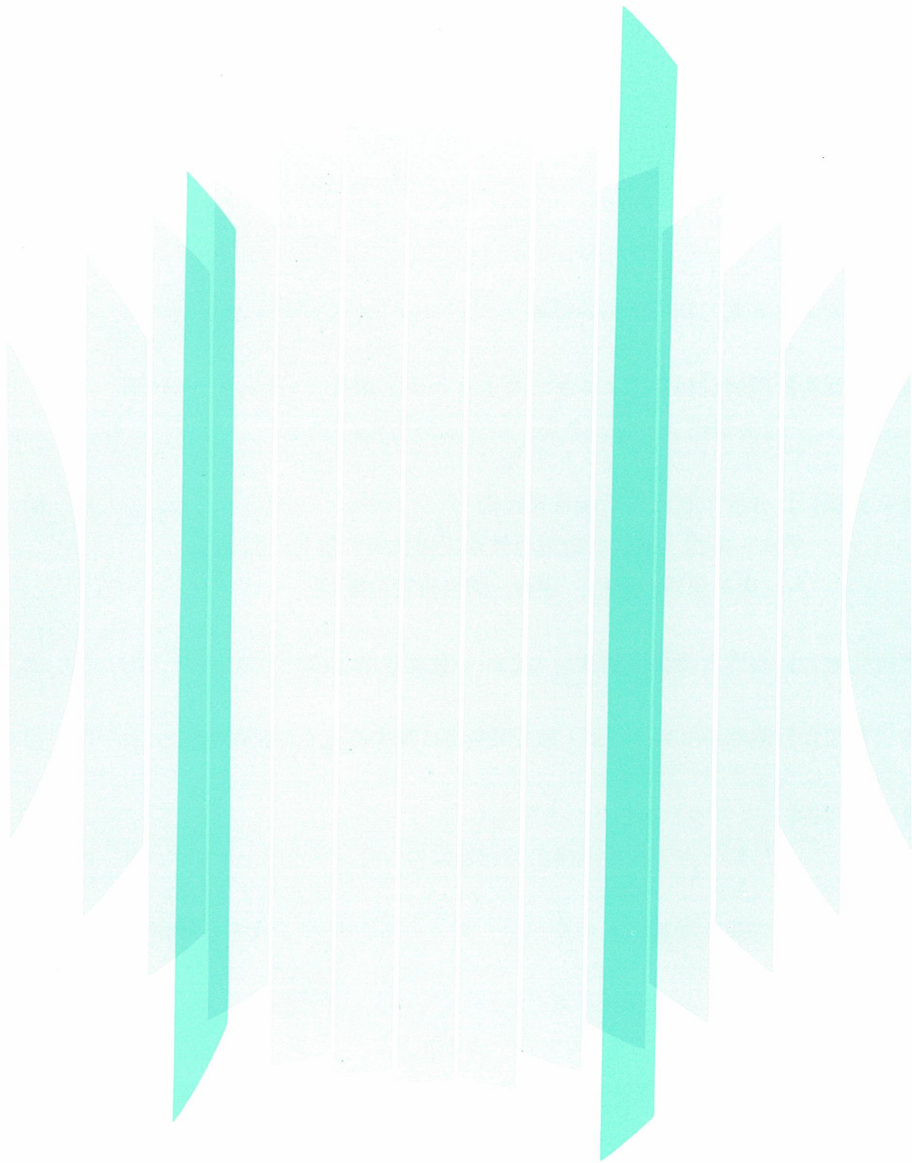


季報 エネルギー総合工学

Vol. 17 No. 2 1994. 7.



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

目 次

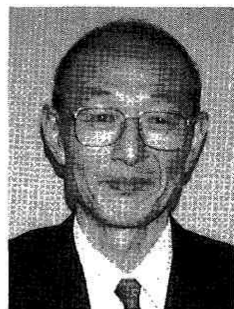
【新任挨拶】 研究所の着実、堅実な成長のために	常務理事 相 馬 昭 典	1
【退任挨拶】 退任のご挨拶	研究顧問 柴 田 誠 一	2
【座談会】 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET)	堤 敦 司	3
プロジェクトの成立経緯と今後の進め方について	赤 井 誠 岡 野 一 清 吉 澤 均 福 田 健 三 外 川 守 人 高 倉 毅	
【寄稿】 平成6年度電力施設計画の概要	山 本 哲 也	22
【調査研究報告】 環境調和型エネルギーコミュニティ調査	佃 豊	30
(大規模コージェネレーションシステム)		
【調査研究報告】 分散型電源の系統連系技術	土 持 綱 久	51
—— 平成5年度「分散型新電源技術実用化実証研究に関する 系統連系課題の解析・評価」調査研究の概要 ——		
【調査研究報告】 高度負荷集中制御システム——負荷平準化の一方策——	福 井 康 博	64
【調査研究報告】 製油所における電・熱有効利用に関するモデル調査結果	大 門 昶 雄	75
【調査研究報告】 「人へのやさしさ」を目指した 原子力の技術開発の方向性について	原 田 義 也	90
【訪問記】 東京電力㈱富津新エネルギーパーク	I A E 女性研究員取材チーム	100
【随想】 エネテクトリーム21 (その8) 「改めて評価された“ごみ発電”の意義と 本格的普及のための高度化対策の体系」	与志耶 劫 紀	106
研究所のうごき		125
編集後記		128

〔新任挨拶〕

研究所の着実、堅実な成長のために

㈱エネルギー総合工学研究所

常務理事 相馬 昭 典



平成6年3月18日の理事会において理事に選任され、4月1日山本理事長より常務理事の辞令をいただきました。当研究所は昭和53年（1978年）4月1日の設立以来、賛助会員各位の暖かいご支援と、調査研究事業における委託元各位の力強いお引立てのお陰をもちまして、昨年には創立15周年事業も終え、さらには新水素エネルギー、WE-NETの研究分野にも第一歩を踏み出しております。前任の柴田常務理事は、創立当初からご尽力され、今日の基礎を築き、発展を維持してこられたわけであり、長年のご努力に深い敬意を表さざるを得ません。それに引き換え非力な私としましては、すべて新規に学びながら業務運営の展開を図っていかなければならず、賛助会員の皆様、委託元各位にもおもわぬご迷惑をおかけするやも知れず、重責を前に身の引き締まる思いを致しております。

幸い、直ぐそばに山本理事長、吉澤専務理事がおられ、日常いつでも指導、助言を受けられる立場にあり、力強い限りであります。

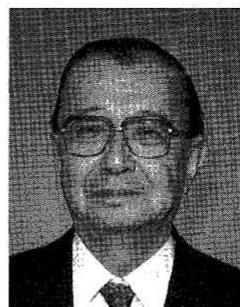
エネルギー情勢につきましては、東京電力在職当時派遣されたエネルギー総合推進委員会において各界の権威の方々からご教示を頂く機会に恵まれ、なにほどかの理解も得られておりますので、エネルギーの研究業務の重要性についても深く認識を致しているつもりであり、工学がいわばこれからの文化の担い手として大きな役割を担っていることに思いを寄せ、当研究所が着実、堅実な成長を遂げながら、今後とも社会の発展のために公益法人として寄与していけるように、及ばずながら誠心誠意努力して参る所存でございますので、前任者に賜りました以上のご指導ご鞭撻のほどを心からお願い申し上げまして、新任のご挨拶とさせていただきます。

〔退任挨拶〕

退 任 の ご 挨 拶

財エネルギー総合工学研究所

研究顧問 柴 田 誠 一



私は今年の3月末日をもって任期満了により常務理事を退任いたしました。研究所が設立された昭和53年から平成6年3月までの16年間、各方面の皆様方には大変お世話になりました。

顧りみますと、私が研究所に参った当時は、日比谷通り内幸町のNHK放送会館ビルの一室を借り受け、ここに理事長以下数人の職員が狭い部屋で研究業務をしておりました。それ以来逐次事業規模も拡大されまして、職員も増員され、場所も狭くなり、事務所を移転せざるを得なくなり今日までに事務所を四回移転して来ました。これも考えてみますと研究所の発展に伴い金銭的には苦しい面もありましたが、一面非常に嬉しい思い出の一つであります。

研究所での常務理事の仕事は、研究所を運営して行くためのお金と人々を集めるために関係企業・団体に依頼交渉するのが大きな役目の一つでした。

財政面においては、研究所のために拠出していただいた基本財産の運用収入、会員の皆様からご賛助していただいている会費収入、又委託調査研究のための委託費収入等によって賄われており、これもひとえに関係官庁・企業・団体の皆様には大変お世話になっております。特に産業界におけるご賛助については多大なご理解をいただいております。

人事面においても、事業規模が拡大すればする程研究員の増員を計らなければなりません。

そのためには、関係企業に研究員を出向させていただくことや新人を募集するためには大学の教授方に採用推せんをお願いするなど研究員集めに大変ご協力をいただいております。

在任中は、財政面におきましてもまた人事面におきましても、関係各方面の多くの方々のご交誼にあづかりここに厚くお礼申し上げますとともに、研究所をめぐる環境も厳しい中でこれから素晴らしい研究が続けられますよう、さらなるご発展と、研究所の皆様方のご健康とご多幸をお祈りいたし退任のご挨拶といたします。

座 談 会

水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) プロジェクトの成立経緯と今後の進め方について

堤	敦	司	(東京大学工学部化学工学科助教授)
赤	井	誠	(工業技術院機械技術研究所主任研究官)
岡	野	一	清 (助エンジニアリング振興協会研究理事)
吉	澤	均	(助エネルギー総合工学研究所専務理事)
福	田	健	三 (" WE-NETセンター準備室)
外	川	守	人 (" 主管研究員 ")
司会	高	倉	毅 (" 室 長 ")



1. WE-NETプロジェクトの発足までの経緯

司会 きょうはお忙しいなか、皆様お集まりいただきましてどうもありがとうございます。

WE-NETプロジェクトがスタートしましてすでに半年ぐらい経過し、体制も整いまして、プロジェクトの進行もようやく軌道に乗ってきました。そこで本日は「WE-NET

プロジェクト全体の進め方などについての座談会」ということで開催させていただきたいと思います。

このWE-NETプロジェクトを立ち上げるためのいろいろな準備等があったかと思いますが、
「スタートまでの経緯」ということでまずお話を伺いたと思います。WE-NETプロジェクトの母体となった「クリーンエネルギー輸送技術に関する調査」というのが

ありましたが、この調査プロジェクトの立案に携わったということもあり、吉澤専務理事のほうから初めに伺えればと思います。

吉澤 WE-NETプロジェクトは、サンシャイン計画の中の「水素利用に係る研究プロジェクト」ということで、平成5年度からスタートしました。

サンシャイン計画についてかいつまんで経緯を説明しますと、サンシャイン計画がスタートしたのは昭和49年でして、ちょうど第一次石油危機が発生した年と同じということになります。

このときの基本方針では「西暦1974年から西暦2000年までの長期間にわたり総合的、組織的、かつ効率的に研究開発を推進することにより、数十年後のエネルギー需要の相当部分を賄いうるクリーンなエネルギーを供給することを目標とする」ということでスタートしたわけですが、水素エネルギー技術も昭和49年以来、開発実用化の対象とされてきました。

その後サンシャイン計画では、昭和54年の第二次石油危機を契機としまして「加速的な展開」を図るという段階がありましたが、第二次石油危機が過ぎて石油の需要も緩んでくると、昭和57年には「サンシャイン計画の新たな展開について」ということで、若干スロウダウンをして重点的、効率的な推進を図るという姿勢に変わったわけですから。

私がサンシャイン計画推進本部に総括研究開発官としてまいりましたのは平成元年6月ですが、ちょうどその頃は、研究開発期間が西暦2000年までにあと10年足らずとなってきたこと及び地球環境問題が非常に声高に言われた状況から、「サンシャイン計画の過去16年

間の研究開発成果を総括評価して、これから先の地球環境時代にどう貢献する技術体系を持つかというビジョンを示す必要がある」ということで、産業技術審議会の新エネルギー技術開発部会においてこの見直しの作業を行ったわけです。

平成2年7月に中間報告をまとめましたが、この見直しの作業のポイントは①過去16年間の研究開発成果を総括評価する、②研究開発期間については「2000年まで」という期限を延長して「2000年以降も継続する」とこととし、2020年以降の長期的課題も対象とするようにした。更に③対象とする研究テーマを短期的課題、中期的課題（西暦2010年ないし20年頃までに実用化するもの）及び長期的課題（2020年以降実用化するもの）に分けて、それぞれ各エネルギー分野の技術開発テーマを体系づけた、という点にあります。

この中で水素エネルギーについては評価のポイントが3点あります。その第①点は、水素は単体で民生用エネルギーとして使うことは非常に難しい。民生用として使う場合は都市ガス系に混合することによって使うという姿を描いたわけですから。その理由は、水素の炎が無色透明であり、火炎の伝播速度が大きいこと、それから民生用としては輸送・貯蔵が他のエネルギーに比べて煩わしいなどの点を考慮した結果からです。

それから評価の第②点は、金属水素化合物が水素の輸送・貯蔵における有力な技術として注目されていたわけですが、この金属水素化合物による輸送・貯蔵が大容量化には適していないという判断をしたことです。大容量化には向いていないということであれば、他の輸送担体に転換して、大量かつ安全に輸送・貯蔵

するシステムを考える必要があるとしたことです。

第③点は、国内で水素エネルギーを石油、天然ガスから製造することはコスト高であり、引き合わない。このため、可能性があるのは、国外にクリーンエネルギーソースを求めることであるとしたことです。

もちろん、石炭からガス化して水素をつくる技術の研究開発が別の石炭利用技術の分野で進行していることは念頭においた上で、このようなクリーンエネルギーソースを海外に求めるという思考過程にいたったわけです。

以上のような三点の判断をしたのは、この新エネ部会の各委員の先生方のご意見もありますが、特に工業技術院の試験研究所の部長さん方から今後の水素エネルギー開発について相当真剣なヒアリングをさせていただきまして、行政として研究開発の方向と判断したのです。この結果、「海外クリーンエネルギー輸送技術」という技術体系を、初めてそういうネーミングをしてプロジェクトを起こしたわけでございます。2010年ないし20年頃の実用化を目指すというものでした。

このプロジェクトの発想は、例えば水力発電などの電気から水を電気分解して水素エネルギーに換える、それを液体水素化して送ることも考えられますが、天然ガスの導入を契機とした国内における住民の反対運動等を考えますと、もう一度、運搬しやすい化学エネルギー担体に変換して、安全に、かつ大量に輸送する技術体系を幅広く考えようという思想です。

平成2年度以降、サンシャイン計画推進本部におきまして基礎的なFSに近い調査研究が進められたわけですが、平成4年12月の産

業技術審議会の新エネ部会、省エネ部会、地球環境技術部会の3部会の合同企画委員会の中間報告書におきまして様変わりされました。この「海外クリーンエネルギー輸送技術」は、この3年間の調査検討の結果を発展させて、地球再生計画を支える世界ベースで進める革新的な技術開発プロジェクトの一つとして挙げられ、名前も「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET)」という名前に発展的に改称されたわけです。

両プロジェクトには考え方の違いがあります。「海外クリーンエネルギー輸送技術」は、わが国の資本と技術をもって海外の水力発電等の開発に参画してその分け前を持って帰るという思想でありましたが、この「WE-NET」プロジェクトでは、グローバルな水素を利用したクリーンエネルギーのネットワークシステムをつくるという、グローバルな見地に立ったプロジェクトに発展しております。

以上、行政ベースから見たWE-NETプロジェクトの成立の経緯でございますが、こういう水素利用技術につきまして研究所のほうでずっと長い間、水素利用技術の研究を進めてこられた福田さんのほうから、研究者から見たこのWE-NETプロジェクトの成立の経緯につきましてお話をいただきたいと思います。

福田 いま吉澤さんが大変明快にまとめられましたが、私も実は意見を求められた研究所側の一人であったわけです。研究にたずさわってきた立場からの経緯を申し上げますと、オイルショック直後のサンシャイン計画の中での水素エネルギー技術の研究開発、いわゆる第一次計画には、幾つか柱があったわけですが、最も中核的な柱は水素をどうやって造

るかという課題でした。その主たる手法として、原子力の出力を使って水を熱化学的に分解して水素を製造するという技術の開発が主要内容をなしていました。

実は、私が申し上げた第一次の水素エネルギー技術開発——主たる内容をなしていきたいわゆる水の熱化学的分解による水素製造技術——というのは、私の把握では昭和60年頃を境にして世界的にある種の停滞期に入った。当時、世界的に150種類以上もの多数の熱化学サイクルが提案されて取り組まれたわけですが、現在残っているのは堤先生のところと日本原子力研究所（原研）のところぐらいしかありません。

それにはいろいろな理由があったと思うのですが、やはり複数の化学反応を組み合わせ、しかもそれに整合性を持たせて、連続的にオペレートしなければいけないということからくる困難性とか、極めて腐食性の高い雰囲気中で化学反応をやらせなければいけないことからくる材料問題等々、幾つかの困難な問題があって、これは当初予想したよりもはるかに困難な技術ではないかという雰囲気が、わが国だけではなくて世界的に出てきて、どうやら熱化学法水素製造技術というのは筋書きどおりにはいかないということで、いま申し上げたように、昭和60年頃を境に停滞期に入ったのだと思います。

それ以降、水素金属合金の仕事は水素エネルギー技術のプロジェクトの中でずっと続けてきたのですが、肝心の水素をつくるというところがどうやらスポッと抜けたような形になってしまったということです。プロジェクト全体としても、私がもと所属していた物質工学研究所と大阪工業技術試験所、それ

から機械技術研究所、中国工業技術試験所で水素金属合金の研究、水電解の研究、安全性の研究、利用の研究などの形で続けられていたのが実態です。

その後、地球環境問題が世界的に、焦眉の課題としてクローズアップされ、改めて非化石燃料型の一次エネルギー源に依拠した新しいエネルギー技術の開発が重要課題として浮かび上がってくるにともない、エネルギーの貯蔵・輸送媒体としての「水素」に。もう一度本格的に取り組まなければならない、そこでもう一回新たな観点から水素エネルギー技術の研究開発を提案してみようと考えたわけです。

それからもう一つの契機は、実はかなりプライベートな話になるのですが、カナダのケベック州のハイドロケベックの研究者から、私の友人を介して、カナダで水力発電をするから、その電力を日本で輸送してくれないか、その場合必要になる太平洋を越えて電力を輸送する技術について、国際的な共同研究ができないだろうかという相談が持ちかけられたことです。いままでのエネルギー技術開発では、エネルギー変換技術あるいは利用技術というように、点としては技術開発がかなり進んでいたのですが、輸送という要素をきちんととり入れれば、変換するほうと利用するほうとをうまくつないだトータルなエネルギーシステムのイメージをつくれるのではないかというように思ったわけです。

私は当初は、電力を水素に変換するというようには必ずしも考えなくて、リチウムなど、いわゆる軽金属に変換して輸送することもオプションとして組み入れて、吉澤さんのいらしたサンシャイン計画推進本部に話を持

ち込んでみました。

普通、国の研究所からの提案は、2年か3年経過してからスタートするのが通常なのですが、どういうわけか吉澤さんがえらく面白がってくれて、「国の研究所から出てくるのはいつも七面倒臭い話ばかりだが、福田さんのように大まかだけれど気宇壮大な話を持ってきたのは極めて珍しい。」ということで、大変歓迎していただきました。吉澤さんのご尽力で、即、財団法人エンジニアリング振興協会（エン振協）をお願いして研究会を組織していただきました。私はいま初期の頃の提案書を持っているのですが、たしか昭和63年10月ぐらいに持ち込んでいるのですね。それで、すぐ翌年の1月ぐらいから研究会がスタートしていますので、極めて速い反応を示していただいて、私としては非常に幸せなスタートを切れたというように思っております。

吉澤 若干補足しますと、そのときサンシャイン計画推進本部の技術班長に根井久規さんが居られ、水素エネルギーの実用化のためのプロジェクトを7月に出す新エネ部会の報告に盛り込むには企業のアイデアだけでは不十分であり、いまある情報を広く深く集めてその根拠を固めておく必要があるということで、NEDOの調査費の予算で急遽、1月から3月までの2月半だったのですが、エン振協さんに委員会をつくって調査研究を開始したという経緯がございます。

司会 どうもありがとうございます。いままでのお話がWE-NETのいわばバックグラウンドとなるような部分だったと思うのですが、次に、実際にこのWE-NETプロジェクトの立案をして計画をつくり、さらにスタートをさせるまでの部分について、そういう

ことに関わられた赤井さんのほうからお話を伺えればと思います。

赤井 長くなるかもしれませんが、立場をご理解いただくために少し前置きをしたいと思います。国立研究所の研究員は、その研究生生活の間に、本省に併任——出向と言ったほうがわかりやすいと思うのですが——というタイミングがあるのです。ちょうど吉澤専務がサンシャイン計画推進本部の総括研究開発官になられたとき私はそのタイミングに当っておりました。当時はムーンライトとサンシャインとの両プロジェクトがあり、どちらかというところまでの研究経緯でムーンライトのほうに馴染みがあったので最初は、ムーンライトに行きますというように研究所のほうに返事をしていたのです。

そのようなときに、当時の吉澤総括研究開発官が私の所属しております機械技術研究所に視察に来られるという話がありまして、私のCO₂関連の研究、セラミックガスタービンのブレードの研究、水素タービンの研究等を見ていただきました。そのあと一室に集まって、意見交換をしておりましたときに、吉澤総括研究開発官が2000℃の水素タービンという話を言い出されまして、セラミックのタービンブレードと水素が結びついてそういう発想になるのかと思ってみて、面白い人が居るものだなと思い、併任先の希望をサンシャインにコロッと変えた覚えがあります。（笑い）

併任は平成2年4月からだったのですが、そのときはちょうど、先ほどのクリーンエネルギー輸送の研究会をやっていた時期でした。また、吉澤専務のお話にもありましたサンシャイン計画見直しの嵐の真っ只中で、非常にきびしい作業をしたというか、まあ強いら

れたんですけども……。

そのようななかで、ちょうど私は水素も担当しておりまして、いきなり「クリーンエネルギー輸送の予算要求資料を作成するように」と言われました。タービン、船などの大物があることから、まあ研究期間は10年間か15年にして、予算要求額を2,000億円と書いた覚えがあります。プロジェクト予算の要求には失敗しましたが、2年分の調査費が認められたというのが結末です。それと並行しまして、平成2年度はやはりエン振協さんで「石油代替エネルギーの輸送技術調査」というタイトルに衣替えして調査研究が続けられました。その報告書は、私のものの中では一番汚れていまして、このWE-NETのバイブルみたいな報告書になっている気が致します。

ただ、私の併任したときが良かったのか悪かったのか、幹部の方々を含めた人事異動のタイミングと重なり、気がついてみたらこの話の経緯を知っているのは私が一番古いということになってしまい、ずっと引き続きお世話することになりました。また、併任から帰ってきたあとも結局、人とのつながりができたこともありまして、できる限りお手伝いしてきたのです。

そのような中で平成5年度の予算要求作業をしていたところ、どうも省内は通りそうだという話が、当時の技術班長の荒木さんからありまして、「ついでに研究項目や予算配分を含めた基本構想を詰めておかなければいけないが、あまりいろいろなところに頼めないから少し手伝ってください」ということで呼び出しを受けました。その時に、「革新技術」「国際協力」「安全性」といった、プロジェクトとしては毛色の変ったタスクを入れておいても

良いのでは、という議論をした覚えがあります。

その年でもう一つ思い出に残っているのは、予算要求が省内を通りそうになったものの、NEDOのどこがこれを担当するのか決まっていなかったため大蔵要求用の資料は誰もつくってくれないので、何とかNEDOの形式の予算要求資料をつくってくれないかという話がありました。このため、最初の調査研究から関わっておられた電源開発の方々、三菱重工の一お名前を申し上げれば、いまエネ総工研に来られている小川さん——方々と真夏の暑いときに、私がサンシャインにいたときの記憶や、NEDO出向経験者の記憶をたどりながら内訳積算書や研究計画書案を作成したこともありました。

そういう意味では、どちらかというと、研究者的な仕事よりもそういう行政のお手伝いみたいな仕事の比率が高かったように思います。その中では先ほどのお話にもありました「クリーンエネルギー輸送」から「グローバルなネットワーク」への構想の転換については研究者としての立場からも貢献できたのではないかと考えております。

また、それに関連してWE-NETという名前が付くまでもにも色々な経緯がありましたが、サンシャインの中で検討していた時の面白い話をひとつ披露させていただきますと一。

ある時、某幹部が「いいのを思いついた」と言われるので伺ったところ、「ジェネシスと言うのはどうか」とおっしゃって、皆で大笑いしたこともありました。

いろいろなアイデアが出ましたが、
“WE-NET”というのがパッと出てきて、

私も含めて「パソコンネットワークのような安っぽい気がする」とか言っていたのですが、いまとなつては非常にシンプルでいい名前になっているなど感じております。

司会 いろいろ裏話を含めて面白いお話をどうもありがとうございました。

2. プロジェクトの目標、意義及び研究開発計画

司会 それでは経緯の話はこれくらいにいたしまして、本題といたしますか、このプロジェクトの目標、あるいは進め方について、研究開発計画に基づいてお話をいただければと思います。特に非常に分野が広い範囲にわたっているといえますか、製造から始まって、輸送、貯蔵、利用まで含めて極めて広範囲な分野にわたること、あるいは28年プロジェクトというような非常に長期にわたる研究開発ということなど、いままでの国のプロジェクトとはかなり異質な部分もあるのではないかと思います。その辺も含めて、福田マネージャにお願いいたします。

福田 WE-NETプロジェクトは筋書きが非常にシンプルでわかりやすい。海外のまだ未利用の水力を利用して発電し、水の電解で水素を製造し、水素を需要地に運んできて多面的に利用しましょう、一言で言えばそれに尽きるのです。

筋書きはそうなのですが、だからといって技術そのものがシンプルであるかというと、それはまた全然違って、水素をつくることから、輸送し、利用するところまでを含めてかなり広範な技術開発を要する。その側面での最大の特徴は何かというと、複合技術とい

うことだと考えています。

沢山の技術、例えば化学工学、機械工学、それから機械の一分野になるかもしれませんが熱工学や低温工学、それからシステム工学、ちょっとレベルが違って恐縮ですが、例えば電気化学、あるいは電解槽工学など、いろいろな技術要素、あるいは科学的知識を総合しなければいけないという意味で、極めて複合的な、かつ総合的な技術開発が必要になるというのが大きな特徴だと思います。

もう一つ大きな特徴は、最終年次の2020年の時点でどのようなものをつくっておくのかということについて一定のガイドラインを出していることだと思います。どういうことかといいますと、システム導入について社会的受容が得られるならば、即、実用段階に入れるまでの基盤技術をつくっておきましょうということです。社会的な受容ということはまた別の要素にはなりますけれど、それがもし得られるならば、その次の実用の段階に入れるまでの基礎技術をつくるという意味で、ロングレンジであるけれども、その終わりの段階で出来ている技術のレベルをかなりはつきりさせているということがあります。

3番目の特徴は、私の言い方での第一次の水素エネルギー技術開発のときは、わが国のエネルギー供給基盤の脆弱性克服というローカルな発想が強かったのですけれども、WE-NETプロジェクトでは、地球規模でのエネルギーネットワークというものの中でわが国のエネルギー問題も同時的に解決していくという、グローバルな立場を打ち出していることだと思います。

最後に水素をつくる、それから利用するというスポットの技術開発ではなくて、そこに

輸送という動的な過程を一つ入れて全体としてシステムイメージをつくろうとしているところがやはりいままでのプロジェクトとはちょっと違う新しい特徴かなというように思っています。

吉澤 おっしゃるように、サンシャイン計画の中では群を抜いて非常に複雑多岐なプロジェクトであるということは言えますね。したがって、これの研究開発を推進していく過程においては、そういう関連分野の知識情報を全部糾合して、バランスのとれた各分野の技術開発状況、研究開発状況、あるいは実用化状況というものを常に情報として蓄積して整理しながら研究計画をハンドリングしていく必要があります。

サンシャイン計画としてどの範囲を国が費用を投じて技術開発を受け持っていくか、どこから先は民間の研究開発の成り行きに任せるべきか、かなり議論がされています。

NEDOにより策定された「WE-NET第一期基本計画」によりますと、「水素の輸送貯蔵技術の開発」の項は、輸送媒体の技術開発をどう考えるかということが非常に含蓄の深い表現になっています。

このなかでは、「水素輸送媒体としては、液体水素、水素ガス、アンモニア、メタノール、シクロヘキサン等が考えられているが、このうち液体水素は国内外において技術開発に着手されておらず、WE-NETの柱となる主要技術開発項目であること。かつ、大量に輸送できること、変換技術が単純なこと、消費地で利用する際に便利である、等といった点が挙げられる。これらのことから近未来技術として液体水素を対象に研究開発を行うものとする。」と示されています。



堤 敦 司 氏

(東京大学工学部化学工学科助教授)

そういうことで、ほかの輸送媒体の技術の進捗状況については、その研究開発の実用化の状況を勘案し、他の輸送媒体についても上記3項の全体システム概念設計の段階で常に評価していくという姿勢がとられています。

現在考えられている輸送媒体のなかで最も早くエネルギーのネットワークとして展開するのはメタノールと思われます。天然ガスメタノール、あるいはコールベットメタンからのメタノールというのは今後10年以内にマーケットに入ってくると思われますが、そういう現実の他のエネルギー分野の流通システムの実情を勘案しながらWE-NETプロジェクトはその技術開発の重点をいろいろ調整していくという継続的、一貫したハンドリングが必要ではないかと考えています。

司会 それでは、サブタスク9の革新的先導的技術の委員会に参加していただいています堤先生に、大学の研究者としての立場から何かご意見等がございましたらお願いします。

堤 きょうは、WE-NETプロジェクトの立ち上げから携わった方々の裏話も含めてお聞きできて、非常に面白いと思っております。

私自身は、先ほど福田さんのほうからお話

がありましたが、ほとんど行き詰まっています。熱化学水素製造法をやっております。熱化学分解法がいいか悪いかということはちょっと置いておきまして、われわれは大学ですので、企業とはやはり違う形で研究を進めなければいけません。企業ですと、やはり近い将来、いわゆる近未来においてモノになる技術というのを開発する。逆に、われわれは同じ土俵でやりますと絶対に太刀打ちができないわけで、それこそ遠い将来ということを企業がやれないような基礎研究で勝負することになります。

これまで水素エネルギーは遠い将来の技術と考えられていましたので、大学の先生や学生が、そのクリーンなイメージもあって、やりたいと思うテーマの一つでした。

ほとんどのエネルギーの関係者の人たちは、将来的には間違いなく水素エネルギーシステムは、一次エネルギーとして核融合と太陽エネルギー、そういうものから水素をつくりだす水素エネルギーに間違いなくなるだろうということはほぼ全員が一致しているということだと思います。問題は、その時期がどのぐらいになるかということで、それが非常に遠い先ですと、大学としてはかなり自由に水素の研究ができるのですが、こういったWE-NETというような形で一次エネルギーは電力でいいからともかくも水素を造って、水素エネルギーを積極的に導入してみせるというプロジェクトが現実的に日本でスタートしたことは、水素エネルギー技術開発を加速させるものであり一歩でも水素エネルギー時代を近くに引き寄せるという意味があると考えます。従ってWE-NETのスタートは、今後大学の研究をどのように進めるかというこ

とにかなりインパクトを与えるのではないかと考えております。

いままでのように、水素は将来、未来のエネルギーなのということだけで、水素に関してとにかく造ればいいという研究ではなくて、やはり現実問題、そのシステムまで全部含めて、真剣に考えていかざるを得ないような状況に大学のほうも、基礎研究自身も向かうのではないかというのが正直な感想です。

将来的には熱エネルギーや太陽エネルギーから水素を製造する技術は非常に重要だと思いますので、できるだけ裾野を広げていくような形でプロジェクトが進んでいって欲しいと思います。

計画は28年というロングタームですので、ブレークスルーを生む革新的技術を拾ってあげられるような形で進めていただきたいと思っています。

司会 大学の研究へのインパクトは大変ですね。水素に関する研究は基礎的なフィールドもあるでしょうから大学での研究が再び活発になることを期待しています。

堤 決して行き詰まったわけではないと思うのですが……。

福田 熱化学法自体について私は決してネガティブに捉えているわけではありません。ただ、サンシャイン計画発足時に想定されたような、スケジュール消化方式では解決出来ない、さまざまな困難があることがわかってきました。したがって研究の方法論を作り直す必要がある、と考えているわけです。

堤 確かに分離だとか腐食性の問題だとか一つ一つ解決していかなければならない課題が多くあります。そういった地道な積み重ねが必要だと思います。

福田 おしっしょるとおりです。

司会 私どもの研究所では外川さんがこのプロジェクトの主担当をしていますが、彼はH-2ロケットの開発にずっと携わってきた水素の専門家ということですので、そういう立場からこの研究開発計画その他についてのコメントを伺えればと思います。

外川 H-2ロケットは昭和59年から開発が始まったのですが、私はそれに使われているLE-7エンジンについて、—これは水素を燃料としたエンジンですが、—これの開発に一番最初の立ち上げのところから関与しておりました。その前のH-1ロケット用LESエンジンというのが国産の一番最初の水素を使ったロケットエンジンなのですが、これも一番最初の立ち上げから携わってきましたので、全部合わせると大体20年近くずっと水素を使ったロケットエンジンの開発に携わっていたことになります。

それで、LE-7はご存じのようにいろいろとトラブルを起こしているのですが、その前のLE-5エンジンというのは比較的すなりと開発が進んだのですね。進んだのはいいのですけれど、逆にわれわれは開発の段階で次のLE-7を甘く見てしまったというところがあります。

いろいろトラブルはあったのですが、特に最終的に出てきたのは熱応力の問題です。ご存じのように、液体水素を使っていますから温度は -253°C 、燃焼させると酸素水素の燃焼ですから大体 3000°C になります。その液体水素と燃焼ガスが一番きついところで、たった1ミリぐらいの壁のところで隣り合わせになっているわけです。熱応力が発生するのは最初から予想できているし、一生懸命みんなそ

こに力を入れていたわけです。ですから、逆に言いますと、力を入れたところの燃焼室ではあまりトラブルは起こらなかったのですが、最終的な段階まで来て、いよいよ打ち上げ近くなってきたときに、配管が熱応力で次々に壊れてしまった。そこが致命的になって、打ち上げ延期になりました。要するに、最初の段階で問題が起こりそうだと思っているところはみんな一生懸命力を入れたので難かしい部分も対処できたのですが、みんなが簡単だろうと思って見過ごしたような配管のところでトラブルを起こしてしまった。この辺が開発していて一番の大きな反省点でした。

WE-NETプロジェクトも範囲が広いのですから、皆さん「ここが大切だ」、「ここが大事だ」と、かなり注目しているところがありますね。水素の製造とか燃焼タービンとかですが、当然、燃焼タービンの熱応力とかいろいろありますから、皆さん力を入れてそのところをやっていくので、多分みんなが一生懸命やるところはうまくいくかもしれないのです。ところが途中の、タンカーとかタンクとか、何か見落としているというか、案外うまくいくのではないかと考えているようなところで、下手をするとそこから足を引っ張られて全体がだめになってしまうということがあるかもしれませんので、その辺が重要だなと感じております。

吉澤 液体水素をエネルギーとして使ったケースとしてはわが国としては初めてになりましたね。

外川 そうですね。昭和50年ぐらいにH-1ロケットの開発が始まりましたから。サンシャインと同じ頃ということですね。

司会 先ほどの外川さんの話を考えますと、



赤井 誠氏

(工業技術院機械技術研究所主任研究員)

安全評価というのが最初からプロジェクトのなかで一つのタスクとして組み込まれているというのは非常に画期的ですね。

赤井 それについては少しコメントがあるのです。原子力ではリスクアセスメントというのが非常に重要で、かなりのリソースが投入されているわけです。WE-NETが2050年に20%程度のCO₂削減を目指すというシナリオに立つとすると、やはり原子力の場合と同じぐらいのリソースを投入したって決して間違いでない。同じぐらいのリスクアセスメントをやったって当然だと思っています。

実用化はまだ先のことなのでそれほど信憑性がないのかもしれませんが、やはり安全評価についてもいまから考えておくという姿勢が必要と思い項目を入れさせていただきました。

先にも言いましたが、ほかのプロジェクトにないような項目を提案させていただいたのが、そのまま認められているのが面白いし有難いと思っています。

外川 サブタスク3の安全関係の委員長の平野先生にお願いに行ったときにもこのようなプロジェクトは初めてだと非常に感激されて



岡野 一清氏

((財)エンジニアリング振興協会研究理事)

おりましたね。大体、安全はないがしろにされがちだけれど、今回のWE-NETは最初からそれを入れているので画期的だと言っておられました。

司会 今日はもう一人外部から財団法人エンジニアリング振興協会の岡野研究理事にご参加いただきました。実は私、燃料電池の関係の仕事をやった関係上、岡野さんとはだいぶ前から面識がありまして、その頃は富士電機の燃料電池開発の総責任者の立場におられた方です。今度のWE-NETでも、利用サイドで燃料電池を使うオプションとかあるのですが、製造のほうでも、燃料電池の逆反応みたいなことで水素を生産するということもありますので、そのような燃料電池等の経験を踏まえて、岡野さんからご意見をいただければと思います。

岡野 WE-NETの技術開発と燃料電池の技術開発では、技術難度の高い複合技術で、長期にわたる大規模な開発が必要という所がよく似ていますね。このような技術開発では、まず目標とした高い性能が出せるテストプラントを期限までに作ることが優先されまして、基礎的技術課題を十分に解明したり、将

来の実用化のために必要なプラントの寿命や信頼性、メンテナンスなどに関する地道な研究開発が後回しになり勝ちですね。早く目に見える成果をアピールしたい気持ちはわかりますが、高分子電解質水電解法の開発でも、電流密度を 3 A/cm^2 まで上げて高効率化する目標は良いのですが、実用化に必要な要件を初期の段階から抽出して研究開発をやらなければならないのではないかと、私の経験からそのように思っています。

基礎技術をしっかり固めておけば状況の変化にも対応でき、結果的には早く実用化できることになると思います。

それからもう一つは、これは全然違う問題ですが、WE-NETは28年間にわたる長期の開発で50万kWの水素燃焼タービンとか、現状の10倍の日産300トンの大規模な水素液化装置を造ろうとかの壮大な計画があります。しかしあまりにも先の目標なので、もう少し身近な具体的パイロットプラントの中間目標が欲しいと思います。今すぐといっても無理ですが、早い時期にその目標を作りたいですね。WE-NETを説明する時に、「28年でこのようなスケールの大きい技術開発をやるのだ」といっても、「なーんだそこには誰も残っていないじゃないか」などといわれまして……。(笑い)

3. プロジェクトの推進体制

司会 貴重なご意見をありがとうございます。また。

それでは次に、プロジェクトが実際にスタートして、その体制も固まってきたのですが、プロジェクト全体の推進体制について福田さ

んのほうから簡単にご紹介をお願いします。

福田 プロジェクト推進体制は、サブタスク制、国立研究所の活用、国際協力、WE-NETセンターによる総合調整など、いくつかのキーワードで特徴づけることが出来ます。WE-NETは複合技術であり、かつ、総合的技術でもあるという特徴は、全体システムだけでなく、各要素技術についても言えるわけで、この意味では、WE-NETは重層的な構造をもっています。そのため研究内容を七つの要素技術開発（サブタスク）に分け、それぞれの要素技術の総合的展開を図るとともに、全体システム構築のための要素技術間の調整・評価を行うサブタスクと、さらに国際協力を一つのサブタスクとして設定し、合わせて九つのサブタスクを設定して、研究推進を図ることになっております。

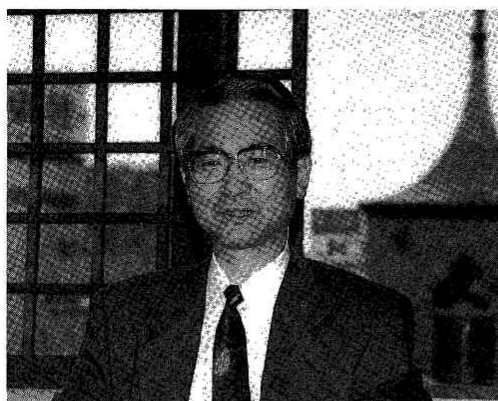
その場合に、通常のプロジェクトでは、研究組合をつくるか、あるいは一つの新しい受け皿の財団法人をつくって、そこが窓口を引き受けるという形になるのですが、今回はサブタスクごとに公益法人が受け皿になっているということで、従来の研究組合方式とはかなり違うやり方になっています。これは、ある意味では実験だと考えています。サブタスク制が最もふさわしい体制なのかどうかということは、それ自体プロジェクトを進めていくなかで検討すべき問題ではないかと思っています。

さて「国立研究所の活用」という点について私の考え方を述べておきたいと思います。これは「国立研究所のポテンシャルが一段と優れているから、それに皆さんがついてきて指導を受けなさいよ」ということを言っているわけではありません。技術が多面性を持つ

ている、あるいは総合力が必要だというときに、ある種の求心力を働かせて集約していくという機能がどこかにないと、どうしてもその要素が発散的に、分散的になってしまう傾向が出てくるという意味で、国立研究所というのはたまたまそういう役割を組織的にも社会的にも負える機能を持っている、そういう意味での国立研究所の機能を活用してください、ということだと私は思っています。それからもう一つ、WE-NETセンターについて一言申し上げたいと思います。WE-NETプロジェクトではサブタスクの成果を単純に積み重ねればWE-NETシステムというものができるということではなくて、全体を通して整合性のあるシナリオをつくらなければいけない。そういう意味では、要素技術を全部を見た上で総合調整をする機能がどこかにないと、システム技術の場合はなかなかうまくいかないだろうということで、実はその総合調整という機能を引き受けるということでWE-NETセンターというのが設置されたというように思っています。そういう意味で、これも従来のプロジェクトの推進体制にはない新しい組織体制だなと思っております。

どちらかというと、本来、NEDOがそういう機能を十分持つべきなのでしょうが、その部分を財団法人エネルギー総合工学研究所に委託しますということなので、NEDOの機能を補完して全体の総合調整をWE-NETセンターが実施するということに理解しております。

もう一つ推進体制の上で重要な要素は国際協力ということなのですが、これは私よりも岡野さんにコメントしていただけたらどうか



吉澤 均 専務理事

((財)エネルギー総合工学研究所)

と思います。

吉澤 若干補足させていただきますとWE-NETセンター構想は、サブタスク1の業務をプロジェクトマネージャーを中心にして円滑に進めていくためには、サブタスク2からサブタスク9までの受託機関と恒常的な情報の交流、それから計画調整の関係を維持する必要があります。現在のところ、これをどうやってやるかということにつきましては、ほかの受託機関の方の研究者の代表の方をエネ総研に併任をさせていただいて、そこでこのサブタスク1の調整をうまくやるという構想です。

現在設けておりますのはこのWE-NETセンターの準備室でございまして、平成6年度になり実際のこのWE-NETの業務が開始する、すなわちNEDOとの委託契約が結ばれて本格的に立ち上がりました段階ぐらいには本格的な、この「準備室」という3文字がとれたセンター構想になるのではないかとの見通しをもっています。

司会 それでは、その点も含めて、実際にこのプロジェクトを担当されて進められている私どもの研究所の外川さん、それからエン振

協の岡野さんに、スタートから約半年ということでございますので、その辺の感想と今後に向けての考え方等を、まず外川さんのほうからお願いします。

外川 私は、サブタスクの1と3と9を担当しているわけですが、サブタスク1は「総合」ということで、とにかくいろいろなサブタスクのものをすべて把握しなければいけない訳です。先ほど言いましたように、水素を使ったロケットエンジンをやっておりましたので、ある程度、使うほうとか、貯蔵とか、そのようなところはわりと馴染みがあるのですが、最初のつくる段階の「製造」、この辺はいままであまりやってなかったものですから、この辺はしっかり勉強していきたいと思います。

次のサブタスク3の「安全」の部分ですが、やはり安全が各システムの基本だということですね。ですから、このサブタスクを受けて、安全は本当に重要なのだということをつくづく認識しました。

それから、サブタスク9の「革新的、先導的技術の調査」ですが、これは要するに長丁場のWE-NETで、いま現時点では反映されていないような技術でも、やっているうちに使われてくるべき技術があるはずで、それを発掘してゆこうというのがこのサブタスクの役割です。昨年度は公募によって、テーマを募集したのですが、これから先はもっといろいろな方法で発掘していかなければいけません。

どのようにして発掘したらいいとかいいうのがいま問題なのですが、これについては、今日も委員長の小宮山先生のところへ行ってお話をしてきたのですが、普通の委員会のよ

うに、前回の議事録の確認などをやっていると、2時間や3時間ではとても時間が足りないで、1泊か2泊ぐらいしてブレインストーミングをやるのではないかと言われました。「革新的技術の調査」をやるのだったら、まず委員会も革新的にしなければいけないということです。

司会 ありがとうございます。それじゃ岡野さんお願いします。

岡野 エン振協では「国際協力」、「水素製造」、「液体水素の貯蔵・輸送」、「水素利用」、のタスクを担当しております。技術的課題は対象と目標がはっきりしているのでやりやすいのですが、「国際協力」は対象がばやけていて難しい課題ですね。しかしWE-NETは国際協力なしには成立しない計画ですから、うまくやらなければならないと思っています。まずWE-NETが日本のためだけではなく、世界の将来のエネルギーと環境問題の解決につながる技術開発を伴ったプロジェクトであることを世界の人々に理解して貰う必要があるのでしょうか。

私の経験から国際協力を成功させるポイントは三つくらいあると思います。一つは海外の政府とか研究機関とか、あるいは企業とかで水素エネルギーに関係する人と人との親密な人間関係をつくること、これが一番の基本ではないかと思っています。ただ問題は、そうなるためには時間がかかるわけですし、短期間で転勤とかポジションが変わりますと人間関係が作りにくいですが、人が変わっても良い関係を続けられるように各組織の中で配慮すべきだと思うのです。

二つ目はグローバルな技術開発ということですから、海外の研究機関や企業に門戸を開

放して一緒に研究開発をやることでしょうね。すでにWE-NETでは海外企業にも参加して貰っていますが、参加しやすい条件づくりや、かなりの研究開発資金を用意する必要がありますね。

もう一つは、日本の水素関連の技術が海外にとって魅力的であるようなものになって行かないと、海外の人達が関心を持って「一緒にやろう」ということにはならないと思います。技術開発をしっかりとやって海外から信頼されるようになれば国際協力もうまく行くのではないのでしょうか。

4. 第一期での研究内容とプロジェクトの将来展望

司会 それでは、第一期の内容についての期待とか課題、あるいはその最終的な目標である28年後への展望とか夢というようなことで、簡潔にお話をいただくとありがたいのですが……。若い人からいきましょか。

堤 私はサブタスク9にコミットしている関係もありまして思うのですが、先ほど岡野さんのほうからお話しがあった短いタームでの具体的な実用化の目標設定も非常に重要であるとは思いますが、もう一つ、折角これをロングタームでやろうというわけですから、もっとワクワク、ドキドキするような新しい技術がどんどん出てくるような、またそういったアイデアがたくさん出てくるような一私たち大学のほうもそういった責任があるとは思いますが、一体制でプロジェクトが進められたらいいのではないかと思います。

