

## 核融合発電実用時の我が国の電力需給の考察

平田久子

筑波大学数理物質科学等支援室 (物理学専攻)

〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

### 緒言

我が国は平成 18 年をピークとして人口が減少する<sup>1)</sup>とされているが、これまでの一人当たりのエネルギー消費量は 20 世紀の急激な増加は収まったとはいえ、僅かずつではあるが増加の一途をたどっている。技術開発が進みエネルギー効率が高まっているといえども、国民生活の向上にはエネルギー消費増加を伴う。また平均寿命も現在のところ、高い水準を維持している。高齢者層の相対的増加は生活介助に特に公共エネルギーを今まで以上に必要とする。故に、総合的には国家全体のエネルギー消費量は増加していくと予想される。

人力が大勢を占め、燃焼エネルギーが極めて少なく、エネルギーサイクルが効率良く行われていた江戸期が去り、明治維新早々の、明治 5 年に日本初のアーク灯点灯という電気元年があった。これが発電機の導入を促した。すぐさま軽工業の繊維工業、次段階の重工業である製鉄工業への発展でエネルギー需要が高まった。一方、英国の産業革命により、技術の飛躍的発達があり、エネルギー機関へと発展した。

爾来、世界の文明国では水力発電、火力発電で電気エネルギーが供給されていた。1950 年代に原子力発電が開発され、日本でも昭和 34 年に最初の発電が開始され、エネルギーの新時代に入った。以来天然のエネルギー資源を殆ど持たない日本は水力・火力・原子力その他の少しばかりの新たな発電方式との複合により 40 年以上公共の電力を供給してきた。その間オイルショック、中東戦争により原油の供給が危ぶまれたり、度重なる原子力施設のトラブルにより、国家規模の電力供給不安定に脅かされている。

また現在の問題として、原油の採掘可能な量が向う 40 年を切った事である。これに追い打ちをかけるように地球温暖化問題も猶予が無く、「地球に優しい」クリーンなエネルギーの供給が望まれている。これらの状況を鑑みて、より新しいエネルギーシステムの開発が進み、風力発電、燃料電池、ソーラーシステム、バイオマス発電、等が実用段階に入っている。それであっても現在は、国家規模の大容量エネルギー供給は水力・火力・原子力に頼らざるをえない。

現在の日本は原油の埋蔵量に注目していて、原子力の燃料であるウラン埋蔵量は気にしていないが、ウランの採掘可能な期間も残り 70 年とされている。プルスーマル方式により資源の有効利用を図り、多少はウランの利用期間を延長できる可能性があるが、わが国のエネルギー政策として未だにゴーサインを

出せずにいる。これらを総合すると、近い将来に原子力の一つであり、問題を抱えている既存の燃料を使用せず、わが国でも入手し得る燃料を用い、更に、環境汚染の心配の少ない核融合発電による電力供給が望まれる。その核融合の実現は、50 年前から「あと 50 年」といわれつづけて来ており、現在も 50 年後といわれているが、早急に目処をつけなければならない。

本論ではこの核融合発電が実用化されているであろう西暦 2050 年の時点で、国家としてどの様なエネルギー政策が行われるべきかを述べる。

.....

なお出典によりエネルギー単位がまちまちである。本論文では個々に換算せず、参考として統一単位[J]での括弧書きにとどめる。換算値は夫々有効数字 3 桁、端数は四捨五入している。発熱量で換算し、以下に係数を示す。

1 kWh:	3. 60 MJ
1 原油換算 kL:	38. 7 GJ
1 石油換算トン:	41. 9 GJ

これによると 1PJ は  $25. 8 \times 10^3$  原油換算 kL となる。又、 $23. 9 \times 10^3$  石油換算トンである。

### 第 1 章 現在の我が国のエネルギー実情

2001 年の我が国のエネルギー消費は人口 1 億 2700 万人に対し、原油換算で 514.5 百万トン<sup>2)</sup>であった。全世界で 20%の先進国が全エネルギーの 60%を消費していることが問題となっているが、日本もその仲間になっている。エネルギー消費総量としては世界でトップクラスであり、1 人当たりのエネルギー消費量とすると石油換算でアメリカ・カナダの 8 トンは別格であるとしても、先進国で 3 トン以上、といわれる中に入っており、4 トンの消費をしている。開発途上国では 1 人当たり数百キログラム、時には数十キログラムという国さえある<sup>3)</sup>。日本は消費する全エネルギーでも世界有数であるが、1 人当たりでも世界のトップクラスである。

総エネルギー消費量の内訳は石油がほぼ半分を占めている (図 1-1)。石油依存度の高さにおいては、先進国の中ではアメリカを凌いでトップである。地球上での埋蔵エネルギー源としては現行消費ペースでは一番残存埋蔵量が少ないとされている石油に対する依存度が高いことは切実な問題である。殆ど

を外国からの輸入に頼り、更にその内の 90%の輸入元が政情不安な中東からということは極めて危険なことである。この点、国家規模で危機感を持っていて然るべきであるが、エネルギー機器の技術向上と日本人特有の楽天性で政府のお題目の割に危機感は見えない。実際に 2000 年 2 月をもってアラビア石油がサウジアラビア、カフジ油田の権益を失うに至った際の政府・国民の関心の低さは情けない状態であった。この問題は次に間もなくクエートでも起ころうとしている。

さて、エネルギー供給全体は大きく分けると、公共の電力供給と輸送のための燃焼エネルギーとなる。電力供給の対象は主に産業と民生とになる。輸送に関しては、電力を用いる電気鉄道と一部の新エネルギー方式(水素、天然ガスなど)で駆動する自動車を除き、殆どが石油に依存している。概ね前述の石油消費量全体の 4 割を占めている。石油消費改善の必要性は明確であるが、技術の改革に委ねねばならない状況にある。

ここで、電力に限って眺めてみる。広く国民に報らしめられているベストミックスである資源別発電電力量は 2001 年には原子力 35%、石油 6%、石炭 21%、天然ガス(以下 LNG と記す) 27%、水力 9%、その他 2%<sup>4)</sup>で、石油依存度は想像より遥かに低い。ここで石油消費の課題よりも、石炭、LNG を含む炭素燃焼による火力発電の廃棄物、二酸化炭素がもたらす地球温暖化が地球全体での深刻な問題となってくる。実際に 2003 年の原子力発電所トラブルの緊急対応のために原子力発電所総点検を行うための運転停止の代替として、休止状態だった予備力の火力発電所運転で電力供給を担った際には二酸化炭素排出量が夥しく増加した。京都議定書に表されている二酸化炭素排出削減目標に近付けるどころか遥かに超えて遠ざかってしまった。

最終エネルギー消費の視点でみると近年は産業が概ね 1/2 弱を占め、民生が 1/4 強で、運輸が 1/4 弱である<sup>5)</sup>。これらの年増加率は一定している。民生と運輸はここ 20 年間に於いて 2 倍以上の消費増加をしてきた<sup>6)</sup>。ところが産業部門ではここ 20 年に亘り、消費量は殆ど増えていない。これは技術革新、省エネルギー、合理化努力によるものである。しかしながらこの努力はそろそろ限界であろうと予想する(図 1-2)。

次に電力供給のための資源について述べよう。

1999 年度の電気事業者による発電電力量 9176 億 kWh(3303PJ) の内の構成比は火力発電が 5063 億 kWh(1823PJ) で 55.2%、原子力発電 3165 億 kWh(1139PJ) で 34.5%、水力発電は 893 億 kWh(321PJ) で 9.7%である。他に地熱発電が僅かにあり 0.4%、さらに新エネルギーで 0.2%<sup>7)</sup>である。

火力発電 55.2%のうち石炭火力 16.7%、LNG 火力 26.2%、石油火力 12%である。因みに水力発電 9.7%のうちでは一般水力が 8.4%で揚水発電が 1.3%である。これより電力の資源として考えると発電量当たりでは

ウラン	34.5%
LNG	26.2%
石炭	16.7%
石油	12.0%
新エネルギー	0.2%
自然エネルギー	10.3%(地熱、水力)

となる。つまり、電力の凡そ 90%が燃焼エネルギー、または熱変換を伴うエネルギーによるものであり、その資源の殆どが輸入に頼っているものである。また夫々資源の輸入依存度は平成 13 年度で

LNG	96.6%
石炭	98.0%
石油	99.7%

である<sup>8)</sup>。ウランは資源として輸入に頼っているが、発電資源としては準国産エネルギーと位置付けている。その理由は、①火力発電とは異なり総発電費用のうち燃料に必要な経費が約 20%で相対的に小さい(火力発電では 50%以上である)、②年 1 回の燃料交換で継続的にエネルギー供給が可能、③核燃料サイクルが実現した場合、将来的に核燃料の輸入が激減することが見込まれる、④核燃料物質を保有していても原子力発電技術を保有していなければエネルギーを得られない、ということでエネルギー転換技術の役割が極めて大きいということである。即ち、燃料そのものよりも技術の依存度が大きいので、それが準国産と定義することの根拠である<sup>9)</sup>。新エネルギーはその原理が再生可能エネルギーで考えているので当然のことながら、エネルギー資源は国内自給率 100%と考えている。これら国産エネルギー資源を加味すると 1 次エネルギー全体の輸入依存度は 80%となる。

## 第 2 章 現在の我が国のエネルギー政策

### 1 エネルギー政策基本法

平成 14 年 6 月にエネルギー政策基本法が公布された。

同法第 1 条目的において、国がエネルギー政策を如何に推し進めるべきかを端的に表している。

この法律は、エネルギーが国民生活の安定向上並びに国民経済の維持及び発展に欠くことのできないものであるとともに、その利用が地域及び地球の環境に大きな影響を及ぼすことにかんがみ、エネルギーの需給に関する施策に関し、基本方針を定め、並びに国及び地方公共団体の責務を明らかにするとともに、エネルギーの需給に関する施策を長期的、総合的かつ計画的に推進し、もって地域及び地域の環境の保全に寄与するとともに我が国及び世界の経済社会の持続的な発展に貢献することを目的とす

る。

即ち、公共の政策として、安定供給、環境への関与、為政者の責務、長期的且つ計画的であること、とされ、夫々第2条、第3条、第5、6、7、8、9条、第12条に再掲されている。これが推し進められなければならない理念である。また儼の生えた理念にならぬよう、実情に即した見通しが円滑に計られるべく文言が設けられている。

第2条、安定供給の確保にあつて、第一次エネルギー資源の確保を大きな施策としている。そこから危機管理の必要性、供給源の多様化をはかり、エネルギー分野の安全保障を図る。

第3条、環境への適合を目的として、現在エネルギー源として半分以上を占めている化石燃料による環境汚染に対し早急な処置を講ずる必要が述べられている。この点については現在でも京都議定書で示された目標達成の気配が見えないが、近い将来に国民生活に影響が出るほどの切実な状況になっていることが予想される。それを踏まえた指針を構築しておかなければならない。大気及び海洋は国境線で区切られておらず流動しているので国際関係として謳っておかなければならないし、又、努力しなければならぬ。

第5条、第6条、第7条、第9条において国内に目を向け為政者及び事業者の供給側としての責務が述べられている。併せて第5条第2項、第6条第2項、第8条において需要者側の責務、努力がうたわれている。即ち、受け身側にも責務があるとする国家的命題である。

