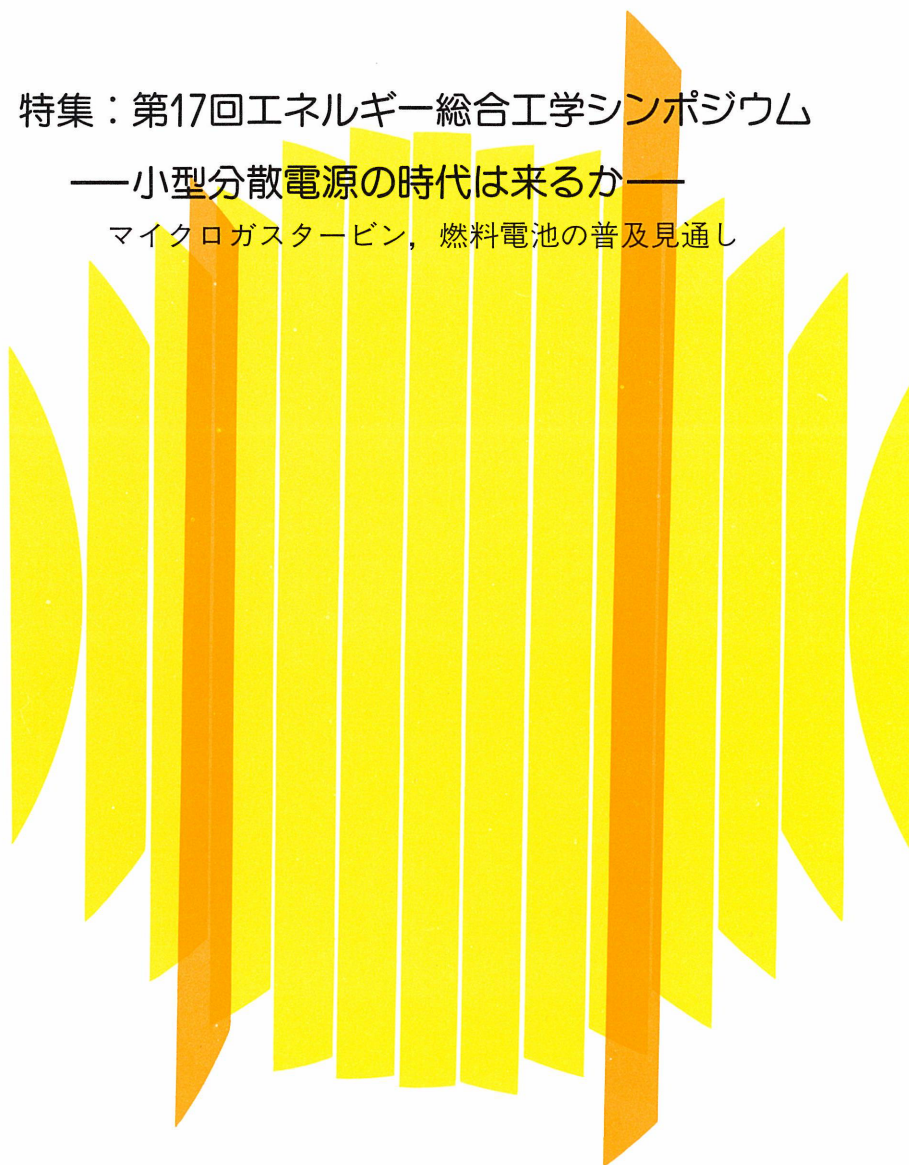
季報 エネルギー総合工学

Vol. 23 No. 3 2000. 10.

特集：第17回エネルギー総合工学シンポジウム

—小型分散電源の時代は来るか—

マイクロガスタービン，燃料電池の普及見通し



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

第17回 エネルギー総合工学シンポジウム

— 小型分散電源の時代は来るか —

マイクロガスタービン，燃料電池の普及見通し



挨拶を述べる 資源エネルギー庁 藤田 正晴 長官官房審議官

日 時：平成12年7月6日（木） 10：00～17：00

場 所：東商ホール（東京商工会議所ビル4F）

総合司会：プロジェクト試験研究部 部長 高倉 毅

目 次

【開会挨拶】	理事長 秋 山 守… 1
【来賓挨拶】	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 藤 富 正 晴… 4
【基調講演】	21世紀のエネルギーシステムと分散電源の役割 東京大学 名誉教授 茅 陽 一… 7
【講 演】	電力自由化と分散型電源 （財）電力中央研究所 研究参事 矢 島 正 之…21
【講 演】	固体高分子形燃料電池の開発動向と実用化の見通し 燃料電池開発情報センター 常任理事 本 間 琢 也…30
【講 演】	マイクロガスタービンの開発動向と実用化の見通し 東海大学 工学部 副工学部長 教授 伊 藤 高 根…42
【パネルディスカッション】	
テーマ：小型分散電源への期待と普及の課題……………	54
司 会 栗 原 史 郎	一橋大学 大学院商学研究科 教授
パネリスト 伊 東 弘 一	大阪府立大学 大学院工学研究科 教授
(五十音順) 白 土 良 一	東京電力㈱ 取締役 副社長
松 村 幾 敏	日石三菱㈱ 取締役 技術開発部長
山 口 靖 之	東京ガス㈱ 取締役 副社長
【総括と閉会挨拶】	専務理事 稲 葉 裕 俊…91
【研究所のうごき】……………	93
【編集後記】……………	94

開 会 挨 拶

秋 山 守 (財)エネルギー総合工学研究所
理事長



第17回エネルギー総合工学シンポジウムの開催に当たりまして、一言ご挨拶を申し上げます。

本日は大変お忙しい中、私ども開催者側の予想をはるかに超えます多数の皆様方にご参集いただき、まことにありがとうございます。心より御礼申し上げます。

当研究所は、エネルギー総合工学という名前からご案内のように、原子力、新エネルギー、省エネルギー、化石エネルギー、また近年では地球環境に関連するエネルギー問題などを幅広く対象としまして、調査研究に鋭意取り組んでまいりました。また、それらを共通的、横断的、基盤的に支えるエネルギー技術情報センターにおきましては、関連するデータベースの整備、皆様方への情報提供などの事業を進めております。このような弊所の事業に対しまして、関係産業界の方々、通商産業省を初めとする関係省庁の皆様方、また大学、研究機関等の方々からご懇篤なご指導、ご支援を賜わっており、とりわけ賛助会員の方々からは絶大なるご支援を頂戴しておりますことを、高い席からではありますが、厚く御礼申し上げます。

さて、今回のシンポジウムは、「小型分散電源の時代は来るか」をメインテーマにいたしております。ご承知のように、最近ではマイクロガスタービン、リン酸形燃料電池、あるいは固体高分子形燃料電池といった、比較的小型で高効率の新しい発電技術が社会の注目を集めています。マイクロガスタービンは、ここ1、2年で急速に導入の気運が高まってきており、またリン酸形燃料電池も、技術的にはほぼ完成され、これからコストの低減と社会への普及という面での努力が続けられています。

一方、固体高分子形燃料電池は、特に自動車用動力源として国際的な開発競争が激しく進められていますが、家庭用小型電源としても注目されており、これらの面で今後の技術の進展が期待されています。

このような新しい電源は、その出力規模で見ますと、リン酸形燃料電池が200キロワット程度、ないしはそれ以下、またマイクロガスタービンが数10キロワット、さらに固体高分子形燃料電池では数キロワットという、既存の大型電源に比べて極めて小型なことが特徴であり、また、その面での応用、利用が期待されているところであります。

そこで本日は、こうした小型分散電源につきまして、各界のご専門の方々から普及の見通しなどについてご講演を頂戴いたしますとともに、エネルギー業界の方々と交えたパネルディスカッションにおきまして今後の期待と課題に関するご討論をいただくことになっております。

プログラムは、資源エネルギー庁の藤富正晴審議官殿にご来賓挨拶を賜いました後、まずは東京大学名誉教授で地球環境産業技術研究機構副理事長の茅陽一先生に「21世紀のエネルギーシステムにおける分散電源の役割」と題しまして基調講演をお願いいたしております。今後のエネルギーシステムへの要請を踏まえて、分散電源の利点と問題点、評価をめぐる課題等についてのご講演を賜われることになっております。

次に、電力中央研究所研究参事の矢島正之様からは、「電力自由化と分散型電源」につきまして、再生可能エネルギー電源も含めてその位置づけについてご講演を賜われます。

また、午後には、燃料電池開発情報センター常任理事の本間琢也様、並びに東海大学工学部副工学部長の伊藤高根教授から、それぞれ固体高分子形燃料電池とマイクロガスタービンの最新の開発動向と実用化の見通しなどにつきましてお話を伺いする予定であります。

続きまして「小型分散電源への期待と普及の課題」というテーマのパネルディスカッションがあります。司会を一橋大学の栗原史郎教授にお願いしております、大阪府立大学の伊東弘一教授、東京電力副社長の白土良一様、日石三菱

取締役の松村幾敏様，並びに東京ガス副社長の山口靖之様にパネリストとしてご参加をいただいております。小型分散電源の克服すべき課題，並びに今後の普及の見通しにつきまして，幅広いご議論を頂戴することを期待しております。

なお，本日は会場の席に限りがありますため，ご出席を賜りました多数の皆様方にはご窮屈を感じられるかと存じますが，何とぞその点をご容赦賜りますようお願いいたします。

最後に，本日ご参集いただきました皆様方に，重ねて心から御礼を申し上げますとともに，このシンポジウムがぜひとも皆様方のお役に立ちますことを祈念いたしまして，私からの開会のご挨拶とさせていただきます。本日はまことにありがとうございます。

来賓挨拶

藤 富 正 晴 (通商産業省 資源エネルギー庁)
長官官房審議官



まず、本日のエネルギー総合工学研究所のシンポジウムが、このような盛会裡に開催されましたことを、心よりお慶び申し上げます。

先ほど理事長から、予想を超える多数の方々のご参集に感謝する旨のご挨拶がありました。私の記憶によりますと、参加させていただきました昨年のシンポジウムに比べ、本日ははるかに大勢の方がみえています。これも、ひとえに、皆様方が最も高い関心を持たれている今日の問題をテーマに取り上げられたことによると思っています。

ところで、私どもの通産省にも、過去1年間、JCO事故を始めとし、さまざまな問題が発生しました。それゆえ、総合エネルギー調査会という通産省の審議会の中で、エネルギーの需要供給について、今春から1年間かけて見直しを進めています。

まず、需要面で見ますと、第2次オイルショックの後、日本のエネルギー消費は年々右肩上がりに伸びてきましたが、98年には16年ぶりに最終消費全体で低下しました。しかし、近年の不況の中にもかかわらず、民生部門、運輸部門では需要が伸びており、この点を十分見極め、省エネルギーによる消費節減がどの程度可能なのかも議論することにしていきます。

また、供給面では、わが国の1次エネルギー供給は、依然として52～53%を石油に依存しており、エネルギー源の多様化にもかかわらず、この数字はさほど低下していません。一方、石油の中東依存度は80数%に達しており、1次エネルギーショック時よりかえって増えています。かてて加えて、本年に入り、アラビア石油がサウジアラビアに持っていた自主開発油田の採掘権を失効しています。

このようなエネルギーの需給の中で石油事情が大きく様変わりしており、天然ガスや風力、太陽光などの新エネルギーに対する国民一般の方々の期待が高まっています。その中でも、本日のテーマのマイクロガスタービン、燃料電池が持つポテンシャルについて十分見極めていきたいと思っています。

原子力全体につきましては、JCO事故があり、昨年初めて放射線被曝により従業員の方が亡くなられ、周辺地域の方が実際に避難する事態が発生しました。そのようなことで、原子力防災には発電所以外の施設を含めて万全の対策をとり、万々が一の事故の発生にも備えた体制の整備をいたしました。

一方、今春、各電力会社から2010年に向けての電力供給計画が提出されました。その中で、原子力発電所の新設は、立地困難化の見込みによりかなり現実的な数字と思われますが、基数が減少しています。

このような状況のもとで、日本の社会が今後を求める3つのE——地球環境の保全、エネルギーセキュリティの確保、経済の継続的な発展——をなしつつ、エネルギーの需要供給をどのように進めるかを、1年かけて議論することになっています。

そういう意味では、本日のシンポジウムで取り上げられたマイクロガスタービンと燃料電池は、新エネルギーの中でも特に注目を集めており、まことに時宜を得たテーマと思います。

私も入省直後の昭和50年頃の一時期、航空機用ジェットエンジンの開発に携ったことがあります。航空機メーカー3社の共同研究プロジェクトで、昭和27年の航空機産業再開後初めての民間航空機用ジェットエンジンの開発でした。出来上がったエンジンは、科学技術庁が作りしました短距離離着陸機の「飛鳥」に搭載されました。また、後継エンジンのV-2500は、日本、ヨーロッパ、アメリカの3極共同開発のジェットエンジンになり、その点では、通産省が実施したナショナルプロジェクトの中での成功例に属するものでした。

一方、その当時から、航空機用ジェットエンジンの開発とともに、陸用の、小型民生用ガスタービンの開発が進められてきました。タービンの入口温度をいかにして1,400℃に高めていくか。それに必要なタービン翼の空冷技術、空冷

が無理なら、セラミックコーティングとかチタン単結晶材料のつくり方の研究など。一方、ジェットエンジンのままですと、陸用の大きな業務用施設以外には使えませんから、一般家庭用まで用途を拡げるには小型化が必要であり、いくつかの会社では当時からセラミックの小型ガスタービンを手掛けていました。

本日紹介されるマイクロガスタービンは、さまざまな面で一層の小型化が進められ、より広い需要を目指したものと思います。そういう意味で、きょうは、マイクロガスタービンに新たなスポットライトが与えられるでしょうし、燃料電池にも新しい示唆があるものと期待しています。

「小型分散電源の時代は来るか」という問いかけに、ぜひ「イエス」であることを祈念しています。

最後に、これから1年間、通産省ではエネルギーに関する総合的な議論が続きます。どうか皆様方におかれましては、種々ある電源、エネルギー源をどのような組合せるのがわが国に最適であるかをお考えいただき、私どもはそのご意見を反映した政策づくりを進めたいと思っています。

最後に、本日のシンポジウムが大きな成果を挙げられますよう祈念しまして、私の挨拶とさせていただきます。

〔基調講演〕

「21世紀のエネルギーシステム と分散電源の役割」



茅 陽 一（東京大学 名誉教授）

はじめに

まず、本日会場を一杯に埋められた多数の参加者皆様のお顔を目の当たりに拝見し、小型分散電源に寄せられる期待の高さを改めて痛感しました。

また、この6月、私はフランスのニースで開催された「世界ガス会議」に出席しました。そこでも、基調講演を初めとして随所に小型分散電源の話が飛び出し、世界的にも期待が極めて高いことが伺えました。

そのようなことで、きょうのシンポジウムは、まことに的を射たテーマを選ばれたと考えております。私に課せられた役割は、エネルギーシステムについて、特にわが国の場合に、一体どういう問題、どういう要請があるのかお話するのが1つ。もう1つは、その中で分散電源が持つ位置づけの2点かと思えます。ただし、私は、分散電源を単に持ち上げるのではなく、後半では分散電源が持つ様々な長短、それなりの問題点をいかに正しく評価するかに重点を置いてお話ししたいと思っています。

〔略歴〕

1957年東京大学工学部電気工学科卒業。講師、助教授を経て、1978年より東京大学工学部電気工学科教授。1995年退官、東京大学名誉教授。1995年より慶應義塾大学大学院教授。また、1998年より財団法人地球環境産業技術研究機構副理事長兼研究所長を併任。工学博士。専門はエネルギー・環境を対象とするシステム工学。

学会活動は、電気学会1993年度会長、エネルギー・資源学会会長（現在）、他多数。

政府関係活動は、総合エネルギー調査会会長、産業技術審議会委員、中央環境審議会委員、他多数。

著書には、「エネルギー新時代」「地球時代の電気エネルギー」他10数冊。

受賞には、電気学会1995年度功績賞他学会賞8回。エネルギーフォーラム賞、日刊工業新聞出版文化賞（1992年）、環境功労者（1997年）。

エネルギーを巡る今後の課題

長期存続の予測に転じた化石資源

適正価格の保持に要するストラテジー

先ほど藤富審議官が話されましたが、現在、わが国では総合エネルギー調査会でエネルギー政策全般の見直し作業が始まっており、来春まで続くと思っています。正直に申しまして、このエネルギー政策の見直しはかなり難しい作業です。私は、この審議会の冒頭、

藤富審議官のご挨拶にもありましたが、今後のエネルギー問題は、供給の安定化、環境の保全、特に温暖化に関する国際合意の実行、経済の適正な発展、そして自由化という形で経済効率化、この4つのファクターを重視して考えるべきと申しました。当たり前ですが、結構大変なターゲットです。

供給の安定性の1つをとりましても、実はいろいろな議論があります。石油価格の変動がその1つです。ここ1年半ほどの間で、石油価格はかなり変動しました。今後10年の中東石油の供給には、世界でもいろいろな予測があり、日本に及ぼす影響はさまざまに議論されています。

同時に、より長期の問題として、石油、天然ガスなどの化石資源の存続にも多くの議論があります。図示はいたしません、幸いにも一時期に比べますと、かなり楽観論が増えてきており、特に世界エネルギー会議やヨーロッパの研究所が最近出している予測を見ますと、従来の石油、天然ガスの究極可採埋蔵量、それから算出されます賦存年数もかなり長期化しており、21世紀はこれらの資源は大丈夫という観測が支配的という気がします。当面、供給安定性の問題は考えるまでもない、ということかもしれません。

しかし、世界的にはそのような見通しであっても、アジア地域の経済が急速に成長し、エネルギー消費が急増しますと、日本が化石燃料を適正な価格で安定的に確保していくには、いろいろな戦略が必要になります。当然、原子力その他の非化石燃料の確保と併せて、重要な問題かと思えます。

先ほど申しました総合エネルギー調査会にも、この問題に特化したワーキンググループ

を設け、詳しく検討することになっています。

C O P 3 合意の達成に

80年代省エネ2%/年の再現を

もっと大きな問題が、1997年12月のC O P 3（温暖化防止京都会議）での誓約です。ご承知のように、日本は1990年比で温室効果ガス排出6%減の公約に、まだ批准はしていませんが合意しました。世界的にはアメリカの批准という大変困難な問題を残していますけれども、やはり温暖化問題の重大性を考えますと、わが国はこの合意の実行に努力すべきであり、政府も現在その方向で動いています。

ところで、この合意の実行は、大変に厳しいものになります。図1は、1990年をベースにしたわが国のG N P（国民総生産）と、それに対するエネルギー起源の二酸化炭素（CO₂）排出量の推移です。日本の場合、CO₂の比率は、等価換算しますと温室効果ガス中の約95%を占めますので、温室効果ガスの影響はこの図を見ればよろしいと思います。実線の部分が98年までの実績で、多少の凹凸はあっても、G N Pが上がればCO₂も上がる、下がれば下がるという形で、両者は極めて密接にリンクして動いてきました。

ところで、現在の政府のもくろみでは、エネルギー起源のCO₂排出を2010年までに1990年レベルで安定化することにしており、国際公約した残りの6%減は、他の手段を考えているわけです。具体策はともかくとして、削減を図1のように右下がりの点線にするわけです。

一方、経済の方は、97年、98年の不況から脱出して、なんとか2%程度の成長に戻したいというのが政府の一般的な考え方で、それが図

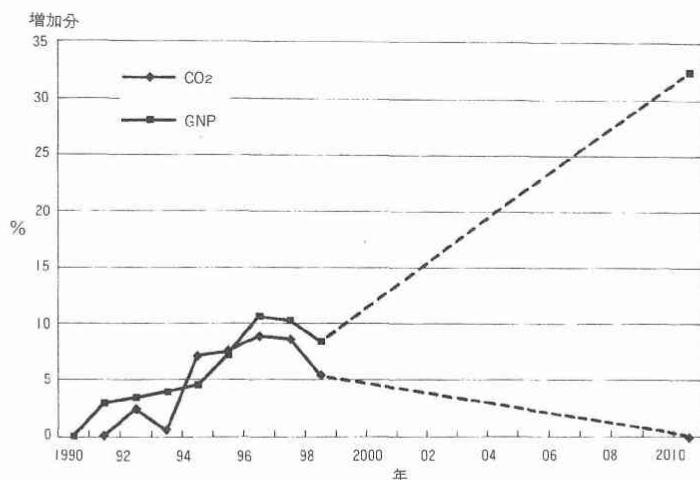


図1 日本のCO₂ / GNPの推移

1の右上がりの点線です。過去10年間に見られたCO₂とGNPの連関とはまったく異なった乖離にしなければならず、これが今後のわが国が達成すべきあり方となるわけです。

表1は、それを3要素に分解して検討したものです。使用エネルギーの炭素含有率(C/E)は、過去には世界平均で毎年0.3%ぐらい減少しています。その主な要因は、非化石燃料、中でも原子力の導入が大きく効いています。わが国の場合、1990年から98年には原子力の発電量が6割伸びたこともあって、0.9%/年という大変高い改善率を示しました。

表1 CO₂各要因の平均増加率(%/年)
—1990年代実績と2010年見通し—

	エネルギーの 炭素含有率 (C/E)	エネルギーの 経済効果 (E/G)	GNP (G)	CO ₂ (2010年 安定化)
1990～98	△0.9	0.6	1.0	0.7
99～2010				
通産見通し	△0.8	△1.7	2.0	△0.5
原子力増設のみ	△0.5	△2.0	2.0	△0.5
モトリアム	△0.2	△2.3		

ところが、エネルギーの経済効率(E/G)、つまり、プライマリーエネルギー割るGNPで省エネルギーになりますが、これは逆に0.6%/年で悪化しました。つまり、増エネ傾向を示したわけです。GNPの平均増加率(G)は1%/年でしたが、CO₂の値も、0.7%/年で増えてきてしまい、図1から読めますように、98年で1990年比5.5%増という結果が出ているわけです。これを2010年までにゼロに引き戻すには、約0.5%/年の削減が必要です。これを要素別の数字にしたのが98年に出た通産省の需給見通しのもので、経済成長を2%としますと、C/Eで示される化石燃料からの脱却率を90年代並に、省エネルギーを1.7%/年にして実現できるというものです。

しかし、現実にはこれは大変に厳しい数字です。90年代の増エネ傾向を逆向きに戻し、1980年代に実現した毎年2.0%に近い省エネルギーをいかにして再現するかが第1の問題です。

第2の問題は、表1の通産省の計算値に△0.8と書いてあります化石燃料からの脱却を、90年代同様に今後も続けられるかです。残念

ながら、これもかなり望み薄です。原子力の増設のみに限った場合と、原子力をこれ以上増やさない場合のC/Eの数字が表にありますけれども、いずれも通産省のもくろみに対して大幅に減少し、その分だけ余計に省エネルギーをやらなければ、現実にはCO₂の2010年の安定化は実現できません。

このような難しい目標の達成が、これから10年間、日本に課せられたエネルギー政策でして、これをいかなる形で具体化するかが今回の総合エネ調での議論の課題です。正直言って大変に難しく、これをうまい形で何とかフォーミュレートできないかというのが、私ども調査会が抱えている問題です。

さらなる脱化石・省エネを求める

I P C C の長期シナリオ

しかし、この問題は、ご承知のように、単に2010年までの問題ではありません。図2は、I P C C (気候変動に関する政府間パネル)が作りしました、450、550、750および1,000ppmvで大気中のCO₂を安定化させることに対応す

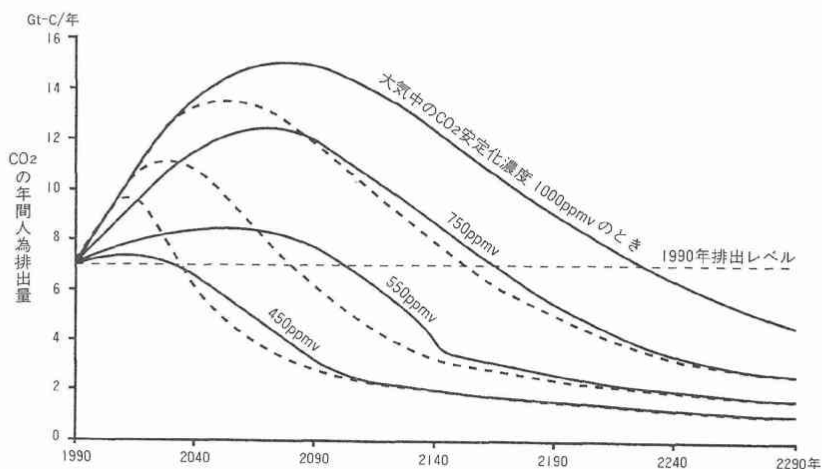
る排出量の推移で、450～750ppmvのシナリオについては、2種類の経路が実線と点線で示されています。CO₂濃度を産業革命時の倍の550ppmv程度に安定化すれば、人類文明は何とか耐えうるのではないかとよく言われています。それには、図の550ppmvの曲線が示すように、CO₂の年間排出量を2100年前後ではほぼ現在レベルにまで、長期的には現在の1/4のレベルまで下げなければなりません。これをどのような形で実現するかが、今後長期にわたり我々が達成すべき重大な課題でして、エネルギーの脱カーボン化、省エネルギーの2面に不断の努力が求められるゆえんであります。

ソフトパスとホロニックパス

もう1つの道――

小規模分散型の「ソフト・パス」

実はこの問題は30年ほど前から危惧されており、その中で分散電源の問題がいろいろな



出所：I P C C 地球温暖化第2次レポート

図2 二酸化炭素の大気中濃度安定化シナリオ

形で取り上げられてきました。その典型例が、ロッキー・マウンテン研究所副所長のエイモリー・ロビンズ博士が1977年に発表した「ソフト・エネルギー・パス」というコンセプトです。ここでは「ソフト・パス」と呼びますが、ロビンズの主張は、それまで進んできた文明路線は「ハード・パス」という大規模集中システムで、つまり、スケールメリットを求めた歩みでした。規模が大きくなれば、単価が下がり、需要が伸びる。需要が伸びれば、再びそれに対応する大規模な供給源が要するという形で、ポジティブフィードバックがかかったシステムが出来上がり、それが文明の発展を形づくってきました。しかし、これが限界にきているのではないかというのが、当時の問題提起でした。

彼は、“a road not taken”という言葉を使い、従来選ばなかった「もう1つの道」という形で、「ソフト・エネルギー・パス」というコンセプトを提唱しました。これが、分散電源あるいは分散型エネルギーシステムを中心としたシステムです。

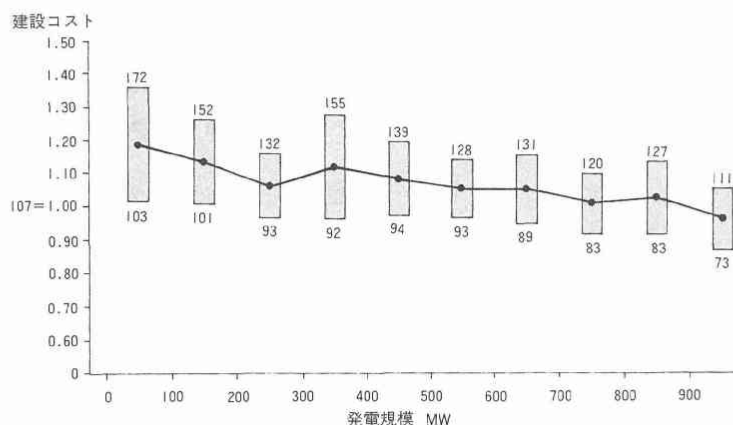
量産性が支える「ソフトパス」の経済性

彼がなぜソフトパスを主張したかが、表2に書いてあります。従来のやり方のハードパスは、規模の経済性をもっています。図3はその一例でして、1970年代にアメリカで運開された原子力発電所の発電単価です。ご承知のように、アメリカでは80年以降に運開された原子力発電所はありませんが、それ以前にはかなり多くの原子力発電所がつけられました。その発電単価をキロワットベースで、建設コストの形で示したものです。横軸が発電

表2 ソフトパスとハードパス

ハードパス：従来の文明路線＜大規模集中型＞
ソフトパス：もう一つの道 ＜小規模分散型＞

	ハードパス	ソフトパス
設備コスト経済性	規模の経済性 ○	量産性 △
運用の柔軟性	△ - ×	○
大量供給の可能性	○	×
市民の近づき易さ	×	○
自然利用の容易性	×	○



出所：T. Lee氏作成 informal paper

図3 アメリカの原子力発電所建設コストと発電規模の関係

規模でして、コストは右下がりになっています。この図で規模別のコストに幅があるのは、1基ではなくて何基かあるからです。これは1970年代の数字ですが、大規模な発電所が小規模設備に比べて建設コストにスケールメリットを有するという考え方は、現在でも変わっておりません。

それでは、小さいものはだめなのかといいますと、ロビンズが言ったのは、1つは量産という手段があるということ、また、出現する様々な分散型エネルギーシステムの中には、大きなスケールメリットを必ずしも持たないものがあり得るということです。実は現在出てきている分散型システム、例えば燃料電池や太陽電池は、スケールメリットが比較的少ないもので、このようなものが登場しますと、相対的に分散型であるソフトパスの不利点が減ります。

01 的運転ができる運用の柔軟性

不信感を軽減するアクセシビリティ

単にこれだけではソフトパスは取り上げられません、ほかにも大きなメリットがあり、その1つが運用の柔軟性です。例えば、需要の変動に対応する場合、大きな設備はどうしても運転の効率が落ちます。ところが、小さな設備を数多く集めた場合には、需要に応じ個別に設備を入れたり切ったりする、つまり01的な運転によって効率の低下を防止できます。現実には、現在のコンバインドサイクルシステムがその方式です。

彼が重視したのは、むしろアクセシビリティです。我々が現在つくっている数多くの大型設備は、大型になればなるほど当然のこととして、万全な安全確保が必要です。その

ため、今日の大型発電所では、現実に建屋の中に入ってもほとんど発電機そのものの回転は見られません。ましてや原子力発電所ですと、最近でこそ中に入れるようになりましたが、かつては一般の市民の方々は外から格納容器の建屋を眺めるだけというのが現実でした。

こうなりますと、建屋の中にはブラックボックスが入っていることになり、村上陽一郎さん流に言いますと、技術がデルフォイの神殿になっていました。それに対して、小型のものは目の前で動きますから、確かに見てよく分かります。家の屋根に置かれるソーラーパネルはその典型例で、そのような形でエネルギーが自分の身の周りの技術として存在すれば、市民がはるかに親しみを抱きます。つまり、エネルギーに対する不信感が大幅に軽減できるというのがロビンズの主張でして、私はこれがかなり大きいポイントかと思っています。

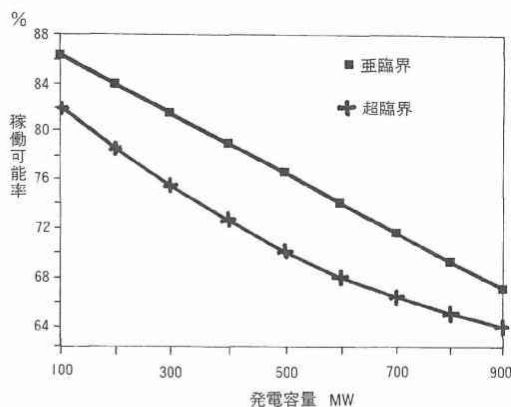
そして、分散型のものがたくさんつくられることになれば、当然、太陽エネルギーの直接、間接の利用という形で、自然利用がはるかに容易になります。

80年代初めに芽生えてた

「ホロニックパス」のコンセプト

このようにしてソフトパスの話が出てきましたが、一方でまた現実のエネルギーシステムでは問題が多い、という指摘が80年代になされるようになりました。

図4はアメリカの石炭火力発電所の容量別稼働可能率です。つまり、容量掛ける8,760時間を分母にして、現実の年間出力を割ったものです。もちろんベース電源として使った場