ブレイクスルーというのは簡単に言えない話でしょうけれど、そういうものを拾い上げ

られるような体制というのが一番重要なのではないかと思います。水素エネルギーはエネルギー問題、地球環境問題を解決していく鍵ですので、このWE-NETプロジェクトを通してグローバルな意味でどのようなエネルギーシステムがベストなのか具体的に考えて明らかにしていく、そしてその実現に向けて一歩ずつ進んでいけるのではないかと期待しています。

司会 ありがとうございます。次は赤井さんですか。

赤井 いまのお話を受けて一言申し上げますと私はやはり革新先端技術のタスクの成果がWE-NETのストーリー全体を引っくり返すようなものが出てくれば大成功ではないかと思っており、堤先生も非常に期待しております。

それから、これはWE-NETからは少し離れた話になってしまうかもしれませんが、むしろ吉澤専務などのご経験などを機会があったらぜひ聞かせていただきたいと思います。先ほど岡野理事が、プロジェクト期間が28年という非常にロングタームで中間目標が必要であるとおっしゃったことに関連しますが、このシステムは先ほど福田さんもおっしゃったように、水から水素をつくって液化して運んで使ってしまうという非常にシンプルなものである反面、エネルギーシステムとして考えたときに一番重要なロバストネスに欠けているような印象を持っております。と申しますのは、例えば、「液体水素の海上輸送などはまかりならぬ」と、どこかで決まってしまうわけですね。そういう意味では、28年という長期の間には、もしかしたらそれ

に類したこともあるかもしれない。そうした場合をも想定して、例えば、先ほど話題にもなったメタノールのチェーンに組み込むとか、そのようなオプションを常に意識しておかなければいけないという気がいたします。

その意味からも、28年の間、全部液体水素で通して、最後にデモプラントができれば万々歳ですけども、その間に、そのひとつのライン上の成果だけではなくそこから枝葉のように分かれたいろいろな成果を、ここでこういうものを出すという目標を設定し、例えば5年とか7、8年ごとにみんなで祝えるようなプロジェクトにならないかと思えます。今のプロジェクトはシンプルなのですが単純過ぎるような気がいたします。

そのような意味からすると、例えばメタノールに関わる政策ということでは資源エネルギー庁との関係が非常に大切になると思いますが、その辺については私はぜひいいお考えがあれば挙げていただきたいと思います。

それから、さらに話を大きくしますと、2050年で20%と言ったエネルギー供給量を目指すならば、これは石油に匹敵するような量ですね。そうすると、OPECに代わるようなことをやろうとしているわけで、日本としてはやはりOPECなどの国々の感触も見ながらの国際協力というものも検討して行く必要があるのではないかと考えております。言い換えれば、OPEC諸国も関心を示すようなプロジェクト体制の検討ということになります。これは工技院のWE-NETプロジェクトの枠を超えてしまう話でしょうから、通産省の拡大WE-NETのような、超長期のエネルギー政策の検討の場がないのか、といった私の能力をはるかに超えるようなことを考

えたりしております。

司会 ありがとうございます。外部の方が続きましたから、先に岡野さんのお話を伺いたと思います。

岡野 将来の話ですが、化石燃料が乏しくなった時は問題ないのですが、安い化石燃料が残っている時からコストの高い水素を使って行かねばなりません。水素は地下から出てくる化石燃料よりどんなにしてもコストが高い。だが実際に水素供給のシステムを作ったり、利用して行かないと技術が育ちません。化石燃料がなくなってから、「さあやろう」といっても遅いですね。その間国が大きな資金を投入してバックアップしなければ実用化が難しいと思われます。これは将来の大きな問題ですね。

それから、夢を一つ言いますと、水素の利用で世の中がクリーンになることと関連がありますが、燃料電池が水素燃料によって様変わりになることです。燃料電池は今までコスト高や信頼性などの課題があって、まだ本格的に利用されるところまで行っておりません。水素が燃料として容易に供給できるようになれば、燃料電池のシステムは著しく単純になり、大きさは他の燃料を使う場合の半分、コストも下がり、信頼性も上がります。そこで電力用、自家発電用、自動車用、船舶用などクリーンな発電装置として燃料電池時代がやって来る。そんな夢を抱いています。

司会 岡野さんらしい。それでは、所内のほうはまず外川さんお願いします。

外川 全体システムのほうで、きょう各サブタスクの代表の方が来られて研究リーダー会議というのをやりましたが、個々の作業を進めるために全体システムのフローを早くはっ



福田 健三 プロジェクトマネージャー

(財)エネルギー総合工学研究所WE-
NETセンター準備室

きり出してほしい、というような要望が強いんですね。要するに、輸送とか、製造とかをその辺のロスとか効率とか、どこでどれくらい使われているのかとか、減らされているのか、全体、どこが一番効いているのか、それがよくわかるようなフロー。これは昨年度のサブタスク1の宿題事項にもなっていたのですが、それがやはり今回もなるべく早く出してほしいという意見が出ています。

ところが、全体システムをやっているほうでは、おのおののデータが出てこなければそれはできないと言ってきます。鶏と卵の関係だとも言える訳です。とにかくわれわれとしても概略的なデータでもいいから入れて全体システムを出そうと思っています。また、第一期としてはなるべく早くそれを進めていきたいと思っています。

それから、燃焼タービンのシステム選定ですが、これもかなり時間がかかる見通しなのです。システムがキーですから一期の中でやればいいことなのですが、なるべく前倒してやってほしいと思っています。

最後に夢というか、化石燃料のような本質的に生き物の死骸を燃やし続けて人類が生存



外川 守人 主管研究員

(財)エネルギー総合工学研究所WE-NET
センター準備室

していくというのはあまりいいこととは思いませんので、できるだけそのようなものは使わないで、再生可能なエネルギーでいきたいと思えます。このプロジェクトがきちんと立ち上がるようにレールを早く敷きたいと思っています。

司会 次は福田さんをお願いします。

福田 WE-NETを担当してからよく外部の方から「一体何が新しいのですか」と言われるのですね。「水素エネルギーという話はどう何十年も前からいろいろと言われているのではないのですか。WE-NETの話の聞いても、何が新しいのかわからない」と。言い方によっては「何が目玉なのですか」と言われます。一つ一つの要素でいうと、確かにコンセプトはほとんど全部出されていたのですね。相対的に新しいといえば、水素燃焼タービンぐらいかなと思います。そういう意味で、説明に困るんですね。たまたま太田時男先生にお会いした折に、ポルシェ計画という形で水素エネルギー・システムのコンセプトを出したときには、水素を運ぶということが合理的にできるものなのかどうか、長距離の海上輸送などできるのかどうかと、その時そのよ

うな全体システムのフィージビリティまで立ち入った検討はしていなかった。今度のWE-NET構想のなかでは、おそらく準備段階では輸送を中心に現実的な可能性を相当程度検討したという意味では、コンセプトを提案した段階よりずっと進んでいる、という評価をしてくれているのです。

さきに堤先生がおっしゃったように、実際にこれをやってみせるのだという方向で手をつけたということが、定性的に言えば新しさだと思っています。

それから夢の一つ語ると、できれば瀬戸内海でもいいし、東京湾でもいいし、どこかに1平方キロぐらいの公共的性格の島を借りて、そこでとにかく入ってくるエネルギー源としては水素だけですよというような実験をする。燃料電池もタービンも含めて一つのミニ水素エネルギー・システム・アイランドのような実験ができたら、ものすごくインパクトがあるのではないかと思います。要素技術が物理的に隔離していて、あっちに行ったときには電解しか見えない、こっちへ行ったときはタービンしか見えないというのではなくて、1平方キロなり2平方キロぐらいのところに集約してつくってみたいなのというのが私の夢です。

岡野 島でなくてもいいのではないですか。

福田 安全の問題とか何かを考慮して、たぶん一番すっきりいくのではないかという思いつきであって、島でなくても勿論かまわないと思います。

岡野 東京湾をもう少し埋め立てて何とかしようとか、そんなプランもあるわけですよ。そういうところにハイドロジェンアイランドというのを造る。夢があってもいいのではない



高倉 毅 室長

(財)エネルギー総合工学研究所WE-NET)
センター準備室

ですか。燃料電池もその島でどんどん使ったらよい。

司会 折角盛り上がってきたのですが、時間がだいふ過ぎておりますので、最後に吉澤専務に夢と、できればまとめも含めてお願いをしたいと思います。

吉澤 WE-NETプロジェクトのこれから28年間の進め方につきましては、第一期は平成5年度からの4年間とされており、その作業の第一の目的は第二期段階に予定されているパイロットプラント建設構想を明確にすることとされていますので、いま初年度ですが、2年度、3年度へと進むにつれて第二期研究開発段階のイメージが浮かんでくると思っています。

それから、^{ひつきょう}畢竟コストは高いから、少々高くてもこの水素エネルギーが実用面で使われるためには強力な政策的後押しが必要であると考えます。また、同時にこのWE-NETによる水素利用システムというのはいかに魅力があるかということ、国民の前に早い時期に提示する必要があると思われます。そういう意味で、水素燃焼タービンの開発を大車輪で急ぐべきだと思います。水素燃焼タービン

を開発すれば、こういう条件で発電効率60%台、排ガスについても純水が得られることを実証するモデルプラントを早期に提示することが、特に電力業界、都市ガス業界などのエネルギー関係業界において海外の大規模水力開発に立ち上がる気運を引き起こすものになるのではないかと、考えています。

それから、「夢の水素エネルギー」ということから、このプロジェクトは水素エネルギーを実際に使うシステムを提示するところに意義があるといま福田さんからお話がありましたが、まことにそのとおりのと思います。平成2年に「海外クリーンエネルギー輸送技術」という名称でプロジェクトを起こしたときには、水素エネルギーの使い方について示されていたのが横浜国立大学太田時男先生のPOR SHE計画、それから三洋電機(株)桑野幸徳さんのGENESIS構想でありまして、これらの構想がいかに偉大であるかということとは広く認められていたのですが、私はこれらのPOR SHE計画及びGENESIS構想というものを、ただの構想に終らせず何とかこれらを実用化するための現実性のあるプロジェクトとして「海外クリーンエネルギーシステム技術」を考えたということです。

また別の面からは、電気は送電線でしか送れないのだという認識をどうやって覆して、

電力業界の事業活動を本格的に国際的に展開させるかという狙いからもこのプロジェクトを起したということです。

それから、太陽光発電や風力発電はどうしてもわが国では立地条件に恵まれないために経済性が今後とも出ないであろうと考えられますが、海外の立地条件に恵まれたところで大量集中的に太陽光発電や風力発電等を立地すれば安くなると見通されますので、グローバルな見地からこういう新エネルギーの普及も図れるという狙いもございます。

各サブタスク2～9までの受託機関の皆様との係をうまくとりながら、そういう目的でこのWE-NETプロジェクトが今後とも弾力的、かつ情勢の変化に機動的に対応しながら進んでいくことを期待しています。

本日司会を務めて頂いた高倉さんにはWE-NETセンター準備室長ということで、ほんとうに裏方の世話役の業務が多いわけですが、今後ともひとつよろしく願います。

司会 それでは、まとめをしていただいたということで、ちょうど時間もまいりましたので、今日の座談会はこれで終わりにしたいと思います。どうもありがとうございました。

(1994.6.1)

平成6年度電力施設計画の概要

山 本 哲 也^{*}



はじめに

平成6年度電力施設計画は、3月に指定電気事業者15社から、通商産業大臣に届け出が行われた。

本施設計画の概要は、これら15社に加え、公営、共同電力等その他の電気事業者の計画をも含めて、全電気事業者（66事業者）としてとりまとめたものである。今後電力需要が内需を中心とした安定的な経済成長に伴って着実に増加すると見込まれること、さらに、電力が国民生活、産業活動の基盤を支える重要なエネルギーであることに鑑み、当省としては、電力の安定供給を図るため、本施設計画に沿った電源及び送変電等の流通設備の計画的開発が不可欠であると考えている。

1. 需要電力量、最大需要電力及び年負荷率の見通し

今回の施設計画の前提となった、平成15年度までの需要電力量、最大需要電力及び年負荷率の見通しは次の通りである（表一）

(1) 需要電力量

① 平成5年度の日本経済の動向を見る

と、個人消費の低迷や民間設備投資の減少など、循環的な要因やバブルの崩壊の影響に加え、円高等の影響もあって総じて低迷している。

このため、平成5年度の総需要電力量は8,028億 kWh 、対前年比0.6%（気温補正後1.2%）と円高不況に見舞われた昭和61年度の伸び（0.4%、気温補正後1.6%）以来の低いものとなる見込みである。また電気事業用需要電力量についても、7,077億 kWh 、対前年比0.4%（気温補正後1.1%）と低い伸びとなる見込みである。

これは、景気後退による減産の動きを反映して、産業用需要が前年割れとなるとともに、民生用需要においても、消費低迷と冷夏を背景としたエアコンなど家電販売の不振やビル空室率の増加等景気後退の影響により、伸び率が鈍化したことによる。

② 今後の需要電力量については、内需を中心とした安定的な経済成長、経済社会の高度化、国民生活の高度化等を反映して、中長期的には着実に増加していくものと予想されている。

すなわち、電灯需要については、家電

^{*} 通商産業省資源エネルギー庁 公益事業部 開発課 計画班長

機器の省電力化、住宅の断熱化等の進展による減少要因はあるものの、所得水準の向上に伴う住宅の質的向上、アメニティ志向の高まりやライフスタイルの変化による家庭用電気機器の大型化・多様化、冷暖房兼用エアコンの普及拡大等によって堅調な伸びが見込まれる。また、業務用需要については、労働時間の短縮、省エネルギー型ビルの建設等による低下要因はあるものの、サービス経済化・情報化・国際化等の進展、オフィス環境の改善に伴う冷暖房需要の増加、OA化の進展等の増加要因により、堅調な伸びが見込まれる。この結果、民生用需要については、平成4年度から平成15年度まで年平均3.3%の伸びが見込まれている。

一方、産業用需要については、素材型産業が生産の伸び悩みなどにより、現状程度の需要水準で推移するものと見込まれるとともに、機械等の加工組立型産業も従来のような高い伸びは見込めないものの、製品の高付加価値化や合理化・省力化投資などが下支えとなり拡大傾向が

続くものと見込まれることから、平成4年度から平成15年度まで年平均1.1%の伸びが見込まれている。

③ この結果、総需要電力量は、民生用需要の堅調な増加が見込まれるものの、産業用需要の伸び悩みにより、昨年度見通しを下回る伸びとなり、平成4年度の7,978億kWhに対し平成15年度には10,095億kWhとなり、平成4年度からの年平均伸び率は、2.2%となるものと見込まれている。また、このうちの電気事業用需要電力量は、平成15年度は9,035億kWhとなり、平成4年度からの年平均伸び率は、2.3%となるものと見込まれている。なお、平成4年度の高気温の一時的な要因を除いた場合（気温補正後）の年平均伸び率は各々2.1%、2.3%となる。

(2) 最大需要電力

最大需要電力（電気事業用夏季ピーク電力）は、これまで主として民生用需要における冷房機器の普及拡大による夏季需要の増加により需要電力量を上回る伸びを示してきた。

表一 需 要 見 通 し

年 度		平成4年度 (実績)	平成5年度 (推定実績)	平成15年度	平成15/4年度 年平均伸び率%
総需要電力量 (億kWh)		7,978 (1.0)	8,028 (0.6)	10,095	2.2 [2.1]
電 気 事 業 用	需要電力量 (億kWh)	7,048 (9.9)	7,077 (0.4)	9,035	2.3 [2.3]
	最大需要電力 (万kW)	15,086 (2.6)	14,377 (▲4.7)	19,175	2.2 [2.4]
	年 負 荷 率 (%)	56.6 [57.7]	59.5 [56.8]	57.0	—

(注) 1. 平成4、5年度の()内は対前年度伸び率(%)

2. 年平均伸び率及び年負荷率の欄の[]内は気温補正後の数値

平成5年度の最大需要電力は、景気の低迷による産業需要の減少に加え、記録的な冷夏・長雨による民生用冷房空調機器の低稼働が重なったため、昭和57年度以来11年ぶりに4.7%の大幅な減少となった。

今後については、引き続き冷房機器の普及拡大が見込まれるほか、サービス経済化の進展による業務用電力の増加、産業用需要においても機械等の昼間操業型業種の増加等が予想されることなどにより、需要電力量とほぼ同程度の伸びが見込まれている。

この結果、最大需要電力は、平成4年度の1億5,086万kWに対し、平成15年度には1億9,175万kWとなり、平成4年度からの年平均伸び率は2.2%と見込まれる。なお、平成4年度の気温補正後からの年平均伸び率は2.4%となる

(3) 年負荷率

年負荷率は、冷房需要の増加等を背景に経年的に緩やかな低下傾向にある。今後については、ヒートポンプ暖房需要の増加、情報化、国際化の進展を背景とする長時間稼働型ビルの増加、深夜電力、蓄熱式ヒートポンプの普及拡大、及び夏季ピーク時の需要を他の時期・時間帯にシフトすることなどを目的とする需給調整契約の拡充等の負荷平準化対策の推進等による改善が期待される。しかしながら、アメニティ志向の高まりによる冷房空調需要の増大、負荷率の低い業務用電力の比率の上昇、負荷率の高い素材型産業の比率の低下等の低下要因が見込まれるため、年負荷率は中長期的には今後も穏やかな低下傾向が続くものと予想される。

この結果、平成4年度の年負荷率56.6%に

対し、平成15年度においては57.0%と改善するものと見込まれているが、平成4年度の気温補正後の年負荷率57.7%に対しては0.7ポイント低下する見通しである。こうした年負荷率の低下は、最大需要電力の増加、それに対応した電源設備の開発が必要になるとともに、電源設備の利用効率の低下をもたらし、ひいては供給コストの上昇につながるため、負荷平準化対策を従来にも増して積極的に推進していく必要がある。

(注：年負荷率は、最大需要電力に対する年平均需要電力量の比率をいい、夏季ピークが大きくなるに伴い、年負荷率は小さい値となる。)

2. 電源開発計画と需要バランス

電力は、需要に応じ安定的に供給する必要がある、かつ、貯蔵することができないという特性を有しているため、常に最大需要電力の増加に対応し得よう電源設備を計画的に開発していく必要がある。電源設備の開発にあたっては、認可出力から定期検査、水力発電の出力減少等を控除したうえで、異常気象、景気変動等の予期し得ない事態が発生した場合においても電力を安定的に供給することができるように、想定されうる最大需要電力に対して一定の予備力を加えた供給力を確保する必要がある。また、近年著しくなってきた地域的な需給構造の差異等に鑑み、全国的な視野から、広域開発、広域融通が検討され、各社の計画に反映されている。

こうした観点から、各社は、電力の安定供給を図るため、平成6年度に、42基2,161万kW（水力622万kW、火力1,039万kW、原子力501万kW）、平成7年度に、63基2,517万kW（水力353万kW、火力1,405万kW、原子力759万kW）の電

源を電源開発調整審議会に上程することを計画している。(表一3)

この中で本計画で新たに上程することとなった原子力発電所として表一2に示す地点が計画されている。

また、現在建設中の電源84基2,885万kWについては、引き続き円滑な建設を進めるとともに、電源開発調整審議会通過後未着工の地点(着工準備中地点)52基1,237万kWについても計画的に着工を目指すこととしている。(表一3)

今後とも、将来の電力の安定供給確保の観点から、平成8年度以降着手が予定されてい

る電源も含め、電源開発を計画的に遂行する必要がある。

3. 電源多様化の推進

本計画が実施された場合の平成15年度末の発電設備の構成は表一4、図一1に、発電電力量の構成は図一1に示すとおりである。

電源構成は、非化石エネルギーの中核として原子力の開発を推進するとともに、電源の多様化の観点から、原子力に加え、石炭火力、LNG火力、水力(一般及び揚水)等についてバランスのとれた開発をすることとなって

表一2 新たに電調審上程が計画された主要な原子力地点

・中部電力(株)浜岡原子力5号(135万kW)	(平成7年度上程)
-------------------------	-----------

表一3 電源開発計画(全電気事業)

(単位:万kW)

	建設中	着工準備中	6年度 電調審上程	7年度 電調審上程
水 力	532(39)	209(24)	622(20)	353(28)
一 般	28(32)	17(21)	6(16)	53(26)
揚 水	504(7)	192(3)	616(3)	300(2)
火 力	1,683(39)	862(26)	1,039(17)	1,405(29)
石 炭	704(10)	820(10)	286(4)	584(9)
L N G	897(13)	32(3)	749(5)	817(9)
地 熱	15(3)	6(2)	3(1)	—(—)
L P G	—(—)	—(—)	—(—)	—(—)
歴青質混合物・ 廃 棄 物	35(1) —(—)	—(—) 3(1)	—(—) —(—)	—(—) —(—)
石 油 等 (内燃力を除く)	32(12) 29(2)	2(10) —(—)	1(7) —(—)	4(11) —(—)
原 子 力	671(6)	165(2)	501(5)	759(6)
合 計	2,885(84)	1,237(52)	2,161(42)	2,517(63)

(注) 1. ()内は基数を示す。但し、水力については地点数による。

2. 四捨五入のため、合計値は合わないことがある。

いる。また、石炭火力、LNG火力については、地球環境問題への対応及び省エネルギーの推進の観点から、高効率発電方式を採用し、発電効率の向上に努めることとしている。さらに、我が国の国産エネルギーである一般水力及び地熱発電についても、着実な開発を進めることとしている。

当省としては、かねてから電源の多様化を実現すべく電気事業者を指導しているところであり、本計画どおり、原子力、石炭火力、LNG火力を中心とする石油代替電源の開発が着実に進むことが期待される。なお、分散

型電源（燃料電池、太陽電池、風力）については、現在、電力会社において鋭意各種の実証試験、技術開発が行われているところであり、今後電気事業用電源としての技術的信頼性の確保、経済性の向上等が図られることにより施設計画に盛り込まれることとなっている。

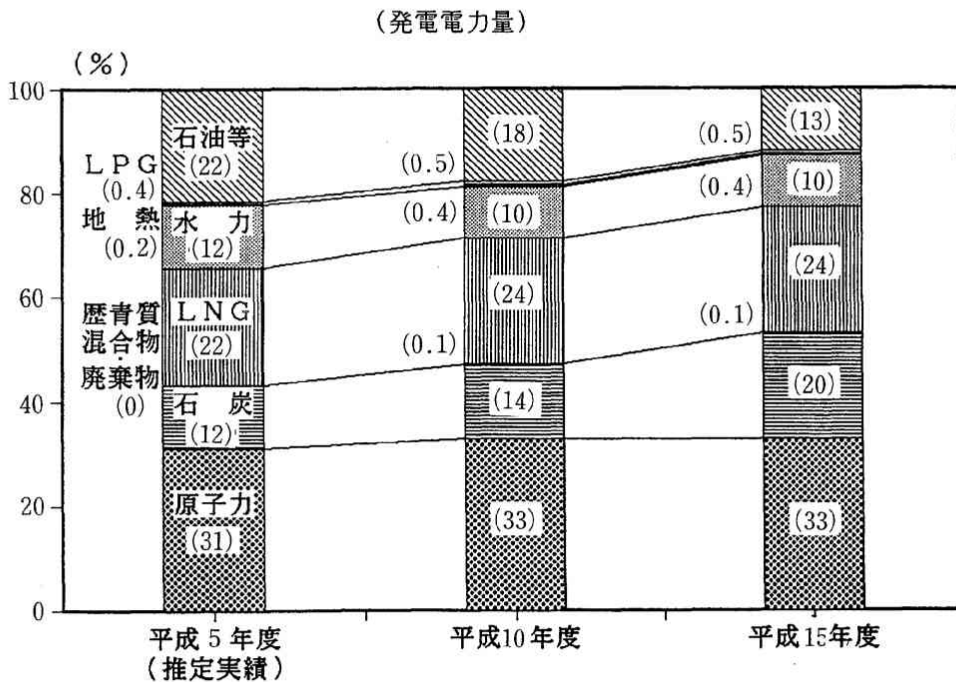
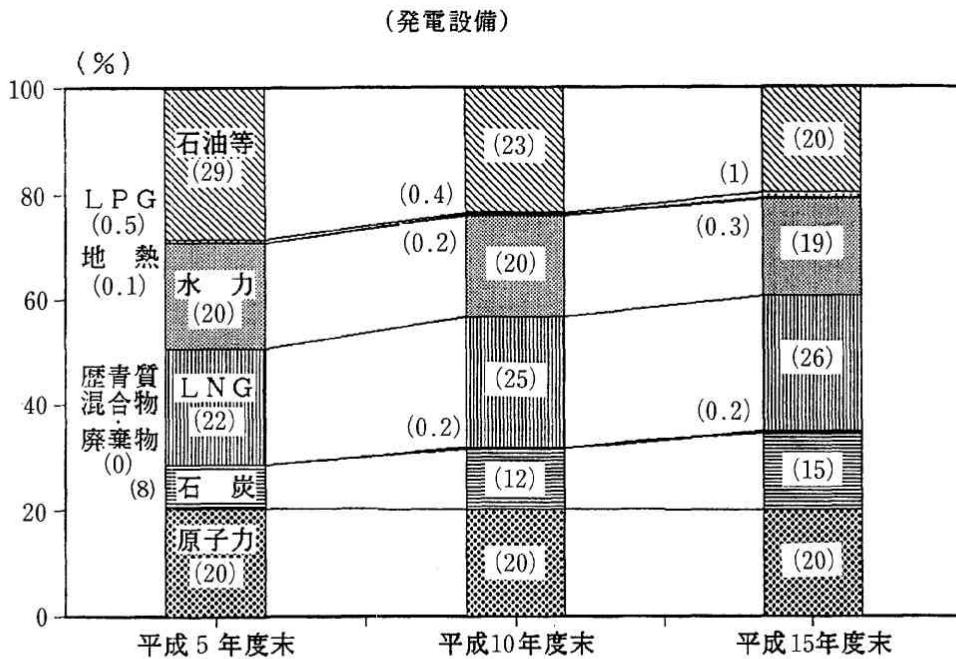
本計画に盛り込まれた電源開発計画の実現にあたっては、近年国際的議論が盛んな地球環境問題への対応にも配慮しつつ、国民の理解と協力を得ながら、電源立地対策等の各般の施策を講じていく必要がある。

表一４ 年 度 末 電 源 構 成

(単位：万kW, %)

電 源	年 度	平成５年度末		平成１０年度末		平成１５年度末	
		(実績)	構成比		構成比		構成比
水	力	3,859	20.3	4,393	19.6	4,995	18.7
一	般	1,965	10.3	2,003	8.9	2,162	8.1
揚	水	1,894	9.9	2,390	10.7	2,832	10.6
火	力	11,346	59.6	13,535	60.3	16,406	61.5
石	炭	1,597	8.4	2,606	11.6	3,997	15.0
L	N G	4,173	21.9	5,505	24.5	6,815	25.6
地	熱	26	0.1	50	0.2	80	0.3
L	P G	100	0.5	100	0.4	268	1.0
歴青質混合物・		0	0.0	51	0.2	51	0.2
廃 棄 物		0	0.0	3	0.0	3	0.0
石	油 等	5,450	28.6	5,222	23.3	5,194	19.5
原	子 力	3,838	20.2	4,508	20.1	5,275	19.8
合	計	19,043	100.0	22,437	100.0	26,676	100.0

- (注) 1. 自家用発電施設を除く。
 2. 石炭、LNG及び歴青質混合物には石油混焼プラントも含む。
 3. LNGには天然ガスも含む。
 4. 四捨五入のため、合計値は合わないことがある。



図一1 年度末発電設備及び発電電力量の構成

4. 送変電設備の増強

今後見込まれている電力需要の増加に対応

するとともに、系統電圧の安定化等供給信頼度の一層の向上を図るため、広域運営の進展にも鑑み、送変電設備についても基幹系統等

の一層の強化、拡充が図られる計画となっている。

このうち、送電設備については、送電ロスの少ない超高压送電線（18.7～50万V）の整備が重点的に行われることとなっている。また、これに合わせて50万Vの変電設備の整備も進められる計画となっている。

この結果、平成6年度末の架空線亘長は80,544kmに、変電所設備容量は63,647万kVAになるものと見込まれる。（表－5）

5. 広域運営の推進

電力需給の地域間アンバランスの増大という状況を踏まえ、従来の突発的需給変動リスクへの対応及び経済性確保の観点だけではなく、電気事業者全体による長期的供給力の確保という観点から広域電源開発、広域融通等の広域運営を一層強力に推進することが必要である。

このため、既に記した電源開発計画及び送変電設備の増強の中でこれらが盛り込まれて

表－5 送変電設備増強計画（9電力、沖縄、電源開発）

（単位：km、万kVA）

			平成5年度末設備 (推定実績)	平成6年度末設備	伸び率 (%)
送電線 亘長	架空線	50万V	5,156(6.5)	5,368(6.7)	4.1
		18.7～27.5万V	14,108(17.6)	14,021(17.4)	▲ 0.6
		15.4万V以下	60,677(75.9)	61,155(75.9)	0.8
		計	79,940(100.0)	80,544(100.0)	0.8
	地中線	18.7～27.5万V	398(4.5)	428(4.7)	7.6
		15.4万V以下	8,533(95.5)	8,778(95.3)	2.9
		計	8,931(100.0)	9,206(100.0)	3.1
変電所	変電設備 容量	50万V	14,799(23.8)	15,099(23.7)	2.0
		18.7～27.5万V	16,731(26.9)	17,461(26.8)	1.9
		15.4万V以下	30,663(49.3)	31,502(49.5)	2.7
		計	62,194(100.0)	63,647(100.0)	2.3

（注）1. 電圧は使用電圧による。

2. () は全亘長又は全変電所設備容量に占める割合。

いるところである。広域電源については、今年度以降10年間に開発するものは、既に計画済みのものに加え、新たに磯子火力新1号等が計上され、合計で659万kWが開発される計画となっている（表－6－1）。

これらの供給力を原資として、9電力会社間の広域融通電力は、平成6年度427万kW、平

成15年度838万kWが計画されている。

また、広域連系については、今後の電力需給の地域間のアンバランスへの対応という観点から計画的かつ強力に推進されることとなっており、既に計画済みのものに加え、今般新たに（表－6－2）に示す連系強化策が計画されている。また、50Hz/60Hzの異周波

数間の連系強化策として周波数変換設備の増強について早急に計画の具体化を図ることとしており、さらに将来の増強についても検討が進められるとともに、それに伴い必要となる関連の交流系統の増強についても調査が進められることとなっている。

6. 設備投資計画

以上の計画の推進に必要とされる平成6年

度の設備投資額は、全電気事業者総額で約5兆4,676億円と見込まれている。このうち、10電力会社の設備投資額は、表一7に示すとおり、5兆439億円で、平成5年度実績見込み5兆203億円に比し、0.5%増となっており、今後の電力需要増に対応した設備投資により、過去最高の投資水準となる。

表一6-1 本計画に盛り込まれている主要な広域開発電源

・ 電源開発(株)橘湾火力1, 2号 (105万kW×2基)	(平成12年度)
・ 同 社 松浦火力2号 (100万kW)	(平成9年度)
・ 同 社 大間原子力 (60.6万kW)	(平成14年度)
・ 同 社 磯子火力新1号 (60万kW)	(平成13年度)
・ 相馬共同火力(株)新地1, 2号 (100万kW×2基)	(平成6年度, 7年度)

表一6-2 今般新たに計画された連系強化策

・ 関西・中国新連系線新設及び関連系統の新設	(平成13年度)
・ 阿南紀北直流幹線の新設 (直流±25万V)	(平成12年度)

表一7 設備投資計画 (10電力会社)

(単位: 億円)

年度 部門	平成4年度 (実績)	平成5年度 (推定実績)	平成6年度
電 源	13,575 (6.3)	14,800 (9.0)	14,712 (▲0.6)
非電源	32,419 (9.7)	35,404 (9.2)	35,727 (0.9)
計	45,994 (8.7)	50,203 (9.2)	50,439 (0.5)

- (注) 1. () 内は対前年度伸び率 (%) である。
2. 四捨五入のため、合計値は合わないことがある。

環境調和型エネルギーコミュニティ調査 (大規模コージェネレーションシステム)

佃

豊*



1. はじめに

わが国の最近のエネルギー消費量は、景気後退の影響を受け、産業部門の伸びは、低くとどまっているものの、国民生活の向上による生活面でのアメニティ志向により民生部門、及び運輸部門においては高い伸びを示している。

今後国民のアメニティ志向の高まりとともに、ますます民生用のエネルギー需要は増大することが予測されており、今後の省エネルギー、環境の維持のほか、都市のセキュリティ確保の点からも都市のエネルギーインフラの構築が課題になっている。

この課題の解決には、欧米先進諸国で行われているような大規模コージェネレーション、未利用エネルギー等を組み込んだ地域熱供給システムを導入するといった大胆な発想の転換が求められている。

このため、本調査では大都市部のモデル地域における省エネルギー型供給システム導入の可能性やその効果について調査し、それを実現可能ならしめるための条件や制度等の影響度について検討をおこなったものである。

2. 調査目的、調査方法等

2.1 調査目的

本調査における検討では、省エネ型エネルギー供給システムの整備に係り、都市計画上、通常問題指摘のされる外部要因（制度的環境等）について、その影響度をある程度定量的に示すことを目的として、その方法の一つであるシステム設計手法の検討、評価を行うと共に各要因の把握に際しては、既成の法体系の是非を直接的に議論することは目的とせず、システム整備側の論理が荒唐無稽にならぬよう、諸法の法益をチェック要因として考慮するにとどめるものとする。

都市計画上の外部要因

1. 配管敷設に係わる制度等の影響
2. 施設設置制度（都市計画法等）のシステムに与える影響
3. 建物用途、面積等（容積率）が事業性に与える影響
4. 余剰電力の取扱いが事業性、省エネルギー性に与える影響
5. システム整備と NO_x 等大気汚染防止法等の関係
6. 緑地、透水性舗装等の整備が同時に行

※ （財）エネルギー総合工学研究所プロジェクト試験研究部部長（副主席研究員）

われた場合の省エネ性等に与える影響

7. 燃料系統における取扱の影響
8. 地方自治体の役割 等

3. 大規模コージェネレーションシステム（大規模CGES）・モデル調査

3.1 モデルエリア設定

モデルエリアの設定に関しては、近い将来において、自治体等が都市開発計画を検討しているエリアを参考とし、都市計画上の熟度、大規模な熱需要を想定できる事により、大規模CGES導入の可能性があること、未利用エネルギー等の有効利用によりエネルギー供給システムの効率化が図られるエリアであるなどについて考慮を行い、規模、地域特性、エネルギー需要特性の異なる二つのモデルエリアを想定した。

3.2 モデルエリアの条件設定

1. モデルエリアの供給敷地面積、用途別延床面積、概略敷地形状は、図(1)及び表(1)

表(1) モデルエリアの供給敷地面積、用途別延床面積

	エリア (A)	エリア (B)
供給敷地面積	19 ha	65 ha
用途別延床面積	58万㎡	145万㎡(94万㎡, 住宅無し)
構成比率の特徴	業務、商業以外に 娯楽施設、ホテル が多い	業務、商業以外に 住宅の占める割合 (35%)が大きい

2. エネルギー需要量

	エリア (A)		エリア (B)	
	ピーク需要	年間需要	ピーク需要	年間需要
電力	29,500kW	81,960MWh	46,400kW	158,340MWh
冷熱	51,800Mcal/h (17,100 RT)	40,900 Gcal	69,300Mcal/h (22,900 RT)	93,100 Gcal
温熱	51,400Mcal/h	31,000 Gcal	54,400Mcal/h	73,700 Gcal

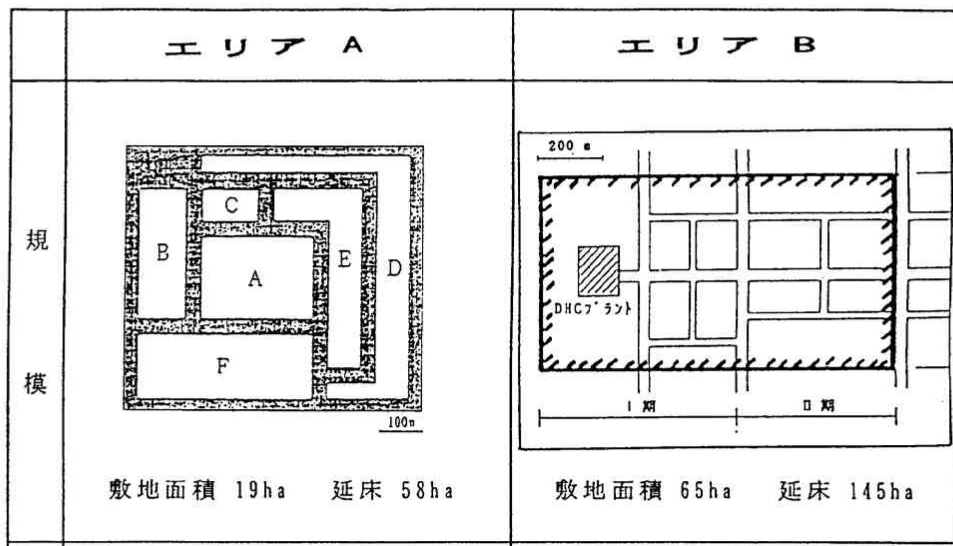
参考：日本の平均的地域冷暖房年間熱需要
36,700 Gcal/年、敷地面積30.3ha)

に示す。

3.3 シミュレーション 条件設定

3.3.1 シミュレーションフロー

本ケーススタディでは、モデルエリアのエネルギー需要パターン及びピーク需要より、図1に基づいて、シミュレーションを



図(1) モデルエリア概略敷地形状

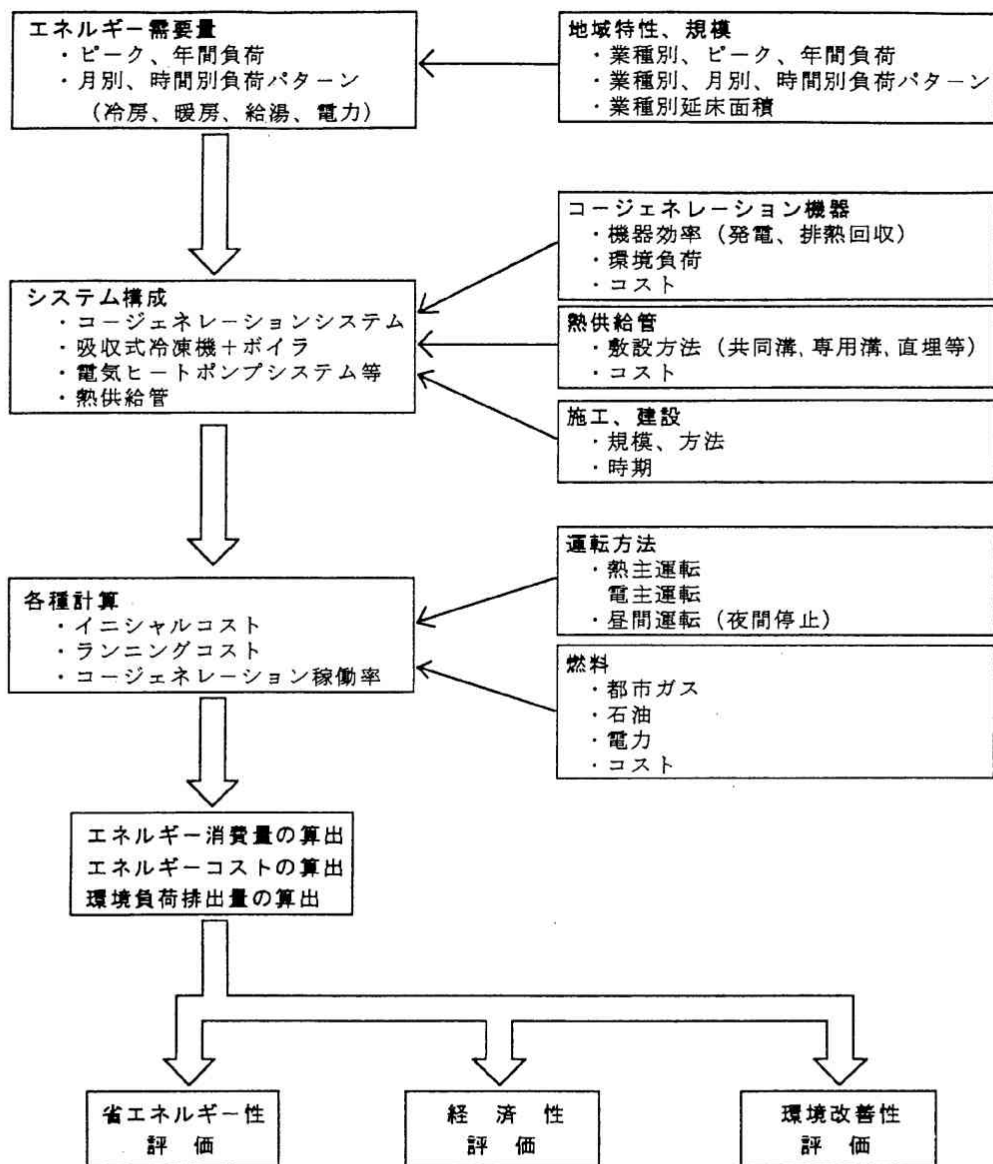


図1 シミュレーションフロー

おこなう。

3.3.2 システム構成

システム構成として、大規模コージェネレーションを用いた地域冷暖房システムと、比較対象として従来型の地域冷暖房システム(従来型DHC)を想定する。システム構成は図2に示す。

1. 大規模CGES……ガスタービン発電

機+蒸気ボイラ+吸収式冷凍機による構成とし、発生電力は熱供給プラント動力に利用されるほか、余剰分は、電力会社に逆潮流する。

2. 従来型DHC……エネルギープラントに蒸気ボイラ+吸収式冷凍機による構成とし、温熱、冷熱を供給する。地域内の電力は商用系統から供給される。

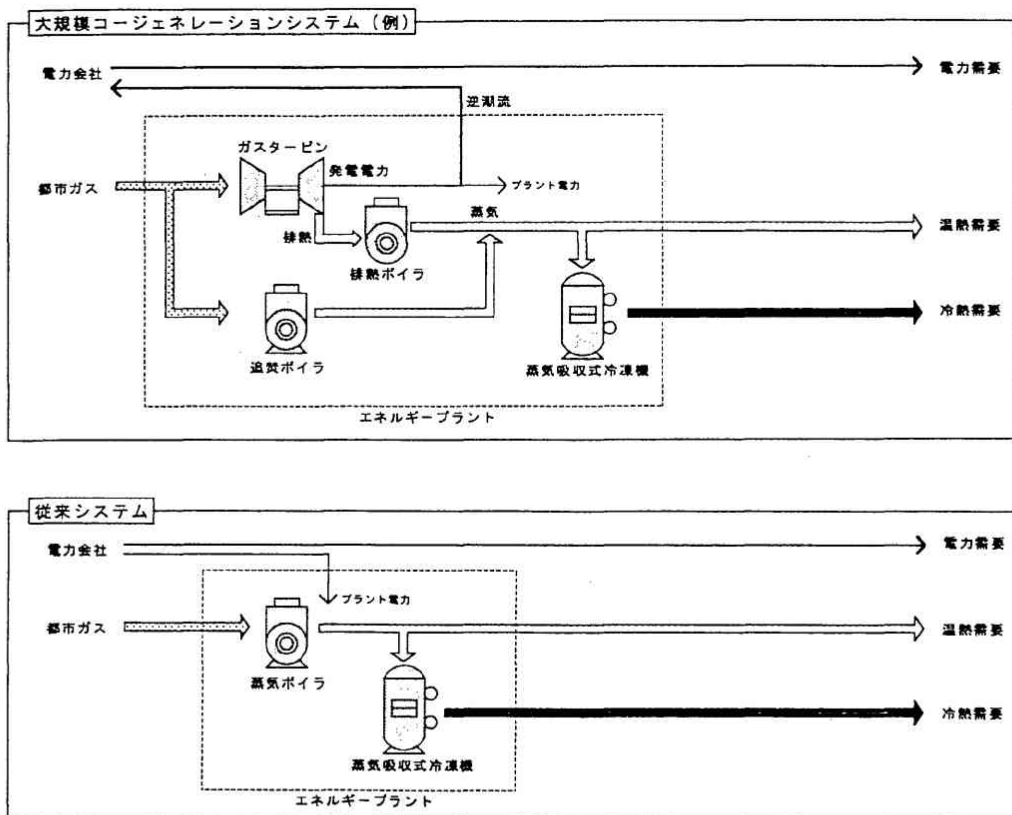


図 2 システム構成図

3.3.3 運転方法

地域熱需要に合わせて発電機を熱主体運転とし、熱不足の場合は、蒸気ボイラにより賄う。発生電力については、プラント内部で必要な電力を除いて、電力会社に逆潮流する。

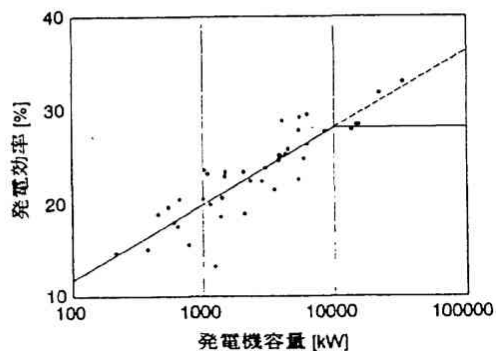


図 3-1 ガスタービン発電効率

3.3.4 機器特性

各種機器の効率等の原単位は図 (3-1, 3-2) に示す。5,000kW以上は台数分割を行う。

3.3.5 各種費用

エネルギーコスト、機器コストを表 1 に示す。

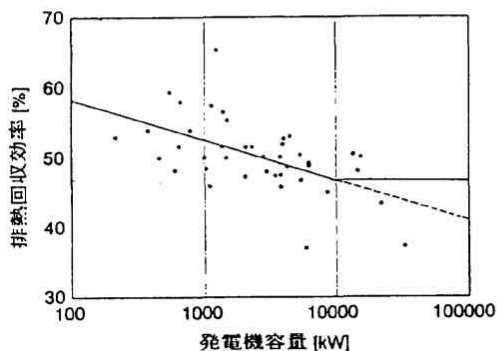


図 3-2 ガスタービン排熱回収効率

表 1 エネルギー・機器コスト

	電 力	都 市 ガ ス
種 別	特別高圧電力 (60 k V)	空調用B契約
基本料金		
(夏季)	1,550 円/kW・月	45,000 円/月
(冬季)		56,000 円/月
流量基本料金		
(夏季)	——	330 円/m ³ /h・月
(冬季)	——	2,780 円/m ³ /h・月
従量料金		
夏季	10.78 円/kWh	27.92 円/m ³
その他季	9.80 円/kWh	
その他	1. 逆潮流電力単価 昼間 12.50 円/kWh 夜間 4.20 円/kWh 2. 上水道料金 基本料金 393,600 円/月 (200A) 従量料金 360 円/m ³ 3. 下水道料金 従量料金 285 円/m ³ (水量は上水量の30%とする)	

機器コスト

機 器 名 称	機 器 容 量	機 器 単 価
1. 吸収式冷凍機	4,000 USRT程度	130 千円/USRT
	2,500 USRT程度	140 千円/USRT
	200 USRT程度	190 千円/USRT
2. 蒸気ボイラ	25.0 t/h程度	10,000 千円/t
	12.5 t/h程度	12,000 千円/t
3. ガスタービン型発電機	10,000 kW程度	180 千円/kW
	5,000 kW程度	200 千円/kW

