HOF 01-074

本田財団レポートNo.74

「エネルギー技術の動向」

東京大学工学部教授　茅　　陽　一

目　　次

はじめに

1．エネルギー技術の流れ

　1）燃料の転換：脱炭素の動向……5

　2）規模の拡大……7

2．諸問題の顕在化

　1）規模の経済の限界……10

　2）地球環境問題の顕在化……13

　　―気温変動からくる制約―

3．効率化

　1）供給の効率化：変換効率の増大……15

　2）利用の効率化……18

　3）電化と電気自動車……19

4．太陽エネルギー利用

　1）太陽光発電……21

　2）直接利用……25

　　―ソーラーハウスと自然利用の住宅：都市―

講師略歴

茅　　陽　一（かや　よういち）

昭和９年５月18日生

昭和32年３月　東京大学工学部卒

37年３月　　同　　工学系大学院修了、工学博士

37年４月　東京大学工学部電気工学科講師

38年４月　　同　　助教授

53年６月　　同　　教授となり現在にいたる

この間　　米国MIT航空宇宙工学科講師

同　カリフォルニア大学研究員

スイス・バッテル研究所研究員　を併任

専　　門：システム制御工学とその社会・エネルギーシステムへの応用

著　　書：エネルギーアナリシス（電力新報社）

社会システムの方法（オーム）

エネルギー新時代（省エネルギーセンタ）　他十数冊

論　　文：米国電気学会（IEEE）電気学会など多くの学会誌・学術誌に数十篇

受 賞 等：電気学会等諸学会賞受賞７回、エネルギーフォーラム賞

外部活動：ローマクラブ会員、電気学会々長代理、エネルギー資源学会副会長

国際応用システム解析研究所（在ウィーン）理事、産業構造審議会、産業技術審議会等政府各種審議会委員

このレポートは、平成４年10月16日パレスホテルにおいて行われた第64回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

はじめに



基本的に言いますと、エネルギーというのが現在我々の社会の基盤であることは確かなのですが、これが今いろいろな問題を抱えております。

ご承知のように地球環境問題というのがその典型例ですけれども、それ以外にも問題がございまして、月並みな言い方をすればやはり、エネルギーというものも、一つの転機に差し掛かっているというのが現状だと思います。

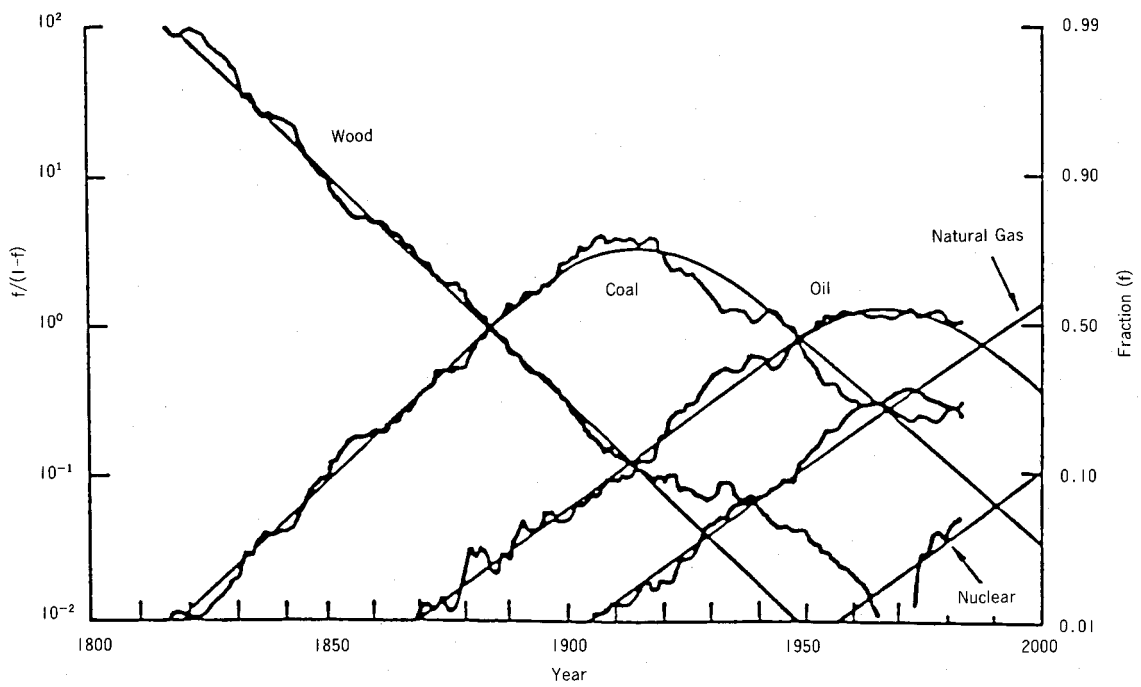
そこで、私は、どういう問題が出てきているのかというのが一つと、では、そういう問題に対して、どのようにエネルギー関係者は対応しようとしているのだろうか、ということにつきまして、少しお話しをしたいと思います。と申しましても、ここにおいでになっている方々が、必ずしもエネルギーの分野のご専門ではいらっしゃいませんので、やや表面的な話にならざるを得ない点もあるかと思いますけれども、できるだけ問題のエッセンスをお話してみたいと考えております。

1．エネルギー技術の流れ

1）燃料の転換：脱炭素の動向

エネルギーの問題について最初にまず、どのようにエネルギーというものは動いてきたのかということから始めたいと思います。

図1



これは非常に長期的な過去２世紀に亘って人間がどんなエネルギーに依存してきたかという絵でございます。縦軸は、対数で表したエネルギーのシェアでございまして、一番上を100％とお考えいただきたいのですが、昔は、ほとんど薪とか炭だったわけですね。尚、発展途上国で、いわゆる農業廃棄物などを使ってエネルギーにしているものがございまして、俗にバイオマスと呼んでおりますが、これは一応省いての話でございます。そうしますと、薪、炭という木材を使ったエネルギー源が中心だったのが、やがてエネルギーの需要が増えるに従ってそれらを大量に供給することが困難になってくるという事態が起きまして、石炭が出てきたわけですね。ディケンズの小説にも出てまいりますいろんな話というのは、この辺りから出てくるわけですが、いずれにいたしましても、石炭が出てきて、薪や炭に取って替ったという絵が、1800年代の半ば頃でございます。

そしてその頃からご承知のように石油が発見されます。石油が発見されたのは、例のD. ヤーギンの「プライズ」という小説にもありますように1850年前後の話なのですけれども、石油の使い勝手のよさということが評価されまして、見る間に石炭に追い付いていったというのが、その絵でご覧なれるかと思います。そしてそのうちに、石油に比べましてより環境的にクリーンだという、天然ガスが世の中にどんどん広がってきたのが、その次の天然ガスでございます。

これはある一定の式に乗るカーブになっておりまして、この式のことについては、ここで省きますけれども、こういったエネルギー源の交替というのは、綺麗な法則に乗ることがお分かりになるかと思います。

一番最後は原子力で、実は今から10年位前は、我々は原子力もうまくこのカーブに乗るであろうと思っていたのですが、最近の状況を見ますと、どうもこれは怪しくなりまして、これだけは話が違ってくる可能性がございます。

しかし、こういう流れを見ますと人間はやはりよりクリーンな、より使いやすいものにとエネルギーの資源を替えていったのだということがよく読み取れます。ちなみに、これを別な目でみると、もう少し面白いことが分かるのですが、それはこの中に含まれている炭素の比率です。我々は昔、天から火を取ってきて、プロメテウスがその犠牲になったということになっておりますが、要するに、炭素を燃やすことによってエネルギーを得る、という活動ですっと来たわけですね。

例えば天然ガス、これは主としてメタンですが、メタンの炭素と水素の比率は１対４です。それに比べまして薪炭、普通バイオマスといわれるものは、大体１対１でございまして、その意味でいいますと、除々に炭素以外のものに依存するという状況が出てきております。そして原子力に至って、とうとう炭素の呪縛から解き離される、というはずだったのですが、これがご承知のようにいろいろ問題点がございまして、必ずしもそこまでまだ行ききれていないというのが現状でございます。

こういうエネルギー源の推移ということを申しました理由は、地球環境問題というのは、実はこういう流れの問題と非常に絡んでいるからでございます。

2）規模の拡大

これは、今、我々が現実に困っている問題というのは、どういうふうに分けられるだろうかというのを絵にして描いてあります。

枠で囲ったところが、いわばエネルギーの我々が問題だと思っている点でございまして、一つが石油供給の不安定性という問題です。これは、石油といわずエネルギー供給全体というべきなのですけれども、先頃の湾岸戦争、その前のオイル・ショックでよくお分かりかと思います。

例の、石油の一滴は血の一滴という有名な言葉は、なにも最近出た話ではございませんで、第一次世界大戦で出た言葉でありますから、この問題は古くて新しい問題なのですけれども、状況としては依然として今でも続いているということが言えるかと思います。

今日は、そういう問題は昔からあるということを指摘するだけに止めたいと思いますが、その次に出てきた問題が、最近特にここ20年で顕在化してきた問題かと思います。

次に描いてございますのが地球温暖化制約、いわゆる、地球環境の問題でございますが、これは後ほどもうちょっと触れたいと思います。この中で比較的皆様にとって、なじみがないのは一番左の下の内部的変化と書いた所ですが、規模の経済の減退という問題です。これはエネルギーの関係者にとっては大変大きな問題なのですが、どういうことかと申しますと、今までエネルギーというものがこれだけ大量に使われた背景には、規模の経済というのがあるわけですね。