出所：The Energy Journal

図4 石炭火力発電所容量別稼働可能率

合で、超臨界と亜臨界の2ケースのデータですが、やはり容量が大きくなると大幅に稼働可能率が低下しており、大型のものは使いにくいという考え方がアメリカではかなり広まりました。

日本の場合、石炭火力の数が少なく、このようなカーブを正確には取れません。現実には存在する石炭火力についてこれに近いカーブをつくってみますと、これほどの大幅な低下は見られませんが、右下がりの傾向は日本にも出ています。

このようなことから、大型のものだけではうまくいかないという議論が、80年代にも大きく出てきました。私自身も、この考え方は大変重要なポイントだと考え、1980年代の前半に、「ホロニック・パス (holonic path)」というコンセプトを何人かの方と一緒に提唱したことがあります。残念ながら、これは言葉としてあまり根づかなかったのですが、考え方としては、従来のハードパス、つまり大型集中システムが持つ設備のスケールメリットを生かし、それに対して小型のものをうまく協調的に使って大型のものの持つ欠点、例え

ば需要の変動に対する効率低下の少ない対応、一般の人々にとってのアクセシビリティ、さらには長距離供給コストの問題などの欠点がある程度補完しようというベストミックス型の考え方で、私は現在でも間違っていないと思っています。

ところが、当時、この議論があまり盛り上がりなかった理由の1つは、肝心なめの分散型のエネルギー源、電源があまりなかったことです。従来型のディーゼルエンジン、ガソエンジンはもちろんありましたが、それ以外に考えられるリン酸形燃料電池や太陽光発電も非常に高コストでした。要するに、具体的候補となる分散型エネルギー源が存在しなかったのです。最近になり話が大幅に変わってきたのは、候補になりうるものが現われてきたことによります。

先ほど理事長のお話にもありました固体高分子形燃料電池やマイクロタービン、その可能性を満たしてくれる新しい電源と私も考えております。その詳細は、この後の話にあると思います。

分散電源の利点と問題点

期待にこたえ得るか

分散電源の排熱利用

次に、これらの分散電源が持つメリット、デメリットについて、特にデメリット面に着目して考えてみます。

まずメリットは、ソフトパス的なツールとしてのものとして、表3にまとめてあります。一般の人にとってアクセシビリティが高いこ

表3 分散電源の利点

- ❖ 送配電コストの低減
- ❖ 電源排熱の利用可能
- ❖ 一般の人にとってのアクセシビリティの高いこと
- ❖ 供給のフレキシビリティのあること

と。供給にフレキシビリティがあること。これは、需要の変動に対して供給が効率の低下なく対応できるという意味で、これらは先ほど申し上げたところです。

それ以外にも、分散型電源であれば需要地の近隣につくれますので、従来からよく言われている2つのメリットがあります。1つが輸送コストの低減で、電力の場合ですと、送配電コストが大幅に低下できます。もう1つは、電源排熱の利用です。具体的に言いますと、コージェネレーションが可能ということとして、トータルの効率、70～80%も期待できるという理屈になるわけです。

この2番目のポイントは大変に評価する人が多いようです。わが国でもそうですが、先日の世界ガス会議でも同様で、ある専門分科会での議論を聞いておりましたら、天然ガスのCO₂インパクトの問題が出てまいりました。ある人が、分散電源がいいのは分かるが、それが拡大して天然ガスの使用が増加すると、リーケージも当然比例的に増えるのではないか。それをトータルして、総合して評価するとどうなるのかという質問をしたわけです。ヨーロッパのガス会社の人による回答は、排熱の利用で効率が大幅に上るから、リーケージのようなネガティブな側面は完全に帳消しになるとの答でした。

これからもわかるように、排熱利用への期

待が非常に高いといえると思います。ただ私は、話はそう簡単ではないと思っており、この問題は後で改めて申します。

系統電源に対抗できるか

分散電源の熱電変換効率

表4には、今のことも含めての問題点がまとめられています。

1つは、もちろん高コストです。固体高分子燃料電池に対しては、自動車業界からの要請もあり、例えば、キロワット当たり100ドルといった、かなり思い切ったターゲットが課せられており、その方向へ向けての努力がなされていると、聞いています。しかし、現状では、まだまだ高く、いつになったら本当に安くなるのか、そう簡単な話ではないと思います。

マイクロタービンの場合には、確かに構造の簡略化その他もあり、従来考えたようなガスタービンの小型化に比べて大分安くなるのはよく分かりますが、本当に大規模電源に対抗できるほど低下するののかは、やはり見守るべき点かと思います。

大きな問題は、熱電変換効率が系統電源と比較して低くなりがちという点です。つまり、プライマリーエネルギーを与えて電気をつくり、さらにその排熱を使うにしても、やはり電気を出すまでの効率がこの分散電源の特性

表4 分散電源の問題点

- ❖ 現状ではコストが高い
- ❖ 熱電変換効率が系統電源に比べ低くなりがち
- ❖ 熱利用効率をあげるためには次の条件が必要
 - ・電力／熱需要の並行性がある程度あること
 - ・安く効率のよい貯熱装置のあること
 - ・電力系統と緊密に連系出来ること

を決める非常に大きな鍵になります。この値について、固体高分子形燃料電池は40%に到達できるし、またマイクロタービンも30%台を超えるといわれていますが、本当に可能なのか。仮にできたとしても、系統が現在到達している、例えばコンバインドサイクルの50%という効率に対応できるかの疑問は、依然として残るわけです。

熱利用の効率向上に鍵となる3つの条件

この問題では、今申し上げましたように、排熱利用が非常に重要なのですが、それには表4にある条件が要ります。

第1に、コージェネレーションでよくいわれてきたことですが、電力需要と熱需要の間に、何らかの意味で、時間的な変動パターンに並行性があることです。これがないと、電熱両方の需要に対してうまく供給できません。どこかにバッファが必要で、考えられるのは蓄熱装置か系統電力かのいずれかになります。電力/熱需要の並行性は、実際には日本ではかなり難しく、冬になれば温熱利用がかなり出ますが、夏には、給湯以外には温熱需要は少なく、逆に冷熱利用が非常に高くなります。このように、熱需要が電力需要に対して季節的に大きな乖離がある国と、ヨーロッパ、特に北欧諸国のように、夏でも冷熱需要がほとんどなくて、かなりの温熱需要が存在する国とは状況が違うわけです。

バッファに蓄熱ができますと、事情はかなり好転しますが、2番目の問題は値段と効率です。いくら製作コストが安くても、運転時の効率が悪ければお話になりません。

3番目に、電力系統と密接に連系可能という条件が要ります。つくった電気に過不足が

生じた場合に、余りを捨てるのではなく何らかの形で系統に返すし、逆に不足分は系統からもらう形で運転することにより、初めて高い効率が実現できます。しかし、そのような連系が本当にできるのか、当然ながら、これは、電力会社あるいは電力系統との連系に関する協調の問題ですが、これができることが非常に重要な条件になるわけです。

燃料電池戦略の最大課題

エネルギー供給媒体の選択

もう1つ付け加えたいのは、天然ガス、更に広めて言いますと、流体化石燃料をベースとする分散電源に必要なインフラ整備の問題があります。表5は、インフラにありうるチョイスを簡単に比較したものです。都市ガスの形になっている天然ガスのほか、メタノール、水素というチョイスがあり、燃料電池で利用する場合、水素が一番望ましいのですが、水素の供給に都市内にパイプラインを敷くのは、現実には極めて大変です。

現在、いろいろなタイプの媒体が考えられています。表5には、天然ガスをLNGという形で表現してありますが従来の都市ガスのことで、採取から輸送、液化も含めて検討しますのでLNGと書いてあります。また、メタノールに変換して輸送するやり方、それ以外にも例えばシクロヘキサンのようなエネルギー媒体を使う方法もあります。

このような媒体に対して、表5にあるさまざまなファクターで問題を考えなければなりません。燃料電池への供給時の改質の問題、都市内の輸送ネットワークの問題、さらには生産地からどういう形で運ぶかの問題。もし天然ガスから変換するのであれば、変換効率

表 5 燃料電池と天然ガス資源の利用パス

	天然ガス転換 (損失率%)	長距離輸送	都市内輸送	小規模燃料 電池利用 (改質)	小規模燃料 電池利用 (貯蔵)
LNG	△ (15~20)	△	○	×	△
メタノール	×	○	○ ~ △	△	△
水 素	△*	×	×	○	×

*：水蒸気改質、発生CO₂の処理が問題

の問題。例えば、天然ガスをメタノールに変換して運ぶとした場合、輸送自身は液体のため容易ですけれども、変換効率は必ずしも高くないという難しい問題があります。

いずれにしても、このようにすべてのケースに存在する一長一短を十分考慮してベストのものを見つけ出し、それに対応するインフラをいかにして整備するかが、今後の大きな問題です。

現在、通産省の中で、燃料電池戦略研究会というものが行われており、ここでも供給媒体としてどういうエネルギー媒体が一番望ましいのかの検討が、最大の課題になっています。現段階では、正直申しまして、どれか1つに答がまとまるのはどうも難しそうです。

ちんとした定量的分析が必要です。それはこの講演での趣旨ではありませんので、極めて簡単な仮定のもとに、問題の所在を示す分析例を紹介します。

いま、分散電源があって、表 6 にある前提で運用したとします。その場合に、従来のやり方に比べて良くなる条件、悪くなる条件の検討です。

考え方はこういうことです。分散電源のポイントは、図 5 にありますように、与えられた電力需要に対してプライムーバ、つまり原動機を通して電力を供給するのですが、その場合に出た排熱を熱需要に対して供給するわけです。もちろん、この熱需要にはいろいろ

表 6 効率最大を目途とした分散電源運用

効率最大を目途とした分散電源の運用

簡単には断定できない分散電源利用の優劣

ここまで分散電源の持つ利点と問題点を定性的に申しましたが、正しく評価するにはき

❖ 前提

- ・需要は電力需要 (E), ヒートポンプ利用可能熱需要 (H_{hp}), ヒートポンプ利用が不可能な熱需要 (H_n) の3種類とする。
- ・系統電力との完全連系が行われ、必要に応じて系統との電力の売買が可能とする。
- ・熱需要は必要に応じて直接燃料燃焼で充足できるものとする。

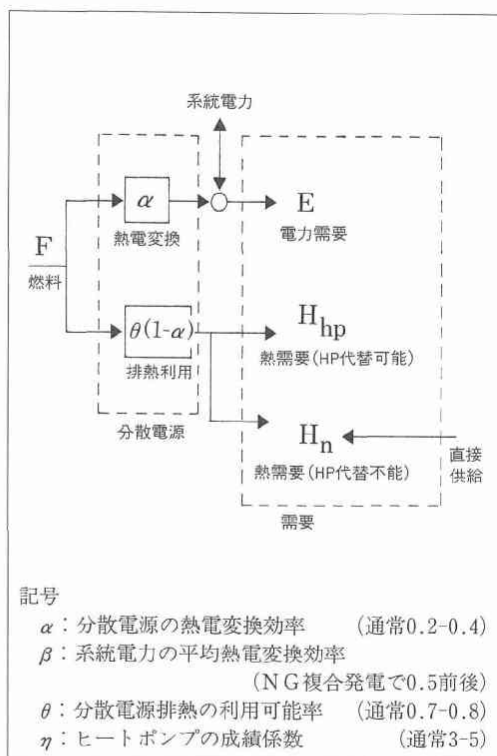


図5 分散電源と系統電力の協調システム

なタイプのものがあり、普通の暖房のようにヒートポンプ（HP）で供給可能なものと供給できないものがあり、分けて書いてあります。もちろん、今申しました分散電源であればコージェネレーションとまったく同じで、両方に供給ができます。

ところが、もし仮に図の分散電源がない場合ですと、電力需要は系統電力によって賄われます。図には書かれていませんが、ヒートポンプにも系統の電力が供給され、同時に自然界の熱を電力を使って汲み上げる形の組み合わせが出てきます。そして、ヒートポンプで代替できない熱需要は、当然、直焚き、追焚きということになります。

このようなストラクチャーを考えた場合には、分散電源でつくった電力が足りなければ

系統から供給するし、余れば系統へ戻すという形で最適な運転をしたとき、つまりできるだけ分散電源側で供給を充足する形で運転したとき、これに対して従来の系統電力だけの供給のときと、あるいは直焚きを含めたものの、どちらが効率がいいかの単純比較をしてみるわけです。

実は、いくつかの仮定があります。系統電源での変換効率は、天然ガス利用の前提条件で、50%に設定しました。この数字は、人によっては大変高いといわれるかもしれませんが、系統側にはおよそ5%の送電ロスがあり、発電効率も発電設備によってかなり違います。ただ、今後の天然ガス発電には、HHV（高位発熱量）ベースで50%を上回るものが出てくるのが確かですし、事実、2004年運開予定のコンバインドサイクルは53%が目標になっています。これらを考え、50%に設定しました。そのほか、排熱利用率は従来の0.8にしてあります。ヒートポンプのCOP（成績係数）は、自然エネルギーを使うために当然1より高いのですが、最近、民生用では5という高いオーダーも出ています。理論的には10近くまではありえますが、ここでは現実的に低めの3という数字を使いました。

計算結果によりますと、系統分散電源共存時の最適運用は、図6にありますように、分散電源の熱電変換効率の値により異なります。分散電源の使用が有利で、すべて分散電源で賄うという答、分散電源を使わず系統電力と直接熱供給だけで対応するやり方、さらにその中間があります。分散電源の熱電変換効率が、系統の平均熱電変換効率 β の0.5と分散電源排熱完全利用限界値 β_1 の0.32の間ですと、熱主電従型、つまり、熱の需要に対して

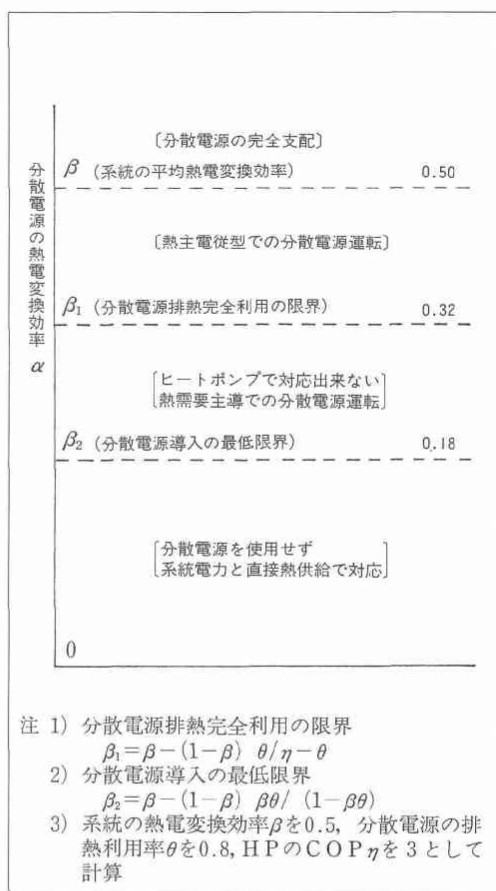


図6 系統／分散電源共存時の最適運用

供給をすべてそれに合わせる形で分散電源を運転し、余剰電力や不足電力はすべて系統をバッファにするという運転です。

ヒートポンプで対応できない、例えば高温の熱需要、すなわちヒートポンプでない直接熱供給だけで供給できる熱ですが、それだけにあわせて分散電源を運転し、あとの電力需要は全部系統に任せるというタイプが、図の β_1 の効率0.32と β_2 の0.18の間になります。

今申しました数値はむしろ1つの感覚として申し上げたかったものです。従来いわれております普通の燃料電池は40%が一つの目安の高い効率になっています。しかし、マイク

ロタービンの場合には、30%前後のオーダーにあり、また、従来のガスエンジンの効率もおよそ同レベルです。したがって、現実にある分散電源は実は図の β_1 の辺に存在しているわけですから、我々が考えている分散電源の利用が本当に従来のシステムよりいいかということになりますと、簡単には断定できないわけです。

系統連系による

トータルで有利な分散電源の利用を

これまで申ししたのは、必ずしも分散電源がいいものではないと言うのではなくて、分散電源をうまく系統と連系して、トータルで最適に運用する考え方をとらないと、分散電源の良さは消えると申しなかったわけです。つまり、今後を考えた場合、我々は系統と協調した分散電源運転というものを考えねばいけません。

これは、単純な仮定に基づいて効率だけで考えた議論ですが、当然、コスト面からの別途の検討も必要です。それについては省かせていただきますけれども、その場合に、当然ながら需要のパターン、時間帯によってもやり方は違ってまいります。

その意味で、分散電源の今後の運用は、スタンドアローンで使うのではなくて、むしろ系統といかに連系して、トータルで有利なエネルギー利用を考えるのが筋ではないかと申し上げたかったわけです。

分散電源のCO₂ 原単位

分散電源が不利になる

CO₂ 原単位計算の問題点

最後に、従来からいろいろなところで議論があり、今後も大きな問題になりそうな原単位問題について述べておきます。

原単位問題というのは、1つのエネルギー源、今の話の場合は分散電源ですが、それが排出するCO₂原単位をどう見るかの問題です。そんなのは決まりきっている。使う燃料の種類と量と、それから排出するCO₂の量とを比較すれば答は出るはずと言われると思いますが、問題は分散電源が今後いろいろなところに入ってきた場合に、従来システムと比較してどう評価するかポイントがあるわけです。

地方自治体は、温暖化対策推進法の施行により、それぞれ温室効果ガスの排出目標を設定して、その達成が求められます。ということは、それぞれの自治体は、さまざまな使用設備のCO₂排出を調べて目標を満たす努力をすることになります。

問題点は、図6にありましたように、熱電変換効率が高い分散電源を導入し、コージェネレーションを行って効率のよい発電、あるいはエネルギー供給を実現したとしても、計算上は、従来システムの方がCO₂排出が少ないという結果が生じるわけです。なぜかといいますと、従来の電力の構成は、原子力の比率が30数%、水力が7～8%で、40%以上が非化石燃料ですので、電力平均のCO₂排出原単位は、天然ガスを使った分散電源に

比べてはるかに低い数字になり、従来の系統電力の方が新しい効率の高い分散電源よりも有利という、妙な話になるわけです。

C O P 3 対応に整理を要する

分散電源排出CO₂ の原単位評価方式

これが業界内でいろいろな議論が出ている原単位問題でして、私は今後ますます大きな問題になると思っています。と申しますのは、今までは地方自治体という限られた範囲の問題でしたが、今後、C O P 3 合意への対応の中で、事業を行っている企業にもこの排出目標の議論が出てきます。そのとき、分散電源導入は不利になるという妙な議論の発生を避けるには、考え方の整理を要します。私は、従来の系統電力の場合と分散電力の場合の比較をするという考え方は同じですが、今申しましたやり方を使わないよう申し上げたいわけです。

その理由は、先ほど述べましたように、電力と熱の新しい需要が発生したとき、系統側で最適な形で電力を供給することになりますから、どの種の電源をどれだけ使うかを勘定して、その上で原単位を求めることにします。そうしますと、当然、平均的な原単位ではなくて、具体的に新しい需要に対応して運転される電源の原単位が、そのときの原単位になるわけです。これは火力になるという話をしばしば聞きますけれども、いろんな検討を考えてみますと、必ずしも火力という平均的なやり方では無理でして、その時の需要パターンにより大きく変わります。したがって、モデルを使って、きちんとした検討の上でこの計算をすることが望ましいわけです。その値と分散電源の通常の計算で出したCO₂原単位

を比べて分散電源のCO₂原単位が低ければ、分散電源の方がCO₂排出面でよりクリーンとする考え方を広めるべきと考えます。

このようなやり方は、現段階ではまだ定着していませんが、今後分散電源問題が広がるにつれて、この原単位の問題は避けて通れない課題でして、きちんと整理した考え方を根

づかせていく必要があると考えています。これは、問題提起の形になっていますが、大きな問題ですので、皆様方もぜひご検討願いたいと思っています。

それでは時間がまいりましたので、これで私の話は終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。(拍手)



〔講演〕

電力自由化と分散型電源

矢島正之 (財)電力中央研究所 研究参事



はじめに

私に与えられたテーマは「電力自由化と分散型電源」です。まず、問題の所在を、次いで、電力自由化の下で今後とも政策支援が必要と考えられる再生可能エネルギー電源について、最後に、最近経済性を向上させつつあるマイクロタービン、燃料電池などの、いわゆる「革新的」分散型電源について述べたいと思っています。

項目をやや細かく申しますと、再生可能エネルギー電源に関しては、

- ・市場自由化が再生可能エネルギー電源へ及ぼす影響
- ・自由化市場における再生可能エネルギー電源の促進策とその評価
- ・各国における再生可能エネルギー電源の促進策の動向

また「革新的」分散型電源に関しては、

- ・競争的な市場における位置づけになります。

〔略歴〕

1972年国際基督教大学大学院行政学研究科卒業。行政学博士。1970年電力中央研究所経済研究所（現経済社会研究所）入所。1998年より研究参事、現在に至る。1996年慶応大学商学部大学院、1999年一橋大学商学部の非常勤講師を務める。

専門分野は、公益事業論、電気事業経営論。

政府関係の活動に、自治省「公営電気事業の今後のあり方に関する検討委員会」委員、国際協力事業団「電力分野知的支援に係る連携促進委員会」委員がある。

著書に「電力市場自由化」（第15回エネルギーフォーラム賞優秀作受賞）、「電力改革——規制緩和の理論・実態・政策」（1999年、公益事業学会賞受賞）、「世界の電力ビックバン」など。

問題の所在

まず、分散型電源の定義を一言で申しますと、小容量電源といえます。内燃機関のほか、再生可能エネルギー、最近注目を浴びていますマイクロタービンや燃料電池などですが、きょうは、後に挙げた3つの分散型電源に焦点を合わせてお話をしていきます。

次に、なぜ分散型電源なのかということです。申すまでもなく、環境意識の高まりが進む中、環境に優しい再生可能エネルギー電源の普及促進に関心が集まったこと。同時に、マイクロタービン、燃料電池などの革新的な分散型電源が出現し、自由化市場参入の可能

性が高まったことです。

そこで問題意識として、高コストとされている再生可能エネルギー電源が、自由化市場で果して存続しうるかです。また、自由化市場では公平な競争の確保が重要な課題ですので、促進策が是認されるのかどうか。そして、どのような場合に是認されるのか。さらに、どのような促進策が適切なかが検討されなければなりません。自由化の流れの中で、再生可能エネルギー電源に対する世界の政策動向から何が言えるのかも、ここで検討していきたいと思います。

マイクロタービン、燃料電池などのいわゆる「革新型」分散型電源は、経済性を向上させつつありますが、従来の垂直統合型に代わる供給システムであるのかの検討が必要です。

再生可能エネルギー電源について

世界電力総容量に占める1.6%のシェア 背景にある政策的な購入義務づけ

図1は、世界代表国における再生可能エネルギー電源の普及状況でして、水力を除いた総容量に占めるシェアを示しています。各国平均は1.6%、それを上回る国が、デンマーク、ニュージーランド、ドイツ、オランダです。このうちニュージーランドは地熱によるものでして、地熱の研究開発に対する政府の政策的な支援があります。

注目されるのは、デンマーク、ドイツ、オランダで、電気事業者に対して、再生可能エネルギー電源による電力の購入義務づけが、政策的な背景として行われてきました。デン

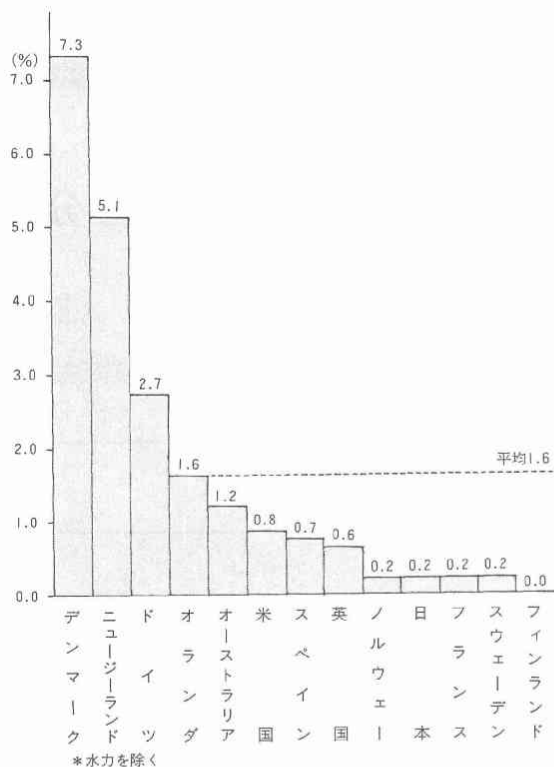


図1 世界における再生可能エネルギー資源*の普及状況

——総容量に占めるシェア (1995)——

マーク、ドイツでは、特に風力発電の普及に大きく貢献したといえます。しかし、自由化が進展すれば、電気事業者に対するこのような購入義務づけは困難化するといえます。

開発を妨げている要因

市場の障壁と市場の失敗

自由化が進展する中で、再生可能エネルギー電源はどうなるのか、その開発を妨げている要因は何なのかからお話しします。

2つのケースがあり、1つが市場の障壁、いわゆるマーケット・バリアの存在、もう1つが、市場の失敗、すなわちマーケット・フェイリアが存在する場合です。

市場の障壁には、経済的リスク、技術的リスク、環境リスクがあります。経済的リスク

には、特に再生可能エネルギー電源の将来価格に関する不確実性が、やはり高いのではないかというリスクです。技術的リスクには、技術が成熟化していないことから、発電設備の運転困難性に関するリスクです。3番目の環境リスクでは、風とか太陽の出現頻度などの自然条件により、運転が左右されるリスクです。

しかし、これらのリスクは投資に際して当然考慮されるべきものであり、このようなリスクがあるのを理由に政策的支援を行えば、社会的な最適レベルよりも過大な投資を招く虞れがあります。

しかし、市場の失敗がある場合には、政策介入の根拠は存在します。再生可能エネルギーですと、火力発電のような在来発電システムからの排出に伴う負の外部性が内部化されていない場合です。

このように、再生可能エネルギー電源の開発には、さまざまな障壁があります。自由化が進展しますと、マーケット価格が低下して、

高コストの再生可能エネルギー電源の開発は、一層困難化することになります。

開発の困難さを軽減するには、外部コストの内部化が必要となります。しかしその上で、自由化市場においては、再生可能エネルギー電源も在来電源同様に、競争圧力から免除されるべきではないと思います。

再生可能エネルギーの促進策

表1は、再生可能エネルギー電源の促進策を示しています。これらについて若干の補足をします。

単位当たり固定の補助金の支払は、外部不経済の内部化というより、新エネの導入により環境汚染物質の排出を減らし、そのプラスの外部効果を内部化する意味において、再生可能なエネルギーに対して補助金を支払うというものです。

価格保証は、先ほど述べました、電気事業者に対する購入の義務づけといえます。アメ

表 1 再生可能エネルギー電源を促進するための手段

政 策 手 段	採 用 国
在来電源に対するエネルギー (CO ₂) 税	ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、ドイツ、オランダ
排出権取引	米国 (SO ₂ 排出権)、 デンマーク (CO ₂ クレジット) EU (グリーンペーパー; 提案段階)
投資補助	スウェーデン、フィンランド、オランダ、デンマーク
単位当たり固定の補助金の支払い	デンマーク、ドイツ、米加州
価格保証	ドイツ、デンマーク、オランダ、 スウェーデン 米国 (PURPA)
一定規模の競争入札の義務づけ (+ 価格保証)	英国 (NFFO; 非化石燃料義務)
クォータ制	米国 (RPS; 再生可能エネルギー・ポートフォリオ・スタンダード)、 デンマーク、オランダ

リカでは、1978年の公益事業規制政策法、通称 PURPA により、再生可能エネルギー電源やコージェネレーションからの余剰電力の購入を電気事業者に義務づけました。ただし、これは廃止されることになっています。

一定規模の競争入札の義務は、卸供給入札に当って一定のシェアを再生可能エネルギーから購入するというものです。イギリスでは、これに価格保証を組み合わせた形で、非化石燃料の購入義務が採用されています。ただし、これも廃止になる見通しです。

最後のクォータ制は、電力の供給事業者、最終需要家に対して、一定のシェアは再生可能エネルギー電源からの購入を義務づけるものです。アメリカでは再生可能エネルギー・ポートフォリオ・スタンダード (RPS) といわれており、連邦での導入計画があり、州レベルでは現在10の州が採用しています。また、デンマーク、オランダでもこの制度が導入されています。

各種導入促進策の評価

再生可能エネルギー電源にはさまざまな促進策が採用されており、その評価が必要です。

まず、発生者負担原則 (Polluter-Pays-Principle) が可能な限り尊重されなければなりません。経済学的には、エネルギー税 (CO₂ 税)、排出権取引などの外部効果の直接的な内部化が「ファースト・ベスト」の解と考えられています。

しかし問題は、外部効果をどう評価するかです。また、実行段階における困難さ、とりわけ政治的な困難さの問題があります。一国だけで導入することの意味や国際競争力への配慮から、エネルギー多消費型産業は多くの

国で軽減措置を受けており、完全な形の内部化はなかなか難しいという問題があります。

このため、しばしば現実的な解として、再生可能エネルギー電源による発電に単位当たり、すなわち kWh 当たり固定の補助金を支払う方策が「セカンド・ベスト」と考えられます。化石燃料に対して課徴金を課すとか、負の外部性を内部化するなどの発想を逆転して、新エネの導入により CO₂ 排出を減らすという、プラスの外部性を内部化する考え方に基づくものです。

また、一定シェアの再生可能エネルギーの購入を義務づけるクォータ制が「サード・ベスト」と考えられます。

各種導入促進策の評価 (続き)

先ほど、「ファースト・ベスト」は実行段階での難しさがあると申しましたが、それ以外の手段に関する評価を述べておきます。

まず、投資補助は、排出削減とは無関係に供与されるという点で効率的な手段ではないと考えられます。

次に、最低価格保証は、市場価格を上回る一定の価格で購入することを電気事業者に義務づけます。これは、市場価格の変動に応じて補助金変動し、その適切なレベルと一致する保証はないため、やはり効率的な手段ではありません。

3番目の、再生可能エネルギー電源のための市場の分離とは、競争入札、わが国で採用している卸供給入札、もしくはクォータ制において、発電や電力購入における再生可能エネルギー電源のシェアを定めておくことです。しかし、1つはシェア設定に関する政策の失敗の可能性、例えば実現不可能と考えら

れるような大きなシェアを設定するような可能性もあり、また技術間競争が排除されてしまう問題点もあります。すなわち、新エネはクォータの中では相互に競争しますが、新エネと在来型電源との競争が排除されてしまうという問題があり、その意味で、これは「サード・ベスト」と考えられています。

しかし、卸供給入札制度に代表される競争入札よりもクォータ制の方が優れているといえます。それは、競争入札は入札時の一度かぎりの競争ですが、クォータ制のもとでは再生可能エネルギーは絶えず競争圧力にさらされるからです。また、先ほども言いましたが、kWh当たり固定の補助金、これはセカンド・ベストと考えられるわけです。

各国に見られる

再生可能エネルギー電源促進策

アメリカ——

再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準へ

これまで理論的整理を行ってきましたが、この後、各国の動向を見ていきます。

繰り返しになりますが、アメリカでは、1978年、「公益事業規制政策法」(PURPA)により、再生可能エネルギー、コージェネレーションからの余剰電力の購入を電気事業者に義務づけましたが、これは廃止される見通しです。

代わりに、「再生可能エネルギー・ポート・フォリオ基準」が現在計画されています。これはクォータ制であり、2010年までに水力を除いて7.5%のシェアを目標にしています。また、DOE(米エネルギー省)は、現在、2020