す。エリア (A), (B) それぞれの電力, ガス料金は大阪, 東京地区管轄の電気, ガス会社の料金として設定する。

3.4 影響度定量評価

3.4.1 エネルギーバランスの検討

1. 年間エネルギーバランス

2. コージェネに関する諸量（稼働率，熱依存率，逆潮流）

3.4.2 省エネルギー性の評価

・省エネ性の評価にあたっては，電力，都市ガス共，一次エネルギー量に換算後に行う。

一次エネルギー換算係数

都市ガス	9930/9940 kcal/Nm ²	エリア(A)／エリア(B)
電気会社	2450 kcal/kWh	供給端熱効率35.1%より算出

・省エネ性の評価式

$$\text{省エネルギー率} = \frac{(\text{従来システム}) - (\text{コージェネレーションシステム})}{\text{従来システム}}$$

供給区域内の電力及び熱需要に必要なエネルギーを一次エネルギー量として算出し，上記の式に基づき評価する。

3.4.3 経済性の評価

経済性の評価手法として，一般的には熱供給事業者から見た地域内に供給される熱単価が採用される。実際の熱料金は事業収支計画等に基づき算出されるが，簡易的に経済性の傾向をマクロに評価するために下記の熱単価，又は総経費の指標を用いる。

(手法1)

$$\text{熱単価1} = \frac{(\text{電力料金} + \text{ガス料金}) - (\text{売電収入})}{\text{年間熱供給量}} \quad (\text{円/Mcal})$$

$$\text{熱単価2} = \frac{\text{年間固定費} \left(\begin{array}{l} \text{原価償却費, 金利} \\ \text{維持修理費等} \end{array} \right)}{\text{年間熱供給量}} \quad (\text{円/Mcal})$$

(手法2) 総経費＝比例費＋固定費－売電収入 (円/年)

3.4.4 環境性の評価

環境性の評価の条件については，様々な評価項目があるが，評価指標として窒素酸化物(NO_x)，及び二酸化炭素(CO₂)排出量を採用する。CO₂，NO_x排出量を排出する機器として，コージェネレーション，蒸気ボイラの他，

電力会社の発電所があげられる。コージェネレーション発電電力の電力会社への逆潮流分は，電力会社の発電を削減するものとして，火力発電所の排出原単位で換算する。

3.5 大規模CGES導入の効果

……従来型DHCと比較して……

3.5.1 省エネルギー性の評価

年間エネルギーバランス，省エネ率を図(4-1, 4-2)に示す。

両エリアともそれぞれ発電機容量の増加(エリア(A) 10,000kW，エリア

(B) 20,000kW)に対してほぼ比例して省エネルギー率が高くなるものの，以降緩やかになり，20,000kW，(40,000kW)以上では省エネ率は一定(16%，[19%])となる。

発電機容量増加に対して省エネ率が一定となる原因は発電機の稼働率の低下とコージェネ排熱依存率がほぼ飽和状態となるためである。

3.5.2 経済性の評価

例としてエリア(B)の経済性の結果を，図5に示す。

(1) 両エリアともそれぞれ，熱単価(1+2)の上昇傾向については同様なパターンを示しており発電機容量が(10,000kW[20,000kW])の場合，最

も経済性が良くなり，それ以上の容量では単調に増加傾向となる。

(2) 発電機容量が(10,000kW[20,000kW])までは，従来DHCシステムの熱単価とほぼ同じ経済性であるが，それ以上では経済性は悪くなる。コストがこのよ

うな推移をたどるのは、ある容量以上ではランニングの削減メリットよりイニシャルコストの負担が大きくなることによる。経済性の最適点と省エネ性の最大点とは一致しない。

3.5.3 環境性の評価

例として CO₂ 排出量, NO_x 排出量を,

図 (6-1, 6-2) に示す。

(1) CO₂ の排出量については、コージェネレーションシステムの導入により従来DHより減少することが予想される。エリア(A), (B)について同様な減少傾向を示し発電機容量が、20,000kW(40,000kW)の時には、約10%の減少となる。

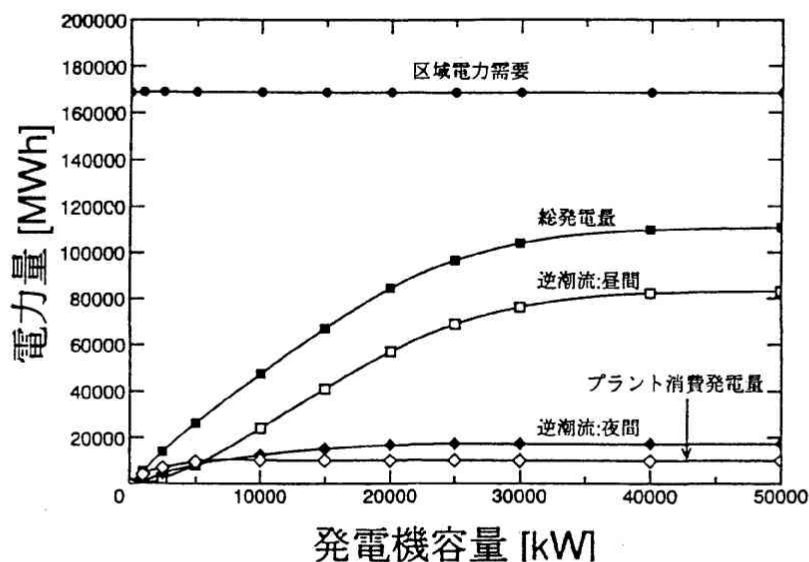


図 4-1 年間エネルギーバランス

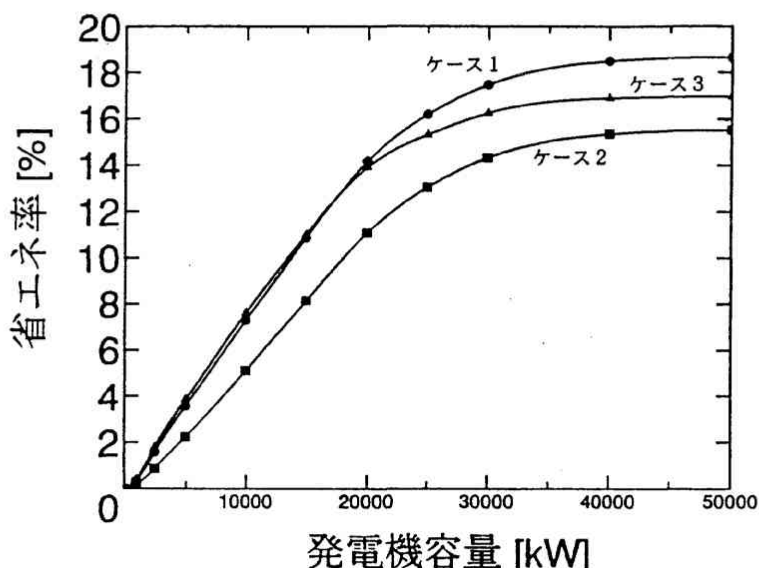


図 4-2 省エネルギー率

(2) NO_x の排出量については、現状規制値レベルである排ガス NO_x 濃度50ppmでは、従来システムよりやや増加する事が予想される。排ガス NO_x 濃度を40ppmまで脱硝効率を上げた場合、 NO_x の排出量は従来システムと同レベルとする事が

出来る。

3.5.4 考察

代表モデルエリアで設定したようなエネルギー需要特性やエネルギー需要量が想定出来き、制度面等の制約がなければ、適切なシステム、発電機容量を選択する

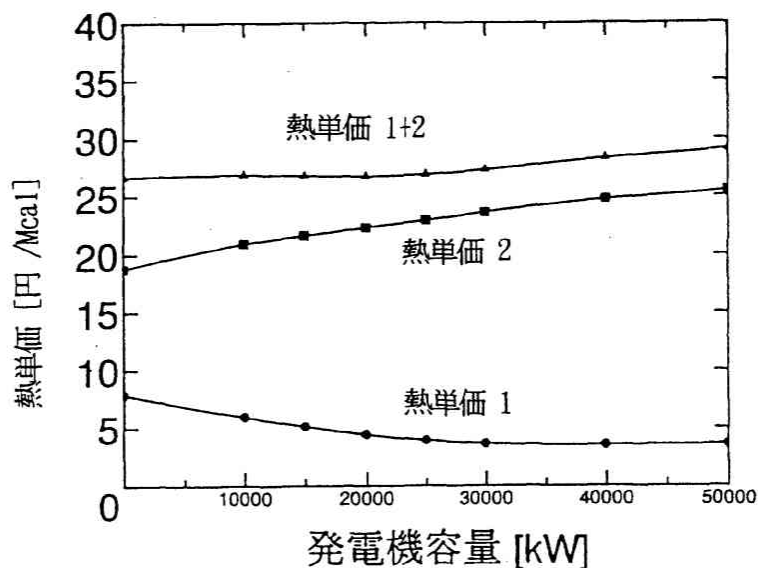


図 5 熱単価

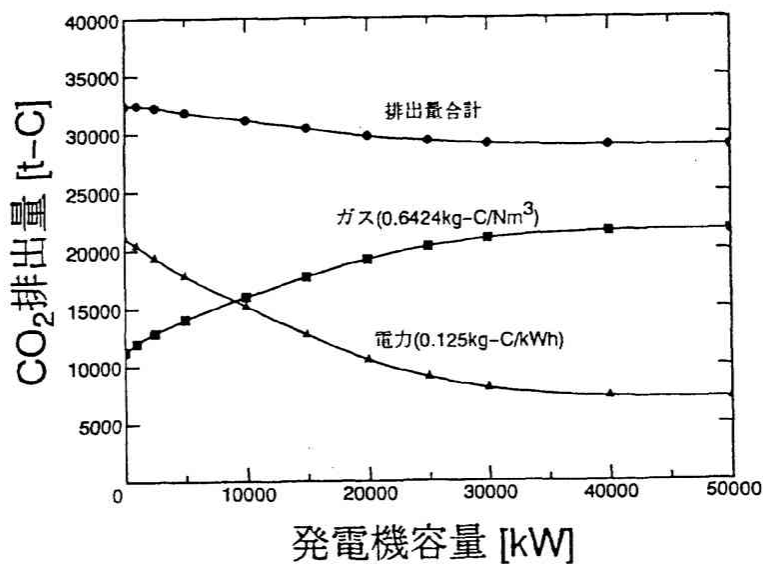


図 6-1 二酸化炭素 (CO_2) 排出量

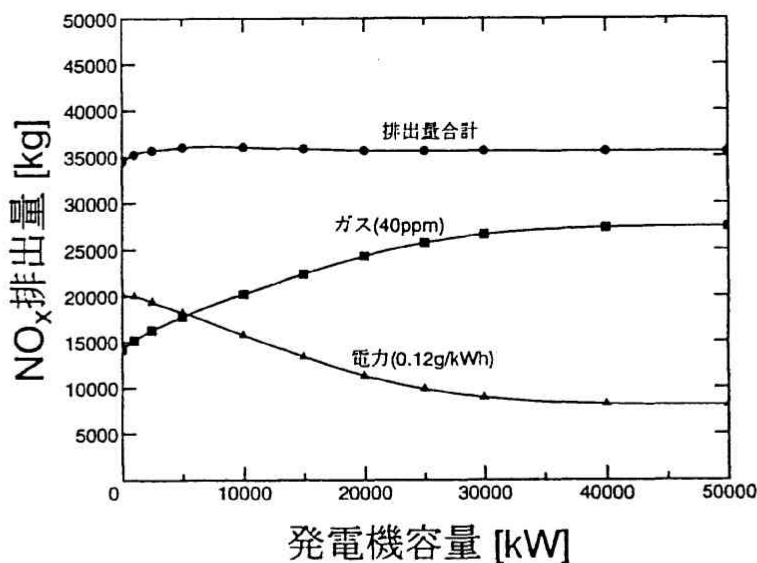


図 6-2 窒素酸化物 (NO_x) 排出量

ことにより省エネ性、環境性に優れ経済性はほぼ同等であるシステムを構築できる可能性がある。

4. 都市計画上の外部要因（制度的環境等）による影響度調査

4.1 配管敷設に係る制度等の影響

4.1.1 背景

道路法第36条には、水道、電気、ガス事業等のために道路占有特例があり、各事業者が自治体等の道路占有基準に合致した申請を行った場合、道路管理者は占有許可を与えなければならないと定められている。しかし、地域冷暖房施設はこの特例の対象となっていないため、道路部分以外に配管を敷設しなければならないことがあり得る。従って道路占有許可が得られなかった場合の次のケースについて経済性に与える影響を検討した。併せて配管敷設に係る制度等の影響や敷設方式の違い、即ち専用溝方式(市街地、更地)、直接埋設方式(更地)

による影響を検討した。

4.1.2 検討内容

(1) 道路占有許可が得られる場合と道路占有許可が得られない場合の比較

① 配管敷設ルートを迂回させるケース

② プラント分割のケース

(2) 配管敷設方式の違い

① 専用溝方式（市街地）ケース

② 専用溝方式（更地）ケース

③ 直埋方式（更地）ケース

4.1.3 検討結果、評価

(1) 道路占有許可が得られる場合と得られない場合との比較

① プラント分割のケースに於いて、設置する発電機の容量が小さくなるため発電機単機の効率が低下し、省エネルギー性、経済性に影響を与える。

② 迂回、分割ケースとも、建設費に占める配管敷設コストの比率が大きく

なるとかなり事業性に影響を与える。
(影響度迂回ケース 2 ~ 5 円/Mcal,
分割ケース 0.8 ~ 5.6 円/Mcal)

(2) 配管敷設方式の違いによる影響

① 配管敷設方式の違いによる建設費、熱単価(2)を図(7-1, 7-2-1, 7-2-2)に示す。

② 事業性に与える影響度としては、

配管敷設方式の違いによる影響のほ
うが、道路占有許可が得られない場
合の影響よりも大きい。特に市街地
での推進工法(ケース1)と開削工
法(ケース2)の違いによる影響が
大きい。(影響度 6 ~ 7 円/Mcal)

4.1.4 課題

環境調和型エネルギーコミュニティを構

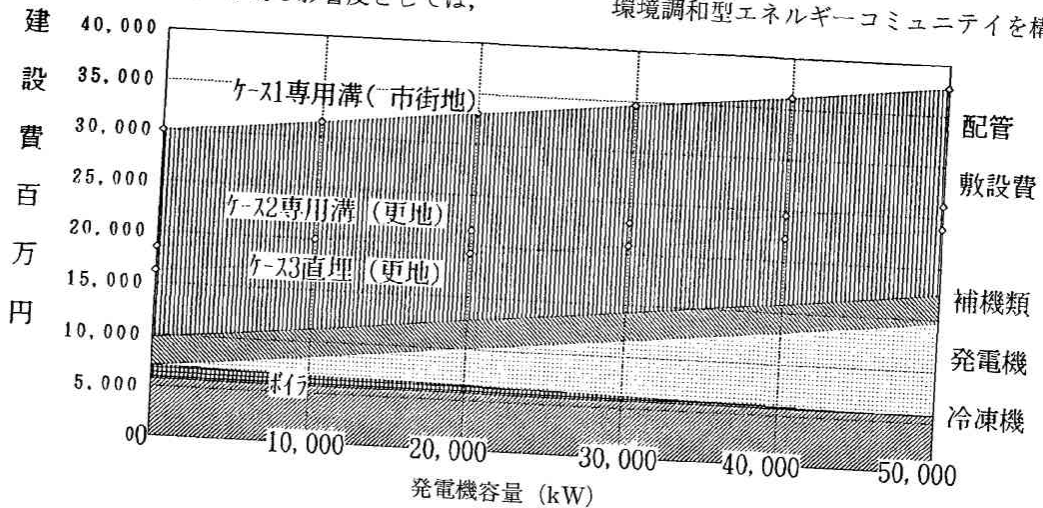


図 7-1 配管敷設工法差による経済性 (建設費)

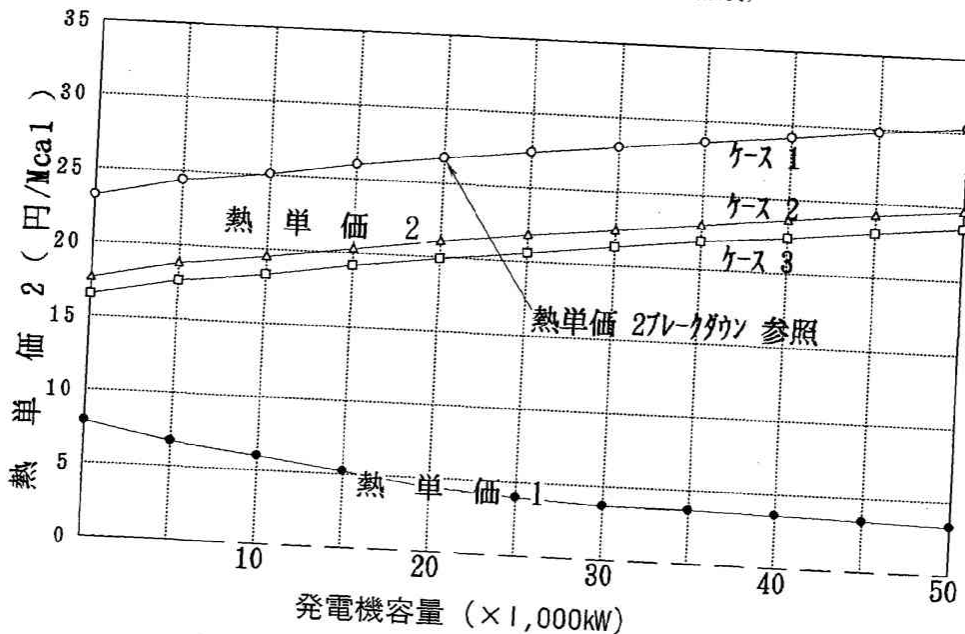


図 7-2-1 配管敷設工法差による経済性 (熱単価2)

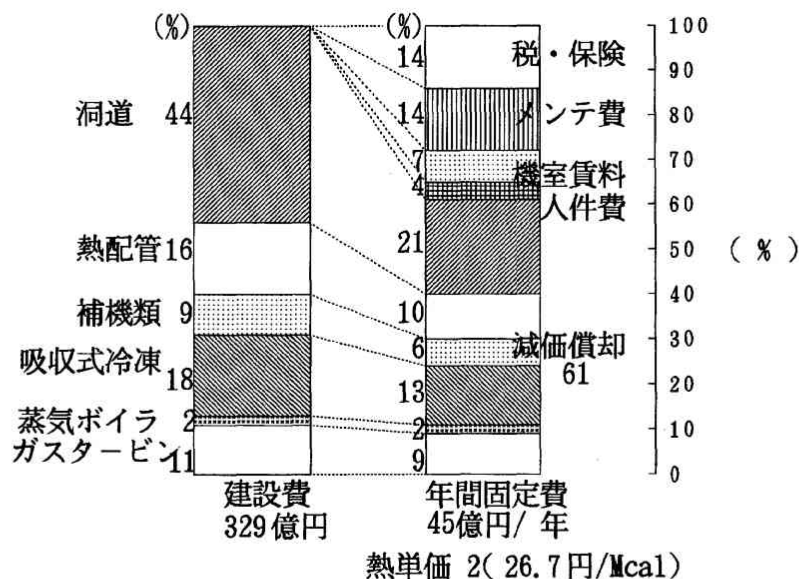


図 7-2-2 熱単価 2 ブレークダウン例(ケース 1, 発電容量 20,000kW)

成する上での熱供給のための配管敷設は不可欠のものであり、この配管敷設費用の低減を図ることが経済性上最も重要な要素となる。対応策として下記の事が考えられる。

(1) 配管敷設が開削工法でできる。……

現実には臨海副都心地区、MM21地区、幕張地区等のように更地での建設または再開発事業で当初から配管敷設計画がなされている場合であれば可能であるが現状の既存の市街地においてはこの工法の採用は不可能に近い。

(2) エネルギー供給媒体を変える……熱

供給媒体としては、冷水、温水、蒸気、電力の順にコストが安くなると考えられるため、システム自体を検討する。

(3) 共同溝により負担を低減する。……

現状では、臨海副都心地区、千葉ニュータウン地区、関西国際空港地区等しか実例がなく、これらは全てインフラ設備が新設される場合であり事業自体が特殊である。このことは、共同溝を

促進する制度、費用負担の按分に関する取決め等がないことが原因であると推測される。

(4) 配管敷設費に対する補助……配管敷設の経済性に与える影響は大きいので都市計画の全体の中で関連法規制の円滑運用、タイムリーな配管敷設に対する指導とともに適切なる補助が必要である。

4.2 施設設置制限(都市計画法等)のシステムに与える影響

この制限のシステムに与える影響は、4.1 配管敷設に係る制度等の影響の項の配管敷設ルートを迂回させたり、プラントの分割のケースと同じ状況となる。

4.2.1 課題

熱供給施設は、その他の供給施設として位置付けられているが、都市計画決定を受けた後でなければ、都市施設として認められない。そのため、次の課題が生じる。

- (1) 都市計画決定を受ける必要があり、手続き上の煩雑さがある。
- (2) 都市計画決定を受けることが熱供給配管の道路占有許可の条件としている道路管理者もある。このため、その計画に当たっては、他の電気、ガスの供給施設と同様に都市計画担当者と早い時期からの調整が必要となる。

築物に対して容積率の上限を設定している。地域冷暖房事業において、供給区域の容積率が大きくなると熱供給密度が高くなり同じ配管延長でより多くの熱供給が可能となり、容積率が事業性に影響を与える事が予想されるため供給区域内の建物用途、面積等（容積率）を変えた場合の影響について比較検討を行った。

4.3.2 検討内容

4.3 建物用途、面積等（容積率）が事業性に与える影響

4.3.1 背景

建築基準法等では、都市計画区域内の建

- (1) Aエリア ①供給区域の容積率が300%, 600%, 1000%の場合

- (2) Bエリア ①供給区域の容積率が

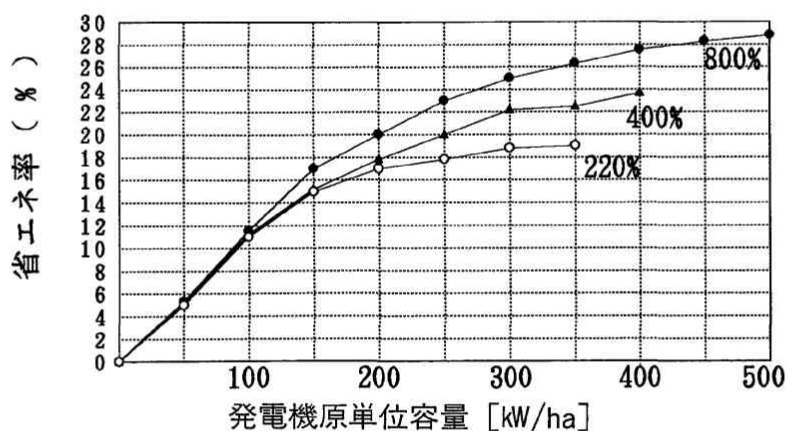


図 8-1 容積率変化による省エネ率

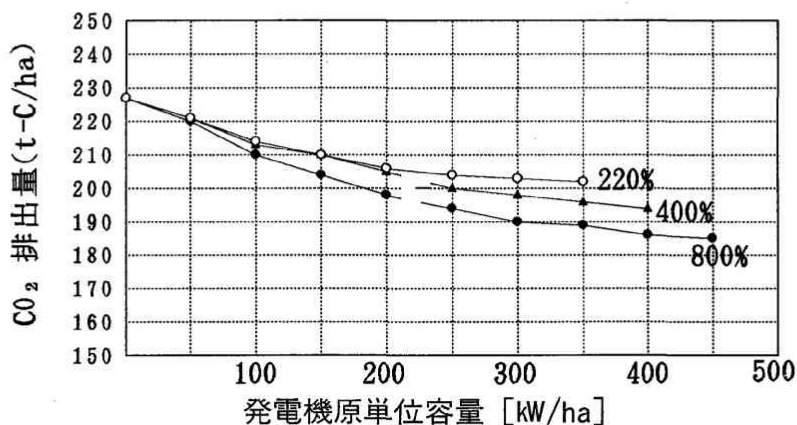


図 8-2 容積率変化による CO₂ 排出量

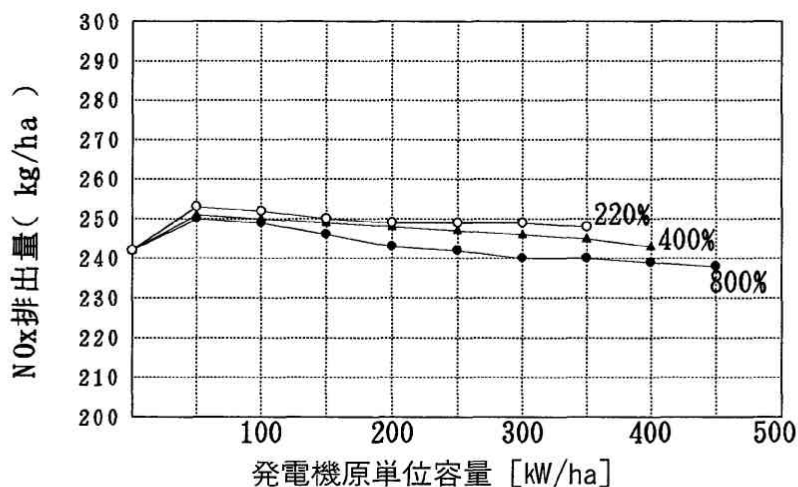


図 8-3 容積率変化による NO_x 排出量

220%, 400%, 800%の
場合

4.3.3 検討結果, 評価

省エネ性を図 (8-1) に CO₂, NO_x 排出量を図 (8-2, 8-3) に示す。

(1) 両エリアとも設置した発電機の大型化が図れるため、発電機の総合効率向上、エネルギー供給システムのスケールメリット等により省エネ性、経済性、環境性とも向上が図られる。また両エリアとも同様な傾向を示す。

(2) 経済性に与える影響としては、建設費に占める配管敷設費の比率を小さくできるため、固定費に対してかなりの影響を与える。(影響度 3 円/Mcal ~ 6 円/Mcal)

4.3.4 課題

(1) 熱供給事業を行うには、供給区域の熱負荷密度が事業性に対して大きく影響するため、適切なエリア設定がなされなかった場合には、熱需要家に対してかなりの負担をかけることになる。

(2) 容積率の増加はエネルギー密度の増

大になっても、必ずしも需要量はリニアに増加していくとは限らない。容積率は熱供給事業の一つの判断基準になっても、全体都市計画、都市インフラの確保(水道、電気、ガス)、供給区域の環境維持(ゴミ処理、下水道)、都市のセキュリティ、都市美観の維持等の都市・建築行政からの視点があり、総合的な視点から適切な容積率の設定が望まれる。

4.4 余剰電力の取扱いが事業性、省エネ性に与える影響

4.4.1 背景

地域熱供給システムに大規模コージェネレーションを導入する場合、電力供給方式のあり方について、熱供給システムの動力に利用される以外の余剰電力分については大きく分けて電力会社に供給する方式(逆流方式)と熱供給地域内に供給する方式(系統連系方式、地域独立システム方式等)の方式が考えられる。後者の方式は第三者供給であり現行制度下ではこの方式は認め

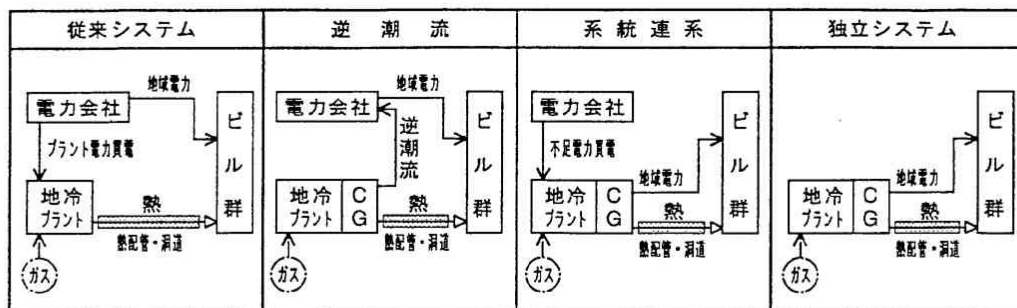


図 9-1 電力供給方式の概念図

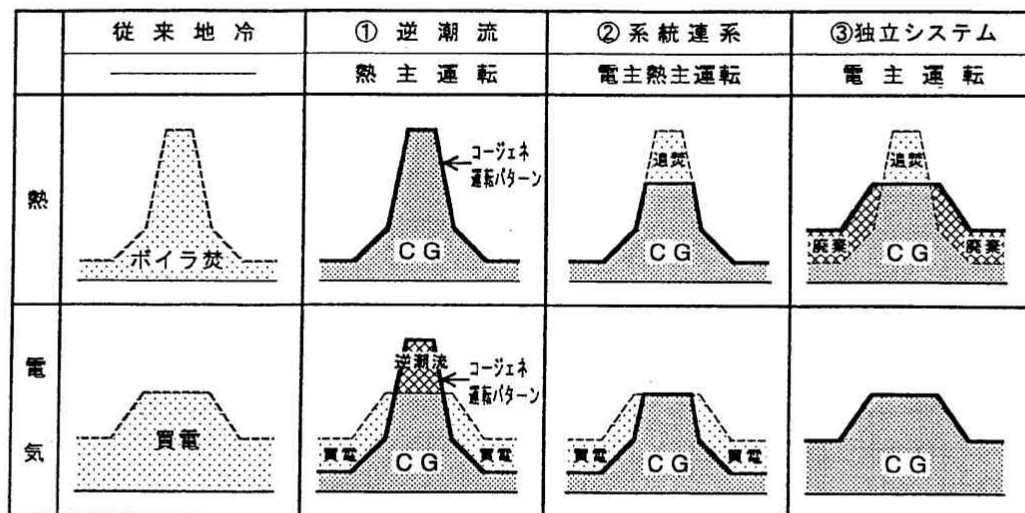


図 9-1-1 電力供給方式による運転パターン

られていない。

4.4.2 検討内容

各方式の概念図を図(9-1), 運転パターンを図(9-1-1)に示す。

- (1) 逆潮流方式；余剰電力は全量電力会社に売電。運転方法は熱主電従。
- (2) 系統連系方式；地域需要家へ電力供給，不足分は電力会社から買電。熱主電主。
- (3) 独立システム方式；地域の全電力需要を賄う。運転方法は電主熱従。

4.4.3 検討結果，評価

各3方式の省エネルギー率の結果を図(9

-2)に示す。

- (1) 各方式の省エネ性を比較すると，逆潮流方式が最も省エネ性が高く，系統連系方式もほぼ同等の省エネ性を有する。独立システム方式は春，秋の中間期での排熱の有効利用を図ることが出来ないため省エネ性は低い。
- (2) 経済性については，発電部分と熱製造部分とのコストアローケーションの方法が確立されていないため，電力・熱一体とした年間総経費評価方法を採用した。

① 逆潮流料金，経済性に与える影

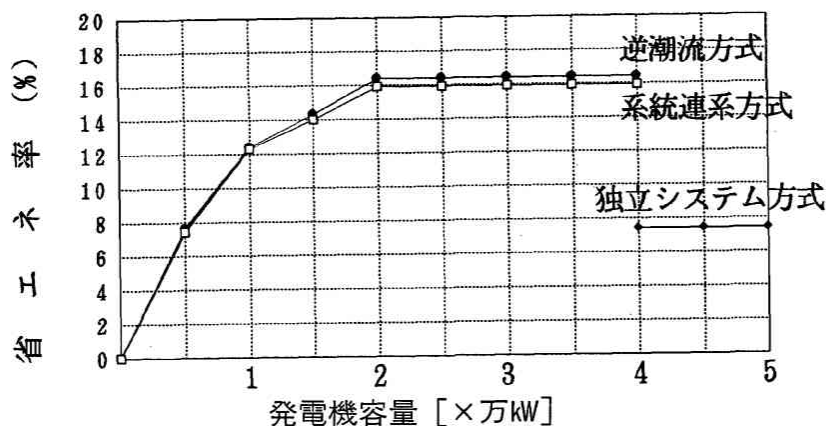


図 9-2 電力供給方式による省エネ率

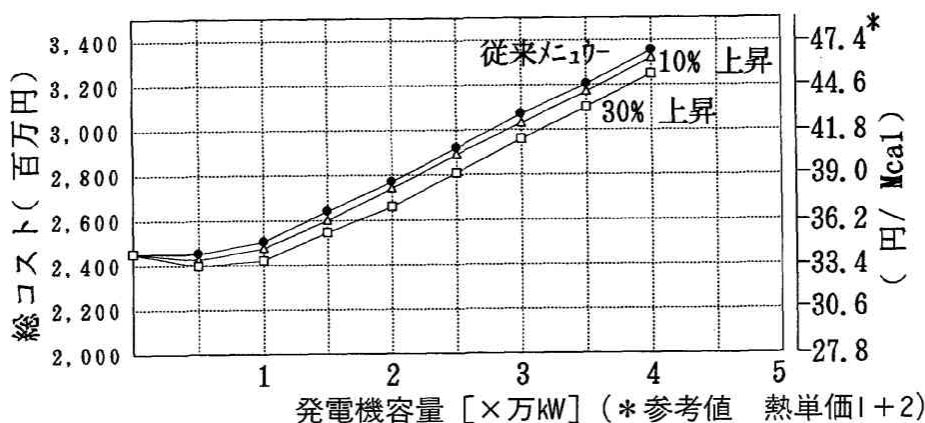


図 9-3 逆潮流料金による経済性 (総コスト比較)

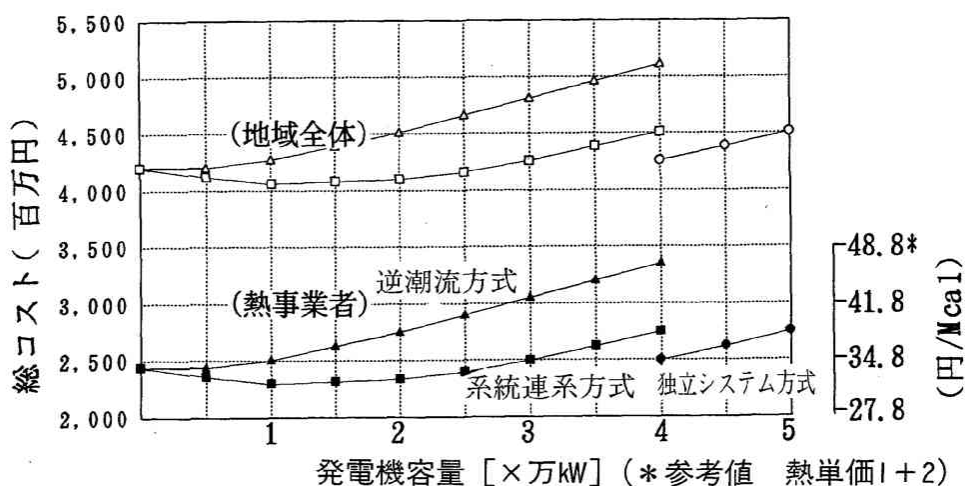


図 9-4 電力供給方式による経済性 (総コスト比較)

響を図(9-3)に示す。

逆潮流方式で買い取り料金を現行より10%上昇させた場合、年間総経費で1%程度減少が見られる。(影響度0.37円/Mcal程度)その評価において発電機容量がある範囲(自家発の範囲)内であれば、現状買い取り制度でも、従来DHCと比べ経済性に関して大きな差はないと考えられる。

- ② 3方式の経済性に与える影響を図(9-4)に示す。3方式の比較において一定の前提条件の下で、現行の逆潮流料金制度で、コージェネがある容量範囲であれば、系統連系方式>独立システム方式>逆潮流方式の順に経済性が優位となったが、系統と逆潮流方式のその差は年間総経費で8%レベル(影響度2.8円/Mcal)となる。影響度については、さらなる詳細検討が必要である。

4.4.4 課題

- (1)① 逆潮流方式……発電機容量に比例して省エネ性は向上するが、導入容量がピーク需要の50%を越えるとコージェネの稼働率が下がり経済性が悪くなる。また逆潮流量が大幅に増大した場合、電力会社との調和を考慮した系統運用の検討が必要。
- ② 系統連系方式……経済性、省エネ性はほぼ満足するもののバックアップ電力を電力会社に頼るという特徴を有する。系統連系することによりコージェネ側が受けるメリット(供給電力の安定性、品質、バックアップ等)が発生するが、定量的に評価

する手法は確立されておらず、これらの考え方の整理、検討が必要。

- ③ 独立システム方式……電力会社のバックアップは不要であるが、中間期には排熱の有効利用が図れず、上記2方式に比べて省エネ性は劣る。供給電力の信頼性向上(予備機の持ち方、バックアップ等)の検討が必要。

- (2) 熱電併給システムの合理的コストアローケーションのあり方

現行の熱供給事業法では、熱供給の原価に熱供給以外の費用は計上できないため、発電部分と熱製造部分とのコストアローケーションが必要となる。仮に熱製造コストを従来DHCシステムと同等と評価すると、現状の余剰電力買い取り価格では発電部分の採算がとれなくなることが予想される。今後電力、熱供給コストの算出については、発生量、質、時間帯等を考慮することが必要である。

- (3) 中質電力供給構想について

地域冷暖房エネルギー供給システム(大規模CGES)のバリエーションの一つとして、高コストな冷温水供給配管の代替に、供給責任を重視しない中質電力による空調用エネルギー供給方式が提案されており経済性向上策の一環として検討が必要である。

4.5 システム整備とNO_x等大気汚染防止等の関係

4.5.1 背景

ボイラ、ガスタービン等の機器に対する

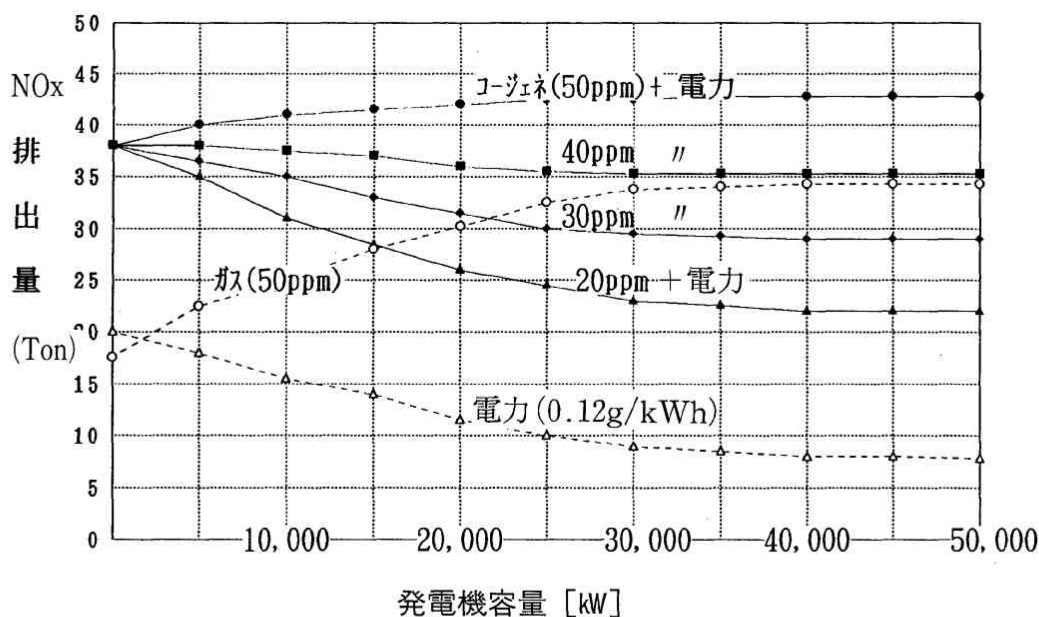


図 10 システム整備が環境性に与える影響

NO_x の排出基準は、大気汚染防止法で定められているものの他、東京都、大阪府等の自治体が条例等より独自の排出規制、指導を行っている。今後さらに厳しい排出規制がなされた場合、NO_x 排出濃度削減のためのシステム整備に伴う環境性の評価、機器コスト上昇が経済性に与える影響についての検討を行った。

4.5.2 検討結果、評価

システム整備が環境性に与える影響を図(10)に示す。

- (1) 広域エリアで考えれば、排ガス濃度が40～50ppmであれば、従来型DHCとほとんど同じレベルのNO_x 発生量となる。
- (2) コージェネ発電機において、現状の排ガス NO_x 濃度50ppmをクリアにするために既にアンモニア注入による脱硝装置が設置されており、さらに従来DHCの排ガス NO_x 量と同じとす

るための20ppm程度まで濃度削減を行う場合のコストの増加分としては、触媒量の増分とアンモニア注入量の増分程度ですむために、経済性に与える影響は小さいと思われる。(試算例影響度0.08～0.1円/Mcal)

- ① イニシャルコスト増加分；約2.5%の増加（発電機コスト20万円/kWに対し）
- ② ランニングコスト増加分；約2.6%の増加（メンテナンスコスト2円/kWhに対し）（①と②の影響は0.1円/Mcal程度）

4.5.3 課題

- (1) 検討エリア（狭域エリア）内でのNO_x 排出量をみた場合、コージェネレーションの導入により排ガス量が増えるため、発生量は、従来より増えることになる。

もし、狭域エリアで従来DHCシス

テムと同じ排ガス量にするには、排ガス濃度を20～30ppm程度に削減することになる。今後規制強化がどのレベルまで実施されるかは自治体の内部でも技術動向、経済性の点で評価が分かれるところである。また地域住民にとってエリア密着型の問題でもあり、限りなき低下要望が強い。

- (2) 低NO_x化に伴う、システム整備に關しての必要エリアの増加、危険物の取扱い、運転管理上の配慮が必要。
- (3) 将来のNO_x規制強化の方向の中で、低NO_x化のための、低コストなシステム技術導入、技術開発の促進や、環境維持のための補助策が望まれよう。

4.6 燃料系統における取扱いの影響

4.6.1 背景

大規模コージェネレーションシステムの原動機であるガスタービン、ボイラの燃料として都市ガス及び石油が考えられるが、一般に石油燃料は都市ガスに比べて安価であり、経済性に関しては優れるものの環境性については劣ると言われている。

また石油燃料の場合には貯蔵のためのタンク設備が必要になるが、建築基準法上、都市計画区域内の用途地域別、燃料別、タンクの形式別に設備設置制限が設けられている等の制約を有する。従って、燃料系統における取扱いの影響の検討内容として、燃料価格変動による経済性の影響と、石油をピークカット用を使用することによる経済性と取扱いの影響について検討した。なお石油燃料については環境性を配慮して灯

油使用と想定する。

4.6.2 検討内容

- (1) 燃料価格の影響 ①現状、②10%低下、③20%低下
- (2) 都市ガス/灯油併用の影響(ピークカット用に灯油を使用する場合の経済性)
 - ① ガス発電機(1万kW×3台)+ガス焚きボイラ(標準ケース)
 - ② ガス発電機(1万kW×2台)+灯油発電機(1万kW×1台)+ガス焚きボイラ
 - ③ ガス発電機(1万kW×2台)+灯油発電機(1万kW×1台)+灯油焚きボイラ

4.6.3 検討結果、評価

燃料価格が経済性に与える影響について図(11-1, 11-2)に示す。

- (1) 燃料価格の影響

燃料価格が10～20%低下すると、年間総経費は、約2～4%の減少となる。(影響度0.7～1.4円/Mcal) 燃料価格の変動を考える場合は、従来DHCとの相対コスト差で評価する必要がある。その場合燃料10%低下に対する感度は、従来DHCの総経費も2%減少となるため、経済性への影響は相対的に小さくなる。

- (2) 都市ガス/灯油併用の影響

- ① 省エネ性は、発電機効率により決まるため燃料の違いによる影響は殆どない。
- ② 環境性については、CO₂発生量は灯油の方が大きい、NO_xの排出量は脱硝効率により決まるため効率を上げることにより都市ガスと同レベ

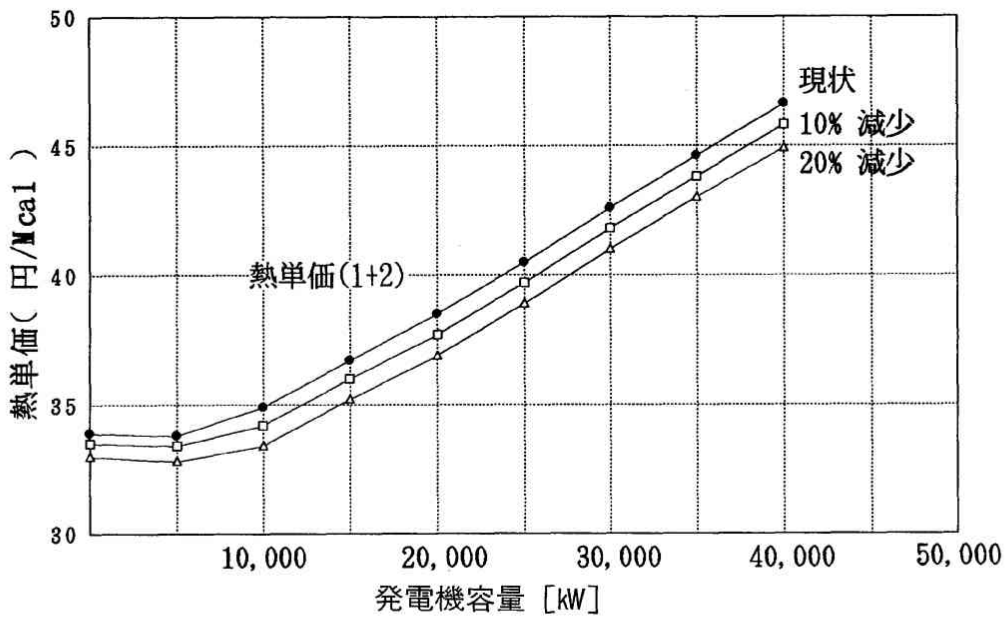


図 11-1 燃料費変化による経済性 (熱単価 1+2 比較)

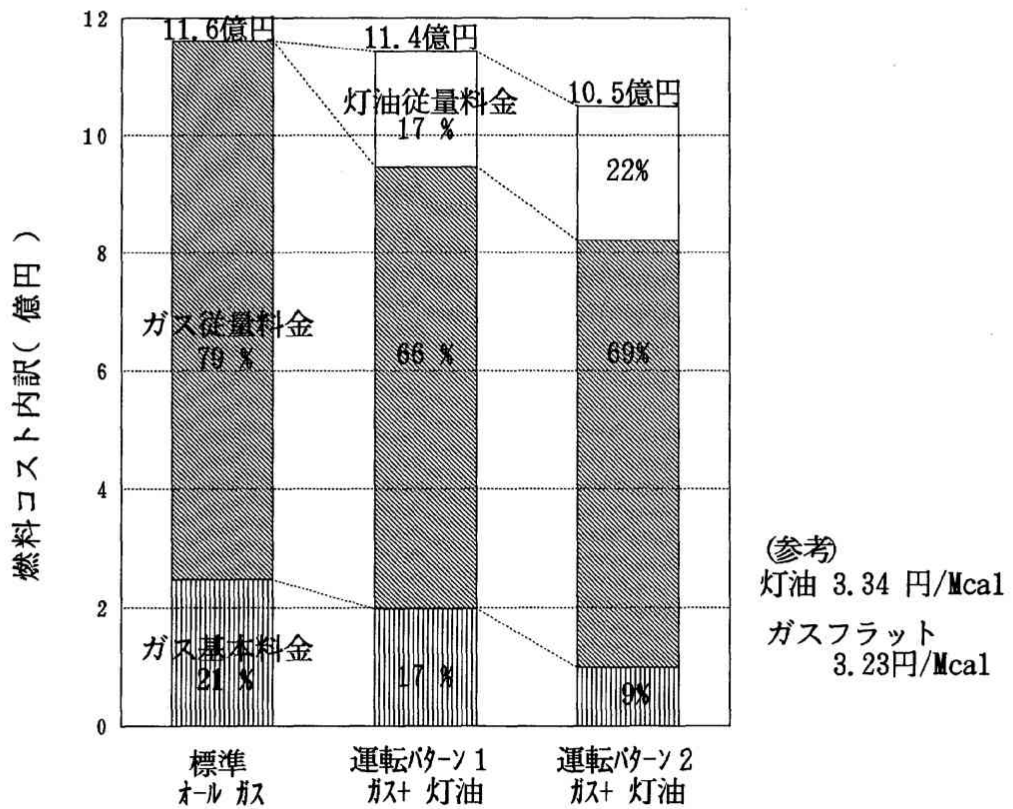


図 11-2 都市ガス/ 灯油併用の影響

ルにすることは可能である

- ③ 年間燃料コストは、標準ケース①と比較して、ガス焚きボイラの場合②は、18百万円（標準より1.6%削減）、灯油焚きボイラの場合③は111百万円（9.6%削減）の大幅な削減となる。単純回収年比較では、各々12年、と3年となり、③の運転パターンの方がメリットがある。（但し大規模なオイルタンクスペースコストは考慮せず）