図２　長期的にみたエネルギー分野の課題

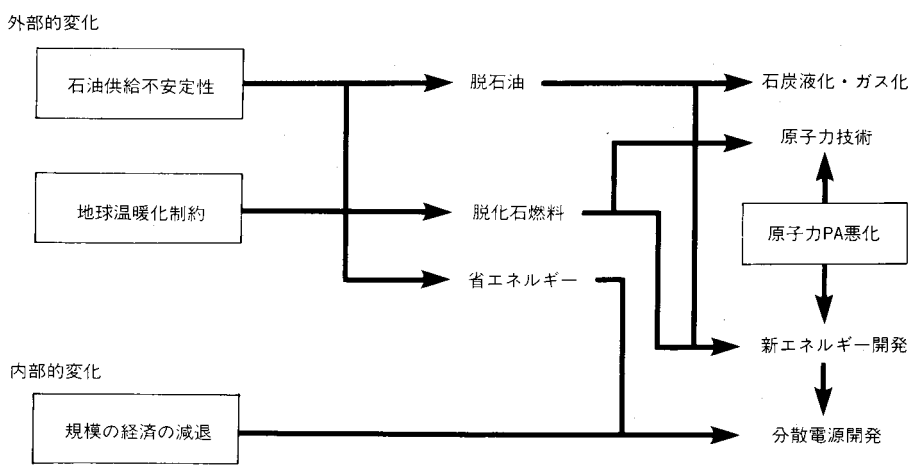
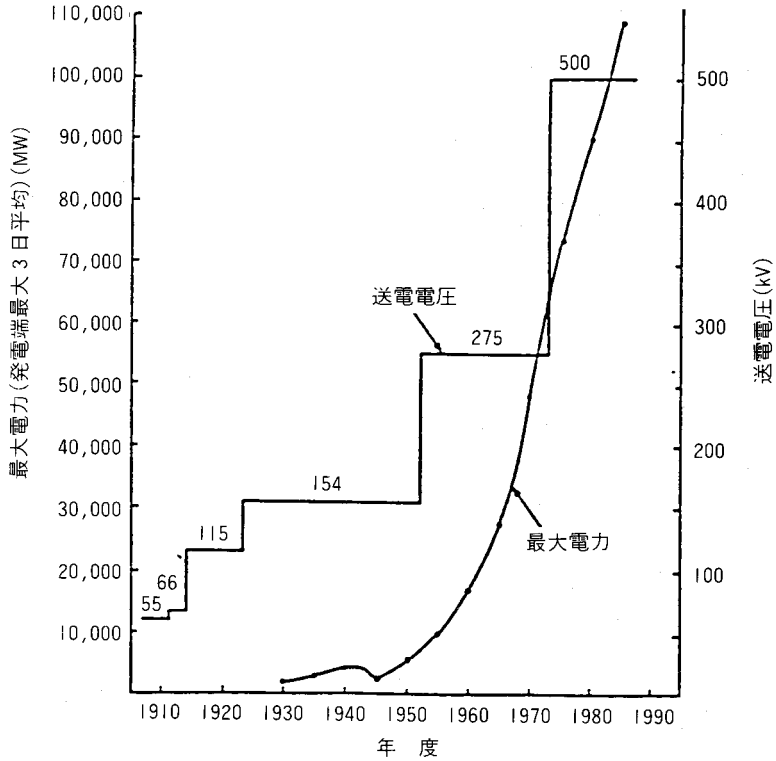


図３　　わが国における高電圧系統導入状況



もともと、近代の文明は規模の経済というものにかなり頼って生きてきたと思います。ここに出ておりますのは、日本の場合の電力の送電電圧と電圧の最大規模が書いてございます。1910年からそれがどんどん上っていっているのがよく分かります。実は、私、電気工学科の人間でございますのでどうしても電気の例が多くなりますけれども送電電圧一つ見ましても、1910年時代は55,000ボルト位だったのが、現在では最大電圧は50万ボルトになっておりますし、現在造っております柏崎の原子力発電所から東京へ送るラインというのは、100万ボルトの設計でございます。従いまして、電圧というのはほぼ20倍位になっているわけですね。

これは、工学をちょっとでもかじった方はよくご存知のことですが、送電電圧が大体倍になりますと送れる電力は、同じ条件の許ではほぼ４倍になるとみてよろしいわけでして、そういう面からしますと、電圧が上がるということは全体の規模が大きくなるということを典型的に表しております。ところでこういう増加は、単に沢山送りたいためにやったのだと言うわけにはいかないのです。と申しますのは、電圧が低くても何本も線を引っ張れば、同じ電力が送れるではないか、ということになるからです。このように一つ一つの規模が大きくなった理由は、ご承知の規模の経済でございます。

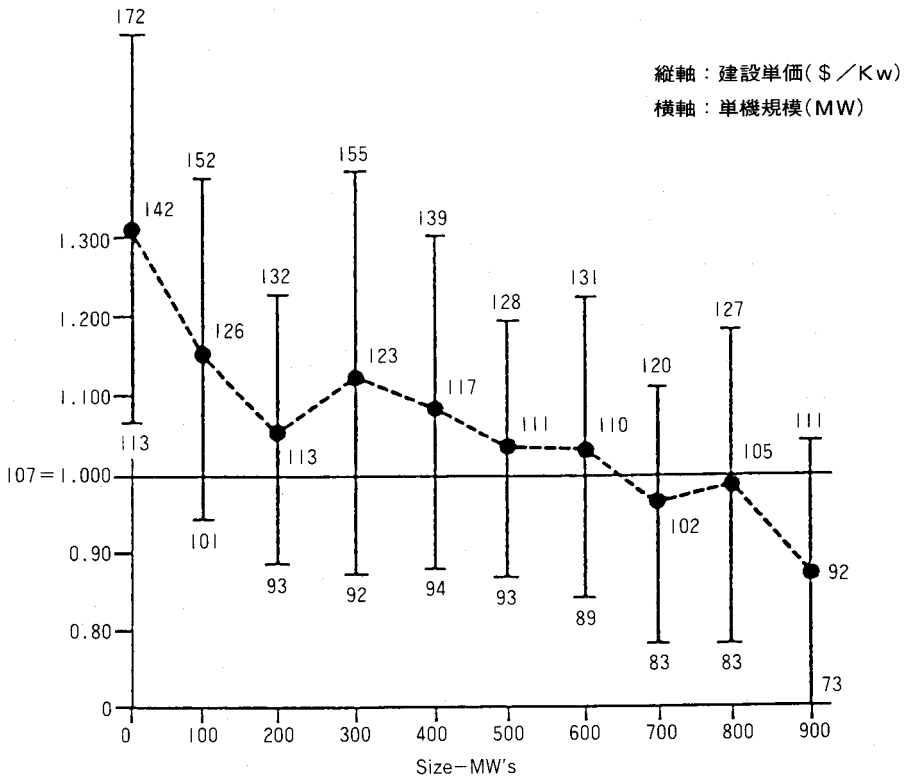
私も30数年前、大学で工学というものを教わりましたが、最初に設計論というのを習います。その時に、まず機械のサイズとコストの話を聞かされました。つまり、規模が倍になった場合にコストも倍なのではない、大体全体のトータルコストというのはサイズの0.6乗から0.8乗位に比例するのだと、だから倍にしたら

ですね、単価は１割から２割下がるものである、というふうに習ったのですね。だから我々は大きい機械を造るのだということを聞いたのです。

今はたまたま電力でございますけれども、製鉄の場合の普通の高炉にしても、現在の高炉というのは、昔に比べると極めて大きなサイズになっておりまして、一本の高炉で年間フルに運転すれば１千万トンに近い鉄が造れる、といった状況になっております。これは今言ったような規模の経済のたまものでございまして、これがあるから我々は需要が増えると大きな規模にする。そうすると単価が安くなるからまた需要が延びる。そうするとまた生産を増やせばいい、ということで、どんどん、どんどん規模が拡大してきたわけです。

これが、我々の文明が発展する一つの原動力だったと私は思いますし、大体そういう評価をされてきたわけですが、これがどうやらちょっと怪しくなってきたというのが現状でございます。

図４　原子力発電の規模別建設単価



All Units – Normalized for Time-Parameter of Regional Differences
Using 2 Year IAGGEO GNP Deflator
$/Kw Versus Size ± 1 Standard Deviation

これはアメリカの原子力発電所の例です。アメリカで1970年代には、かなり沢山の原子力発電所が運転開始されました。その発電所にはいろんな種類がありまして、大体、単機の規模が10万キロワット位から90万キロワット位、ちなみに日本の現在柏崎の多くの発電機というのは、117万でございますが大体そのサイズが一番大きいと思っていただいていいと思います。それに対して、アメリカの原

子力発電所は1970年代に非常にいろんなものが出来まして、それの単価を全部グラフにしてみますとこの絵のようになります。

横軸は、単機の規模の大きさで一番右側が90万キロ、0というのは10万キロ以下という意味です。縦軸は、それの単価、単位キロワット当たりいくらでできるかという建設費ですね、これは当然一つ一つで幅がでてきますが、それが縦の線で書いてございますけれども、点線はその中央値をつないだもので大体見事に右下がりになっている。つまり、大きい規模程安くなっているのですね。どの位かというのを先ほどコストと規模との関係で当てはめてみると大体0.65乗位になります。つまり、我々が大学で習った0.6乗から0.8乗という話は、ちゃんとここでも証明されているということになります。

ところがそこまではいいのですが、この成り立っているという話はそれぞれの機械を造る場合の話で、実際にこれを世の中へ導入して使うという段階になった時、これだけの規模のメリットがはっきりされないという問題が出てきてしまったのです。