年までに風力発電を2%から5.5%にする計画も提案しています。州レベルでは、前に申しましたが、コネチカット、アイオワ、マサチューセッツなどの10の州で採用されています。

英国——

非化石燃料購入義務制度からクォータ制へ

イギリスは、これまで非化石燃料購入義務(NFFO)という制度を採用してきました。これは、競争入札と最低価格保証を組み合わせたものです。政府は、一定規模の再生可能エネルギーの導入を促進するため、競争入札を実施しました。そして落札した電源に、プール価格すなわち市場価格と落札価格との差に補助金を与えるというものです。これまで5回の競争入札が実施され、最初の競争入札が90年9月で、この時の平均契約価格は7ペンス/kWhでしたが、98年9月の5回目の入札では、2.7ペンス/kWhまで低下しております。契約容量は247万kW、1998年9月の時点で62万kW運開しています。

しかし、イギリスは、プール制を前提としたこの制度を廃止し、ことし(2000年)の11月から相対を中心とした電力取引に変更する予定です。これに伴い、先ほどの非化石燃料購入義務制度も廃止になり、代わって現在導入が検討されているのがクォータ制です。

デンマーク・オランダ——

クォータ制の採用

デンマークは、これまで電気事業者に対して、再生可能エネルギー及びコージェネレーションからの購入の義務づけをしてきました。しかし、昨年(1999年)5月、電力供給法が成立し、需要家に対して再生可能エネル

ギーからの購入義務づけを行うことで、2003年末までに総消費量の20%という、極めて大きなシェアを設定しています。

オランダは、電気事業者と政府の自主的協定に基づき、96年から2000年ということで、クォータ制を採用してきています。政府が再生可能エネルギー発電事業者にグリーン証明書を発行し、供給事業者に規程料金需要家に対する販売の3%を購入義務づけています。

ドイツ——

電力注入法改正による購入の義務づけ

ドイツは購入義務が存続しています。1990年の電力注入法、これは1994年に改正がありました。この法律により再生可能エネルギーから電力をプレミアム価格で購入することを配電会社に義務づけました。これは、再生可能エネルギー電源の種類により、電気料金の65%から90%を保証するものです。その結果、再生可能エネルギーは著しく普及しました。とりわけ風力発電は、1999年現在、339万kWの容量が建設され、これは世界一の導入量です。

2000年にこの法律が再び改正され、再生可能エネルギーからの電力を一定価格で購入という、一層進んだ義務づけがなされました。

しかしながら、これについてはEU（欧州連合）委員会は、EUの競争法に違反すると批判しています。すなわち、特定の電気事業者に対する購入義務を課すのは、公平な競争の観点から問題があり、また、特定タイプの電源に優遇措置をとることも問題であるとしています。したがって、ドイツのこのような購入義務づけは、恐らく過渡的措置になるかと思われます。

EU——

各国に目標値の設定を指令

排出権取引のグリーンペーパーを提案

EUレベルでも、再生可能エネルギー電源の促進策に関する検討が進められています。

EU委員会が今年（2000年）の5月、閣僚理事会に提出した指令によりますと、各国は自ら再生可能エネルギーに関する目標値を設定し、2010年の時点で、水力込みですが、EU全体の発電量で22.1%の導入を見込んでいます。そして、この指令の発効後2年以内にグリーン証明書制度の導入を提案しています。しかし、このグリーン証明書制度そのものは、クォータ制度ではありませんが、将来はクォータ制の導入につながっていくように思われます。

同時に、排出権に関するグリーン・ペーパーを本年（2000年）3月に提出しています。これはさまざまな団体からコメントをもらうためのものでして、2008年から2012年にかけて、1999年比で温室効果ガスの8%削減を提案しており、恐らく2008年からスタートすると見られています。

導入促進策のまとめ——

購入義務づけは廃止

クォータ制採用が増大の方向

自由化市場における再生可能エネルギー電源の促進策をまとめておきます。

まず、電気事業に対する購入義務づけは廃止の方向にあります。これは、一部の国で再生可能エネルギーの普及を大きく促進しましたが、自由化市場における考え方とは相容れ

ないからです。

サード・ベストのクォータ制の採用が多く
の国で増えています。これは1つに目標達成
の確実性が、2つ目に実施の容易さがありま
す。オランダは既に実施しており、デンマー
ク、イタリアでは立法化しています。法案の
計画段階にあるのは、ベルギー、イギリス、
オーストラリア、それからアメリカの連邦レ
ベル。州レベルでは一部が既に実施中です。

総じて言えますのは、先ほどの排出権市場
に関する動きもあわせて、再生可能エネルギ
ー電源の促進策は、マーケットベースへ移行
しているということです。

「革新的」分散型電源の位置づけ

米国での市場参入——

可能性あるニッチ市場への進出

最近、経済性を向上させつつあるマイクロ
タービン、燃料電池などの市場参入の可能性
を、アメリカの事例で申します。

カリフォルニアでは、分散型電源に対する
政策づくりが先行しており、1996年4月、分
散型電源の将来に関するラウンドテーブル・
ディスカッションが開催されました。その当
時には、分散型電源へのフィーバーがあり、
多くの方は集中型システムに取って代わるよ
うな印象を抱きました。その後、1999年6月、
カリフォルニアの公益事業委員会、エネルギ
ー委員会などの規制当局が分散型電源の制度
づくりに向けて開いたヒヤリングでは、むし
ろ集中型システムを補完するものとしての位
置づけが一般的になってきたようです。この

点、茅先生が基調講演の中でも述べられまし
たが、基本的にはその方向と思われます。

そこで当面のシナリオを申しますと、技術
革新の進展度合により異なりますが、少なく
とも10年ぐらゐの間は、集中型システムと競
合しないニッチの市場への進出が予想されま
す。具体的には、

1つは、系統側の設置で、送電制約を解消
するものです。

2つ目は、リアル・タイム料金と分散型電
源の発電コストの差を利益として取得するた
めの利用。言い換えれば、リアルタイム料金
が導入されたとき、ピーク料金が低い時間帯
に分散型電源を動かすというものです。

3つ目が、緊急時電力の供給に使うもの。
ブラックスタートに使うなどです。

4つ目が、系統の及ばない遠隔地での電力
供給です。

5つ目が、特定クラスの商業用需要家に対
する電力品質の向上。バックアップ電源もし
くはスタンドバイ電源として使うものです。

従来の集中型システムに取って代わるに
は、一層の技術革新が必要であり、それは経
済性、信頼性、利便性のすべての分野につい
ていえます。需要家の主要なニーズであるこ
れらの側面がすべて満足されて、はじめて集
中型電源に代わる主流の電源として分散型電
源が地位づけられるでしょうが、現在、そこ
まで到達していないと思われます。

日本市場参入に高いハードル

電力信頼度とパイプライン網の相違

日本市場参入は、アメリカよりハードルは
高いといえます。

アメリカでは、電力の品質向上を目的とし

た分散型電源の使用が考えられていると申しました。日本の場合、集中型システムの信頼度が極めて高い点が異なります。例えば、停電時間で見ますと、日本はアメリカの10分の1で高い信頼性をもっており、それだけ緊急用、バックアップ用の需要が少なく、その意味でハードルが高いわけです。

もう1つは、天然ガスパイプライン網の相違で、アメリカでは、需要家は天然ガスパイプラインへのアクセスが容易です。ガス価格は、分散型電源を設置する場合のエンドユーザで、集中型システム発電用のガスに対して1.2倍という、競合しうるレベルにあります。しかし、日本では、需要家の天然ガスへのアクセスは極めて限定的でして、ガス価格は発電用ガスに対し約2.5倍と極めて高く、このように困難なハードルを乗り越えねばなりません。

画期的技術革新により

完全自由化へのシナリオも

しかし、将来、画期的な技術革新がなされた場合、集中型システムの補完ではなくて、競合もしくは取って代わる新たなシステムに発展し、自由化シナリオも変化してきます。

現在の自由化シナリオは、いわば第1段階と位置づけられます。自由化の範囲は発電と供給の部分で、ネットワークの部分は自然独占です。これはエッセンシャル・ファシリティでして、これに対する規制は存続します。そして、ネットワークへの公平なアクセスが重要な政策課題になり、このアクセスの形態により種々の自由化モデルが開発されてきました。

したがって、厳密には完全自由化という言葉は使えません。自由化はあくまでも発電と

供給の部分でして、ネットワークの部分ではありません。自由化のためネットワークを並行して走らすことは、多くの国で考えてはいません。

しかし、分散型電源に画期的技術革新が起きますと、自由化シナリオは第2段階に移行し、配電のバイパスがありうると思います。配電は自然独占ではなくなり、配電事業も自由化されて、すべての部分に競争が入ってきます。徹底的な競争導入の可能性が、将来的にはあるということです。

このような画期的な技術革新は、当面は考えにくいのですが、それでも集中型システムを補完する形で分散型電源が入ってくることは間違いありません。その場合にも、解決を要する制度的課題は数多く残っています。

「革新的」分散型電源の

市場参入に際し解決を要する諸問題

「革新的」分散電源が市場参入するに際して、幾つかの解決すべき課題があります。

まず、誰が所有するのか。既存の電気事業が所有するのかの問題です。

これについては、アメリカでかなり議論がなされています。アメリカ、ヨーロッパとも、競争分野である発電と独占分野であるネットワークをできるだけ分離する方向に進んでおり、アメリカの多くの州では、発電を完全に切り離した電気事業者もいます。これは、要するに、垂直的市場支配力の行使を防ぐことにありますが、既存の電気事業が分散型電源という発電を所有しますと、再びこの問題が発生します。アメリカでは、その解決策が議論されています。

そこでは、送電系統に設立されたいわゆる

独立の系統運用者、インディペンデント・システム・オペレーターのようなものを配電レベルにも設置する必要があるのかどうか、そしてそれにより配電系統への公平なアクセスを保証する必要があるのかどうか、が議論されています。これが、完全に発電が分離されなければ出てくる問題です。

2番目が予備電力の料金をどのように設定するかです。

分散型電源が系統に連系していて、系統からバックアップとかスタンドバイの電力、いわゆる予備電力を受ける場合には、その料金をどのように設定するか的问题があります。追加的電力の供給に必要な追加的コスト、すなわち安い増分コストでいいのか、もしくはトータルのコストに基づいて計算するののかの問題です。

3番目が、系統への依存度が低下することによるストランデッド・コストの発生です。

需要家が系統から離脱して分散型電源を選択しますと、配電設備のストランデッド・コスト化が進展したとき、このコストを系統に残っている需要家が払うのか、それとも離脱した需要家に離脱料金として課すのかの問題です。

4番目が、分散型電源による市場支配力の軽減です。

分散型電源の事業者は、その地域の系統に容量不足が発生したとき、その時間帯に、その地域の需要家に対して高い価格を設定することが可能になります。このような市場支配力をどのようにして軽減するかの問題です。

5番目が、系統連系基準の設定です。

申すまでもなく、どのような基準を設定す

るのかの問題です。

6番目が、配電レベルでの託送ルールの設定です。

分散型電源が余剰電力の託送を行うとき、配電レベルでの託送ルールの設定が新たに必要になり、この問題の解決が求められます。

「革新的」分散型電源の

位置づけに関するまとめ

最後に、「革新的」分散型電源の位置づけをまとめてみますと、

- 当面、従来の集中型システム補完の位置づけです。
 - しかし、将来、画期的な技術革新が出現したとき、電気事業は、配電事業自由化を含む第2段階の、よりドラスチックな自由化に移行していくと思われます。
 - 第2段階自由化への移行は直ちには考えにくいのですが、「革新的」分散型電源は、確実に電力市場の一部に参入してくると考えられます。
 - その場合の制度的課題は数多くありますが、その検討はまだ緒についたところです。分散型電源の制度づくりが先行しているカリフォルニアにおいても、バックアップの基準が策定されただけで、それ以外の課題については、当初の2000年6月頃の策定完了予定が遅れており、今後1年かけて検討するとのことでした。
- 分散型電源の促進は、このような政策次第で、大きな影響を受けるものと思っています。
- 以上をもちまして、駆け足になりましたが、私の話を終らせていただきます。(拍手)

〔講演〕

固体高分子形燃料電池の 開発動向と実用化の見通し

本 間 琢 也 (燃料電池開発情報センター)
常任理事



はじめに

最近、燃料電池が大変なブームになっています。私どもが講演会、見学会、研究会などを開催しますと、2、3年前は赤字にならないようあちこちに電話して参加をお願いしていましたが、最近は逆に、申し訳ないですけど満員でしてと、お断わりしなければならぬ状況です。

私は少々バブル気味との気もします。このバブルははじけないかもしれないし、また仮にはじけたならば、その後一体どのように收拾するのか、その辺りが今日の主題かと思えます。

それで、前半は、燃料電池、特に固体高分子形燃料電池(PEFC, Polymer Electrolyte Fuel Cell)とは何か、どのような問題があるかのお話をし、後半は、市場展望を述べました後、最近『Fuel Cell Bulletin』誌に掲載されたアメリカのサリバン氏のマーケットリサーチがきょうの答になるかと思えますので、その紹介をいたします。

〔略歴〕

1957年京都大学大学院工学研究科(応用物理学)修士課程終了。1958年工業技術院電気試験所(現、電子技術総合研究所)入所、1970年同所エネルギー変換研究室長。1979年筑波大学教授(構造工学系)、1993年新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)理事、筑波大学名誉教授。1995年燃料電池開発情報センター(FCDIC)顧問、1997年常任理事。

工学博士(京都大学)。専門分野は、エネルギー工学、主として非核新エネルギー利用技術開発。

政府関係活動には、新エネルギー技術戦略策定調査検討会委員(資源エネルギー庁)、エネルギー需給・代替エネルギーFeasibility Study検討委員会委員(科学技術庁)その他がある。

著書には、「自然エネルギー」、「PEM燃料電池入門」など多数。

燃料電池の原理とシステムの概要

燃料電池の原理

燃料電池には、固体高分子形のほか、リン酸形、熔融炭酸塩形、固体電解質形、アルカリ形など種々ありますが、ここでは、固体高分子形、リン酸形により簡単に原理をお話します。

燃料電池は、純水素を燃料とすれば二酸化炭素(CO₂)が出ない理想的な発電装置といわれています。図1がそのシステムの概要です。実際には、燃料の水素は、主に化石燃料から、

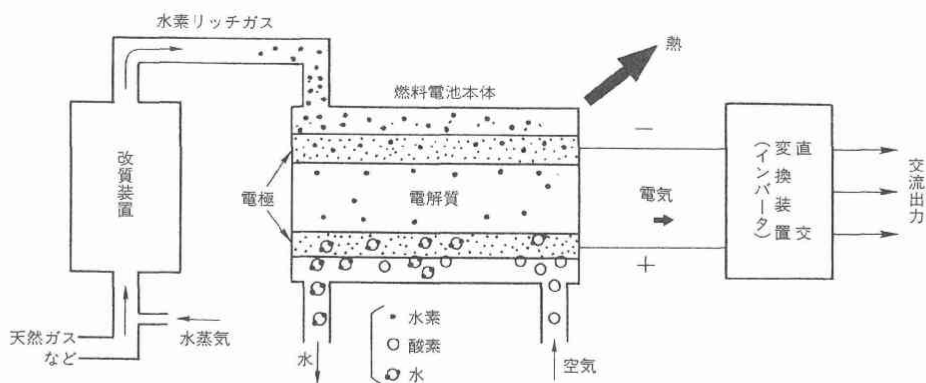


図1 燃料電池発電システム

あるいはバイオマスからでもよろしいのですが炭化水素系の燃料から、通常は水蒸気改質というプロセスを経て取り出します。改質装置の中では、例えば1 molの天然ガスと2 molの水蒸気の反応ですと、

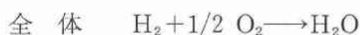
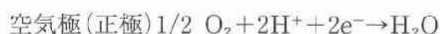


により水素とCO₂が4対1の割合で出てきます。これを水素リッチガスまたは改質ガスといっており、次に燃料電池本体に送ります。

燃料電池の反応は、よく言われますが、水の電気分解の逆になります。燃料極と呼ばれる多孔質の電極に送られた水素分子は、電極表面で水素イオンと電子に分離し、水素イオンは電解質中に、電子は電極に接続している外部回路へ出ていきます。

もう1つの空気極と呼ばれる電極に送られた空気は、その中の酸素分子が電解質中の水素イオンと外部回路から来た電子により反応して水になります。

これを全体でまとめますと、水素ガスと酸素ガスが水素イオンを仲立ちとして反応し、結果として外部回路に電気を流し、また水をつくり出すことになります。反応を式で表わしますと、



になります。

燃料処理を行う水蒸気改質

燃料処理システムをもう少し細かく眺めたのが図2です。燃料を最初に脱硫器に送り、硫黄と不純物を除去します。その後、先ほど説明しましたように、水蒸気により水蒸気改

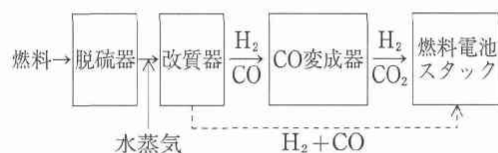
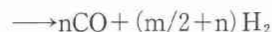
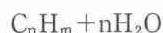
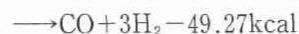
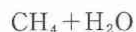


図2 燃料処理システムの概要

質を行います。反応は、一般に炭化水素のとき、



の吸熱反応です。天然ガスの場合は、その主成分がメタンですので、



の反応になり、一酸化炭素 (CO) が出てきます。

COが出てきますと、リン酸形燃料電池の場合は運転温度が200℃と高いからいいのですが、固体高分子形の場合は常温付近で運転しますので、電極反応を速めるために使っている触媒の白金あるいは白金合金が、COにより触媒の性能を落とす、いわゆる被毒が発生します。そのため、COを除去する必要がある、CO変成器を通して水蒸気によりCOをさらに酸化させ、CO₂とH₂にします。この反応は



でして、改質と合わせますと、H₂とCO₂が4対1の割合で出てくることになります。

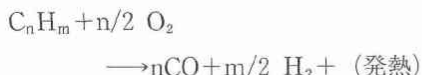
ところが、この水蒸気改質は、いわゆる吸熱反応ですので、外から絶えず熱を加えねばなりません。さらに運転温度も、天然ガスの場合には700℃から800℃、メタノールであっても300℃ぐらいにする必要があります。

このように、吸熱反応にしてしかも高温運転のため外から熱の供給が必要です。最近では、プレート熱交換を使ってクイックリスポンス型の、起動時間を短くする水蒸気改質装置ができていますが、一般的には起動に非常に時間がかかります。

例えば自動車ですと、運転席に座って鍵を突っ込めばスッと出るのであれば、運転者は気が済みません。自動車には、起動時間が特に短いことが要求されます。もちろん、ハイブリッド式にして電池を積み、電池でスタートすればよろしいのですが、それにしても起動時間を速くする必要があります。

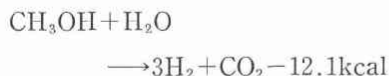
速くするため、吸熱でなく発熱になるいわゆる部分酸化法ですと、一般的にC_nH_mの炭

化水素系燃料の改質のとき、



の反応式になり、2分程度はかかりますが、速やかに立ち上がれます。

また、メタノールのようなアルコールですと、水蒸気改質では、



の反応式になって、3対1の割合でH₂とCO₂が出てきます。

いずれにしても、改質過程ではCO₂の発生は避けられません。

燃 料 電 池 の 特 徴

注目すべき燃料電池の理想熱効率

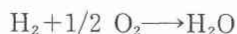
燃料電池には数々の優れた特性がありますが、効率面から説明します。

まず、燃料電池は、燃料のもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変えることができる変換装置といえます。

従来熱機関は、燃料を燃焼させて一旦熱エネルギーに変え、それを機械エネルギーに、さらに電気エネルギーに変えます。このときの全体の効率は、3段階それぞれの変換効率を掛け合わせたものになりますが、このうちタービンを用いて熱エネルギーを機械エネルギーに変換する過程にはカルノー・サイクルによる限界値があり、効率の高い大規模発電所でも、全体では40%程度に留っています。燃料電池の場合は、電気化学的反応ですのでこのような制約を受けず、高い効率が得られ

ます。

先ほど、燃料電池の反応は、全体としては水の生成反応である、と申しました。



の式は、通常、水素が燃えて水になる反応でして、25℃のとき、生成するH₂Oの1 mol当たり286kJの燃焼熱が発生します。熱力学ではやや難しい言葉ですが、これをH₂+1/2 O₂からH₂Oへのエンタルピーの変化(ΔH)と呼んでおり、この場合はエンタルピーは減少で負の値になります。

燃料電池は、このエンタルピーの変化を電気と熱の形にして取り出すシステムでして、原理的には25℃の反応のとき、237kJ/molが電気に、残りの49kJ/molが熱になります。熱力学では発生した電気エネルギーをギブスの自由エネルギー変化(ΔG)と呼び、またΔSを反応におけるエントロピー変化、Tを熱の絶対温度としますと、この水素酸素燃料電池の

ΔHとΔGの間には、図3の左側の図のように、

$$\left[\begin{array}{c} \text{取出しうる} \\ \text{電気エネルギー} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{燃料の} \\ \text{燃焼熱} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{熱となる} \\ \text{エネルギー} \end{array} \right]$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

の関係があります。

したがって、燃料電池から電気を取り出すときの理論効率すなわち理想熱効率は、

$$\Delta G / \Delta H = 83\%$$

の数字が出てきます。

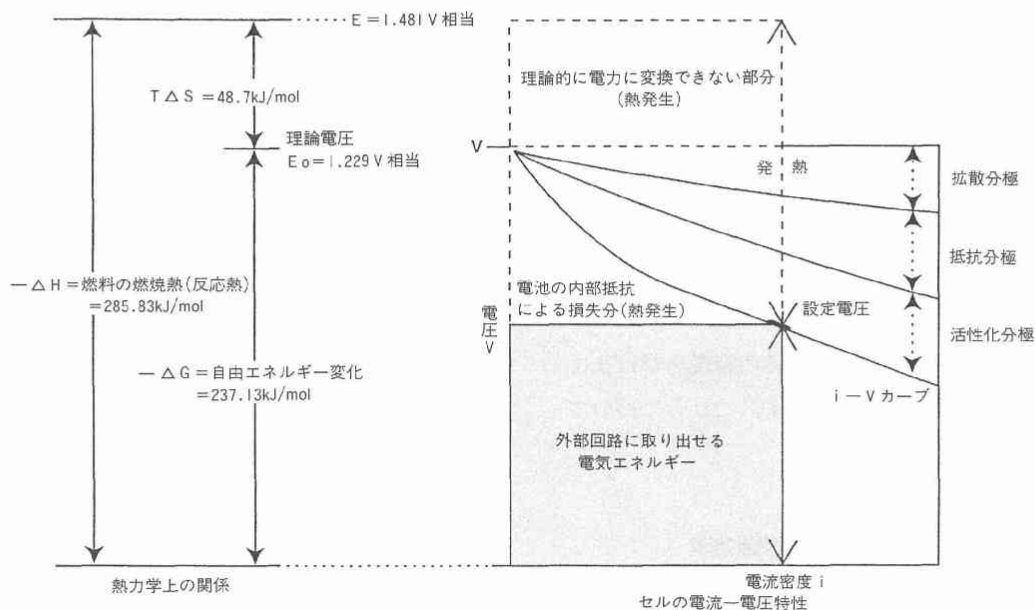
外部回路に取り出さる

実際の電気エネルギー

燃料電池の理論出力(ΔG)と標準起電力すなわち最大電圧(E₀)との関係は、電極の反応が電子とイオン間の電荷の授受を行う電気化学反応ですので、nを反応する電子数、Fをファラデー定数としますと、

$$-\Delta G = nF \times E_0$$

の関係があります。



出所：NEDO資料より作成

図3 燃料電池のエネルギー変換メカニズム

水素・酸素燃料電池のとき $n = 2$, また $F = 96500$ クロウン/mol ですので, これより

$$E_0 = 1.23V$$

となります。

燃料電池の外部に負荷回路をつくって電流を流しますと, 燃料電池内で種々のエネルギー損失が発生し, 標準起電力は低くなります。起電力が低下する現象を分極と呼んでおり, これには大きく分けて3つあります。1つが活性化分極といい, 電極の反応が活性化エネルギーを必要とするために現われるもの, 2つ目が抵抗分極といい, 電極と電解質との間の接触抵抗, 電極および電極間の電解質その他の電気抵抗, 3つ目が拡散分極といい, 電極における反応物質の補給および反応生成物の除去が遅く, 電極の反応が妨害されるときに現われるものです。

これらの分極は, 電流が大きくなると, 図3の右側の図にありますように増大します。それぞれの分極値の合計に電流値をかけた値が電池の内部抵抗によるエネルギー損失であり, 標準起電力から分極値を差し引いた電池電圧に電流をかけた値が, 実際に外部回路に取り出せる電気エネルギーになり, 図中の網かけした範囲です。

数ある優れた利用面の特徴

燃料電池が持つ利用面での特徴を挙げますと, 表1のようになります。これらについて簡単に説明していきます。

○ 電熱併給による高い総合効率

先ほど, 図3の説明の中で申しましたように, 燃料電池の反応では, エンタルピーの変化のうち, ギブスの自由エネルギーすなわち

表1 燃料電池の特徴

- 電気化学的反応のため熱機関に比べ低温で高効率発電
- 電力と熱を利用できるので総合効率が高い
- 反応生成物は水で, 騒音の発生が無いので環境に優しい
- 発電スケールに対して制約がないので分散型電源に最適
- 定格以下(部分負荷)の運転で効率が下がらない
- 燃料を改質するので多種類の燃料が使用可能
- 改質過程で発生するCO₂が電池内で濃縮される
- セル構造が微細で化学反応, 熱, 電気, 流体現象が共存
- 信頼性, 耐久性, コストに技術的課題

電気エネルギーとして取り出された残り分が, 熱エネルギーとして出てきます。

固体高分子形の場合は80℃以下のお湯ですが, リン酸形ですと200℃, 熔融炭酸塩形その他ではさらに高温の水蒸気が得られます。低温の場合は, いわゆるコージェネレーション利用になりますが, この電熱両方のエネルギーを有効に利用しますと, 70%を超える高い総合効率が得られます。

○ 優しい環境特性

反応生成物は原理的に水だけでして, 環境汚染物質の排出がありません。また, 運動する機器がなく, 騒音の発生もありません。

○ 発電スケールに制約がなく, 分散型電源に最適

これは, 非常に大きなメリットと思います。茅先生のお話にもありましたように, 発電スケールに対する制約がありません。従来の熱機関は, 大規模なユニットにしないと高効率

が得られませんでした。燃料電池はもともと小さいセルを積層した集合体ですから、発電スケールが小さくても効率に変わりはなく、分散型電源に最適なシステムです。

○ 部分負荷運転でも効率低下がない

通常の熱機関は、定格以下の部分負荷運転ですと、効率が著しく低下します。燃料電池の場合は、そもそも定格を何で決めるかの問題がありますが、出し得る最大といえますか、耐久性などを考慮して適切な高さに出力を設定しますと、むしろ部分負荷運転において逆に効率が高くなるほどで、効率の低下がありません。この特性が燃料電池の自動車動力利用に適しているわけです。

○ 使用燃料の多様性

初めに申しましたように、燃料は、燃料電池本体に入れる前に改質プロセスを通します。したがって、改質さえできれば、ガソリン、ナフサ、バイオマス、LPGなど様々な燃料が使え、燃料の多様性が極めて大きいといえます。

○ CO₂排ガスは高濃度で処理が容易

燃料ガスの改質過程から、例えば天然ガスの場合ですと、4対1の割合でH₂とCO₂が出てきます。したがって、燃料電池本体へはCO₂を含んだ水素リッチガスの状態で入れますが、中で反応するのはH₂だけです。H₂を100%使うわけにはいかず、燃料利用率はおおよそ70%ぐらいですから、オフガスのところでH₂は残りますが、それにしても、CO₂が非常に濃い状態で出てきます。そういうことで、火力発電と比較しますと、CO₂の処理面で取

扱いが容易になっています。

ロイド氏が述べる市場展望

コスト競争のハードルが高い

自動車用燃料電池

ここで、カリフォルニア州大気環境局チェアマンのロイド氏が『Scientific American』誌に発表した市場展望に関する論文を紹介いたします。同氏は、最近、燃料電池関係の国際会議でゲストスピーカーとしてしばしば講演しており、その意味で世界の代表的オピニオンリーダーの1人です。同氏の市場展望では、燃料電池の市場を大きく3分しており、1つが自動車用エンジン、2番目が定置式発電システム、3番目がいわゆるマイクロ・フューエル・セルでして、これは数Wから数10Wのもので、マイクロガスタービンと桁が違います。

その中で、商用化にバリアが一番高いと見られるのが、自動車用など移動体動力源のものです。その理由はコストにあります。競争相手が100年の歴史を持ち、技術的に成熟した現在の内燃機関、いわゆるガソリンエンジンですから、コストは極めて安くkW当り2,000円ぐらいですか。それに打ち勝つための世界的なゴールはkW当り50ドルといわれており、例えば固体高分子形燃料電池は、現在のところ7,000ドルぐらいですから、2桁下げないと内燃機関には勝てません。

耐久性が課題の定置式発電用燃料電池

定置式発電システム用につきましては、多

くの国内メーカーの講演を聞いていますと、例えば1～2kW規模の固体高分子形を家庭用コージェネレーションに使用するとき、kW当たり15万円ぐらいに下がれば浸透が見込めるとしています。後ほどアメリカのマーケットリサーチのお話を紹介しますが、kW当たり3,000ドルぐらいから徐々に立ち上がり、商業化時のターゲットは1,500ドル程度としていますから、その辺りで日米の数値が一致しています。これは、自動車用の50ドルに比べて、ハードルははるかに低いことになります。

ただ、耐久性の面では、自動車がおおよそ5,000時間、12万キロ走行の耐久性があればよしとしているのに対して、家庭用では、過日の大阪ガスさんの講演によりますと、目標が10万時間、少なくとも4万時間でオーバーホールして内部のものをすべて取り替え、さらに続けて運転するとしています。4万時間から6万時間の耐久性がなければ、定置式の場合には市場への浸透は難しかろうとのことでした。

コンパクト化がテーマの

電子機器用燃料電池

この場合は、競争相手がリチウムイオン電池、ニッケル水素電池などの高性能電池ですが、高価な電池ですから、競争は大変に楽になります。太陽光発電の場合、アモルファス太陽電池が実際に使われ始めたのは電力用ではなくて、電卓、時計用の電源として広まり、その後電力用に進んできたのと似通った関係があります。マイクロ・フューエル・セルは、値段も効率もさほど気にせずともよく、要はいかにコンパクト化してうまく持ち運び可能

にするか、いわゆるセット化できるかが技術の焦点です。モトローラ社では、最近、例えば携帯電話用の燃料電池を2002年ごろには売り出す構想を発表しています。

規模が違っていると錯覚されていた

定置用・自動車用の燃料電池

ロイド氏が言わんとしていることは、定置式の発電用燃料電池は、自動車のエンジン用に比べて出力規模がはるかに大きいという錯覚を、多くの人が持ってきたということです。彼自身の言葉を借りますと、最初は電力事業用に使うのを考えていました。日本でも同様ですが、アメリカでも4.5MWリン酸形の実験をしていたころの考えが尾を引いて、錯覚を起こしてきたというのです。

現時点では、固体高分子形の出現が大きな影響をもたらしました。自動車のエンジンは数10kWぐらいあれば十分と思いますが、例えば、田舎の家で、自動車で何かの用を済まして家へ帰ったとします。普通の内燃機関ですと動力しか出しませんが、燃料電池は電気を出し、電気から動力を取り出すことができます。電気は何にでも使えますから、コンセントがあってそこに家庭用の電源プラグを差し込みますと、電気洗濯機、冷蔵庫などから、家庭用電力のすべてが賄えます。このように考えますと、自動車用エンジンとはいっても、これは自動車という台車に乗ったポータブルの電源と解釈できるはずで、自動車用と、特に家庭用を中心とした定置用のものをさほど区別する必要がなくなっているというのです。