4.6.4 課題

- (1) 今回のケーススタディに使用した灯油価格は、1年前32円/ℓ前後のものが、現在（94'3）27円/ℓとかなり安くなっている。また灯油使用の比率を増やす運転方法により都市ガスの基本料金カットの効果が生じ、大きなメリットが得られる結果となった。各種の燃料を使用する検討を行う場合、燃料料金構成や価格動向に関する特性を充分踏まえ、エネルギーのベストミックスを含めた検討が必要である。
- (2) 燃料変更に関する総合評価においては、経済性のみならず、環境性、エネルギー供給セキュリティ、燃料取り扱い上（エリア確保、受入れ頻度）、保安上の問題等の要因も含めた幅広い視点の評価方法の検討が必要である。

5. まとめ

欧米先進国では大規模な熱電併給エネルギー供給システムの導入がすすんでいる。日本では、エネルギー需要がますます増大するなかで、省エネルギー化、環境保全、地球環境

問題等の背景から、欧米先進国で既に導入されているコージェネレーションや未利用エネルギー等を組み込んだ地域熱供給システムの導入検討、普及促進が図られようとしている。

大規模CGESは、大規模に熱と電気とを併給する高効率なシステムのため省エネルギー、環境保全、都市エネルギーインフラとして都市計画上総合的、一体的に検討、評価されるものであろう。本調査の結果では、代表モデルエリアで設定したようなエネルギー需要特性や大規模なエネルギー需要量等が想定出来き、制度面等の制約がなければ、従来型DHCと比較して、経済性は同等レベルで省エネ性と環境保全性に優れたシステムを構築できる可能性がある。しかし熱電併給のエネルギー供給システムであるがため、エネルギー需要量の計画との差、余剰電力の取り扱い及び地域の特性等による熱供給配管敷設に係わる諸要因により建設コストの負担が大きくなり、熱電供給事業者にとって大きな課題、リスク等を抱えるエネルギー供給システムともなりうる。外部要因（制度的環境等）の影響調査の個所で記述したように、

1. 都市計画法上では、既存の都市インフラ施設に比べて、従来型DHCシステムと同様都市計画上の位置づけが不明確なため、計画的導入が図りにくい状況もありうる。今後既設のインフラ施設と同じ様に計画的かつ早期の対応や指導等の配慮が望まれよう。
2. 道路法上では、熱供給配管の敷設の位置付けが不明確のため、タイムリーな施工時期の逸失や、経済性ある配管敷設工法が採用されず、コスト面で大きな課題を有する。道路占有に関する位置づけの明確化、と

共に財政的援護措置の活用を図ることが必要となる。

3. 建築基準法上の容積率に関しては、エネルギー需要密度を上昇させ、経済性を向上させるには大きな容積率の設定が望まれるが、この要因は都市インフラ(水道、電気、ガス、ゴミ処理、下水道等)の確保、都市美観等を含めた都市、建築行政からの視点により設定がなされている。今後省エネルギー、効率の良いエネルギー需要供給の確保等のエネルギー行政の視点も含めた幅広い視点からの適切な容積率の設定が望まれる。

4. 余剰電力の取扱いに関しては、①電力供給との系統連系、余剰電力の取扱い ②従来型DHCに比べてコージェネ部分を主とした追加的建設コストの増加、③電力供給方式のあり方 ④コージェネの保安体制のあり方等が熱電併給事業者からみた主な課題として挙げられている。

需要家は、より安価な、質も含めたエネルギー供給の機会を要望しているが、地域需要家のみのメリット享受だけではなく、電気の一般需要家の利益保護や電気事業の健全な発展のために大規模CGESの導入規模、導入時期、電力供給運用パターンの適正化、電力供給の信頼性向上等の検討が望まれる。

5. 燃料の取扱いに関しては、各燃料の価格

動向に関する特性を踏まえ、エネルギーのベストミックスを含めた経済性検討のみならず、エネルギー供給セキュリティ(地震時の緊急時対応等)、環境性、燃料取扱上(エリア確保、受入頻度)、保安上の問題も含めた幅広い検討が必要である。

おわりに環境調和型エネルギーコミュニティ構想に代表される、都市のエネルギーインフラ構築は、大規模CGESを活用した地域冷暖房事業の普及促進等を目指しており、コージェネレーションシステムは、省エネルギー性、環境保全性、都市セキュリティ、電源の確保等という、現在我が国が直面している課題に対して一つの解になりうるものであろう。その意味から環境調和型エネルギーコミュニティプロジェクトの普及促進については既に通産省、NEDOにより支援をされているのはその証左であろう。

今後はこの環境調和型エネルギーコミュニティの普及拡大を最重要課題として取り上げ、関係事業者においてはこのコミュニティの更なる低コスト化、高効率化、高信頼化を目指して、システムの開発・改良を積極的に推進することが必要であろうし、また諸規制の緩和、制度の整備等により、国の強力なる施策推進、自治体の指導が望まれるところである。

分散型電源の系統連系技術

—平成5年度「分散型新電源技術実用化実証研究に関する
系統連系課題の解析・評価」調査研究の概要—



土 持 綱 久*

1. はじめに

地球環境問題への寄与などエネルギーを巡る内外の諸情勢の変化を背景として、需要地近接型の太陽光発電、風力発電、燃料電池発電等の比較的小規模な電源、いわゆる分散型電源は、環境への調和性、立地条件の緩和、送配電コストの低減などの観点から、その積極的な開発・導入が進められている。しかし、この分散型電源を電力系統に連系するためには、連系にあたって生じるとされる電力品質や系統保護、保安面などの課題の解決が不可欠であり、また、そのためには、実際に近い形での実証運転研究が必要となる。

財エネルギー総合工学研究所では、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託研究として、昭和60年度から平成5年度の9年間に渡り、この実証運転研究に資することを目的として、分散型電源の系統連系に関する技術的課題の解析・評価の調査研究を実施してきた。

一方、この間エネルギー環境問題への関心の高まりなどを背景として、通商産業省資源エネルギー庁において、分散型電源の設置者

に対して連系のための技術的事項を示す「系統連系技術要件ガイドライン（高圧・低圧配電線への逆潮流あり連系）」が、当初平成5年度末までに策定するスケジュールを前倒しし、平成4年度末に策定された。

この系統連系課題に関しては、その「系統連系技術要件ガイドライン」の策定にあたってでも検討がなされているが、本稿では、当研究所で実施してきた調査研究の内、最終年度である平成5年度に実施した「調査研究のまとめと今後の課題」の検討結果について、その概要を紹介する。

2. 系統連系のために解決すべき課題

本調査研究では、初年度の研究において連系のために解決すべき課題を抽出し、その解決のために実証運転研究において確認すべき内容を次の6項目に分けて整理した。

- ① 分散型電源運転の安定性
- ② 電力品質面への影響
- ③ 保護協調
- ④ 作業停電時等における保安確保
- ⑤ 分散型電源の有効性
- ⑥ 分散型電源設置時における系統連系手

※ 財エネルギー総合工学研究所 主任研究員

法の確立

以下、その内容について簡単に説明する。

2.1 分散型電源運転の安定性

(1) 単体の安定性

分散型電源を系統と連系する上で、分散型電源が単体として長期にわたり安定して動作することが実証されなければならない。

(2) 系統擾乱に対する安定性

系統側で生じる瞬時電圧低下や位相急変などの種々の擾乱に対して、連系されている分散型電源の安定性が影響を受けないか、また分散型電源が擾乱を増大させないかを確認する必要がある。

2.2 電力品質面への影響

(1) 電圧変動

連系の条件として、分散型電源のいかなる運転状態においても電気事業法で定められている配電電圧の適正值(100V系で 101 ± 6 V, 200V系で 202 ± 20 V)が維持されなければならない。しかし、現在の配電線の電圧運用は変電所から配電線末端へと一方向に潮流が流れることを前提に実施しているため、分散型電源からの逆潮流が生じると一部配電線の潮流の向きが逆になり、配電線の電圧が上昇するなど電圧運用が困難になることが考えられる。従って、分散型電源を連系した状態での電圧変動特性の把握、電圧調整対策の検討及びその効果などを確認することが必要である。

(2) 出力変動

太陽光発電や風力発電の出力は気象条件の影響を受け非常に変動が激しいので、配電線の運用に影響を与えることが考えられる。従って、蓄電池などによる出力変動抑制対策が

必要となることが考えられ、その効果の確認が必要である。また、太陽光発電が広域に分散配置された場合、この各々の出力変動の不等性により全体としての出力変動が緩和される可能性があるため、その効果を調べることも必要である。

(3) 高調波

太陽光発電や燃料電池発電などの直流出力を系統の交流に変換するインバータから高調波が発生する。技術的には高調波を系統に影響のない程度に抑えることは可能であるが、高調波の発生をどのように規制すべきかを検討すること、及び分散型電源間の相互干渉、系統の局所的な高調波共振特性を確認する必要がある。

2.3 保護協調

(1) 系統事故時保護協調

系統故障時は、分散型電源側でも故障を検出して自ら系統から解列しなければならない。しかし、太陽光発電や燃料電池発電のような直流電源では短絡故障電流が増加しないなど従来の電源である回転機と異なった故障様相を示す上にインバータを介して系統に連系されるため、従来の保護リレーでは保護に限界があるものと予想される。従って、分散型電源を電力系統に連系した場合の保護特性の把握、従来型保護装置の適用の可否など保護方式・協調の確認が必要である。

また、分散型電源は比較的小規模であり、保護装置に大きなコストをかけることは導入促進の観点からは望ましくないという事情もあり、インバータが内蔵している電子リレーの適応の可否に関して、電子リレーの信頼性の評価を実施することも必要である。

(2) 単独運転検出

分散型電源が電力系統の停電時に系統に連系されたままで配電線の一部の負荷を供給する「単独運転」を行うようなことがあると、人身や電気設備に害を及ぼす恐れがあるととも電力系統の迅速な復旧を阻害することになる。従って、分散型電源側で確実に電力系統の停電を検出しなければならない。しかし、逆潮流がある場合は、当該配電線の電源出力と負荷の条件により、従来型の連系用リレーだけではこれを検出できないことが起こる。このため新しい単独運転検出技術の開発とその有効性、信頼性の確認が必要である。

(3) 内部事故波及防止

分散型電源の内部事故の影響で配電線が不要に停止しないように分散型電源側で確実に事故を除去する必要がある。このため内部事故特性の把握、保護方式および配電線との保護協調などの確認が必要である。

2.4 作業停電時等における保安確保

2.3-(2)項でも述べたように系統側が停電している時に分散型電源が配電系統に連系された状態で単独運転を行うことがあってはならない。従来の自家用発電設備においては、電力会社との間に電力用保安通信設備を設置することが義務付けられているので、作業や緊急保安のために線路を停止する場合は電話連絡により各需要家に発電機の解列を要請することが可能であった。しかし、分散型電源の場合容量の小さな電源が不特定多数に導入されることを想定しているのでこの対応は難しいものと考えられる。

分散型電源が一般に広く普及するためには極力自動化を図るべきで、このための方法と

しては分散型電源側で自律的に解列する方法や電力会社からの遠方制御により各分散型電源の連系用の開閉器を制御する方法などが考えられ、それらの有効性について確認することが必要である。

2.5 分散型電源の有効性

分散型電源が円滑に導入されていくためには、分散型電源の導入が設置者にとって有効であることが実証されるばかりでなく、電力系統側から見てもその有効性が実証されることが望ましい。電力で系統から見た有効性として昼間ピーク抑制効果などの確認が必要である。

2.6 分散型電源設置時における系統連系手法の確立

分散型電源を新たに設置し、配電線に連系する場合、関連装置の試験方法や供給支障を極力生じさせない接続工法等について確認しておく必要がある。

3. これまでの研究成果

平成5年度の調査研究においては、前項の解決すべき課題に対して、本プロジェクトの成果のみならず関連プロジェクトの成果も含めてこれまでの研究成果のまとめを行った。以下にその内容の一例を示す。

3.1 分散型電源運転の安定性

(1) 単体の安定性

太陽光発電システムについては、六甲実験センターにおいて2kW×100台の太陽光アレイ、インバータ個々の信頼性ならびに連続運転による故障実績が5年間にわたり実測評価

表1 光発電用インバータの信頼性実績（平成元年度～3年度通算）

メーカー (台数)	障害件数	障 害 内 容 ・ 件 数				MTBF (10 ³ 時間)
		初期不良	取扱ミス	自然劣化	サージ等	
A社 (29)	1	0	1	0	0	>381
B社 (29)	8	0	5	3	0	127
C社 (8)	3	0	1	2	0	53
D社 (13)	7	4	0	2	1	57
E社 (8)	16	0	0	6	10	7
F社 (13)	28	26*	1	1	0	171
合計 (100)	63	30	8	14	11	53 (94)

注) ・各社MTBFは初期不良、取扱ミスを除いたもの。合計括弧内は自然劣化のみ。

年間稼働時間 4,380時間（一日12時間で計算）

・サージ等は、各種の配電線事故試験、逆充電運転等を実施した際、過電圧、過電流により破損したもの。主として主回路障害。

・*印：初期不良のため改良、改良後は同一原因による障害なし。

・すべて自律的に停止または配電用遮断器のトリップで停止しており、配電線に事故波及した例はない。

され、表1に示すように平均故障間隔（MTBF）は平均で9万時間以上（米国等の信頼性実績3～4万時間）に達し、信頼性が十分に高いことが確認されている。

また、燃料電池発電システムにおいては、現在開発途上のシステムであり、電池寿命4万時間の運転を目標として研究開発が進められている。国産の燃料電池では、これまでの最長運転時間は16,000時間程度、連続長時間運転時間は5,000時間程度である。

各システムともにこれまでの実証試験結果によると連続運転による特性変化等はなく、燃料電池発電システムについても初期トラブルはあるものの故障頻度は減少してきており、単体としての信頼性は向上しているものと考えられる。

(2) 系統擾乱に対する安定性

系統で生じる位相急変、電圧変動、電圧不

平衡といった事象に対しては、その変化の度合いによって制御遅れによる位相ずれとなり過電流を生じる可能性がある。これらの系統擾乱に対する制御方法については、インバータの制御方式によるところが大きく、現状のインバータで許容できる変化範囲は概ね表2に示すとおりである。また、各システムにおいては、分散型電源設置者の利便性や電力系統への影響を考慮すると、その系統擾乱が「系統停止」か「系統動揺」かを判別し、適切な運転を行うことが必要となる。

そのためには、数秒程度のインバータゲートブロック等での対応が必要となるが、燃料電池発電システムの場合、インバータゲートブロック時の電池オフガスの燃焼方法など燃料改質系全体の運転制御方法の問題等の検討すべき課題があり、現状においては数秒程度のインバータゲートブロックは困難である。

表 2 系統擾乱に対する運転継続許容値

	一般仕様のシステム		特殊仕様のシステム	
	高圧連系 3相インバータ	低圧連系 単相インバータ	高圧連系 3相インバータ	低圧連系 単相インバータ
位相急変	10度以内	20度以内	20度以内	180度以内
電圧変動	10%以内	20%以内	30%以内	100%以内
電圧不平衡	3%以内	——	30%以内	——

注) 上記許容値は、インバータ単体としての性能

これらの課題を解決するためには、熱バ
ランス等のプラントの制御性、プラントの設計
条件等を十分考慮したシミュレーションによ
りデータの蓄積を図る必要がある。

3.2 電力品質面への影響

(1) 電圧変動

図1は高圧配電線モデル系統において、分
散型電源を各地区のフィード末端に集中して
連系した場合と均等に連系した場合の逆潮流
容量とそれによる電圧上昇率の関係を示した
シミュレーション解析結果例である。この結
果から見ると、例えば、高圧配電線の電圧上
昇限度を1%とすると逆潮流容量(末端連系)
の上限値はフィード容量の

繁華街・工場地区： 約25%
住宅地区： 約20%
農山村地区： 約5%

が目安となる。

しかし、図2に示すように分散型電源に無
効電力制御機能を付加し発電設備の運転力率
を85%にすると、連系容量に関係なく電圧上
昇を1%程度に抑制できる。

(2) 出力変動

図3に太陽光発電システムの蓄電池がある

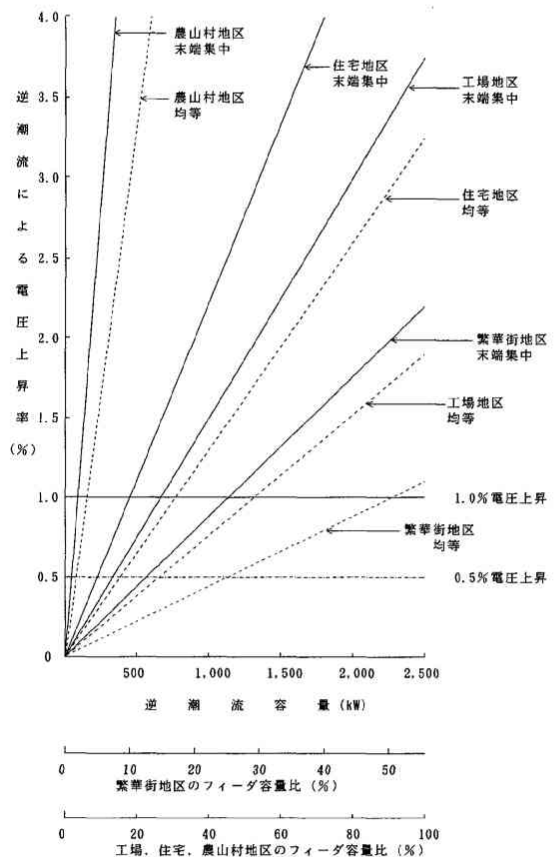


図1 分散型電源の逆潮流による高圧配電線の電圧上昇率

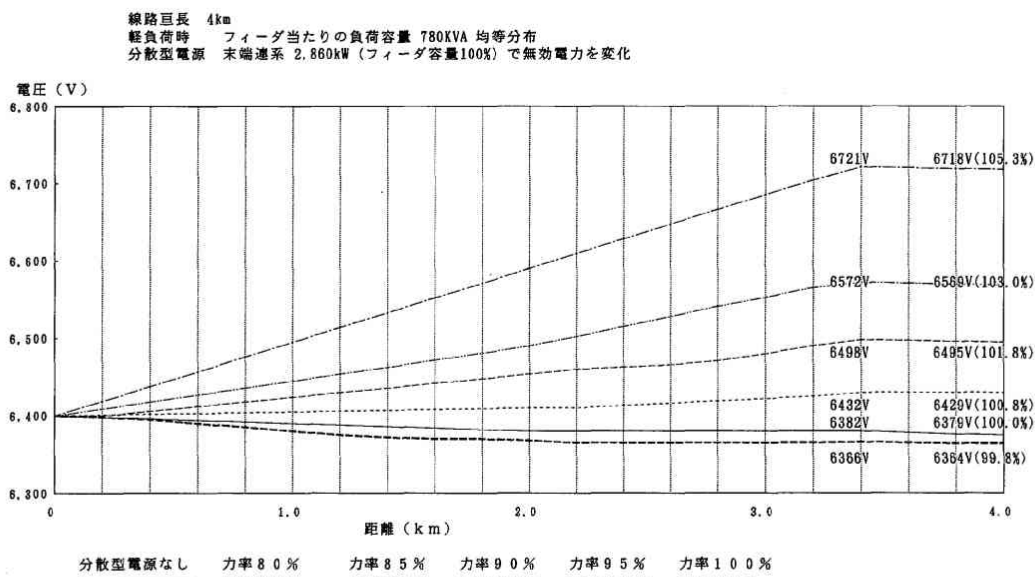


図2 住宅地区系統の高圧配電線の電圧上昇と無効電力制御による抑制効果

場合とない場合の発電特性例を、図4に風力発電システムの出力量変動特性例を示す。このような太陽光発電システムおよび風力発電システムの出力量変動は、電力品質面に影響を与える要因であるが、分散型電源の容量が電力系統の容量と比較して十分小さな場合には特に問題とはならない。しかし、離島などの小容量系統や将来的には、この出力変動の抑制対策が必要である。その対策としては、分散型電源側の対応策として、蓄電池を設置する方法や他の電源とハイブリッドにする方法があり、また風力発電の場合には、翼ピッチ制御速度の向上を図る方法や集合型とする方法などがある。これらの対応策の中で、蓄電池を併設することについては、現時点においては蓄電池自体のコストが高いため、将来的には低コストの蓄電装置の開発が望まれる。

(3) 高調波

図5に小型太陽光発電システムの電流歪み率の測定例を示す。高調波の抑制に関しては、

平成2年6月に系統連系技術要件ガイドラインの一部改正が行われ、分散型電源からの高調波発生量が規制されるようになった。この規制値(総合電流歪み率5%, 各次3%以下)を厳守すれば、分散型電源からの高調波に対しては問題はないものと考えられる。また、現状の太陽光発電インバータのスイッチング周波数は10kHz~20kHzと高く、上記の電流歪みを満足することは容易に可能であり、燃料電池発電インバータにおいてもスイッチング周波数は数kHzと高く、フィルタ等挿入することにより容易に規制値を満足することは可能である。

3.3 保護協調

(1) 系統事故時保護協調

分散型電源を系統連系した場合の系統事故時の保護協調で特に従来と異なるのは短絡事故時の電源挙動である。燃料電池発電や太陽光発電が直流端子で短絡した場合の短絡電流

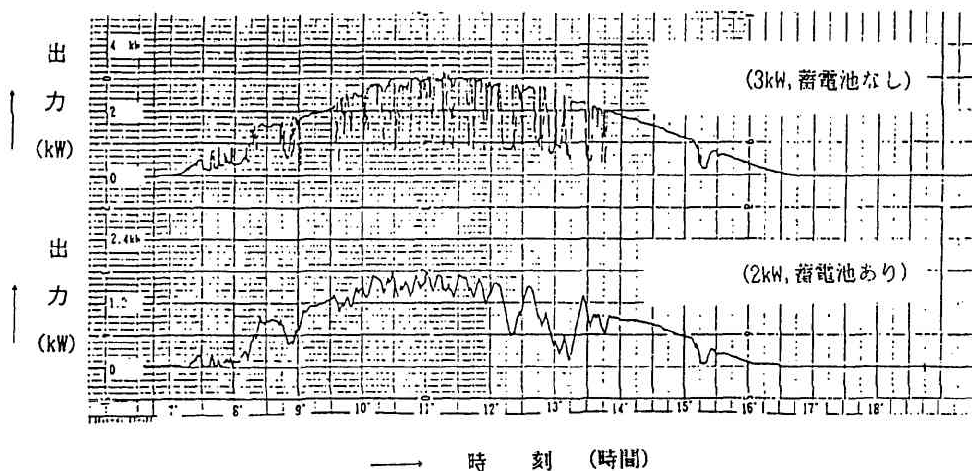


図3 太陽光発電の出力変動特性例

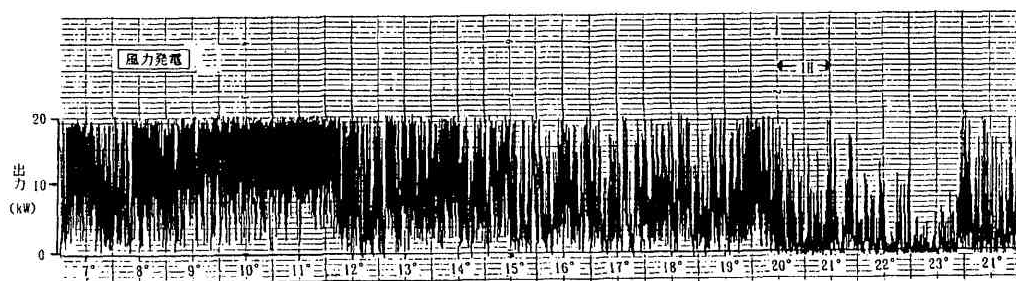


図4 風力発電の出力変動特性例（観測日の平均風速6.6m/s）

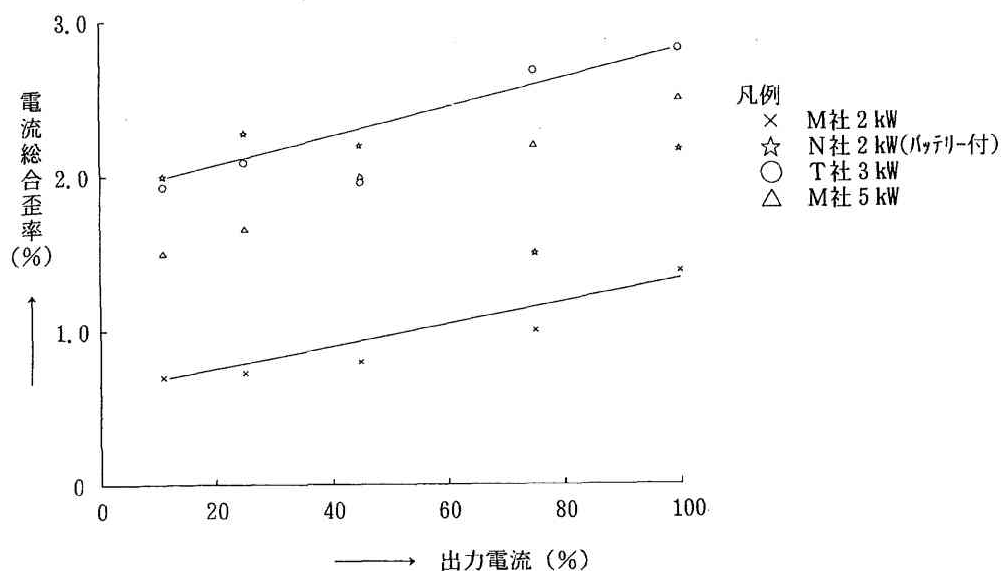


図5 小型太陽光発電の電流歪み率測定例
注) 定電流換算値

は、燃料電池発電で定格の数倍程度、太陽光発電では定格の1.5倍程度であり、従来型の過電流リレーでの検出が困難である。これに対してはこれまでの実証試験により、高压連系の場合の電力系統の短絡事故については、電圧低下リレーでの検出が可能であり、また、電力系統の地絡事故についても電圧リレーや周波数リレーで検出が可能であることが明らかになっている。

(2) 単独運転検出

図6に燃料電池発電システムの単独運転試験結果例を示す。この結果から明らかなように発電出力と負荷容量が平衡すると単独運転が継続する場合がある。この単独運転を検出する技術として本プロジェクトでは図7に示すような連系点の電圧と分散型電源の出力電圧との相関をとる相関法による検出技術を提案した。また、このほかにも表3に示すような検出技術が提案されており、その一部の検出技術の有効性については、六甲新エネルギー

実験センター等で確認試験が行われている。

現時点においては、これまでに提案されている各検出方式はそれぞれ何らかの局面において検出が困難である。しかしながら各検出技術において欠点となる局面はそれぞれ異なるため、複数の方式を組み合わせることにより単独運転防止対策としての信頼性は高まるものと考えられる。

(3) 内部事故波及防止

内部事故にはいろいろな形態が考えられるが、配電線に影響する事故としては、内部短絡による過電流の発生と、絶縁不良による地絡、および直流分の流出が考えられる。現状の各システムにおいては、内部短絡・地絡事故時には瞬時にシステムを停止させる仕様となっており、また、直流分の流出に関しては、絶縁変圧器の設置またはガイドラインで規定されている直流電流漏洩防止対策により防止できることから配電線への事故波及に関して技術的な問題はないものと考えられる。

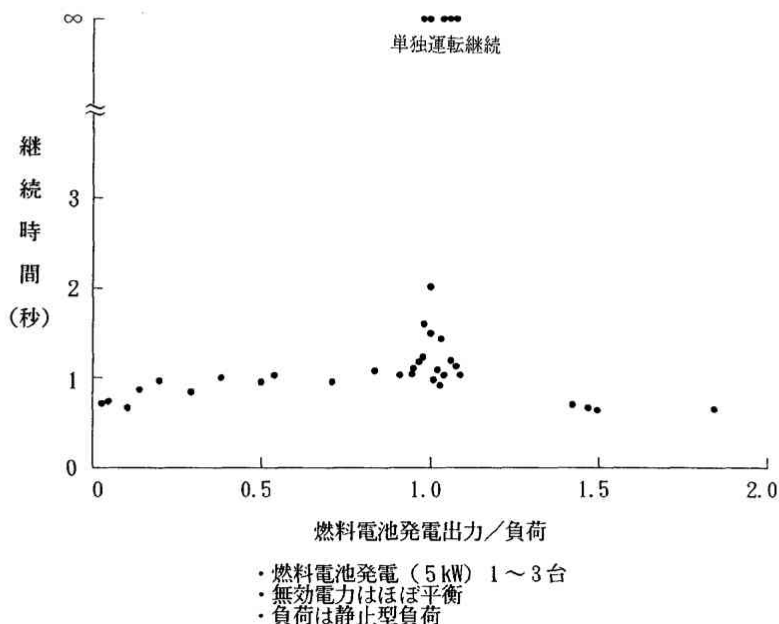


図6 燃料電池システムの単独運転試験結果

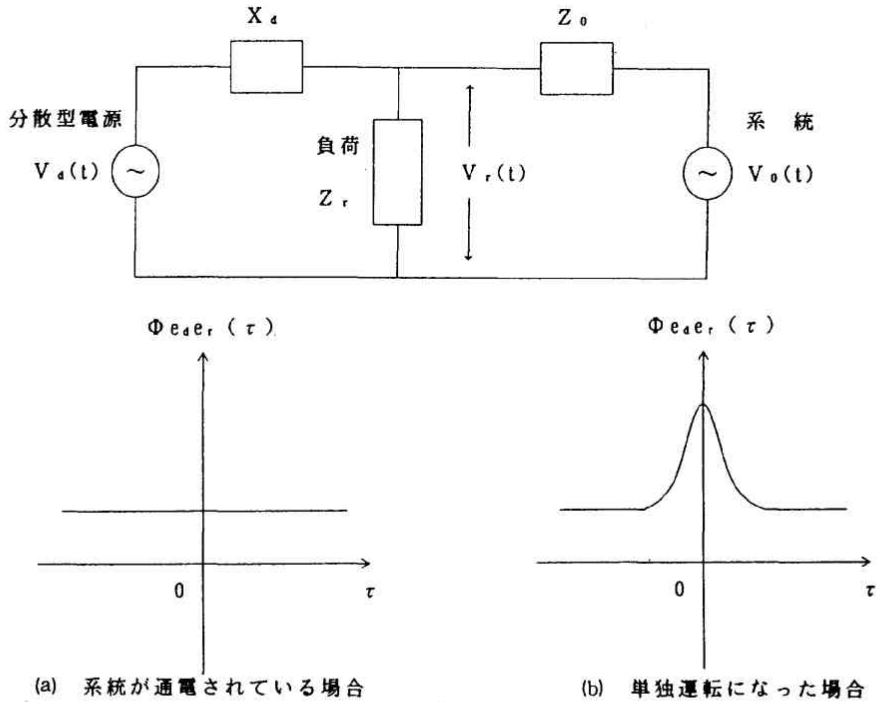


図7 相関法による検出原理

表3 単独運転検出機能の種類と概要

単独運転検出機能の種類		各方式の概要	各方式の長所と短所	
受動的 方式	(1) 電圧位相跳躍検出方式	系統連系状態から単独運転状態へ移行する際の系統電圧の急変を検出する	長所	・単独運転の検出感度がよい
			短所	・発電出力と負荷のバランス度合いによっては検出不可
	(2) 第3次高調波電圧急増検出方式	系統連系状態から単独運転状態へ移行する際の系統電圧の急変を検出する	長所	・発電出力と負荷のバランス度合いに左右されない
能動的 方式			短所	・平衡した3相回路では検出しがたい
	(3) 周波数変化率検出方式	系統連系状態から単独運転状態へ移行する際の系統周波数の急変を検出する	長所	・単独運転の検出感度が非常によい
			短所	・発電出力と負荷のバランス度合いによっては検出不可
	(4) 周波数シフト方式(回転機による連系には不適用)	系統周波数より0.1%程度低い周波数で逆変換装置を運転する方式で、単独運転時の周波数の変化を検出する	長所	・発電出力と負荷のバランス度合いに左右されない ・(1)の方式や周波数継電器との併用により高感度となる
			短所	・バイアス周波数を過調整すると同期が不安定となる
	(5) ① 有効電力変動方式(回転機による連系には不適用)	逆変換装置の出力有効電力を常時微小変動に設定し、周波数や電圧の変化を検出する	長所	・発電出力と負荷のバランス度合いに左右されない ・周波数継電器との併用により高感度となる
			短所	・逆変換装置の制御系と相互干渉して不安定化の恐れ有り
	② 無効電力変動方式	逆変換装置又は発電機の出力無効電力を微小変動に設定し、周波数や電流の変化を検出する	長所	・発電出力と負荷のバランス度合いに左右されない ・周波数継電器との併用により高感度となる
			短所	・発電装置の制御系と相互干渉による不安定化の恐れ有り
	③ 負荷変動方式	逆変換装置又は発電機の外部に設置した短絡負荷を定期的に投入・遮断し、電圧や電流の変化を検出する	長所	・発電出力と負荷のバランス度合いに左右されない ・逆変換装置等の内部機能に依存しないため単独製造が可能
			短所	・系統側のインピータンスが高いと誤動作する場合がある

[方式の説明]

1. 受動的方式 —— 発電設備の単独運転が発生すると、その前後では周波数や電圧などに何らかの変化があるので、この変化を検出する方式
2. 能動的方式 —— 発電設備自身の周波数、出力、負荷などを常時変化させる機能を持ち、系統連系している状態では電力系統からの力が強いので、発電設備自身の変化量は系統に与えないが、発電設備が単独運転になると電力系統からの力がなくなるため、発電設備自身の微量の変化量が系統に現れるので、この変化を検出する方式

また、小型太陽光発電システムの例として「太陽光発電システム実用化実証研究（サンシャイン計画）」の中では、①過電流検出機能と地絡検出機能を有する漏電遮断器（ELB）の設置、②過電流発生時にはインバータゲートブロックの実施、③直流分の漏洩防止は、絶縁変圧器の設置または直流分検出機能の設置による方法の条件下で内部事故時の検証がなされている。実証結果としては、3年間に約60件の障害（ほとんどが主回路の障害）が発生したが、障害は確実に検出され、配電線に影響を及ぼしたケースはなかったことが報告されている。

3.4 作業停電時等における保安確保

分散型電源は、本来電力系統が停電した場合、自律的に解列しなければならない。本プロジェクトにおいては、分散型電源が自律的に解列できない場合のバックアップ用として、親局1／子局1で構成される保安連絡システムユニットと、連系用開閉器、システム用開閉器及び接地装置を一体化した遠方制御型複合開閉器を試作し、その有効性の確認を行った。その結果、応答時間の短縮など今後検討すべきところは残っているものの、系統連系に係わる保安面の技術的な問題点はおおよそ解決され得ることが分かった。

しかしながら、この保安面に関しては、当面は系統連系技術要件ガイドラインで規定されている単独運転防止機能の設置と屋外開閉器の設置を行えば問題はなく、本システムのような保安連絡システムは必ずしも必要ではない。

今後、多数の分散型電源が連系する場合には、技術開発の状況、種々の実証試験を通し

て保安連絡システムのあり方が再検討されるべきであると考えられる。

3.5 分散型電源の有効性

実用化の観点から見ると太陽光発電システム、風力発電システムは、システムの簡素化・低コスト化の課題を除けば、実用化のレベルに達していると考えられる。燃料電池発電システムは、低コスト化はもとより、発電システムとしての実用化は、信頼性や運用性を含みまだ開発中である。

分散型電源の有効性として太陽光発電システムの一例を示す。図8に示すように夏期のピーク電力需要は、日射量とほぼ比例する。

また、太陽電池は日射量および温度依存性のV-I特性を持っているため、太陽光発電システムが最大電力追従制御を行うことにより、太陽電池出力は日射量にほぼ比例する。従って、太陽光発電システムの出力は電力需要と比例し、ピーク電力需要の削減に効果があると考えられる。

3.6 分散型電源設置時における系統連系手法の確立

電力会社が行う連系保護装置の性能確認方法としては以下の手段がある。

- ①メーカー工場においての立ち会い試験による型式としての性能確認
 - ②メーカー工場における納入品の試験成績書による確認
 - ③公的試験機関（日本電気用品試験所）による性能確認（任意認証制度）
 - ④現地据え付け後における総合動作試験による確認
- この中で④は最終状態での確認のため、そ

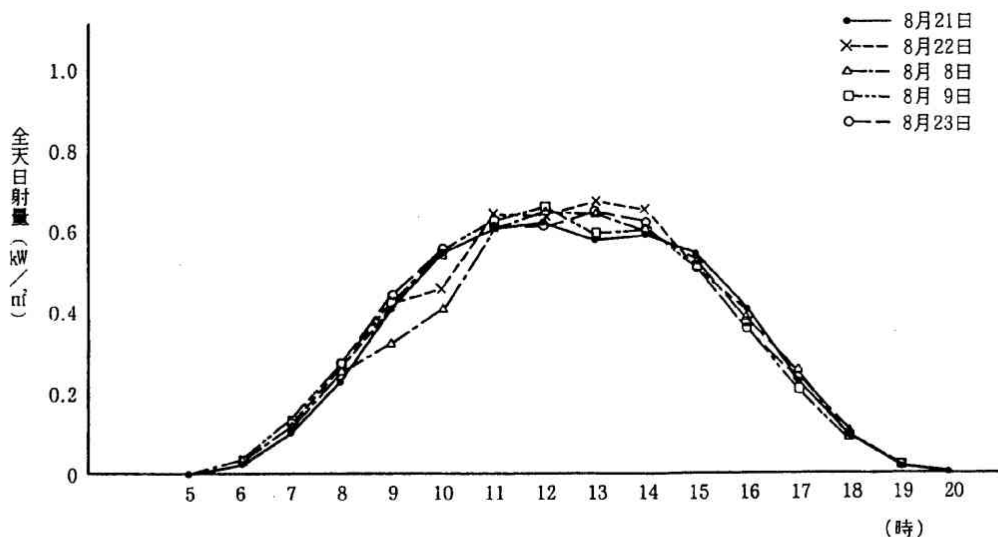


図8 夏期のピーク主要最大上位5日各日における全国平均日射量の経時特性（平成元年8月）

のデータは最も信頼できる。しかし、特に単独運転防止機能など現地での単体性能試験を実施することが極めて困難な項目もあり、また電力会社・分散型電源設置需要家双方の負担も大きい。このため、現時点での電力会社の性能確認手法としては、②と③のデータを有効に活用した書類審査と現地確認（状況に応じ簡易測定器による現地試験）により行うことが一般的と思われる。

4. 今後の課題

3. 項に課題に対してこれまでの研究で明らかになった事項の一例を示したが、この中には今後さらに検討を進めるべきと考えられる事項がある。

(1) 分散型電源の安定性

分散型電源の単体の安定性に関しては、各システムにおける長期運転（15～20年程度）の検証や燃料電池発電システムにおける電池本体の長寿命化などがある。

また、系統擾乱時の安定性に関して、燃料電池発電システムにおいては、過渡時のプロ

セス系などの挙動がシステムに及ぼす影響を定量的に解析し、インバータゲートブロック許容時間の向上を図ることが必要である。さらに、多数の分散型電源が連系してきた場合は系統側への影響も異なってくることから、今後の普及状況も考慮した運転制御方法の検討を行うこと、その結果が現状のシステムに対してどれだけのメリットがあるのかも明確にしていくことが必要である。

(2) 電力品質面

電圧変動抑制面に関しては分散型電源が多数連系されて、個々の設備が独立に電圧抑制制御を行った時の電圧変動の大きさや発電設備間の相互干渉の有無等の現象解析を行い、問題があればそれを解決するためのインバータの運転制御方法等の検討が必要となる。

(3) 保護協調

単独運転検出に関して、これまで提案されている能動的な検出方式は少なからず配電線の電圧およびインバータへ影響を与えることが考えられるため、その影響の度合いについて今後の実証試験などでの確認が必要である。

また、単独運転の継続許容限度の定量的な明確化やさらに効果の高い単独運転防止方式の開発（保護信頼度の維持・向上のために配電線総合自動化システムの利用やニューメディアの適用など）などの検討も必要であると考えられる。

5. まとめ

分散型電源の連系実績は確実に増えてきているものの、表4に示すようにまだその実績は少ない。そのため、機器・装置の初期トラブル、経年性能劣化などは実績の積み重ねによる課題の洗い出しや解決が必要となる。

また、これまでの研究において概ね当初の研究課題は解決されてきたと考えられるが、分散型電源が配電系統に多数導入された時点（フィーダの最低負荷やバンクの最低負荷を

超えるような分散型電源が連系される時点）になると、電圧管理、配電系統の保護や保安に対して新たな問題が生じるおそれがあり、分散型電源の併入限度、電圧管理手法、配電系統の保護方式や単独運転防止対策等を再検討することが必要になるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) NEDO 太陽光発電システム実用化技術開発「周辺技術の研究開発」（系統連系技術の実証研究開発）報告書（総括版）
- 2) NEDO 「分散型新発電技術実用化実証研究に関する実証運転研究」報告書
- 3) 電中研報告書「太陽光発電のピーク電力需要削減効果」，T90021，平成3年3月
- 4) CRS NEWS，Vol. 9，JUNE，1993

表4 新エネルギー発電設備の系統連系実績

平成5年11月末現在

	太 陽 光 発 電				風 力 発 電		燃 料 電 池	
	低 圧 連 系		高 圧 連 系		高 圧 連 系		高 圧 連 系	
	件数	kW	件数	kW	件数	kW	件数	kW
北海道			2 2 1	93.0 93.0 63.0	1 1	82.5 82.5		
東 北	1 1	5.0 5.0			1 1 1	322.5 322.5 322.5		
東 京	8 8 3	24.0 24.0 9.2	7 4 2	125.5 68.0 35.0			5 2	800 450
中 部	3	37.0	8 2	104.9 18.9	1	250.0	2	150
北 陸			5 4	50.7 45.7	1 1	100.0 100.0	1	50
関 西	4 4 2	9.0 9.0 6.0	3 2 2	90.0 75.0 75.0			6 2 2	1120 320 320
中 国	2 1	12.4 10.0	3 2 1	29.0 9.0 5.0	1	33.0	1 1 1	200 200 200
四 国	2 2	6.0 6.0	1	10.0	1	100.0	1	50
九 州	2 2 2	7.0 7.0 7.0	7 3	100.0 60.0	1 1	250.0 250.0		
沖 縄			3 3 2	750.0 750.0 700.0	1 1 1	500.0 500.0 500.0		
合 計	22 18 7	100.4 61.0 22.2	39 22 8	1353.1 1119.6 878.0	8 5 2	1638.0 1255.0 822.5	16 5 3	2370 970 520

(電事連まとめを基に集計)

上段：合計

中段：逆潮あり（再掲）

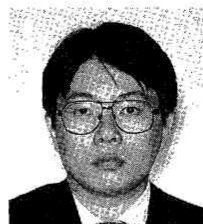
下段：逆潮ありの内新ガイドライン準拠の連系（再掲）

単独運転検出機能（低圧・高圧），転送遮断装置（高圧）採用分

高度負荷集中制御システム

—— 負荷平準化の一方策 ——

福井 康博*



1. はじめに

電力負荷の平準化（ロード・レベリング）は古くて新しい問題である。古くは昭和30年代の後半より導入された深夜電力制度があり、割安な料金適用により夜間の需要開拓が図られてきた。

一方、昼間に発生する最大電力需要は、社会生活水準の向上に伴う快適性志向を反映し、冷房機器の普及拡大により着実な伸びを示してきた。特に近年においては、深夜の需要開拓にもかかわらず、ピーク需要が発生する夏季においては昼夜間の需要格差が拡大してきており、年間負荷率も低下の傾向にある。

この昼夜間および季節間の需要の格差拡大、並びに年間負荷率の低下は、設備利用率の低下につながり、ひいては供給コストへの悪影響が懸念されている。

もちろん、このような状況に対し、電力各社は従来に増して負荷の平準化に努め、産業用大口需要家への季時別料金制度の導入、一般需要家を対象とした時間帯別電灯料金制度など新たな諸方策を講じているところである。

このような負荷の平準化方策には、大別すると前述のような料金制度面による間接的な

負荷制御と、需要家の負荷機器を直接制御する直接的な負荷制御に分けられる。前者は既になじみも深いが、後者はわが国においては、まだなじみが少ない。

本稿で紹介する高度負荷集中制御システムは、この後者にあたるもので、需要家と電力会社間でデータのやりとり等（双方向通信）を行い、需要家の利便性を損なわない範囲で、需要家の負荷機器を直接制御し、効率的な負荷平準化を進めようというシステムである。

以下に鹿児島市内で行われている実証試験の結果について紹介する。

なお、本研究は当研究所が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて実施したものである。

2. 直接負荷制御の概念

負荷平準化のための方策としては、ボトムアップ、ピークカット及び負荷シフトなどがあるが、ここでは電力会社からの直接負荷制御の対象として①深夜最低負荷時間帯のボトムアップのための温水器個別制御、②ピーク電力抑制（ピークカット）のためのエアコン制御における負荷制御手法の概念について述べる。

* 元財エネルギー総合工学研究所 主任研究員

2.1 温水器個別制御によるボトムアップ

需要家の負荷機器を電力会社から直接制御する方法としては、リップルコントロールによる温水器制御にみられるような一方（電力→需要家）でのON/OFF制御と、双方向通信（電力↔需要家）システムを用いて制御対象機器（温水器）の必要通電時間などのデータを把握し、電力側のロードカーブを合理的かつ計画的に平準化を行う個別制御がある。個別制御の概念を図1～2に示す。