2．諸問題の顕在化

1）規模の経済の限界

図5

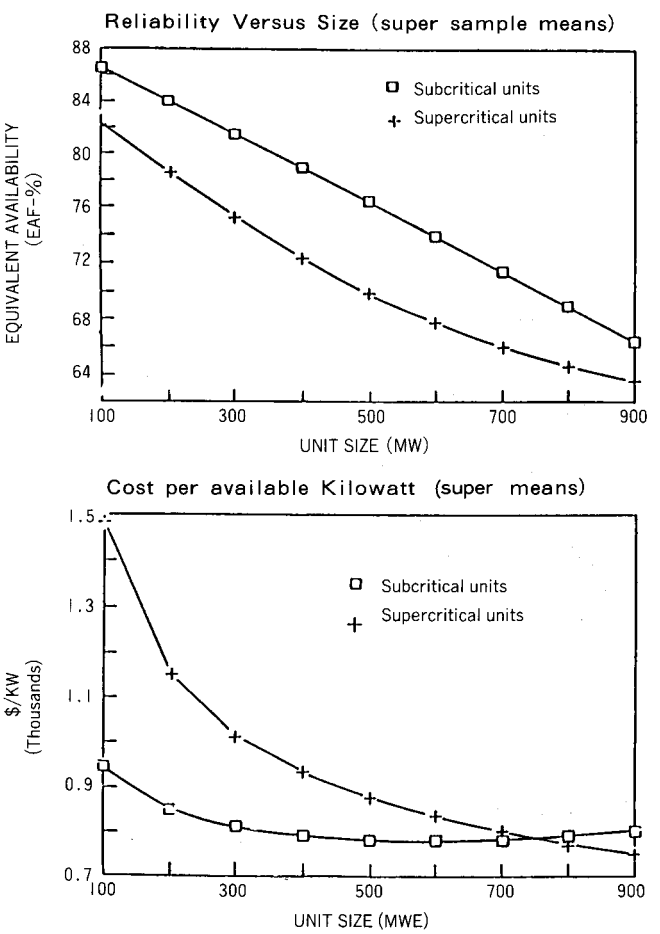


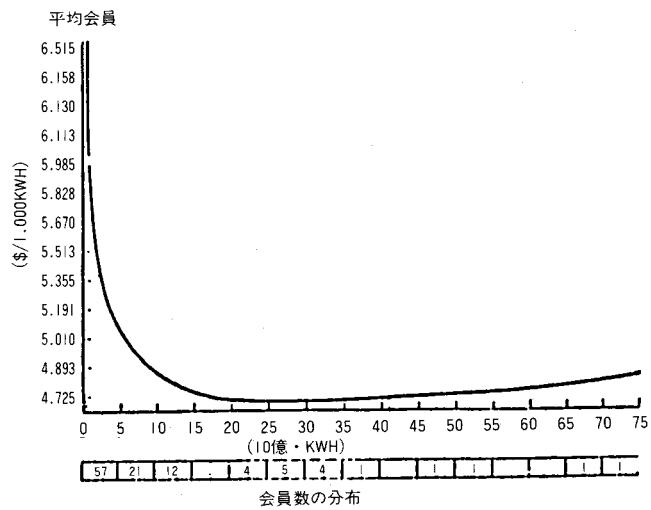
図５にあるのは石炭火力の話ですが、原子力でも基本的には同じです。これはなにが出ているかというと、同じアメリカで、横軸に今言った規模をとりまして、縦軸に今度はどの位本当に動いているかという、稼働率を出したものです。つまり、一年間の中で保守点検に使う時間がありますので、それを抜くと例えば、十ケ月あるとするとその十ケ月のうち何パーセント本当に動けるかと、そういった意味での稼働率です。

日本は、世界の中では非常に成績はいいのですが、アメリカの石炭火力の二つのタイプについて調べたもので、見事に右下がりになっておりますね。これはまた非常にひどい数字でして、私も本当なのかと思った位なのですけれども、一番大きな90万キロサイズになりますと、大体65～6%、つまり、1／3の期間動いていないということになるわけです。つまり、大きいもの程動かしにくいという結果が出てきたのですね。折角安い値段で造っても動かなければ意味はないわけです。

なぜこうなってしまったのかということなのですが、これについてはいろんな説明がなされておりますけれども、一番誰にでもなるほどと思われる理由は、大きい機械ですとなにか、いっぺん故障が起きますと故障を見つけるまでにどうしても時間がかかってしまう。それから、故障が分かって直すまでにも、周辺のものをいろいろ取り除きますので、そこにも時間がかかるということで、大きいものは使いにくいといったことになるわけですね。

こうなりますと大きい方がいいのだという話がちょっと怪しくなってきます。

図６　　アメリカにおける平均費用曲線（1970年）



（資料）Christenecn-Greene（1970年）

それともう一つ同じような話。

この絵はちょっと見にくいので申し訳ないのですが、アメリカの電力会社の電力の生産コストで、横軸が電力会社の規模です。

日本の電力会社というのは、９つ、電源開発を入れても10といった数なのですが、これは全部地域独占ができておりまして規模が大きいのですね。ところがアメリカの場合は、電力会社というのは大小様々、経営形態も様々でして、3000位あるわけです。ですから、一つの村だけの電力会社というのもあります。こういうものが混在しているのですが、そこでそれぞれの発電の電力会社について、一体どの位の値段で電力ができるかというのをとってみて、カーブにしたもので、もちろん、ばらつきがありますが、それをある程度平均化して作った絵がこれです。確かに余り小さいと当然ですがこれは高くなります。ところが、真ん中にへこんだ所がございますね。その辺を越しますと、今度は大きいほうがだんだん悪くなってまいります。そこはどこかというと、実は下の方に数字が書いてありますが、どの位電力会社が入っているかという数字です。

少数ですが規模の大きい現在のアメリカの電力会社、例えば、ロスアンジェルス一帯を支配している「サザン・カリフォルニア・エジソン」という会社とか、「ニューヨーク・エジソン」或いは、サンフランシスコ一帯を支配している「パシフィック・ガス・アンド・エレクトロニック」といった会社は右側になっている。その辺は大体大きい程高い電力コストになるという結果になっているのです。

もちろん、それぞれ電力会社の中の発電所構成が違いますので、そういうものは全部ある程度ならしての話です。これは、ある程度以上電力会社の規模が大きくなりますと、俗にオーバーヘッドが増えてまいりまして、どうしてもコストが上がってくる。日本でいいますと、必ずしもこういう結果はすぐに出てこないのですが、大きくなるとどうしてもオーバーヘッドが増えるということは、次のことでも言えるわけです。

例えば、東京や大阪、或いは九州でも電力の需要というのは毎年伸びているわけです。今年はたまたま不況なのでそう言えません。けれども、一般的には伸びますので、どうしても送電線を造り、発電所を造って電力の供給を増やさなければならない。その場合にですね、送電線をどの位造らなければならないか、そのトータルコストを需要の増分で割りますと、需要一単位の増加を賄うのにどの位の送電線投資がいるかという数字が出るわけです。この数字がありますと、これまたものの見事に東京電力、関西電力といった大きいものの順に悪いのですね。つまり、東京電力の場合には例えば、四国電力に比べると需要か増えた時に対応する送電能力の増強には、多額のお金を使わざるを得ないということになっているわけです。これは皆さんお分かりのように発電所を遠くに造らなければならないからですけれどこういった要因で、規模が大きくなって損なものもあるということなのですね。

今の説明で、お分かりになったかと思いますれども、大きいからいいという話

は造る時の話で、使う時では逆にマイナスに出る可能性がある。それが最近は、多方面で随分顕在化してまいりまして、そうなると今までのように、ただ単に大きいものを造って配ればいいという従来の工業の体質は、もうそろそろ限界じゃないかという声が強くなってきたわけです。これは、エネルギーをやっている人間にとっては非常に大きな問題です。つまり今までのような体制、例えば大きな製油所を造る、或いは、大きな発電所を造る。そして需要への供給に対応するといった今までの姿勢がどうも経済的に合わない、となると一体どうしたらいいんだということになるわけです。で、これはですから一つの大きな問題提起ということで、この20年来出てきている問題です。

もう一つの問題は、ご承知の地域環境問題でございまして、これはこの間、本田財団の方から送られてきた資料を拝見いたしましたら、確か一、二回前のお話がそういった温暖化の問題にも触れておられるようなので、私はここでは特に細かく申し上げるのは避けたいと思いますけれども、要するに、この炭酸ガスの濃度の上昇で象徴されるように、この地球環境の悪化の可能性というものは、非常に注目されるようになってきたわけです。

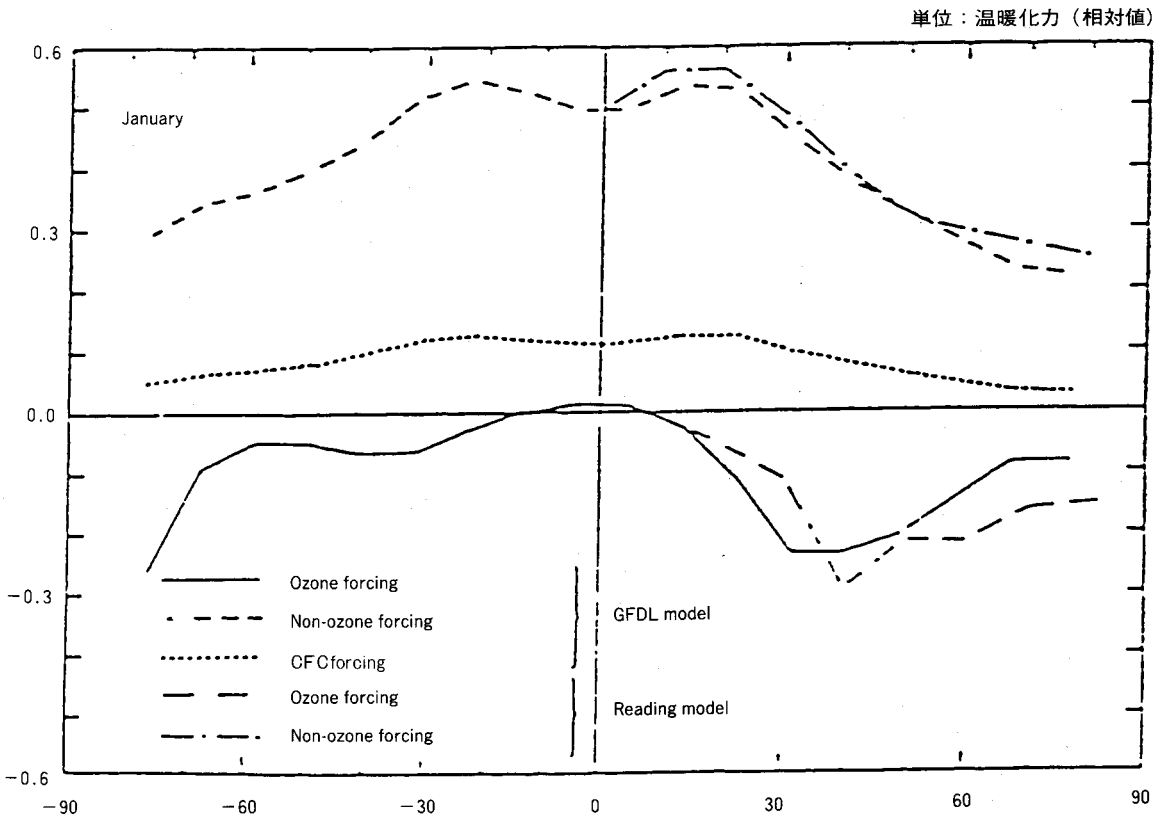
いろんな不確定性はございますけれども、やはり、こういった温暖化を引き起こすような要因が確実に増えているということからしますと、我々はどうしても将来なんらかの意味での気候変動というものを予想しないわけにはいかない。そうすると手を打てということになるわけです。その主要な原因というのはどうもやはり化石燃料を使ったことから出てくる炭酸ガスになってしまう。ここでいろんな話がございまして、例えば、温室効果ガスというのは他にいっぱいあるじゃないか、と。炭酸ガスの貢献というのはその中で50%ちょっとに過ぎないとかですね、そういった話はお聞きになったことがあるかと思います。