固体高分子形燃料電池の特徴

技術上の問題点——

水分補給を要する高分子膜

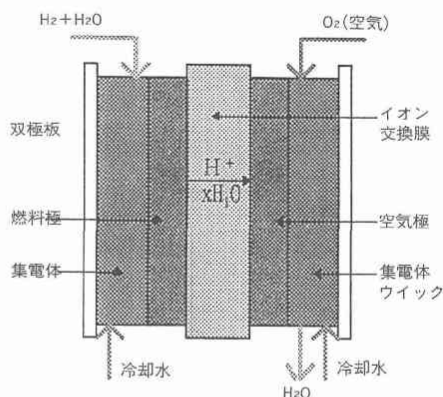


図4 PEFCの原理図

図4は、固体高分子形燃料電池セルの原理図です。図の中央にありますのが、電解質として使用する高分子膜のイオン交換膜で、両側に炭素を基材とする電極が接合されており、その境界面に先ほど申しました白金、あるいは白金合金の触媒が担持されています。これを膜・電極複合体（MEA, Membrane Electrode Assembly）と呼んでいます。

燃料極では、燃料の水素が触媒上で電子を放出し、水素イオンとなります。水素イオンは電解質のイオン交換膜の中を通過して空気極側に達し、触媒上で電子、酸素と反応し水となります。

イオン交換膜の厚さは50ミクロン以下の非常に薄いセロファンみたいなもので、セパレータと呼ばれる集電体が支えています。こ

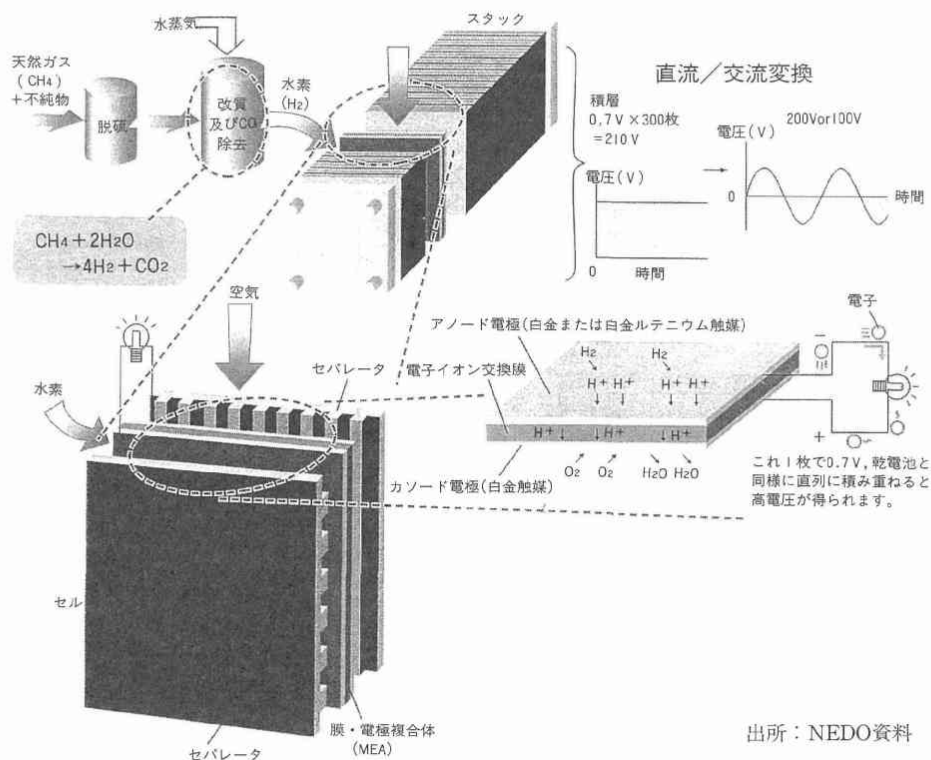


図5 固体高分子形燃料電池の概念図

の集電体は、発電した電気を取り出す通電機能、燃料となる水素や空気を供給する機能、冷却水を通して発電により発生する熱を除去する冷却機能があります。これで1つのセルを構成しており、セルとセルの境界には双極板が存在します。

イオン交換膜は、デュポン社のナフィオン(Nafion)膜が代表例で、膜が湿潤した状態では良好なイオン導電性がありますが、含水率が落ちますと抵抗が大きくなって電解質としての機能が低下します。そのため、水分の補給を、供給するガスの加湿により行っています。ただし、コントロール上の厄介な問題があり、水に不純物、例えば硫黄イオンなどが入っていると機能を損ないますから、水道水を使うわけにはいきません。水の管理が重要になります。

一般に、燃料電池の1セル当りの起電力は1.0V以下ですので、発電装置として使用する

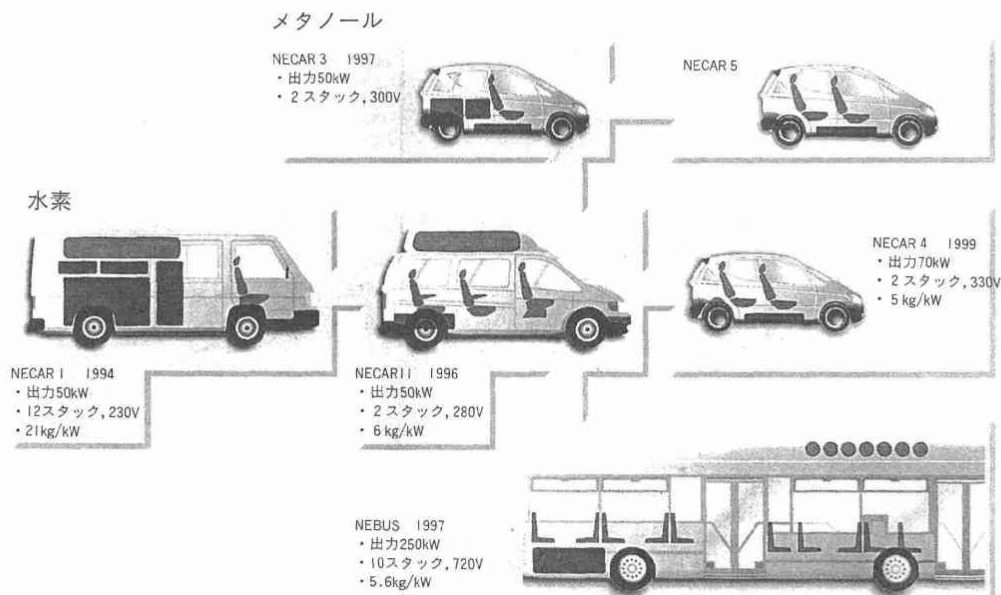
には、多数のセルを積層してスタックにして使用します。スタックを描いたのが図5です。

自動車用燃料電池の期待を高めた

出力密度の向上とコンパクト化

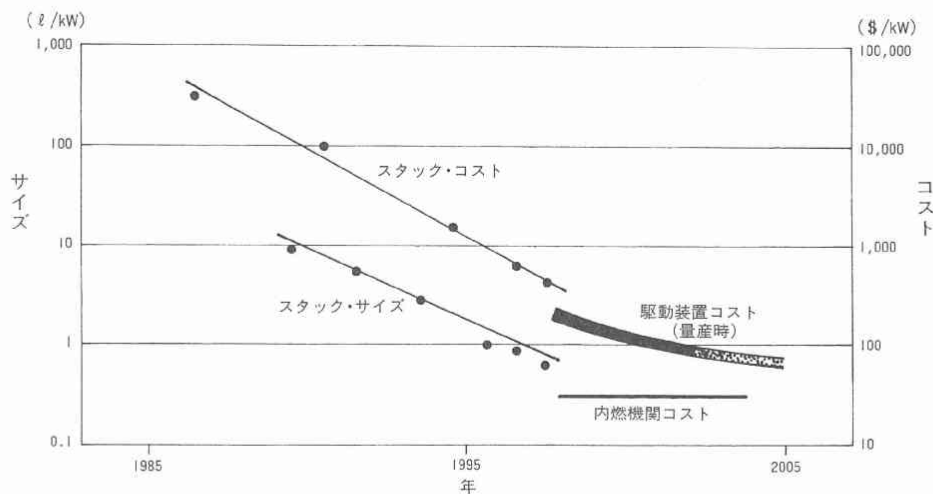
固体高分子形燃料電池が脚光を浴びた1つの契機は、自動車にあります。ダイムラー・クライスラー社が今までに出した燃料電池自動車の変遷が図6です。水素を燃料とする燃料電池車の第1号が1994年のNECAR 1で、燃料電池のエンジンは車中に着けた濃灰色の範囲のスペースを占めており、客席全部をエンジンで占めている格好です。

1996年になりますと、燃料電池は出力密度が著しく高まってコンパクト化が進み、NECAR IIに見られますように、座席の下にスッポリ納まるようになりました。この出力密度の向上が燃料電池に対する期待を高めた大きな原因です。



出所：ダイムラー・クライスラー社資料

図6 燃料電池自動車の変遷



出所：バラード社資料

図7 燃料電池のサイズとコストの推移

急激な低下を示すコストとサイズ

固体高分子形燃料電池のもう1つの重要な指標は、出力密度とともにコストです。1985年からの推移を示すのが図7です。サイズの方は、1996年ごろでおよそ1kW当り1リッターのレベルにきており、コストは、図からはkW当たり数100ドル程度と読めますが、ただ、現在このような安い値段では買えません。これは、恐らく実際の現状コストというよりは大量生産を想定したコストの記載かと思われます。しかし、図は対数目盛ですので、いずれにせよ急激に低下しつつあるのは事実です。

サリバン氏のマーケットリサーチ

燃料電池の市場浸透条件

次に、フロスト氏とサリバン氏の共著で、

『Fuel Cell Bulletin』誌2000年5月号の掲載論文「マーケットリサーチ」に述べられた、燃料電池の市場への浸透条件と浸透速度の要点を紹介します。著者の1人のサリバン氏は、EPRI（アメリカ電力研究所）に永年勤務された後、本年3月にリタイアされましたが、今秋、アメリカのポートランドで開催される国際会議「フューエルセル2000」では組織委員長を勤められることになっており、燃料電池には大変に造詣の深い大家です。

論文での主張によりますと、まず、企業が持つべき条件の第1が、他の競合技術に対して、性能面の満足はもちろんのこと、コスト、信頼性の面でも競争力を持っていることとしています。

2つ目が、宣伝が必要ということです。トップの経営者、会社自身の風土、いわゆる会社のカルチャーとして、燃料電池、さらに新エネルギーや再生可能エネルギーも含めて、これらの受け入れに強い意思を持っていること

です。

3つ目に、燃料電池は系統連系で使う方が全体としての効率がよくなります。その場合に標準化の推進が必要です。これについては、去年から、IEC（国際電気標準会議）のTC105という技術委員会が立ち上げられ、特に国際的な標準化の検討がなされています。

最後の4つ目が、許容されるコストの上限です。燃料電池がいくら環境に優しいといっても、コストが高ければ、その長所だけでは人は燃料電池を買いません。環境問題に熱意のある電力需要家であっても、負担し得る限度は現状コストの10%増し程度と見られており、部門別にkWh当たりで申しますと、家庭用が9.1セント、業務用が8.17セント、産業部門が4.95セントになります。特にカナダ、アラスカなどの僻地では電力価格が高いため燃料電池が入りやすく購入が考えられ、このようところが1つの大きな入り口になると述べています。

商業および産業部門での狙いどころ

アメリカだからいえるのかも知れませんが、具体的な狙いどころとして挙げているのが、1つが停電により日常業務が中断して顧客に迷惑をかけ、信用を失った経験を持つところ。2番目が環境問題に非常に熱心というイメージを一般人に与えることを特に重視している環境関連産業の需要家。3番目が、前に申しましたように、電力価格が非常に高い僻地で、バックアップ用電源やコージェネレーション設備が欠かせないような、州とか連邦の矯正施設、刑務所などが1つのねらい所といっています。

サリバンさんらが実際に取ったアンケート

によりますと、28%のユーザーが分散型電源の設置を考えており、そのとき使用候補に挙げた分散型電源の種類では、上位3つの中に必ず燃料電池が入っているということです。

家庭部門での狙いどころ

1つが、フロリダ、南北カロライナ、アリゾナの各州、および中西部のような、熱波や雷雨が頻繁に來襲する気象の激しいところの家庭です。停電事故のバックアップ電源、激しい気象による高いピーク負荷をカバーする予備電源が必要だからです。

2番目が、前に申しました、カナダ、アラスカ、ハワイなどの僻地に位置する家庭。このような場所では電力料金がよそより格段に高く、家庭ごとの小容量電源の設置にとどまらず、200kWを超える出力規模の電源を地域単位で導入する可能性が考えられるからです。

3番目が、若干高いエネルギー設備であっても受け入れられるような、比較的裕福な高収入の家庭が集まっている地域。

4番目が、事業を行っている家庭（ホーム・ビジネス・オーナー）。特に停電による被害の経験を持ち、事業に高品質な無停電電源を必要とする家庭が多く存在する地域。

これらが家庭部門での狙いどころになります。

定置式固体高分子形の商業化見通し

ここで1つの結論として、固体高分子形燃料電池の価格と商用化の見通しを申します。システム価格は、現在7,000ドル/kWのレベルですが、表2にありますような過程をたどって、2005年には3,000ドル/kWぐらいに

表2 定置式PEFCシステムの価格と商業化の予測

年	予 測
2000	・システム価格：7,000ドル/kW ・売上高：600万ドル(実証用)
2002	・各メーカーは2002年までに家庭用準商用ユニットを提案，ショーウィンドウに展示される見込。(メーカー予告)
2003	・システム価格：3,500ドル/kW
2005	・完全な商用化は難しいが，当局の規制項目や許可条件は満足しているはず。 ・2003年から2005年にかけて飛躍的に増加し，かなりの市場浸透が始まる。 ・システム価格：3,000ドル/kW

低下すると見込まれます。

2005年では困難と見込まれますが，商業化時には価格目標を1,500ドル/kWまで下げする必要があります。なお，商業化に先行してショーウィンドウに姿を見せるのは，家庭用も自動車もほぼ同じ，2002年から2004年の頃

表3 2005年における各種燃料電池の売上高と設置設備容量

燃料電池の種類	年間売上 (US100万ドル)	設置設備容量 (MW)
リ ン 酸 形	25	5
固体高分子形	195	65
熔融炭酸塩形	91	34
固体電解質形	40	11
合 計	350	115

出所：フロスト氏・サバリン氏共著「マーケットリサーチ」『Fuel Cell Bulletin』誌2000年5月号

と見られています。

2005年のアメリカ市場予測

最後に，2005年に見込まれる浸透状況が，表3です。設置設備の容量は固体高分子形が一番多くて64.9MW，年間売上額は1億9,400万ドルぐらい。あとは，熔融炭酸塩形，固体電解質形，リン酸形の順序になっており，燃料電池全体の年間売上額が3億5,000万ドル程度，設備容量は11万4,600kWと見られています。また，2005年に至る年間出荷ユニット数および売上高の予測は，表4のとおりです。

表4 北アメリカにおけるFCの年間出荷ユニット数と年間売上高の予測

年	出荷数 (ユニット数)	売上高 (100万ドル)	売上高 伸び率(%)
1999	4,200	23	
2000	8,300	46	101
2001	11,800	64	38
2002	19,200	92	45
2003	35,600	156	69
2004	64,600	226	45
2005	114,600	350	55

出所：フロスト氏・サバリン氏共著「マーケットリサーチ」『Fuel Cell Bulletin』誌2000年5月号

以上，最近に発表されたアメリカの市場予測をもちまして，私の話を終らせていただきます。どうもありがとうございました。

〔講演〕

マイクロガスタービンの 開発動向と実用化の見通し

伊藤 高根 (東海大学 工学部)
副工学部長 教授



はじめに

マイクロガスタービン（以下、マイクロGT）が、昨今にわかに脚光を浴びてきています。今ごろなぜマイクロGTが登場してきたのかを、きょうは主として技術的な観点からお話したいと思います。アウトラインは、次のとおりです。

- 出現の背景
- 開発の経緯
- 構造上の特徴と開発状況
 - ・代表的な開発機種とその特徴
- 性能向上と技術課題
 - ・発電効率向上、排気特性
 - ・耐久性、メンテナンス性、コスト
- 期待される用途

マイクロGT出現の背景を、大別しますと、1つが電気エネルギーと環境面からのニーズの増大です。これについては、他の先生方が話されると思いますので、私はもう1つの背景になる技術的シーズの進展と開発の現況を中心に話します。

〔略歴〕

1965年東京大学工学部船用機械工学科卒業。
1971年東京大学工学系研究科船用機械工学専門博士課程修了、工学博士。

同年日産自動車（株）に入社、中央研究所（当時）にて自動車用ガスタービン、セラミックガスタービン等の研究開発に従事。1990年日本自動車研究所に出向、自動車用100kWセラミックガスタービン研究開発プロジェクトの技術開発リーダーを務める。1994年日産自動車（株）を退社。

同年東海大学工学部生産機械工学科教授。2000年東海大学工学部副工学部長、現在に至る。

政府関係活動は、通商産業省産業技術審議会専門委員を務める。

著書には、「セラミックターボチャージャ」がある。

マイクロGT出現の背景

高効率化と実用化を進めた

耐熱合金の開発と冷却技術の進歩

ガスタービンの出現は、航空機用では1939年、ジェットエンジンを装着した軍用機の飛行が最初でした。その後技術が進み、いま空を飛んでいる航空機は、旅客機も含めてほとんどがジェットエンジンになりました。発電用では、1935年から36年のころ、スイスで開発されたのが第1号でしたが、その後、航空機用から技術の転用があり、本格的に使われ

出したのはここ20～30年前からです。

図1が、現在発電用として使われているガスタービンの代表例で、圧縮機、燃焼器、タービンが1つのシャフトに串刺しの状態で連結されており、極めて簡単な構造です。圧縮機で圧縮された空気は、燃焼器で加えられた燃料の燃焼により高温ガスとなり、タービンで膨張して回転力を生み、発電機を駆動します。そのとき、回転力の一部で圧縮機を回します。

まずエンジンの出力を上げるには、タービン自体の出力を高めてシャフトにより伝達される発電機の出力を増やすことです。2つ目が圧縮機の駆動に割かれるタービン出力を少なくするため、圧縮機の効率を高めることになります。

タービンからの出力を増やすには、燃焼器でできるだけ高温の作動ガスを作ることが必要ですが、原理的には分かっている、材料面の制約などがあり、今まではできない時代が続きました。ガスタービンの発明は古いのですが、実用化されたのはごく最近ということです。

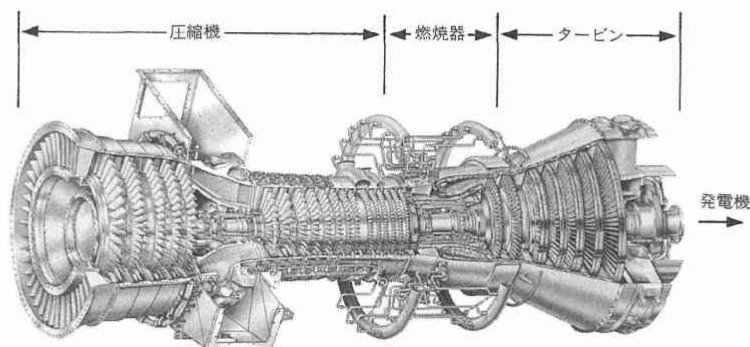
実用化に一番寄与したのは、高温作動ガスの使用を可能にした耐熱合金の開発です。さ

らに、より一層の効率向上を進めるため、開発材料の温度限界を上回る高温ガス使用への要求が、タービン翼、燃焼室への冷却技術の進歩を促しました。現在、ガスタービンが発電用、航空機用に広く使用されるようになったのは、これらの技術の進歩によるものです。

マイクロGTに使用不能な ブレードの冷却構造

ところが、マイクロGTは、大型ガスタービンに取り入れられた高効率化の手法がほとんど使えず、最近まで実用化に至りませんでした。同じ出力レベルで比べますと、いわゆるレシプロエンジンのガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ガスエンジンより、コスト、燃費などの面で劣っていました。最近になってマイクロGTが出現したのは、大型タービンとはまったく異なる視点による開発がなされてきたからです。今日は、その辺のところを少々述べたいと思います。

ガスタービンでは、燃焼器とタービン部は極めて高温になります。それゆえ、高温部の材料にはほとんどのものが超耐熱合金を使用していますが、それでも冷却しなければ溶融



出所：GE社パンフレット

図1 ガスタービンの代表例

が起きます。

熔融を防止しているのが冷却技術です。タービン部では、図1に見られるように、翼形断面を持つ動翼や静翼の間に高温の作動ガスを通して仕事をします。これらの翼は一見したところでは無垢ですが、図2にありますように、空洞の内部に複雑な流路ができており、ここに冷却空気を送り込んで内面から翼を冷却することにより、表面の熔融を防ぐ構造になっています。

ところが、マイクロGTのような100kW以下の小型エンジンですと、この翼が極めて小さく、中に冷却構造を組み込むことはできません。高効率化したくても、今まで大型タービンで使用してきた冷却技術がまったく使えなかったのです。

図3は、市販されているガスタービンの発電容量と熱効率との関係をプロットしたもので、翼に複雑な冷却構造をとれない小型のも

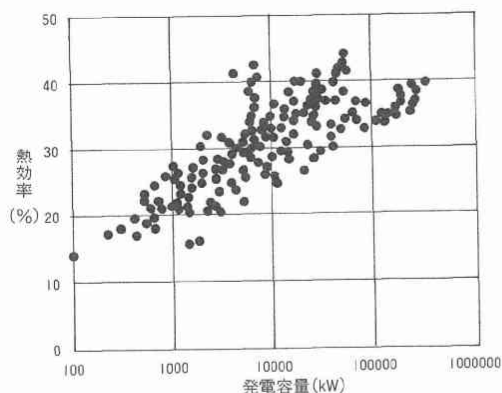


図3 市販GTの発電容量と熱効率

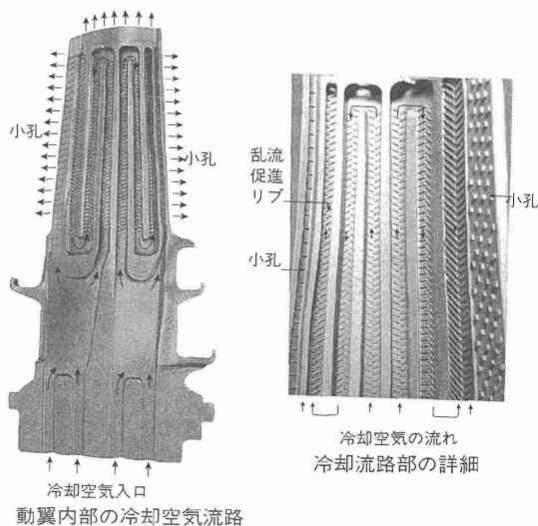
のほど、効率が低いことを示しています。現在技術の延長で100kW以下のタービンをつくろうとしますと、効率は10%程度となり、これが今まで小型ガスタービンが出現しなかった1つの大きな理由です。

マイクロGT開発の経緯

マイクロGT開発に先行した

自動車用小型タービンの歩み

自動車は、トラックやバス用の大きなエンジンでも500kWあれば十分という分野ですので、小さなエンジンが必要です。発電用、航空機用の大型タービンでは、先ほど申しました冷却技術により、作動ガスのタービン入口温度を高めて効率を上げてきました。発電用の温度レベルは、現在1,500℃になっており、当然ですがメタルエンジンです。自動車用では、このような大型用の技術が使えませんので、代りに取り入れた技術の1つが排熱の回収です。これは、後ほどお話しします。



出所：東北電力パンフレットより作成

図2 タービン翼の冷却構造例

マイクロGTは、自動車用小型ガスタービン開発よりさらに先にありますので、まず自動車用の開発経緯を振り返ってみます。研究の開始は1947年～48年でして、ジェット機の初飛行が1939年ですから、かなり早い時期ともいえます。当時は、航空機が持つ高速のイメージを自動車に持ち込もうという遊びに近い夢から始まったものですが、実際にやってみると予期以上に性能がよく、一番最初に本気で取り組んだのがイギリスのローバー社、少々遅れてビッグスリーのゼネラルモーターズ（GM）社、フォード社、クライスラー社が始めており、日本では10年ほど遅れてスタートしています。

開発が進み、GM、フォードなどでは工場が建設され、生産の一手前まで体制整備が進んだ1970年、アメリカではいわゆるマスキー法と呼ばれている大気浄化法の改正があり、自動車の排気ガスに含まれる汚染物質の排出が厳しく規制されるようになりました。続いて1973年、1978年には、第1次・第2次の石油ショックによる燃料価格の高騰があり、これらの事情が重なって、発売寸前にあった自動車用ガスタービンは、排気対策と燃費向上のため発売延期を余儀なくされ、1970年代は大きなターニングポイントになりました。

セラミックス・ガスタービン開発の歩み

このような経緯があり、その後、自動車用ガスタービンには、一層の効率向上が求められました。効率向上は、ガスタービンでは作動ガスの高温化と同義語です。小型の場合、耐熱性に優れ、冷却不要な材料としてセラミックス使用の発想が生まれ、1970年代から、研究の中心はセラミックス・ガスタービンに

次第に移りました。この研究は、ヨーロッパ、ビッグスリーが先行しましたが、成果が出ない状況がしばらく続きました。

日本でセラミックス・ガスタービンの研究開発に本格的に取り組んだのは、通産省の2つのプロジェクトです。1つが1988年にスタートしたコージェネレーション向けの300kWのもの、もう1つが2年遅れてスタートした自動車用の100kWのもので、いずれも最近終わっています。その結果、大型エンジンとはほとんど変わらない、40%に近い、あるいはそれを超える熱効率が実証されています。

ハイブリッド車用マイクロGTの開発へ

このように小型ガスタービンそのものの効率は大幅に向上してきましたが、自動車用研究開発の方向性がまたまた変わってきました。それは、主として排気の問題です。

アメリカでは、カリフォルニア州が非常に厳しい排気規制を作りました。販売車の10%以上を排気ゼロのゼロエミッション車にしないと売らせない、また売るにしても高額の税金を掛けるといふものです。ゼロエミッション車となりますと電気自動車しかなく、自動車メーカーは一斉に一気に電気自動車の開発に走りしました。

ところが、電池が大きなネックになって、従来のガソリンエンジンが出していた性能が得られず、あるいは高コスト、充電に時間がかかるなどの短所があり、それを解決するのに決められた実施期限の2003年には開発が間に合いそうになく、カリフォルニア州の妥協が生まれました。

確かに、電気自動車は走行からの排気はゼロですが、電気をつくる発電所では排気があ

り、それをトータルして見ますと、ゼロではありません。それはゼロと見なそうという話から出てきたのが、ハイブリッド車という思想です。実際には、電気自動車の欠点を今までの内燃機関と組み合わせて補うということです。要するに、小さいエンジンを乗せて充電しながら走るというシステムです。

実際の自動車の走行性能、燃費とか排気からいいますと、このハイブリッド車が現実的ということで、電気自動車の研究がにわかにハイブリッド車にシフトしていきました。使用するエンジンは、ハイブリッドの系が複雑なことから軽量、小型がもちろん必要ですが、もともと排気対策から出発した問題ですので、クリーンな排気が条件になります。それゆえ、小型のガスタービンが有力候補に上がってきました。

自動車用ガスタービンの開発は、もともと単独駆動のエンジンとして進められてきました。例えば、乗用車で100kWぐらいの出力が必要ですが、ハイブリッドにしますと、電池でエネルギーを貯えモーターでも動かしますから、簡単な話、エンジンは半分ぐらいで済みます。単独のとき、乗用車で100kW、トラックやバスで300kW程度のエンジンを開発していましたが、それが50kWさらにそれ以下という話になって、使用エンジンの小型化が要求され、小型のガスタービンが生まれるバックグラウンドになりました。

自動車用ガスタービンの

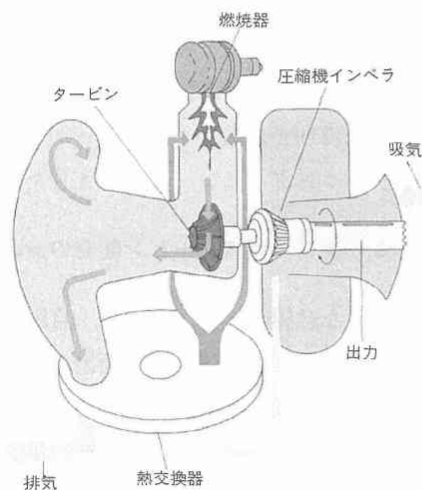
効率向上に寄与した回転式熱交換器

このような自動車用ガスタービン開発の歴史の中で、1つの基本構造が決まってきました。最初に申しましたように、小型のガスター

ビンでは、タービン部に冷却構造が取れませんので冷却なしが前提になります。そこで熱効率の向上には、タービン部を出た高温の排気ガスエネルギーを熱交換器で回収し、圧縮機から送られてきた冷たい空気を温めることによって、燃焼器に入る空気を予熱分だけ燃料を節約することで効率を上げる方式です。

熱交換器は、自動車用には、コンパクトで効率のいいものが要求されますので、普通の伝熱式といわれるものとは少々異った回転蓄熱式のものが開発されてきました。自動車用の小型ガスタービンは、原理的には図4にありますように、圧縮機、タービン、熱交換器、燃焼器があるというコンセプトになりました。これは、セラミック・ガスタービンになっても同じです。

熱交換器をつけるもう1つのメリットは、圧縮機の圧力比を低くしても高い効率を得られ、簡単な圧縮機ですむことです。従来の発電用、航空機用の大型ガスタービンに使われ

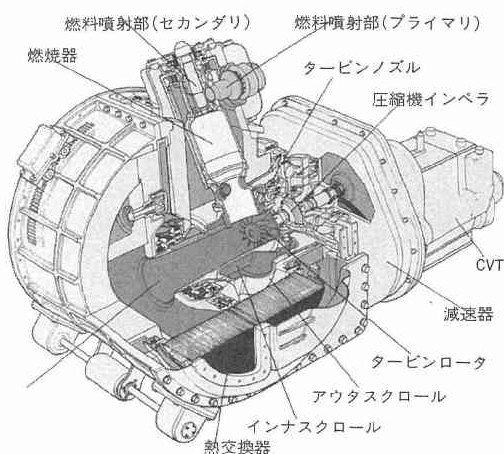


出所：石油産業活性化センター パンフレット

図4 自動車用ガスタービンの原理図

ている圧縮機は、ロータとステータを軸方向に組み合わせ多段化して圧力比を上げないとエンジン全体の効率が上がらないのですが、熱交換器を付けますと大気圧の4～5倍ぐらいの圧縮でいい効率が得られますので、自動車用にはこのような遠心式圧縮機をつけたエンジンの開発が進められてきました。

先ほどお話ししました、通産省の自動車用100kWガスタービン研究開発のコンセプトは、図5のものです。タービン、圧縮機は同軸でつながっており、ギアボックスを介してプロペラシャフトを回す構造です。燃焼器より下流の高温ガスが通る部分の部品材料は、すべてセラミックスになっています。熱交換器は、先ほど申しましたコンセプトとほとんど同じです。開発目標の熱効率は40%でしたが、開始して7年後、プロジェクトが打ち切りになった時点での実測値はおよそ36%でありました。その原因ははっきりしており、もう少し期限を延長して続けてやれば40%はあったというのが、その時の結論でした。