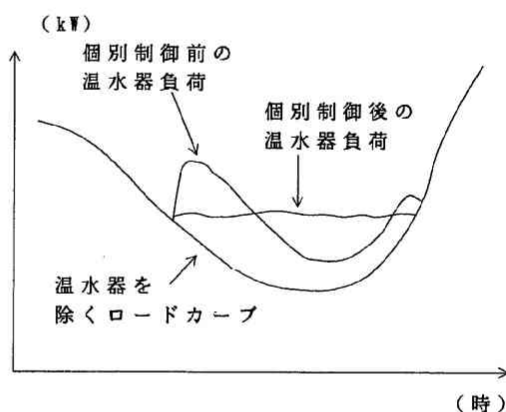


図1 温水器の個別制御によるボトムアップ概念

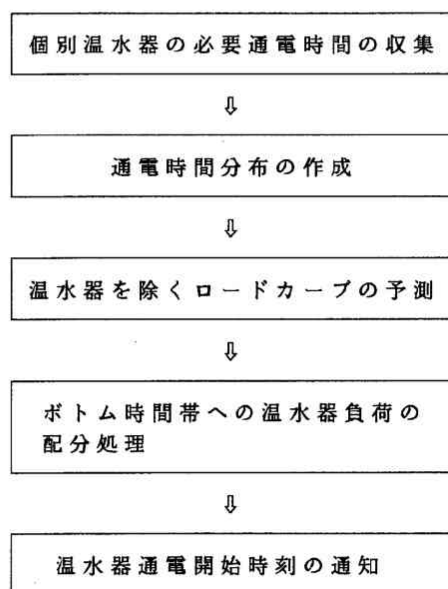


図2 個別制御の処理概念

この個別制御では、個々の温水器が残湯量から算出する必要通電時間をセンターで収集し、この情報をもとに通電時間分布を作成するとともに、ロードカーブを予測し、ボトム時間帯に温水器負荷の配分計算を行い、各々の温水器に通電開始時刻を通知する。

その後、通電開始時刻に温水器は通電を開始し、沸き上がり完了時に温水器は通電を終了するものである。

温水器負荷の配分処理は、当夜の温水器無しの時のロードカーブを予測し、ここに温水器より収集した必要通電時間と温水器容量から温水器の使用電力量を求め、要求される電力量のブロックを通電時間の長いものから順に割り当て、負荷曲線の深夜ボトム帯がフラットになるように温水器負荷を配分する。

2.2 エアコン制御によるピーク電力抑制

空調機器による最大電力の増大が今後も予測されるなか、ピークも尖鋭化し、年間負荷率低下の大きな要因ともなっている。このため、ピーク電力の抑制ニーズは今後も増してくることが予想され、その一方策として、広く一般家庭や事務所に普及しているエアコンの制御が考えられるところである。

家庭用・業務用エアコンの制御方法としては、図3に示すように、稼働中のエアコンを制御センターから強制的（快適性を損なわない程度）にエアコンのスイッチを一定時間入切りを繰り返すON/OFF制御と図4に示すようにエアコンの設定温度を上げて全体のエアコン電力を抑制し、その結果全体のピーク電力を抑制する方法等がある。但し、これらの制御方法は、需要家との何らかの合意に基づいて行うことが不可欠であるが、双方向

通信機能を活用すれば意思の伝達授受が可能となり、一方的な制御の回避が可能となる。

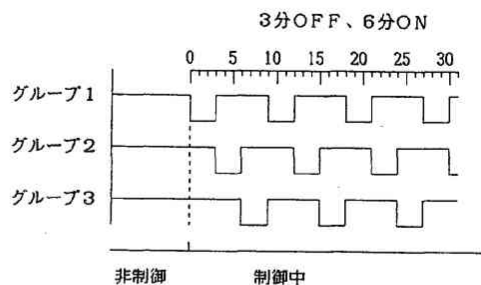


図3 ON/OFF制御の概念

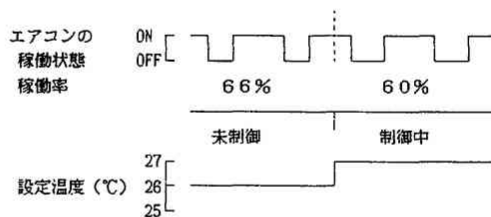


図4 温度制御の概念

3. 実証試験結果

負荷平準化のための制御方法は、種々のものが考えられるが、ここでは温水器の個別制御によるボトムアップならびにエアコン制御によるピーク電力抑制について、九州電力㈱で実施している鹿児島での実証試験結果を紹介する。

3.1 温水器個別制御によるボトムアップ

鹿児島市内の実証試験では118台の温水器を制御しており、これらの温水器を個別制御手法により制御した結果について述べる。

(1) 温水器の通電時間分布

外気温別の通電時間分布を図5に示す。図からもわかるように、外気温が24℃以上(夏季)では、80%以上の温水器が通電時間2～3

時間以下であり、4℃未満(冬季)の通電時間は1～8時間に広く分布している。季節別日毎平均通電時間の推移図6をみると、温水器の通電時間は冬季が長く、夏季が短いことがわかる。

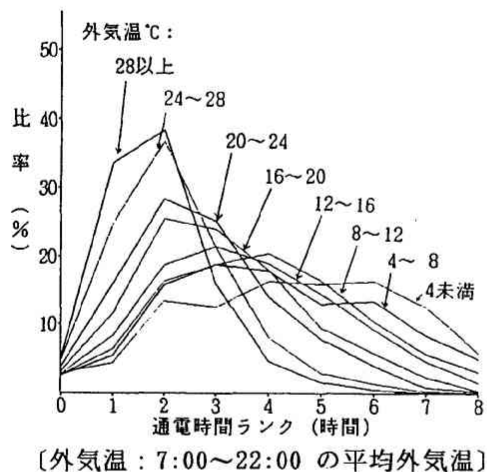


図5 平均外気温別通電時間分布

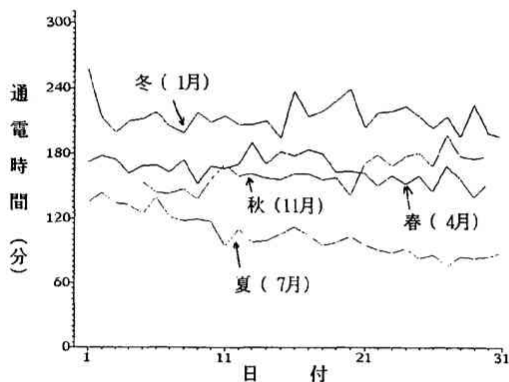


図6 季節別日毎平均通電時間

(2) 温水器普及による深夜ロードカーブ

実証サイト及び九州における温水器の普及率は約4.5%及び約5.3%である。温水器のタイプを通電時間、マイコンの有無、定格容量の5種類に分け、各々の普及率を割り当てシミュレーションを行った。図7は試験サイトの夏季・冬季のデータに対して、サイトの普

及率を適用した場合のロードカーブである。
 温水器普及によるボトムアップ効果は、夏季よりも冬季が効果が上がっていることがわかる。また、真のボトム帯への寄与効果も薄いことがうかがえる。

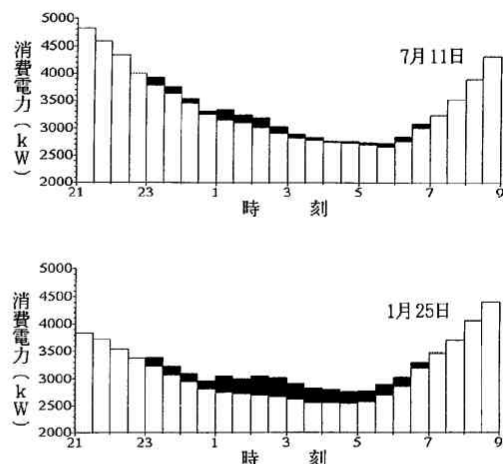


図7 実証試験における無制御時の季節別結果例

(3) 実証試験における制御効果

温水器制御によるボトムアップ効果を検討するにあたり、効果の有無をみるために尺度を定義することとする。ここでは、温水器制御が深夜帯負荷のボトムアップを目的としていることから、ボトムアップ率を次のように定義する。

$$\text{ボトムアップ率} = \frac{\text{対策後の最低電力の増分}}{\text{対策前の最低電力}} \times 100$$

このボトムアップ率は、現状では既に温水器がある程度普及しており、これによるボトムアップ率とこの温水器を制御して得られるボトムアップ率があり、効果を検討する上では双方を考慮する必要がある。

① 現状普及の温水器によるボトムアップ率

$$\text{温水器普及ボトムアップ率} \alpha = \frac{\text{温水器ありの時の最低電力の増分}(b-a)}{\text{温水器なしの時の最低電力}(a)} \times 100$$

② ①の温水器を制御した時のボトムアップ率

$$\text{通電開始時刻制御ボトムアップ率} \beta = \frac{\text{温水器を制御した場合の最低電力の増分}(c-b)}{\text{温水器ありの時の最低電力}(b)} \times 100$$

で定義付けられることになる。図8にボトムアップ率の概念を示す。

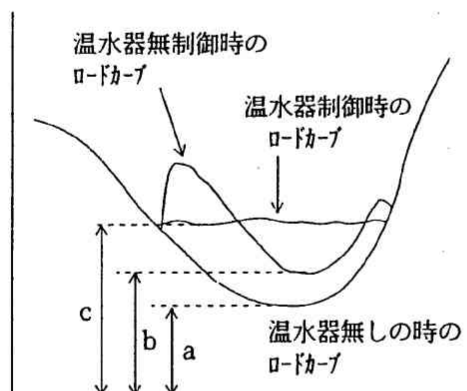


図8 ボトムアップ率の概念図

以上の概念をもとに温水器の個別制御を行った時の効果について記載する。

個別制御手法により、実証サイトの約118台の温水器を制御した夏季・冬季の制御結果を図9と表1に示す。

温水器普及によるボトムアップ率 α は、冬季には約9%程度期待されるが、負荷率が低下する夏季の場合はあまり効果が認められない。

この温水器負荷が温水器無しのロードカーブに対し最適に配分された場合の温水器負荷によるボトムアップ率は夏季で約7%、冬季で約14%となる。冬季のボトムアップが夏季の約2倍と大きいのは、冬季は外気温が低く温水器の通電時間も長いため、温水器負荷が夏季に対し増加するためである。

個別制御による通電開始時刻制御のボトムアップ率 β は、夏季で約4%、冬季で約5%のボトムアップ効果が期待される。

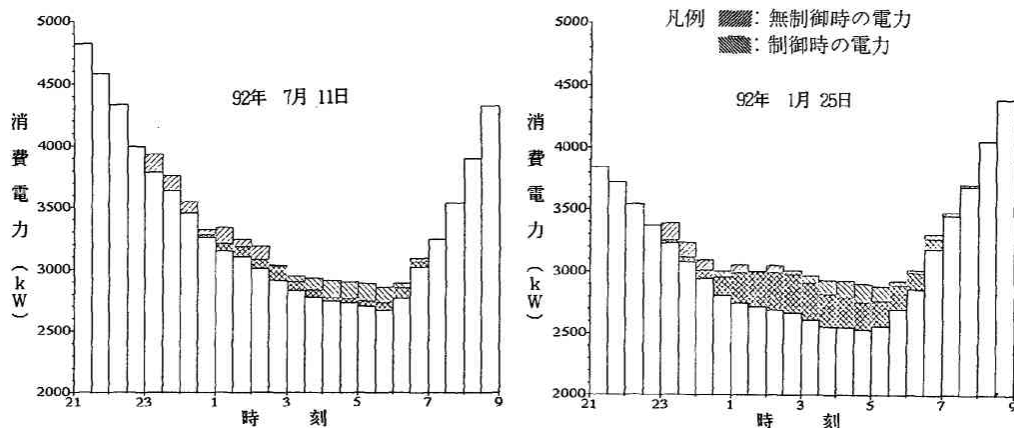


図9 実証試験における個別制御の季節別結果例

表1 温水器の普及によるボトムアップ状況

		夏季	冬季
		7月11日	1月25日
温水器なし	ボトム発生時刻	6:00	5:00
	ボトム電力 (kW) (a)	2,667 (a ₂)	2,534 (a ₄)
(無制御)	温水器普及の ボトムアップ率 α		
	ボトム発生時刻	6:00	5:00
	ボトム電力 (kW) (b)	2,733 (b ₂)	2,753 (b ₄)
	ボトム電力 (kW) b - a	66	219
温水器を 制御した場合	ボトム電力 (kW) (c)	2,853 (c ₂)	2,882 (c ₄)
	ボトム電力 (kW) c - a	186	348
	ボトム電力 (kW) c - b	120	129
	ボトム電力 (kW) c - a	186	348
温水器を 制御した場合	ボトム電力 (kW) (c)	2,853 (c ₂)	2,882 (c ₄)
	ボトム電力 (kW) c - a	186	348
	ボトム電力 (kW) c - b	120	129
	ボトム電力 (kW) c - a	186	348

(4) 温水器制御の全国への展開

全国の温水器普及を全国の実績ロードカーブに適用した場合のシミュレーション結果を

示す。全国における温水器の現状の普及率は、約5.3%であり、温水器の各々の普及率は九州での普及率を使用し、温水器の通電時間は実証試験での実績値から予想したものである。

図10が夏季・冬季のデータに対して温水器の負荷をシミュレーションした場合のロードカーブである。夏季は通電時間が短いため、ボトムアップにはあまり寄与していない。

一方、冬季は温水器1台毎の通電時間が長いいためボトムを中心に通電し、比較的深夜の負荷平準化が行われボトム帯がフラットなロードカーブとなっている。このことから温水器のボトムアップ効果は、夏季は小さく、冬季は大きいことがわかる。次に、この温水器を個別制御した場合のシミュレーション結果を図11と表2に示す。

この表に示すように、制御前のボトムアップ率が冬季で約8.3%程度、夏季で約2.0%程度であるが、この温水器を個別制御すると無制御時からさらに冬季で約6.9%程度、夏季で約6.5%程度のボトムアップ率が増加することになる。

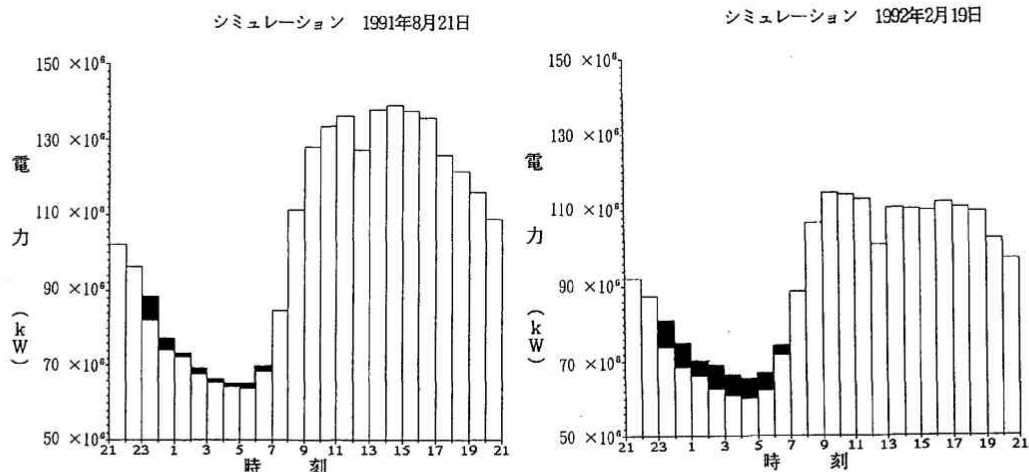


図10 全国における温水器普及によるロードカーブ

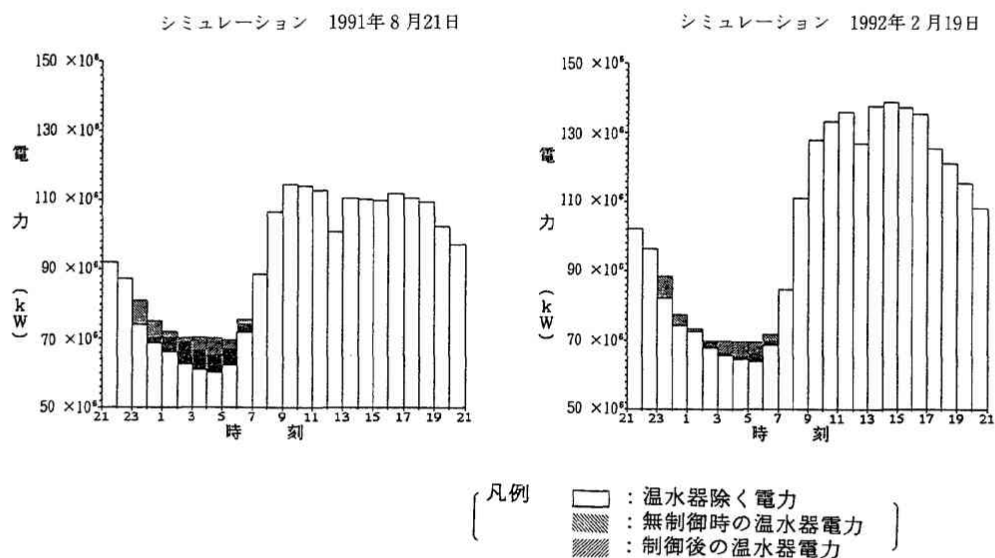


図11 全国における個別制御のシミュレーション結果

3.2 エアコン制御によるピークカット

エアコンの制御方法としては、エアコンへの電力供給を間欠的にON/OFFする方法やエアコンの設定温度を変化させ、エアコンの稼働状況を低下させる方法があり、ここでは、その実証試験結果について述べる。

なお、この結果は鹿児島市内の配電線1回線のエアコン336台を制御した結果である。

(1) エアコンの使用実態

平成3年度のピーク日における時間帯別のエアコン使用率を図12に示す。住宅用エアコンの使用率は、12:00時頃より徐々に増加し、20:00時頃に使用率は最大となる。

(2) 外気温とエアコンの使用率

平成2年度から平成4年度のデータをもとに、外気温とエアコン使用率(平均値)の変

化について図13に示す。一般的にエアコン使用率は、外気温が高くなるに従って使用率は増加し、30℃以上になるとこの増加傾向は鈍くなる。

(3) エアコンの設定温度分布

エアコンの設定温度分布を図14に示す。住

表2 温水器負荷によるボトムアップ状況

		温水器普及率 5.3%			
		冬季(H3.2)	夏季(H3.8)		
温水器なし	ボトム電力 (MW) (a)	60,150 (a ₁)	63,940 (a ₂)		
温水器制御 (無)	温水器普及の #1Δ7,7率 α	ボトム電力 (MW) (b)	65,120 (b ₁)	65,190 (b ₂)	
		#1Δ7,7電力 (MW) b - a	4,970	1,250	
		#1Δ7,7α (%) (b - a) / a	8.3	2.0	
温水器制御 (有)	通電開始時刻 制御の #1Δ7,7率 β	ボトム電力 (MW) (c)	69,600 (c ₁)	69,450 (c ₂)	
			#1Δ7,7電力 (MW) (c - b)	4,480	4,260
			#1Δ7,7β (%) (c - b) / b	6.9	6.5
	温水器なしに 対する 通電開始時刻 制御の ボトムア ップ率	ボトム電力 (MW) (c)	69,600 (c ₁)	69,450 (c ₂)	
			#1Δ7,7電力 (MW) (c - a)	9,450	5,510
			#1Δ7,7率 (%) (c-a) / a	15.7	8.6

宅用一般形エアコンについては、約半数が24℃～27℃に設定している。住宅インバータについても住宅一般形エアコンと同じ傾向にある。業務用については、特定しがたいが一般的に低めに設定していることがわかる。

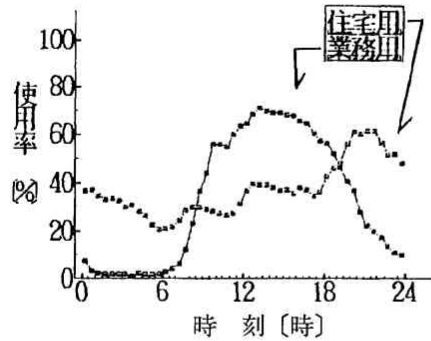


図12 時間帯別エアコン使用率

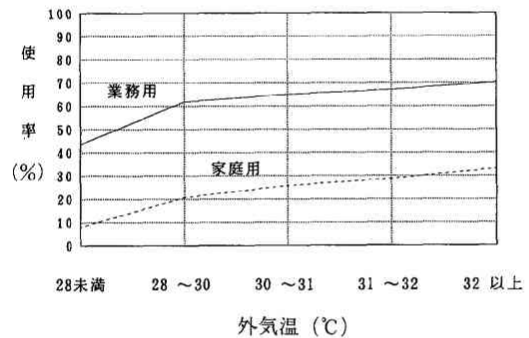


図13 外気温と使用率

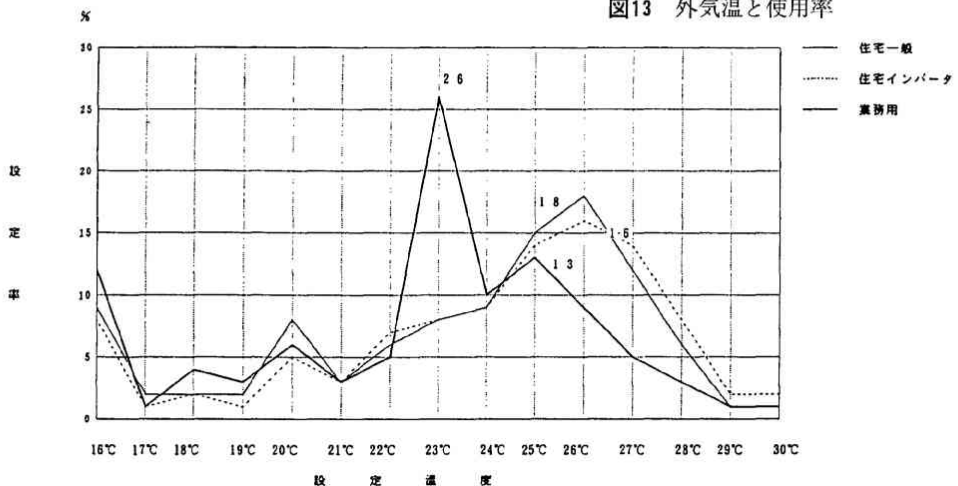


図14 設定温度分布

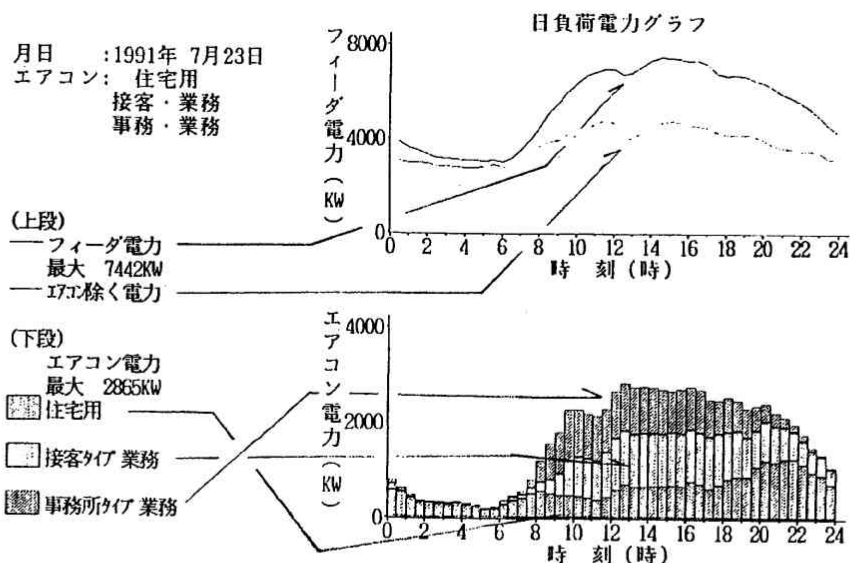


図15 実験サイトにおける日負荷曲線 (平成3年度)

(4) エアコン負荷の実態

平成3年度のピーク日における時間帯別のフィード電力と、それに占めるエアコン負荷の割合を図15に示す。ピーク時におけるエアコン負荷は全体の約38%を占めている。

(5) エアコン停止による室温上昇

外気温が32℃以上の高温時にエアコンを停止した場合の室温上昇を図16に示す。なお、測定は部屋の中央部による実測である。

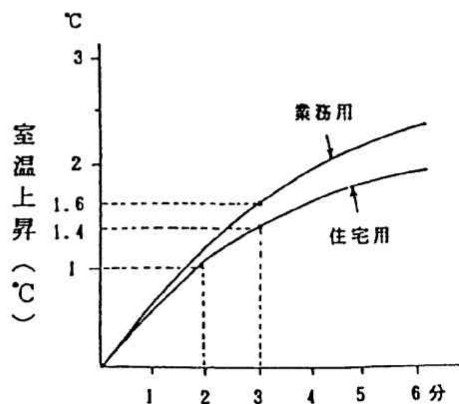


図16 室温上昇

(6) エアコン停止による需要家の反応

外気温が32℃以上の高温時におけるエアコ

ン停止による需要家の反応を図17に示す。なお、キャンセル率の把握は、需要家側に取り付けてあるキャンセルボタンにより情報を収集している。キャンセルについては、業務用の接客タイプ(小売店舗、理容、レストラン、ホール、喫茶)が高く、事務タイプ、住宅の順となっている。

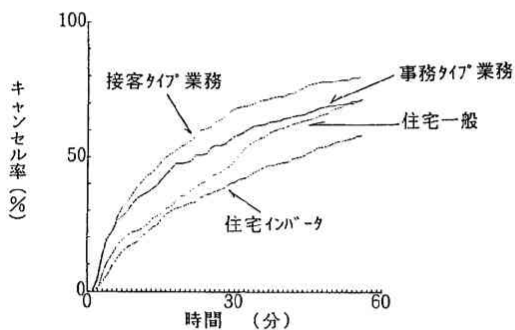


図17 キャンセル状況

(7) エアコン制御による需要家の反応

エアコンはコンプレッサの保護上、一旦停止するとエア抜きのため3分間再起動出来ないで、OFF時間を3分に固定し、ON時間を9分、12分、15分、18分の4種類に

分けて試験を実施した。このときのキャンセル率の変化を図18と図19に示す。なお、制御継続時間は1時間、キャンセル率は外気温32℃以上で平成2～4年度の累計値である。

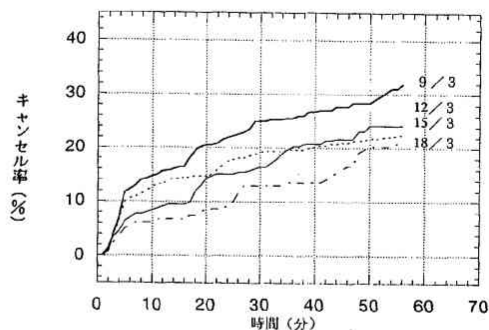


図18 キャンセル率 (住宅用)

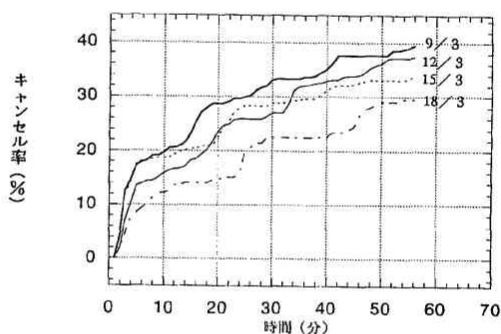


図19 キャンセル率 (業務用)

キャンセル率は制御開始の最初のOFF時間+数分間で急激に増加する。その後、漸増傾向を保ち、次のOFF時間の近傍でまた増大していく。住宅用も業務用もON時間が短い方がキャンセル率は高く、同じON時間でも業務用が住宅用よりも高い。

次に、温度制御であるが、現在需要家が設定している設定温度を一律に(例えば1℃)上昇させる方法である。

設定温度をそれぞれ1℃、2℃、3℃、4℃上昇させたときのキャンセル率の変化を、図20と図21に示す。

なお、温度制御については平成3年度の途

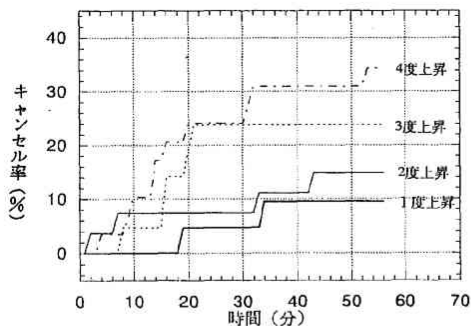


図20 設定温度上昇におけるキャンセル率 (住宅一般)

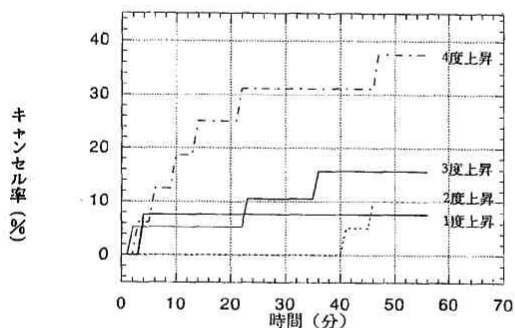


図21 設定温度上昇におけるキャンセル率 (住宅インバート)
中より試験を開始したため、データの信頼性が低く、平成4年度のデータのみを対象とした。また、外気温についても32℃以上のデータが好ましいが、32℃以上のものを対象とした場合、データ数が少ないので外気温30℃以上のものを対象とした。

サンプル数が少ないので結論的には言いにくいですが、キャンセル率は設定温度上昇を大きくするに従って増加する。

(8) エアコン制御における削減効果

実証試験サイトでのエアコン制御試験データをもとに、サイト内のエアコンを制御対象とした夏季ピーク時の電力削減効果のシミュレーション結果について述べる。

住宅用一般形エアコン、住宅用インバートエアコン、業務用エアコンについて、夏季ピーク日における負荷曲線に対し、制御を実施

した場合の昼間電力削減効果をシミュレーションした。

住宅用エアコンのピークは21時頃発生するが1日の負荷曲線では昼間にピーク発生となるため、住宅用エアコンの電力削減効果は、制御時間帯（11時～16時）に対してシミュレーションした。

ON/OFF制御における電力削減効果を表3に温度制御における電力削減効果を表4に示す。

表3 ピーク時における削減効果(ON/OFF制御)

	制御パターン	削減効果
住宅用エアコン	9分	18.5%
	12分	15.0%
	15分	11.5%
	18分	10.9%
業務用エアコン	9分	16.7%
	12分	13.2%
	15分	9.9%
	18分	9.7%

表4 ピーク時における削減効果(温度制御)

	制御パターン	削減効果
住宅用一般	4℃上昇	6.7%
	3℃上昇	2.6%
	2℃上昇	7.3%
	1℃上昇	4.1%
住宅インバータ	4℃上昇	48.8%
	3℃上昇	9.3%
	2℃上昇	6.9%
	1℃上昇	11.6%

ON/OFF制御については、ON時間が15分も18分もあまり変わらないことがわかる。温度制御については、削減電力を期待するには、設定温度を4℃以上変化させる必要があると思われる。

(9)エアコン制御の全国展開

実証試験における試験結果をもとに、ここでは、エアコン制御を全国に展開した場合の削減電力について述べる。

エアコン負荷が全国でどれだけ占めているかは、実証試験におけるエアコンの時間帯別稼働率と使用率、ルームエアコンのストック量及びパッケージエアコンのストック量より下記の式で試算することができる。

$$\begin{array}{l} \text{エアコンの} \\ \text{時間帯別} \\ \text{消費電力} \end{array} = \begin{array}{l} \text{エアコンのストック量} \\ \times \text{エアコンの平均消費電力} \\ \times \text{エアコンの時間毎の使用率} \\ \times \text{エアコンの時間毎の稼働率} \end{array}$$

この試算結果を図22に示す。この試算結果によると、全国の日負荷曲線に占めるルームエアコン負荷はピーク時で約8%、パッケージエアコンで約11%となった。

また、実証試験で実施している9分ON3分OFFの制御における電力削減量についても試算した結果、約 4.8×10^6 kWの削減電力となる。

ただし、この結果は、鹿児島での実証試験のデータをもとに試算した結果であり、地域性を考慮せず、エアコンを設置している需要家が、快適性を損なわず全て制御に参加したと仮定した場合の試算結果である。

4. あとがき

以上、負荷平準化に資するための負荷機器の直接負荷制御（高度負荷集中制御）につい

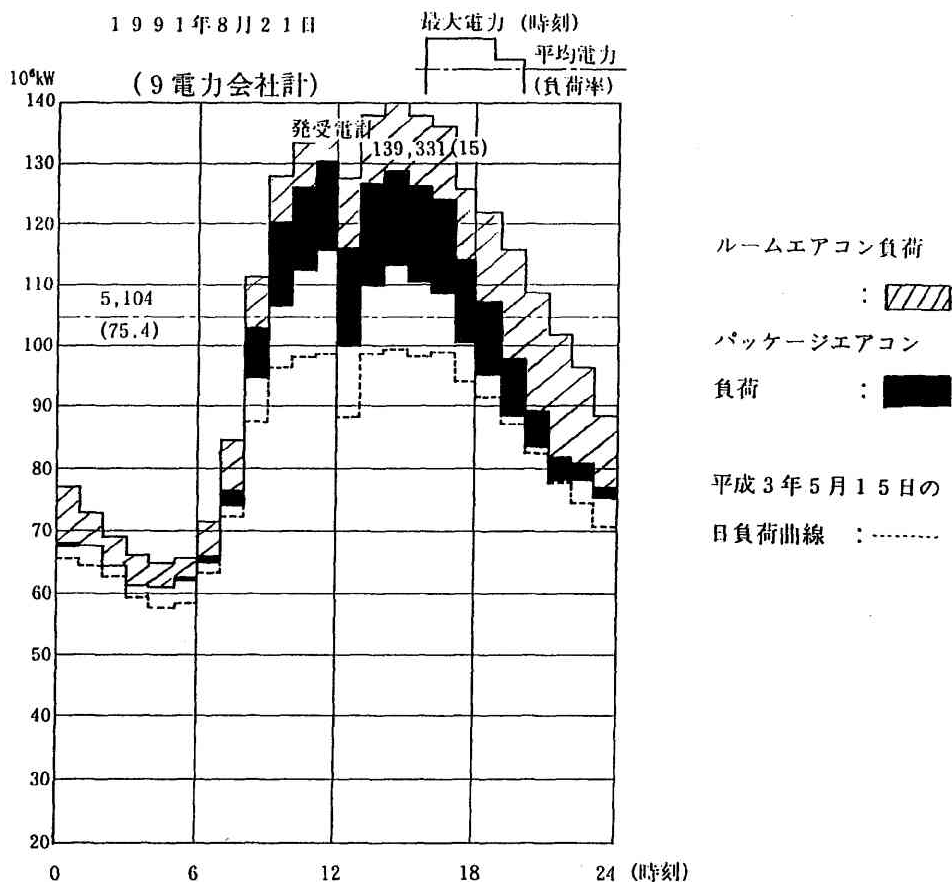


図22 エアコン負荷の日負荷曲線に占める割合

て述べてきた。

この直接負荷制御は、需要家の快適性を損なわない範囲で電力会社から需要家の負荷機器を制御し、負荷平準化を図るための技術的実証を目的としており、技術的立場から制御可能という確認が得られた。ただ、このシステムの実用化に当たっては、直接負荷制御の運用面、制御参加者へのインセンティブ及び経済性など今後検討していかなければならない課題もあり、今後の研究成果がおおいに期待されるところである。

(福井氏の現職は、九州電力㈱配電部近代化担当)

製油所における電・熱有効利用に関するモデル調査結果



大 門 昶 雄*

1. はじめに

石油業界は進展する原油の重質化、需要の白油化などへの対応を迫られている。一方、電力需要の増加が見込まれる電力業界では原子力をはじめとする発電所の立地が困難化の傾向にあり、電源開発のリードタイムの長期化などにより将来電力需給逼迫の事態が懸念されている。

このような背景のもと需要の低下が進む重質油の有効活用策の一環として、電・熱需要が期待される大都市近郊に位置する製油所に、製油所内で消費する蒸気の発生を組み入れた総合効率のより高い発電所機能を導入し、電力供給に資するとともに地域熱供給の可能性についても併せ調査を行った。

本調査は、通商産業省資源エネルギー庁の平成5年度技術開発基盤等整備事業の一つとして勘石油産業活性化センター（P E C）から当研究所に委託されたものである。調査の内容は、代表的な現存大都市近郊製油所の電・熱利用状況、米英の製油所の発電状況とこれをサポートする電気事業制度の概要、現行の電気事業法の概要、規制緩和の動向、発電所機能を持つ製油所を実現するための諸問

題などを含む幅の広い調査であるが、技術的調査の中心として策定したモデル製油所の検討評価結果を要約し報告する。

2. モデル製油所のコンセプトとケース設定

2.1 コンセプト

(1) 処理能力

モデル製油所の処理能力は、大都市近郊に位置する製油所の平均処理能力143,400バレル/日を参考に、150,000バレル/日とする。

(2) 原油性状

モデル製油所の処理原油は、現状の製油所の処理原油の多くがアラビアン系統でありその過半数がアラビアンライトであるものの、将来の重質化を想定しアラビアンミディアムとする。

(3) 製品得率

モデル製油所の製品得率は、平成5～9年度石油供給計画の平成9年度の得率に対し若干白油化が進む状況を想定して表1の値を目安とする。

(4) 製品性状

モデル製油所の製品性状は、現行規格・市場製品性状および今後の規制などを考慮

※ 勘エネルギー総合工学研究所 副主席研究員

表1 製品得率（単位：%）

製 品	モデル製油所	石油供給計画 (平成9年度)
揮 発 油	28	22.56
ナ フ サ	4	4.08
ジェット燃料油	3	3.05
灯 油	12	11.71
軽 油	22	19.54
A 重 油	12	12.15
B 重 油	—	0.02
C 重 油	10	17.38

表2 製 品 性 状

製 品	主 な 性 状
ガソリン	リサーチ・オクタン価（無鉛）=92
灯 油	煙点>23mm, 引火点>40℃
軽 油	硫黄分<0.05wt%, セタン指数=55
A 重 油	動粘度<20cst@50℃, 硫黄分<0.5wt%, 残留炭素分<2 wt%
C 重 油	動粘度<250cst@50℃, 硫黄分<1.0 wt%, 残留炭素分<8 wt%

し表2のように定める。

(5) 設備構成

モデル製油所の設備は、15万バレル/日規模の現存製油所が有する減圧蒸留・接触分解・接触改質・中間留分水素化脱硫・重質油水素化脱硫の設備を組み入れるとともに、原油の重質化傾向を考慮し直接脱硫・残油接触分解の設備を組み入れた構成とする。

(6) 発電システム

製油所の発電設備の現状はボイラ・タービンによる汽力発電が多いが、幾つかの製油所では副生ガスを燃料としたコージェネレーション・システムを採用し製油所のエネルギー効率および経済性向上を図っている。一方、モデル製油所の発電システムは、重油需要の減少化傾向に対処し売電の可能性を検討するため、減圧残渣油を直接燃焼する直接燃焼発電ケースと一般的に汽力発電に比べ高効率・低コストといわれる複合発電に着目し減圧残渣油をガス化し水添用

水素を生産すると同時に複合発電の燃料とするガス化複合発電のケースを検討する。

(7) 発電規模

現行電気事業法および関連法規に基づく自家発電規模（自家消費の2倍以内で150MW未満）のケースとそれを超える卸電気事業規模のケースを検討対象とする。

(8) 熱供給システム

製油所の更なるエネルギー有効利用のため新宿副都心、幕張、札幌の地域冷暖房例を参考に熱需要規模100, 50, 20Gcal/hの3ケースについて外部熱供給を行った場合のエネルギー効率および経済性を検討する。

2.2 ケース設定

上記コンセプトに基づきケーススタディを行うため、まず表3に記載の4ケースを設定した。

表3 ケースと方式

ケース	方 式
1	減圧残渣油の直接燃焼発電（150MW未満）
2	減圧残渣油のガス化複合発電（150MW未満）
3	減圧残渣油の直接燃焼発電（150MW以上）
4	減圧残渣油のガス化複合発電（150MW以上）

更に、各種検討評価のため現状の製油所に見合う自家発汽力発電+買電のケースをベースケースとして設定した。

3. モデル製油所の概念設計

モデル製油所のコンセプトとケース設定に従い各ケースの概念設計を行った結果を以下に示す。

3.1 石油精製設備

各ケースとも常圧蒸留・ナフサ脱硫・接触

改質・灯油脱硫・軽油脱硫・減圧蒸留・減圧軽油水素化分解・残油流動接触分解・ガス回収・硫化水素吸収・硫黄回収装置が組み込まれている。各ケースの相違は、発電システムと容量に関連して減圧残油脱硫・水素製造（スチームリフォーマー）・ガス化装置の有無と容量である。各ケースの主な特徴を以下に述べる。

(1) ベースケース

- ①減圧残渣油の一部を汽力発電の燃料とする。
- ②水添用水素はナフサのスチームリフォーミングにより製造する。
- ③減圧残渣油の大半を石油製品とするため、減圧残油脱硫装置の容量は最も大きい。

(2) ケース 1

- ①減圧残渣油の一部を汽力発電の燃料とする。
- ②水添用水素はナフサのスチームリフォーミングにより製造する。

(3) ケース 2

- ①減圧残渣油の一部をガス化し複合発電の

燃料とすると同時に水添用水素を得る。

- ②従って、水素製造装置は不要。

(4) ケース 3

- ①減圧残渣油の全てを汽力発電の燃料とする。
- ②従って、減圧残油脱硫装置は不要。
- ③水添用水素はナフサのスチームリフォーミングにより製造する。

(5) ケース 4

- ①減圧残渣油の全てをガス化し複合発電の燃料とすると同時に水添用水素を得る。
- ②従って、減圧残油脱硫装置および水素製造装置は不要。

ケース 1 および 2 のブロックフローを例として図 1 および図 2 に、各ケースを構成する装置の能力を表 4 に示す。

3.2 発電設備

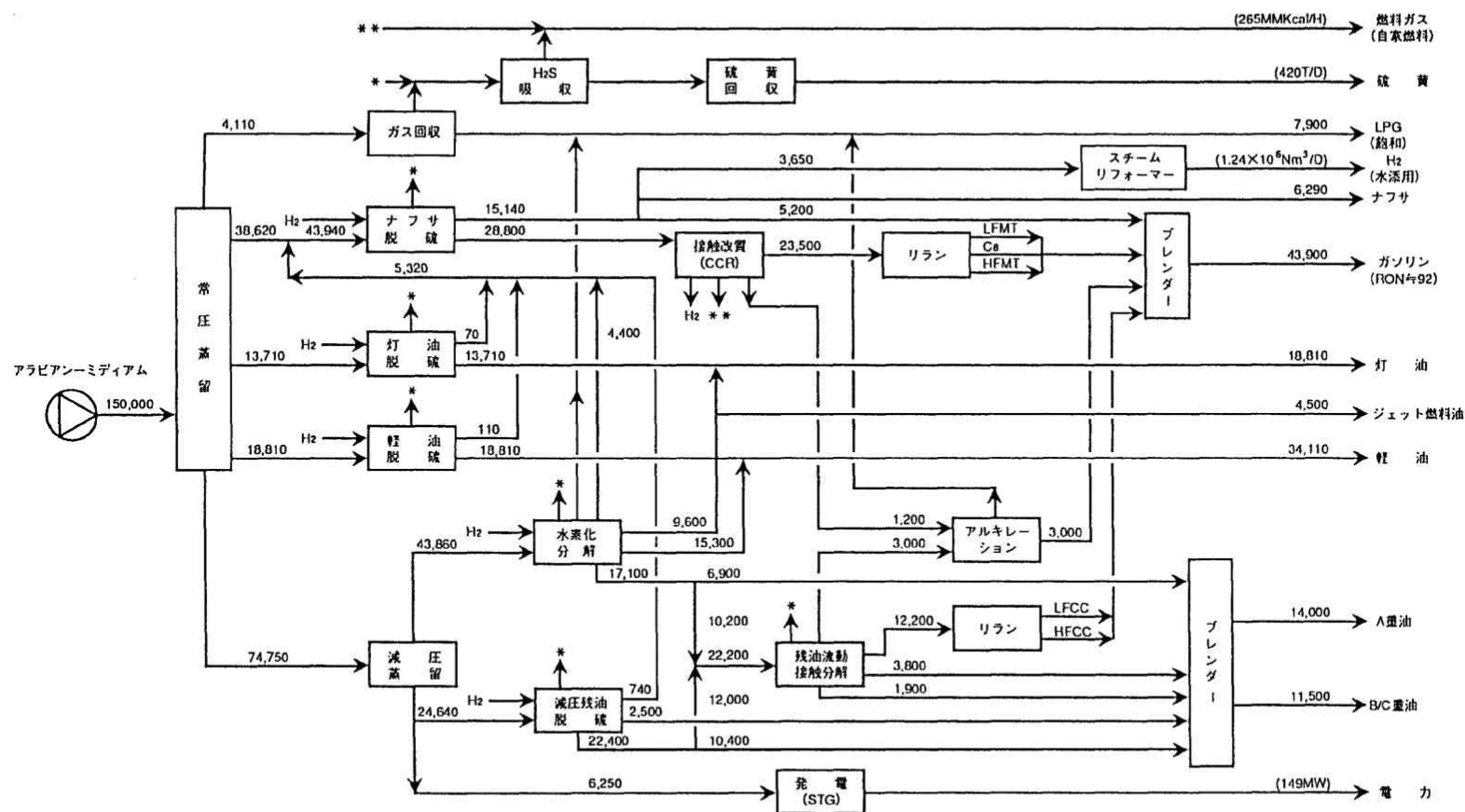
各ケースの主な特徴を以下に述べる。

(1) ベースケース

- ①100kg/cm², 510℃級ボイラで減圧残渣油を直接燃焼する。
- ②ボイラから発生した蒸気は全て背圧ター

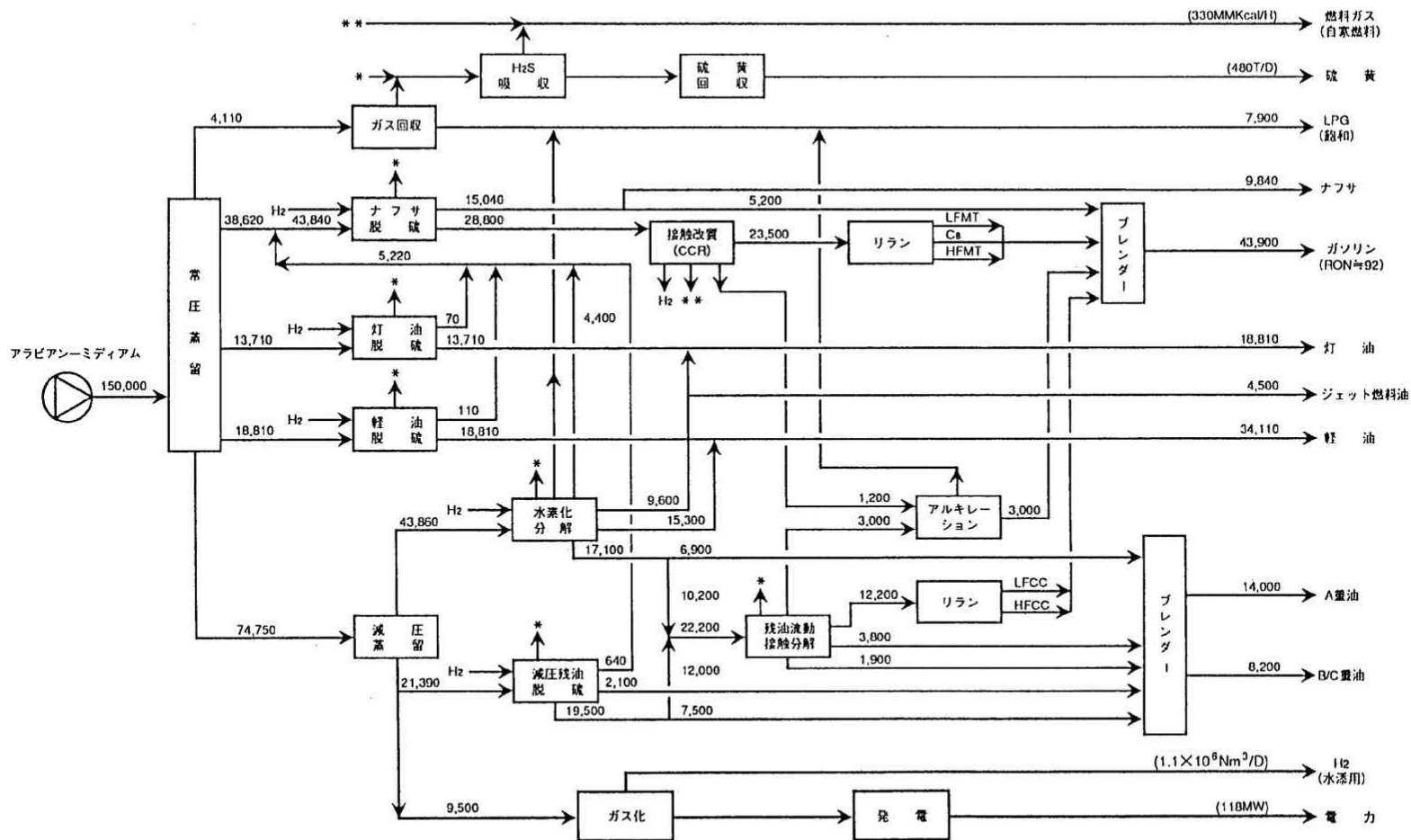
表 4 装 置 能 力 (単位：バレル/日)