これはある計算からすればそうなのですけれども、しかしまだ、はっきりしない面がいろいろございまして、やはり状況が非常にはっきり見えているのは、炭酸ガスなのです。このはっきりしない面の一つのよい例をちょっとお見せします。

2） 地球環境問題の顕在化：気候変動からくる制約

皆さんはフロンの話を大分聞かれたと思いますけれどもフロンが単にオゾン層を破壊し、それによって紫外線を増やし、人間の皮膚ガンを増やす恐れがあるというだけではなく、フロンガス自身が温室効果を持っているために、温暖化を促進するという話があるわけですね。事実いろな計算をしてみますと、フロンの温室効果の量というのは、炭酸ガスに比べて無視できる量ではなく、大体1／3位だというのがよく出てくる数字です。ですから、このフロンを抑えるということは、単にオゾン層の問題だけでなく、温暖化に対しても大変重要なんだというのが、今までずーっと言われてきたことなのですが、この絵は、そういった議論に対して、かなり今までと違った見方を与える例です。

図７　各種温暖化ガスの過去10年における温暖化効果



これは今年の２月の末の「サイエンス」という、丁度イギリスの「ネイチャー」と同じように科学的な諸問題の速報を載せるので知られている週刊の雑誌がありますが、それから持ってきたものです。そのようなガスが、一体どの程度温暖化を引き起こす可能性があるかというのを、「radiative forcing」と呼びますが、その温暖化を引き起こす力（熱源のようなもの）がどうなっているかというのを描いた絵です。横軸は緯度でして、一番右が北極、こちらが南極です。フロンの影響を計算したもので、大体、極の方になると少し少なくなって、赤道地域でかなり大きい。なるほど温暖化の可能性をこういったものが持っているということは、この計算にも表れているのですが、申し上げたいのはこの話ではなく、それによって別なことが出てきたということですね。

それは、オゾン層が減少するという話ですが、オゾン層の減少は、最近計測でも随分引っかかっています。それはご承知の南極のオゾンホールの観測だけでなく、現在全地球的にいろいろな計測が行われておりまして下から測ったり、或いは、衛星から測ったりやっていますが、その結果としてこの論文が言っておりますのは、オゾン層変化による温暖化力というのは、こうなるという絵です。違ったモデルで２つ答を出していますが、これはマイナスに出るわけですね。つまり、寒冷化の方向に出るわけです。赤道近くは別ですが、他の所ではむしろフロンの温暖化力を凌駕している。もしフロンの増加がオゾン層の減少の大部分の原因だと仮定すると、そしてこの絵をこのまま素直に信じたら、フロンというのは地球

上の大部分の地域で、むしろ寒冷化を引き起こす可能性があるということになってしまうのです。

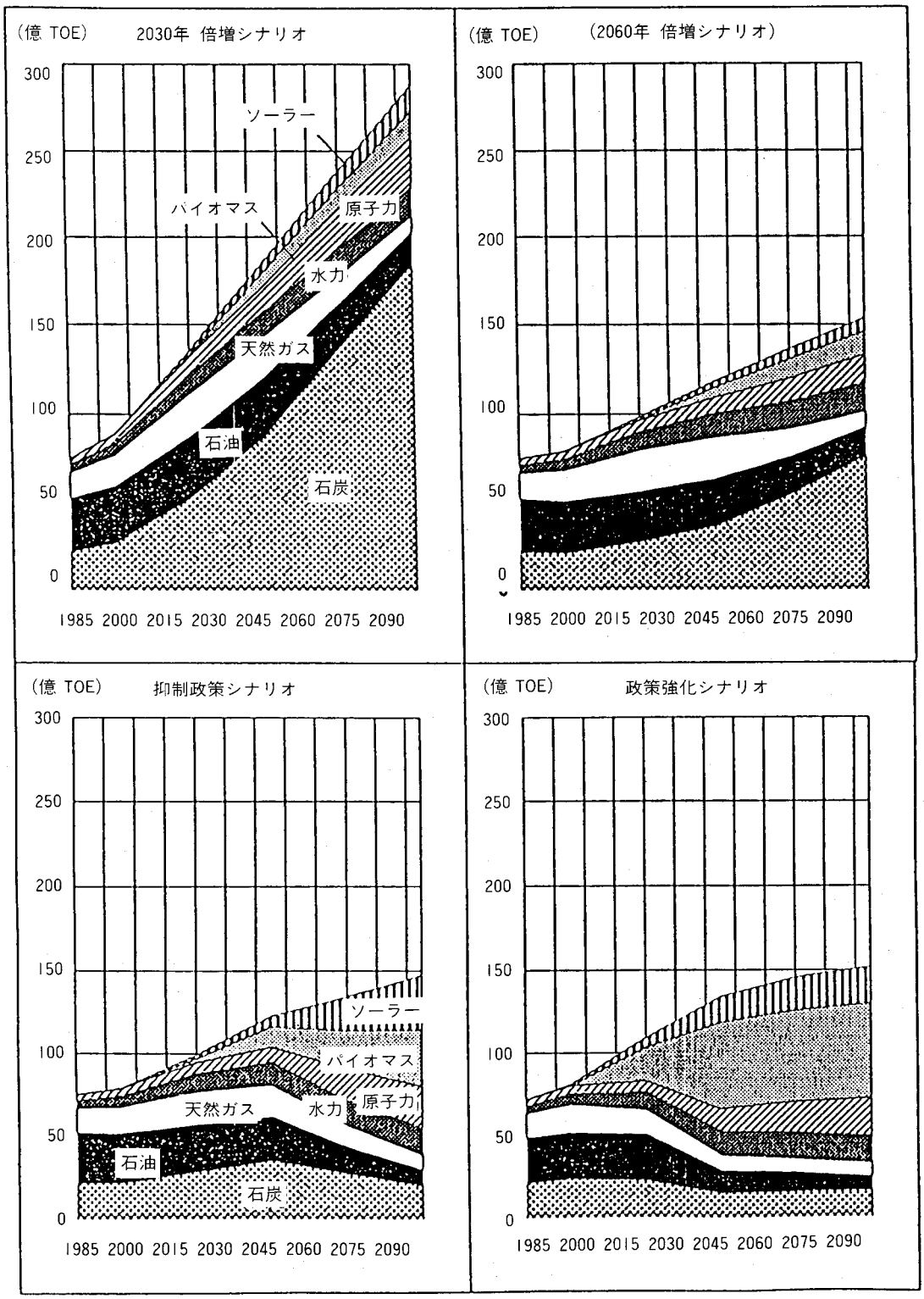
今の段階ではそこまで断言することは出来ません。出来ないのですけれども、少なくともフロンが単に温暖化を自分だけで引き起こすのではなく、間接効果を持つということだけは言えます。これは、雑誌に載っていたものを持ってきたのですが、その雑誌の論文でいわれているだけではなく、ＩＰＣＣと申しまして、国際的な政府間パネルでの科学報告でも一応アプルーブされた内容です。ですから、その意味ではまんざら嘘ではないということになります。これが一つの例ですが、このようにやはり我々が知っている科学的知識というものは、まだ結構怪しげであるということで、これはフロンなのですけれど、メタン或いは、ましてその他の温室効果ガスについてはソースもはっきりしませんし、それについて、余り分かったように言うのは危険だということが分かります。

そうなるとですね、取りあえず発生源がよく分かっている炭酸ガス。これをなんとかしなければいけないという話になるのですが、そうするとやはりターゲットは化石燃料、つまりエネルギーに向けられているということになります。元々、我々がお金を出して買っているエネルギーの９割が化石燃料ですから、それを制限するということになると、これはまあえらい話ということになるわけですね。

この話は、もともとそんなに新しい話ではなく、そういった可能性については19世紀から言われております。ただ現実にどうにかしなければいけないという議論が出てきたのがここ数年の話でして、これについては今、世界的に大変な議論が、たたかわされていることはご承知のとおりです。そこで先ほどお見せしました絵で、原子力の問題も触れておりますが、これはアクセプタンスの問題で後でちょっとだけ触れさせていただきます。

そんなことでこういう二つの大きな制約が出てきますと、これはどうも単に今だけ出てきた問題だとは言えません。規模の問題にいたしましても、我々の文明が拡大してきたことの、いわば一つの限界を表すものだという言い方ができますし、地球環境、特に温暖化の制約にしても、やはり地球の容量と我々のエネルギーの消費の増大とがぶつかる問題だというように考えざるを得ないわけです。となると、やはりこれも転機というふうに見ざるを得ないと思います。ですから、エネルギーをやっている人間にとってみれば、この二つの大きな制約条件というのは一時的な制約ではなく、我々のエネルギー技術というものを変えるための基本的な動機である。我々はこの二つの制約に対応すべく我々のコースを変えなければいけないという問題になってくるわけです。すると、ではどんなことができるだろうかということになります。

図８　　IPCCによる将来の１次エネルギー供給シナリオ



３．効率化

１）供給の効率化：変換効率の増大

一つのシナリオというのがここに出ております。格好だけ見ていただければいいのですが、何が書いてあるかと申しますと、これはアメリカの環境保全庁、

EPAが元々作りまして、先ほど申し上げましたIPCCが採択した絵ですが、今後2100年迄、どのようにエネルギー源が変わっていくだろうか、それをどんなふうにするのが望ましいだろうかという絵です。