出所：石油産業活性化センター パンフレット

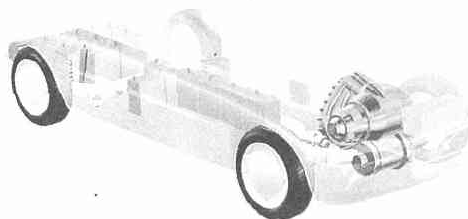
図5 自動車用100kWガスタービン（研究開発用）

ハイブリッド車用のマイクロGTの開発

図6は、ハイブリッド車の一例です。小さいエンジンで発電をしながら電池にチャージして、電気自動車として走るというのがコンセプトです。

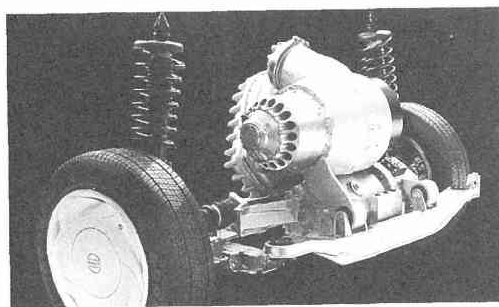
図7は、小さいガスタービン発電機を組み込んだハイブリッド用のエンジンで、ボルボが開発したものです。

自動車メーカー各社でも同様に開発を進めており、出てきた乗用車用エンジンのコンセプトが図8です。吸込んだ空気を圧縮機で圧縮し、熱交換器で余熱して燃焼器に入れ、高温ガスにしてタービンを回し、タービンから



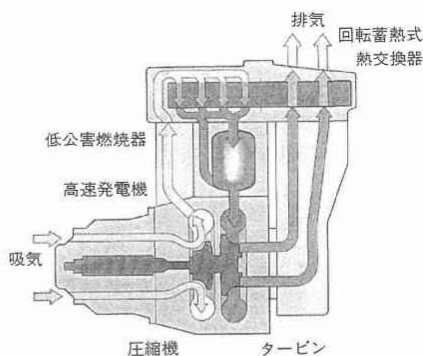
出所：HSG Development パンフレット

図6 ハイブリッド車の駆動装置



出所：HSG Development パンフレット

図7 ハイブリッド車のエンジン例



出所：HSG Development パンフレット

図8 ハイブリッド車用マイクロGTの概念図

出たものを熱交換器で回収して排気するシステムです。

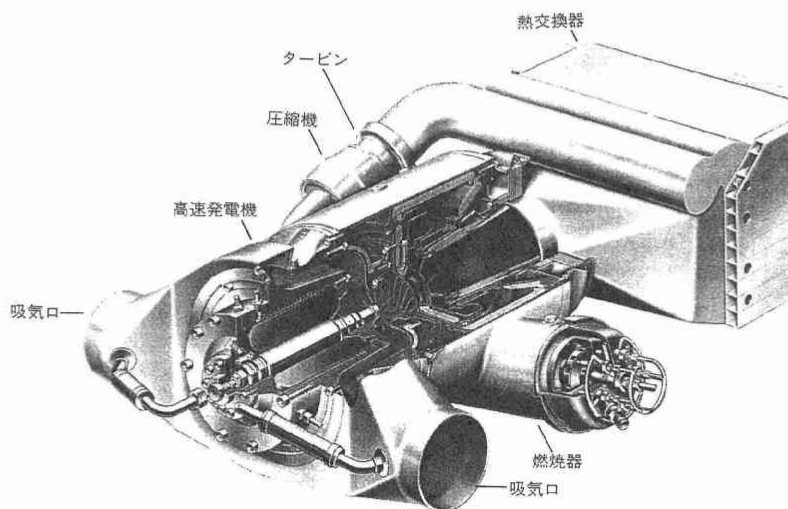
ここで注目したいのは、従来の自動車用ガスタービンに見られなかった直結型の高速発電機でして、出力が38kW、回転数9万rpm、永久磁石を使った初めての発電機です。これより、このようなコンセプトの小型タービンの

可能性がはっきりしてきました。

これは、後からお示しますが、現在のマイクロGTの原型そのものです。ただ、熱交換器は自動車用の研究の流れを踏んだ回転蓄熱式ですが、現在のマイクロGTはレキュペレーターといわれている定置式のものに置き換わっているだけです。

図9は、バス、トラック向けハイブリッド用100kWエンジンの例です。熱交換器は、バス、トラックには乗せるスペースに若干余裕があるので、必ずしも回転蓄熱式を使う必要がなく、伝熱式のレキュペレーターを使っています。タービン部の排気をダクトで導いて外付けで熱交換器をつけるコンセプトがこの時に出来上がっており、まさに現在のマイクロGTそのものの姿です。

このような経緯が、今日のマイクロガスタービンが出現した技術的背景です。



出所：VOLVO社パンフレット

図9 ハイブリッド車用マイクロGTの概念図（バス、トラック用）

マイクロGTの構造上の特徴と開発状況

構造上の特徴

図10は、現在のマイクロGTの構造上の特徴を示したものです。圧縮機は、先ほど申しましたように、遠心式のものが1段、タービンは圧縮機と同軸でやはり遠心式のものが1段ついています。発電機は、シャフトがタービンシャフトに直結していてタービンとまったく同じ回転で回り、永久磁石を使った高速発電機になっています。

シャフトのベアリングは、今までの自動車用はほとんどオイルベアリングでしたが、小さいガスタービンですと効率への影響が大きいことと、メンテナンス面で取扱いが厄介な潤滑油をなくすことを目的に、エアベアリングを使うケースが多くなっています。そのほか排熱を回収する熱交換器と燃焼器がついているのが基本的構造です。

最近出てきているものの燃焼器は、希薄燃焼方式をとっており、排気が非常にきれいな低公害燃焼器になっています。

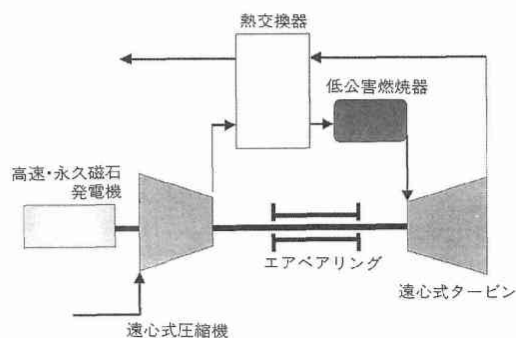


図10 マイクロGTの構造上の特徴

マイクロGTの特徴をキーワードで整理したものが表1です。

表1 マイクロGTの特徴

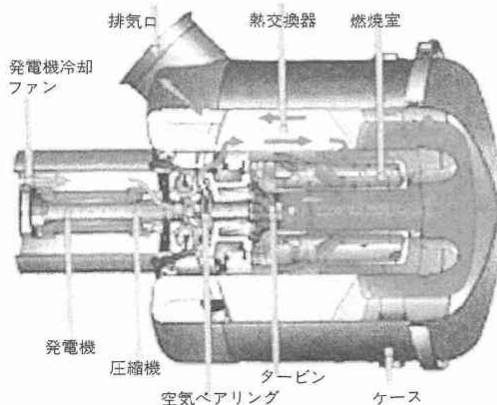
- ❖ 運動部分は一体ロータのみ
- ❖ 潤滑、冷却系統が不要
- ❖ 低公害性
- ❖ 多種燃料性
- ❖ 軽量小型、低振動、低騒音
- ❖ 高品質電力供給
- ❖ 保守、メンテナンス容易

代表的な開発機種とその特徴

マイクロGTの開発は、現在ハネウェル社（旧社名アライドシグナル社）、キャプストン、エリオット、NREC、アリソン、ボルボの各社が行っており、2.6kWの小さい特殊なものが日産自動車から出されています。

このうち、開発が進み大量供給が有力と見込まれているキャプストン社、ハネウェル社のものについて簡単に説明しておきます。

図11は、キャプストン社の28kW、あるいは



出所：キャプストン社資料

図11 キャプストン社のマイクロGT

30kWレベルのマイクロGTです。このエンジンは形状が少々変わっており、熱交換器がエンジンを取巻くドーナツ状の構造で、他社のものが大体外付けで、先ほどのバス、トラック用100kWのものと似た形になっているのに比べて、非常にコンパクトです。

性能の概要はハネウェル社のものと合わせて表2にあります。

表2のうち、NOxについては、現在何社かのメーカーが購入テストをしている結果によりますと、この数字よりずっと低いようで、よいデータが出ています。メンテナンスについては、メーカーが出している数字で、実際に立証されているものではありません。8,000時間ぐらいはまったく無点検でよく、交換がおよそ1万6,000時間とっています。大体この程度でいけるのではないかの感じはします。目下、日本でも電力会社、ガス会社その他のところで長時間の運転試験中で、結果が出ればはっきりします。

ハネウェルの方は、75kWのものでして、性能は、同じく表2にあります。回転数はエンジン出力が大きいものほど回転が低くていいので、そういう意味ではおよそ似通ったところ です。

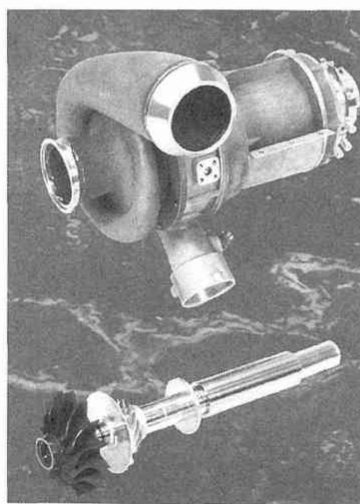
メンテナンスは、メーカーによれば、5,000時間ぐらい点検不要とのこと です。

図12は、ハネウェル社が開発した50kWエンジンのコアです。75kWのものと基本的には変わりません。図中の下側のタービン、圧縮機、発電機が1軸になっており、これがすっぽりエンジン・コア中に入っています。外観を見てお分かりのように、自動車用のターボチャージャーとほとんど同じような構造をしています。マイクロGTのコストは、ターボ

チャージャーの技術、製造設備、あるいは大量生産の経験を生かすことにより、かなり低減できると見込まれます。

表2 マイクロGTの開発仕様の概要

		キャブストン	ハネウェル
出 力	kW	28	75
回転数	rpm	96,000	65,000
タービン入口	℃	885	900
圧 縮 機 圧 縮 比		3.25	3.8
熱効率	%	25	28.5
重 量	kg	約900	1,295
寸 法 W×D×H	m	0.75×1.95×1.75	1.219×2.334×2.163
騒 音(10m)	dB	65	65
NOx(15% O ₂)	ppm	9 天然ガス	25
メンテナンス	hr	8,000	5,000(12ヶ月)



出所：ハネウェル社パンフレット

図12 ハネウェル社50kWマイクロGTのコア部

性能向上と技術課題

効率改善の必要性

マイクロGTの効率は、現在、25%から30%弱ですが、それでいいのかが一つの問題です。もともと、このエンジンはアメリカ生まれです。アメリカの電力事情ですと、効率どころの騒ぎではなく、電力がありさえすればいいというところはかなりあって、この程度の効率でも十分成り立つのかもしれませんが、日本にそのまま持ち込めるかは問題です。

日本の場合、ベストミックスした電源の送電端効率を1次エネルギーに換算しますと、熱効率は35%を超えています。効率30%以下のマイクロGTをただ単に分散電源として使うのであれば、エネルギー的には全然得になりません。コージェネレーションによる排熱利用を含めての効率では、計算上、80%程度になります。実際には熱の有効利用が難し

く、余った熱を捨てるケースがかなりあります。そういうことで、コージェネレーションするにしても、マイクロGT自体の発電効率が低いのはかなり致命的な感じがします。

効率向上の手立てがあるかといいますと、セラミックス技術の適用です。先ほどの図3にコージェネ用300kWと自動車用100kWのセラミックス・ガスタービンの実験値を入れたのが図13です。この図からも見られますように、出力の小さいマイクロGTに効率40%は困難にしても、35%を超えるところに持ち込むのは不可能ではありません。まず金属のマイクロGTでいけるところから市場参入を始め、そこでの経験を踏まえて第2世代のセラミックス・エンジンに進むことになると予想されます。

GTの性能をきめるパラメタ

表3は、ガスタービンが市場参入するに当たり考えておくべき性能を決めるパラメタです。サイクルパラメタにタービンの入口温度と

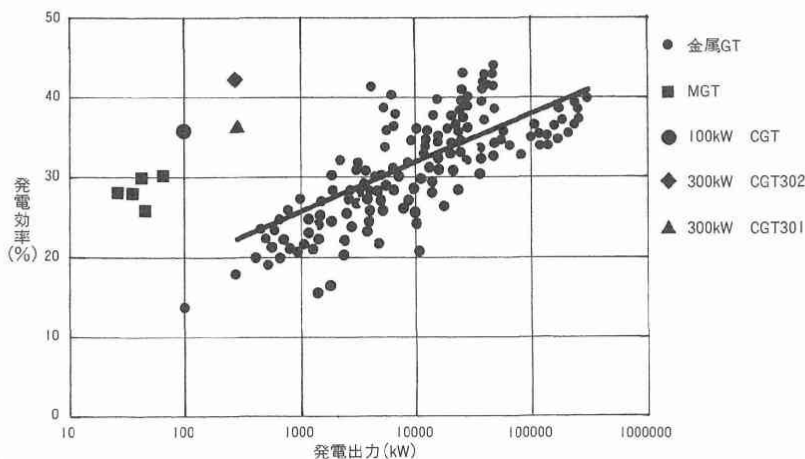


図13 ガスタービン発電機の出力と効率

表3 GTの性能をさわめるパラメタ

❖ サイクルパラメタ
— タービン入口温度 (TIT)
— 圧縮機圧力比
❖ コンポーネント効率
— 圧縮機断熱効率
— タービン断熱効率
— 熱交換器温度効率
— 圧力損失, 漏れ損失
❖ 機械効率 (補機, ベアリング損失)

圧縮機の圧力比がありますが、基本的には前者の方が重要です。コンポーネントに圧縮機、タービン、熱交換器、燃焼器がありますが、これら小型流体機械の効率を上げるのは、コストを考えますと、現在のレベルから格段に優れたものをつくるのは極めて難しいと思います。

もう1つが、熱交換器の温度効率です。単純には大きな熱交換器が必要ということになるわけですが、もう少し伝熱工学的に工夫する余地がないかというところです。

最も効くのは、タービン入口温度です。先ほどのメタルのマイクロGTですと、入口温度は880℃から900℃弱で使われていますが、これを1,100℃とか、1,200℃ぐらいの温度にしないと、35%を大きく超える効率は出ません。このような高温になりますと、現在のメタル製のものを冷却せずに使えば耐久性がなく、セラミックスの登場が必須と思います。

技 術 的 課 題

いま申しましたことを技術的な課題として、総括的にまとめますと表4です。

エンジンの熱効率向上は、タービン入口温度の高温化で、それはセラミックス化になり

表4 技術的課題

❖ エンジン熱効率向上
—タービン入口温度の高温化
・セラミックス化 (1,200℃)
—熱交換器温度効率向上
・ $\epsilon > 90\%$
・高温化への対応 (セラミックス化)
—圧縮機, タービン断熱効率向上
・空力設計
・チップクリアランス管理 (Abradable Seal)
❖ 排熱清浄化
—部分負荷時のNOx低減
—さらなる清浄化一触媒燃焼器の適用
❖ 耐久性, 信頼性向上
—空気軸受けの採用
—セラミック燃焼器の採用
—低圧力比化 (<3.0)

ます。今のセラミックス技術は、1,200℃以下ですと、ほとんど使えるところに来ています。もちろん、コストの問題はありますが、ターボチャージャーがセラミックス化されて市販されている事例を見ますと、大量生産すればセラミックス使用がネックになるとは思われません。

熱交換器の温度効率は、先ほどのハネウェル社の例では85%でしたが、90%以上に上げる必要があると思います。また、タービン入口温度が上昇しますと、熱交換器の入口温度も上がってきますので、熱交換器の高温部分にもセラミックの使用が避けられない状況になります。

圧縮機とタービンの断熱効率向上は、これからの空力設計や羽根とケーシング間のチップ・クリアランスを改善すれば若干はよくなると思いますが、大きな期待は無理のようです。

マイクロGT発電セットのコスト目標

実用化にはコストの問題があります。

ハネウェル、エリオット、キャプストンの3社が言っている大量生産時の目標価格が表5です。現在の価格は、キャプストン社の例で申しますと、kW当たり11万円程度ですので、目標価格の倍ぐらいますが、大量生産すれば、最終的にはこの程度の値段で供給可能と見込まれます。

表5 マイクロGT発電セットの目標コスト

メーカー	出力 (kW)	価 格	
		(\$)	(\$ /kW)
ハネウェル	75	22,500 ~30,000	300 ~400
エリオット	45	14,000 +4,000	400
キャプストン	30	15,000	500

期待される用途

マイクロGTは、先ほど申しましたように、潤滑油や水を一切使っていませんので、メンテナンスが容易で、維持費が安くなるメリットがあります。ガスエンジンなどその他の発電セットと比べますと、イニシャルコストは若干高くても、メンテナンスを含めたトータルでは安くなるといわれています。実際に、市場に出始めており、所々でデモンストレーションを兼ねて使われています。

マイクロGTの用途が表6です。このうち、電力網未開地、特に発展途上国などこれから電力需要の急増が見込まれるところは、先進国が取ってきたような大容量発電所の建設で

表6 マイクロGTの用途

- ❖ 分散電源
 - 店舗, 事務所, ホテル, 病院, アパートなど
- ❖ 予備電源, 可搬電源
 - 自然災害, 暫時電源
- ❖ 電力網未開地用電源
 - 離島, 過疎地, 発展途上国
- ❖ 小型コージェネレーションシステム

はなく、おそらくこのような小型分散型電源で最初から進めた方がメリットがあり、使いやすいシステムになろうかと思います。

最終的には、小さいガスタービンですので効率を大巾に高めるのは無理であり、単機の発電効率で勝負するのは難しく、やはりコージェネレーションとの組合せが必要かと思います。

国のプロジェクトによる100kWのセラミックガスタービンは、先ほどお話ししましたように、40%の熱効率が見込めるものですが、これを家庭用コージェネレーションに適用した場合、ごく大まかな概算ですが、およそ30%を超える1次エネルギーの節約が期待できます。ところが、現状のマイクロGTのように効率30%を切るものと、節約率はずっと下がります。コージェネレーションするから発電効率が低くてもいいという話にはならず、やはりコージェネレーションしたとしても、効率の向上は必要です。

したがって、現在のものが第1世代だとしますと、第2世代の開発が終わり実用化して初めて、真の意味での普及がありうるというのが私の見通しです。

以上で私の話を終わらせていただきます。

(拍手)

テーマ：小型分散電源への期待と普及の課題

司会 栗原史郎（一橋大学 大学院商学研究科 教授）
パネリスト 伊東弘一（大阪府立大学 大学院工学研究科 教授）
（五十音順）白土良一（東京電力㈱ 取締役 副社長）
松村幾敏（日石三菱㈱ 取締役 技術開発部長）
山口靖之（東京ガス㈱ 取締役 副社長）



司会 きょうのシンポジウムは、「分散電源時代は来るのか、来ないのか」がテーマです。この答をあと2時間のうちに出すことになります。イエスなのか、ノーなのか、答が出ないのか。私としましては、条件付きでもよいから、できるだけ答を出したいと思います。パネリストの方もその辺を留意された上、自説を展開されますようお願いします。

最初に、パネリストの方にお話し願いたい立場を申します。

まず、東京電力の白土様は、分散電源から余剰電力を引き取る立場にみえます。したがって、「どういうルールで引き取るのがいい

のか。つまり、系統連系のルールはどうあるべきか」を、現場の感覚を踏まえてお聞かせいただきたいと思います。

日石三菱の松村様は、分散電源に燃料を供給する立場にみえます。皆様ご承知のように、環境経済学にハーマン・デイリーの原則というのがあり、第1に再生可能エネルギーについて、第2に化石燃料のような非再生可能エネルギーについて、消費量の上限值や効率的利用の必要性を述べています。石油会社の立場からすれば、限られた化石資源を一番効率よく使うシステムは系統電力か、分散電源かというようなお話があるのかと思います。

東京ガスの山口様も分散電源に燃料を供給する立場にみえます。予稿集によりますと、分散型電源時代は来るとの見解を述べられており、これは司会者として大歓迎するところです。きょうは、なぜ来るのか、その辺について説得性あるご意見の披露を期待しています。

大阪府立大学の伊東先生には、分散電源に関する第三者の観点からの評価を、客観的な立場でお聞かせいただけたと思っています。

その後、私が少々時間を拝借しまして、家庭用コージェネレーションのイメージ、特性などについて整理します。続いて、けさ茅先生が出されたモデルを使って、何が言えるのかの定量的な練習問題を紹介し、さらにシミュレーションの結果も示しながら茅先生のモデルとどの程度同じようなことが言えるのかを検証したいと思います。

その後、フリーディスカッションとします。もし時間があれば、最後にフロアーの方からの質問をいただく予定です。

それでは、白土様、松村様、山口様、伊東先生の順でプレゼンテーションをお願いします。

【プレゼンテーション】

小型分散電源が進むべき道筋

白土 良一 (東京電力㈱
取締役 副社長)

小型分散の発電所から発展した

今日の大型ネットワーク

ただ今、司会の方から、分散電源からの電力受け入れに当たり、系統側にありうる問題を中心に話すようにとのことでした。この点について簡単に申し上げます。

電力といえはすぐネットワークの話になります。しかし、もともとの火力発電所は分散型で、あちこちに独立分離してあった小さな発電所から発展しました。私もイギリスに出掛けましたとき、レシプロ型の蒸気エンジンにより小さな発電機を回していたかつての発電所が、現在、博物館として保存されているところを訪れたことがあります。このように、最初にあった小型分散の電源が、高まる信頼度への要求から徐々に大型化、ネットワーク化が進み、電力会社の現在の電力供給系統を形成するに至りました。このようにして大型化、マンモス化が進展してきましたが、反面、電源立地が困難化するという問題が出てきています。

分散型電源の現状

ここにて、分散型電源が2つの面で再登場してきたのが現状です。

1つは、いわゆる自然エネルギー、これは太陽光発電、風力発電に代表される小型分散電源でして、環境問題から導入が高まってきました。もう1つは、先ほど革新的分散型電源というお話がありましたが、現在注目を集めてきているマイクロガスタービンと固体高分子形燃料電池です。

このようになりますと、昔の分散電源から発展した大容量の系統システムと、新しく登場してきたハイテクの分散型電源とを、いかに両者の特徴を生かして補完をさせていくか、これが先ほど茅先生が話されたホロニックパスですが、今後検討を進めるべき方向と思っています。

燃料電池とマイクロガスタービン自体につきましては、先ほどそれぞれの専門の先生か

ら特徴の紹介がありましたので、私からは省略させていただきます。

ところで、私どもも、大きな系統の運転と並行して、小型分散電源にもある程度取り組まなければいけないということで、「マイエナジー」という小さな分散型電源の供給会社を設立し、マイクロガスタービンを1つのメニューとしたオンサイト・エネルギー事業を展開しています。

もう1つが、いわゆる再生可能エネルギーの利用です。このうち、現在、特に件数が多いものが太陽光で、私どもの系統に連系しているパネルが8,000件ほどあります。自家用発電設備や小水力、風力などの分散型電源を連系しているお客様は760件ぐらいになります。自然エネルギーを有効利用するものは、同じ分散型電源であっても化石燃料を使用する先ほどの革新的分散型電源とは違った趣があり、省資源や地球環境保全に直結するエネルギーであることを踏まえて考えていく必要があります、と思います。

系統連系を前提とする

小型分散電源のシステム構成

しかしながら、こうした分散型電源は、多くの場合、私ども電力会社の系統に連系することを前提にしたシステム構成になっています。

発電機を運転するに当たっては、電力需要の変動に合わせて発電機の出力や電圧を制御しなければなりません、系統に連系されていない単独の発電機がこのような制御をきめ細かく行うことは、技術的に難しいと考えられます。また、発電機には点検や万一の故障のために停止しなければならない場合があ



白土 良一氏（東京電力㈱）取締役 副社長

〔略歴〕

1962年東京工業大学理工学部卒業。

同年東京電力㈱入社、1980年火力部火力設計課課長（石炭技術担当）、1985年火力部副部長（石炭技術担当）、1988年火力部副部長、1989年横浜火力発電所所長、1994年火力部長、1995年取締役火力部長、1996年取締役火力部担任、1998年常務取締役、2000年代表取締役副社長、現在に至る。

り、予備の電源設備を設置することも考えておかなければなりません。

発電機が電力会社の系統に連系されていすると、需要の変動による影響は電力会社の系統が吸収しますし、点検や故障時の予備設備の心配がいりません。つまり、分散型電源は、電力会社の系統に連系することにより、品質や信頼度の高い安定した電力を供給することができるのです。

具体的な数字で申しますと、系統では1軒当たりの停電回数が年0.1回、停電時間が年4分ですが、このような高信頼度を単独の発電機で実現するのは困難です。

ただ、若干問題になりますのは、この系統連系に対して、バックアップの電気料がかかることになり、分散型電源の経済性にマイナス効果を与える点があります。

系統連系にかかわる技術的問題

安全対策と末端電圧の制御

次に、電力会社の系統に分散型電源が連系した場合に懸念されることを申します。

分散型電源は、出力の大きさから、大部分が6,000ボルト以下の配電線と呼ばれる電線路に連系されますが、同じ系統に接続されている他の需要者に、安全性や電気の品質の面で影響が及ばないようにすることが必要です。このため、通産省資源エネルギー庁から、分散型電源を電力系統に連系する場合の技術的なルールとして「系統連系技術要件ガイドライン」が出されています。

このガイドラインの具体的内容の1例を挙げますと、単独運転の防止があります。電気設備の事故時や安全を確保しなければならないときなど、電線の電気を止めなければならない場合には、電力会社は変電所で電気を遮断します。このとき、同じ線に連系されている分散型電源が電気の供給を続けると、これを単独運転といいます。人身・設備の保安がおびやかされるなどの危険が生じます。このような理由から、分散型電源には、連系されている線に電気が供給されていない場合にそれを検出し、協調して電気を止めるような安全装置（連系保護装置）の設置が求められ、安全を確保しています。

別の例に、電圧制御があります。分散電源から系統側に電力が送られますと、通常、電源の連系された付近の電圧は上昇します。このとき適正とされている電圧の範囲を逸脱する場合には、電源の出力を抑制することなどにより、電圧の適正な維持が求められています。一方、電力会社としては、重要な品質で

ある電圧の制御が困難になるという問題が出てきます。

大量普及に伴う問題点

しかし、現行のガイドラインは、分散型電源の連系が系統容量に対してごく少数という想定の下に策定されています。今後、分散型電源が本格的に普及してきますと、近い将来には1配電線に多数の分散型電源が連系してくるケースも想定されます。現に、太陽光発電による省エネ住宅を売り物にしたニュータウンの出現など、その兆しも見えてきています。

このような分散型電源の大量普及というステージを想定しますと、現行の連系技術では対応できない問題が生じることが予想されています。

その1例が、電圧上昇が大きくなることです。分散型電源の出力を抑制せずに適正な電圧を維持するには、配電線を太い電線に張り替えたりするなどの設備対策が必要です。

もう1つの例は、先ほど申しました単独運転の防止に関するものです。1つの配電線に多くの分散型電源が連系されますと、単独運転を検出する装置の検出感度が低下するという問題があります。

このように、分散型電源の多数台連系については、未解決な技術的課題も残されていますが、我々電力会社としても、より多くの分散型電源の普及に備え、配電系統の構成や運用のあり方を検討していくとともに、関係する皆さまと協調して、系統連系についてこれからどのようなルールが必要なのか、一緒に考えてまいりたいと思っています。

普及の鍵を握る総合経済性

最後に、普及の見通しについて述べてみたいと思います。

わが国では、電力会社の提供する電力の信頼度が欧米に比べて1桁高く、送配電設備網が整備されていますので、欧米で注目されている長時間停電対策としての利用や、送配電設備の投資削減としての使用は比較的少ないと思われます。

日本での普及の鍵を握るのは、何より導入者にとって総合経済性が得られることです。あわせて、電気や熱を単独で発生させるより、環境負荷が少なくできることなどではないかと見ています。

これらに見通しが得られれば、普及が進むと思っています。

この後も、またいろいろ議論があると思いますが、口火切りということで、やや細かな話もしましたが、受入側の立場を説明させていただきました。

〔プレゼンテーション〕

小型分散電源への燃料供給のあり方

松村 幾敏 (日石三菱㈱
取締役 技術開発部長)

小型分散電源用への置換可能量

エネルギー総供給の35%

私は、石油供給者の立場から、日本における小型分散電源への燃料供給の特徴、そのあり方についてお話しします。

まず、日本における今日のエネルギー供給状況と、その中で、移動用燃料を含めて、どの

ポーションが小型分散電源用に置き換わっていく可能性があるかを、図1に示しました。

1次エネルギーは、石油換算で合計5.89億kl、種別で原油・石油が52%、天然ガス、石炭、原子力がそれぞれ12%、16%、14%になっています。

これらが加工され、中間ロスもあり、最終エネルギー供給で3.91億klになります。主な内訳は、石油製品60%、都市ガス6%、電力22%ですが、このうち図1で網かけした部分は、燃料電池、マイクロガスタービンのような小型分散電源用に置き換わる可能性があるものでして、自動車用のガソリン、軽油を含めて、合計1.4億kl、最終エネルギー供給の35%に達します。

表1から民生用エネルギーの消費量を取り出して見ますと、石油はほとんど灯油ですが2,790万kl、都市ガスとLPGを合わせてガスが2,410万kl、一方、電力が4,060万kl相当になります。石油、都市ガス、LPGは、最終消費のほとんどが熱源、熱利用ですので、電源にできるだけ分散型電源を使って発生する熱を有効利用しますと、おおまかなマクロの見方ですが、全体ではかなりの効率改善が期待できると考えます。

表1 民生用エネルギー消費量
(1997年度)

(石油換算：万kl/年)

	家庭部門	業務部門	民生用合計
石油	1,280	1,510	2,790
都市ガス	910	770	2,410
LPG	730		
電力	2,090	1,970	4,060

出典：日本エネルギー経済研究所「エネルギー経済統計要覧」より作成

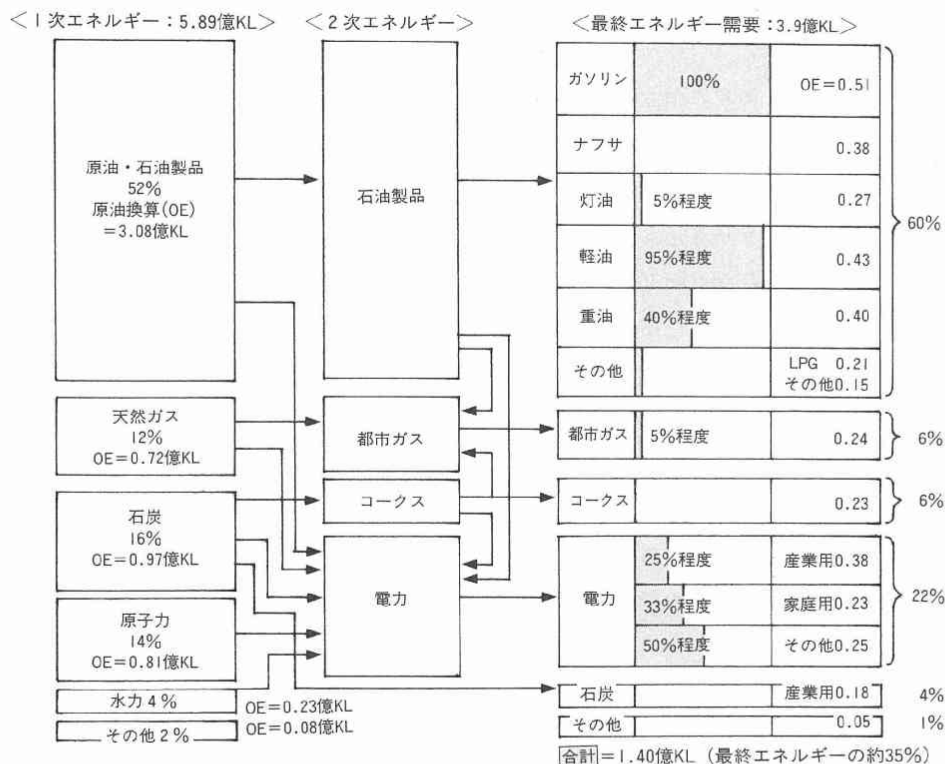


図1 エネルギーの供給状況 (用途別分類)