装 置	装 置 能 力				
	ベースケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
常圧蒸留	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000
ナフサ脱硫	44,060	43,940	43,840	43,200	43,200
接触改質	28,000	28,800	28,800	28,600	28,600
灯油脱硫	13,710	13,710	13,710	13,710	13,710
軽油脱硫	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810
減圧蒸留	74,750	74,750	74,750	74,750	74,750
水素化分解	43,860	43,860	43,860	43,860	43,860
減圧残油脱硫	28,710	24,640	21,390	—	—
残油流動接触分解	22,200	22,200	22,200	17,100	17,100
ガス化	—	—	9,500	—	30,890
水素製造 (H ₂ MMNm ³ /日)	1.50	1.24	—	0.26	—
硫黄回収 (ton/日)	480	420	480	225	490



(単位：BPSD)

図1 モデル製油所のブロックフロー (ケース1)



(単位：BPSD)

図 2 モデル製油所のブロックフロー (ケース 2)

ビンに送る。

- ③タービンからの抽気および排気蒸気で製油所にて必要とする蒸気を賄う。

(2) ケース 1

- ①ボイラ用燃料は減圧残渣油を直接燃焼する。

- ②139kg/cm², 538℃蒸気による再生再熱サイクルを採用。蒸気タービンからの抽気を出来るだけ行いタービンでの復水損失を抑えている。

(3) ケース 2

- ①減圧残渣油をガス化しガスタービン燃料として使用する複合発電。

- ②ガスタービンは1,100℃, 100MW級を想定。

- ③製油所の蒸気所要量とガスタービン用排熱回収ボイラで発生する蒸気が丁度見合うので背圧タービンを使用した。

(4) ケース 3

- ①ケース 1 と同じ再生再熱サイクルを大容

量化した。

- ②但し、蒸気レベルを超臨界圧の246kg/cm², 566℃級に上げて効率を高めている。

(5) ケース 4

- ①ケース 2 と同じ減圧残渣油のガス化複合発電を大容量化した。

- ②但し、ガスタービンは1,300℃級に改良した150MW級タービンを4系列設置。

ケース 1 および 2 のブロックフローを例として図 3 および図 4 に示す。

4. モデル製油所の検討評価結果

4.1 電・熱バランスの評価

発電設備の電・熱バランスの計算結果を表 5 に示す。

この結果、

- ①ベースケースは、背圧タービンを使用したので出力および発電効率は低いが、製油所への熱供給を含む総合効率は極めて高い。

- ②ケース 1 は製油所への熱供給の効果で比較

表 5 発電設備電・熱バランス

摘 要	ベースケース		ケース 1		ケース 2		ケース 3		ケース 4	
発電方式	ボイラ/背圧タービン		再熱ボイラ/再生・復水タービン		10万kW級ガスタービン、排熱回収ボイラ/背圧タービン		再熱ボイラ/再生・復水タービン		15万kW級ガスタービン、排熱回収ボイラ/背圧タービン	
系列数	1		1		1		1		4	
出力 (kW)	25,700		149,100		118,400		972,600		847,200	
	発電効率 (%)	総合効率 (%)	発電効率 (%)	総合効率 (%)	発電効率 (%)	総合効率 (%)	発電効率 (%)	総合効率 (%)	発電効率 (%)	総合効率 (%)
外部熱供給量										
0 Gcal/h	15.8	91.2	31.9	60.2	37.5	83.2	42.2	49.0	48.9	61.7
20 Gcal/h	—	—	31.0	64.3	—	—	41.9	49.9	48.8	63.1
50 Gcal/h	—	—	29.2	69.9	—	—	41.4	51.2	48.3	65.0
100 Gcal/h	—	—	26.2	79.4	—	—	40.6	53.4	47.6	68.1

備考：⑦出力は外部熱供給が無い場合の発電端の値。

⑧発電効率 = (発電端出力) / (燃料消費量 × 低位発熱量)

⑨総合効率 = (発電端出力 + 熱供給量 - 入熱量) / (燃料消費量 × 低位発熱量)

⑩燃料低位発熱量：減圧残渣油9,500kcal/kg, ガス化燃料2,640kcal/Nm³。

⑪燃料はボイラあるいはガスタービンでの消費量を基準としている。従って、ガス化装置での損失は含まない。

発電効率 31.93 %
 総合効率 60.21 %

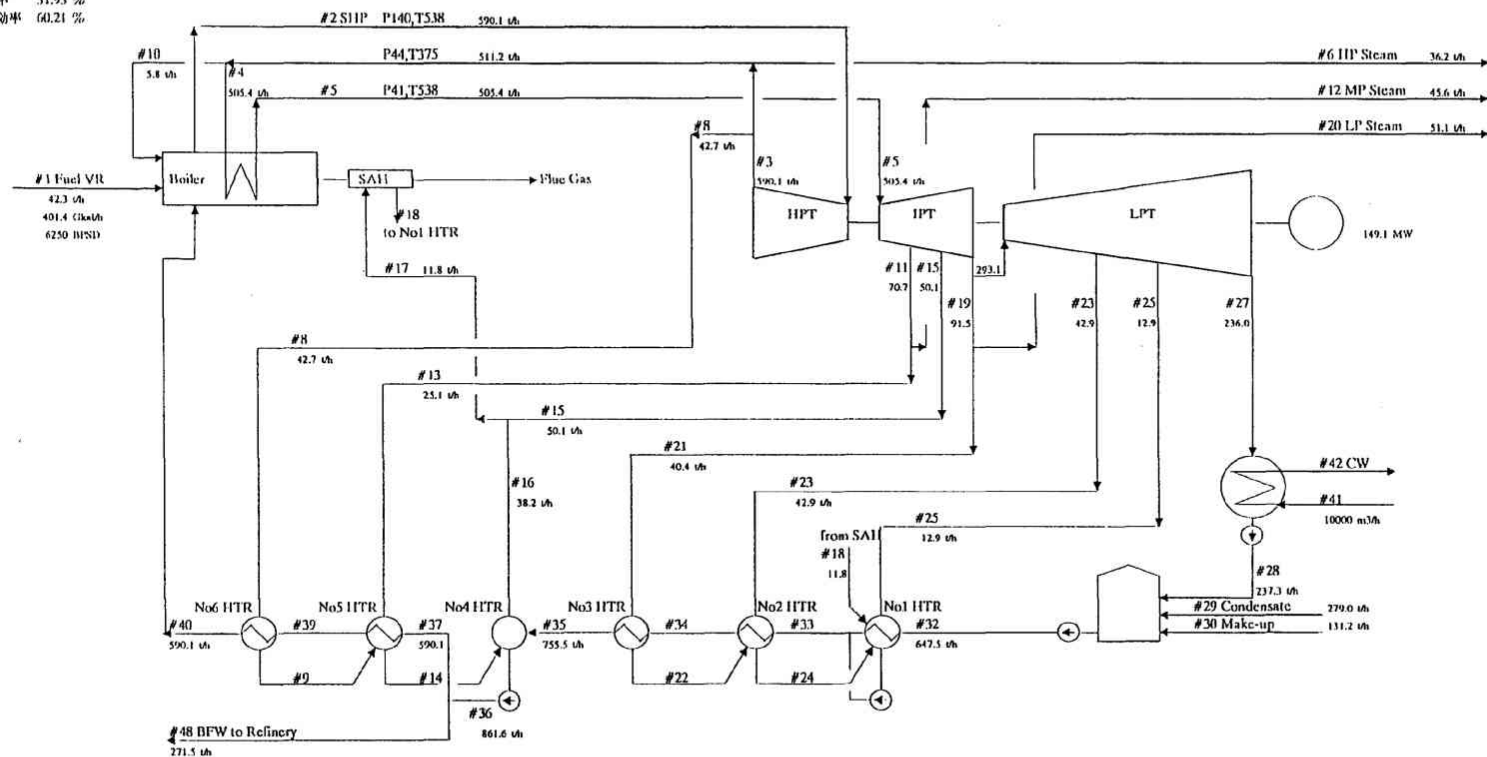


図3 発電設備のブロックフロー (ケース1)
 (外部熱供給を行わない場合)

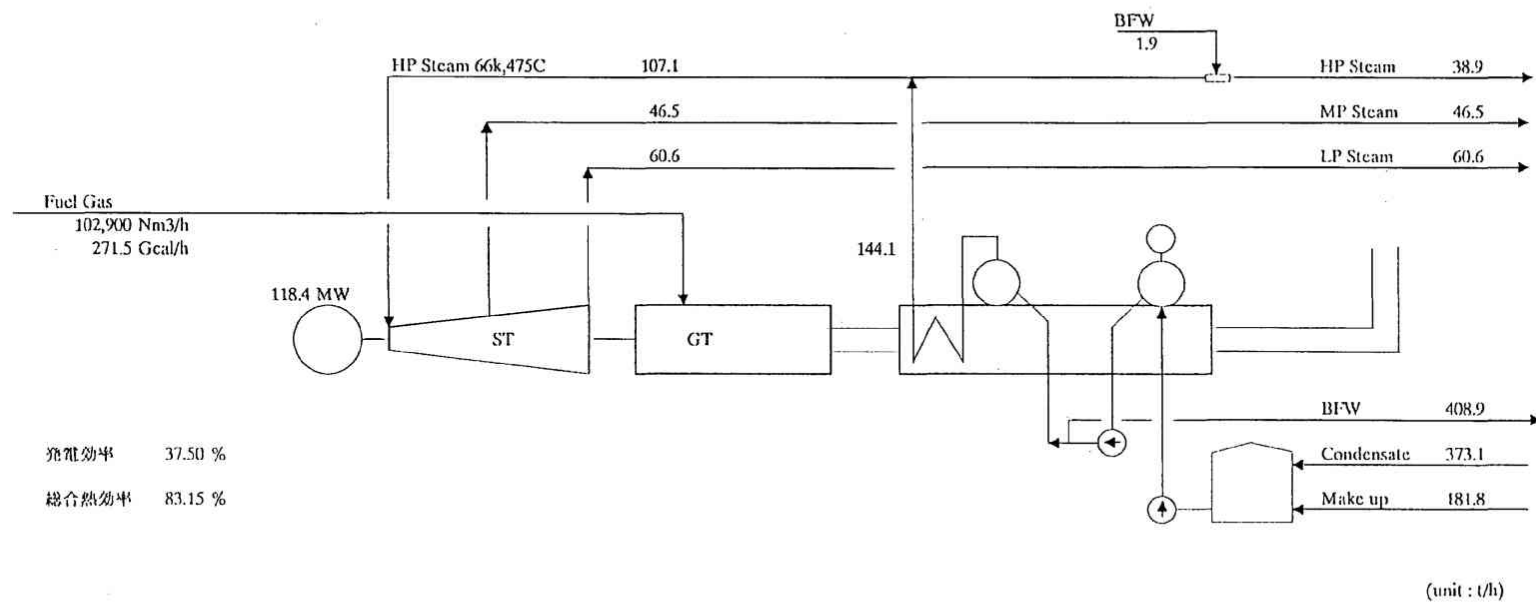


図4 発電設備のブロックフロー（ケース2）
（外部熱供給を行わない場合）

的に高い総合効率が得られている。

③ケース 2 は、蒸気バランスの関連で背圧タービンを使用したので極めて高い総合効率が得られている。反面、通常の天然ガス複合発電に比べ蒸気タービンの出力が低い。

④ケース 3 および 4 は、発電設備自体の消費熱量・蒸気発生量が製油所での熱供給量あるいは外部熱供給量に対してはるかに大きいいため、ケース 1 および 2 程の効果が得られていない。

⑤汽力発電（ケース 1，3）に比べガスタービン複合発電（ケース 2，4）の方が高い発電効率が得られており、発電のみとらえれば複合発電が有利である。

一方、上記の検討はガス化複合発電におけるガス化装置の燃料損失などを含まない発電設備のみの比較になっている。そこで、ガス化装置の損失を考慮し比較した結果を表 6 に示す。

表 6 ガス化装置の損失を考慮した効率
(外部熱供給が無い場合)

ケース	発電効率 (%)	総合効率 (%)
ベース	15.8	91.2
1	31.9	60.2
2	28.5	63.3
3	42.2	48.6
4	37.4	47.2

この結果、汽力発電の方が発電効率が高く複合発電の高効率性が生かせていない。ガス化装置の熱バランスなど今後更に詳細な検討が必要であろう。

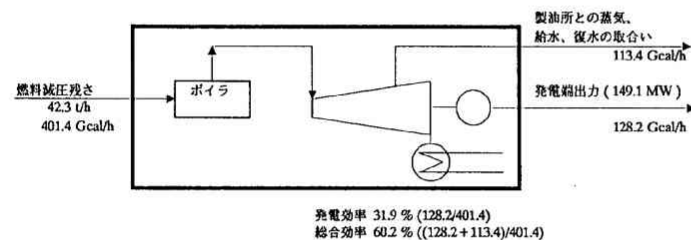
なお、ケース 1～4 の発電効率・総合効率の考え方を図 5 に示す。

4.2 経済性評価

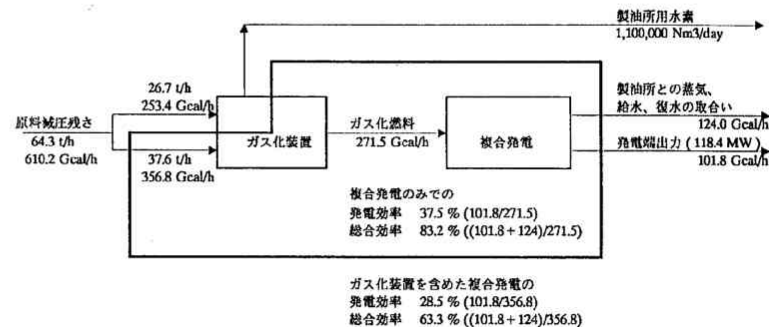
ガス化複合発電におけるガス化装置を含む発電設備を対象として経済性の評価を行うために使用した主な数値を表 7 に示す。なお、外部熱供給は温水とし供給配管長を 3 km とした。

表 7 建設費他

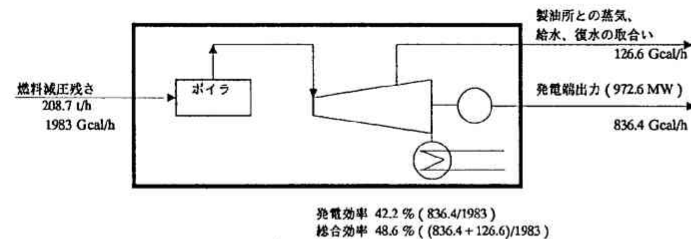
摘 要	ベースケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
建設費 (億円)					
発電設備	68	316	207	1,751	1,186
ガス化装置	—	—	177	—	595
合 計	68	316	384	1,751	1,781
外部熱供給設備					
(100 Gcal/h)	—	18.3	—	18.3	18.3
(50 Gcal/h)	—	15.2	—	15.2	15.2
(20 Gcal/h)	—	12.7	—	12.7	12.7
触媒・薬品・用役他費用 (億円/年)	9.10	10.92	5.17	41.33	12.93
発電設備の年間稼働時間、負荷率	8,000時間/年, 100%				
人 件 費	1 千万円/年・人				
原価償却期間	15 年				



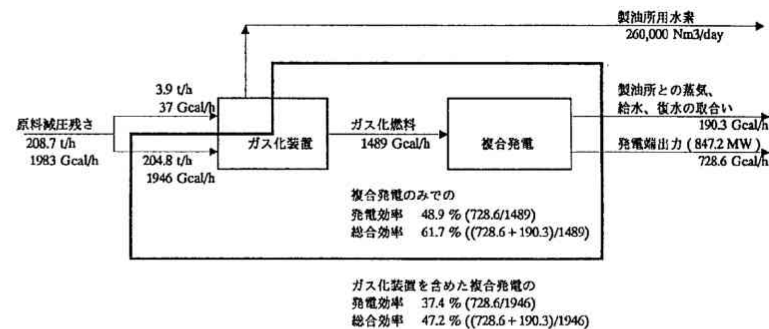
(1) ケース 1



(2) ケース 2



(3) ケース 3



(4) ケース 4

図 5 発電効率・総合効率の考え方 (ケース 1 ~ 4)

(1) 発電原価

各ケースの発電原価を図6に示す。

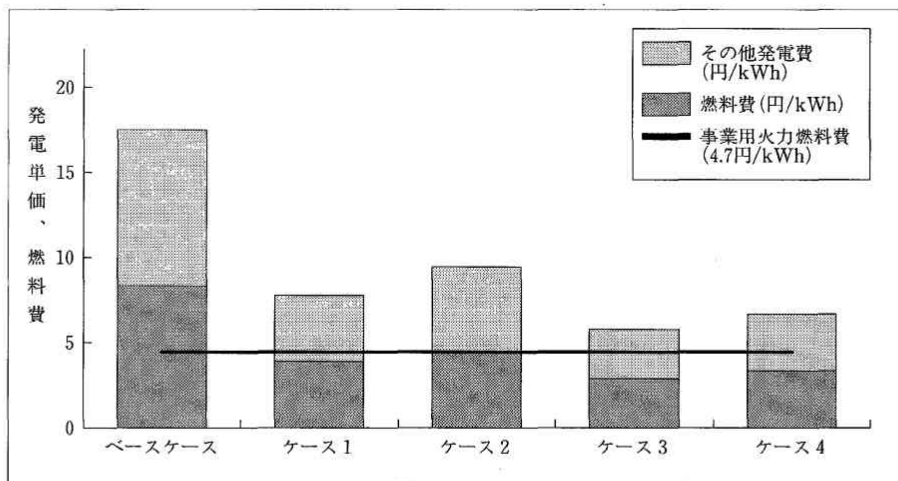


図6 発電原価と燃料費

備考：⑦外部熱供給を行わない場合。

④燃料価格15,000円/kl, 100%負荷。

この結果、

①発電原価は発電規模が大きくなるほど低下する。

②汽力発電に比べガス化複合発電のほうが若干原価が高い。

③発電原価に占める燃料費を10電力会社の

火力発電全体の燃料費4.71円/kWh（平成4年度）と比較すると、ベースケースを除き優れている。

(2) 回収期間（年）

ベースケースに対する追加設備を回収するケース1～4の回収年数を図7に示す。

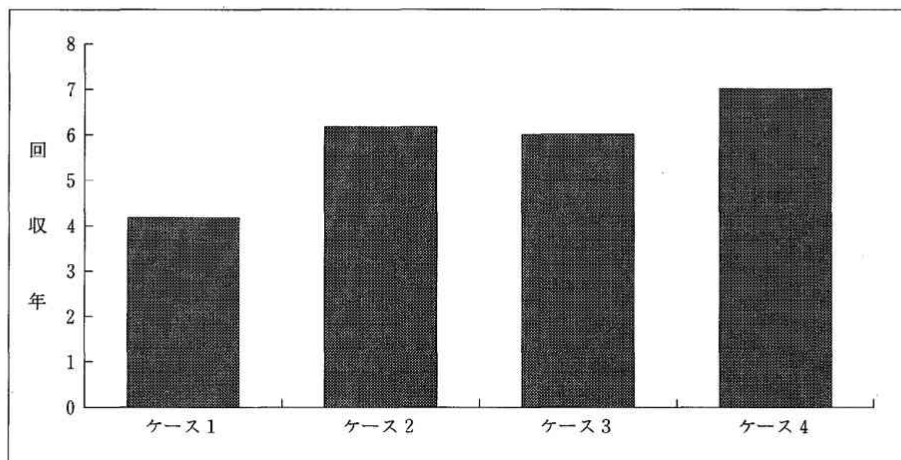


図7 回収年数（ケース1～4）

備考：⑦外部熱供給を行わない場合。

④燃料価格15,000円/kl, 売電単価7.5円/kWh。

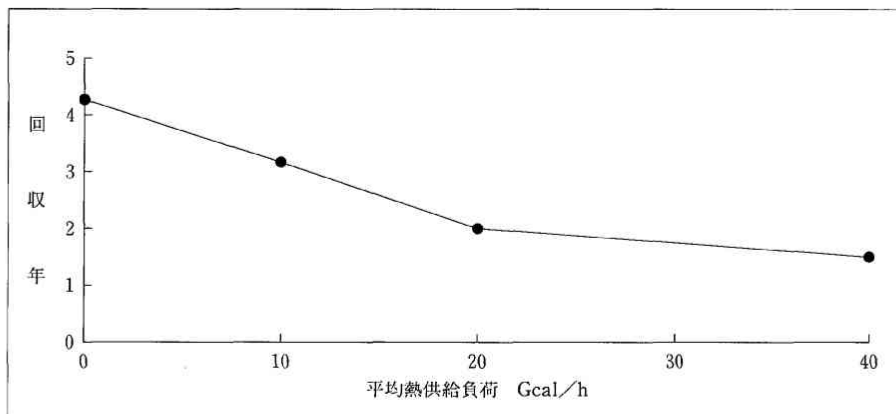


図8 外部熱供給が回収年に及ぼす影響（ケース1）

備考：⑦熱供給価格40円/1,000kcal。

ケース1における外部熱供給が回収年におよぼす影響を図8に示す。

この結果、

①発電設備の回収年は4.2～7.1年の範囲となり、設備構成が最も単純なケース1（汽力発電）の回収年数が最も短い。

②外部熱供給が回収年数に与える影響は立地条件や配管施設費などにもよるが、予想以上に大きい。

(3) ケース1～4の発電原価は負荷率100%

の場合6.2～10円/kWhとなりその内燃料費は3.2～4.7円/kWhとなるが、売電需要などの事情により負荷率を下げざるを得ない場合は発電原価にはねかえることとなる。従って、発電効率は変わらないとして負荷率70%の場合の発電単価を算出すると図9のように7.5～12.2円/kWhとなる。

次にケース1～4の単純回収年数を4年とした場合の売電単価を逆算すると、負荷率100%および70%の場合表8のようになり、実現

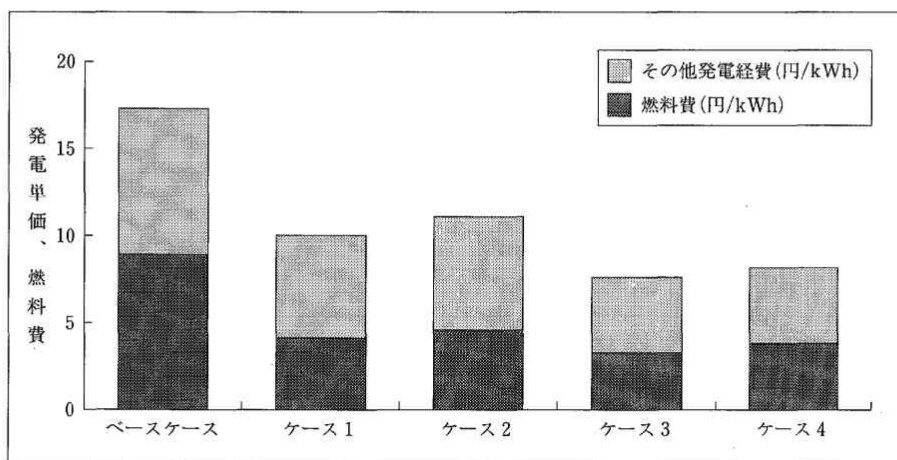


図9 発電原価と燃料費

備考：⑦外部熱供給を行わない場合。

①燃料価格15,000/kℓ, 70%負荷。

化のためには売電単価が大きなインセンティブになると考える。

表8 回収年数を4年とした場合の売電単価
(ケース1～4)

負荷率 (%)	売電単価 (円/kWh)			
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
100	8.16	17.64	9.59	10.62
70	9.88	23.53	12.18	13.52

4.3 省エネルギーの評価

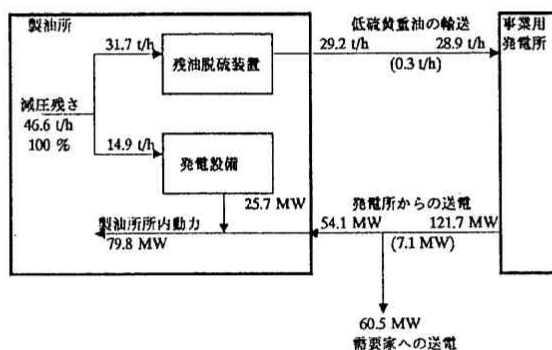
各ケースの省エネルギーの評価を行うため、ベースケースと電力会社の発電所を組み合わせたシステム（以下「現状システム」という）の供給電力量とケース1～4の売電量を同一とし、表9の数値を使用して燃料消費量を算出し比較検討を行った。

表9 事業用発電所発電効率他

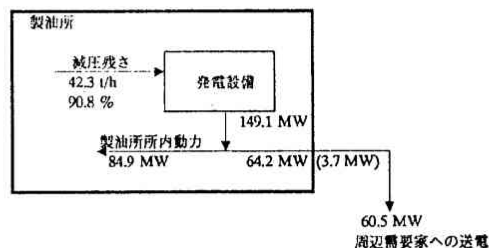
項 目	対ケース1・2	対ケース3・4
・事業用発電所発電効率（発電端、%）	38.2(高位発熱量ベース)	43.2(低位発熱量ベース)
・発電所内損失（%）	4.9	3.8
・高位発熱量／低位発熱量比	1.05	—
・低硫黄C重油製造損失（%）	8.0	8.0
・重油輸送損失（%）	1.0	1.0
・送配電損失（%）	5.8	5.8

備考：⑦ケース3・4は事業用発電所に匹敵する規模であるので、
発電所効率・所内損失は負荷率などの影響を考慮し補正した。

計算結果の例としてケース1の場合を図10に示す。



(1) 現状のシステム
(ベースケースと事業用発電所の組み合わせ)



(2) ケース1のシステム

図10 燃料供給、発電システム（現状システムとケース1）

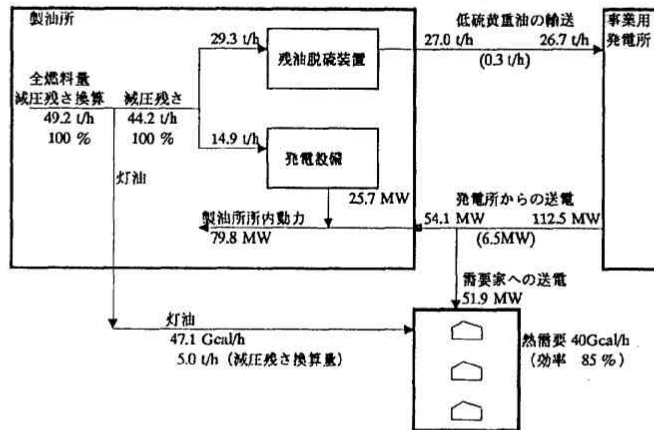
ケース1～4の比較検討結果を表10に示す。

表10 燃料削減効果(ケース1～4)

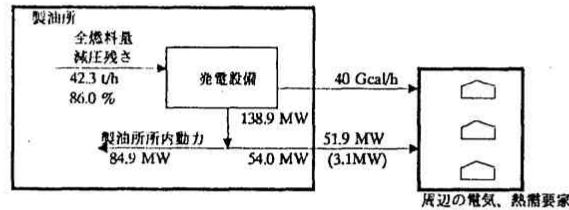
ケース	現状システムの 燃料消費量 (t/h)	ケース1～4の 燃料消費量 (t/h)	燃料削減率 (%)
1	46.6	42.3	9.2
2	39.1	37.5	4.1
3	233.3	208.7	10.5
4	206.6	204.8	0.9

当検討結果によるとケース1～4とも燃料消費の削減が可能であり、更に遠隔地の発電所と比較すれば送電線の送電損失分も期待出来る。

更に、外部熱供給を行うことによる省エネルギーの効果を確認するために、ケース1について図11に示す検討を行った。



(1) 現状のシステム (ベースケースと事業用発電所の組み合わせ)
熱供給 40 Gcal/h の時



(2) ケース 1 のシステム

図11 燃料供給、発電システムと熱供給 (現状システムとケース1)

検討結果は表11に示すように燃料消費量は86%程度となるが、外部熱供給を行わない場合に比べ燃料削減率は更に5%程度改善され

る。また、燃料を灯油から減圧残渣油に振替が出来るので資源活用の面からも有意義といえよう。

表11 外部熱供給による燃料削減効果

外部熱供給無しの場合			外部熱供給 40Gcal/h の場合		
現状システムの 燃料消費量 (t/h)	ケース1の 燃料消費量 (t/h)	燃料削減率 (%)	現状システムの 燃料消費量 (t/h)	ケース1の 燃料消費量 (t/h)	燃料削減率 (%)
46.6	42.3	9.2	49.2	42.3	14.0

4.4 環境評価

(1) 炭酸ガス

表10に示すようにケース1～4の燃料消費量は現状システムに対し約1～11%削減可能である。従って、炭酸ガスの排出量も燃料消費量に比例して約1～11%削減出来る。

(2) 硫黄酸化物

事業用発電所で使用する低硫黄C重油中の硫黄含有率が0.5%以下であることにに対し、減圧残渣中の硫黄含有率は4～5%と一桁高いが直接燃焼システムでは2段脱硫などの高効率排煙脱硫設備を設置することによってほぼ同様な硫黄酸化物排出量まで抑えることが可能である。また、ガス化複合発電においては

ガス化装置中の脱硫設備の脱硫率が高いので直接燃焼発電とほぼ同様な排出量となる。

(3) 窒素酸化物

直接燃焼発電においては低NO_xバーナー、乾式触媒脱硝装置を設置することにより極めて低いレベルまで窒素酸化物を抑制可能である。ガス化複合発電においてはガスタービンの排ガス量が同規模の汽力発電に比べ約2倍あり、ガス化燃料の理論燃焼温度が高くサーマルNO_x生成量が多くなることが予想されるため、窒素酸化物の排出量に関しては不利である。

表12にケース1～4のSO_x、NO_x排出量を示す。

表12 SO_x、NO_x排出量（ケース1～4）

ケース	排 ガ ス	脱 硫 ・ 脱 硝 率 (%)	脱 硫 ・ 脱 硝 後 濃 度 (ppm)	年 間 排 出 量 (ton/年)
1	量 (Nm ³ /h-DB)			
	SO _x (ppm-DB)	99.5	12.8	152.1
	NO _x (ppm-DB)	80.0	36.0	307.5
2	量 (Nm ³ /h-DB)			
	SO _x (ppm-DB)	—	6.2	135.4
	NO _x (ppm-DB)	80.0	64.0	1,007.6
3	量 (Nm ³ /h-DB)			
	SO _x (ppm-DB)	99.5	12.8	751.5
	NO _x (ppm-DB)	80.0	36.0	1,519.4
4	量 (Nm ³ /h-DB)			
	SO _x (ppm-DB)	—	6.8	737.4
	NO _x (ppm-DB)	80.0	64.0	4,993.2

5. 今後の課題

近年欧米ではガス化複合発電の実施あるいは計画が盛んに行われているが、本調査ではそのメリットなどが表れていない。本調査ではガス化装置の詳細な熱バランスをとっておらずガス化率などを推算していることに起因することも考えられるので、今後更にガス化装置の詳細な検討を行うことが望ましいと考

える。

6. おわりに

本調査をまとめるにあたり絶大なるご支援・ご協力をいただいた九州大学吉田教授殿および分科会委員各位、PEC企画調査部土屋部長殿・鈴木殿並びに当モデル製油所の概念設計などを担当された東洋エンジニアリング(株)の各位に心より厚くお礼申し上げます。

「人へのやさしさ」を目指した 原子力の技術開発の方向性について

原 田 義 也^{*}



I. はじめに

総合エネルギー調査会原子力部会中間報告（通産省審議会）に見られるように「人へのやさしさ」が今後の原子力発電を展開していく際のキーコンセプトとして示されている。

「人へのやさしさ」というキーワードは、ここ2～3年の間、社会環境の変化、真の豊かな生活の実現指向という文脈の中、心地よい響きを持って広まりつつある。しかしながら、何をもち「やさしい」と考えるのか、そしてそれをどのように具現していくのか等については、あまり議論されておらず、曖昧であったと言わざるを得ない。当研究所では東京大学近藤教授のご指導の下、時機を得て「人へのやさしさ」に係わる一連の命題について応えようと試みており、本報ではこの結果を紹介する。

なお、本調査は通商産業省資源エネルギー庁からの委託事業で実施したものである。実施にあたり財団法人産業創造研究所にご協力いただいている。

II. 「人へのやさしさ」とは

1. 各産業界の例

例えば家電業界では物が無い時代の「安いものを大量に」が通用しなくなり、より機能の高いもの、使いやすいもの、持つことに意味を感じられるものが売れている。即ち欠乏が消費動機であった時代から、心地よさや自己実現といったレベルが要求される時代へと変化してきている。また、プラントの場合、景観・環境を配慮／創造した発電所等、単なる環境の問題を越えて、地球環境面が重視されてきている。さらに、産業活動を越えた企業市民活動にも期待と評価が寄せられている。従って、「人へのやさしさ」という言葉は、高度技術社会における人間の適応性や地球環境の問題等に関する形容詞と考えられる。「人へのやさしさ」を実現するためには、その技術に関係する人々の希望に基づく設計、つまり「人間中心設計」を行う必要がある。様々な分野でその様な方向を目指した動きが見られる。

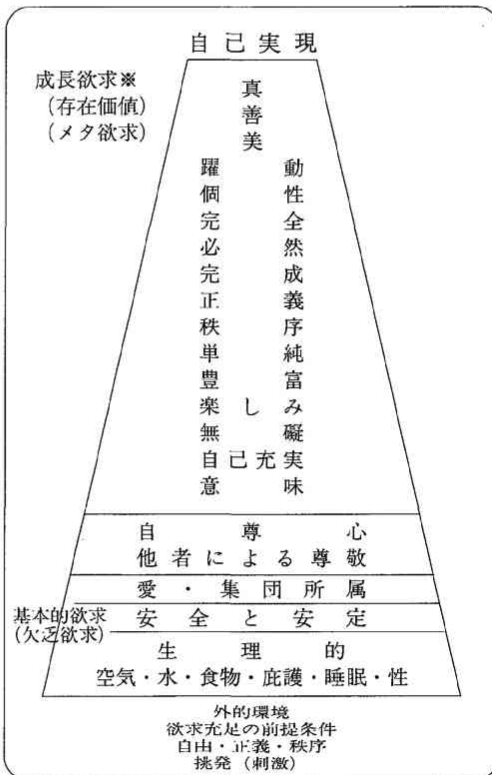
2. マズローの心理モデル

最近流行の「やさしさ」という言葉は、欲求・希望に対応した応答として捉えるならば、具体的に考えやすいので、人の欲求を5段階で整理したマズローの心理モデルを適用した

※(財)エネルギー総合工学研究所主任研究員

(図-1) 注1。人は生来上昇志向を持っており、暑さ・寒さ・飢え等の最も基礎的な生存欲求が満たされると、さらに高い欲求を生じ、遂には「やりがい」とか「真の豊かさ」等の最も高い次元の自己実現を求める。つまり人の欲求・希望は階層性を持っていると考えられる。各産業界の例は、このモデルによりよく説明される。

技術開発の成功が期待される技術シーズを把握するために、消費者のニーズをマズローのモデルで分析するシステムエンジニアリングのアプローチもあり注2、実際問題として人の欲求に合致した製品がヒット商品となることを勘案すると、分析手法としては極めて有効である。



※成長欲求はすべて同等の重要性をもつ(階層的ではない)

図-1 マズローの欲求階層心理モデル

III. 「人にやさしい」原子力

1. 求められるブレークスルー

今後の基数の増加、一層の世界的な普及を考えると、安全性、経済性及びパブリックアクセプタンスの面で、原子力はさらに形を変えるものと考えられる。しかしながら、これまでも関係者による種々の技術開発の努力があり、また必要性について一般公衆からの理解があるにも関わらず、立地等実際の面で容易には進んでいない。これは即ち、真に社会の求めにできていない、従って関係者の欲求・希望に答えるという形での、ブレークスルーが求められている、ということを示している。

2. 原子力に対する「人」の欲求構造

原子力について、関係者の欲求・希望をマズローの心理モデルを適用して実際問題として考察してみよう。原子力は、その安全性の確保、システムの大きさ、経済的な波及効果の大きさ、社会基盤であること等を勘案すると、エネルギー問題ならびに地球環境問題の中で、広く社会システムの一部として設計していく必要がある。そのように考えると「人へのやさしさ」の「人」を、どう考えるべきか。ここでは、比較的均質な欲求を持つと仮定される分衆(セグメント)を構成している利害関係者・ステークホルダーズとして、

- a. 運転員・保守員等の直接当事者
- b. 立地地域周辺の公衆・社会・自然環境
- c. 一般公衆・社会・地球環境

の3者を対象として考えている。これらの関りあう人々の欲求・希望が、マズローの欲求階層モデルに概ね従うと仮定し、各々の欲求

に応える目標を抽出すると、表－１のようになる。横軸には関わり合う「人」、縦軸には「欲求・希望」のレベル、各欄には「どう応えるか」具体的な欲求の内容とそれに対する対応の方策が体系的に表されており、原子力施設の「人へのやさしさ」を分析的に考える上でフレームワークが提供されている。ただし、やさしさの度合いが異なるために、複数の欲求レベルに同様の目標が繰り返し現れるものもある。このため、いかに設計すべきかを考えるためには、なお整理が必要である。

3. 「人にやさしい原子力」設計指針

表－１に繰り返し現れる同様の目標を整理することで、表－２に示す設計の考え方・指針を得ている。以下、27項目の指針及びその具体的方策案について概略の説明を加える。

なお本指針は、従来の機能分析的な視点を否定するものではなく、むしろさらに追加して「人間の感性を満足する上で何が必要か」という視点で書かれている。「人」の高次な欲求にはハード的な「設計」ばかりでは応えることができない。従って、設計指針を標榜しながら、原子力施設の「やさしさ」を実現するためのソフト的な制度的方策にも触れるようにしている。

3.1 直接当事者に対する指針

- (1) 人間の必要な場所を、普通の職場に
(定期保守時を含む、無人化をも考慮)

指針 1. 運転・保守作業を安全且つ容易にすること

a) 安全に働けること

労働者の高齢化、減少加速化の一因として指摘される 3 K を排し、より高い労働安

全の確立、労働負荷の軽減、労働環境の改善を実現すること。

b) 安心して働けること

設計及び管理において経験を十分に生かし、不意・不測の事態を避ける設計により安心して運用できること。

c) 労働条件／待遇を改善すること

今後期待される高齢者・女性労働者が作業分担可能な就労の形態とすること。

指針 2. 放射線管理、汚染管理を不要とすること

立入らない、立入っても汚れないこと。

具体的には例えば、立入制限区域放射線量を 1 mSv/年以下、1 mSv/年以上の区域は遠隔自動化とする。

a) 被ばく低減

放射線量を低減した設計であること。

b) 放射線防護の強化

労働安全の観点から、実際的な影響をなくすることが重要である。

指針 3. 三交替勤務が不要であること

防護管理区域内に隔離された勤務、夜勤を含む交替勤務等は肉体的には勿論の事、精神的負担が大きく、これを軽減すること。例えばシステム無人化を図り、ユニット／サイト／本社の何れかに中操監視センターを置く自動化プラントの運用、遠隔診断技術等による臨時／定常現場作業低減設計等が考えられる。

指針 4. 快適で、業務に集中できること

a) 適度な緊張感があること

原子力施設は通常の運転操作の必要が少なく単調化しがちであるため、業務に集中できるような環境づくりと、適切な作業時間配分等を重視すること。

表-1 ステークホルダーズの欲求を、マズローの分類を参考に整理したフレームワーク

ステークホルダーズ マズローの分類	(1)一般公衆，地球環境の欲求に応える存在	(2)立地地域公衆，地域の環境の欲求に応える存在	(3)運転員，保守員等の直接当事者の欲求に応える存在（職場環境，設計）
1. <生理的欲求> 基本的欲求 生命活動を維持するための，飢えや渇き等の最低限の身体的条件を整える欲求	(1)1. <健康生活レベル> 「国民が健康で最低限度の生活を送りたい」という欲求に応える存在 ・停電等の実社会生活に支障なし ・有害物質を放出しない ・子孫への悪影響がない	(2)1. <物理的な迷惑をかけない存在> 立地周辺地域の住民・社会・環境に，事故等の実質的な迷惑をかけない存在 ・避難不要 ・有害物質を放出しない ・温排水対策 ・子孫への悪影響がない	(3)1. <肉体的最低欲求レベル> 運転員，保守員等の直接当事者にとって，肉体的苦痛等を与えない，最低限の欲求を満足する職場環境，設計 ・子孫への悪影響がない
2. <安全欲求> 1.が前提 危険にさらされない，生存に対する脅威を感じない状況を確保する欲求	(1)2. <精神的負荷レベル> 国民が脅威を感じない存在 ・安定供給 ・高い信頼性で社会生活に支障なし ・分かりやすい安全防護思想 ・少ない廃棄物量 ・高信頼性 ・低故障頻度 ・廃炉しやすい ・子孫への悪影響の恐れがない	(2)2. <精神的な迷惑をかけない存在> 立地周辺地域の住民・社会・環境にとって，安心できる存在 ・家族が安心して住める ・情報提供 ・親近感 ・理解がしやすい ・接近性・解放性 ・家族が楽しめる ・誠意ある対応	(3)2. <精神的最低欲求レベル> 運転員，保守員等の直接当事者にとって，精神的苦痛を与えない，最低限の欲求を満足する職場環境，設計 ・安心感・安らぎ感 ・作業安全
3. <帰属/愛情の欲求> 1, 2.が前提 社会の一員として認められたい，人々から愛されたい，そのためには自己をも犠牲にするという欲求	(1)3. <価値観共有レベル> 「わが国が世界の一員として認められたい」という欲求に応える存在 ・暗いイメージなし ・努力・協力のアピール ・プラント長寿命化 ・資源有効利用 ・高エネルギー効率 ・情報公開 ・有用性のアピール ・自然環境破壊からの保護	(2)3. <存在意義を感じられる存在> 地域がわが国の一員として認められ，また国に貢献していると実感できる存在 ・化石燃料の消費削減 ・CO ₂ の抑制 ・他地域へのエネルギー送出	(3)3. <愛他精神レベル> (肉体的・精神的最低欲求が満足された上で生ずる)，運転員，保守員等の直接当事者にとっての，「地域社会，会社組織の一員として認められたい，人々から愛されたい」という欲求を満足する職場環境，設計 ・適正労働負荷 ・設計標準化 ・少ない現地工事 ・現地労働力の活用 ・人材確保・雇用拡大 ・作業の平坦化 ・低被曝 ・設計裕度・耐力 ・良好な労働条件 ・良好な作業環境 ・交代勤務負担軽減
4. <尊重欲求> 1, 2, 3が前提 主観的，客観的のいずれであれ，人々より優位に立ちたい，何かを達成したい，人々から尊重されたいという欲求	(1)4. <世界的主導，貢献レベル> 「わが国が世界において優位にあると感じられ，また尊重されたい」という欲求，に応える存在 ・経済的優位性（安い電気料金） ・長期的エネルギーの展望 ・社会に希望・夢を与える ・力になる先端技術	(2)4. <優越感を感じられる存在> 地域がわが国において優位にあると感じられ，また尊重されることに寄与する存在 ・地域社会への貢献 ・地域振興・経済発展 ・文化的貢献 ・地域の誇り ・メッセージ発信 ・社会基盤整備への貢献 ・発電所付帯設備の充実	(3)4. <満足感レベル> 運転員，保守員等の直接当事者にとって，満足感，達成感やゆとり等の得られる職場環境，設計 ・簡単操作・簡単作業 ・誰でもできる ・労働時間短縮 ・適切な情報提供 ・専門知識不要 ・働きがい・誇り ・楽しい職場 ・対象の構造・仕組が単純 ・適度な緊張と精神的ゆとり ・福利厚生の実施 ・高信頼性・低故障頻度 ・休暇取得が容易 ・作業室が美しいこと ・スマートでおしゃれな外観 ・高収入
5. <自己実現欲求> 1, 2, 3, 4が前提 個人の価値観・世界観に基づき，個性や能力を最大限に発揮したいという欲求	(1)5. <多様性許容レベル> 「多様な価値観を持つ国民の欲求」を実現できる存在 ・個人に希望・夢を与える ・自然育成・環境創成 ・文化的貢献 ・魅力的先端技術	(2)5. <自活・自尊の誇りある存在> 地域の物的・人的資源を活用した総合的な町づくりによる，地域の理想を実現する存在 ・地域企業との取り引き ・職員の定住化 ・環境調和 ・良好な景観 ・地域との融合 ・雇用提供 ・住民本位 ・住民の意思決定への参加 ・双方向コミュニケーション ・学習&遊びの場の提供 ・産業誘致・創出 ・人作りへの貢献 ・地域活用化 ・共存 ・永住したい ・観光資源 ・多目的利用	(3)5. <創造意欲レベル> 運転員，保守員等の直接当事者にとって，創造性の高い，充実した職場環境，設計 ・時間的ゆとり ・誤操作に寛容 ・曖昧さ・ゆらぎの許容 ・異常検知の容易性 ・対象挙動の予測性 ・状況把握の容易性