また、第12条に本法律の具体的な方針としてエネルギー基本計画の在り方が多数述べられており、時節に適切に対応した政策を必要とする旨が述べられている。この点については技術の発展の速度、及びそれに伴って需要の変化がすこぶる早まることを前提に考えていることは予想に難くない。

実際の国民生活と政府の指針はギャップがある。行政全般の中では外交のように政府が指導的立場で進めているものもあるが、日常生活に結び付いているものは、政府は概ね後手に回っている。地球環境問題を唱えても円高で石油を入手しやすくなれば当然の経済原理で石油燃焼エネルギー利用量は増加する。この法律の理念はよく考えてあるが、具体性の点で詰めが甘い。経済等社会の状況も広く考慮し、国家としては長期的展望を持って政策を進めるべきであると提言する。

## 2 電力

電力は1次エネルギー総供給量の40%強が投入され、その半分を、エネルギー変換過程総合で転換効率が凡そ40%の火力発電で賄っている<sup>10)</sup>。電気に転換されたエネルギーのうちの6割が民生にて消費され、4割が産業で消費されている。運輸は僅か2%である。

資源を殆ど持たない我が国では発電の方式に複合

方式を採っており、水力、火力、原子力の3方式の夫々の特徴を活かし、組み合わせで運転することを設定している(図2-1)。

水力発電所は平成13年度末で1712発電所あり、最大出力46324MWである<sup>11)</sup>。

水力は、国土が狭い上に細長い日本列島を尾根が縦断しているため河川の規模の割に落差を取れる故に水力発電としては好ましい。しかしながら逆に狭い国土故にダム・水力発電所を設置できる場所に限界があり、現状では水力発電所を増やすことは相当の困難を要する。又、送電距離の長いことから生ずる電力損失が多く、設備投資の割に需要地で得られる電力が少ないが、ともあれ送電効率改善が進んでいる。特に、他にない水力発電所の特徴は、エネルギー源が燃焼による熱エネルギーでなく水の位置エネルギーによるためクリーンであり、熱公害も少ないことである。更に、一般に電力供給は保存がきかず、需要に供給を追随させなければならないのであるが、水力発電系では需要の少ない夜間の余剰電力を用いて一度落とした水をダムの上流に還流し、揚水発電として作動エネルギーを再利用して有効利用している。とはいえ降水量、貯水量という自然現象の影響を受けているので、定常運転のベース供給を行っている自流式水力発電と、更に少ない非常運転であるピーク供給を行っている揚水式水力と調整池式水力と貯水池式水力発電で供給を伸ばし、第1章で述べた全発電量の9%にしている。

火力発電所は平成13年末にて事業用自家用含め2581発電所あり、合計の最大出力166647MWである。このうちの数にして8%に満たない200箇所の子業発電所が火力全体の82%の出力をしている<sup>12)</sup>。

火力発電は発電資源の場の制約を受けない。電力送電の損失を考慮して需要地の近傍に設置できる特徴がある。大口電力需要者の存在地が港湾沿いに位置していること、輸入に頼る電力資源の陸揚げ地が地理的に共通していること、排出される燃焼廃棄物の一般市民への影響を軽減させるため、主に港湾沿い工業地帯に立地している。発電過程の特徴により逐時発電できるのでミドル供給乃至ピーク供給を行っている。一発電所当たりの出力規模は水力のそれより数倍多い。

原子力発電所は1998年現在、52基45083MWが許可されており、稼働率85%という高効率で運転されている<sup>13)</sup>。

原子力は、現在のところ安定した発電資源の供給が得られている。少ない質量の燃料で大きな電力を発生できる、一発電施設当たりの出力が頗る大きい。又、大気汚染・地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出がない、等の特徴を備えているが、一方で多くの意味での保安に関する問題を抱えている。発電の過程において逐次小刻みな運転を行えないのでベース供給を担っている。隠れた問題点としては、発電のための資源であるウランの埋蔵量は70年弱とされていることである。

以上の3方式によるベストミックスで大容量の電力供給を行うことが我が国の主たるエネルギー政策

であり、更に別の将来に期待される新しい方式の確立を目指した発電も支援されている。近い将来の石油枯渇を考慮すると民生及び運輸における石油消費を電力に移行することは必須であるので新しい方式の開発もさる事ながら資源から電力へのエネルギー変換効率上昇の努力が必要である。

### 3 運輸

航空機輸送に関しては、エンジンの出力の条件から現在のところ石油系燃料のみの使用である。

海上輸送に関しても石油系燃料を用いたエンジンが国際的にも主流である。我が国では一部、核燃料運搬を目的とした船舶で原子力機関が導入されたが、社会政策的に実用にならなかった。

陸上輸送にあっては多彩である。軌道輸送では大勢が電化され前述の電力受電で行われており、輸送力の小さい地域において石油系燃料を用いるディーゼルエンジンが用いられている。このディーゼルエンジン機関車は、最近では利用者減少に伴う過疎地での経費削減を目指しバス輸送に振り替えられることが増えている。鉄道輸送を用いていた郵便事業も高速化という社会需要に伴い自動車輸送に切り替わっている。

自動車輸送の物流では石油燃料エンジンが殆どで、更に経済性の点で二酸化炭素ばかりか窒素酸化物、硫黄酸化物までも排出するディーゼルエンジンが大勢を占めている。小規模の輸送車がガソリンエンジンを用いている程度である。今般、中央政府の政策の遅れに業を煮やした東京都知事の英断で、東京都内にディーゼルエンジンの輸送車の進入を禁止したことは、今後の我が国の政策に大きな影響をもたらす。尤もディーゼルエンジン車が普及しているヨーロッパでは現在でもディーゼルエンジン改良の努力がされていて有害排ガスを減らしつつある。

ひとの輸送を目的とした自動車輸送は最も多様である。大量輸送を目的としたバスは経費の面でディーゼル車から急には変更しにくいのが、遠からず排気ガスのクリーンなエンジン搭載車へ移行されることを期待したい。個人の、または小規模の自動車にあっては電気自動車、排気のクリーンな水素を燃やす燃料電池車、天然ガスエンジン車、ハイブリッド車、等が実用になっている。しかしながら石油以外の燃料供給所の設置が進まないのと、本体価格を含めて経費から個人では導入し難いので官公庁で率先して導入し始めたところである。また石油系以外は燃料ステーションが普及していないので長距離走行する自動車には現状では不便なので、この点の解決がポイントとなる。

運輸でのエネルギー消費は 98%が石油製品燃焼に依存している。石油枯渇を視野にいれると近い将来には天然ガス機関を想定しなければならないが、天然ガスも現在の見通しで可採年数は 60 年である。次の段階として近からぬ将来、燃料電池車、電気自動車になること必至である。最近では運輸トラックにもハイブリッド化が普及し始めている。

## 第 3 章 目標設定時期

本論文の題目にあるように考察の設定時期は核融合発電が実用になった段階である。核融合発電実現の見通しは、50 年前から「50 年後」と言われてきている。技術的には核分裂による原子力発電の経験を大いに利用できる利点を持っていながら、この間、研究が進むにつれ核分裂に比べ核融合実現の物理的困難さが度重なり露見したことによる。しかしながら現在の主たるエネルギー源である石油の供給可能な期間が 40 年弱とされていること、原子力発電の燃料であるウランの可採年数が 70 年であり、高速増殖炉、またはプルスーマル炉にしない限り、石油に次いで原燃料の枯渇が迫っていることを踏まえると、大容量供給電力源である核融合発電は、西暦 2050 年には実用の目途がたっていることを前提として、2050 年と設定する。

また今般、数年来立地が決まらなかった国際熱核融合炉 ITER の建設地がフランスのカダラッシュに決定したことで研究の進展に弾みがつき、2050 年という実現目標が近付いたと期待できる。

## 第 4 章 我が国のエネルギー需要の見通し

総エネルギー消費量に対する個々人の消費量の人口分布をとっても、更なる将来の予測はつかないので、第 1 章にて表したように我が国の総エネルギー消費量を単純に人口で除して、1 人当たりの平均エネルギー消費量で考える。

総じてエネルギー需要の見通しは第 1 章で触れたように人口当たりの個別エネルギー消費量であるとする。即ち、

$$\text{総エネルギー需要} = \text{人口} \times \text{1人当たりのエネルギー消費}$$

といえる。ここで本章では右辺各項の見通しについて述べる。

### 1 2050 年の時点での我が国の人口の見通し

人口という数値を形成する大きな要素は、出生率と寿命である。

居住環境の好ましい日本列島でヒトが生活するようになった縄文期から文明文化の発達に伴い日本の人口は漸増してきた。またエネルギーサイクルが非常に理想的な状態で、効率的に営まれていた江戸時代には人口の変動が少なく、凡そ 2700 万人の人口であったとされる<sup>14)</sup>。開国により、明治時代となり外国からの文化文明が入り、生活形態が一変し、医療技術も進歩することで寿命が延び、日本の人口は急激に増加した。以降、増加率の変動はあっても、実数は増加し続け、西暦 2000 年の段階で我が国の人口

は1億2000万人を超え、併せて世界有数の長寿国となった。

その一方で近年少子高齢化の傾向が始まり、西暦2006年を境に我が国の人口は減少すると見られていたが、下降は前倒し傾向にある。全世界では人口は依然として増加しているが、先進国の例に漏れず、我が国の人口の自然増加率は低下している。西欧の人口転換のアジアでの初めての実現で、且つ西欧のそれよりも速い速度での実現である<sup>15)</sup>。また、現在のわが国の社会生活における将来への不安から、政府の一時的な人口政策が行われようとも出生率の低下は避けられない。または政府の人口政策も見通しが得られていないので、効果的な政策が行われていない現状ともいえる。

巷では長寿国日本は、第2次大戦前の、当時としては豊かな時期に健康な基礎体力を築き、第2次大戦敗戦後に粗食に耐えた世代が貢献していると考えている。従い、医療技術が進歩しているとはいえ、現在の飽食の文明社会では戦後世代以降の日本人の基礎体力は低下する一方であることは明白である。保険事業が林立するほどの生活習慣病罹患者の増加があり、それが日本人の死亡原因の大半を占めている。また、成長期である10代の児童生徒の基礎体力が低下している、それどころかいわゆる成人病に罹患している、又は予備軍が夥しい状態である。現代は社会風潮としての将来不安により将来への積極的な期待が失せ、健康な日々を目指すより日和見的な日常生活、食生活の乱れがあり、便利生活を謳歌することなどによる基礎体力の低下がある。また成熟社会の特徴の精神的ストレス、これは潜在的に大きい要因と考えられる。現実の医療費の増加は国家規模で健康障害が増えていることにほかならない。確かに医療の発達は寿命を延ばす要因ではある。しかしそれ以上に基礎体力低下、抵抗力の低い体質に至る、これらにより日本人の平均寿命は現在を峠に当面は低下の一途を辿ることは想像に難くない。総合して我が国の人口は急激に減少する見通しである。