日米で相違する石油製品の需要構造

日米の石油製品需要構成を示したのが表2です。この表をもとに、日米での燃料電池、マイクロガスタービンの開発目標に大きな相違のあることをお話しします。

米国では、石油製品の構成比はガソリンが52%、軽油が23%、自動車用だけで75%になり、ほかにもジェット燃料があって、原油の大部分が移動用燃料に使われています。発電用はほとんどが石炭、ガス、原子力で、加熱用は大部分をガスで賄っております。

したがって、米国ではこの移動用燃料だけで日本のおよそ3倍の原油消費量があり、仮にエンジン効率20%前後の自動車ですべて効

表2 石油製品の需要構成 (1998年)

	日本		米国	
	需要	構成比	需要	構成比
	100万kl/年	%	100万kl/年	%
ガソリン	57	22	441	52
ナフサ	45	17	17	2
ジェット	10	4	97	11
灯油	29	11		
軽油	46	18	195	23
重油	70	27	103	12

出典：通産省「平成11年石油資料」

率40%の燃料電池車になりますと、計算上、石油消費量を半減でき、それだけ燃料電池自動車に対する期待が大きいのです。つまり、

この計算どおりですと、アメリカは原油を輸入する必要はありません。

一方、日本の事情は大きく相違しており、自動車用燃料には、ガソリンが22%、軽油が18%、合わせて石油製品の40%しか使っていません。石化原料のナフサを除きますと、ほかには灯油、重油を合わせた40%近くが加熱用燃料に使われています。したがって、日本では、自動車用燃料の省エネのみでなく、車以外の分野の省エネも併せて重要になります。先にも申しましたが、小型分散電源の利用により、発電と、同時に出てくる熱を有効に利用して両者の省エネを図ることが、末端消費分野におけるエネルギーの効率的使用ではないかと考えます。

油価が上がれば延びる原油の可採年数

ここで、化石燃料の可採年数について若干説明します。表3に、可採年数は石油、天然ガス、石炭が、それぞれ43年、63年、211年と出ており、石油が一番少ないように見えます。しかし、仮に、世界で使用するエネルギーのすべてを石油、天然ガス、石炭の1種類で賄うとしますと、それぞれのケースが17.6年、16.4年、70.8年になり、発見済み資源の埋蔵

表3 化石燃料の可採年数

	石油 99年末現在	天然ガス 98年末現在	石炭 96年末現在
確認埋蔵量(R) (発熱量換算)	1兆160億バレル (6,257兆MJ)	146兆m³ (5,825兆MJ)	9,842億t (25,550兆MJ)
年間生産量(P) (発熱量換算)	236億バレル (145兆MJ) (Pa)	2.27兆m³ (91兆MJ) (Pb)	26.5億t (120兆MJ) (Pc)
可採年数(R/P) (単一資源埋蔵量(発熱量)R _x 年間全生産量(発熱量)ΣP) Ra/(Pa+Pb+Pc)	43年 (17.6年)	63年 (16.4年)	211年 (71.8年)

出典：財団法人エネルギー経済研究所「OIL NOW 2000」,
世界エネルギー会議('98), OJC誌より



松村 幾敏氏（日石三菱㈱ 取締役 技術開発部長）

〔略歴〕

1970年東京工業大学大学院修士課程応用化学科卒業。

同年、日本石油㈱入社、1986年技術部主管部員、1992年開発部総括グループ主管部員、1993年開発部副部長、1995年開発部長。

1999年日石三菱㈱技術開発部長、2000年取締役技術開発部長、現在に至る。

政府・業界関係活動には、石油審議会石油部会石油製品品質専門委員会委員、石油連盟自動車用燃料専門委員会委員長などを務める。

著書には、「炭化水素」（共著）、「悪臭・炭化水素排出防止技術」（共著）がある。

量からは、逆に石油の方が天然ガスより長いことになります。

一方、新たな油田、ガス田の発見は現在なお続いており、このような状況での埋蔵量の概念を示すのが図2です。今申しました可採年数の43年、63年というのは、図の中で“proved”（確認埋蔵量）の部分だけを年間消費量で割った年数です。原油、天然ガスには、このほか図の右の方に書いてあります“probable”といわれる50%ぐらい「ありそう」なところ、“possible”といわれる20~30%ぐらい「あるかもしれない」ところが残っており、横軸は今後発見される井戸の数になります。

また、原油は、地中に地下水のような状態で存在するのではなく、砂岩などの貯留岩の中に浸み込んでいて、それに圧力をかけて取

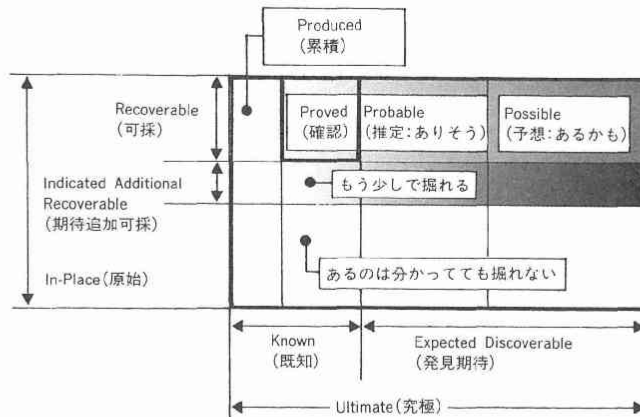


図2 原油、天然ガスの埋蔵量の概念図

り出します。今日の技術とコストでは現在地中に堆積している原油の25%程度しか採掘できず、あとの75%は手付かずのまま残ります。

したがって、図2にある確認埋蔵量の部分を右と下へ広げることができますと、可採の範囲がもっと大きくなるということです。図3に移りますと、現在の確認埋蔵量は1兆160億バレル、その左のスペースは採掘ずみの生産量を示します。ですから、コストを図の一番左のところを1ドルとしますと、“proved”のところは現在約20ドル。20ドルでの採掘で採算可能な量がこの確認埋蔵量のスペースです。これが、例えば50ドル、60ドル、100ドルと上昇しますと、図の右の方が採掘可能に変わります。さらに、縦軸の方にいきまして、かつてのサウジなどの原油は、1ドルから2ドルでの生産でしたが、これが100ドルに高まりますと、今、埋蔵量の25%しか生産されていない原油が、油価に見合った高価な技術が使えることにより、埋蔵量の30%、40%、50%が生産可能になるわけです。

このように、油価が上げれば埋蔵量は増えま

すが、同時に太陽光やバイオマスなどの新エネルギーも経済性が出てきて、あとはすべて経済原則に従ってこれらのエネルギーが普及していく可能性が出てきます。

ちなみに、現在推定されている原始埋蔵量はおおよそ8兆バレルですから、この半分が生産できたとしても、今の確認埋蔵量の4倍あるわけです。43年の可採年数は、価格的な問題を除けば、150年から200年に延びることになります。

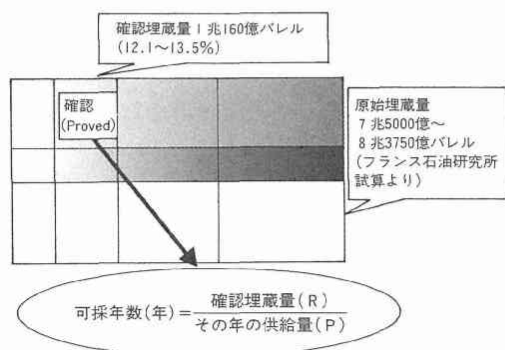


図3 原油の可採年数

ベストミックスの供給体制と

不時に備えた備蓄を

各種エネルギーの特徴を挙げたのが表4です。石油は、価格と備蓄性に優れますが、利便性、環境性はよくありません。電気は、利便性、環境性はいいのですが、価格と備蓄性は不良です。それゆえ、それぞれに一長一短があり、またわが国は石炭、石油、ガスのすべてを輸入していますので、長所を取ったベストミックスのエネルギー供給体制が必要です。

表5は、コストの比較で、末端小売価格で1,000kcal当たり灯油が5.2円、LNG（都市ガス）が14円、LPガスが22円、電気が26円になっています。

備蓄性に関連し、各種燃料のエネルギー密度を示したのが表6です。燃料のリッター当たりの発熱量、つまりエネルギー密度は、ガソリン、軽油のような液体燃料がよく、あとは軽いほど低下しています。日本はエネルギーの海外依存度が極めて高く、島国でもありますので、現在、160日を超える石油備蓄はありますが、常にセキュリティも考えておく必要があります。特に、分散電源になりますと、地震国でもありますので、備蓄性は一つの大きな要素と思っています。

燃料電池開発への石油業界の取り組み

ここで、石油業界が取り組んできた燃料電池の開発を紹介します。

まず、リン酸形燃料電池の開発では、200kWのナフサ燃料電池で1万8,000時間の実証運転を達成、また200kWの灯油燃料電池の試運転に成功していますが、残念ながら、採算面の見込みが望めず、研究は中断になっています。

表4 各種エネルギーの特徴

	石炭	石油	ガス	電気
価格	◎	◎	○	△
利便性	×	△	○	◎
環境性	△	○～△	○	◎
備蓄性	◎	◎	△	×

表5 エネルギー源別コスト比較例（1998年度）

（円／千kcal）

	CIF価格	末端小売価格	比
原油	1.24	—	
灯油	—	5.21	4.2
LPガス	1.89	22.93	12.1
LNG	1.59	14.14	8.9
（電気）	—	26.60	
（メタノール）	4.02	(18.2)	
（水素）	—	(780.0)	

出所：財エネルギー経済研究所

表6 各種燃料のエネルギー密度

種類	密度(kg/L)	発熱量(kcal/L)
ガソリン	～0.75	～7,800
軽油	～0.84	～8,500
天然ガス (200気圧, 0℃)	～0.16	～1,900
液化天然ガス(LNG)	～0.45	～5,300
メタノール	0.793	3,740
エタノール	0.789	5,050
水素 (200気圧, 0℃)	0.0180	514
液体水素	0.0700	1,990

注：LHVベース

しかし、このときの技術を生かし、最近の固体高分子形燃料電池用の燃料、改質触媒、さらに改質装置の開発に取り組んでいる状況です。

さらに、燃料供給者の立場から、当社は、2001年1月から、ダイムラー・クライスラー社、

マツダ(株)と共同して燃料電池車の実車走行テストを計画しており、その中で最適な燃料とその品質について検討していく予定です。

推進を図りたい石油系燃料電池の開発

最後に、石油系燃料電池の開発意義を申し上げます。

第1に、石油は2010年の長期1次エネルギー総供給の見通しで、なおその大半を占めています。

第2に、液体燃料であり、エネルギー密度も高いことから、貯蔵、輸送に最適です。

したがって、現実的な環境対策は、石油エネルギーの効率的な利用技術の開発にあるということです。

また、既存の生産・流通インフラの利用が可能であり、国民経済的観点からも効率的です。

このように優れた特性のある石油を有効利用するため、石油系燃料電池の開発を強力に推進していただきたいし、我々も開発の支援とともに、必要な燃料の供給を担っていききたいと考えております。

〔プレゼンテーション〕

小型分散電源への期待と普及の課題

山口 靖之 (東京ガス(株)
取締役副社長)

日本のコージェネレーション規模

希望的観測は総発電容量の10%

マイクロガスタービンや燃料電池は、数年前にはほぼ完成の域に達するでしょうし、その暁には小型分散電源の時代は必ず到来する、と考えております。本日はこの点に関しまし

て、都市ガス供給者の立場から話をさせていただきます。

スチームタービンを除くコージェネレーションの設備容量は1999年度末で約500万kW、日本全体の総発電設備容量約2億kWに対して2%強の比率になります。その中で、都市ガス、天然ガスによるコージェネレーションは約150万kWで、日本の総発電設備容量に対しては0.7%程度に過ぎません。私どもといたしましては、今後新しい小型分散電源が普及してまいりますとコージェネレーション全体のシェアが一桁多い10%ぐらいに伸びるのではないかと、希望的観測を抱いております。

需要家のコスト意識が推す

コージェネの利用拡大

コージェネレーションの利用分野を発電容量別に並べたのが図1で、普及が進んだ分野と普及が期待される分野を太い曲線で区分しています。普及が進んだ分野では、発電容量数百kW以上のガスエンジン、ガスタービンのコージェネレーションが熱需要の比較的多い工場、地域冷暖房、ホテル、病院などで利用されています。

今話題に上っている小型分散電源は、図中の太い曲線の外側にあるもので、発電容量が極めて小さい領域と熱需要が比較的少ない用途向けということになります。規模の小さい順に申しますと、およそ10kW未満が固体高分子形燃料電池、100kWぐらいまでがマイクロガスタービン、それ以上が高発電効率のガスエンジン、ガスタービンで対応できると考えています。今後は、熱需要の比較的少ない需要家のコージェネレーション採用も増えてくるのではないかと予測しています。



山口 靖之氏（東京ガス㈱ 取締役副社長）

〔略歴〕

1961年東京大学工学部卒業。

同年、東京ガス㈱入社、1988年西部導管管理事業所長、1989年西部導管ネットワークセンター所長、1989年資材部工事契約グループ総括、1991年資材部長、1994年取締役資材部長、1995年取締役設備技術部長、1996年常務取締役、1998年専務取締役、2000年取締役副社長、現在に至る。

また、昨今、電力の小売自由化の話題が新聞紙上を賑わしており、こういったことも一因となって、今までは料金への関心が薄いま

ま電力を使用していた需要家が、もっと安く電力は使えないのか、コージェネレーションの得失はどうなのかと、真剣に考えていただけるようになってまいりました。需要家の方の経済意識が高まり、1円でも安い電力を求める流れも小型分散電源の登場に影響しているかと思っております。

利用システム中心のコージェネ技術開発

期待される爆発的な需要増

弊社が行っている、コージェネレーション関係の技術開発の全貌を図2に示します。私どもはガスタービン、燃料電池などの製造メーカーではありませんので、これらの設備をどのように使えば需要家に最大のメリットをもたらすかという、利用システムの研究開発が中心となります。

発電効率で見ますと、マイクロガスタービンでは、キャプストン社、ハネウェル社のものは、現状30%以下ですが、先ほどの伊藤先

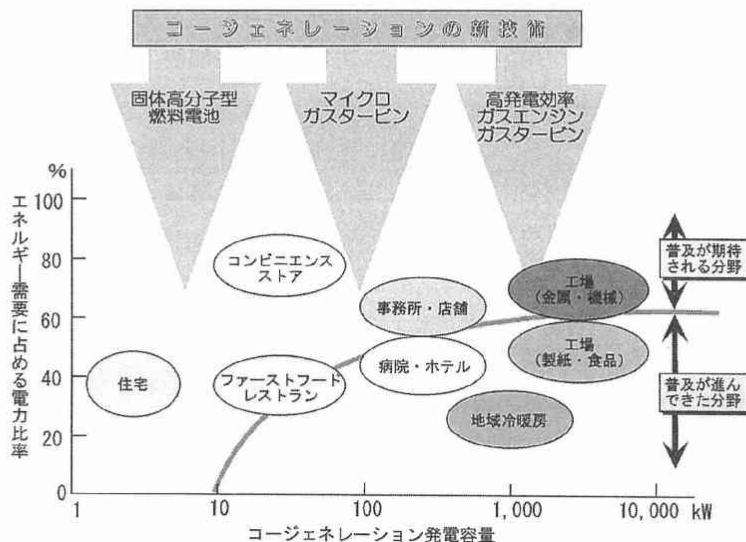


図1 コージェネレーションの利用分野

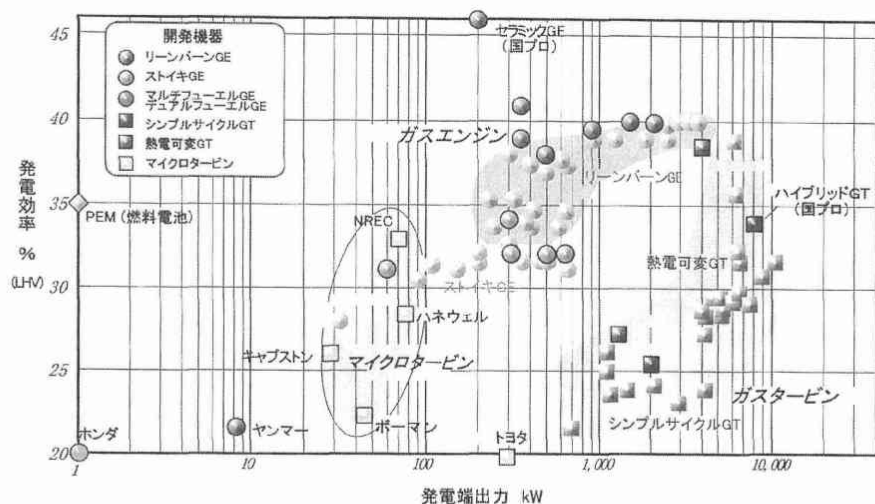


図2 東京ガスにおけるコージェネ技術開発の概要

生のお話ですと、第2世代には40%を超えるとのこと。燃料電池は、家庭用ですと1kW程度で、現状で35%程度です。

弊社管内需要家のガスコージェネ設備容量の推移を示したのが、図3です。現在の総容量は約70万kW、その内80%が産業用で、大型の工場設備等に導入されています。民生用はまだ少なく20%ですが、この10年で約7倍、年率にして2割から3割の増加がありましたので、これからも爆発的に需要が増えるものと期待しています。

希望が抱ける

マイクロタービン利用の技術開発

弊社のマイクロガスタービンについての取組みは、まず、海外メーカーより実機を購入して運転試験を行い、性能評価を行っています。また、排熱利用システムについては、温水回収ボイラ、蒸気回収ボイラや空調用途に排ガス直接利用吸収式冷凍機の技術開発も進めています。

図4は、弊社が本年（2000年）5月に省エネルギー改修工事を行なった川崎にある5階建て5,000㎡ほどの自社施設において実施しているフィールドテスト概念図です。キャプストン社のマイクロガスタービンを核にして太陽熱集熱器を組み合わせ、冷房、暖房、給湯の熱利用にどのような形の運用が一番省エネになるかをスタディしているものです。事前の試算によりますと、23%ほどの省エネ効果が見込まれています。

マイクロタービン・コージェネのコスト目標は、図5にありますように、従来のガスエ

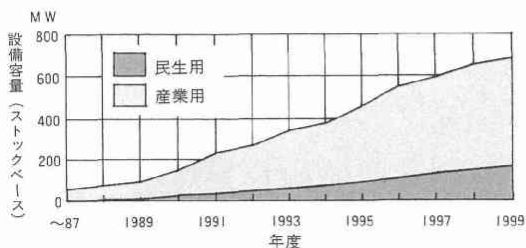


図3 ガスコージェネ需要家の推移
(東京ガス管内)

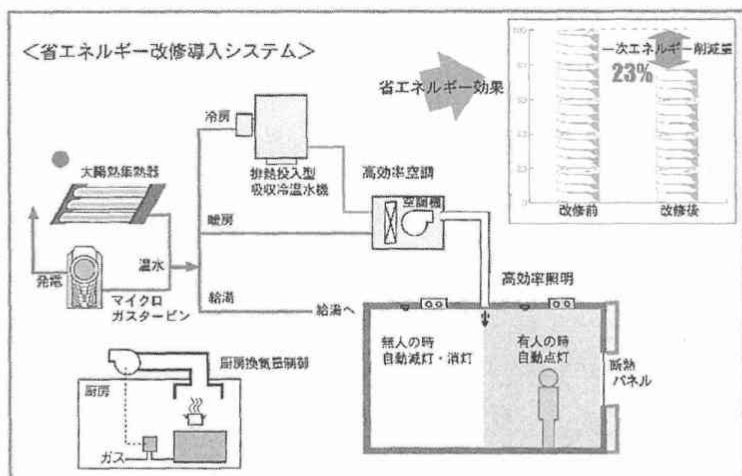


図4 省エネルギー改修導入フィールドテストの概念図

ンジンコージェネでは30数万円/kWであった初期設備費を $\frac{1}{3}$ ぐらいに、また従来3～4円/kWhであった運転維持費を $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{4}$ に低下させるのを目指しています。設置スペースの縮小、重量の軽減も見込まれ、これらが実現すれば、弊社管内で年間数千台の需要開拓が可能ではないかと楽観的な希望を持っております。

燃料電池コージェネの普及

環境共生住宅への組み合わせを

燃料電池利用の技術開発では、1kWクラス

の固体高分子形燃料電池を使用し、家庭用コージェネの運転研究を行っています。燃料電池から出る電気と熱をいかにフル活用するかが重要ですが、1軒1軒の家庭ですと燃料電池のオン、オフの頻度が多く、ピークとオフピークでは極端にいいすと0から100の間までの負荷変動がある厳しい使用状況になることも考えられます。どのようなコンセプトにすれば安心して使うことができ、かつ効率も上がるかを、トライ・アンド・エラーで研究しています。メーカーとガス業界等が参加している国家プロジェクトもスタートして

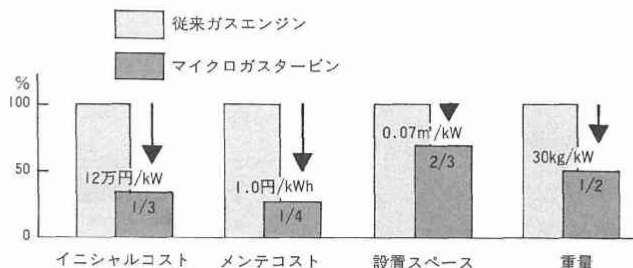


図5 マイクロタービン・コージェネの開発目標（温水回収システムの例）

おり、順調にいけば2004年ごろに市場導入にこぎつける見込みです。

普及においては省エネで、環境に優しく、かつ経済的にも満足のいくものにもっていくことが重要です。例えば、ハウスメーカーさんのお力も借りて、環境共生住宅の目玉の1つに燃料電池を組み込むことができないかと考えております。

小型分散電源が持つ優れた社会性

緩和できないか保安規制

ここで、小型分散発電の社会性をまとめてみます。第1が省エネ性です。エネルギーを徹底的に使うことで10%から20%ぐらいの省エネが可能です。第2がCO₂排出の削減で、最大で約25%のCO₂削減効果が見込めます。第3がエネルギー費用の節減で、10%から20%の節減効果が期待できます。

1998年に出された長期エネルギー需給見通しによりますと、2010年にコージェネレーション約1,000万kW、燃料電池220万kW、単純合計で約1,200万kWを目標としており、現在の500万kWの約2.4倍になります。また、マイクロガスタービンや固体高分子形燃料電池が出現し、さらに先ほどの話の第2世代の高効率小型分散電源が登場してきますと、コージェネレーションの設備容量を合計すると日本の総発電設備容量の10%程度にはなるのではないかと期待しております。

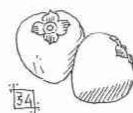
ただ、これを達成するには、まず第1に安全性等を担保した上でのいくつかの規制緩和が不可欠です。具体的には、ボイラー・タービン主任技術者、電気主任技術者の選任、常時監視などの項目が挙げられます。2つ目が、系統連系ガイドラインでして、先ほど白玉さ

んからもお話がありましたが、この励行には、1カ所500万円ぐらい費用がかかります。分散電源の本体価格400万円程度のケースでも、それに加えて、主任技術者の選任やガイドラインの遵守等で1,000万円近くコストがかかりますと、普及の大きな阻害要因になります。分散電源の社会性に鑑み、かつ安全性を確保した上で最大限の緩和を期待するところです。

おわりに

分散電源時代が到来するか否かは、需要家の選択にかかっています。需要家はコスト、効率、扱いやすさを総合的に評価して決めますから、これらの要素に対してガス会社がどれだけ支援できるかが重要です。第2世代の機器の登場を期待する一方、できるだけ効率的な利用システムを早期につくり上げて、何とかコージェネによる分散電源のシェアを10%にもっていきたいと思っています。

日本は化石燃料のほとんどを輸入に依存しています。平均して約40%の熱効率を80%程度に高めるのを今後の日本の悲願として、達成に向け努力いたしますし、また、関係者のバックアップも期待しております。



〔プレゼンテーション〕

マイクロコージェネの評価と課題

伊東 弘一 (大阪府立大学 大学院
工学研究科 教授)



伊東 弘一氏 (大阪府立大学 大学院 工学研究科 教授)

印象としての結論――

ベストミックスではなく棲み分け

印象としての結論をまず述べたいと思います。大規模集中か小規模分散かというのは、電源関係以外にも行政、経営、計算機など、多くの世界における永遠のテーマだと思います。そういう意味で、簡単に結論が出せるものではなく、よく耳にするベストミックスという言葉よりも、棲み分け理論がここでも当てはまるような印象を懐きます。

EU、米国のコージェネ動向

最初に、小型とか分散型ではないコージェネレーションの世界的な状況を少々述べます。図1がEU（欧州連合）各国の総発電電力量に占めるコージェネレーション発電量の比率です。現在、EU全体の平均で9%から

〔略歴〕

1965年大阪府立大学工学部機械工学科卒業。京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修士・博士課程進学後、オーストリア国立グラーツ工科大学応用数学研究所および同国立原子力研究所留学。工学博士。

大阪大学工学部産業機械工学科助手、在ウィーン国際応用システム分析研究所（IIASA）研究員、大阪大学講師、助教授を経て1990年より大阪府立大学大学院工学研究科機械系専攻教授、エネルギー供給・消費の設備等に関する研究に従事。

政府関係活動には、通商産業省等の各種委員に就任、また日本コージェネレーションセンター特任理事を務める。

論文では、アメリカ機械学会（ASME）John P. Davis賞、ASME-IGTI最優秀論文賞、ASMEアドバンスト・エネルギーシステム部門最優秀論文賞等を受賞。

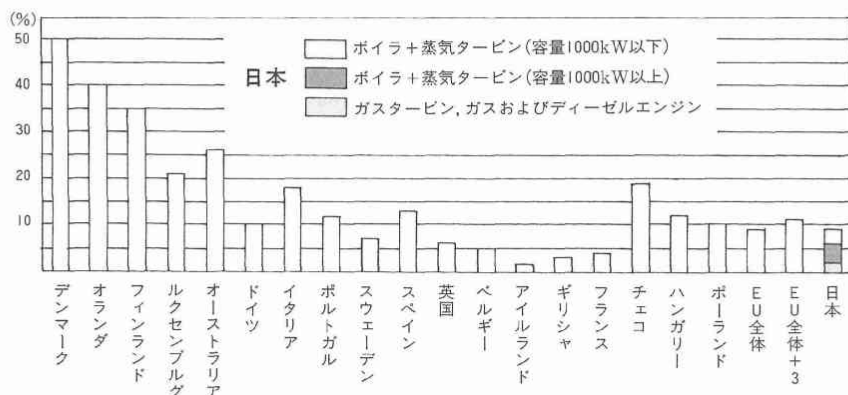


図1 欧州各国における総発電電力量に占めるコージェネのシェア（1999年）

10%近くになっております。EUでは、これを2010年までに18%へとほぼ倍増する計画です。わが国では、先ほど東京ガスの山口さんが設備容量で2%強と申されましたが、クラシックなボイラーにスチームタービンを組み合わせたものを加えますと、EUにほぼ近い値かと思っています。2%強というのは、ガスエンジン、ガスタービン、それからディーゼルエンジンによるコージェネの量です。

米国では、10数年前に米国コージェネレーション協会が設立されましたが、熱利用が少なくてコージェネの名称がそぐわず、1998年12月、新たに米国熱電併給協会(U.S. Combined Heat and Power Association, USCHPA)が結成されました。その際、DOE(米国エネルギー省)は、5,424万kWのコージェネ発電設備容量、これは総発電設備容量の6.6%、発電電力量で9.5%に相当しますが、これを2010年までに倍増し、年当たりで炭素換算3,300万トンのCO₂を削減したいと発表しています。

世界のコージェネレーションの動向では、国際コージェネレーション同盟(International Cogeneration Alliance, ICA)が1998年9月に結成され、これにはコージェネ・ヨーロッパ、英国および米国の熱電併給協会、そのほか中国、インドなどの多くの組織体が加盟しています。しかし、残念ながら、わが国はまだ参加していません。

新しい動きとして、ICA, USCHPAが中心になり、第1回国際熱電併給会議が2000年2月、アメリカのワシントンDCで、米国エネルギー省と米国環境保護局の主催により開催されました。熱電併給の関連では、今後、この会議が世界的な活動の中心をなすと思われます。

なぜ、いまマイクロコージェネか？

きょうのテーマの小型分散電源に関連し、マイクロコージェネ、またはミニ若しくはホームコージェネという言葉がありますが、これらには学術的な定義は特にありません。ヨーロッパでは、マイクロとミニをそれぞれ何kWから何kWまでと、容量で定義しようと試みていますが、私個人は、図2にありますように、機種ごとの容量で定義しないと、マイクロコージェネのイメージが合わない気がします。

機種 \ 発電容量	~5	10	50	100	200	300
	(kW)					
ガスタービン						
ガスエンジン						
燃料電池(P E F C)						

図2 マイクロコージェネの容量による定義

なぜマイクロコージェネかについては、今日いろいろ話がありましたが、私なりにまとめますと、1つが、マイクロガスタービン、ガスエンジンおよび固体高分子形燃料電池など各種機器の発電効率の飛躍的向上。2つ目が、米国などでは顕著な送配電コストの増大。3つ目が、熱のカスケード利用が十分なされてきたか、になります。

ガス会社の方には失礼ですが、例えばガス風呂、ガス瞬間湯沸し器から40℃のお湯を得るのに、熱のカスケード利用の面から見て、まだ十分効率的な使い方になっていないのは事実です。このようないろいろな理由がマイクロコージェネの話題を沸騰させていると思います。

ユーザーによる評価の視点

ウエイトの大きいコストと環境性

評価の視点につきましては、けさほどの茅先生のお話にもありましたように、やはりグローバルな視点から、3Eというトリレンマへの挑戦の可能性になります。すなわち、エネルギー安定供給(Energy Security)、エネルギーコストの低減化などを通じた経済成長(Economic Growth)、それから地球環境保全(Environment Protection)の大きな視点からの評価が十分なされないと、国民として不経済になるのは明らかですが、ユーザーからはなかなか分りにくいところがあります。

やはりユーザーによる評価の視点は、

1番目が経済性です。機器コストは、ガスタービン、マイクロガスタービンとも、まだまだ高いというのが実感で、今後どこまで低減できるかが課題です。ホームコージェネへの導入が想定されている固体高分子形燃料電池にしても、技術的・経済的諸課題がまだまだ山積していると思います。

ランニングコストでは、燃料使用量の少ないユーザーがどれだけ価格の安いガス、石油を入手できるかが大きな課題です。一般商用電力系統との最大契約料コストは、電力会社との今後の検討になると思います。また、ユーザー自ら発電を意志決定した以上、当然、メンテナンスの課題が伴います。

2番目が環境性です。環境汚染物質の排出量、オンサイト設置に伴う騒音、振動も含めて、どれだけユーザーを満足できる状況になるかです。もちろん、今後、地球温暖化ガス排出量に絡み、排出権とか排出に対するペナルティーなどが評価の対象になってきます。

3番目に、その他として設置スペース、操作性、運転要員の問題がありますが、これは先ほど山口さんからもお話がありました。次に、メンテナンス性、これがわずらわしいとユーザーは逃げていきます。それから、安全性、信頼性、故障時のバックアップ体制です。100kW以下のマイクロコージェネのメンテには、JAF(日本自動車連盟)のような体制をつくらないと、経済的にペイしないというレポートもあります。また、固体高分子形燃料電池は劣化特性をどう考えるかも問題であり、燃料供給体制も重要です。

マイクロコージェネにおける

エネルギー需要量の規模特性

マイクロコージェネを考えていく上で、エネルギー需要量の規模特性が重要な課題になります。一般に需要家の規模が小さくなりますと、エネルギー需要量が時間的に大きく変動します。

図3は、簡単に学生に描かせたものですが、Aさん1人ですと1日の時刻別エネルギー需要量は大きく変動します。B家になりますと変動は少しゆるやかになり、C棟とD地区というふうに対象範囲が広がりますと、負荷は平準化され運用しやすくなるわけです。このようなエネルギー需給のマッチングに、蓄熱、または蓄電装置が要るのであれば、容量をどう決定するのが重要な課題です。また、これらの蓄エネルギー装置の導入は、当然、コストアップ、エネルギーロスにつながるわけです。私は、よく自家用車と電車の例を出します。電車を大規模集中電源として、自家用車をマイクロコージェネとしたときに、自動車には現在1人か2人しか乗っていないケー

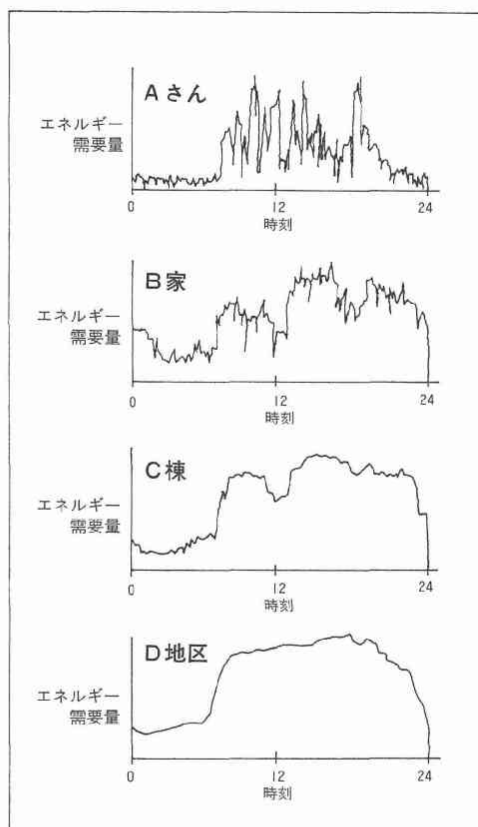


図3 エネルギー需要の規模特性

スが多く、また年間の稼働率が悪いわけです。

このようなマイクロコージェネ導入時ににおける規模の選択が今後の課題かと思っています。

企業の棲み分けが必要となる

マイクロコージェネ

最後に、今後の課題と展望を述べます。これまでの話にもありましたように、やはり発電効率をはじめとし、機器の性能向上、機器コストの低減、メンテナンス体制やバックアップ体制の整備、さらに大規模電力系統との協調など、まとめますと表1のような課題を秘めています。

表1 マイクロコージェネシステムの
今後の課題と展望

1. 各種機器の性能特性向上
 - ・発電効率
 - ・排熱回収効率
 - ・耐久性
 - ・信頼性
 - ・対環境性
2. 機器コスト低減化
3. メンテナンス体制
4. バックアップ体制
5. 大規模電力系統との協調
(3Eの視点からのベストミックス)
6. エネルギー量需給マッチング
 - 需要量が時間的に大きく変動する (= 負荷平準化効果の低減, 負荷率の減少)
 - ・蓄熱装置が必要か?
 - ・蓄電装置が必要か?
7. マイクロガスタービン関連
 - a. ガスコンプレッサーの必要性
 - b. ボイラ・タービン電気主任技術者
8. P E F C関連
 - a. 冷房をどうするか
 - b. 燃料供給体制, 燃料改質
 - c. 直交変換 (インバーター)
9. 新たな規制緩和は?