表－２ 人にやさしい原子力施設の設計の考え方・指針

	設 計 指 針	備 考
運転員、 保守員等 の直接 当事者	(1) 人間の必要な場所を、安心して働ける、普通の職場に (定期保守時を含む)、(無人化をも考慮) 指針 1. 通常運転、点検、保守作業を、安全かつ容易にすること 指針 2. 放射線管理、汚染管理不要(立入らない、立入っても汚れない)で あること 例えば、立入区域線量を1 mSv/年以下、 1 mSv/年以上の線量区域は遠隔自動化とする 指針 3. 三交替勤務が不要であること 例えば、無人システムと監視センターの連携運用 指針 4. 心理的に快適で、業務に集中できること	マズローの欲求階層、 〈身体的欲求〉、 〈安全欲求〉、 〈帰属欲求〉に対応
	(2) 事故等の緊急時にも安心して運転できる 指針 5. 判断を不要として、無人化、省人化を図ること 指針 6. 人間の判断と操作が必要な場合に、これをサポートすること 指針 7. 人間が判断と操作を誤った場合にも、訂正され大事に至らないこと	〈安全欲求〉に、主 に対応
	(3) 勤務を通じ、作業員の誇りと自己実現をかなえること 指針 8. 社会中心設計(役割が目に見える)であること 指針 9. 作業内容が創造性を排除しない、または刺激すること	〈帰属欲求〉、 〈尊重欲求〉、 〈自己実現〉に対応
立地 地域 住民、 地域 社会	(1) 安心できること 指針 10. オープンであること 例えば、公園、見学等により接近でき、情報発信等によりよく分かること、 指針 11. 安心のできる防災対策があること 指針 12. 安心のできる環境対策があること	〈身体的欲求〉、 〈安全欲求〉に対応
	(2) 地域に共生し、活力をもたらすこと 指針 13. 地域経済社会のネットワークに共生すること 例えば、熱供給等による、産業/生活面での共生	〈身体的欲求〉、 〈安全欲求〉、 〈帰属欲求〉に対応
	(3) 地域に誇りと自己実現とをもたらすこと 指針 14. 地域文化社会のネットワークに共生すること 例えば、特産品を活用して、地域の文化風土を生かす 文化施設併設による、文化面での共生 指針 15. 地域住民が設計に参加できること 例えば、建屋外観設計を公募により決定する 指針 16. 先進的な地域であることが、よく分かること	〈尊重欲求〉、 〈自己実現〉に対応
一般 公衆、 社会、 地球 環境	(1) トラブル発生頻度が少なく、安心できること 指針 17. 従前の高信頼度を確保すること 指針 18. エネルギーが安定して供給されること 指針 19. 一般公衆に理解を求める設計であること	〈身体的欲求〉、 〈安全欲求〉、 〈帰属欲求〉、 〈尊重欲求〉に対応
	(2) 地球にやさしい 指針 20. 資源リサイクルすること 指針 21. 廃棄物の発生・処分に配慮した設計であること 指針 22. 自然環境、景観調和に配慮すること 指針 23. 人にやさしいこと	〈身体的欲求〉及び 〈尊重欲求〉、 〈自己実現〉に対応
	(3) 国として、人類として、誇りを持てること 指針 24. 経済の発展に寄与していることが、よく分かること 指針 25. 平和利用されていることが、よく分かること 指針 26. 魅力的な先端技術を適用していることが、よく分かること 指針 27. 国際的に貢献していることが、よく分かること	〈安全欲求〉、 〈帰属欲求〉、 〈尊重欲求〉、 〈自己実現〉に対応

マズローの欲求階層モデル…〈身体的欲求〉／〈安全欲求〉／〈帰属欲求〉／〈尊重欲求〉／〈自己実現〉

b) すてきな職場であること

例えば人間工学的に良好な環境にあって、運転員には視力減退を訴えるものが少なくないので、緑を配置して焦点に変化を与える等、ストレス軽減のための工夫が必要。「清潔」「自然を感じさせる」「芸術性を感じさせる」「心理的に落ちつかせる」作業環境とすること。

(2) 緊急時にも安心して運転できる

指針 5 . 無人化、省人化を図ること

a) 専門知識を不要化すること

原子力施設に従事する作業員は専門知識を十分に有するべきであるが、常時専門知識を必要とすると作業信頼性の観点から好ましくない。負担軽減のためにも監視業務を主とし、専門知識を不必要とすること。

またルーチンワークも多く、作業の質にある程度左右されない工夫が必要。

b) 機械化／自動化を図ること

全自動化、監視プラント化等により、一部の勤務形態に固有な、労働条件、内容に関わる負担、ならびに通常時／事故時の負担を軽減すること。

指針 6 . 判断と操作をサポートすること

a) 適切な情報提供

運転員／作業員の適切な判断のために、原子力施設は自らの状態を告げる等、十分な情報を提供するものであること。また、教育プログラムが充実していること。

b) 曖昧さやゆらぎの許容

人間の誤操作、操作タイミングのずれ等を補完すること。

指針 7 . 誤判断／誤操作時に大事に至らないこと

a) 緊急時等に助言がある

運転員の負担は身体的に軽減され、思考ならびに精神的に増大する傾向にあるので、適切な負荷緩和方策が講じられること。

また、人間の限られた認識チャンネルに割り込むような、「思いこみ」の排除に配慮すること。

b) 時間的ゆとり

非常時に、人は全神経を集中して対応に当たるが、時間的ゆとりが無いとそのままストレスとなり、人間信頼性が低下する。適切な対応がとれる工夫が必要である。

c) 誤操作に寛容

非常時には、慌てて事態の把握に時間がかかる場合もあり、人間信頼性を担保する論理が求められる。

d) 設計裕度・耐力

設計は十分合理的であるべきだが、人間信頼性がシステムの信頼性に著しく影響を与えるような場合には、アクシデントマネジメント同様、確率は低くとも予測しうる事態には、何らかの対策があること。

(3) 作業員が誇り、自己実現できること

指針 8 . 社会中心設計（役割が目に見える）

魅力的な仕事とするためには、誇りを感じられるようにすること。また、以下の方策以外に、定年後も働ける等により人生の展望が得られることも大切。

a) ハイテク化

先端性を感じるハイテク化を図ること。

b) 研究機関、途上国等への技術協力

運転経験、運転データ等の実績等のノウハウや人材が、原子力及びそれ以外の技術の発展に寄与し、誇りを持てること。

c) 安定供給, 安定運転

仕事の意義, 責任, 達成感を視覚的に感じられる表示システム。

指針 9. 創造性に配慮した作業内容であること

以下の具体的な方策以外に, スタッフ業務を選択できる等の適正人事配置も能力活用に大切。

a) フレックスタイム制の導入

定員のある職場では調整が必要だが, 要員数低減等を図ること

b) 創造性を考慮した作業環境

インターフェイス, オペレーターサイドシミュレータ, CAI 等により, 作業の過程に創造性を考慮する。

c) 技術を伝承する

業務上のノウハウが有効に活用されるオンラインヘルプシステム。

d) 技能向上意欲啓発

オンライン技能達成度評価システム。

3.2. 立地地域に対する指針

(1) 地域の住民/社会が安心できること

指針 10. オープンであること

a) 「正体が分かる」こと

情報提供活動, コミュニケーション活動等を活発にする, マルチメディアその他の最新コミュニケーション技術の適用。また, 事故時等に速やかに対応がとれるようにするために, 社内コミュニケーションシステムならびに即応体制を確立する。

b) 親しみがもてること

公園等の形で多くの人が集まれるようにし, 施設の接近性・解放性を図ること。また景観設計について, 従来の「隠す努力」

から「見せる努力」へと, 発想の転換を図り, 良好な外観, 景観とすること。

指針 11. 安心のできる防災対策があること

例えば実際に避難が不必要であることが示される等, 災害が起こり得ないと理解し, 信頼できるものであること。

指針 12. 安心のできる環境対策があること

周辺の自然環境が立地に伴い変化し, 損なわれ, また周辺住民の子孫への悪影響が出たりしないこと。

a) 有害物質を放出しない

公害等のように何らかの影響を及ぼす有害物質の放出を避けること。

b) 温排水影響対策

温排水影響緩和は勿論のこと, 積極的な利用方策を進めること。

c) 自然保護

土木工事により影響を受ける海岸線・山林等を, 保護または創造する。

(2) 地域に共生し, 活力をもたらすこと

指針 13. 経済のネットワークに共生すること

地域の理想が裏付けられる経済的自立及び発展に寄与すること。共生の方策としては, 雇用提供, 地域産業の活用, 社会的機能の整備, 職員の定住化, 地域振興, 経済発展, 物流・情報の充実, 地域住民の優遇等が挙げられる。技術的には, 次のようなオプションが考えられる。

a) 原子炉熱多目的利用

プロセスヒート利用等により, 原子力施設を機能的に直接地域に貢献すること。

(3) 地域に誇りと自己実現をもたらすこと

指針 14. 文化的ネットワークに共生すること

地域に固有な文化面において、他地域より優れたという欲求に対応すること。以下の設計面でのアプローチ以外に、大学教育、学卒者の就職先等があって一生過ごせること、メセナ活動を通じて、地域文化の保存・育成・啓蒙を行い、文化水準向上に寄与すること、国際交流の支援等も考えられる。

a) 学習及び遊びの場の提供

原子力施設に科学・博物・水族・図書館、体育施設等の教育施設を併設して文化水準向上に寄与すること。

b) 文化施設の充実

原子力施設にオペラ、コンサート等が開ける総合ホール等の文化・催事施設を併設して文化水準向上に寄与すること。

指針 15. 地域住民が設計に参加できること

直接／間接に関与することはアクセプタンス上大変好ましい。後々残るような外観設計のような形で、原子力施設への関与・参加の機会があること。

指針 16. 地域の先進性が、よく分かること

以下の設計面でのアプローチ以外に、地域が環境負荷抑制等により他地域に貢献している事実のPR、炭素放出量低減／地球環境保護に貢献している立地地域振興のための炭素税の地方交付等が考えられる。

a) 誇れる特徴を有すること

- ・科学技術で貢献すること
- ・先進技術を採用したプラントとすること
- ・新エネルギー等、その他も見られること
- ・先端的な研究機関を設置すること

3.3 一般公衆に対する指針

(1) 一般公衆が安心できること

指針 17. 従前の高信頼度を確保すること

- a) 安定運転の確保
- b) 放射性物質放出の心配がないこと
- c) トラブルの少ない、順調な運転
- d) 高い信頼性

運転実績上の順調より一歩進んで、細かい不調やミスについても十分に低減する。

e) 大事故が起きない

論理的で誠実な安全への取り組みとそのPRを行うこと。

f) 避難が不要

本質的に避難が不要とすること。

指針 18. エネルギーが安定供給されること

経済面での自主・独立を支える確固たるエネルギー源であること。

- a) 経済性確保（安い電気料金）
- b) 長期的エネルギー展望
- c) 原子燃料サイクルの確立

指針 19. 一般公衆に理解を求めること

身近に感じられ、信頼のできることで、一般公衆が安心する。以下の技術的アプローチ以外に、理解・広報活動、意見収集活動等が考えられる。

- a) 分かりやすい安全防護思想
- b) コミュニケーション

見学、通信等により一般公衆とのコミュニケーションチャンネルを幅広く、また効果的に展開することが非常に重要。

(2) 地球にやさしい

指針 20. 資源リサイクルすること

先進国が尊重されるためには、地球環境にやさしいことが必須となってきた。原子力は資源消費が比較的少ないと考えられているが、一層の有効利用を図ること。

指針 21. 廃棄物の発生・処分に配慮すること

指針12. でも環境への配慮に言及したが、地球環境面からはプラントライフにわたる配慮が特に必要である。環境を汚染し、健康を害する存在は、立地地域は勿論、一般公衆に受け入れられない。

a) 廃炉しやすい

設計・廃炉手順・廃棄物取扱い方策等において廃棄物量低減に配慮すること。

b) プラント長寿命化

寿命延伸に配慮すること。

指針 22. 自然環境、景観調和に配慮すること
一般公衆にとって、自然環境保護の象徴であること。

a) 自然環境破壊からの保護

b) 見た目に美しく、親しみやすいこと

指針 23. 人にやさしいこと

一般公衆にとって、人にやさしいと認められること。再帰的だが、文脈として重要。具体的には、関係する人々の希望に応える設計であること。

(3) 国として、人類として誇りを持てること

指針 24. 経済発展への寄与がよく分かること

経済成長と人口増加を支える、希望あるエネルギー源であること。一般公衆から見れば立地地域との調和・共生がその象徴。

指針 25. 平和利用が、よく分かること

核不拡散技術の適用等により、原子力施設が存在が平和を象徴すること。

指針 26. 先端性が、よく分かること

a) 原子力技術の確立、高度化

例えば、海外に受け入れられ輸出もできる、世界に冠たる設計となること。

b) 高い信頼性の達成

技術水準、運転実績等において世界的に優れていること。

c) 経済的な優位性の確立

d) 高エネルギー効率

e) 魅力的先端技術

原子力技術が画期的な特徴と意味を持つ、希望に満ちたものであることが国民の理想を実現すること。

指針 27. 国際的貢献が、よく分かること

a) Peace Keeping Technology (PKT)

PKT はまだ単なる標語だが、運転・保守等の運用に際して技術力をあまり必要とせず、発展途上国が安心して所有できるような、安全性／信頼性及び核不拡散性が高い設計の開発に寄与すること。

b) 人的・経済的貢献 原子力に関わる全ての立場が、国際的かつ地球大の視点で考え、行動すること。

IV. 結 論

原子力が真に社会の求めに応えるブレークスルーとして期待される「人へのやさしさ」を体系的に考察し、「人にやさしい原子力」設計指針をまとめた。本指針は今後の原子力設計に際して考慮すべき事項と位置付けられる。ただし各指針は個々において最大限「人へのやさしさ」を達成することを目標としたので、必ずしも他の指針と整合していない。従って、設計指針全てを一意に満足する設計を考えるのは難しいことに注意を要する。

原子力の「やさしさ」は地域共生・一般公衆の安心等を広く含めて考えるべきであり、このように考える以上、設計面ばかりでなく、制度的にもアプローチが必要である。

ここで紹介した指針は目新しいものではない

く、むしろ技術的には従来より指摘されている範囲を越えるものはあまりないというご指摘があるかもしれない。これまでに、ヒューマンインターフェイス等の技術的な問題、地域渉外等の組織的な問題、または政策の透明性等の問題は議論され、また取り組みもある訳だが、一方で小文が提案する「人へのやさしさ」というフレームワークから全体を捉え直すことにより、諸々の原子力技術開発課題が一つの大きな流れの中に体系的に促えられることが再確認できる。またこのようなフレームワークで考えると、次元の高い欲求・希望については、従来あまり配慮されておら

ず、これという設計方策もないことが明確になった。今後は広く関係者の間でこのようなフレームワークに基づいて共考し、真に社会の希望に応えるための知恵を結集すること、そして共通の認識を固めるべく努力を重ねることが必要と考える次第である。小文が諸賢にとり「人にやさしい原子力」を考える一端となり、ご意見と批判を戴ければ幸いである。

注1 マズローの心理学, フランス・ゴープル著, 小口忠彦監訳, 産能大学出版部

注2 SYSTEMS ENGINEERING, Andrew P. Sage, Wiley Series in Systems Engineering



TEPCO

新エネルギーパーク

私たちは内房線沿いの千葉県富津市にやってきました。房総半島といえば、海辺ののどかなイメージがありますが、ここ富津市は今話題沸騰の場所なのです。東京から特急さざなみで約1時間、君津の駅を降り私たちが目指す

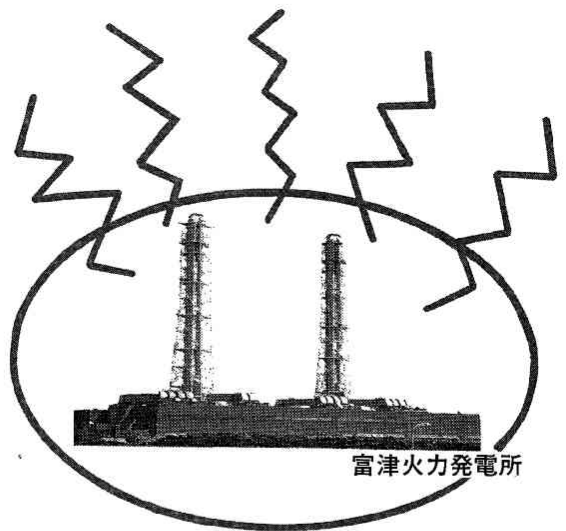
ところは、昨年7月にオープンしたばかりの
TEPCO 新エネルギーパーク。

訪問記

TEPCO新エネルギーパークは東京電力富津火力発電所に隣接しており、新エネルギー館と屋外施設から成る新エネルギーの展示・研究施設です。館内の展示ホールは「研究開発の部屋」、「太陽の部屋」、「光の部屋」、「風の部屋」、「化石の部屋」という5つのコーナーとデータルームに分かれていて、新エネルギーの技術を映像やパネルを通して見ることができます。それだけでなく、大がかりな実験装置を操作して実際に新エネルギーを体験できるようになっています。

エネルギー館では副館長の平嶋さん、パークレディの川上さんと富津火力発電所の前川さんのにこやかな出迎えを受けました。そしてまず私たちが通された場所はオリエンテーションホール。ここで新エネルギーの原理や特徴といった基礎知識が上映されます。

TEPCO新エネルギーパークでは風力発電、燃料電池発電、太陽光発電の研究・開発が進められています。



富津火力発電所

風力発電

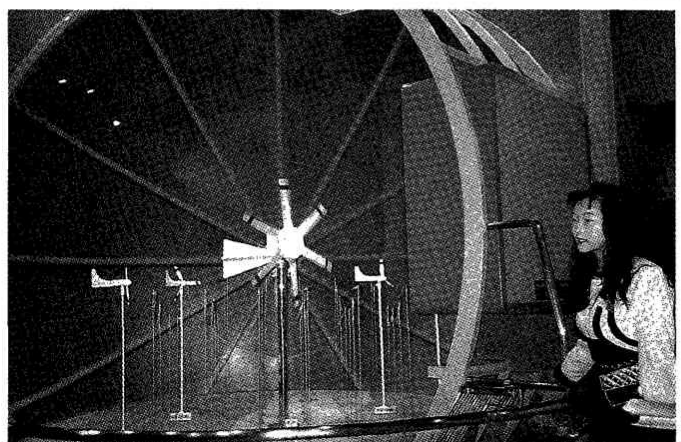
一風が吹けば
電気が生まれる!?!—

石油危機を発端として注目され始めた風力発電は、地球温暖化が危惧されている昨今二酸化炭素を出さないクリーンな発電方法として研究されているそうです。

でも風はとっても気分屋!

一分たりとも同じ強さでは吹いてくれませんし、吹いてくる方向もまちまちです。その点はどうなのでしょう、このエネルギーパークを見学するとちよっぴり理解できそうです。

風は太陽の熱によって暖められておこる空気の流れて、その向きや強さは絶えず変化しています。この気まぐれなエネルギーを上手に利用するために風力発電には様々な機能がついています。新エネルギー館の「風の部屋」では風車がいとも風に向かうことができる機能のメカニズムを紹介しています。



風の部屋で風車のメカニズムを考えてみよう



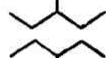
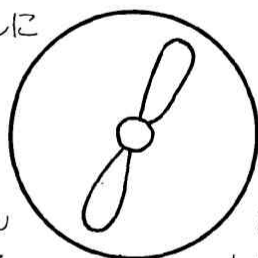
また、こちらの部屋ではパーク内にある 300kW 風力発電を動かすのに必要な毎秒5~13mの風を体験できる装置もあります。風速13mなんてさぞや息苦しいだろうと思いきや、数秒間顔にあたる分にはさほど苦しくはなく、ちょっと拍手抜けしてしまいました。ビューフォートの風力階級表によると風速13mというの

は大枝が動き、電線が鳴り、傘がさしにくい程度の風なのだそうです。傘がさしにくい程度の風、というのはかなり強い風ですが、そう珍しくはありません。しかし、副館長の平嶋さんによると、日常的に吹くところとなると非常に限られてしまうそうです。風力発電の設置場所を決めた際もまず富津、浦和、柏崎の3地点が候補にあげられましたが、最終的には富津だけが条件にあっているということで選ばれました。

新エネルギー館から屋外へ出ると、巨大な風力発電装置がそびえ立っています。タワーの高さは30mということですから、肉食恐竜で有名なチラノザウルスの倍以上の高さということになります（チラノ



吹き飛ばされませんように…(風圧体験装置)



ザウルスは全長12m)。また、そのプロペラは半径15mにもおよび、回転しているときの音はまるで大きな氷かき機がかき氷を作っているようです。(これはプロペラの根元に付けている歯車の音だそうです。) 今年の4月に「進め! 電波少年」というテレビ番組が取材にきて、タレントの松村君が「ぴろぴろ君」と名付けたそうですが、実際聞こえてくる音はそんなような軽やかな音ではなく、今後の改良が必要と思われました。

ここで作られた電気で施設の電源の一部をまかなっていますが、風が平均して強く吹いているときには富津火力発電所へ送り、起こした電気が余らないようにしているとのことでした。

人は五感によって外界の様々なことを知覚しています。今回私達は巨大な風力発電装置を見、そしてその音を聞き、さらにその風にあたることで、風力発電を身近に感じることができました。

燃料電池発電

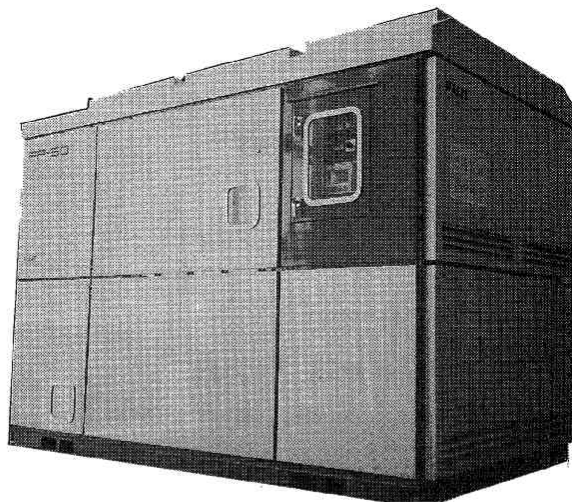
燃料電池の“プロフィール”

ここで活躍しているのは定格出力50kWの水冷式リン酸型のもので、燃料に天然ガスを使用し、排熱利用が可能という特徴をもっています。だから、電力としてだけではなく、館内の給湯や氷蓄熱式ヒートポンプと組み合わせて冷・暖房に利用することができるのです。氷蓄熱式ヒートポンプは、お得な深夜電力を利用することで夏には氷、冬には温水として蓄えて昼間の冷・暖房に使用するために働いています。

燃料電池発電の“原理”

「天然ガスなどから取り出した水素と空気中の酸素を水の電気分解とは逆の化学反応をさせることで、直接発電により直流電流を作り出すもの。」

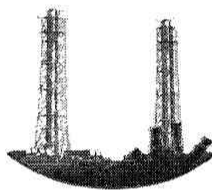
これが燃料電池なのかな



ふむふむ
そうか

電池発電の“主張”

風力発電や太陽光発電と比べると、ご覧のとおり大きな箱があるだけで地味に思えますが、気象条件に影響されないのです。だから、館内全体に必要な電力である145.7kWの一部を賄うために、常時、ほぼ一定に働き続けているがんばり者なのです。不足分はというと、お隣の富津火力発電所から供給を受けています。

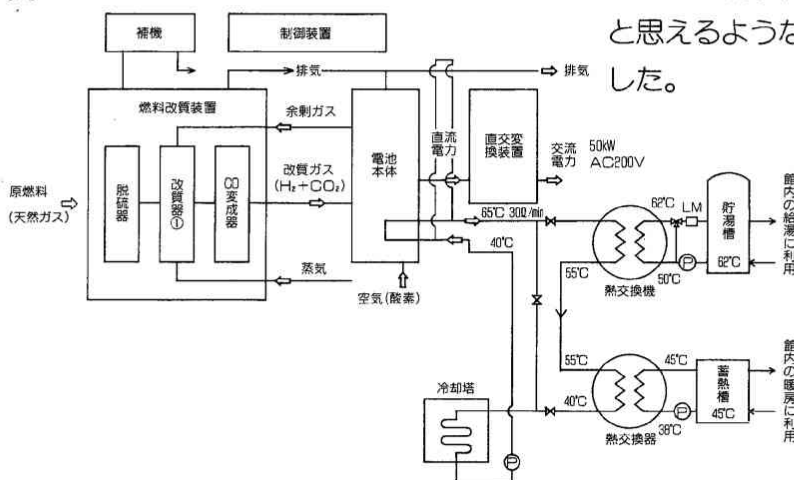


電池発電“もう1つの使命”

「長期連続運転における耐久性・信頼性の検証をして実用化に向けてデータを蓄積すること。」

燃料電池からの“お知らせ”

館内では、燃料電池の実物が目の前で見学できます。また、化石の部屋では化石燃料の知識の他に、燃料電池発電に関する知識が得られるQ&Aコーナー、メリットや導入の実例の紹介、特徴を生かした「地域エネルギーセンター構想」などの展示物があり、子供にも「そうか!」と思えるような工夫がふんだんにされています。



50kW燃料電池発電装置基本プロセス

設備仕様

項目	諸元
定格出力	50kW (AC200V)
発電効率	35% (送電端、HHV)
排熱利用効率	40%以上
総合効率	75%以上
冷起動時間	4時間
負荷追従特性	0~50kW/5分以内
電圧変動率	総合5% 各次3%
最低可能負荷	0kW (送電端)
運転条件	全自動、無人運転
環境条件	NOx 10ppm SOx 0.1ppm
排熱回収熱量	45Mcal/H (65°C温水)
燃料使用量	12.2Nm ³ /H
寸法	W3.1×D1.75×T2.2(m)
重量	8ton

ふん〜

太陽光発電って何？

私たちの生活に身近で欠くことのできない太陽は、重要なエネルギー源として最近注目されています。光をシリコンの半導体（太陽電池）に当てると電気が発生する性質を利用した発電システム、それ

いて、それぞれの発電特性を調査し、比較検討しています。もちろんこのキャビン内の冷暖房用の電力はこれらの太陽

光発電で補っているそうです。

ソーラーカートにチャレンジ！

太陽エネルギーの実験装置はソーラーキャビンだけではなくありません。このパークのもう一つの目玉にソーラーカートがあります。一周が約200メートルの専用サーキットがあり、そこで試乗ができるのです。ソーラーカートは、カート後部に取り付けられた太陽電池で

が太陽光発電です。初めに人工衛星に使われ、今は身近な製品に時計や電卓があります。太陽の光は無限でクリーン、おまけにただ。三拍子そろったエネルギーなのです。

エネルギーを補給しながら走ります。

さっそく乗り込み発進。スーッと静かに動き出し、排気ガスもでないし、ガソリン特有のに

ここでは太陽光発電を業務用インバータエアコンに利用する研究を進めていて、屋外にその実験装置、ソーラーキャビンがあります。9 kWの太陽光発電装置で屋上に東、南、西の3方向に3種類の太陽電池モジュール（単結晶、多結晶、アモルファス）が設置されて

でも時速は
約10km

まっ〜

おもないの

で乗り心地はなかなか。ら

くらく1周できました。ただ太陽電

池は電気を蓄えられないので、天気や充電のことが問題になりますが、ホテルやゴルフ場といった限られた場所での利用には向いています。それに

しても、蓄電が可能になればまさに夢のようなエネルギーです。

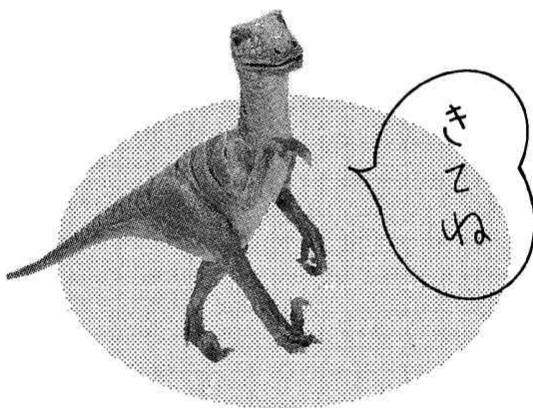
電気が売れる

この太陽光発電システムを取り入れた住宅はすでにあり、また、家庭で発電した電気が余った場合は電力会社に売ることができるお得なシステムもあるそうです。そこで気になるのがコスト。「太陽光発電の装置を取り付ける住宅を対象に購入費用(600万円程度)の半額相当を国が補助する制度がある」そうですが、サラリーマンにはちょっと無理という気がします。

の際、県の教育委員会や知事に意見を聞いたり、説明をして回ったそうです。だから小中学生が社会見学に来たり、学習の場としても役だっているとのこと。

また、地元の芸能、踊りやカラオケ大会などのイベントを開催して地元の人とのふれあいを大切にしています。私達の知的好奇心を刺激し

つつ、遊び心も忘れない、科学と遊びがうまくミックスされた体験型テーマパーク。楽しめること請け合いです。



憩いのパーク

パーク内には実験設備だけでなく、ジャングルジムや水遊びができる池や売店があり、憩いのスペースとして子どもから大人まで楽しめるように設計されています。パーク建設

「改めて評価された“ごみ発電”の意義と 本格的普及のための高度化対策の体系」

よしや こう き
与志耶 劫 紀

§1. はじめに―何故に改訂か

(1) エネテクトリーム21（その4）執筆当時 （平成5年4月）の状況

ごみ発電については、「季報エネルギー総合工学」第16巻第1号（平成5年4月号）に掲載したエネテクトリーム21（その4）「ごみから夢と純水を、21世紀の夢工場“ごみ発電”」において、(I)ごみ発電の高効率化対策、及び(II)ごみ発電タービン排気を利用した「低温造水装置の設置による純水の供給」の提言を中心に述べたところであったが、その後の1年余の間にごみ発電を巡る状況は政策面、制度面及び技術面のいずれにおいても、大きな進展が見られている。

〔備考〕本稿での「ごみ発電」は、「廃棄物発電」の通称用語として使わせて頂いた。

① 電気事業連合会による「廃棄物発電への協力について」の公表（平成3年1月）

この基本方針は、「今後ごみ発電を推進していくためには電力会社と地方自治体が相互に協力し、電気の価値（供給の安定性と質）を高めるための努力を重ね、適切な価格を形成していくことが必要である。」との認識のもとに、電力業界のごみ発電に対する支援・協力の姿勢を明確にしたものであり、次の2項目

から成っている。

(i) 廃棄物発電を行う上で、安定的な電力供給に努めようとする自治体等に対し、発電設備の建設段階から技術的協力を積極的に行う。

(ii) 廃棄物発電により生じる余剰電力については、電力会社が購入の具体的方針を明らかにし、安定的電源として位置付けられるものは高く評価することにより、廃棄物発電の建設計画の推進に協力する。

更に、この基本方針の中で、余剰電力の購入単価の設定について、「廃棄物発電によって軽減される電力会社の火力発電のコストを目安とし、安定性等供給力として期待できるものについては、固定費および燃料費相当の高い評価、それ以外については燃料費相当の評価とする。」とされた。

② 電気事業連合会による「新エネルギー等分散型電源からの余剰電力購入について」の公表（平成4年2月）

この基本方針は、「太陽光発電、風力発電、燃料電池発電などの新エネルギーは今後の技術開発やコストダウンにより経済性や信頼性のさらなる向上が期待されている。」との認識のもとに、電力業界のこれら分散型電源の実用化に対する支援・協力の姿勢を明確にした

ものであり、次の2項目より成っている。

(i) 自家発電として導入される分散型電源について、一定の条件の下で電力系統への連系希望に応じるとともに、余剰電力は積極的に購入していく。

(ii) 余剰電力の購入方針については、廃棄物発電については平成3年1月公表した基本方針に沿って具体的購入を行ってきたが、今後も一層積極的にすすめて廃棄物発電の推進に協力する。

(iii) 余剰電力の購入単価については、次のとおり。

a 太陽光発電及び風力発電については、今後の技術開発によって商用化が図られるまでの間は、「お客さま」への販売単価を限度に積極的に購入していく。

b また、燃料電池発電についても、廃棄物発電同様の考え方で評価し、積極的に購入していく。

なお、この基本方針は平成4年4月から電力各社により適用開始された。電力各社による「廃棄物発電、燃料電池発電等に対する余剰電力購入単価」(購入条件メニュー)を表5に示す。

(2) 総合エネルギー調査会基本政策小委員会 中間報告(平成5年12月1日)

① 検討の視点

平成2年6月以降における内外のエネルギー情勢の変動を踏まえ、以下のような視点について検討がなされた。

(i) エネルギー需給安定化対策のあり方

国際情勢の変化、エネルギー需給構造の変化を踏まえ、エネルギー需給安定化対策を見直す必要はないのか。

(ii) エネルギー供給体制に係る規制のあり方
エネルギー供給の効率化を図る上で、現行の供給体制に係る規制のあり方を見直す必要があるのではないかと。

② 電力供給体制における柔軟化

同報告書は、「II今後のエネルギー政策の基本的方向、4一層の効率性を目指したエネルギー供給体制の柔軟化、(3)電力供給体制の柔軟化」において

(i) 「近年の技術開発の成果を背景として、廃棄物発電、新エネルギー発電(燃料電池、太陽光発電、風力発電等)等といった、電気事業者以外の者も行いうる新たな発電形態(分散型電源)が出現していること

(ii) 発電部門における市場原理の導入という考え方に立ち、分散型電源の一層の導入促進を図ることが重要な課題となっていること

(iii) このためには、予算、税制、財投といった諸施策を講じるほか、分散型電源を全体の電力供給システムのなかに組み入れていく施策が必要であること

(iv) これまでにも、分散型電源からの余剰電力の購入について、電力各社が平成4年4月に購入条件メニューを公表して積極的な購入を開始したところであるが、この対象はあくまで「余剰電力」の範囲に止まっており、今後新規にプロジェクトに着手することを含めた本格的な発電事業への参入を念頭においたものとなっていないこと(表5参照)

(v) 従って、今後現状の「余剰」電力の範囲を超えるような分散型電源についても、その導入が図られるよう、電力の安定供給、電源のベストミックスの達成、制度の公平

性・透明性の確保といった観点に留意しつつ、体制整備を検討していく必要があること

- (vi) 更に、電力会社への売電の推進にとどまらず、電力会社による託送や需要家への直接供給のあり方についても、全体として効率的な電力供給システムが構築されるよう、幅広く検討が行われる必要があること等を指摘している。

現在、これらの政策提言を受けて、電気事業審議会の各部会においてその具体化方策について審議検討が行われており、近く成案が得られる見通しである。

(3) 総合エネルギー調査会需給部会中間報告 (平成6年6月21日)

- ① 総合エネルギー調査会による「長期エネルギー需給見通し」は、昭和42年(1967年)に初めて策定されて以来、およそ3～4年毎に見直し改定がなされてきたが、今回の改定は第10版となる。前回の改定は平成2年(1990年)6月であったから、ちょうど4年目の改定であるが、今年3月21日発効した「気候変動に関する枠組み条約」に基づき、わが国政府は6か月以内の9月21日までに締約国会議の事務局に対し、温室効果ガスの排出や吸収に関する対策、実施した場合の効果予測など行動計画を通報することを義務付けされている。

わが国は、すでに平成2年(1990年)10月「地球温暖化防止行動計画」を地球環境保全に関する関係閣僚会議において決定しているが、この中で温室効果ガスの排出抑制目標として二酸化炭素(CO₂)については、次のとおり定めている。

- (i) 1人あたり二酸化炭素排出量について2,000年以降概ね1990年レベルでの安定化を図る。

- (ii) 二酸化炭素排出総量が2000年以降概ね1990年レベルで安定するよう努める。

- ② 平成2年6月以降のエネルギー需給情勢としては、当初の想定を上回る最終エネルギー消費の伸び、供給面では原子力発電所の立地難、新エネルギー導入の停滞などが顕在化しており、現行見通しが実勢にそぐわないとの指摘がなされていた。このことは二酸化炭素の排出抑制の達成見通しをも著しく困難とするものであること等の事情から、今回の見通しの改定では、「現行施策織込ケース」に加えて「新規施策追加ケース」も併せて示されることとなった。(表3参照)

なお、目標年度は西暦2000年及び2010年と変更されなかった。

- ③ 「新エネルギー等」の供給見通しと、廃棄物発電への期待

「1次エネルギー供給見通し」2010年度新規施策追加ケースにおいて、「新エネルギー等」は「1,910万kl(供給構成比率3.0%)」となっている。この値は、前回需給見通し(平成2年6月)における「3,460万kl(同5.3%)」より大幅に後退しており、石油依存度を高める要因となっている。

今回の長期エネルギー需給見通しにおいては、初めて「新エネルギー等」の内訳が2次エネルギー供給ベースで明らかにされた。

(4) 各省施策の出揃いと技術開発の進展

ごみ発電又はごみ処理事業に対する厚生省、自治省、通商産業省による施策は昨年来

とみに拡充強化されてきているが、技術の分野においても蒸気温度300℃を突破したプロジェクトの出現、NEDOにおける高効率廃棄物発電技術開発の進展、スーパーごみ発電の提案並びに具体化プロジェクトの出現など情勢の進展には目覚ましいものがある。

以上の諸事情を考察すると、平成6年6月の時点での情報に基づいて、今後のごみ発電の本格的普及のための高度化対策の体系を見直して論点整理する必要があると思われる。これが敢えてエネテクトリム21（その4）を改訂し、（その8）として本稿を思い立った所以である。

§2. 改めて評価された“ごみ発電”の「新エネルギー等」における位置付け（新規施策追加ケース）

（1）検証された再生可能エネルギー及びリサイクル型エネルギー

今回の長期エネルギー需給見通しの改定作業に当たっては、「新エネルギー等」に含まれているエネルギーを「再生可能エネルギー」

（太陽光発電、風力発電、太陽熱、温度差エネルギー）と、「リサイクル型エネルギー」（廃棄物発電、ゴミ処理廃熱等、黒液・廃材）に分類して、それぞれについての2次エネルギー供給ベースでの供給量が示されている。（表4 参照）

再生可能エネルギーの分野では、太陽光発電は2010年度で460万kW、45万kℓにとどまるが、太陽熱は2010年度で550万kℓと大幅増が期待されている。

一方、リサイクル型エネルギーの分野では、

現在でもこの分野での大宗を占める黒液・廃材は2010年度でも539万kℓとほぼ横ばいであるのに対し、廃棄物発電は2000年度で200万kW、106万kℓ、2010年度で400万kW、212万kℓと2倍増の導入普及が期待されている。212万kℓは、太陽光発電45万kℓの約5倍の値となっており、今後太陽熱利用（ソーラーシステムの普及）と並んで、「新エネルギー等」の主力エネルギーとして位置付けられている。今回の改定において、“ごみ発電”は初めて新エネルギー源のエースとしてエネルギー政策の中心に据えられたのである。

（2）ごみ発電が当面する課題と本格的普及のための高度化対策の必要性

現在のごみ発電は、

- (i) ごみ発電の効率が低い
- (ii) 自家発電余剰電力の売電にとどまっている
- (iii) プラント排熱が未利用である
- (iv) ごみ発電の普及が大型炉のみである

等の大きな課題に直面しており、本格的普及のためにはこれらの課題を技術開発、制度改正等による体系的な高度化対策を実施していく必要がある。

§3. ごみ焼却熱エネルギーの高度利用の必要性

（1）21世紀社会におけるエネルギーシステム

21世紀の人類社会が「限られた地球環境と資源」という制約のもとで文明の繁栄を維持していくためには、

- (i) 従来の資源とエネルギーの大量消費と訣別し、省資源、省エネルギー的ライフスタイルに転換する

(ii) 地球環境を「痛めない、傷付けない、破壊しない」ことをライフスタイルの基本とする

(iii) 産業廃棄物、生活廃棄物の減量・処理対策を徹底するとともに、資源リサイクルを極限にまで追求する

等のライフスタイルの転換が求められる。

また、21世紀社会におけるエネルギーシステムは、

(i)エネルギー安定供給の実現、(ii)地球環境問題の解決、(iii)エネルギー高効率利用の達成、(iv)廃棄物処理・処分体系の確立、(v)エネルギー利用に係る資源・リサイクルの確立等の時代の要請に応えうるものでなければならない。

(2) ごみ焼却熱エネルギーの地球環境対策上の意義

① ごみ焼却熱は、二酸化炭素を増やさないエネルギーである

一般廃棄物“ごみ”の主成分は、台所の生ごみ、包装紙、段ボール箱、印刷物等の「バイオマスエネルギー」である。紙等の原料は、その成育過程において大気環境（地球環境）中の二酸化炭素を固定してつくられたものであるから、これを燃焼させても地球環境中における二酸化炭素を増やすことにならない。

I E A（国際エネルギー機関）では、このような考え方に基づいて、バイオマスエネルギーは「再生可能エネルギー」の一つとして積極的にその導入を図るべきとしている。

即ち、混入しているプラスチック類を除いて考えれば、「ごみ焼却熱は、二酸化炭素を増やさない、地球環境対策上極めて好ましいエネルギー」なのである。

今回の総合エネルギー調査会需給部会中間報告では、「リサイクル型エネルギー」として廃棄物発電、ごみ処理排熱等、黒液・廃材を分類しているが、視点は同じであると解される。

② ごみ焼却熱は、確実に化石燃料を節約する

ごみの発熱量は1,700~1,900kcal/kg程度と逐次上昇傾向にあり、最近新設されるごみ焼却炉の設計において採用される「設計ごみ発熱量」は2,400~3,000kcal/kg級となっている。（従来の低品位炭石炭火力発電所で使用されていた低品位炭の発熱量は大体3,500kcal/kgであったから、最近のごみの発熱量が紙類の増加やプラスチック類の混入によりいかに高くなっているかが判断される。）

また、ごみ焼却炉の燃焼ガスの温度も700~800℃程度と高くなっていることから、化石燃料に代替しうる「十分に質の高いエネルギー源である」といえる。即ち、「ごみ焼却熱は、確実に化石燃料を節約する」のである。

③ ごみ焼却処理は、プラスチック類の焼却処理を可能とする

プラスチック類は石油化学製品であるため、高い発熱量を持ち、よく燃焼するが、燃焼の際、塩酸や硫酸などの腐食性の強いガスを発生させるため、熱回収ボイラのチューブやその他の金属類を腐食させやすい。

チューブに対してキヤスタブルを取付ける等の対策を講じていない構造のごみ焼却炉の場合にあっては、プラスチック類は「燃えないゴミ」（＝焼却炉で燃やせないゴミ）として分別収集される必要がある。しかしながら、廃プラスチック類の分別収集を徹底して実施するのは至難の業であるし、分別収集された

ものも大部分は埋立処分されているのが実状であり、後世の世代に「廃棄物」(負の資産)を残すことになり、決して好ましいことではない。

廃プラスチック類の最も良い処理方法は、「リサイクル」即ち資源として再利用することである。しかしながら、廃プラスチック類を高温・高圧の条件下で融解・分解させて中軽質油や再生プラスチックとすることは技術的には可能であるが、不純物が多くかつ成分が不均一となるため、「製品」として売れるものを製造することは相当なコスト高となるとされている。

一方、廃プラスチック類を焼却炉で燃やすと多量の熱を発生して燃えてしまうので、後世の世代に廃棄物を残すことは避けることができる。このような見地から、ごみ焼却炉において、①燃焼の際発生する「腐食性ガス」にも十分長期間耐えられる炉構造(キャスタブルを打つ等)を採用するとともに②塩酸、硫酸、ダイオキシン等の「環境汚染物質」を高効率で処理できる「高性能の排ガス処理装置」を開発し実用化すれば、廃プラスチック類のごみとの混合焼却処理(2～3割程度まで)が可能となる。このような廃プラスチック類の「混合収集・混合焼却処理方式」が、ごみ収集の実態に照らし最も実際的であると思料される。この際の焼却熱を回収して有効利用すれば、石油資源の有効利用策として評価することができる。

全国の12大都市のうち7都市は「混合収集・同時焼却処理方式」(プラスチックの混入比率は8～14%程度)を採用しており、比較的多くの実績がある。(また、分別収集している都市ではRDFの製造、専焼施設による処

理等が実施されている。)

(3) ごみ焼却炉における熱回収の必要性

ごみ焼却熱を「二酸化炭素を増やさない」かつ「十分質の高いエネルギー」として有効利用すべきことは(2)で述べたとおりであるが、ごみ焼却炉の構造自体からも発生熱(ごみ焼却熱)を熱回収しなければならない。「燃えるごみ」を焼却炉で燃やすと燃焼ガスの温度は700～900℃の高温になるが、このような高温で焼却炉を運転し続けると、炉壁を痛めて炉の寿命を極めて短かいものとするため、焼却炉壁を水又は空気冷却するか、又は排ガス温度を水噴射により下げるかのいずれかの方式を採用する必要がある。

このような目的から焼却炉に取付けられるのが「廃熱回収ボイラ」である。ごみ焼却炉の廃熱回収ボイラは、①ごみ焼却熱の有効利用を可能とする、及び②焼却炉の寿命を長く保つとの両機能を果たすものである。

§ 4. ごみ発電の意義

ごみ発電を実施する意義を改めて整理すると、次のとおり。

- ① ごみの大量かつ連続した焼却処理を可能とし、且つごみ焼却炉の寿命を長くする。
- ② 発生電力によりごみ処理施設の所内電力を賄うほか、余剰電力は電力会社に売電することによりごみ処理コストを低減する。
- ③ 売電の形態には次の3方式があり、今後国の規制緩和措置により選択の自由度は高まるものと期待されている。
 - a. 自家用発電所における「自家発電余剰電力」として、電力会社に売電する方式

b. 電気事業法第3条に基づく「卸電気事業」として本格的に卸電力供給する方式

c. 電気事業法第17条に基づく「特定供給」として、地方公共団体が保有する施設等特定の需要に対して供給する方式

④ ごみ発電による発生電力は、ごみ焼却炉の連続運転に伴う安定した電力であり、太陽光発電や風力発電の場合と異なり、電源としての信頼性は高い。

⑤ ごみ発電は、ごみ焼却施設が都市区域内に設置されているため、電力需要に直結した電源であるので、送電コスト及び送電ロスが非常に少ない。(この点遠隔地に立地する大型電源と大きく異なり、経済性の評価に当たっては十分配慮されるべきことである。)

⑥ ごみ発電は、二酸化炭素を増やさず地球環境対策上好ましく、且つ化石燃料を節約する電源であり、また将来は廃プラスチック類の同時焼却(混合収集の場合)が可能と見込まれる。

⑦ ごみ焼却灰の電気溶融固化処理(スラグ化)用の所内電力を安価に確保することができる。そして、電気溶融固化処理技術は、最終処分場を必要としない都市清掃事業への展望を開くものである。(電気溶融固化処理については、§5で特論する。)

⑧ し尿処理場から発生する「し尿汚泥」も、ごみ焼却炉で焼却処理することにより電力をうることができる。

⑨ ごみ発電のタービン排気(温度50~60℃)の熱により海水又は河川水から飲用可能な純水を製造することができる。(低温造水装置の設置による純水の供給)、(エネテクトリーム21(その4)で詳述しておいたので、

参照して頂きたい。)

§5. ごみ焼却灰の電気溶融固化処理(スラグ化)とリサイクル

(1) 焼却灰の最終処分と管理の必要性

ごみを焼却すると灰分が残る。実際のごみ焼却炉の底から排出される焼却残渣には、灰分のほか金属類、ガラス類などの固形物が多量に含まれており、「燃えるゴミ」の中に偽って搬出した住民のモラルの低さが嘆かれる。金属類は別途処分するとして、残りの灰分やガラス類などの固形物は「最終処分場」に運んで埋立処分する必要がある。

しかしながら、そのまま土中に埋設処分すれば、将来有害な成分が地下水に溶出して重大な環境汚染をひき起すおそれがある。かかる事態の発生を防止するため、廃掃法(廃棄物の処理及び清掃に関する法律)などの関係法令では、「最終処分場」では地下水と遮断する壁(バリアー)を造り、灰など埋立処分した廃棄物から溶出する成分を測定監視するとともに、水質処理装置を設置して最終処分場からの排水の水質が法令に定める基準値以下となるよう措置し管理することが義務付けられている。このように、ごみ焼却灰は最終処分場に運んだのちも厳重な管理の継続を必要とするのである。