我が国の人口推移の予想は各説あるが、極端な例として極めて長い長期揺り戻しとして明治期からの増加した速さでもって減少するとみる(図4-1上)と、図から西暦2050年で凡そ8500~9000万人と読み取れる。現在の人口の約7割といったところであろう。これ程極端な未来はあってほしくない。

現状を踏まえた信憑性のある数値として、国勢調査に基く厚生労働省人口問題研究所での統計数字がある(図4-2)。これですら1975年より予想値は殆ど毎年低下している。予想計算方法としては種々考えられているが、過去の実績のあることと、人口推移の先輩格である欧米で採用されていることもあり、コーホート法が信頼できるとされている。コーホート要因法の要素は、①将来の出生率動向、②将来の死亡動向、③将来の人口移動の動向、④出生児の男女比の動向であり、これらの各要素の予測を必要とする。

#### 1) 出生率の動向

これらを総合して予測する際に大きい影響を及ぼ

すのが合計特殊出生率である。この合計特殊出生率は様々な社会的要因を勘案し、将来予測として高位推計、中位推計、低位推計がはじき出される。図4-3のように高位推計は合計特殊出生率の下がり過ぎた反動で現在を最低値として見込み、2020年には平成早々の値1.62になるであろうとする希望の度合いの大きいものである。中位推計は向こう数年の間は緩やかに減少しても2020年頃は現在の値程度のところに落ち着くであろう、即ち、現状維持を予想している。低位推計にあつては過去30年の低下の傾向で減少し続け、凡そ2020年頃には現在の20%減の値になると悲観的な予測をしている。

しかしながら2050年という遠い将来の予測であるがこのコーホート要因法で厚生労働省が5年毎に類推するにあたり、キーポイントとなる合計特殊出生率が予想を遥かに下回っている。図4-3は2000年の予測であったが、図4-4の1995年の細かいデータと比べ実績値予測値とも低下している。2000年当時、合計特殊出生率は中位推計で2002年から僅かずつ上向きの予想があつたが2002年、2003年とも低下し、2003年のそれはショッキングな程大幅に下がり、低位推計に限りなく近づいている。少なくとも低位推計を更に下方修正する必要を予想できる。

現実には平成16年6月に発表された<sup>16)</sup>平成15年の合計特殊出生率が更に下がり中位推計より遥かに低位推計に近付き、最早、高位推計は意味を持たないのではないかとさえ思える。

この合計特殊出生率から算定される2050年の人口予想は中位で図4-2に表してあり1億数百万人と読めるが、政府及び公的機関の判断は往々にして楽観がある。下方修正により9000万人前後と予想するのは難くない。

この下方修正の理由としては、①日本人の寿命の短縮、②生き方の多様化、③雇用機会均等法により拍車がかかり女性が自由になった、ことがあげられる。昨今の女性の労働形態、即ち常勤化、私的公的双方の保育体制の不足、結婚年齢の高齢化……一時的に合計特殊出生率の増加はあり得る。しかし、平均完結出生児数減少をもたらす……、未婚割合の増加、地方の都会化、子供を持って以後も児童手当の削減、義務教育への公費の補助の不安、などなど経済要素も含め、諸々を考えると当面の合計特殊出生率の増加は期待できない。出生率の低下に対し政府は根本的なところで対処できるであろうか。

さて希望をもてる人口増の高位予想をしてみよう。

ここで新たな期待として、平成16年12月3日の閣議で2004年版「少子化社会白書」が決定された(新聞各紙<sup>17)</sup>)。2006年に我が国の人口がピークを迎えることは人口に膾炙している。が、2005年からの5年間で同時に第2次ベビーブーム世代(1971~74年生れ)を中心とした世代の出産適齢期になるとして、出生率、合計特殊出生率が変わらないまでも、人口増が期待できるとした。これをもとに、女性が働きながらも子育てをし易い社会環境を築くという取り組みを提唱した。政策というものは対象が多ければ多いほど実現し易く継続し易いので、これを契機

に人口構成改善の機会にしたい。しかし案の定、政府が考えることなので楽観はできない。

図4-2のように1920年代～1940年の人口の曲線、1945年～1970年の人口の曲線は明らかに勾配が異なる。確かに終戦後復員、引き上げてきた人で人口が増えてきただけでなく、第1次ベビーブームとなったことによる人口の増加である。同様に1970年で図の2つ目の山の勾配を大きく変えたのも第2次ベビーブームによるものであることも明白である。この世代が子を持つ年代となり第3次ベビーブームを形成することもうなずける。然らば同様に人口の一時増加はどれほどであろうかを考える。第1次は1947～1949年の3年間で予想人口カーブの7400万人に対し略690万人(9.3%)増えた。第2次は期間が広がり、1971～1974年の4年間で予想1億500万人に対し500万人(4.7%)増である。第1次と第2次ベビーブームの間隔24～25年に対し現在は結婚年齢の高齢化をしたことを考慮し、まだブームのピークが訪れていないというより、相対的にピークが小さく、裾の広いことが予想できる。図4-5に示す人口ピラミッドにて平成16年現在男女とも29歳に人口の大きなピークがあることを踏まえ、現時点で第3次ベビーブームのはしりになっていると考える。第1次、第2次と比べ子をもうける機運が低いことを考え、割合で総人口の2～2.5%どまりと予想する。従って2004～2011年の凡そ7～8年の間に、300万人の人口増を望む。

## 2) 死亡率の動向

本章の初めの文言のように人口予想の要素である、出生数と死亡数と自然増数、出生率と死亡率の推移を図4-6、7に示す。実数及び比率とも中位予想で2006年に出生<死亡となる予想がある。即ち、高齢人口割合が2000年に17.7%、2020年では25.5%と予想され、死亡数は加速する<sup>18)</sup>。近々に我が国の人口のピークを迎えるので、その人口の減少に従い、実数よりも率のほうが大きい割合になっていくものと見られる。この中位予想で出生数はほぼ直線的に漸減するが、出生率では2025年辺りで勾配が小さくなる。とはいえ死亡数、率が増加しているので分母が小さくなり我が国の人口は減少速度が小さくなりそうである。死亡率は2050年では傾きが小さいながらも増加しているが、実数では2037年辺りでピークを迎える。これは第2次大戦後の第1次ベビーブーム世代の平均寿命と一致する。それによりここを境に死亡数が減少し、自然増加数が安定すると考える。

## 3) 総合

少なくとも2050年の人口予想でも図4-2で示したように日本国勢図会データの1975年でのものから2000年でのものへの25年間に3割下方修正したことを鑑みると、向こう40年間の間に過去25年のペースではないまでも現在の予想を少なくとも2割は下ると考える。しかしながらエネルギー供給は国家主導であることから、予想値が下回ることは国民生活の維持のため行政上危険であることを考慮して高目設定し、2050年での我が国の人口は1億人と設定するのが適当と判断する。

因みに社会保障審議会人口部会による「日本の将来人口」(平成14年1月推計)では2050年の我が国の人口は中位推計で1億59万3千人、高位推計で1億824万6千人、低位推計で9203万1千人としている。その際の長期出生率は中位にて1.39、高位で1.63、低位で1.10と仮定している<sup>19)</sup>。中位の年齢別ピラミッドを図4-8に示す。ここに第3次ベビーブームによる期待値を破線で書き加えた。更に通商産業省ほど楽観していない電力中央研究所では中位推計で2007年に死亡者数が出生者数を上回り、地域差を考慮しても全国規模で2025年に総人口1億2000万人を切り、2050年では9000万人弱と推計している。高位推計でも9300万人としている<sup>20)</sup>。

## 2 2050年の時点での日本人の個々のエネルギー消費量

人間の暮らしの快適さの代償はエネルギー消費である。即ち、文明が進み、それを得るための文化が進展することで、個々人のエネルギー消費は恰もエントロピーの増加のごとく増加することは否めない。

又、既に述べたように高齢者層が増加するということは今迄以上に快適な生活が需められ、より利便性の高い生活水準となることは自明である。その助けとしての設備が増え、この点でもエネルギー消費増加は必至である。凡そ洗濯機の普及はほとんどの家庭に及んでいるが、手で洗うより大量の洗剤、水を消費する。洗剤の製造、上水道への浄化、排水の浄化、洗濯機の運転、はたまた乾燥までも日照でなく電力や燃焼エネルギーを注ぎ込む。消費者は気にもせず大量の電気エネルギーを消費している。また文明の享受であるテレビも技術の発達で液晶のように省エネルギーになっているが、質の向上を目指したプラズマテレビでは消費電力が増大した。当然のこととして省エネ努力も行われているが。また、冷暖房機器の普及率が高まったことで、夏冬夫々の平均気温の高低に拘らず、冷房度日、暖房度日は漸増し続けている<sup>21)</sup>。これなどは前に述べた日本人の基礎体力の低下と正帰還を掛け合っている。

一方で、特に火力発電により排出された窒素酸化物、硫黄酸化物による大気汚染、オゾン層破壊、また二酸化炭素による地球温暖化等の諸現象対策、それと石油枯渇対策としての省エネルギーが叫ばれて国家規模で推し進められつつある。その意味で個々の文明的利便性に対するエネルギー消費は減る可能性も持っている。

また、高齢者割合が増えるということは労働人口が相対的に少なくなるということである。従って第1章で述べたエネルギー消費の1/2を占める産業部門が縮小になる可能性が高い。その上で、高齢者は在宅する確率が高いので民生需要は相対的に増加する<sup>20)</sup>。

非常に粗い見積もりであるが、50年前から現在までのエネルギー消費増加率とも比べ、1人当たりのエネルギー消費量は図1-2のように産業部門での消費は殆ど増加しないと予想して来た。民生では生活



水準のパロメータとして相変わらず上昇する。運輸は既に飽和傾向にある。これは合理化、高効率化、環境問題を考慮し伸びは低下すると予想する。

図 4-9 に短時間の統計であるが、わが国の 1 人当たりのエネルギー消費量をプロットしてある。資料により相当のバラつきがある。総供給の勾配の高い部分、1970 年迄は高度経済成長と読める。1990 年代後半の勾配の緩いところは省エネ努力等の結果であるが反動がついて回る。エネルギー消費量の増減は国家規模の大きなイベントで大幅な変動をきたし予想し切れない。人口同様に高位から低位まで予想し、その幅の中で類推せざるを得ない。過去 30 年に亘り恐ろしいほど直線的である国勢図会の資料から読むと 2050 年には単純に 1 人当たり石油換算 8.5 トン(356GJ)となる。総合エネルギー統計の資料からは更に読み取りにくい。しかし信頼できるとされているメンバーによる予想でも 1 人当たり 10 年間に 16.5%の消費エネルギーの増加があるとされる。政府筋の中位予想値である。「平成 13 年度電源開発基本計画」では平成 22 年度には平成 12 年度の 16%増<sup>22)</sup>としている。政府筋の中位予想値である。このペースで 50 年経ると 2.1 倍と計算される。すると 1 人当たりの消費量は石油換算 8 トン(335GJ)余りということになる。これからエネルギー消費の大変動をきたす技術改良、省エネ努力を期待し、1 人当たり年間 7 トン(293GJ)の総エネルギー消費とする。因みに 1 節と同様に電力中央研究所社会経済研究所による計算では 2030 年で中位推計 5.458kl(211GJ)/人<sup>23)</sup>で、図 4-9 の総合エネルギー統計との比較で読むと 2050 年には 1 人当たり年間 6.6 石油換算トン(277GJ)と読み取れる。この時政府総合資源エネルギー調査会では 2%ほど低く見積もっている。