一方、冒頭に棲み分け理論を申しました。

この夏、エスコベールという会社から出された300ページほどのレポートには、マイクロコージェネに関係ある企業名がずらりとリストアップされており、そのメーカー数を見ましても、適当な棲み分け場所を探求する努力が今後に必要なという印象を受けた次第です。

以上で私の話を終了させていただきます。

家庭用コージェネレーションの整理

栗原 史郎 (一橋大学 教授)

一般に、商品の普及には、潜在的な相対的有利性の存在が重要です。これを見失いますと議論の道筋が不透明になります。ディスカッションに入る前に、家庭用コージェネの導入

目的をいま一度整理しておきたいと思います。

○家庭用コージェネに求められる社会的有用性

1つが省エネルギー性です。茅先生が言われましたように、従来型システムとの比較でどちらが効率的かの話です。

2つ目は環境性です。どちらがクリーンかになります。

3つ目は経済性です。どちらが安いかで、これが決定的な重要要件になります。

もう1つ、コージェネの普及が相当程度進んだとき、系統電力の負荷平準化という外部効果があります。

○家庭用燃料電池コージェネシステムのイメージ

図1は家庭用システムの使い方です。

都市ガスは、改質器を通して燃料電池に入ります。燃料電池から出てくる電気は直流ですから、インバータで交流に直してエアコン、テレビ、照明、冷蔵庫などに使います。

一方、暖房は床暖房とエアコンの両方がある



栗原 史郎氏（一橋大学 教授）

〔略歴〕

1971年東京大学工学部卒業、通産省入省。1979年、ジョンズ・ホプキンズ大学大学院博士課程修了、経済学博士。研究開発官、電気規格課長、(財)エネルギー総合工学研究所企画部長を経て、1994年、一橋大学商学部教授（商品・技術大講座）、現在に至る。

政府関係活動は、現在、総合エネルギー調査会臨時委員、電気事業審議会専門委員、産業技術審議会専門委員を務める。

著書には、「これからの技術哲学」、「市民負担の原理による環境市場創造」、「環境倫理と市場経済」に所収、「環境市民革命」、そのほか論文、訳書が多数。

り、熱が不足のときは追い焚きをし、余ればタンクにお湯の形で蓄え、お風呂、シャワーに使うという方式です。

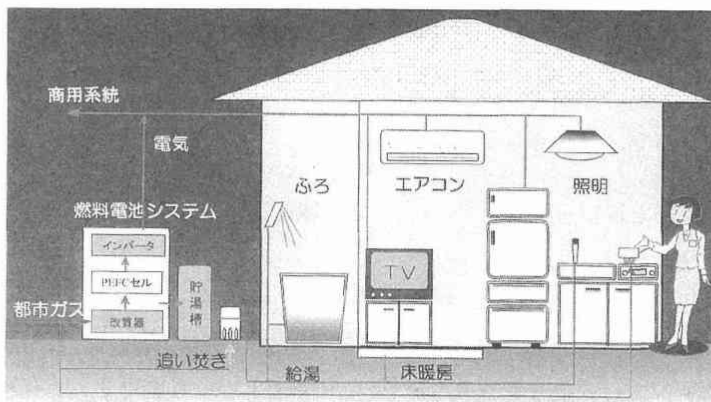


図1 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムのイメージ

○家庭用の電力・熱負荷パターン

図2が1日の時間帯別、図3が1年の月別の負荷パターンを示すものです。年間を通じて電力、熱の負荷が並存しており、またタイミングも一致しているため、コージェネの使用に適しています。

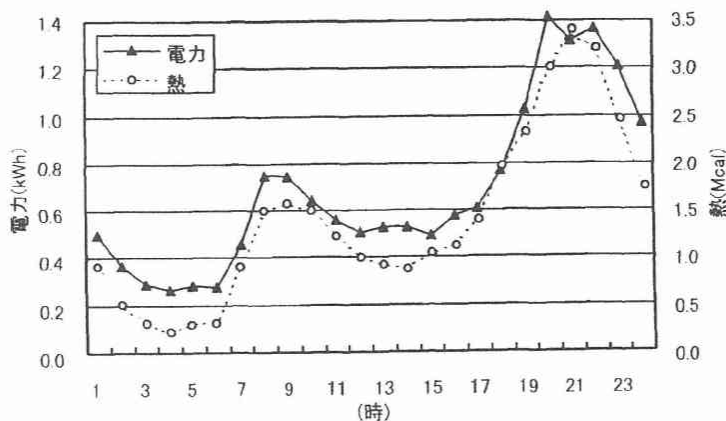
○従来システムとコージェネシステムの比較

両システムの例を図4に示します。ポイントは、コージェネで起きた電気を効率のよいヒートポンプで使うことで、茅モデルで話さ

れたヒートポンプで代替可能な熱需要もっています。

○家庭用コージェネ1日の運転パターン

床面積130㎡を持つ一戸建ての標準的世帯をとりますと、表1に示す電力、給湯、冷房、暖房のエネルギー需要があり、これに表2の条件でコージェネを導入したときの運転パターンは図5のようになります。昼間は8時間ぐらい、9時から17時まで動かしまして、余った電力は系統電力に売り、夜間の不足電



- ・2月の標準的な電力負荷と熱負荷
- ・電力負荷には冷房と通常暖房が、熱負荷には給湯と床暖房が含まれる。

図2 家庭用の電力・熱負荷パターン（時間帯別）

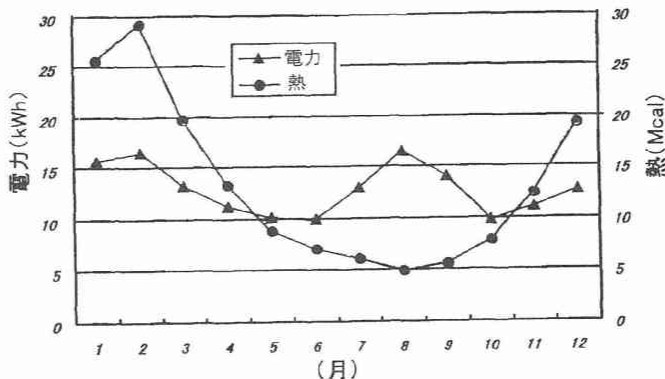


図3 家庭用の電力・熱負荷パターン（月別・1日あたり）

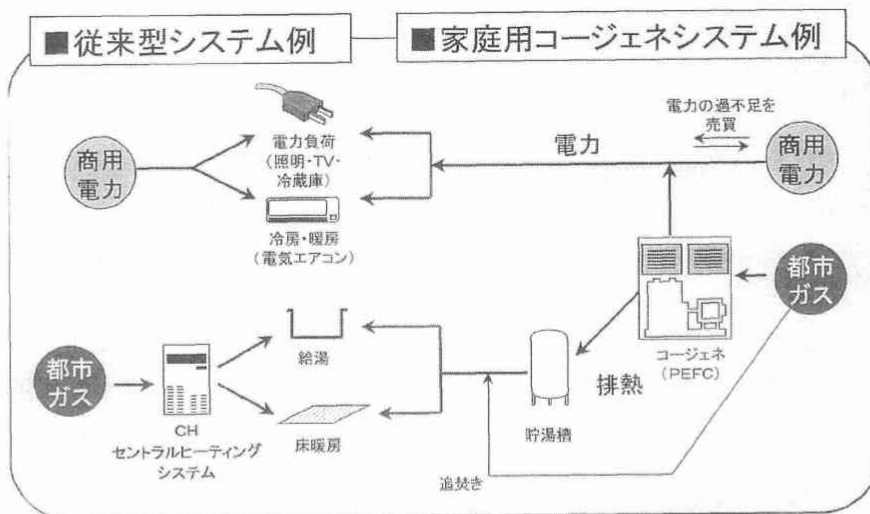


図4 従来システムとコージェネシステム

表1 標準的世帯年間エネルギー需要

- ・電力需要：3,135Mcal (3,645kW)
- ・給湯需要：3,912Mcal
- ・冷房需要：1,314Mcal
- ・暖房需要：3,567Mcal
 - うち通常暖房需要：1,867Mcal
 - 床暖房需要：1,700Mcal

表2 導入コージェネの条件

- 以下の条件で標準的な世帯に導入する。
- ・コージェネ：PEFC(固体高分子形燃料電池)
 - ・設備容量：1.0kW
 - ・発電効率：35%(HHV)
 - ・排熱回収率：40%(HHV)
 - ・運転パターン：DSS、一定運転

力は買うとします。発生した熱は溜めておきます。重要なことは、コージェネを熱負荷に合致するような形で昼間中心にデイリー・スタート・ストップの運転をすることです。

○家庭用コージェネの月別運転パターン

図6は1年間の月別1日当たりの運転パターンです。棒グラフの左がコージェネの発電電力量、右がコージェネの発生熱量で、負荷パターンは電力が8月に高くなっています。

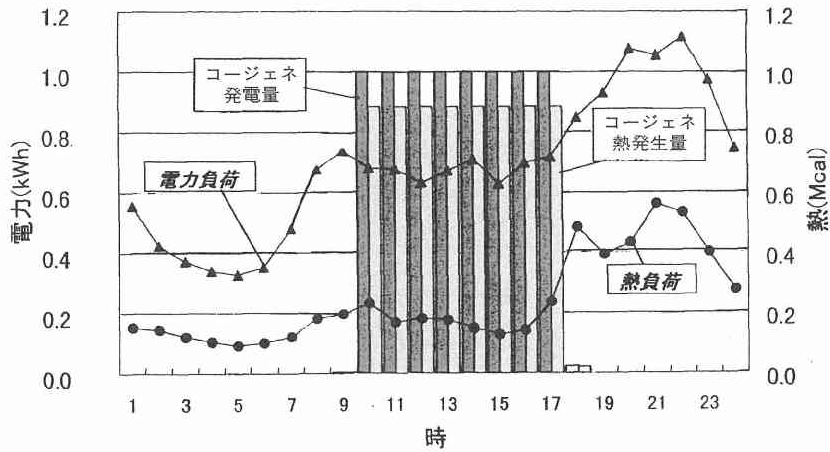
○家庭用コージェネの省エネ性・環境性

図7にありますように、1次エネルギーは全消費量で31%の節減、CO₂排出量は、茅先生

も触れられましたが、火力平均のCO₂原単位を使った値に対し45%削減になります。これは後で述べます。

○家庭用コージェネの経済性

図8は、経済性の計算でして、横軸が逆潮流電力の買取り価格、縦軸が従来システムとの年間コスト差で、燃料費をどれだけ稼げるかということです。ガス価格が安くなれば経済性はよくなります。ところが、余剰電力買取り価格が現在の5円/kWh程度ですと、なかなか経済性が出てきません。これは後で再度説明します。



発電量が熱負荷をトータルで超えないようにし、昼間時を中心に運転

図5 家庭用コージェネの運転パターン（8月）

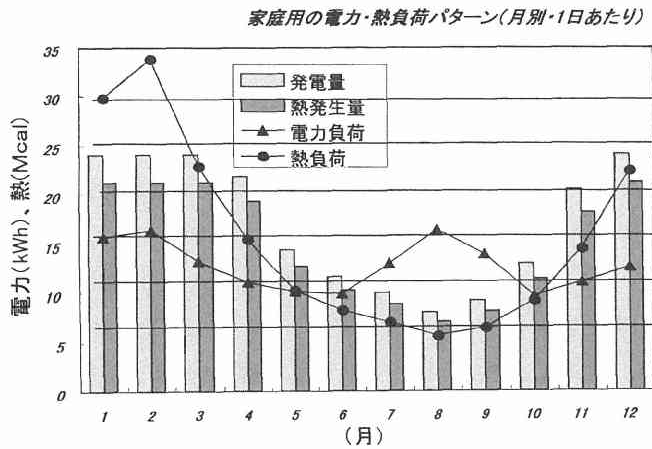


図6 家庭用コージェネの月別年間運転パターン

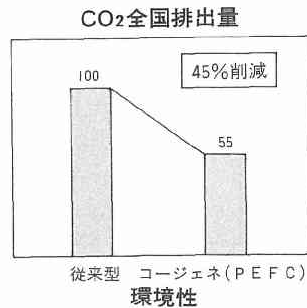
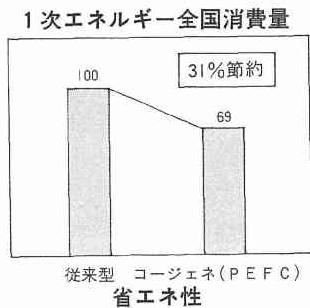
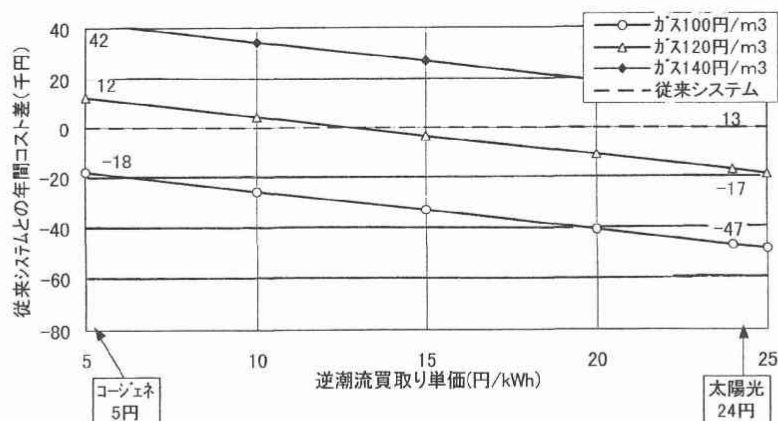


図7 家庭用コージェネの省エネ性・環境性



(注) 夜間 (22時～8時) の買取価格は 5 円/kWhとした

図8 家庭用コージェネの経済性

○家庭用コージェネの市場規模

家庭用コージェネ普及のターゲットを延べ床面積130㎡以上の一戸建て住宅と仮定しますと、図9にありますように、2010年で約900万戸、2030年で約1,040万戸が潜在需要戸数になります。その中で、10%ぐらいが入るとの予想です。1戸当たりのコージェネ導入量を1.0kWと想定しますと、潜在需要は、潜在戸数がフルに入った場合、図10にありますように、2030年で1,040万kWになります。

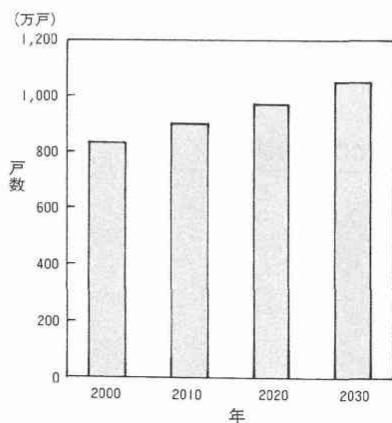


図9 家庭用コージェネの潜在需要 (戸数)

○家庭用コージェネの普及による効果

図7で示しました1次エネルギー消費量削減31%、CO₂排出量削減45%の計算根拠を示すのが図11です。従来型ですと、標準世帯1件当たりで、年間でガスを638㎡、電気を4,653 kWh購入しており、これを1次エネルギーに換算しますと約1万8,400Mcal/年になります。コージェネにしますと、ガスの購入量が約2.5倍増えます。一方、電気の消費量がマイナスなのは、発電した余剰分を系統電力に売

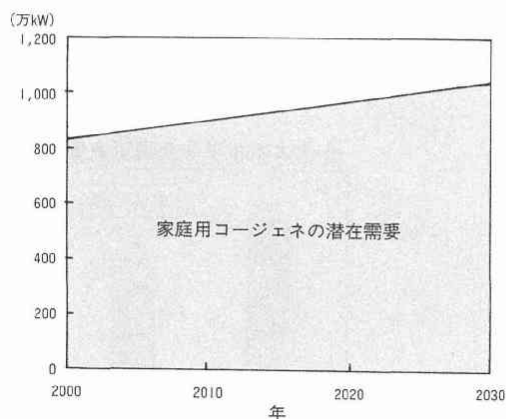


図10 家庭用コージェネの潜在需要 (kW数)

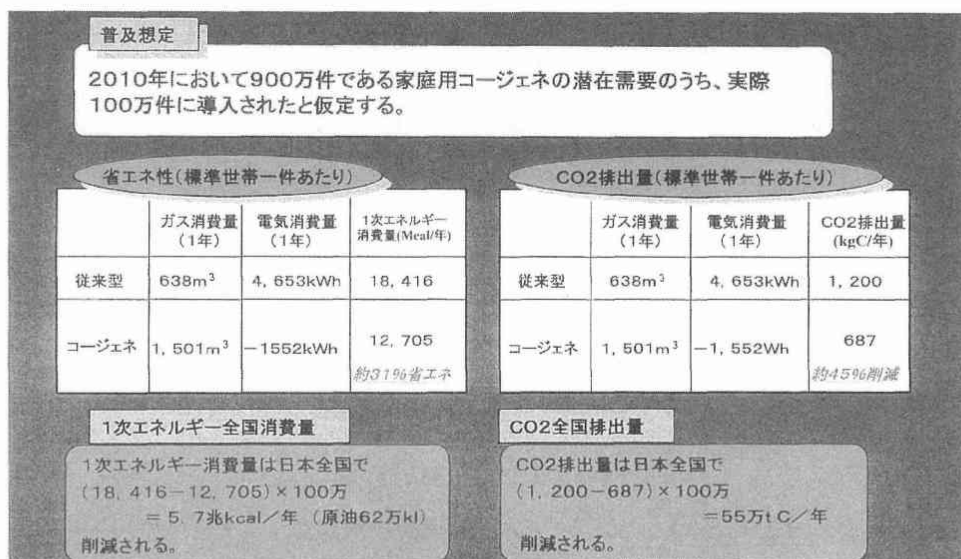


図11 家庭用コージェネの普及による効果

電するからでして、それから計算しますと、1次エネルギー換算で1万2,700Mcal/年の節約、省エネルギー率ですと約31%になります。また、わが国全体での1次エネルギー消費量の節減は5.7兆kcal/年、原油にして62万klということです。

CO₂排出量は、従来型システムのときCO₂排出量の原単位に火力平均をとりますと、標準世帯1件当たり年間カーボン単位で1,200kgですが、コージェネの場合には687kgに減り、45%削減されることになります。また、わが国全体でのCO₂排出量の削減は、55万t-C/年ということです。

のと同じ図12のもの、また、シミュレーションの前提も同じ表3のものです。

○分散電源の熱電変換効率が系統電力よりも高い場合 ($\alpha > \beta$ の場合)

この場合は図13で、議論するまでもなく、分散電源が明らかに有利で、完全支配になります。

この後は、分散電源の熱電変換効率が系統電力より低い場合、すなわち $\alpha < \beta$ の場合について検討を進めます。

表3 効率最大を目途とした分散電源運用

分散電源運用のシミュレーション

栗原 史郎 (一橋大学 教授)

ここで、分散電源運用について定量的な数字が出ているシミュレーションを紹介します。モデルは、茅先生が基調講演で話された

❖前提

- ・需要は電力需要(E)、ヒートポンプ利用可能熱需要(Hhp)、ヒートポンプ利用が不可能な熱需要(Hn)の3種類とする。
- ・系統電力との完全連系が行われ、必要に応じて系統との電力の売買が可能とする。
- ・熱需要は必要に応じて直接燃料燃焼で充足できるものとする。

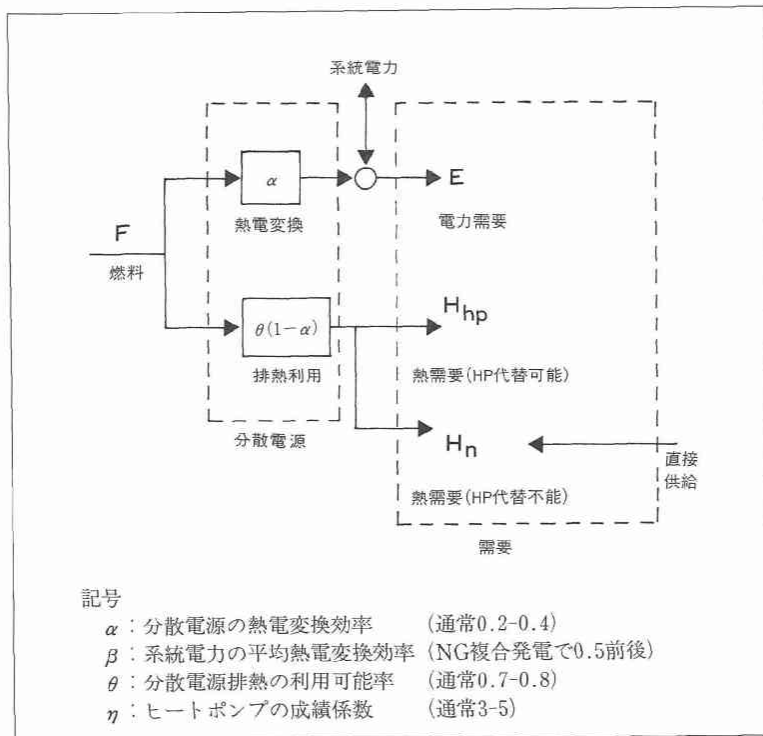


図12 分散電源と系統電力の協調システム

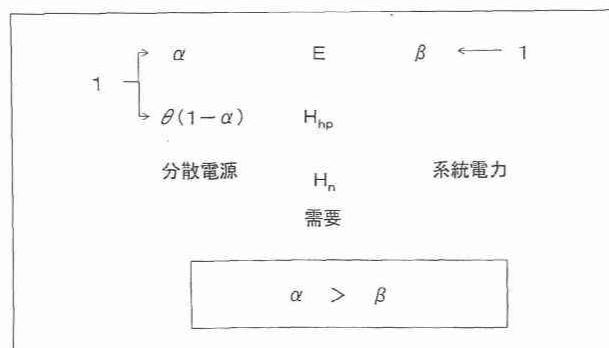


図13 分散電源の完全支配

○熱主電従型での分散電源運転

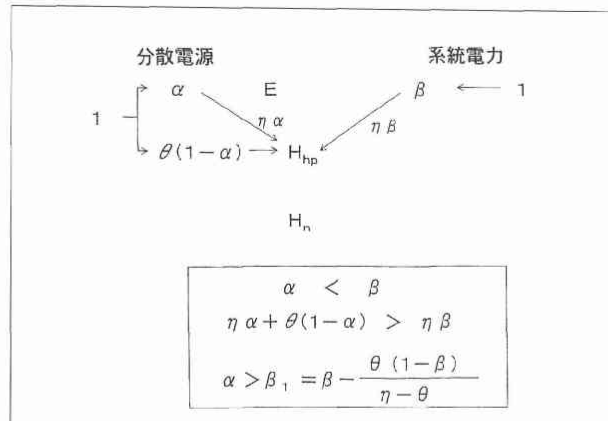
図14のように、ヒートポンプの利用可能な熱需要 H_{hp} がある場合に、1次エネルギーに同じ単位量の燃料を使用した分散電源、系統電力よりつくられる熱量は、それぞれ $\eta\alpha + \theta(1-\alpha)$ 、 $\eta\beta$ となり、前者が後者より大きいと

き、熱主電従型の分散電源の運転になります。

両者をイコールとおけば、分散電源排熱を完全利用するときの限界効率 α の値

$$\alpha = \beta - (1-\beta)\theta / (\eta - \theta)$$

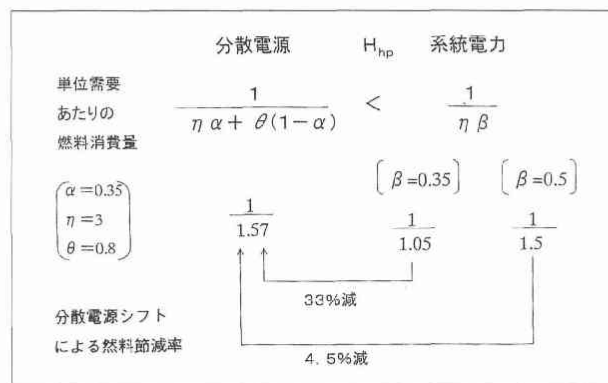
が出てきます。これが茅先生の話にありました β_1 です。



○分散電源シフトによる燃料の節減率

分散電源からつくられる熱量が、等量の燃料を使用した系統電力によりつくられる熱量より大きいのであれば、分散電源を使用することによりその分だけ省エネ、燃料節減になります。その計算を示したのが図15です。図にある単位需要当たりの燃料消費量は、系統電力の効率が0.35ですと、分散電源へのシフトによって33%の省エネ、燃料節減になります。系統電力の効率を最新のLNG複合発電の0.5にしますと、燃料節減は4.5%に下ります。

図16が、茅モデルの場合の1次エネルギーの節減量です。細かい計算は省略しますが、系統電力の効率が0.35, 0.5のときですと、それぞれのケースでインプットした燃料の49%, 4.6%を逆潮流できる計算になります。



一次エネルギー消費量の節約(系統電力から分散電源へ転換)

$$\frac{1}{\beta} \left[\alpha - \beta + \frac{\theta (1 - \alpha)}{\eta} \right] = 4.9\% \quad (\beta = 0.35)$$

$$= 4.6\% \quad (\beta = 0.5)$$

図16 逆潮流ありの場合の省エネルギー性

○逆潮流ありの場合の環境性

図17は、茅モデルの場合にCO₂排出量削減がどうなるかの検討です。CeとCgは、電気とガスのkWh当たりのCO₂排出量原単位で、Cgは642g-C/m³です。図中の式により計算しますと、系統電力の排出原単位が106g-C/kWhのとき、排出CO₂の削減量がゼロになります。

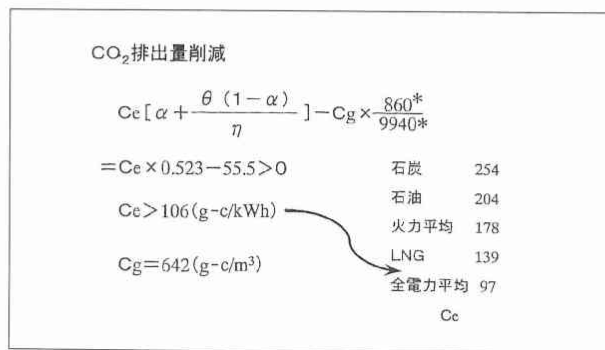
ところが現在、Ceは原子力も含めた全電力平均では97。LNGが139、石油が204、石炭が254で、火力平均では178になります。ですから、Ceを178で評価しますとCO₂の排出削減になりますが、全電力平均の97でとりますと、環境性能はよくなりず、クリーンではないことになります。

ですから、CO₂原単位問題は極めてクリ

ティカルな問題です。電力、ガスの両業界でいろいろ論争があると聞いていますが、結局、系統電力が分散電源から電力を受け入れたときのリアクションがポイントでして、短期的には火力の燃料を減らすでしょう。長期的には設備の問題があり、原子力と火力の設備割合も変動するかもしれません。つまり、系統側がどういうリアクションをするのかというモデルを第三者的機関が作成して客観的な評価を下してやらない限り、これは決着つかない、非常に重要な問題だと思います。

○逆潮流ありの場合の燃料費節約額

図18は、茅モデルによる経済性の計算で、bを需要端での電気料金でkWh当たり25円、



* : ガスの発熱量 = 9,940kcal/m³
1 kWh = 860kcalの換算値に由来する数字。

図17 逆潮流ありの場合の環境性

$$b\beta - g \times \frac{860}{9940} + e \left[\alpha - \beta + \frac{\theta(1-\alpha)}{\eta} \right]$$

$$= 25 \times 0.35 - 0.0865g + 0.173e > 0$$

$$g < 2e + 101$$

$$e = \begin{cases} 5 \\ 17 \end{cases} \quad g < \begin{cases} 111 \\ 135 \end{cases}$$

b: 買電価格 (円/kWh) = 25
 g: ガス料金 (円/m³)
 e: 売電価格 (円/kWh)