左の一番上は、このまま放っておけばという絵で、見るとどんどん増えていますけれども、これは当たり前でですね、今までエネルギーの需要というのは、世界全体で言いますと、ここ100年平均は２％位ですが増えてきたわけです。ですから、発展途上国の発展を考えると今後も増えざるを得ない。そして、その内の下の方にあるのは、石炭です。化石燃料はですね、そんなに沢山ないはずだと皆さんは考えていらっしゃると思いますが、石油、天然ガスについては正確には分かりませんが多分そうだろうと思います。ところが石炭というのは、いろいろな計算をやってみますと、現在の石油の値段、バレル20ドル位ですが、その位の範囲でお金をかければ採掘できる量というのは実は結構多いのです。

例えば、炭酸ガスの大気中の濃度は、現在350ppm、100万分の350，0.03％ですが、こういった化石燃料も今全部これを燃やしたとすると一体どの位大気中の炭酸ガス濃度が増えるだろうか。そうすると、我々が今知っております大体究極この位あるはずだと言われている石油と天然ガスですね、これを全部燃やしても意外に大したことないのです。多分、100ppm位しか増えないと思います。そうすると450～60ppm位ですから、温暖化が大変だと言ってもまあ大したことないかという見方もできるのですが、石炭まで入れますとその値は俄然上がりまして、1000何ppmという値になってしまいます。

ところが、そうなると大気中の炭酸ガス濃度は1000ppmを越えるというかつて恐竜の住んでいた時代のような濃度になってしまいますからこれは困ってしまう。だから何とかしなければいけないということになります。そこで、対応のシナリオですが、細かいことは省きましてポイントはまず、そのエネルギーの効率をできるだけ上げて何とか半分位に抑える。それから、石炭を使うのはできるだけ減らして、太陽の光であるとかバイオマスといった非化石燃料を使う、ということになるわけです。

一方、先ほどの規模の経済の問題というのがございます。そうすると、今までのように大きいものを更に大きくするのは、どうも損だということになりますと、考え方としては、小回りのきくものをもっと使えという話になる。では小回りがきくものとは一体何だろうということになりますと、小さくても余りコストは高くならなくて使い易いものということになります。しかも、この世にマッチするものとなりますと、これは燃料電池、或いはガスタービンといった、いわば都会の中にも置けるようなタイプのものになってくるわけですね。

つまり、こういったある程度効率が高くてしかも排熱が都会の中で使えるというものを持ってくれば、環境的にもそしてスケールのメリットの問題に対しても対抗できるということになるわけです。ですから、こういう絵の中にそういうものを組み合わせて考えていこうというのが、現在のエネルギー技術の一つの方向

になっているのですが。

さて、そういう目で見た時に、一体どんなものがキーになるだろうかということです。多少ポイントになるものだけを申し上げてみると、一つはエネルギーの効率を上げるという話です。化石燃料が9割使われているというのは、やはりそれだけの理由があるわけでして、要するに安くて、簡単に使える。だから簡単に他のエネルギー源に変えられないとすれば、まずはやりたいのは効率を上げるということじゃないかということになります。その効率を上げるという話には二つありまして、一つは造る方で効率を上げるというやり方、もう一つは、使う方でうまく使うというやり方の二通りありまして、現在両方やっているわけですね。

2）利用の効率化

供給側で一番問題になりますのは何と言っても電力を造る所ですね。日本の場合電力の比率は、全体のエネルギーの中で40%位ですが、世界のどの国でも電力の比率というのは上がる一方です。

まあ私は電気屋なので喜ぶべきことなのかも知れませんけれども、世の中は余計電気を使おうという方向へどうしても行っている。ところがその場合は化石燃料を使って電力を造るとなると、化石燃料を燃やしてその熱エネルギーから機械エネルギーに変換して、その機械エネルギーを電気に直すということになるわけです。機械から電気へのエネルギー変換というのは、効率は非常に高いのでこれは問題はないのですが、熱エネルギーから機械エネルギーに変えるのは、ご承知の熱力学の法則に従うわけで途端に効率が悪くなってしまう。現在一番効率が高い国というのは日本で、これが大体38%台、アメリカになると35%を切るというような状況です。

そこでこれを何とかしようということになるとやり方は最終に燃やす温度を高くすることが、一番考えられる方法です。そのためにいろんなやり方が出ておりまして、例えば、コンバインドサイクルと称しまして、最初は燃焼したガスでそのままガスタービンを回して、出てきた排ガスがまだ温度が高いですから、今度はそれで水蒸気を作って普通の蒸気タービンを回す。こうすると高い温度から順番に使えますから効率がかなり高くなる。

といったものを使うとか、いろんな方法を考えているわけです。例えば、千葉にあります東京電力の発電所が、これを採用しておりまして、これが日本で一番大きいのです。こういった技術がいろんな所で表れている。只、残念ながら、これはちょっと値段が高い。しかしエネルギー効率が高いので、こういうものを伸ばそうというのが、いろいろ出ております。

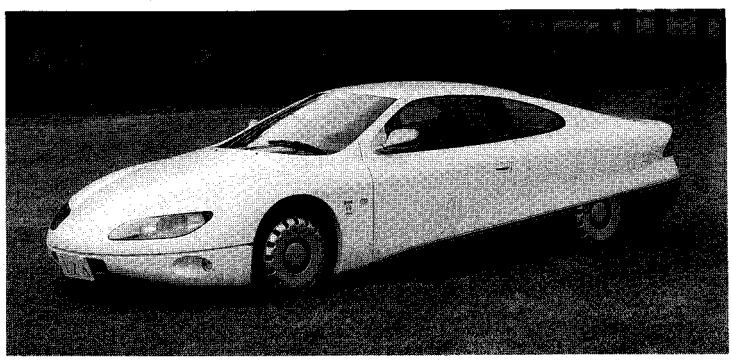
こういった技術が色々ありますが、実は私自身、より大事だと思っているのは、使う側でうまく使うということなんですね。そういった面で見ますと、実際のエネルギー技術の中では、そういうことは今まで余りやっていなかったのです。と

いうのは、電力とか石油もそうですけれども、エネルギーを供給する産業というのは、使うということに関してはお客様が決めるものという考え方でして、この中にも電力会社の方がおいでになるかも知れませんが、電力会社では、需要家の方々を必ずお客様と呼べと言っているようですね。私はどうも抵抗があってなかなか言えないのですけれど、やはりお客様は神様という姿勢がありまして、需要というのは与えられるもの、それに対して供給側は合わせて供給するものという思想が、かつてあったわけです。お客様は神様ですから、どんな無理難題を言ってもそれに従うという姿勢が以前にはあった。ところがお客様というのは大変わがまま勝手でして、使い方が悪い場合が沢山あるわけです。

それを直さないと本質的な問題解決はない。ということが、これも20年位前から色々な所で言われるようになりまして、それが最近は一般化してきたわけです。そのために、電力の産業もそうしたエネルギー供給産業側も、それからいろんなメーカーも、そういう問題に手を触れるようになったのですが、細かいことは省きまして、需要側での対応の一つの面白い例があります。

3）電化と電気自動車

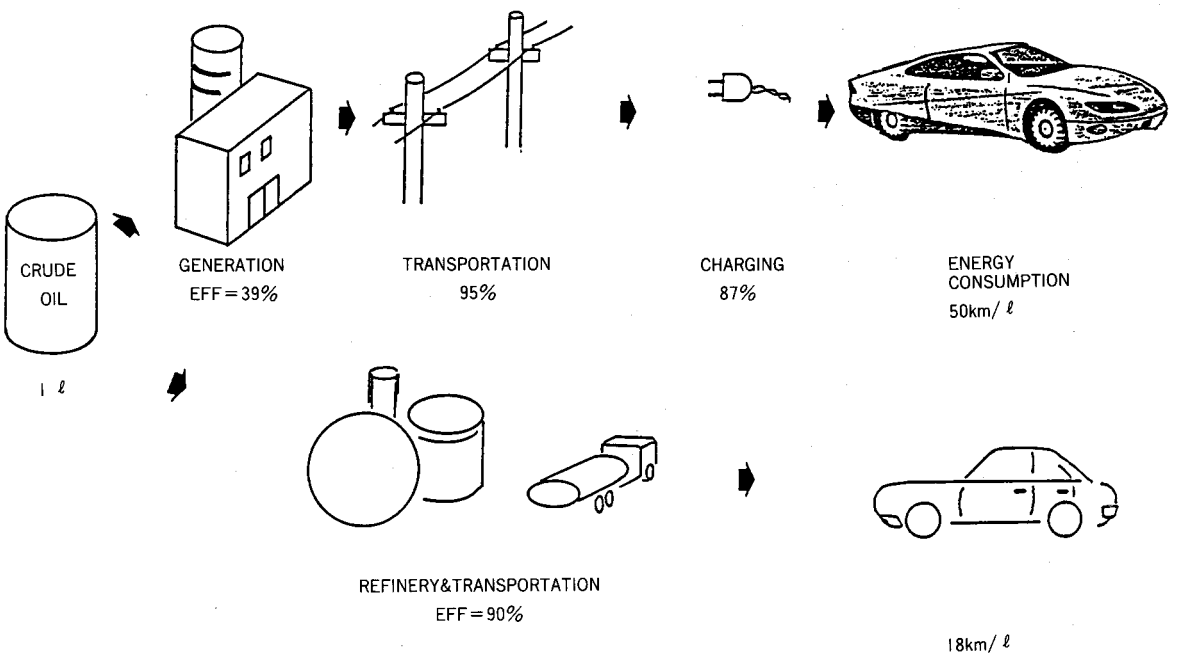
図9　電気自動車



私は、これは面白いと思っているのですけれども、これは実は電気自動車です。自動車は、ここの本田財団は元々車なのでそのことはよくお分かりになっているかと思いますけれども、電気自動車というのは、19世紀ではむしろガソリンを使う車よりも、性能が高いと思われていたわけで、それがガソリン車というものが世の中を支配するようになって忘れ去られたのですが、今再びこの問題が大きく世間で言われるようになって参りました。