総合すると 2002 年の我が国の国家全体のエネルギー消費総量は

$$126,479 \text{ 千人} \times 4 \text{ トン} \\ = 5.06 \text{ 億トン(石油)}$$

で 21,200PJ と計算できる。現在は 1 次エネルギーの 40%強が発電に利用され、更にその 40%(3562PJ)が電力に転換されている。この概算に対し 2001 年の実績は、1 次エネルギー総供給は 22101PJ で電力として供給された分は 3279PJ である<sup>24)</sup>。

これに対し、2050 年は

$$100,000 \text{ 千人} \times 7 \text{ トン} \\ = 7 \text{ 億トン(石油)}$$

で 1 次エネルギー総供給は 29,330PJ となる。ところで原油、石油は現在電力用、原材料用を除き 9000PJ が燃焼エネルギーとして利用されている。これのエネルギー変換効率は高く、99%以上である。2050 年の時点で総エネルギーに対する石油需要相当分の割合は現在と同じと考えれば 11940PJ となる。

これをそっくり電力で賄うとすると電力の転換効

率で除して 29860PJ の 1 次エネルギーが必要となる。この 29860PJ は現在の 1 次エネルギー総供給のうち、発電に用いられているエネルギーの凡そ 3.6 倍となる。従って 2050 年に現在の電力の単純増加分を含めて 5.0 倍以上のエネルギーとなり、それ程の発電設備が設置されていることは慮外である。

然らば実現可能なほどの程度であろうか。現在の燃焼用石油製品のうち電力に置換できる技術の見通しのあるもので、自動車燃料として用いられているのはガソリン 23%、軽油 15%で計 38%である。灯油、LPG 等の民生用燃料が 22%である。当面これ等すべて、石油の 60%は些か困難ではあるが、少なくとも自動車用燃料分相当 38%は賄う目標に充てたい。この割合を 2050 年の数値に適用して 4726PJ の電力がはじき出される。それは 11815PJ の 1 次エネルギーを必要とする。これを石油の電力振替え分とする。この値は現在の電力と略、同じ値である。これ位ならば技術的にも実現は難くないと確信する。でき得るならば民生分相当も某かは賄っていることを期待したい。この点は化石燃料を高効率に用いる燃料電池の普及が相当貢献するであろう。また、熱源として廃熱システム利用の充実によりエネルギー供給の余裕、及び化石燃料の燃焼利用の寿命延長に充てる。

これに当初の電力増加分 12820PJ(1 次エネルギー)を加えて、本報告で考察するエネルギーは

1 次エネルギー	25000 PJ
電力供給	10000 PJ

と設定する。

## 第 5 章 将来の電気エネルギーシステム

### 1 既存のエネルギー供給システムの将来見通し

#### 1) 水力発電

水力発電は既に述べたように現在のわが国の電力供給の 1 割にも満たない。しかしながら燃焼を伴わないエネルギー源であること、わが国の水資源は安定に供給されていることを考慮すると将来に亘り水力システムは継続し続ける。また数多の発電システムの中にあつてすこぶる優良な発電効率(水車、発電機総合で)72~90%を持っている。確かに落差は得られても水量を得られない欠点はあるが、小落差のも含め小規模の水力発電所の建設が行われている。また新たな立地が検討され、現に東京電力では現在国内最大の奥多々良発電所の 1932MW を超える最大出力 2700MW のものが建設中である。

水力発電は技術的に起動・停止の応答を早くできるのでピーク電力への貢献が大きい特徴を持っている。平成 12 年度の水力発電供給量は 66471×百万 kWh(発熱量 239PJ 相当)あるが、第 4 章で述べた将来の需要の伸び率に対しては相当の伸び率の期待をできる。

平成 13 年度末総水力発電設備出力は(認可最大出

力)4632万4320kWである。建設中、着工準備中は計1327万kWある。現稼働設備の30%弱である。

発電水力の未開発分は既開発分の50%は優にある<sup>25)</sup>。但し、大規模なものは今後は難しい。

自流式水力発電はベース電力を担い、今後も増え続ける多くの揚水式はピーク電力を担っている。同じく火力発電がミドル電力を賄っていることを考慮すると、水力発電は石油火力を補う方向を示している。2050年には現在の未開発分全てを開発しているとして、現在の150%の設備容量を持っているとする。

## 2) 火力発電

火力発電における設備容量は過去の実績から石油火発が多く、石油31.8%、石炭17.3%、LNG34.3%(平成12年度末)である。現状では石油火発設備は予備役状態で機能を保持しており、2003年の原子力発電施設総点検で原子力発電施設の稼働ならなかった際には発電のバックアップに活躍した。

実際わが国では石油火力発電は出力を押さえているが、石油の非エネルギー消費量は減っておらず、更に世界でエネルギー全体の伸びにあって石油消費量は決して減っていない。新たな技術開発で石油可採量が増えても、可採年数の伸びは期待してはいけない。

最近の発電実績は1999年度末でLNGがほぼ1/2、石炭は1/3弱、石油は1/4弱に止まっている<sup>26)</sup>。実際に石油火力は枯渇を踏まえ、石炭、LNGへの転換を図っており、向こう10年間でLNG火力1100万kW開発し、平成22年度末には20%増となる設備容量6696万kWを目指している。これにより発電量で平成12年度の2491億kWh(897PJ)を平成22年度で2502億kWh(901PJ)へ増やすと見込める<sup>27)</sup>。

また電源開発の立場で要対策重要電源として原子力、揚水発電とならんでLNG火力発電と石炭火力発電が挙げられている。

### ① LNG火力発電

液化天然ガスを用いた火力発電は立上がりがあるのでピーク電力を担える。石油、石炭の発電に比べ二酸化炭素排出量が少ないこと、燃料の供給が得やすく、安定していることもあり、近年は発電実績が増えている。但し見落としがちであるが、天然ガスの可採年数も向こう60年である<sup>28)</sup>。2010年の発電量は見込まれているが、それ以降の増加は期待しない方がよい。可採年数がLNGに概ね等しいウランは燃料として再利用が可能であるが、LNGはその要件を持ち合わせていない。

### ② 石炭火力発電

石炭火力発電はわが国では蒸気機関車の排煙に象徴され、石炭に対するクリーンなイメージが一般には余り及んでないが、脱硫脱硝などの近代的な技術によってLNG火力発電と共に大勢を占めており、現在も建設が進んでいる。また石炭は可採埋蔵量が300年以上あり<sup>29)</sup>、将来の電気エネルギーをもたらす有力な燃料である。わが国の過去の石炭採掘が地下掘りで労働環境も決して芳しくなかった上に落盤事故も多発したので、品質の悪さも含めて石炭への一般

市民の印象は悪いが、現在は我が国で産出したのより良質の石炭を露天掘りしている友好国より輸入でき、社会的にも好ましい資源といえる。また火力発電全般に言えることであるが、公共事業規模でありながら需要地の近くに設置できる、即ち、送電損失軽減の大きなメリットがある。これを踏まえると将来の発電事業の大きな要となることは必須である。

石炭火力発電の設備容量の増加は1999年2488万kWから2010年に4410万kWと70%増設を見込んでいる。伴い出力は1999年1529億kWh(550PJ)から2010年2351億kWh(846PJ)を見込む。現在の154%であり、稼働率は10%減で運転に余裕を持たせたことになる。現時点で石炭火力発電程大きい増設見込みをもったものはない<sup>30)</sup>。基本的な技術の進歩、資源の埋蔵量を考慮すると2050年の時点での設備容量の多さは相当期待できる。単純に10年間に50%出力増と考えると次の40年、2050年には発電量は2050年の5倍となるが、篋棒なので高位推計値としよう。中位推計3倍、低位推計2倍とする。

## 3) 原子力発電

わが国の原子力発電は主に軽水炉(沸騰水型、加圧水型)で、平成13年度現在54基、4795万kWとなっている。1基当たりの出力は他の発電設備に比較して高く、設備効率が高いといえる。更に長期の点検期間を要するが、運転可能な時間に対する設備利用率が平均80%以上あり、他の発電方式に比べ結果的に設備効率が高いといえる。しかしながら厳しい安全のための規制が電力会社の積極的な建設意欲を失わせ、更に老朽化による点検項目増加、点検期間長期化が稼働率を低下させ、原子力発電システムを衰退させかねない。

ではあるが、化石燃料燃焼による二酸化炭素排出で引き起こされている地球温暖化対策、石油枯渇を踏まえ、わが国は原子力を推進させており、現在は全発電量の1/3以上を原子力発電が担っている。昨今様々な問題が起こっているが資源を持たないわが国では原子力を推進しなければエネルギー供給は間に合わない。

エネルギー供給の見通しは二酸化炭素排出削減の観点で2010年度に4800億kWh(1728PJ)を設定し、目標達成を目指している。そのための設備容量として7000万~6600万kWを見込むが増設16~20基必要とすると考えられている<sup>31)</sup>が、昨今の原子力発電所トラブルで足踏みしている。総合資源エネルギー調査会では1999年4492万kW設備、3165億kWh(1139PJ)の電力供給に対し、2010年は6185万kW設備、4186億kWh(1507PJ)の電力供給を見込んでいる<sup>26)</sup>。一方で原子力委員会は原子力開発長期計画(1994年)として2000年に4560万kW、2010年に7050万kW、2030年には1億kWの設備容量を示した<sup>32)</sup>。その後、2004年政府長期エネルギー需給見通しでは2010年までに4基運転開始1基廃止で略5000万kW設備、2030年で6基運転開始し、5800万kWとしている。これに相当する電力中央研究所の見解は2010年で5基運転開始1基廃止により5200万kW設備、2030年で11基運転開始で6600万kWとしている<sup>23)</sup>。何れにしる下方



修正となった。これらのペースで原子力発電所が建設されると2050年には政府筋6600万kW、電力中央研究所8000万kWとなる。政府案を中位、電中研案を高位とする。

前に再三述べているように資源であるウランの可採年数は現在確認されているもので向こう40年分、発見される見込みを含めて70年とされており、2050年の段階での可採年数は25年となり、現在の石油可採年数40年より逼迫していることになる。最終的にはプルサーマル方式や高速増殖炉に期待しなければならない。これらは昨今の原子力発電事業者の信用下落で足踏み状態であるが、大手の東京電力、関西電力に先立ち四国電力、九州電力で市民の理解を得る地道な努力の結果、プルサーマル方式が2010年の実現を目指し一歩踏み出そうとしている。

#### 4) 地熱発電

地熱発電は現在実用・供給段階にあるがその設備容量の総計は事業用14箇所自家用6箇所を合わせて535.25MWで、大型の発電機2基分相当である。例えば吉野川本川水力発電所で最大出力600MW、現在最大の奥多々良水力発電所は1932MWである。地熱発電所最大出力は東北電力柳津地熱発電所で65MWである<sup>33)</sup>。