(2) 焼却灰の電気溶融固化処理(スラグ化)とリサイクル、そして最終処分場を必要としない都市清掃事業

一方、焼却灰は、高温(1,200~1,400℃)に加熱して溶融させ、有害な重金属などの成分を酸化させたのち冷却すると、ガラス状の

「固化スラグ」となる。

固化スラグとした場合には、次のような利点が生じる

- ① 体積が1/2～1/3となり、処分容量が小さくなる（減容化）
- ② 化学的に安定であり、有害な成分の溶出が抑えられる（灰の無害化）
- ③ 路盤材、建築資材（透水性ブロック等）など有効再利用が可能となる（リサイクル化）

焼却灰を高温に加熱して熔融させる装置としては、「電気溶解炉」が使用される。ごみ発電を行えば、この焼却灰の熔融固化処理の熱源に、自家発電した安価な「ごみ発電の電力」を利用することができる。焼却灰の効率的処理対策を可能とする技術として、今後最大限の普及啓発がなされるべきと考ええる。

エネルギーテクノロジーの夢として、「最終処分場のない都市清掃事業」への展望が開かれたのである。

§ 6. ごみ発電モデルプラントによる発電量に関する評価

ごみ発電技術は、安定した電気出力と高い年間設備利用率（80％程度）を可能とするから、その年間発生電力量は、太陽光発電や風力発電と比べると極めて大きい。また、ごみ発電の発生電力でその都市の世帯数の2割～3割程度の世帯の消費電力を賄うことができると評価される。（所内電力を差引く前の全発電量で試算する。）

① ごみ発電モデルプラントの想定

埼玉県東部清掃組合第一工場ごみ発電設備は、平成7年8月運転開始を目標に増改築中の同工場に設置される。（表1参照）

この発電設備（出力12,000kW×2基）の蒸気条件は、蒸気温度380℃、蒸気圧力36ataと高温高圧化されており、発電効率は20.6％と全国で初めて20％台を超えた画期的な計画となっている。（設計ごみ発熱量H=3,000kcal/

表 1 ごみ発電の効率例

項 目	東京都大田清掃工場第一工場	東京都大田清掃工場第二工場	東京都目黒清掃工場	埼玉県東部清掃組合第二工場	
焼 却 能 力 (t/日)	600(200×3 炉)	600(200×3 炉)	600(300×2 炉)	800(200×4 炉)	
設計最高発熱量 (kcal/kg)	3,000	3,500	2,800	3,000	
ボ イ ラ	容 量 (t/h)	105(35×3 基)	131.4(43.8×3 基)	101.6(50.8×2 基)	138(34.5×4 基)
	蒸気圧力 (kg/cm ² G)	30	30	29.8	43
	蒸気温度 (℃)	300	300	300	380
タ ー ビ ン	形 式	復水タービン(空冷)	復水タービン(空冷)	復水タービン(空冷)	復水タービン(空冷)
	容 量 (kW)	12,000	15,000	11,000	24,000
	蒸気使用量 (t/h)	71	90	70	136
	排気圧力 (ata)	0.27	0.25	0.25	0.22
設計単位発電量 (kWh/t)	480	600	440	720	
タービン蒸気 トン当たり発電量 (kWh/t)	169	166.7	157.1	176.5	
設計総合発電効率(%)	13.8	14.7	13.5	20.6	

kg, ごみ焼却炉200 t /日×4基である。)

このプラントのボイラの過熱器管の材料には在来型のステンレス鋼材が使用される予定であるので、このクラスの蒸気条件のプラントは至近の将来において十分建設可能と見込まれるので、発電量に関する評価を行うモデルプラントとしてこのクラスの蒸気条件の場合を想定することとする。

[発電量を評価するモデルプラントの仕様]

- ・焼却炉=200t/日×1基(人口20万人程度に相当)
- ・設計ごみ発熱量 $H=3,000\text{kcal/kg}$
- ・プラント発電効率=20%
- ・電気出力=6,000kW
- ・年間設備利用率=80%

(i) 年間発電量 $=6,000\text{kW}\times 8765\text{hr}\times 80\%=42.1\times 10^6\text{kWh}\approx 4,200\text{万kWh}$

(ii) ごみ発電による電力の自給

所内電力消費を考慮しないで全発電量を外部に供給したとして評価すると、次のとおり。

4,200万kWhの発電量は、平均的世帯(4人家族)の年間使用電力量($250\text{kWh}\times 12\text{ヶ月}=3,000\text{kWh}$)の 14×10^3 倍に相当するから、14,000世帯の年間電力量を賄うことができる。

ごみ焼却炉200t/日は、1人1日当たりのごみ発生原単位は1kgであるから、人口20万人規模(世帯数では5万世帯)の中規模都市に相当するが、5万世帯のうち実に約3割弱(14,000世帯)の年間使用電力量をごみ発電により賄うことができる量であることを示している。(所内電力を差し引いても2割程度の世帯は賄うことができると評価される。)

(iii) 太陽光発電(出力3kW)との比較

太陽光発電のわが国における年間設備利用率=11%として計算すると、

・太陽光発電(出力3kW)の年間発電量 $=3\text{kW}\times 8,765\text{hr}\times 11\%=2,892\text{kWh}\approx 2,900\text{kWh}$

・ごみ発電(出力6,000kW)による年間発電量=4,200万kWhは、太陽光発電(出力3kW)による発電量の 14.5×10^3 倍であるから、14,500台の太陽光発電装置を取付けた場合に相当する。

因みに、太陽光発電装置の出力3kWは標準世帯の年間使用電力量=3,000kWhのほぼ全量を賄う出力として選ばれている値なのである。

(iv) 風力発電(出力300kW)との比較

風力発電の年間設備利用率=20%として、同様の手法により比較すると、ごみ発電(出力6,000kW)による発電量は出力300kWの風力発電80台分の電力量に相当する。

(v) 石油節約量に関する評価

出力6,000kWのごみ発電による年間の石油節約量は、 $42.1\times 10^6\text{kWh}\times 0.228\ell/\text{kWh}$ (発電効率40%の石油火力の燃料消費率) $=9.59\times 10^6\ell=9,500\text{k}\ell$ となる。

また、出力24,000kWの埼玉東部清掃組合第一工場ごみ発電設備の場合は、年間38,000kℓの大量の石油節約となると評価される。

§ 7. ごみ発電の現状と課題

(1) ごみ発電の現状

平成5年(1993年)3月31日現在(平成4年度末現在)、廃棄物(ごみ)焼却施設は全国

で約1,900箇所あり、このうち発電設備を備えている施設数は合計116で、廃棄物焼却施設数の約5%に過ぎない。全国のごみ発電設備の合計出力は363,190kW（前年度末では、合計出力348,000kW、年間発電量は約22億kWh）であった。

ごみ発電設備の出力から所内消費電力を差引いた「余剰電力」を、電力会社に販売している発電設備数は合計56で、ごみ発電設備数の48%に相当し、それらの設備出力の合計は264,570kWである。

電力会社に対して「自家発余剰電力」として売電している電力量は6.42億kWh（前年度6.30億kWh）、売電収入は47億円（前年度39億円）、平均売電単価7.3円/kWh（前年度6.1円/kWh）となった。

平成4年3月に各電力会社により公表された余剰電力購入単価表（いわゆる「メニュー」）の適用を受けるようになったため、売電収入、売電単価ともに向上したといえることができる。

(2) ごみ発電の課題

このように平成3年度、4年度と順調に進展しているごみ発電であるが、今後「新エネルギー等分野のエース」として本格的導入・普及を図っていく上で解決すべき多くの課題に直面している。主なものとして、次の4項目を挙げることができる。

- ① ごみ発電の効率が10～15%程度と極めて低い水準に止まっていること
- ② 発生電力の一部は電力会社に売電されているが、その形態は「自家発余剰電力」の売電に止まっていること
- ③ 蒸気タービン排気を復水させる復水器

には空冷式が採用されており、60℃以下の排熱エネルギーは大気放出され、未利用に止まっていること

- ④ ごみ発電の導入が焼却容量140～150t/日迄の大型焼却炉の範囲に止まっていること
- これらの当面する課題を克服するため、各分野における高度化対策を体系的に実施していかなければならない。

(3) わが国のごみ発電の熱効率が10～15%程度と極めて低い水準に止まっている経緯

エネクトリーム21（その4）で詳述したので、参照して頂きたい。

§8. ごみ発電の本格的普及のための技術開発課題と高度化対策の体系

ごみ発電は、§2で述べたとおり、「量の達成が期待できる新エネルギー等分野のエース」として、更に「二酸化炭素を増やさないクリーンエネルギー」として地球環境対策の面からも、本格的導入・普及を促進していかなければならない。

今後のごみ発電は、

- (I) 高効率化によるごみ焼却熱の有効利用と経済性の向上
- (II) 実用電源としての信頼性の向上
- (III) プラント排熱利用の高度化
- (IV) 小型ごみ焼却施設へのごみ発電の適用拡大

等の技術開発課題を早急に克服、解決して一層の高度化を達成していくことが求められている。

本稿では、主要な高度化対策の論点を整理することとする。（図1参照）

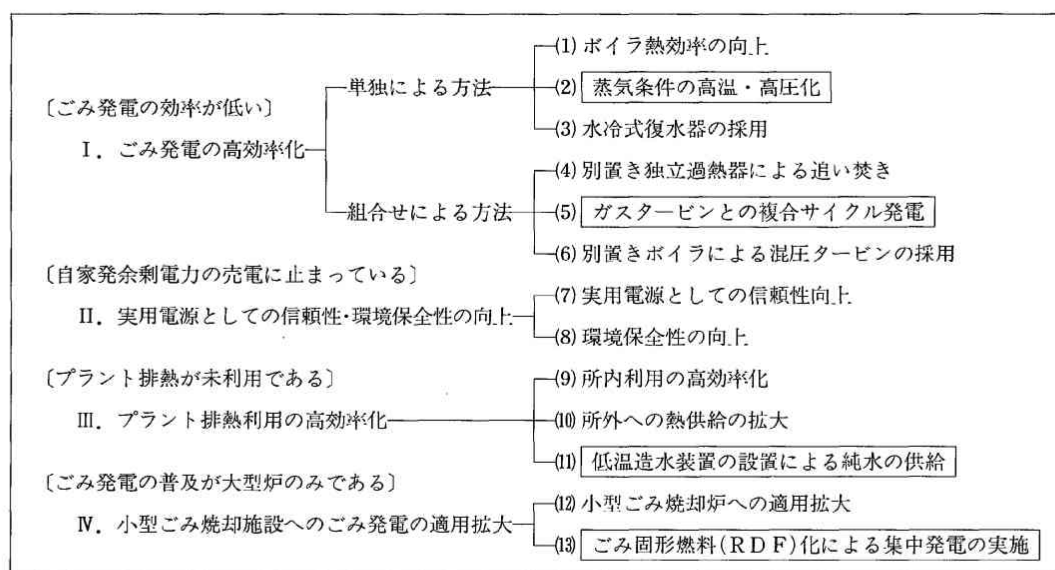


図1 ごみ発電の技術開発課題と高度化対策の体系

I. ごみ発電の高効率化対策

ごみ焼却施設で発生する熱エネルギーを有効利用する方法には、熱風としてごみの乾燥等に利用する方法と、廃熱回収ボイラにより蒸気として熱回収してこれを発電や熱供給に利用する方法に大別されるが、本稿では後者の場合について述べることにする。

(1) ボイラ熱効率の向上

焼却炉に設置する廃熱回収ボイラの種類、型式による熱伝達（熱回収）構造の差異、ごみ焼却施設の容量の差、プラント設計目標の違い等によって、ボイラ熱効率はそれぞれ異なってくるが、既設について見ると高いボイラ効率のもので75～80％程度となっている。

今後は、ごみ発電熱量の増大による燃焼ガス温度の上昇、焼却炉構造の設計改良等により、大型自家発電ボイラ並みの80～85％程度迄の効率向上は達成可能と見通される。

(2) 蒸気条件の高温・高圧化

① 蒸気温度300℃の壁を突破したごみ発電プロジェクトの出現（表1参照）

わが国のごみ発電の効率が10～15％程度に止まっていることは、ごみ焼却熱エネルギーの高効率利用の達成、及びごみ発電の経済性向上を大きく阻害する要因となっているところ、「ごみ発電の高効率化」はごみ発電に課されている第1の課題である。

その理由と経緯については、エネテクトリーム21（その4）において詳述したところであるが、大阪市環境事業局西淀工場廃棄物発電設備（ボイラ蒸気圧力23atg、蒸気温度350℃、出力5,400kW、昭和40年3月運転開始）におけるボイラ過熱器管の腐食損傷事故の連続発生の原因解明の結果に基づいて、「過熱器管材料のメタル温度を400℃以下、蒸気温度を300℃以下に抑える」との設計方針が以降20余年の間採用・踏襲されてきた。

しかながら、この「蒸気温度300℃の壁」を突破したごみ発電プロジェクトが最近着手された。これが埼玉県東部清掃組合第一工場発

電設備（平成7年8月完成予定）であるが、「蒸気温度380℃、蒸気圧力37ata」と高温・高圧化されたことにより、発電効率は20.6%と飛躍的に向上した計画となっている。

わが国のごみ発電発達史の上で、発電効率で初の20%台を達成したプロジェクトとして記念されるところとなっている。

このごみ発電設備の廃熱回収ボイラの過熱器管の材料には、在来型のステンレス鋼（低合金鋼）材が使用される予定であるので、今後は他の新規に計画されるごみ発電設備において、このクラスの蒸気条件の採用拡大が期待される。

② 通商産業省、NEDO（新エネルギー産業技術総合開発機構）による「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトは、蒸気温度500℃、蒸気圧力100ata、発電効率30%が目標

平成3年度から8ヶ年計画で、通商産業省資源エネルギー庁の予算措置により、NEDOにおける「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトが発足した。

本プロジェクトは、今後のごみ発電の導入・普及を一気に促進するため、ごみ発電効率を現状の2～3倍程度（30%台）に引上げ、もって経済性の向上を達成することを主たる目的とした野心的プロジェクトである。

技術開発の具体的内容としては、

- (i) 耐腐食性に優れた過熱器材料（高合金鋼領域）の開発
 - (ii) 高温・高効率燃焼炉構造の開発
- 等の技術開発を行うことにより、「温度500℃、圧力100ataの蒸気を安定的に発生することのできる焼却炉の実現」を目標としている。

耐腐食性過熱器管材料の開発では、既存の

低合金鋼ではなく、高合金鋼領域の材料を使用することが必要となるが、所期の耐腐食性を発揮するだけでなく、コスト面でも導入可能な材料を開発することが課題となっている。

(3) 水冷式復水器の採用

大部分のごみ発電設備では、復水器を設置する場合でも「空冷式」のものが設置されている。しかし、空冷式復水器ではタービン排気の蒸気を約60℃までしか冷却することができないので、60℃以下の熱エネルギーは大気に放出されてしまう。

一方、河川水又は海水を利用した「水冷式復水器」（大型の火力、原子力発電所のタービン復水器は当然水冷式である。）を採用することができるプラントにあっては、タービン排気の蒸気を28℃程度迄冷却することができるので、蒸気タービンの出力は大きくなり、発電効率は向上し、関連して発電量も増加する。

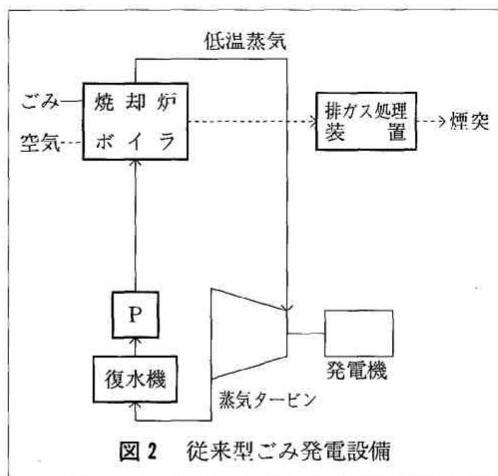
今後、大型のごみ焼却施設が海岸又は大きな河川に隣接して立地されるケースにあっては、水冷式復水器の採用は十分可能である。

なお、内陸部に立地するプラントにおいては水冷式復水器と冷却塔を組合せる方式（内陸部に立地する地熱発電（出力25,000kW～50,000kW級）では、この方式が一般的である。）も技術的には既存技術で十分可能であるが、建設費、運転経費が大きくなるため、現実的可能性は少ないと思われる。

(4) ガスタービンとの複合サイクル発電“スーパーごみ発電”

ごみ発電設備にガスタービン発電設備を併設して、ガスタービン（使用燃料は都市ガス、灯油等）の排ガス（温度500～700℃）によ

って、焼却炉ボイラで発生した蒸気（飽和蒸気）を過熱（スーパーヒート）する方式であり、ごみ発電の高効率化の分野において新しく「スーパーごみ発電」の呼称で提案されたものである。（図2及び図3参照）



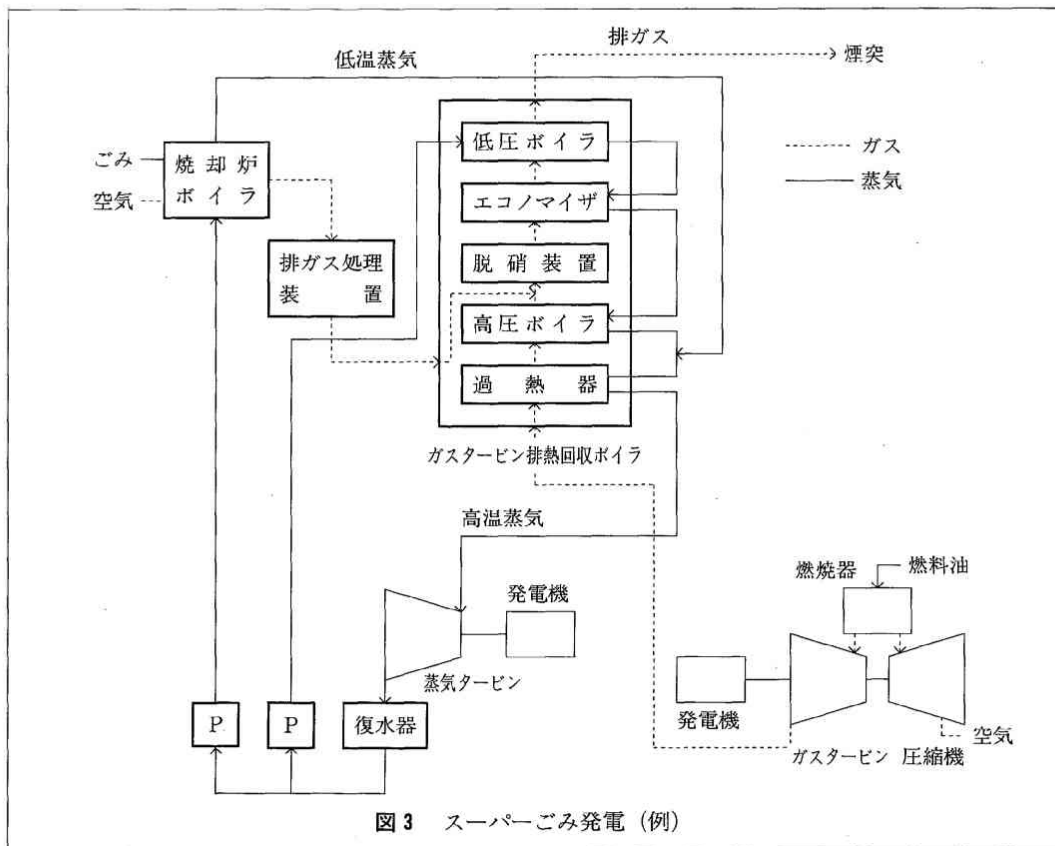
スーパーごみ発電のシステム構成は、ごみ燃焼熱による汽力発電とガスタービン発電との「複合サイクル発電」であるが、以下に述べるような各種のケースが提案されている。

〔ケース1〕 単純複合サイクル方式

ガスタービンの排ガスにより、焼却炉ボイラ蒸気を過熱する方式である。ガスタービンには排熱回収ボイラを設置せず、焼却炉排ガス及びガスタービン排ガスは、それぞれ独立して放出される。従って、発電効率の向上効果は余り大きくはならない。

〔ケース2〕 排気再燃方式（排気系に着目したとき）

ガスタービンの排ガスを、ごみ焼却炉の燃焼用として利用し、総排ガス量を最小と



する方式である。

〔ケース3〕 脱硝装置共用方式（排気系に着目したとき）

ケース2とは逆に、ごみ焼却炉の排ガスをガスタービン排気系に合流させ、ガスタービンの脱硝装置によりごみ焼却炉排ガスをも脱硝処理することを可能とする方式である。

このため、ガスタービンを併設しない場合よりも NO_x 排出量を大幅に減少させることとなり、地域の大気汚染の防止に大きく貢献しうるシステムとなる。

〔ケース4〕 蒸気結合方式（蒸気系に着目したとき）

ガスタービンに排熱回収ボイラを設置し、その発生蒸気と焼却炉ボイラで発生した蒸気を結合した後、ガスタービン排気上流部（高温部）において過熱を行う方式である。

複合サイクル発電システムプラントの発電効率は、「ごみ焼却熱量＋ガスタービン燃料発熱量」の何％が電気エネルギーとして取出されたかによって示される。従って、システム構成を高度化した「ケース3とケース4を組合せた場合」がプラント発電効率は向上する。即ち、焼却炉ボイラ蒸気の有するエネルギーによる電気出力は変わらないが、ガスタービン排気により過熱（スーパーヒート）されて高温・高圧化され、この結果としてタービン蒸気サイクルの理論効率が大幅に改善されるとともに、電気出力が増大するというメリットが得られる。

現在、スーパーごみ発電事業は、三つの地方自治体で取り組まれており、最も早い群馬県の場合卸電気事業の許可を取得して、平成7年度には完成の予定となっている。

II. 実用電源としての信頼性、環境保全性の向上

(1) 実用電源としての信頼性の向上

① 計画期間定格安定運転の確保

ごみ焼却炉は24時間連続運転方式で計画期間（1年以上）の定格運転を要求されるから、取付けられる排熱回収ボイラも当然計画期間中の安定した定格連続運転の可能性を求められる。また、過熱器管材料にあっては、経済性の確保、ごみ焼却関連施設のオーバーホール時期調整の都合から、少くとも1年間の連続運転と、5年程度以上の耐久性を有するものでなければならない。

② 卸電気事業用電源としての供給信頼性の確保

自家発余剰電力として電力会社に売電する形態にあっては、電力会社に対する供給責任は実質的にないが、電気事業法第3条に基づく卸電気事業としてごみ発電事業を行う場合にあっては、料金は原価主義となり収益は安定するが、電気事業者として電力の安定供給に努める責務が課されることとなる。

このため、ごみ発電設備は供給契約の内容に添い計画期間中の定格安定運転に十分耐えうるとともに、必要な場合部分的な出力調整（この場合でもごみ焼却炉は定格運転を継続する。）にも対応できるシステムであることが期待される。

これらの要求への対応については、現在の技術水準からみて十分可能であると見通される。

(2) 環境保全性の向上

① 高性能排ガス処理技術の開発

ごみ発電の高効率化を達成するには、I(1)及び(2)で述べたとおり、蒸気条件の高温・高

圧化に加えて、より低いボイラ排ガス温度まで熱回収してボイラ熱効率を向上させることが有効な方法であるが、300℃程度の温度領域ではダイオキシンが発生しやすくなることから、その実現にはより高性能なダイオキシン等への対策が必要となる。

かかる観点から、II(2)①で紹介した通商産業省、NEDOによる「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトでは、ダイオキシン等を効果的かつ経済的に分解除去する排ガス処理技術として、「パルスプラズマ排ガス処理法」の開発が進められている。

② 高カロリーごみの高温燃焼に対応した効率的排ガス処理技術の開発

今後のごみの高カロリー化に対処していくためには、高カロリーごみの不完全燃焼により発生するダイオキシン類に対して、十分な処理技術を確立しなければならない。

通商産業省、NEDOによる「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトでは、焼却炉の運転管理を徹底することは勿論、焼却炉本体も炉内での高カロリーごみの完全燃焼を促進する炉構造・形状とすることが適切であるとの見地から、「2回流型焼却炉」の開発が進められている。

この型の炉は、混合性に優れ、CO₂、ダイオキシン類及びNO_xの排出が少ないことが知られており、将来の大型炉として期待されている。

III. プラント排熱利用の高効率化

プラント排熱利用の高効率化対策には、「所内利用の高効率化」「所外熱供給の拡大」のほか、「低温造水装置の設置による純水の供給」が新たに提案されている。

(1) 低温造水装置の設置による純水の供給 単段効用缶法による「低温造水装置」のシス

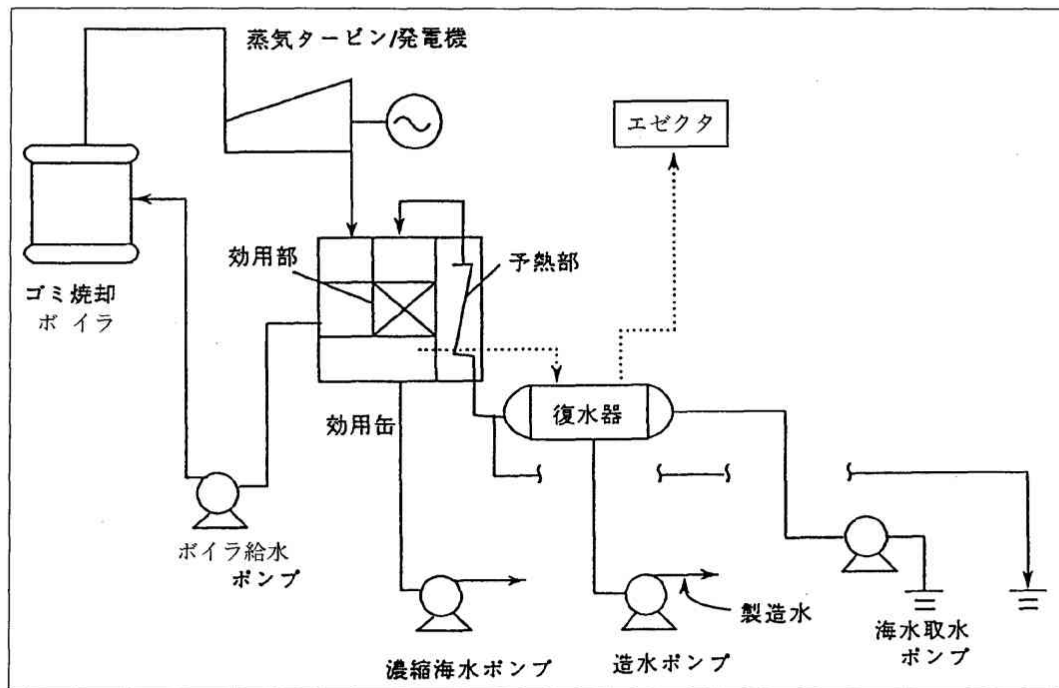


図4 タービン排気利用の低温造水装置フロー図

表 2 造水装置のメリット

	海水造水	河川水造水
造水量 (t/h)	67	63
上水単価 (円/t)	150	150
供給造水額*1 (百万円/年)	80.4	75.6
造水装置による 発電量減少 (kW)	1,000	900
発電単価*2 (円/kWh)	8.2	8.2
売電減少額*1 (百万円/年)	65.6	59.0
造水装置設置による メリット (百万円/年)	14.8	16.6

*1) ごみ焼却発電設備の年間運転時間を8,000hとした。

*2) 東電の買取電力単価
昼間(平日の8:00~22:00, 除日曜, 祝日)12.5円/
kWh, 夜間4.2円/kWhより算出した平均値。

テム構成は、次のとおり。(図4及び表2参照)

- (i) タービン排気の有する低レベルエネルギーの蒸気(60℃以下)を有効に利用して造水(海水淡水化)する。
- (ii) タービンの水冷式復水器(又は空冷式)復水器に隣接して、単段の効用缶法造水装置を追加設置して、タービン排気温度を約10℃上げた蒸気(タービン抽気)により効用缶内で海水(又は河川水)を蒸発させる。この蒸気を復水器で凝縮させることにより、理論上タービン排気量と同量の「純水」(飲用可能, TDS 20ppm以下)を造ることができる。
なお造水比=(造水量/タービン排気量)を上げて、より多くの純水を得ようとするときは、効用缶の段数を増加させることにより、容易に可能である。
- (iii) タービン排気の温度を約10℃上げるため、発生電力量は少くなるが、低圧蒸気の有効利用が可能となり、造水コストを低減させることができる。
- (iv) この効用缶法低温造水技術は、原子力発電所の負荷平準化対策技術(深夜の余った蒸気の用途となる。), 地域への純水供給を

可能とする立地促進対策技術としても注目されている。

- (v) 効用缶法低温造水技術は、既にメーカーにおける研究開発は終了しており、今後、低コスト造水技術としての現場での実証が期待される。

IV. 小型ごみ焼却施設へのごみ発電の適用拡大

現在ごみ発電の実施状況についてみると、売電の設備容量を有するごみ焼却施設は焼却能力250~300 t/日程度以上に限られており、また自家用発電設備容量を有するごみ焼却施設は焼却能力140~150 t/日程度以上に限られている。

今後、ごみ焼却熱エネルギーの高効率利用の実現という課題に対応していくためには、より小型のごみ焼却施設(焼却炉及び関連施設の集合体という意味で「ごみ焼却施設」と表現する。)への、ごみ発電の適用拡大を図っていく必要がある。

因みに、全国約1900箇所のごみ焼却施設の内、426施設はごみ発電実施可能な「全連続式」の焼却施設であるが、未だ約300の施設ではごみ発電を実施していないほか、約1500の全連続式以外のごみ焼却施設においては将来ともごみ発電を実施することは困難な状況にある。

ごみ発生量の原単位は、「住民1人、1日当たり約1 kg」であるが、現在ごみ発電が実施されている最も小さい焼却炉は140~150 t/日であるから、人口14~15万人分のごみを集中処理していることになる。これは地域の中規模都市の人口数であり、それ以下の人口の市町村が圧倒的に多いことを考慮しなければならない。

表3 一次エネルギー供給の見通し（総合エネルギー調査会需給部会中間報告（H6.6.21））

年 度 項 目	1992年度（実績）		2000年度				2010年度			
			現行施策織込ケース		新規施策追加ケース		現行施策織込ケース		新規施策追加ケース	
一次エネルギー総供給	5.41億kl		5.91億kl		5.82億kl		6.62億kl		6.35億kl	
区 分 エネルギー別	1992年度（実績）		2000年度		2000年度		2010年度		2010年度	
	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)
石 油	3.15億kl	58.2	3.16億kl	53.4	3.08億kl	52.9	3.31億kl	50.1	3.03億kl	47.7
石油（LPG輸入除く）	2.95億kl	54.5	2.93億kl	49.5	2.85億kl	48.9	3.04億kl	46.0	2.77億kl	43.6
L P G 輸 入	1,530万t	3.7	1,770万t	3.9	1,740万t	3.9	2,080万t	4.1	2,000万t	4.1
石 炭	11,630万t	16.1	13,400万t	16.6	13,000万t	16.4	14,000万t	15.3	13,400万t	15.4
天 然 ガ ス	4,070万t	10.6	5,400万t	12.8	5,300万t	12.9	6,000万t	12.7	5,800万t	12.8
原 子 力	2,230億 Wh (3,440万kW)	10.0	3,100億 Wh (4,560万kW)	12.1	3,100億 Wh (4,560万kW)	12.3	4,800億 Wh (7,050万kW)	16.2	4,800億 Wh (7,050万kW)	16.9
水 力	790億 Wh (2,100万kW)	3.8	860億 Wh (2,220万kW)	3.3	860億 Wh (2,220万kW)	3.4	1,050億 Wh (2,650万kW)	3.5	1,050億 Wh (2,650万kW)	3.7
地 熱	55万kl	0.1	100万kl	0.2	100万kl	0.2	380万kl	0.6	380万kl	0.6
新 エ ネ ル ギ ー 等	670万kl	1.2	940万kl	1.6	1,210万kl	2.0	1,150万kl	1.7	1,910万kl	3.0
合 計	5.41億kl	100.0	5.91億kl	100.0	5.82億kl	100.0	6.62億kl	100.0	6.35億kl	100.0

注) 1. 原油換算は9,250kcal/ℓに、バーレル換算は6.29バーレル/klによる。

2. 新エネルギー等の欄には、太陽エネルギー、黒液（パルプ液）、薪炭等を含む。

3. 水力の発電電力量及び設備容量は一般水力のものである。

4. LNGのトン換算は、0.712トン/klによる。

5. 石油の欄には、オイルサンド・シェール油を含む。

6. 構成比の各種の合計は、四捨五入の関係で、100にならない場合がある。

7. 経済情勢及びエネルギー情勢は、今後、流動的に推移するものと見込まれることから、本見通しにおける数値は、硬直的なものとしてではなく、幅をもって理解すべきことに留意する必要がある。

(1) 小型ごみ焼却炉（140～150 t / 日以下）
への適用拡大

焼却炉に設置する排熱回収ボイラの熱効率の向上、蒸気条件の引上げ、タービン回りのコストダウン等の改善対策の実施により、小型炉における「ごみ発電の経済性」を向上させる。

(2) ごみ固形燃料（RDF）化による集中
発電の実施

① ごみの固形燃料（RDF）化技術
「ごみ固形燃料」（RDF=Refuse Derived

Fuel）とは、クラッシャーにかけ粉碎して金属類を分離した「可燃性ゴミ」に、CaO を添加して生物学的に安定させて、輸送及び長期貯蔵が可能なペレット状に固形化・乾燥させたものをいう。

最近になり、RDF製造技術が開発実用化され、既に全国で10ヶ所程度のRDF製造施設が設置されているが、処理量は10 t / 日程度以下に止まっている。

② ごみの固形燃料（RDF）化による集中
ごみ発電の実施

表 4 新たな供給形態（二次エネルギー供給ベース）

（総合エネルギー調査会供給部会中間報告（H6.6.21））

年 度			1992	2000		2010	
				現行施策織り込みケース	新規施策追加ケース	現行施策織り込みケース	新規施策追加ケース
再生可能エネルギー	太陽光発電	万kW 万kℓ	0.04	9 1	40 4	98 10	460 45
	風力発電	万kW 万kℓ	0.1	1 0.2	2 1	11 2	15 2
	太陽熱	万kℓ	113	129	300	185	550
	温度差エネルギー	万kℓ	0.6	10	20	29	58
エネルギーイクトル型	廃棄物発電	万kW 万kℓ	23.2	140 74	200 106	200 106	400 212
	ゴミ処理廃熱等	万kℓ	3.9	5.5	7	9	14
	黒液・廃材	万kℓ	488	505	505	539	539
従来型エネルギーの新形態利用	コジェネレーション（スチームタービンを除く）	万kW 万kℓ	277 277	455 435	542 523	813 705	1,002 879
	燃料電池*	万kW 万kℓ	1 0.2	10 5.3	20 10.5	150 62.0	220 123
	メタノール、石炭液化等	万kℓ	0	0	0	21	96
	クリーンエネルギー自動車	万kℓ	0.3	3	68	31	324
	計	万kℓ	906	1,163	1,534	1,641	2,723
二次エネルギー供給に占める割合			1.5%	2.7%	3.6%	3.3%	5.8%

（注）燃料電池のうちコジェネタイプのは、コジェネの内数としても計上。ただし、合計の数値は、これら重複分を除いたもの。

現在のところ製造されたRDFは、地域の冷暖房用の熱源、食品工場等の熱源に利用されているが、この利用形態はごみ発電を単独で実施することが難しい人口15万人程度以下の市町村における「ごみ発電システム」の導入の可能性をもたらすものである。

即ち、RDFは輸送、長期間貯蔵が容易である点に着目して、中小市町村のごみ処理においてRDF化し、これらをトラック輸送して「RDFによる集中大型発電」を実施することが可能となる。このような構想は、既に三重県、静岡県、更に福島県小高町等において具体化の検討がなされている。

今後のごみの有するバイオマスエネルギーの広域的かつ多角的な高度利用を実現するシステムとして、政策的助成を含めた官民挙げた

表 5 電力各社の余剰電力購入単価
(平成5年4月から適用) (円/kWh)

会社名	廃棄物発電・燃料電池等			
	安定的な電力の場合		それ以外の場合	
	平日昼間	その他	平日昼間	その他
北海道	9.90	4.40	6.50	4.40
東北	10.00	4.40	6.30	4.40
東京	12.50	4.20	6.60	4.20
中部	10.70	4.50	5.90	4.50
北陸	9.70	4.20	6.20	4.20
関西	11.00	4.50	6.40	4.50
中国	10.30	4.50	6.10	4.50
四国	9.60	4.10	5.90	4.10
九州	10.80	4.70	6.20	4.70
沖縄	10.00	4.70	6.40	4.70

推進体制の確立が期待される。

§ 9. 21世紀の夢工場“ごみ発電”の本格的展開の時代

平成6年6月21日の総合エネルギー調査会需給部会中間報告において、ごみ発電は量が期待できる「新エネルギー等のエース」として再評価され、その開発目標は2000年度200万kW（新規施策追加ケース）、2010年度400万kW（新規施策追加ケース）に引上げられた。

この「長期エネルギー需給見通し」に示された開発量を達成するために、“ごみ発電”が用意しているエネルギー・テクノロジーの夢は、

- ① 高効率化による経済性の向上と発電量の増大（現状の10～15%から、20%、更には30%台に引上げる）
- ② 小型炉へのごみ発電の普及のため、RDF（Refuse Derived Fuel）製造による集中発電の実現
- ③ 焼却炉構造の改造により廃プラスチック類の混合焼却を可能とする
- ④ ごみ焼却灰の発生電力による電気溶融固化処理（スラグ化）により、路盤材、建築資材等へのリサイクルを可能とし、更には最終処分場を必要としない都市清掃事業を展望する

の四つの高度化対策に集約される。

21世紀の夢工場“ごみ発電”は、ごみから有用なエネルギーを取出すとともに、文明の跡仕末を引受けてくれるドリーム・テクノロジーになりつつあるのである。

研究所のうごき

(平成6年4月1日～6月30日)

◇ 第40回理事会

日 時：6月17日(金) 12:00～13:10

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

第一号議案 平成5年度事業報告書および決算報告書(案)について

第二号議案 理事の一部改選について

◇ 月例研究会

第113回月例研究会

日 時：4月22日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題：

1. ガス事業の規制緩和について
(通商産業省資源エネルギー庁公益事業部ガス保安課長 薦田康久氏)
2. 新型原子炉の研究開発動向
——「人へのやさしさ」を目指した研究開発の動向について——
(主任研究員 原田義也)

第114回月例研究会

日 時：5月27日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題：

1. 欧州における高効率発電技術海外調査報告
(主任研究員 松本一彦)
2. 欧米のガス化コンバインド発電に関する調査
(プロジェクト試験研究部部长兼副主席研究員 片山優久雄)

第115回月例研究会

日 時：6月24日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題：

1. 高度負荷集中制御システムに関する研究
(主任研究員 福井康博)
2. 電気事業審議会需給部会電力基本問題検討小委員会中間報告
——競争原理の導入による電力供給の効率化へ向けて——
(通商産業省資源エネルギー庁公益事業部開発課 計画班長 山本哲也氏)

◇ 主なできごと

- 4月1日(金)・第12回エネルギー需給に関する検討委員会開催
- 8日(金)・第2回原子力発電の国際展開に関する懇談会開催
- 11日(月)・エネルギー環境予測検討委員会準備会開催
- 21日(木)・第1回エネルギー環境予測検討委員会開催
- 5月10日(火)・第3回原子力発電の国際展開に関する懇談会開催
- 16日(月)・第2回エネルギー需給に関する検討作業会開催
- 23日(月)・第13回原子炉安全数値解析高度化委員会開催
- 24日(火)・第1回新水素エネルギー基礎研究推進委員会幹事会開催
- 6月2日(木)・第1回DSM技術検討委員会
- 8日(水)・第2回エネルギー環境予測検討委員会開催
- 13日(月)・環境改善テーマ打合せ開催
- 14日(火)・第2回発電用新型炉ブルトニウム等利用方策開発調査委員会開催
- 14日(火)・第4回原子力発電の国際展開に関する懇談会開催
- 29日(水)・第1回WE-NET全体システム概念設計—安全対策・評価技術委員会

◇ 人事異動

○4月1日付

(採用)

福田 健三 副主席研究員兼WE-NETセ

ンター準備室プロジェクトマネージャーに任命
 清水加奈子 研究員を任命
 業務部に配属（総務部兼務）
 工藤未奈 研究員を任命
 プロジェクト試験研究部に配属
 木村真由美 研究員を任命
 WE-NETセンター準備室に配属
 (昇任・異動)
 吉澤均 専務理事を委嘱
 (期間は平成8年3月31日迄)
 相馬昭典 常務理事を委嘱
 (期間は平成8年3月31日迄)
 柴田誠一 研究顧問を委嘱
 (期間は平成7年3月31日迄)
 両角良彦 研究顧問を委嘱
 (期間は平成7年3月31日迄)
 班目春樹 研究嘱託を任命
 (期間は平成7年3月31日迄)
 山口魏 総務部長を任命
 (期間は平成7年3月31日迄)
 石崎一夫 エネルギー技術情報センター長を任命
 (期間は平成7年3月31日迄)
 村野徹 プロジェクト試験研究部専門役を任命
 (期間は平成7年3月31日迄)
 和達嘉樹 プロジェクト試験研究部専門役を任命
 (期間は平成7年3月31日迄)
 プロジェクト試験研究部(兼)WE-NETセンター準備室 主管研究員 外川守人 プロジェクト試験研究部配属を解除・WE-NETセンター準備室に配属
 プロジェクト試験研究部部長補佐(兼)企画部部長補佐主任研究員 谷口武俊 企画部部長補佐の兼務を解除
 プロジェクト試験研究部 主任研究員 蛭沢重信 企画部部長補佐を任命
 プロジェクト試験研究部 主任研究員 土持綱久 WE-NETセンター準備室兼務を任命
 プロジェクト試験研究部(兼)企画部(兼)

WE-NETセンター準備室 主任研究員 森信一郎 企画部・WE-NETセンター準備室兼務を解除
 企画部・プロジェクト試験研究部 研究員 金子裕子 企画部主任の兼務を任命
 業務部 研究員 姫野睦子 業務部主任を任命
 総務部 坂口弘子 エネルギー技術情報センター兼務を任命

○4月15日付

(採用)

西川裕次 主管研究員を任命
 WE-NETセンター準備室に配属

○5月1日付

(採用)

小川紀一郎 エネルギー技術情報センター専門役兼プロジェクト試験研究部副主席研究員を任命

○5月15日付

(退任)

プロジェクト試験研究部 主管研究員 赤田卓己(出向解除)

(採用)

奈良谷孝司 主管研究員を任命
 プロジェクト試験研究部に配属

○5月16日付

(異動)

プロジェクト試験研究部研究員 田村至 WE-NETセンター準備室兼務を任命

○6月29日付

(退任)

プロジェクト試験研究部 主任研究員 植村卓司(出向解除)

(採用)

菅敏昭 主任研究員を任命
 プロジェクト試験研究部に配属

◇ 海外出張

(1) 加藤恭義副主席研究員は、原子力シミュレータ高度化及びミクロ機構論モデルによる次世代シミュレーション技術動向調査のため、4月9

日から4月28日の間、アメリカ合衆国へ出張した。

(2) 森信一郎主任研究員は、中小型炉に関する調査の一環として、4月16日から4月28日の間、アメリカ合衆国へ出張した。

(3) 藤倉明主管研究員は、FBR新技術フィージビリティ調査の一環として、4月16日から4月28日の間、アメリカ合衆国へ出張した。

(4) 谷口武俊主任研究員は、IAEA会議出席及び欧州原子力産業のアジア地域におけるプラント輸出戦略動向調査のため、4月30日から5月12日の間、イギリス、オーストリア、ドイツへ出張した。

(5) 山本寛理事長は、放射性廃棄物処分国際委員会（ICND）設立準備会議出席のため、5月16日から5月25日の間、スウェーデン、オランダへ主張した。これに村野徹専門役が5月21日まで同行するとともに、地層処分クライテリア問題の国際的検討の動向を調査した。

(6) 高橋正典主任研究員は、ミンスク常温核融合国際シンポジウム出席のため、5月20日から5月29日の間、ドイツ、ベルルーシ共和国へ出張した。

(7) 松井一秋副主席研究員と浅見直人副主席研究員は、欧州における新水素エネルギー研究機関との研究協力事項の協議のため、5月25日から6月3日の間、フランス、イタリアへ出張した。

(8) 蛭沢重信主任研究員は、高レベル廃棄物処分の評価基準に関する研究（諸外国における社会受容獲得方法の調査検討）のため、6月14日から6月18日の間、スイスへ出張した。

(9) 黒沢厚志主任研究員は、国際エネルギーワークショップ参加のため、6月20日から6月24日の間、アメリカ合衆国へ出張した。

(10) 加藤恭義副主席研究員は、流体解析マイクロ機構論国際学会出席及びシミュレーション手法の高度化動向の調査のため、6月25日から7月6日の間、アメリカ合衆国へ出張した。

編集後記

当研究所では、本年3月末に任期満了に伴う役員の改選人事があり常勤の常務理事が交替された。

そのため本号は、新しく就任した相馬常務理事の就任のご挨拶と退任した柴田前常務理事（現在顧問）の退任のご挨拶を掲載した。柴田顧問には当研究所創立以来、多大の苦勞を重ねられ今日の研究所に育てあげられた功績は大きいものがあり、所員一同心から感謝申し上げる次第である。

所外からは山本哲也氏（資源エネルギー庁）から「平成6年度電力施設計画の概要」についてご紹介いただいた。この基本計画は、電気事業者の今後10年間の電源開発等を進めるための重要な計画となるものである。

所内からの調査研究報告は5編である。

佃プロジェクト試験研究部部長（地球環境担当）には環境調和型エネルギーコミュニティ調査について、土持主任研究員には分散型電源の系統連系技術について、福井元主任研究員には高度負荷集中制御システムについて、大門副主席研究員には製油所における電・熱有効利用に関するモデル調査結果について、原田主任研究員には「人へのやさしさ」を目指した原子力の技術開発の方向性について、

それぞれ最近話題になっているテーマに関する研究報告を執筆していただいた。研究報告はいくら多くてもよいと思うので、当研究所の活動状況を知っていただくため、今後はできる限り多くの調査研究報告を掲載したい。

座談会は「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）プロジェクトの成立経緯と今後の進め方について」のテーマで、事業に携わる関係者の方々によるものである。来世紀になるであろうが、水素エネルギーを利用した燃料革命の速やかな達成を望んでやまない。

本号のエネテクトリーム21は、総合エネルギー調査会需給部会中間報告で、ごみ発電が新エネルギーのエースとして再評価されたのに伴い、ごみ発電を21世紀の夢工場とすることに強い期待を込めて論述されている。

女性研究員取材チームによる訪問記は、東京電力㈱富津エネルギーパークの見学記事である。洗練された文章表現の中からエネルギーパークの施設の実態が浮かんでくるようである。

取材チームの今後一層の活躍を期待したい。
(石崎一夫記)

季報エネルギー総合工学 第17巻第2号

平成6年7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 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社