その理由は、ご承知のように都市公害の問題というのが中心で、例えばアメリカのカリフォルニアではゼロ・エミッション・ビークル、つまり何にも公害を出さない車として電気自動車が非常に注目されているわけですが、実は細かく考えると都市の公害にいいということだけではなく、どうもエネルギーの効率という面でも良くなる可能性があると考えられます。

図10



ENERGY CONSUMPTION RATE OF IZA & 1800cc ICE CAR (60km/h)

何故かと申しますと、ガソリン車の場合、内燃機関ですが燃焼効率その他を考えましても、今の段階では10数パーセント以上の効率というのは簡単に期待できない。ところが電気の場合ですと、いったん造った電気から機械動力に変換するまではこれはモーターですから、非常に効率が高くできる。実は変換機その他を入れましても、80%後半位の値は何とか出せるんですね。

この図は、たまたま我々のグループがやったものですけれども、電気自動車というのは私はもう少し見直した方が良くはないかと思います。バッテリーにいたしましても、モーターの材料、それからコントロール系のいわゆるパワー・エレクトロニクス、現在こういうものは非常に進歩していますから昔に比べてかなり、性能の高い電気自動車が造れるはずだと思います。今は値段は高いですけれども、とにかくコストというものは、二の次にして技術的にどこまでやれるかやってみる方がいいのではないか、ということを考えまして東京電力に協力をお願いして造ったのです。それが先ほどの「イザ」という車ですが、これは昨年のモーターショウに出品をいたしまして、最高時速176キロ、0～400M加速が18秒という、普通のガソリン車並み、或いはそれ以上の性能をだしまして、これでトータルの燃費を計算してみたのがこの絵です。

下が従来の車で、これは大体60キロ走行で考えた数字だと思いますが、ガソリン車（1,800CC）で18キロ／リットル位。「イザ」の例では、50キロ位いくんですね。もちろん、これは60キロ走行の時なので、他のモードの時には少し値は違って参りますけれども、少なくともうまく造れば、電気自動車でかなり高いことが可能であるという一つの証拠にはなったわけです。

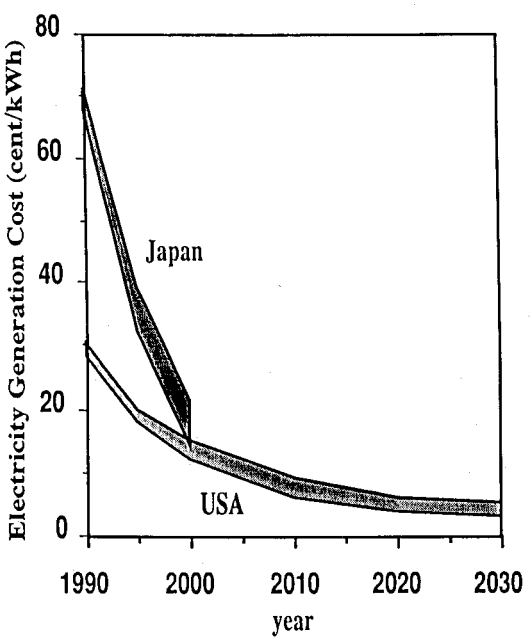
最近この「イザ」にやっとナンバーも取れまして、路上を走れるようになりま

した。そのうち、マラソンにですね、くっついていって少しＰＲをしたいと思っておりますけれども、これは一つのエグザンプルでございます。今後こういった新しい需要のタイプで特に効率の高いタイプを生み出していくことが、私は一つの大きなポイントではないかと思っております。

４．太陽エネルギーの利用

１）太陽光発電

図11　The projected trends of PV cost



それからもう一つ、供給面での努力という問題はどうかということを申し上げます。

誰でも必ずおっしゃるのは、太陽の光を使えという話です。太陽エネルギーを使えば、確かにこれは化石燃料ではございませんし、どこにでもありますのでこんなにいいものはない。これは間違いない話なのですが、本当に太陽でうまくいくだろうかというのがポイントです。現在非常に様々な検討がされておりますが、ここに出ているのは太陽電池の値段が一体将来どの位まで下がるだろうかという予想というか、努力目標というかそういった絵です。

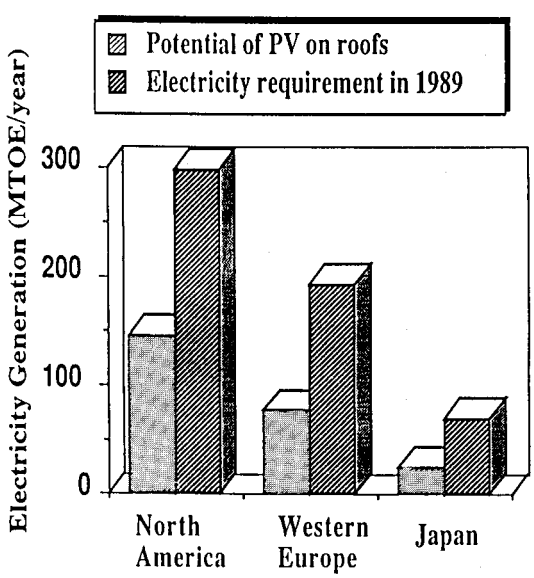
これは日本とアメリカとが出ております。アメリカの方が下に行っているのは、これはアメリカで考えている交付の場所が、日本に比べて雨の少ない日照の大きい地域をとっているからですが、縦軸は、キロワットアワー当たりいくらというのがセントで出ております。例えば、アメリカの最終の所は大体５セント、大体６円で、日本の今の電力の普通の家庭の値段が20数円ですので、まあこれなら十分やっていけるじゃないかという話になりますが、ただ、そう簡単に問屋が卸すだろうかという問題があります。

これはあくまでもまず今、将来どの位にしたいか、或いはなるだろうかという数値で、現時点の話ではありません。それだけ太陽電池が安くなるためには実は量産しなければいけない。ところが、量産するためには需要がなくてはならない。そうすると、今、需要がないわけですから、一体この需要と供給という鶏と卵の関係に、誰が先鞭をつけるかということになるわけです。そういった猫の首に鈴をつけるような話が現実にありまして、それは政府が助成の形でやってくれるのか、或いは誰がやるのか、これまで結論が出ていないわけです。

私は、こういう問題を解決するには、やっぱりどうしても政府が最初はやるしかないのではないか、公共的な建物は半ば強制的にこういうものを使ったらいいのではないか、と言っているのですが、現実にはやはり高いものですから、そして国の予算というのはぎりぎりなものですから、なかなか使ってくれないのが現状です。東京都の新しいビルなどは、本当は一番よかったのですけれど残念ながら駄目でした。

私どもの大学も今年の12月から、工学部を立て替えるという話になってきています。幸いにして文部省が予算をつけてくれましたので、そういう予定なのですが、こういう所も本当は太陽電池を敷きたいのです。しかし、予算がぎりぎりなことを考えますと、やるとなると反対があってまず駄目になることが必定なわけです。ですから、むしろ強制的にでもつけてもらった方がうまくいくのかなあ、と私も思っておりますが、そういったきっかけが、なかなかできないということが一つとですね。もう一つは、日本なりヨーロッパなりでこういうものをやろうとすると、二つの面でどうしても限界が出てくるということがあります。一つは物理的な量の限界です。

図12　The potential of PV installed on roofs



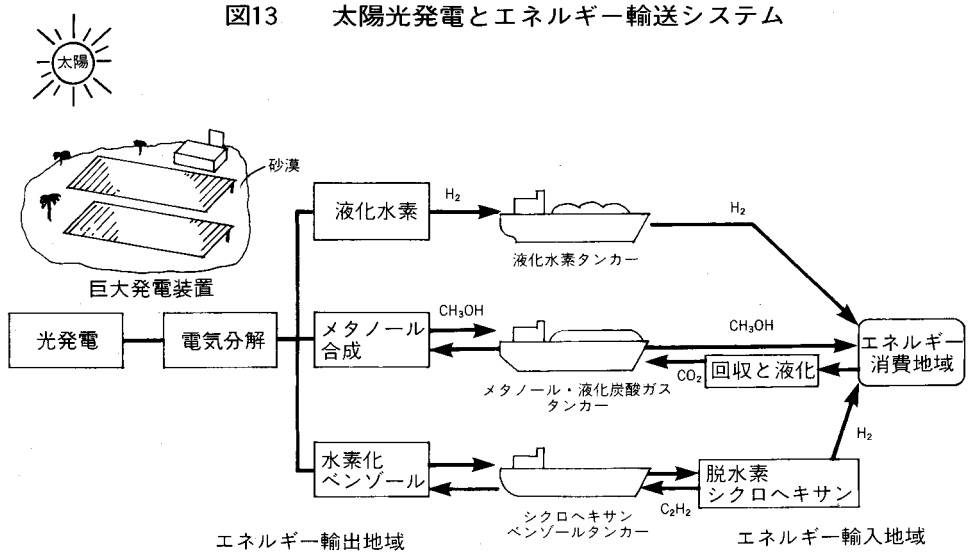
これは縦軸に黒く出ておりますがアメリカ、それからヨーロッパ、日本での電力事情のトータルの量で、薄く書いてある棒は、一体日本の或いはヨーロッパの住宅の屋根に全部太陽電池を敷いたらどの位電気が出るだろうかというのを出した量です。

ご覧いただくと分かるように日本など半分までいかないわけですね。ですから、全部やったとしてもこんな程度だということはお分かりになるかと思います。もちろん仮定は色々あります。例えば、効率をどうみるかによって答は違いますけれども、思った程沢山出るものではないということがまず一つです。ですから、仮に最大限に利用したとしても、やっぱり他の手段もいるということになる。もう一つの限界は、これはやや専門的な話になりますが、実際に太陽光発電を本当に使おうとすると、どうしても普通の電力系統につないで使わなければならない。そこで問題が生ずる。というのは、太陽光発電というのは時間的に非常に変わります。