地熱発電最大の特徴は世界有数の火山国であるわが国には膨大な地熱エネルギーが分布しており、運転経費が少ない。また燃焼を伴わないので地球環境にも優しいクリーンなエネルギーであることである。

地熱エネルギー資源賦存量は推定で、2000m以浅の浅部地熱系で2207万kW、2000m以深の深部地熱系で4723万kW、合計6930万kWとされている<sup>34)</sup>。柳津発電所1千箇所相当で現有設備容量の130倍である。

一方で掘削をはじめ建設に多大な経費がかかる上に運転開始までの期間が長い点がある。また多くの立地は国立公園や国定公園内にあり、厳しい開発規制がある。これを踏まえ平成14年度以降、大型開発は停止している。しかしながら、硫黄対策で設備の長寿命化をはかることや余剰熱の有効利用、効率の上昇を目指しバイナリーサイクルの実用化を進めている。また別なる改良型として高温岩体発電も候補で<sup>35)</sup>、電中研が実証に取組み始めた<sup>36)</sup>。

総合して将来に石油代替エネルギーとしての期待は大きくはないが原子力発電、水力発電に名を並べて長年の実績を築いている。地球温暖化ガスの排出がないこと、自然エネルギーの有効利用としての、また、需要地での供給の理念に基づき、綿々と実績を築いて行くであろう。

個々の発電量の増強とは別に、近い将来に迫っている石油枯渇に対して石油代替エネルギーの策定は必須である。

昭和55年度から始まった代替エネルギー対策推進を目的として「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律(代エネ法)」が制定され、開発推進が進められた。

平成22年度(2010年度)での石油代替エネルギーの供給目標は、

	石油換算万kl	PJ	%
原子力	9300	3599	28.1
石炭	11400	4412	34.4
天然ガス	8300	3212	25.1
水力	2000	774	6.0
地熱	100	39	0.3
その他	2000	774	6.0
計	33100	12810	

としている<sup>37)</sup>。この量は現在、発電に用いられる全資源9263PJ(2001年)の16.5%増<sup>38)</sup>以上である。石油火力発電を使わず需要を賄えることを予定している。

## 2 新しいエネルギーシステム

1977年には2010年の目標達成を目指し「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)」が制定された。ここでは新しいエネルギーシステムが具体的にあげられ、更に、技術開発、利用促進が文言に盛り込まれた。

### 1) 風力発電

風力発電は環境に優しく、クリーンであるゆえに将来のエネルギー供給のエースとされている。今日、毎日発行されている工業新聞ではメーカーの風力発電システム開発、もしくは受注記事の載らない日は無いほどである。設備容量、設備費、100kW級からという小形発電容量、600kWでは大型とされ、規模の要素から自治体規模で導入できるので普及が速いと読める。平成6年12月「新エネルギー大綱」では2000年度に2万kW、2010年に15万kWの導入を目指す<sup>39)</sup>としたが、それを遥かに凌いで平成15年度末で576基、46.3万kWだったものが平成16年度末では738基、68.4万kWと急速に増えている。それを踏まえ資源エネルギー庁は2010年に300万kW設備容量を目標とするとした<sup>40)</sup>。

しかしながら近年の電気供給の実績では、新エネルギーとして一括りされている。風力はエネルギー密度が低く、容量の割に設置場所の広さを要する。更に設置できる場所の制約を受ける。風向きに対してはわが国は変動が激しく、検知器を用い、羽根を風に直角に向ける機構を備えて対応できるが、定格出力をもたらす風速は大型風力で10m/秒前後で、いわゆる強風といわれる強さで大人が立っていると相当な抵抗となる速度である。また台風の暴風程の風速50~60m/秒で危険防止のためカットアウトしている。中型機で数m/秒にてカットイン、10数m/秒にて最高出力、24m/秒にてカットアウトである<sup>41)</sup>。これらの風速範囲で有効に運転できる地域は少ない。ここから洋上風力発電の有効性が出てくるが、現状では設備費が陸上のほぼ2倍必要とされている。最近では建設費軽減へ向け、大手プラント会社が新しい建設方式を提案し<sup>42)</sup>、コストばかりか建設期間の短縮をも図っている。

羽根は回転軸への荷重、風への強度を考慮し、プ

ラスティックを用いているが、日照、紫外線、時には潮を受けるので寿命が20年とされている。この羽根の寿命が風力発電設備の耐用年数を支配しているので、この材料開発が待たれる。羽根の材料問題解決如何によっては耐用年数増加をもたらす、コストの低減となり、大幅な風力発電設備増加に期待がもたれる。

別の解決すべき大きな課題としては騒音がある。これから設置場所の制限を持つが、適当な場所として国立公園、国定公園内が該当するので陸上では大幅な増設は困難である。解決策としてはやはり洋上風力発電が有力である。我が国は四方が海に囲まれているので設置の場は多い。

総合して現状では採算をとれる状況は少ないと考える。自治体なり、団体が環境に十分配慮していることの象徴としての有益性を付加することで価値を補っている。尤も前に述べたように設置箇所が増えれば、自ずとメンテナンス需要も増え、サービス需要が向上するので、正帰還がかかり、経費の低下に結び付く。

風力発電の効率は発電機効率、機械効率を含むと10～35%程度である。前述の設備容量に対して発電実績はというと、経済産業省で把握、公表している公共事業としての発電量は、新エネルギーのうち地熱発電のみが項目をもっているか、又は新エネルギーとして括られている状態で、今のところ風力はほとんど表に出てこない。しかし、述べてきたように一つ一つの問題解決は新エネルギーとしての足場を高め、大きな期待をもたらす。

数年前の発電システムは1基当たり500kW程度で、大型化を目指していた。これが瞬く間に我が国でも1000kWを超えるクラスが稼働し、今や3000kW級が当たり前である。また、各機械要素の改善、性能向上を平行して進めている。対風速50m/秒を80m/秒に、耐用年数20年を伸ばすことを目標にしている。平成6年12月閣議決定された新エネルギー導入大綱にて2000年度2万kW、2010年度15万kW導入を目指すこととされた<sup>39)</sup>。平成16年、経産省は2010年に発電出力を現在の4.4倍の300万kWに増やす、と発表した。他方設備に対し採算があまり採れないので、既に第三セクターに運営を移行したものや廃止したものもある。現に環境先進国として積極的に風力発電を導入したドイツでは廃業となったケースを毎日新聞(平成16年12月9日)が紹介している。運転効率を上げられる設置をしないと保守費用の捻出も難しい。コストが他の発電システムに比べ高いので政府が発電電力を積極的に買い上げる政策を行う必要がある。

実際に図5-1によると風力発電による供給電力は急速に増加している。もっともその殆どが自家消費であるが、余剰電力の電力会社による買い上げも増加している。この数年間の設備容量、発電量の増加の割合を考えると、2010年の行政側の目標として設定した全発電量の1%に対し達成率は高いと予想したいが0.5%である。一方で増加率の大きさ、不採算による廃止の可能性を考慮すると2050年での発電量を予想するのは難しい。少なくとも大規模な公

共レベルには及ばないが、設置地域の公共施設、法人規模の自家用補助電力供給をめざす方が賢明であろう。設備の急激な増加、稼働率を考慮して、全電力供給量の1%を見込む。ここでは設置した現地への供給として送電損失も少ない。

本考察を進めている間に、一部の公共電力業者で一般風力発電事業者から買い上げる電力量に限度が設けられている事実を踏まえ、風力発電導入に対し蓄電池設備併設が奨励されることになった。他の新エネルギー同様に風力発電はエネルギー密度が低いこと、安定定常供給が得られないことで、電力会社が積極的に買い上げられないでいる。そこで経済産業省が売電を行い得る業者に対し、電力安定供給を目指し蓄電池設備を併設させようとしている。蓄電池設備は概ね風力発電設備に等しい設備費を要する。従って現時点で風力発電設備増設に少々ブレーキがかかりそうである<sup>43)</sup>。尤も将来までには蓄電池の改良、コストダウンは図られるが、当面影響は残る。

最終的に2050年の時点で全電力供給量の2～3%供給を目標にした上で1%の供給はできると予想する。

## 2) 太陽光発電

未来エネルギーのエースとしての太陽光発電は石油代替エネルギーの必須条件である①環境負荷が小さい、②新規産業・雇用創出への寄与、③分散型エネルギーシステム、④電力の負荷平準化、をこなしている<sup>44)</sup>。前述の風力発電同様エネルギー資源は略無料で無尽蔵である。しかしながら風力以上に効率が悪く、単結晶シリコンで13～15%<sup>45)</sup>、又は単結晶シリコン30～35%、アモルファス25%、化合物半導体20～40%<sup>46)</sup>といわれている。現状では設備投資が大きいの、蓄電機能も無い。尤も逆に需要地に設備できるので送電損失を考えなくもよい点は大きな利点である。

原子炉1基(138万kW級)相当を太陽光設備で賄おうとすると山手線内の1.5倍の面積92km<sup>2</sup>を太陽電池で埋め尽くすことになる程の低効率は如何ともし難く、実験室レベルでは高水準とはいっても24%程度<sup>46)</sup>であり、それを実用として屋外に設置すると日照時間云々よりも風雨に因る表面の汚れが効率を下げている。又、表面反射光損失、生成キャリアのうち表面または電界での再接合により失われる損失、キャリアが光電池内部の再接合により失われる損失、太陽電池の内部抵抗による損失、太陽電池の解放起電力が光子のエネルギー以下のための損失<sup>46)</sup>等、高度な技術で解決しなければならない課題が多い。これがコスト高に併せて導入促進のブレーキの理由になっている。普及とコスト低減は正帰還現象であるのできっかけが得られれば促進できよう。

設置発電量では世界の45%という高い占有率もっている。世界の文化国家の中で低緯度にあり年間日照時間の長い利点を十分に活用すべきである。当面は「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」により補助金支給で普及に努めなければならない。その普及の効果として太陽電池製造コストは年々下がっている。経済産業省の「ニューサンシャイン計画」でも低コスト化は課題の一つに取り上げ

ている。しかし既に補助金打ち切りの方向で、国際的に市場占有率が下落し、伸びてきているドイツにトップの座を譲るのは目前である。

1974年:	20000 円/W
1980	5000~6000
1983	2000
1985	1200
1990	650
1992	600
2000	200
	(目標)

産業技術総合研究所では 2002 年の発電単価で 50 円/kWh、2010 年 23 円/kWh、2020 年 14 円/kWh、2030 年には色素等新材料によって 7 円/kWh と試算する<sup>47)</sup>。

すでに実用に入っているシリコン系に対し、結晶系は高効率で高価、アモルファス系は効率は低いが低廉という特徴を持つ。電池の種類はいくつかあるが夫々長短がある。低コスト化、高効率、高品質化を目指している。化合物半導体系は 35%を超える高効率を有し、一部では低コストと両立できるものもある。薄型多結晶電池は実用に近く、セルモジュールの低コスト化を進め、現在は当初 2/3 の市場占有率をもってアモルファスシリコンに代わり、全体の 2/3 のシェアを占めるほどになっている。アモルファス電池も大量・連続生産が可能という特徴を生かし、高品質化、高信頼性化、大面積化により低コストを目指している。色素増感型で高変換効率のものも進んでいる<sup>47)</sup>。