図18 逆潮流ありの場合の燃料費節約額

g を需要端でのガス料金、e をコージェネによる余剰電力の売電価格とします。燃料費が節約できることがコストを回収できる必要条件ですから、図にある関係式が成立しなければなりません。コージェネからの現行の売電価格は5円/kWhですので、それでペイするガス価格は111円/m³以下になります。家庭向けのガス料金は現在135円/m³ぐらいですので、コストの回収は満たされません。つまり、

現行のガス料金と逆潮流の売電価格ですと経済性は出ません。今のガス料金でも、余剰電力を17円/kWhで買ってくればペイするという話です。

○ランニング・コストの比較

図19は、年間ランニングコストの計算結果です。左側が従来型システム、右側がガスコージェネをやった場合のコストです。また、コージェネ

	従来型	PEFC 1kW
ガス消費量	638m³	1501m³
買電消費量	4653kWh	1121kWh
		逆潮流 2673kWh
		メンテ 12千円/6206kWh = 1.93千円/kWh (コージェネ発電量)
ガス費/年	135千円/m³ × 638 = 86.1千円	1.501千円
電気費/年	25千円/kWh × 4653 = 116.3千円	25千円/kWh × 1121 = 28.0千円
計	202.4千円	-2.673千円

注) ガス、電気の消費量、数値は、図11にあるもの。
また、メンテの分母の数字6,206 = 4,653 + 1,552

図19 ランニング・コストの比較

ジェネは売電しますので、電力のコストはマイナスになります。

○環境性

CO₂排出量が削減される条件は、図20の式から、電力のCO₂排出量原単位Ceが89.3g-C/kWhより大きい場合になります。これは大変に厳しい値でして、火力平均のCeをとれば満たしますが、全電力平均は97g-C/kWhですから、満たしてはいてもほとんどメリットがありません。極めてクリティカルなことが、シミュレーション結果でも茅モデルでもいえます。したがって、環境性については、CO₂排出量原単位の問題を第三者機関でセットしないと、CO₂が本当に削減するのかどうか分からない状況にあります。

○経済性

図21は経済性の問題です。本体価格は、先ほどの本間先生からも、商業化時の目標価格は1,500ドル/kWとお話がありました。それに給湯器などの付帯機器の出費33万円を加えたものが、コージェネのイニシャルコストになります。これをランニングコストの差額でもって10年かけて回収するケースを計算しましたのが図中の式で、グラフにしますと、購入するガス料金と逆潮流の売電価格の関係は、右のグラフ中にある直線より下にならないと回収できません。ところが、両者の関係は、現在、黒丸の位置にあります。経済性を出すには、黒丸がこの直線の下に入ることが条件で、現行では経済性も出ないというのが私の結論です。

CO₂排出量削減

$$C_g \times 683 + C_e \times 4653 - (C_g \times 1501 - 1552 \times C_e) > 0$$

$$C_e > 89.3 \quad [g-C/kWh] \quad (C_g = 642)$$

図20 環 境 性

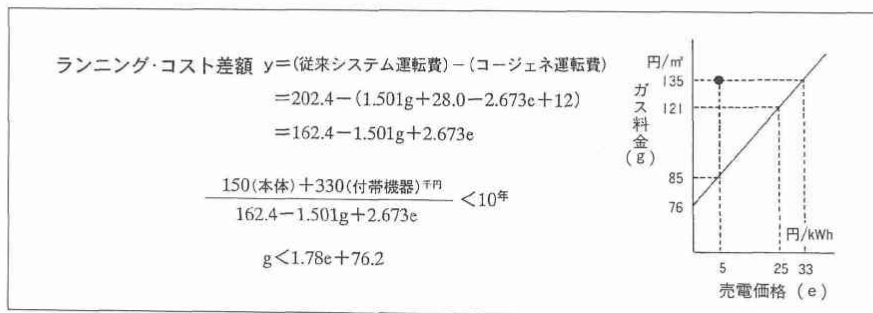


図21 経 済 性

○ヒートポンプで対応できない、熱需要主導での分散電源運転

図22の説明は省略しますが、分散電源導入の最低限界となる効率 β_2 の導出過程を示しています。

○分散電源シフトによる燃料削減率

図23は、燃料の削減率の芽モデルでして、系統電源の効率を35%としたとき燃料削減率は60%、新型複合発電の登場により系統の効率が50%になっても、まだ25%のメリットがあります。

○分散電源普及の条件

図24は私の結論です。

省エネ性は合格です。

環境性が△なのは、CO₂排出量原単位の計算で、火力平均と比べれば○ですが、全電力平均ですと僅かながら×になり、メリットなしとなります。

経済性に関しては、ガス料金が逆潮流の売電価格に対して相対価格で下がれば○になります。つまり、余剰電力を系統電力が高く買って、ガス会社が安い料金のガスを供給してくれるれば、当然○ですが、このような条件を規制

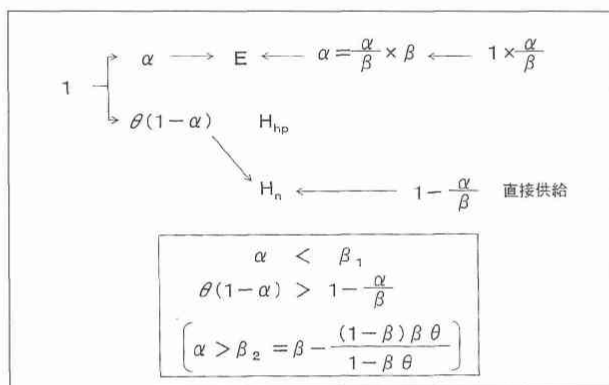


図22 ヒートポンプで対応できない熱需要主導での分散電源運転

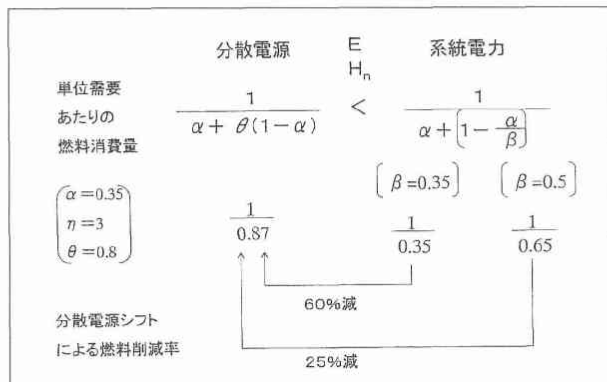


図23 分散電源シフトによる燃料削減率

省エネ性	○	
環境性	△	$\left[\begin{array}{l} \text{火力平均ならば } \bigcirc \\ \text{全電力平均ならば } \times \end{array} \right]$
経済性	△	$\left[\frac{\text{ガス料金}}{\text{売電料金}} \text{ を下げれば } \bigcirc \right]$

図24 分散電源普及の条件

緩和の中で実現できるかの問題があります。

それには、先ほど矢島さんが話されたように、ピーク時の電力料金を上げるという料金制が導入されますと、売電価格は上がる可能性があります。また、ガス料金に関しては、ガス販売量が約2.5倍から3倍に増えます。矢島さんの話によりますと、日本のガス料金は発電用とエンドユーザー用との比が1対2.5であるのに、アメリカでは1対1.2ということです。つまり、日本では非常に高い民生用ガス料金が、販売量の大巾な増加により、業務用と同レベルまで値下げされれば、図21の相対価格のグラフでラインの下にいきます。これらより、可能性はあるということで、経済性は△としました。

以上が私のシミュレーションの結果です。同様のことが茅モデルでも実証できます。問題提起ということで述べさせていただきました。

シミュレーションに対する パネリストからの意見

司会 パネリストの方から、今後の課題に向けて必要な研究、提言などがありましたらお

願います。

人気先行ぎみの分散型電源

実現に望まれる一段の技術的飛躍

白土 実は、茅モデルによるシミュレーションを初めて伺いました。分散電源からの余剰電力をもう少し高く買えというお話ですが、現在の買上げ価格がほぼ限界と申しますが、私どもの最新型発電所の発電コストとおよそ同レベルになります。また、原子力発電の場合には、巨額の設備を一旦設置しますと運転時の燃料費は極めて安いので、逆潮流の売電価格を今のガス料金で分散電源がペイする33円まで上げるのは、なかなか現実的ではないという感じがしました。

いずれにしても、分散電源の取り入れに、何らかの省エネ、あるいはお客様に経済的メリットが出る方策を考えるのは、申すまでもなくシステム、仕組みとして必要だと思います。

しかし、もう一つ重要なこととして、このようなマシンが出現すれば先ほどのシミュレーションが成り立つとか、それがハードウェアとして実際に成り立つのかとか、さらに、第2世代のマイクロガスタービンが可能なのか、いつごろ出てくるのか、という議論

もあろうかと思います。その辺りがはっきりしてきて、初めて分散電源は実現するという感じがします。

ですから、今お話を伺いまして、今後の課題として、ブレークスルーには技術的にもう一段飛躍した分散型電源が必要ではないかと、そんな感じがいたしました。

司会 技術開発面で、もう少し飛躍が要ということですね。それができたという想定で、私もシミュレーションをやったわけです。そこまでいけなければ、夢は当然開かれないと思います。

危険を伴う少数例からの全体評価

行き過ぎの印象ある急激な小型化

伊東 実は、今のシミュレーションに少々疑問を持っています。

といいますのは、ホームコージェネを例にしましたが、需要規模が小さくなりますと、平均値で簡単に結論を出すのは危険性があるからです。茅先生もラフな評価の視点として、先ほどの方法を述べられたと思いますけれども、現実に1つの家庭のエネルギー需要は極めて激しく変動するのが明白でして、現実にホームコージェネの変動ある需要量を十分検討して計算しないと、非常に危険性があると思います。

もう1つは、ホームコージェネの場合、家族の構成が年とともに変わります。皆さんの家庭の場合でも、エネルギー消費量は10年、15年で変わっているはずで、このあたりに十分な検討が必要だと思います。

それから、例えばA家のエネルギー需要量に対して、固体高分子形燃料電池を導入して好結果が得られたとしても、顔が一人一人違

いますように、需要規模が小さくなればなるほど需要量に個性が出てきて、A家に取入れた方法がそのままB家で適用できるものではないことを、我々はホームコージェネ、またはミニまたはマイクロコージェネにおいて十分認識していくことが重要だと思います。すなわち、例えば、ホームコージェネほどの小規模でなくても、マイクロガスタービンの採用が1つの店のコンビニでうまくいっても、コンビニ業界全体でうまくいくとは限らないと、私個人は直感的に思っています。

最後に個人的印象を申しますと、小型分散化というのであれば、極論としてホームコージェネのような小規模のものを成立させたいのはよく分りますが、少々急ぎ過ぎの気もします。数100kW程度の規模ですと負荷が平準化されますので、このクラスから徐々に導入し、コストの低減を経て小規模な分野へ進める方が、自然に思われます。最近よく、コンピューターの世界におけるパソコンと連想されますが、少し急激に小型化に行き過ぎの印象をもっています。

導入を呼ぶ電気・ガスの価格差

革新技術の普及に市場環境からの誘因を

司会 車も、家庭コージェネも分散型ですけど、大きな違いがあります。今、一般家庭で電気とガスに年間それぞれ約10万円払っており、10年間では200万円ほど払います。一方、コージェネ設備の価格は、おおよそのところ本体が15万円、附帯設備が33万円で約50万円となり、燃料費の方が圧倒的に多額です。ところが、車の場合は、平均して年間4,000kmを走り、ガソリン代は5万円ぐらい、ですから10年間でもおよそ50万円と思います。逆に車の

購入代が200万円ぐらい、この違いですね。

つまり、家庭用コージェネでは、燃料費が支配的なのです。技術革新がうまくいったとき、技術そのものはアメリカと日本で同じですが、違うのは、市場の経済環境です。I E A（国際エネルギー機関）の統計ですと、アメリカでは、業務用電気料金が4.5セント、ガス料金がkWhに直して1.1セントで、3.4セントの開きがあるのです。

アメリカのE P R I（電力研究所）が、去年、エレクトリシティ・テクノロジー・ロード・マップというのを21世紀の展望としてまとめました。この中で、ガスと電気のkWh当たりのコスト差が5セント以上のところは家庭用に分散電源が入れる可能性があり、それから計算しますと、2,500万戸の家庭がマーケットの対象になります。これから、今後10年間に、少なくとも2,000万kWの分散電源が入るだろうと、かなり大胆な見込みをしています。業務用でkWh当たり3.4セントの差ですので、家庭用で5セント以上の差があるということは、先ほど申しました図22で電気料金に対するガス料金の比が下がっていて、電気が相対的に高いという状況です。そこではコージェネ導入の可能性があるということで、市場環境の相違は決定的だと思います。

イノベーションが完璧になることは重要な条件ですが、そのイノベーションの普及にインセンティブとなる経済環境の形成を主張しなかったのです。

経済競争力を高めうる灯油の使用

普及の早道か、中規模需要からの開発

司会 石油業界、ガス業界の方から、今までの議論を踏まえてのお考えをお願いします。

松村 先ほどのシミュレーション結果では、分散型電源の環境性は、CO₂排出量原単位を火力発電だけの平均で比べますと優りますが、全電力の平均との比較では若干劣るとの話でした。私どもの考えは、分散型電源の導入により日本のCO₂総排出量を増やさない、つまり、現在のガス、石油の総需要を抑えるというのが原点です。なぜ分散型かといいますと、今、火力発電所が放散しているガスと石油の熱を、末端ユーザーの分散電源により回収するという観点ですから、原子力などを含めた全電力の平均値で議論しても、根本的に意味がないと思います。

もう1点は、私が先ほどプレゼンテーションで使用しました表1（P.58に掲載）の民生用エネルギーの消費量で、家庭部門では石油が1,280万kl、石油換算して都市ガスが910万kl、L P Gが730万klとなっています。先ほどのシミュレーションで、ガス価格が高いから、家庭用コージェネの普及は難しい可能性があるとお話でしたが、実際にはガス配管がないところでのL P G、石油の消費量は、ガスよりはるかに上回っています。また、今のマイクロガスタービンは灯油が十分使えますので、前に述べました表5（P.62に掲載）の価格で試算しますと、灯油の使用により燃料費面からの競争力がかなり向上するかと考えます。しかも、現在の全国需要では、都市ガス配管のないところの使用量の方が大きいのですから、そのような地域へ広めれば、全体の省エネルギーに役立つ可能性があると思います。

3つ目は、先ほど伊東先生が話されましたが、小規模のところは負荷変動が大きく、かつ1戸当たりのエネルギー消費金額が小さ

い。こういうところでは、運転が面倒なものよりも、大規模電源からの供給の方がはるかに使い勝手がいい。エネルギーにガス、石油、電力とありますが、さほど使用量が多くないところは、中流家庭でも電気暖房を使ったりしています。やはり少しずつ省エネを広めていこうと思います、ミニではなくて、中規模の100kWクラスのマイクロガスタービンところで、負荷変動も安定している業務用から少しずつ始めれば、おそらく経済的にも成り立つと思います。熱利用の方も、負荷変動がかなり安定していますから使いやすく、まずその辺から普及する方が早い可能性があるかと考えます。

司会 末端価格で1,000kcal当たり5円という安い灯油を使えば、経済性はクリアできるだろうというお話です。多分いけると思います。

自動車用が牽引する燃料電池の価格低下

値下げもありうるコージェネ用ガス料金

山口 先ほど、系統連系のガイドラインを満たすには設備面で数百万円かかり、主任技術者の選任を要するなどの課題があると申し上げましたが、将来的にはこれらの問題はクリアできると期待しております。また、設備価格も台数に応じて安くなると希望的観測を下しております。

例えば、燃料電池に関しては2004年ごろには燃料電池自動車が発売されます。あるメーカーによりますと、数万台から数10万台の規模で立ち上がってくるとの予測もあります。自動車には、50kWクラスの燃料電池を積むとのこと。200万円程度のガソリン・エンジン車と競争するには、やはり燃料電池の価格は、先ほどkW当たり1,500ドルという話があり

ましたが、かなりコストダウンが進まない自動車としての商品性は出てまいりません。また一方に、車には種々の環境規制があって燃料電池自動車の開発に出ざるを得ない背景から考えますと、燃料電池ハードの核心部分のコストダウンが相当進むと期待できます。家庭用燃料電池コージェネの開発にたずさわっている私どもとしましては、燃料電池本体だけではなく、給湯設備などの付帯設備もあわせて大きなコストダウン努力が求められていると、改めて痛感しています。

先ほど、家庭用コージェネの稼働時間は昼間だけで、あとの時間にはお湯は貯えたのを使い、電気は買電するというコンセプトの説明がありました。都市ガス需要のピーク時間帯は夜の7時から8時ぐらいつまみに出現いたします。つまり、その他の時間帯の設備稼働率には余裕があります。家庭用コージェネ装置の使い方いかんによっては、ガス供給設備の設備稼働率が向上できます。すなわち、その効果に応じた分、ガス料金は下げて設定できるかと考えております。

このほかにもまだいろいろ課題はありますが、フレキシブルに対応していきたいと考えております。

ま と め

経済ゼロ成長時に入る2025年

重要度を増すコージェネの省エネ性・利便性

司会 この辺で締めに入りたいと思います。

最近、私がいたく感心した研究の1つに、今年（2000年）の5月、日本の電力中央研究

所がまとめたレポート「2025年までの経済社会・エネルギーの長期展望」があります。

この中でのポイントを紹介しますと、まず、日本の人口ピークは2007年で1億2,700万人ぐらい、1億3,000万人にはいきません。エネルギー需要のピークが2020年。戦後一貫して右肩上がりに増加してきたエネルギー需要が転換点を迎えます。電力需要は、電力化率の上昇があり、ピークが5年遅れて2025年。

これはどういうことかといいますと、2020年以降は経済成長はゼロになるという予想です。完全なゼロではありませんが、0.5とか0.3の予測です。そうしますと、結局、国債残高も今の倍ぐらいになりますし、一方、家計の金融資産も今は1,200兆円ありますが、倍の2,400兆円ぐらいになります。GNP(国民総生産)も現在の500兆円から750兆円になりますが、マクロ経済がほぼゼロ成長になってしまふということは、マクロ経済の体力が落ちるということです。

その時に何が重要かといいますと、1つは生産効率の徹底した向上だと思います。つまり、エネルギーに関しては省エネルギー性が重要さを増し、その観点からコージェネレーションは価格体系によらず重要となります。これがきょうの私の結論でして、皆さんも異論ないと思います。

もう1つ重要なことは、商品、サービスのクオリティが極めて大切になります。つまり、量的拡大はもうできませんし、その必要もないわけです。重要なのはクオリティで、これからの時代に求められるクオリティを一言でいいますと、利便性になります。技術革新により、分散型電源が従来システムに優る、利便性のあるエネルギーということを、どの程

度実現できるかが非常に重要と、私は思っています。

まとめ——解決すべき課題

司会 きょうは、いろいろな問題が提起されました。私が考えていたまとめの回答にほぼ合致していますので、申し上げます。

○社会的有用性

結局、省エネ性、環境性は十分で、潜在的需要はあるのですが、電気とガスの価格をどのように相対的に調整するかが、やはり実現への一つの鍵だと思います。

○技術開発上の課題

白土さんから、技術開発できてないのにそのような想定をしていいのかというお話がありました。これは、十分に整理していく必要があります。やはり発電効率と排熱の回収効率ですが、熱の利用には理論と実際には大きな乖離があるようです。現実には、廃棄する熱が出てきてしまいます。そこをどのようにして汲み上げていくのか、本当に総合効率80%いけるのかです。エンジニアの人に頑張ってもらいたいと思います。

○電力負荷の平準化、系統連系

負荷平準化は、分散電源の普及が進み導入数が多くなれば、外部効果として寄与が出るということです。系統連系については、ルールづくりは必要ですし、ミニマムコストの対応が求められます。

○制度面の環境設備

もし導入が必要という結論を出すのであれば

ば、初期の普及策が非常に大事です。やはり制度的な環境整備、これには主任技術者の選任、系統連系ガイドラインの改正、余剰電力購入メニューの見直しなどがあります。今、太陽光発電による電力の買取り義務とか、矢島さんから自由化の観点で、アメリカのPURPA（公益事業規制政策法）も今見直しに入っているという話がありましたが、こういう制度面の環境整備はやはり欠かせないと考えます。

イノベーションは自分自身を売り込めない

Innovations Do not Sell Themselves

最後に今日の議論を結めると、イノベーションは社会にどのようにして普及していくのかの問題です。イノベーション普及学を提唱された、故ロジャース氏（ミシガン州立大学、スタンフォード大学第の教授を歴任）は、著書の中で、“Innovations Do not Sell Themselves”，「イノベーションは自分自身を売り込めない」と述べています。私なりの解釈を申しますと、イノベーションが社会に受け入れられ自立するには支援が必要であり、自由放任では優れたイノベーションといえども滲透しないということです。つまり、本日申しましたように、市場の経済環境や制度整備がなければ、技術的に優れていても、自立しないということです。太陽光発電にしても自立までには数多くの問題を抱えており、今日のテーマになった分散型電源の固体高分子形燃料電池、マイクロガスタービンも、やはり同様ではないでしょうか。

放置すれば、イノベーションは定着しません。知恵を集めて定着する時代をつくり上げたいものです。大義名分は、省エネルギー性

にあります。分散型電源にすれば、一次エネルギーが、キロカロリーでもキロワット時でもいいのですけれども、とにかく排熱利用で節減できるというのが、絶対的な要件です。同時に、それが経済的にも環境的にも満足されるかは、制度次第ということです。

補完から ダブルキャスト DC へ

逆潮流から セルフ 個ジェネレーションの時代へ

これからは、私のまったく勝手な感想です。小型分散電源が大規模系統電源の補完というのでは、私はどうも力が出せません。それで、「ダブルキャスト」だということです。DCというのはDecentralization、分散化とかけているのです。ダブルキャストというのは、演劇に興味をお持ちの方はすぐお分かりと思いますが、例えば、帝国劇場でこの夏やっていましたミュージカルのエリザベートですと、1人の主役をきょうは山口祐一郎さん、あすは内野聖陽さんと、役者の個性を生かして交代して演じるものです。

ところで、分散型時代は本当にくるのかという問いに対して、「逆潮流から主流へ」と答えられたら、私は一番嬉しかったと思います。ですけど、きょうの結論として、主流にはまだなれず、主流とはいえません。でも逆潮流ではないのじゃないか、つまり、「逆潮流から個ジェネレーションの時代へ」というのが私の結論です。

「個ジェネレーション」というのは「セルフ・ジェネレーション」の日本語訳です。コージェネレーションともかけていますけれども、やはり個ジェネレーション、セルフジェネレーションというのがあって、それで個人がエネルギーを選択して、社会的にもそれが

有用性があるのであれば、制度的な支援を行って、それでネットワーキングしていくということです。

分散電源から発生する余剰電力の売買価格は、最終的には、市場で決められるべきものと思います。買取り価格を定めるのは自由市場の精神に反しますから。ですけど、当面そういう決まりがなくて、ゼロから出発するときには多少高い値段であってもいいかもしれません。ただし、その費用は、電力会社の株主だけが負担するのではなくて、消費者も負担すべきであるし、あるいは税金という形で一般的な負担もあり得るとというのが私の気持です。

ですから、司会者の結論として、
「ダブルキャストの時代だ。逆潮流ではない。
でも主流にもまだなれていない。個 セルフ ジェ
ネレーションの時代なのだ」
というのが私のまとめです。

おわりに

きょうは時間がタイトでした。私のシミュレーションも、時間をかけた説明と、十分な議論をすることができませんでした。後日、エネルギー総合工学研究所が機関誌「季報エネルギー総合工学」に本シンポジウムの特集号を発行するそうですから、説明不足のところは分かりやすくしておきたいと思っています。

今、エネルギー問題が揺れています。きょうは藤富審議官もあと1年ほどかけて国の政策の結論を出すと申されました。また、NPO（非営利民間組織）の人にも頑張っている方がみえます。やはり国民全体で、自分たちのエネルギーをどうするんだ、環境のためには何がいいんだ、経済性の問題はどうかと自問することが必要です。そして、社会的合意の形成には、はっきりした基準を提供しなければいけません。エネルギー総合工学研究所が今後この分野に積極的に進出していただきたいというのが、私の最後の感想です。

（拍手）



総括と閉会挨拶

稲葉 裕 俊 (財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

閉会に当たり一言ご挨拶申し上げます。

皆様、本日は朝から長時間にわたり、ご熱心に私どもの第17回エネルギー総合工学シンポジウムをご聴取いただきまして、誠にありがとうございました。

本日のシンポジウムは、近年関心の高い小型分散電源をテーマとして開催させていただきました。指導的な立場にあられる著名な講師、パネリストの方々のご出演にも恵まれ、お陰様で参加のお申し込みがおよそ1,000名にも達し、この会場の定員を大幅に上回りました。出席率も勘案しつつ、できるだけ多くの方々の参加をお受けすることとし、結果的に約700名の方々にお越しいただき、大変な盛況でありました。少なからぬ方々に別室、あるいはロビーでテレビによる聴取をしていただくことになり、何かとご迷惑をおかけしましたことをお詫び申し上げます。このような状況にありながら、概ねプログラムのスケジュールどおりに進行できましたことも皆様方のお陰と、あわせて心から感謝申し上げます。

本日のプログラムにおきましては、午前中の茅陽一東京大学名誉教授のご講演から、ただいまのパネルディスカッションにわたりまして、シンポジウムのテーマであります「小型分散電源の時代は来るか」を、私どもエネルギー総合工学研究所の名のとおり講師、パネリストの方々に、総合的に追究していただきました。分散型電源がエネルギー供給システム中で占める位置づけ、電力自由化との関連、燃料電池やマイクロガスタービンの技術動向に関するご講演に加えまして、ただいまの関係業界代表の方々のお考えの表明も含めましたパネルディスカッションを通じまして、会場の皆様方には、小型分散電源に関する技術的、経済的、制度的観点など、多角的、多面的なお話を幅広くお聞きいただけたものと思います。大変ご多忙中にもかかわらず、本日のシンポジウムにご登壇いただき、誠に興味深く有意義なお話をいただきましたご来賓、講師、及びパネリストの方々に、改めて厚く御礼を申し上げます。

小型分散電源の時代の到来につきましては、大きな期待とともに、数々の課題もあるといったところかと存じます。分散型電源の活路は、当面は特定の用途、あるいは大型電源との相互補完関係にあらうかと思われませんが、今後の技術開発などにより経済性の向上などの諸課題が解決されますと、ニッチマーケットにとどまらず、エネルギー供給、あるいはエネルギー産業のあり方にも大きな変化をもたらす可能性も秘めているということではないでしょうか。

その際、小規模であります、電力や熱エネルギーに対する、数多い需要家の選択が極めて重要であるかと存じます。いずれにいたしましても、これから将来の時間軸の上で、予想されます展開を的確に見通していく必要があるということかと存じます。

皆様方におかれましては、本日のシンポジウムを今後の事業活動、あるいは研究活動にお役立ていただければ、主催者として大変幸いに存ずる次第でございます。あわせて、私どもエネルギー総合工学研究所の事業に今後ともご支援、ご協力を賜われますようお願い申し上げます、簡単ではございますが、閉会のご挨拶とさせていただきます。

本日は誠にありがとうございました。

研究所のうごき

(平成12年7月2日～9月30日)

◇ 第10回評議員会

日 時：7月19日(水) 12:00～13:15

場 所：経団連会館(9階) 901号室

議 題：

第一号議案 理事の一部改選について

第二号議案 評議員の一部交替について

第三号議案 平成11年度事業報告書および
決算報告書について

第四号議案 その他

◇ 月例研究会

第182回月例研究会

日 時：8月25日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 「高効率廃棄物発電技術開発／最適トータルシステムの研究」の研究成果
(プロジェクト試験研究部 研究員
大森伸二)
2. 廃棄物ガス化溶解およびガス変換発電技術開発について
(エネルギー技術情報センター長兼副主席研究員 小川紀一郎／プロジェクト試験研究部 専門役 浅見直人)

第183回月例研究会

日 時：9月29日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 平成13年度エネルギー関係予算等の概要
(資源エネルギー庁 長官官房総務課 計画需給係長 辻本崇紀氏)
2. 環境政策に関する最近の動向
(環境立地局 環境政策課 総括班長
福島 洋氏)

◇ 主なできごと

7月3日(月)・第1回WE-NET革新的・先導

的技術に関する委員会

11日(火)・第1回WE-NET安全委員会

12日(水)・第3回WE-NET研究調整会議

19日(水)・第1回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会

25日(火)・第1回エネルギー経済環境予測検討委員会

8月4日(金)・第2回高温ガス前処理技術調査委員会

・第1回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会

30日(水)・第1回電力技術懇談会

9月1日(金)・第2回高温ガス炉プラント研究会

5日(火)・第4回原子力発電技術開発の方向性に関する調査検討委員会

6日(水)・第4回WE-NET研究調整会議

20日(水)・第2回エネルギー経済環境予測検討委員会

22日(金)・第1回アルコール系燃料に関する調査委員会

26日(火)・第2回サハリンパイプラインP SDC検討評価委員会

29日(金)・第1回蓄電池併設風力発電導入可能性調査実行委員会

◇ 人事異動

○8月31日付

(依願退職)

清水加奈子(業務部兼総務部 研究員)

○9月25日付

(出向解除)

山中 康慎(プロジェクト試験研究部 主任研究員)

○9月26日付

(出向採用)

羽鳥 喜紀 プロジェクト試験研究部 主任研究員

編集後記

今回のシンポジウムは、主題および講演者、パネラーの方々の顔ぶれからかなり盛況になるとある程度は予想はしていましたが、案内状発送後まもなく会場の定員（596人）をはるかに超える多くの方々（約1,000名）の申込があり、事務局は嬉しい悲鳴をあげることとなりました。これだけの人数は、当所としてもまた東商ホールとしても過去に経験のない数でありましたが、本テーマに対する皆様の関心の高さと期待に応えるためにも、大型テレビを配した別室会議室などの追加手配をして皆様のご来場に備えました。当日の実際の出席者は、最終的には697名で準備した場所がほぼ埋め尽くされ、シンポジウムは開会前から熱気に包まれた感でスタートでき、関係者は安堵とともに大いに喜んだ次第であります。

本稿の作成に際しては、極力その雰囲気をお伝えしたいため、講演者、パネラーの説明をできるだけ忠実に再現するように配慮しましたが、用語に関しては一部統一的なものを使用しました。中でも、従来多く使用されてきた固体高分子型燃料電池の“型”は、最近のJIS制定により“形”を用いました。一方、小型分散型電源、分散型

電源、分散電源などのように類似の用語もありましたが、講演者の意図もあらうと判断しそのまま掲載したものもあります。

さて、小型分散電源普及の鍵は、個々のユーザがその技術を採用して従来方法に比べどれだけメリットがあると判断できる材料(情報)が揃っているかということでしょうが、現在のままでは未だその材料は十分揃っているとはいえないと思われます。しかし、海外とは異なるわが国特有の条件下でどういう位置付けになるのか、又は将来普及するとしたらどのような条件が必要か等の基本的な問題に対して、今回のシンポジウムは本テーマの専門家あるいはオピニオンリーダーの方々から、最新かつ本質を突いた解説、見解がふんだんに披露された点で出席者のご満足を頂けたものと拝察いたします。

本稿は、その忠実な記録としての意味をもつものでありますが、特に当日出席できなかった多くの読者におかれては、本テーマの位置付けを考え、理解を深める機会にしていいただければと願ってやまない次第であります。

編集責任者 小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第23巻第3号

平成12年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

FAX (03) 3501-1735

<http://www.iae.or.jp/>

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社