例えば、夜間は全く発電できないけれども、そういう時にも需要はあるわけですね。従って、太陽電池で発電できている時はいいのですが、発電できない時はやっぱり普通の発電所が電力を供給してくれなければ困る。夜はせいぜい10時間、12時間位しか継続されないのですけれども、梅雨時になれば、一週間も二週間も実際にはほとんどアウトプットが出ないということが起こるので、そういう時にも電力を供給するとなると結局、系統の側の発電所は今までと同じものがないと、駄目だということが起こりかねないのですね。

このことでお分かりのように、太陽電池が入ったら電力系統側は大幅に助かるかというと、実は意外にそうでもないのです。つまり、単純に言うと質の悪い動源の太陽電池を使うということになりますと、質のいい方の従来の化石燃料の発電所は、実はある意味での迷惑を被るわけでして、これは当然のことですがシステムコストも上がってしまうわけです。ですから、そういった意味で実際に太陽電池を使った発電というものが大幅に伸びるには、かなり限界があって私個人と

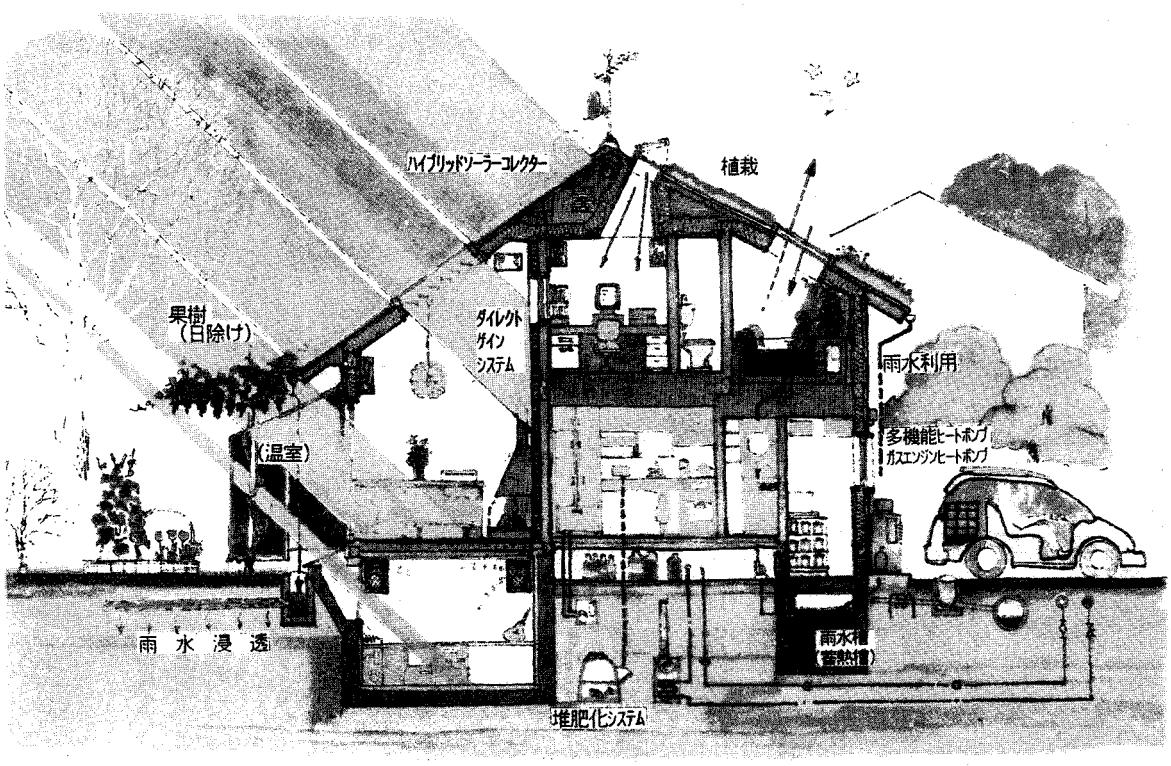
図13　太陽光発電とエネルギー輸送システム



しては、日本全体で電力の中でkWhで考えてパーセントのオーダーが入ったら大成功だとおもっているわけです。そうなると、もうちょっと何かアイデアはないかというので、今、世界でもそれから通産省でも考えているのは下の図のようなアイデアなのですね。

これは要するに、日本の住宅の屋根などと、みみっちいことをいわないで、土地全部使えるような砂漠へ持って行って、そこで発電すれば具合がいいのではないか、という絵なのです。但し、電力をそこで作りますとどこかへ送らなければいけない。送電線で送ればいいのですが、距離があり過ぎるのと大部分海を渡らなければならないわけです。送電ケーブルというのは恐ろしく高くつきますので、そうなるとエネルギーを他のものに換えなければならない。今よく言われるのは水を電気分解して水素にする、或いは炭酸ガスを回収して持ってきて、これに水素をくっつけますとメタノールができますが、こういったものを作って送ったらどうかというので、これを通産省では、「WENET」(World Energy Network)という名前を付けておりまして、こういったのを開発すればという話がございます。私も、構想は大変いいと思うのですが問題はやはり値段です。これだけのものをやりますと、非常に値段が高くなって、現在やろうとしますと、太陽の発電コストが0であっても、多分石油の値段の10倍以上します。ですから、何か抜本的に安価にするような技術が出てこない限りちょっとこれは採算が取れないということになるわけです。

図14　戸建住宅のイメージ



(高断熱・超耐久性戸建住宅)

東海大学工学部建築学科
田中俊六教授による

総じて言いますと、こういった太陽の光を使って発電をするというのは大変望ましい面があるのですが、一方においてかなり限界があると言わざるを得ないのであります。

2）直接利用　　―ソーラーハウスと自然利用の住宅、都市―

そこで、そういうことを考えますと我々もいろんなことをやりますが、意外に単純なことも必要じゃないかというのが最近の感じです。それは何かと言うと、太陽を使うのであればもっと簡単にお使いなさいという、これはソーラーハウスの絵です。この絵をご覧になると分かるように、太陽のエネルギーを総て熱としていかにうまく使うかということをやっているのと、よく見ていただくと分かりますが、緑が沢山ありますね。

この緑が非常に大事でして、特に日本のように、夏非常に蒸し暑い所では、緑があると葉に蒸発作用がございますから、それによって蒸発熱で温度を引き下げます。それから、当然遮蔽効果を持つ緑というのは、非常に温度調節作用がある材料としていいわけです。ところが残念ながら、日本の家も田舎はいざ知らず、大体都会の周辺の家も、それから街全体も緑が非常に少ないわけですね。

私、確かこのパレスホテルの辺りのビルで、向こう側に一片の緑も見えないのを見て愕然としたことがあります。こちら側は皇居がありますので、緑が見えますけれども、その位都会には少ないわけですね。これじゃ本当にエネルギーを沢山使わざるを得ないわけだと実感しているのですが、こういったもっとうまく自然に太陽のエネルギーを使う形の家の構造、都市の構造を造っていくことが本当の意味でのエネルギー有効利用だと考えているわけです。しかし、この考え方は、私だけでなく最近は大分出てきておりまして、役所の例でも建設省、それから通産省では「エコシティ」とか、環境共生住宅という名前で、こういうプロジェクトを始め出しているわけです。ですから、我々は高度な技術を使って色々なエネルギーの供給を考えなければいけないのですが、同時にある意味では地域テクノロジーと言いますか、もっと自然な形でエネルギーを使うということをやるのも、エネルギー技術の一つだと思っております。

そういった意味で今後は二つのタイプの技術が組合わさって動く、それが規模の経済の問題に対する解決のカギともなりますし、そういった形に次第に動いていくのではないか、というふうに考えております。

それでは、大体時間が参りましたので、これで私の話は終わらしていただきます。

質　疑　応　答

――どうも、色々と参考になる話有り難うございました。

あの、実は私どもの所で、1977年から水素を貯蔵するシステムを造りまして、太陽電池を約１キロワット半ですが、置きましてですね、15年程太陽光を水素に換えて貯蔵する運転をずっと続けているわけです。

これをやってきた中で気が付いたことはですね、あの70年代のオイルショックの後は比較的政府も企業も、サンシャイン・プロジェクトはじめ、いろんなことがあって、かなり積極的にそういうことをやりなさい、と推進した時期がありましたが、その後こういうものは非常にコスト的に無理だと、やめた方がいいと、オイルなども下がりましてね、特に80年代は、こういうことをやっても意味がないような、ほとんど忘れ去られたような状況にありまして、ここにきてまた今度は逆に外圧というのか非常に政治的な要因が絡まって、やはり、こういうことはまたやるべきだ、というような雰囲気になってきたような感があるわけです。で、先生のお考えですね、この今のこういう流れは、今後本当に続いていくかどうかと、その辺いかがなんでしょうか。なんか私はちょっと、非常に懐疑的な部分がありましてね、どうもマスコミに踊らされているような部分と、本当にやはり地に着いた着実な研究というものを、やっていかなくちゃならない面があると思うんですが、その辺の予想はどのようにお考えでしょうか。

茅「今の話は大変身につまされる話でして、我々も似たような思いをいろんな形でしているんです。一般的にみますと、おっしゃるようなことは今後も多分あるだろうと思うんですね。で、例えば、さっきちょっと申し上げましたけれども、フロンのおかげでオゾン層の現象というのが出たという話を申し上げましたが、ああいった形でいろんな気候の変動要因というのは今後も出てくる可能性はあるんですね。一番言われておりますのは、例のピナツボなどの噴火で大気の混濁度が増えまして、温度が逆に下がるだろう。これは予想ですので分かりませんが、アメリカの気象学者の予測だと今年の冬から数年間そうなるだろうと言っているわけです。で、もし、これが仮に起きるとしますとね、原因は今言ったように火山の噴火で温暖化の原因とは全く無関係なんですが、多分みんな気候変動のことなんか忘れちゃうんじゃないか、という感じがするんですね。

つい一か月程前、私のワシントンに住む友人から手紙が参りまして、その中に今年のワシントンは大変涼しいと言うんです。雨が多くて温度が低いと、だからブッシュが環境のことを言わなくても誰も何にも言わんという話が書いてあったんですね。これ、丁度いい例でして、やっぱり、喉もと過ぎればみたいな話で、どうしても回りがそんなふうになると、論理的には関係なくてもですね、皆もう忘れちゃう、ですから私はここ数年でまたちょっと関心が冷え込むということが起きるかも知れないという気がしております。