実際には次節で述べる太陽熱も需要が下がっており、伸びるべき太陽光発電は設置が遅々としていることと、電池の耐用年数が 5 年程度しかないこと<sup>48)</sup>、処理し難い電池ごみの急速な増加をもたらす。本節冒頭で述べたように効率の低さが、結局、公共電力として表に出ることを遮っている。少なくとも公共の電力供給には不向きである。理想をいえば将来は普及されるべきであるが容量が大きくないので家庭用として普及させていくのが好ましい。若しくは風力発電と組み合わせて離島の電力供給システム<sup>49)</sup>として提案されている。これの小型は既に公共施設に普及し始めている。2000 年の時点で我が国の生産量は 100MW に近付こうとしている。

### 3) 太陽熱利用

普及によってエネルギーシステムとして確立している、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の対象にはなっていない。太陽熱発電システムも原理的には可能であるが、エネルギー密度が稀薄なので有効利用するためには相当の検討をしなければならない。

### 4) 燃料電池

アメリカ宇宙開発用に開発、使用された燃料電池は我が国政府のムーンライト計画の下、化石燃料の高度利用が進められ、反応ガスとして水素ガス、一酸化炭素ガスがあげられる。その燃料として天然ガス、メタノール、ナフサ、水素が利用される。灯油

仕様も実証を目指している。またそのプロセスで原子力エネルギーを利用できる。研究開発段階はほぼ完了し、事業化を進める段階となっている。既存の火力発電所効率よりも凡そ 10% 高い効率をあげられるので火力発電の代替を目指しうる。

熱機関ではないので大量の冷却の問題が無く、二酸化炭素生成の問題も無い。需要地に分散して設置でき、直交変換器を介しているため短絡事故に際して容量制限をできる。

また、負荷応答性が良いのでピーク電力、瞬間予備電力として使える。

立地は広大な土地を必要としないので建設しやすく、工期も短いので商用に用いやすい。更にモジュール単位なので点検、交換が容易である<sup>50)</sup>。

大容量型と小型可搬型があり、多方面に利用できるのと、廃熱までも利用できる。最近では深夜電力を用い、逆変換を行うリチャージャブルも開発中である<sup>51)</sup>。

リン酸型燃料電池は作動温度は 200°C で低目で、効率が 35~45% であるが発熱反応であるので冷却を必要とする。ここから排熱を温水、蒸気として給湯、冷暖房に利用できる。オンサイト型、分散配置型として使用する。

熔融炭酸塩型は作動温度が 650°C と高く、発電効率も 45~60% と高い。この排熱はガスタービン、蒸気タービンに利用することで複合発電システムにできる。炭酸塩は腐食性が高いのでそれゆえ作動温度が高くなり、電池構成材料は制約が多くなる。また水素電極で発生した炭酸ガスを酸素電極へ循環する必要があり、システムが複雑化する。1000kW 級を目指している。

固体電解質型は作動温度が 1000°C と最も高く、発電効率も 45~60% と高い。熔融炭酸塩型同様にガスタービン、蒸気タービンに排熱を有効利用できる。高出力密度でコンパクト化が可能、電解密度も高い。大容量火力発電代替型で分散配置できる、燃料の内部改質が可能、とメリットが大きい。数 kW 級を目指している。

固体高分子型は作動温度が 80°C と低く、発電効率も 35~45% と低い。排熱は温水程度の利用である。しかし小型・軽量化が可能で、電解密度が高いので家庭用、自動車用に向いている。現状は 1kW 級から数 kW 級を目指している<sup>52)</sup>。

現在基礎技術確立の下、200kW 級の発電システムは実現しているが、将来に対し 1000kW 級の開発、信頼性の向上、コストの低減が当面の課題である。商用化が待たれるシステムで実現は近い。既に北海道から沖縄までの各地域で一戸建住宅、集合住宅、オフィスビル等で運転試験が行われている<sup>51)</sup>。さらに一般家庭や自動車に普及させる前提として電気事業法、消防法等関連法規による規制に対応する規制緩和案も具体性をもってきた<sup>53)</sup>。モジュールレベルでは開発研究は終了しているため高性能化、信頼性の向上を目指し、2050 年の段階では 1000kW 級がオンサイト型として普及していることと予想する。これらは集積型にすることにより、10~30MW クラスで火力発電

代替施設として機能し得る。

また、燃料ガス製造は現時点では様々な方式が開発されつつあるが、何れも確立一步手前である。試験段階で二酸化炭素を含む燃料をも適用できる結果がえられている<sup>54)</sup>。

現在は広く普及するにはなっていないが、様々な業界が得意分野を足掛かりに手掛けて開発を進めており、最も普及に近いシステムといえる。従って利点の多さから 2050 年時点では風力発電以上の大いに頼りになるシステムになろうから、風力発電のほぼ 2 倍の出力、全電力供給の 2%になると予想する。

#### 5) 廃棄物バイオマス発電

廃棄物はごみ焼却の際の廃熱の利用というエネルギー源である。発電過程としては燃焼系で火力発電等と同様の熱変換エネルギーとなる。しかしながら本家の火力発電は熱を発生した上で過熱蒸気でタービンを回すが、この廃棄物発電では焼却余熱の利用というレベルである。いわば燃料の代替である。それでも 1999 年度は新エネルギーのうちでは黒液・塵材等に次ぐ 98 万kWの設備で石油換算 120 万k1(46440TJ)の供給を行い、太陽熱よりも実績を上げている<sup>55)</sup>。

一方で熱源の安定供給、品質の均一さをもたないので公共の電力供給には些かパワー不足である。技術先進国、エネルギー先進国であるドイツでは既にエネルギー源供給の不安定さから運用困難となった施設もある。地域の公共施設の有効利用、環境問題の啓蒙、企業内ゼロエミッションの効用、がよい所である。生活地/需要地に分布という大きいメリットがある。

バイオマス発電は同様に有機物を有効利用しようというものである。セルロースの形で水素を取り出し、メタン生成時エネルギーとして取り出す。純度、抜きだしのプロセスが現状では開発途上で、効率の高い大規模な発電にはなりにくい。ただ再生可能エネルギーということで地球に優しい、とされ将来にはやはり企業内レベル、地球活性化目的で行われよう。

#### 6) プルサーマル

前に1節3)原子力でふれたように燃料の有効利用をプルトニウム混合燃料MOXを用いたプルサーマル発電が原子力発電の視野に入ってきた。プルサーマルは軽水炉をそのまま利用できる所以設備費というコストを増やさず且つ、核廃棄物の減量化もできる。2010 年までに全国で 16~18 基<sup>56)</sup>稼働を目標にしている。

燃料加工、使用済燃料再処理についても国内処理を図っていく。併せて使用済燃料貯蔵施設の必要性もあるが、政府方針として検討を進めているので、立地における社会的課題をクリアすることで実現は見える。少なくとも炉の増設が容易くないとしても既存軽水炉の一部として考える。従って、発電出力は既存施設容量に匹敵と読む。ここではプルサーマルは供給量増加には読まない。

#### 7) 石炭ガス炉

1960 年代にエネルギーの主座を石油に奪われて

以来、脚光を浴びなかつた石炭が石油枯渇を控え、再び高度利用されようとしている。原料の石炭は当面埋蔵量の心配はなく、賦存地域の分散性という好条件がある。石炭をクリーンに、より効果的に利用することとして石油に直に代替し得ること、価格の安定化等を目指し、液化、ガス化を進めている。

これを元に火力発電を行うことは容易に実用化しうる。当面の課題はほぼ解決して試験運転、運転研究段階である。発電過程に及べば既存技術を利用できるので実現は近い。

原料の石炭が廉価である事は採算性のメリットであるし、燃料電池への適用を踏まえ、水素ガスの原料として活用の幅が広い。しかしながら決定的には二酸化炭素発生を伴うので両刃の剣である。国家級の電力供給の主たるシステムには推せない。過渡期の代替として大いに貢献できる。

### 3 近未来に実現する大容量発電系

#### 1) 高速増殖炉

原子力先進国フランスを中心に技術的蓄積は略できてきているが、昨今の核拡散問題を始めとする社会的な原子力事情、エネルギー事情からフランスでは開発を中断している。わが国では 2030 年に技術の確立を目標としているが、「もんじゅ」事故で頓挫している。この様な現状で 2010 年頃までの目途の中には入っていないが、2030 年になると石油の枯渇が切実になるのでスポットライトを当てていくことになる。これらから推すと 2050 年の段階では実用の話はしにくいと予想されていた<sup>57)</sup>。

ところが京都議定書に参加を渋っているながらも、石油価格が安かった時期に石油依存度を挙げてしまい、今日、石油高騰の社会状況で原子力発電が再評価され始めた合衆国の大きな影響で、世界で原子力の復権の兆しがある。現に我が国では「もんじゅ」の運転が再開されることになった。大予算の投入が必要なので歩みは遅いが、将来のエネルギー供給の一翼となっていくであろう。

#### 2) 核融合発電

核融合は、提案され、物理的に原理が唱えられてから略半世紀経とうとしている。原理は単純明解で、原燃料の重水素は日本列島の回りにある海水から取り出せるので燃料の原料自体の原価は安く、抽出等加工賃が大きな燃料費である。設備費は現行の原子力発電を基本に算定できよう。

放射能汚染は、核分裂利用の現行原子力発電よりも遥かに少なく、国民生活への悪い影響は少ない。技術的には多くのそれが現原子力のノウハウを利用できる。尤も連鎖反応を起こしやすい原子力は押さえ付けるといふ制御に苦勞するが、核融合の場合は実現が困難の最中にあるが、連鎖反応を起こしにくいので実現さえすれば制御はし易い。

実現への道程は、実現に近い環状型のトカマクにおいて規模が要素となっているので、簡単ではない上に、現在の研究費は国家の経済状況では捻出しにくい。また、前に再三述べてきたように技術として

一つの問題を解決すると次の問題が立ち上がるという物理現象との競り合いを行っている状況である<sup>58)</sup>。

平成 17 年に ITER(国際熱核融合実験炉)の建設がフランス、カダラッシュに決まった。研究者が、一国の予算規模では賄えない大型装置に、国際レベルでの連携研究を行えるようになるので核融合実現が近付いたと期待できよう。

実現すれば他の新エネルギーに比べ大容量のエネルギーを取り出せるので電力事業に十分貢献できると考える。炉の規模としては技術の経験から現在の原子炉の規模を考えている。即ち数 10 万kWから 200 万kW級と考えるとよいだろう。従って本論文の設定時期の電力需要の多さから判断すると発電所数は現在の原子力発電所数よりも増えていく。燃料の自給率が高いことと、100 万kW級発電所の燃料の量は石炭 200 万トン、石油 130 万トン、原子力の酸化ウラン 30 トンと比べ重水素 0.6 トンで運転できるのでコストの点は現原子力発電の 1.5 倍～3 倍で済むとされている。この値はその時点での消費者物価指数の上昇を勘案すれば、さほど大きい数字とはいえない。また原理からベータ値が高いこと、つまりプラズマ密度が高いとコストは下がる。現在の原子力発電単価は他の発電システムに比べ安い<sup>59)</sup>ことを勘案すると核融合による電力は十分公共事業として成り立つと考える。

更にその次の段階として、より放射能汚染の少ない開放端型で核融合を実現すれば小型化でき需要地に設置できるという好条件が整う。これはトカマクのように重水素と三重水素の核反応で中性子を放出するのに比べ、実現は難しいが重水素同士の反応なので中性子放出が少なく、環境汚染はより少ない。技術的困難さはトカマクの経験が活かされて解決に至ろう。開放端型は更に便利なことに環状型のようにエネルギー変換効率の低い熱エネルギーを取り出すだけでなく、荷電粒子として取り出せるので、エネルギー変換効率の高い直接発電でシステム全体の効率 Q 値をあげることができる。

以上、述べてきたことを総合すると核融合発電が実現すると、現在の原子力発電が担ってきた量の電力供給は十分賄えると予想する。実際に本論の設定時期 2050 年の時点での核融合発電の実現の程度は、現状の予想では実証はクリアしていて原型炉になっていようか。恐らく商用炉の手前であろう。開発を急ぐ必要がある。

#### 4 ベストミックスへの見込み

我が国の将来の電力供給は今まで以上にシステムが多様化し、複合システムとなる。電気事業法の法改正があり、一般家庭でも発電システムを設備し、余剰電力を電力会社に買い上げてもらえるようになったので、顕著に供給システムが変わる。大きく分けて、公共の電力事業と自家用電力とが並立することになる。その点で多くの新エネルギーは自家用に用いられる可能性が大きい。

公共、自家用、いずれを問わず、ポイントとなるのは二酸化炭素の排出量で、地球環境を考慮しつつ性能を上げていかなければならない。

1) 近い将来の電力供給は、水力発電、LNG ガス火力発電、石炭火力発電、原子力発電、そして僅かの地熱発電、急成長の風力発電、そこへ燃料電池システムが大きく台頭すると予想する。ではあるが、最終的には化石燃料燃焼による電力供給はなくすことを念頭に置くべきである。

2) コストに関して発電原価は

$$\left( \text{資本} + \text{燃料費} + \text{運転維持費} \right) / \text{発電電力量}^{59)}$$

と表せる。従って既設設備は運転年数の設定が長期化していること、発電効率向上を考えると多少は低下する。又、輸入資源の価格変動、為替レートの変動は大きな前提であるが、諸物価も同様に変動するので国内経済規模では大幅な変動は考えられない。但し、新エネルギー開発にかかる費用が組み込まれることで、相対的に上昇しうる<sup>60)</sup>。

問題点としては、全体としてエネルギー転換時の発電効率の低さがある。現象の原理から本質に倣って画期的な改善は期待できないので、公共電力供給においてはどこまで地道に改良できるかがポイントになる。多くの発電システムに共通するのは送電効率の改善である。又、原子力の発電割合が大きい、例えば現在の原子力発電が抱えている不安は 2050 年の時点で解決しているとして、改良型であるプルサーマル方式、高速増殖炉での新たな問題が起こりうると予想する。

基本は前に再三述べた幾つかの方式の複合であるが、予備役としての設備をどの程度維持しなくてはならないかは試算できていない。いずれにしろエネルギー供給は国民の死活問題なので安全に、堅実に普及させなければならない。

3) 地球温暖化に対する二酸化炭素排出

京都議定書に示されている温室効果ガス削減努力をし、目標達成しているドイツ、イギリスが主導しているヨーロッパ諸国が全体で僅かでも排出を減らしている一方で、議定書に批准せず温室効果ガス排出を増加させている合衆国、オーストラリアばかりでなく、批准していながら増加の一途をたどるカナダ、努力が芳しくない我が国がある。それを踏まえたエネルギー後進国からの不満が重なり、今や二酸化炭素の温暖化論を否定する説も出ている。これに対し、一概にご破算にはできない。実際に二酸化炭素の増加と地球温暖化との因果を科学的に覆す立証はされていない。政策の長期的展望ではやはり二酸化炭素排出の増加を押さえなければならない。

日常生活に近いところで電気 1kWhの末端消費で 0.38kgのCO<sub>2</sub>を排出し、都市ガスでは 1m<sup>3</sup>につき 1.96kg、LPガス 1m<sup>3</sup>で 6.22kg、灯油 1リットルで 2.49kg、ガソリン 1リットルで 2.32kg排出している<sup>61)</sup>とされている。

各種発電システムの二酸化炭素排出量<sup>36)</sup>を下に示

す。

	g・c/kWh(炭素換算)
石炭	270
石油	200
天然ガス	178
タワー式太陽熱	58
海洋温度差	36
潮流	35
電気事業用太陽光	34
風力	33
海上式波力	25
家庭用太陽光	17
地熱	6
原子力(ガス拡散法)	6
水力	5
原子力(遠心分離法)	3

なお将来エネルギーの核融合は原子力とほぼ同等としておく。燃料電池システムは燃料に石油を起源とするものや、反応過程で二酸化炭素を生成するものもあり、二酸化炭素排出量は低くないとする。

これにより単純に、石炭火力発電を原子力発電(ガス拡散法、以下同じ)に置き換えると二酸化炭素排出はkWh当たり 264g・c(炭素換算)、968gCO<sub>2</sub>換算、の削減ができる。天然ガス火力発電は同様に172g炭素換算、631g二酸化炭素換算の排出削減、石油火力発電は194g炭素換算、711g二酸化炭素換算の排出削減ができる。

発効した京都議定書では、2012年までに1990年の地球温暖化ガス(CO<sub>2</sub>換算)排出量より5%以上の削減をするということで我が国は6%を設定している。

電力中央研究所試算では中成長として電力事業で原子力に燃料転換を進めてもエネルギー消費増加により2000~2030年度平均の二酸化炭素排出量は年率-0.1%で削減スピードは鈍い。産業の第3次産業化が大きい増加原因となっている<sup>60)</sup>。是が非とも化石燃料燃焼に頼らない電力供給が必要である。

## 第6章 将来のエネルギー供給

### 1 石油を何に置き換えられるか

大きな課題は化石燃料の燃焼によるエネルギーを減らさなければならないことである。また安全とエネルギーの使いやすさを考慮しエネルギーの電化を推進することである。図6-1に2001年の我が国のエネルギーバランス・フローを示す<sup>62)</sup>。ここで極めてショッキングなのは燃焼等の他のエネルギー転換プロセスと比べ発電系の効率の低さである。確かに電力事業は決して効率は高くはないが、他のプロセスの効率と比べると歴然とする。ボイラー系で考えると蒸気の変換効率88%、ボイラーの効率91%、及び他のシステムを含めここまでを総合して63%、発電時転換効率は40%に落ちてしまう。発電の損失が殆ど熱として放出されているとすると、環境対策も含め

電気事業に対する政策を大局的に捕らえなければならない。従って発電効率の高いシステムと需要地で発電できて送電損失の少ないシステムが大目標になる。

第5章1節で述べたように石油代替エネルギーは、個々のエネルギーシステムの増産で少しずつカバーしていこうとしているが、画期的な代替エネルギーが確立するまでは、この方法で行うしかない。平行して新システムの普及を図る。この可能性は燃料電池システムに近い。しかし根本的には化石燃料の高効率な使用にすぎない。さすれば原子力発電を進化させていくのが望ましい。

即ち、石油火力発電は高性能化した原子力発電に置き換えるべきと判断する。次いで、核融合発電が台頭すると予想する。核融合も当初は実現の比較的易しいトラス型によって行うがこれは火力発電同様に熱エネルギーとして取り出しているの、将来的には電磁エネルギーとして直かに取り出せる(直接変換システム)開放端型にシフトされるべきである。

### 2 何の様なシステムでどれ程のエネルギーを供給するか

京都議定書で表されている基準となる1990年の地球温暖化ガス(二酸化炭素換算)排出量は、ベストミックスで発電された電力量7376億kWh(2655PJ)に対し、それぞれのシステムでの二酸化炭素排出量を合計すると、92.4Mtの炭素分で二酸化炭素339Mtである。2012年までにこれの6%減を目指すとなると炭素分にて86.9Mt、二酸化炭素の形で318.5Mtが排出目標である。毎年の発電電力量は事実、増加しているの、この目標を達成するためには4章4節3)で述べた発電量当たり二酸化炭素排出量の多い化石燃料燃焼による火力発電は増やせない。現在、現実に石炭火力発電は増やしている。

1999年でも既に1990年に対し発電電力量25%増加、二酸化炭素排出は18%増である。この時の構成比は石油火力発電は実数、発電量全体における比率とも減っているが、石炭、LNG火力発電とも実数、比率が上昇している。いまこの1999年の発電量の9176億kWh(3303PJ)を全て原子力発電で賄うと仮定すると、炭素で5.5Mtの二酸化炭素排出で、軽く目標達成となるが非現実的である。凡そ二酸化炭素排出量平均値(1990年で125.3g・c/kWh)より低い発電システムに替えなければ実現できない。勿論公共電力として大量の電力供給ができなければならない。となると原子力発電で賄うしかない。

この先、2012年以降も二酸化炭素削減目標値を維持しなければならない、という前提で論を進めると相当根本的に組み合わせ比を変えなければならない。

4章で設定した2050年の電力供給量10000PJ(2780×10<sup>9</sup>kWh)を今まで述べてきた新エネルギー等の増設可能な量で置き換えてみる。現在では発電量の増加が期待されている石炭火力発電、増加しつつあるが2050年時点では枯渇が見えてくるLNG火力発電は



夫々25%ずつとする。原子力 30%、他に小容量で水力 6%、風力 1%、燃料電池 2%、地熱・太陽光 0.5%ずつとし、実現の可能性のある核融合 10%で二酸化炭素排出量を計算してみる。

	%	PJ	$\times 10^8 \text{g} \cdot \text{c}$
石炭	25	2500	1876500
LNG	25	2500	1237100
原子力	30	3000	50040
水力	6	600	8340
風力	1	100	9174
燃料電池	2	200	27800
二酸化炭素排出率 50 とした			
地熱	0.5	50	834
太陽光	0.5	50	4726
核融合	10	1000	16680
計	100	10000	3231194 (323Mt・c)

10000PJの電力量は  $2780 \times 10^9 \text{kWh}$  で 1990 年の発電量の 3.7 倍、二酸化炭素排出 3.5 倍である。この電力量も全て原子力で賄ったとすると炭素換算 16.7Mt であるので組み合わせによって 86.9Mt に収めることは可能である。

次なる仮定は総合資源エネルギー調査会需給部会報告書(平成 13 年 7 月)<sup>26)</sup> の 2010 年基準ケースのうちの基準設備による発電電力に上乘せすることで 2050 年の 10000PJ 実現を考える。

	億 kWh	億 $\text{g} \cdot \text{c}$
石炭	2351	634770
LNG	2341	416698
石油	383	76600
原子力	4186	25116
水力	966	4830
地熱	37	222
新エネルギー	29	986
太陽光相当で計算		
計	10293	1159222 (115.9Mt)