ただ、今申し上げましたように、そういうふうに変動要因はございますけれども、温暖化の問題の本質的な原因というのは、変わりようがないものですから、これまた、例えば数年経ったら、今度は温度がどんどこ上がってですね、またみんなが騒ぎだすとか、そういう形でしょっちゅう現れては消えて出てくるだろうと思うんですね。そしてしかも今度は枠組み条約というのが、一応できておりますので、そういった面からしますと、前ほど完全に忘れ去るということは、まずないのではないかと思います。恐らく、この温暖化への対応という姿勢は、世界的にも当分つづいてくれるだろうし、続いてくれないと私も困ると思っているわけです。ですから、おっしゃるような危惧というのは、私も大変よく理解できるんですけれども多分、80年代のようなことはあるまいと思いますが。お答になりましたですかね。」

――先日、テレビで私、初めて拝見して驚いたんですが、太陽光線の利用上、我々この日本や、アメリカや、文明国や、先進国のことばかり考えていますが、なんと砂漠で太陽光線を利用してですね、水をくみ出してパイプをひねると水が出てきたり、砂漠の緑化に使えると、そうしますと、我々の先進国のやっている太陽熱利用の議論というのは、非常に一方的であってですね、地球全体を考えると、もっと考え直す余地が十分あるんじゃないかと、そういう感じがしたんですが。
先生は、そういうことはないとお考えでしょうか。

茅「おっしゃるのは多分一昨日のテレビの話じゃないかと思いますが、おっしゃられる発展途上国はまだ電化が進んでないもんですから、実際に送電線をわざわざ張ってそんな電気を送るよりは、最初からその場で太陽を受けて発電して使った方がいいという所が当然有り得るわけです。ですから、テレビに出ましたようなことは当然考えられますし、私もそういう発展の仕方は大変今後も期待できると思っております。

ただ、それはそうなんですけれども、そういった形でエネルギーを得る人の数は、全体の中の一握りに過ぎないものですから、それだけじゃやっぱり答にならないと思います。他の例えば、発展途上国の大都市に住む人達に対してどうするのかということになると、そういう使い方じゃなくて全く別な考え方をとらなければいけない。そういったことで、今、お話に出ましたようなタイプの使い方と、違う使い方と平行してやるという形にならざるを得ないと私は思っております。ですから、おっしゃるようなご指摘はもっともでございまして、そういう発展の仕方は当然望ましいと思いますし、よく発展途上国の人間からもいろんな会議で指摘を受けるんです。私もそういうものが進行するのは、大変いいと思っているのですが、それだけでは答がでないという感じでございますね。」

本田財団レポート

No.1 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　ローマ1977」の報告　昭53.5
電気通信大学教授　合田周平

No.2 異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって　昭53.6
東京大学教授　公文俊平

No.3 生産の時代から交流の時代へ　昭53.8
東京大学教授　木村尚三郎

No.4 語り言葉としての日本語　昭53.10
劇団四季主宰　浅利慶太

No.5 コミュニケーション技術の未来　昭54.3
電気通信科学財団理事長　白根禮吉

No.6 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　パリ1978」の報告　昭54.4
電気通信大学教授　合田周平

No.7 科学は進歩するのか変化するのか　昭54.4
東京大学助教授　村上陽一郎

No.8 ヨーロッパから見た日本　昭54.5
NHK解説委員室主幹　山室英男

No.9 最近の国際政治における問題について　昭54.6
京都大学教授　高坂正堯

No.10 分散型システムについて　昭54.9
東京大学教授　石井威望

No.11 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　ストックホルム1979」の報告　昭54.11
電気通信大学教授　合田周平

No.12 公共政策形成の問題点　昭55.1
埼玉大学教授　吉村　融

No.13 医学と工学の対話　昭55.1
東京大学教授　渥美和彦

No.14 心の問題と工学　昭55.2
東京工業大学教授　寺野寿郎

No.15 最近の国際情勢から　昭55.4
NHK解説委員室主幹　山室英男

No.16 コミュニケーション技術とその技術の進歩　昭55.5
MIT大学教授　イシェル デ ソラ プール

No.17 寿命　昭55.5
東京大学教授　吉川俊之

No.18 日本に対する肯定と否定　昭55.7
東京大学教授　辻村　明

No.19 自動車事故回避のノウハウ　昭55.10
成蹊大学教授　江守一郎

No.20 '80年代―国際経済の課題　昭55.11
日本短波放送専務取締役　小島章伸

No.21 技術と文化　昭55.12
IVA事務総長　グナー・ハンベリュース

No.22 明治におけるエコ・テクノロジー　昭56.5
山本書店主　山本七平

No.23 西ドイツから見た日本　昭56.6
電気通信大学教授　西尾幹二

No.24 中国の現状と将来　昭56.9
東京外国語大学教授　中嶋嶺雄

No.25 アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス　昭56.10
オハイオ州立大学教授　ブラッドレイ・リチャードソン

No.26 人々のニーズに効果的に応える技術　昭57.1
GE研究開発センターコンサルタント　ハロルド チェスナット

No.27 ライフサイエンス　昭57.3
㈱三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長　中村桂子

No.28 「錬金術　昔と今」　昭57.4
理化学研究所地球化学研究室　島　誠

No.29 「産業用ロボットに対する意見」　昭57.7
東京工業大学教授　森　政弘

No.30 「腕に技能をもった人材育成」　昭57.7
労働省職業訓練局海外技術協力室長　木全ミツ

No.31 「日本の研究開発」　昭57.10
総合研究開発機構(NIRA)理事長　下河辺　淳

No.32 「自由経済下での技術者の役割」　昭57.12
ケンブリッジ大学名誉教授　ジョン F. コールズ

No.33 「日本人と西洋人」　昭58.1
東京大学文学部教授　高階秀爾

No.34 「ディスカバリース国際シンポジウム　コロンバスオハイオ1982」報告　昭58.2
電気通信大学教授　合田周平

No.35 「エネルギーと環境」　昭58.4
横浜国立大学環境科学研究センター教授　田川博章

No.36 「第3世代の建築」　昭58.7
㈱菊竹清訓建築設計事務所主宰　菊竹清訓

No.37 「日本における技術教育の実態と計画」　昭58.8
東京工業大学名誉教授　斎藤進六

No.38 「大規模時代の終り―産業社会の地殻変動」　昭58.8
専修大学経済学部教授　中村秀一郎

No.39 「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告　昭58.9
電気通信大学教授　合田周平

No.40 日本人と木の文化　昭58.10
千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授　小原二郎

No.41 「人間と自然との新しい対話」　昭59.2
ブラッセル自由大学教授　イリヤ・プリゴジン

No.42 「変化する日本社会」　昭59.3
大阪大学教授　山崎正和

No.43 ベルギー「フランドル行政府産業使節団」講演会　昭59.7

No.44 「新しい情報秩序を求めて」　昭59.7
電気通信大学教授　小菅敏夫

No.45 「アラブの行動原理」　昭59.10
国立民族学博物館教授　片倉ともこ

No.46 「21世紀のエネルギーを考える」　昭60.1
イタリア国立エネルギー研究機関総裁　ウンベルト・コロンボ

No.47 「光のデザイン」　昭60.7
石井デザイン事務所　石井幹子

No.48 「21世紀技術社会の展望」　昭61.1
第43回日経ハイテクセミナー

No.49 「星をつぶす法」　昭61.5
文部省宇宙科学研究所所長　小田　稔

No.50 「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」　昭61.5
慶応義塾大学教授　森　敬

No.51 「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」　昭62.2
コーネル大学天文学および宇宙科学教授　カール・セーガン

No.52 「人間はどこまで機械か」　昭62.2
東京大学教授　古川俊之

No.53 「中国人とどのようにおつきあいすべきか」　昭62.2
東京外国語大学教授　中嶋嶺雄

No.54 「舞台の奥のヨーロッパと日本」　昭62.5
演出家　寺崎裕則

No.55 「日米関係の現状と展望」　昭62.5
経団連特別顧問　大河原良雄

No.56 「私の半導体研究」　昭63.1
東北大学教授　西澤潤一

No.57 「生物学者の科学的責任」　昭63.4
コレージュ・ド・フランス名誉教授　ジャン・ドーセ

No.58 「最近の宇宙論をめぐって」　昭63.3
上智大学教授　柳瀬睦男

No.59 「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」　平1.7
ローマ大学教授　パオロ・マリア・ファゼラ

No.60 「温室効果による地球環境の変動と対策」　平1.9
中央大学理工学部教授　安藤淳平

No.61 「組織の進化論」―企業及び軍事組織における進化―　平2.3
一橋大学商学部教授　野中郁次郎

No.62 「ファジー理論の誕生と進化」　平2.9
カリフォルニア大学バークレー校教授　ロトフィ・アスカ・ザデー

No.63 「遷都問題について」　平2.12
通産省工業技術院　国際研究協力課長　八幡和郎

No.64 「クリーンエネルギーとしての水素利用」　平2.12
東海大学工学部　応用物理学科教授　内田裕久

No.65 「地価インデックス債による土地問題の解決」　平3.1
一橋大学経済学部教授　野口悠紀雄

No.66 「"宇宙のひとかけら"としての人間の視座」　平3.4
松下技研㈱主幹研究員　佐治晴夫

No.67 「建築と自然」　平3.5
シュツッツガルト大学軽量建築研究所教授　フライ・オットー

No.68 「先端科学技術と経済成長」　平3.7
東京大学　先端科学技術研究センター教授　竹内　啓

No.69 「自然界におけるゆらぎ, フラクタルおよび秩序」　平3.9
東京大学理学部教授　鈴木増雄

No.70 「エコ・テクノロジーと飢餓の克服」　平4.4
国際マングローブ生態系協会会長　M.S.スワミナタン

No.71 「開放型の情報技術」　平4.5
明治大学教授　西垣　通

No.72 「地球環境問題と日本の役割」　平4.9
三菱化成生命科学研究所室長　米本昌平

No.73 「冷戦後の日米関係」　平4.10
日本経済新聞社国際第一部長　小島　明

No.74 「エネルギー技術の動向」　平5.6
東京大学工学部教授　茅　陽一