ここで既に 86.9Mt を 29Mt 超えている。電力量は目標の 37% である。京都議定書に拘ってベストミックスを考える。

本節最初に設定した 2050 年のうちの火力発電、原子力発電以外でその時点で確実に発電を行っているであろう計 10% の水力～新エネルギーの出力を原子力で賄うとする。10% 分 1000PJ にて炭素 5Mt に原子力 9000PJ 炭素 15Mt、計 10000PJ、炭素 20Mt となり、排出炭素量には相当の余裕があるが、原子力は現在の 8 倍で些か実現性に乏しい。

前の仮定に石炭火力を加え、残りに原子力を充当させる。

	億 kWh	億 $\text{g} \cdot \text{c}$
石炭	2351	634770

水力	1668	8340
風力	278	9174
燃料電池	556	27800
地熱	139	834
太陽光	139	4726
原子力	22669	136014
計	27800	821658 (82Mt)

これでも原子力の割合がまだ多いが、石炭火力が現在も増加していることと燃料の供給が当面安定していることを考慮し、現実性があると思えるので、基本モデルとする。この後、新しい発電システムが確立される際に、発電量当たりの二酸化炭素排出割合の低いものへ置き換えることで二酸化炭素排出量を押し下げられる。原子力発電量が現在の 7 倍という量については核融合発電に置き換えることで、燃料の供給、安全性等の問題を解決していく。核融合発電の実現が待たれる。

因みに京都議定書で提案された二酸化炭素排出削減目標値 86.9Mt 炭素相当を維持した上での、発電量増加に伴う発電システム構成割合を図 6-2 に示す。水力発電、及び新エネルギー分は 1000PJ 一定で化石燃料燃焼エネルギーを代表した石炭火力発電、原子力発電の割合を表わしている。総発電量で凡そ 9000PJ 以上の際は原子力発電が 80% を占め、変化率が小さくなり、著しい増減は見られなくなる。

今までに述べてきた既存の、そして新しい発電システム、それぞれの改良、開発、増設の実現性を考えると、水力発電は現在予想し得る開発分を十分利用し、更にプラスアルファを期待することで現在の 2 倍の出力ができよう。石炭・LNG 火力発電は設備・発電量の増加速度を考えると 2050 年には十分設備が整っていると予想する。更に石炭ガス化による開発が進んでいると十分予想できる。原子力発電は第 5 章 1 節で述べたように増設が叶っているであろう。プルサーマル方式、高速増殖炉が実用化していて効率を上げながら、安定した電力供給をしていると予想できる。以上、既存の発電施設は老朽化に対し、更新されているものとする。又、燃料電池の普及も大きいと予想できる。

ベース、ピークの分担は図 2-1 相当で、自流水力発電～制御し易いが反応を起こさせ難い核融合発電でベース供給、原子力発電～改良型石炭火力発電でベース～ミドル～ピーク供給、調整池式、貯水池式水力発電～揚水式発電でピーク供給を賄う。

## 第 7 章 結論

石油が枯渇し、核融合が実現している 2050 年のわが国の電力供給は、石炭が直接には代替エネルギーとなっていると予想できる。しかし、二酸化炭素排出による地球温暖化対策として化石燃料燃焼によるエネルギー事業は減らさなければならない。そこでエネルギーの電力供給の増加を見込む。エネルギー

を必要とする人口、必要電力量は、

人口	1 億人
電力量	10000 PJ

と予想する。

電力供給方式は、

水力発電、風力発電、燃料電池その他の新エネルギーで 10%、  
石炭を中心とした火力発電 10%、  
原子力発電 80%

というモデルを作った。原子力については順次、核融合発電へ置き換えると考え。2050 年以降は暫く核分裂である原子力と核融合が半々で 80%を担い、1 次エネルギー 25000PJ、電力供給 10000PJ を賄うという政策が推進されるのが望ましい。公共事業としての電力事業は設備投資が大きく、また建設期間が長い。従って行政は長期的展望を以て政策を進めなければならないと強く主張する。図 7-1 に電力の資源別供給を 1999 年実績、2010 年目標、2050 年の予想を示す。

また将来へ向けての開発として、三重水素・重水素によるトーラス型核融合からより安全な重水素・重水素による開放端型への置換推進をしなければならない。更に自家用発電システム、蓄電システムの普及も今まで以上に推進されるべきである。併せて電力への転換効率 40%の改善の努力、地球温暖化防止のため化石燃料の燃焼システムの削減、更には将来に向けた実現性のあるエネルギー政策を構築すべきである。

## 謝辞

本考察を作成するにあたり、懇切丁寧な指導を賜りました放送大学森谷正規教授に謹んで感謝の意を表します。核融合、原子力の情報についてお教え下さいました筑波大学三好昭一名誉教授に感謝します。原子力全般に亘り様々なコメントを下さいました筑波大学プラズマ研究センター市村真副センター長に感謝します。なお、石油に対する考え方については、出光興産故須磨正雄取締役の資料を参考にさせていただきましたことをここに記し、改めて感謝の意を表します。また本報告体裁につきましては筑波大学システム情報等支援室鈴木秀則技術専門官、山形朝義技術専門職員の協力を頂きましたことを記し、感謝します。

## 参考文献

緒言

1)厚生労働省:人口動態統計(2003. 6)

第 1 章

- 2) 日本工業新聞(2003. 3. 25)
- 3) 原子力文化財団:原子力文化(2001. 12)
- 4) 日本工業新聞(2003. 3. 27)
- 5) 総合エネルギー統計平成 14 年度(以下エネルギー統計と記す)6
- 6) 資源エネルギー年鑑 2003-2004(以下エネルギー年鑑と記す)43
- 7) エネルギー年鑑 513
- 8) エネルギー統計 438
- 9) 同上 105

第 2 章

- 10) エネルギー統計 8
- 11) エネルギー年鑑 522
- 12) 同上 526
- 13) 同上 519、ほか

第 4 章

- 14) 原子力文化(2002. 3)
- 15) 日本統計協会:現代日本の人口問題(平 7)2
- 16) 新聞各紙
- 17) 例えば共同通信系紙で平成 16 年 12 月 4 日記事
- 18) 現代日本の人口問題 2
- 19) 将来人口統計の視点 4、223
- 20) 電力中央研究所報告 Y03018(平 16)
- 21) エネルギー年鑑 41
- 22) 同上 554
- 23) 電力中央研究所報告 Y04015(平 17)
- 24) エネルギー統計 8、9

第 5 章

- 25) エネルギー年鑑 523
- 26) エネルギー統計 526、エネルギー年鑑 513
- 27) エネルギー年鑑 524
- 28) 日刊工業新聞社山崎耕造プラズマの本 110  
エネルギー統計 514
- 29) 一説には 200 年といわれている  
エネルギー統計 514
- 30) エネルギー統計 526、527
- 31) エネルギー年鑑 514-519
- 32) エネルギー年鑑 629
- 33) 同上 196
- 34) 同上 195
- 35) 日本工業新聞平成 16 年 8 月 14 日
- 36) エネルギー通信 1005 号(平成 15 年 8 月 1 日)
- 37) エネルギー年鑑 120、エネルギー統計 529
- 38) 本論文第 4 章 2 節
- 39) エネルギー年鑑 202
- 40) 同上 124
- 41) 吉岡風力発電所パンフレット
- 42) エネルギー通信 1008 号(平成 15 年 9 月 19 日)
- 43) 毎日新聞平成 17 年 10 月 3 日
- 44) エネルギー年鑑 143
- 45) 財団法人社会経済生産性本部の見解、及びエネルギー年鑑 145
- 46) エネルギー年鑑 183
- 47) エネルギー通信 1048 号(平成 17 年 4 月 22 日)
- 48) 日本工業新聞平成 16 年 7 月 22 日
- 49) エネルギー年鑑 186
- 50) 同上 209
- 51) エネルギー通信 1031 号(平成 16 年 8 月 27 日)
- 52) エネルギー年鑑 210

- 53) エネルギー通信 1027 号(平成 16 年 6 月 25 日)
- 54) 同上 1033 号(平成 16 年 9 月 24 日)
- 55) エネルギー年鑑 139
- 56) 同上 644
- 57) 同上 648
- 58) 三好: ミラー型核融合装置、プラズマ・核融合学会誌、等
- 59) エネルギー統計 532
- 60) 電中研報告 Y04015
- 61) 東京電力顧客用資料

## 第 6 章

- 62) エネルギー統計 8

## 図

- 1-1 主要エネルギー消費国の国別資源構成比
- 1-2 部門別最終エネルギー消費の推移
- 2-1 わが国の一日当たりの時間帯電力供給
- 4-1 わが国の人口推移(長期)
- 4-2 わが国の人口推移(短期)
- 4-3 合計特殊出生率の年次推移(長期)
- 4-4 合計特殊出生率の年次推移(短期)
- 4-5 人口ピラミッド
- 4-6 出生数、死亡数、自然増数、中位推計
- 4-7 出生率、死亡率、自然増加率、中位推計
- 4-8 年齢別ピラミッド、中位推計
- 4-9 1 人当たり消費エネルギーの変動
- 5-1 風力発電による電力供給推移
- 6-1 平成 13 年度の我が国のエネルギーバランス・フロー
- 6-2 二酸化炭素排出削減目標値に対する発電システム割合
- 7-1 電力供給量と資源別割合

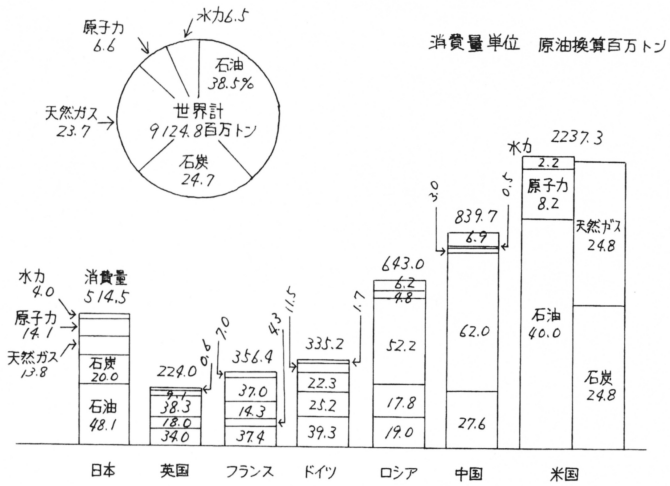


図1-1 主要エネルギー消費国の国別資源構成比 [%]

出典 日本工業新聞

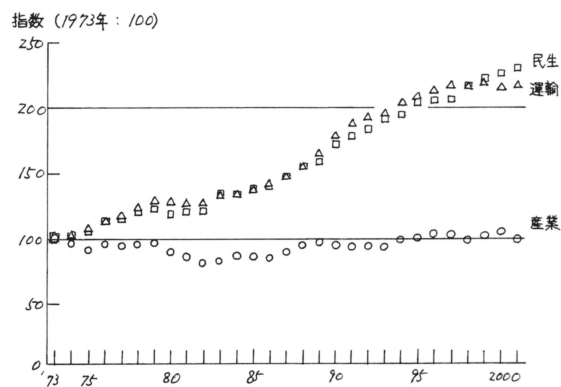


図1-2 部門別最終エネルギー消費の推移

出典: ENERGY 2003-4  
資源エネルギー年鑑

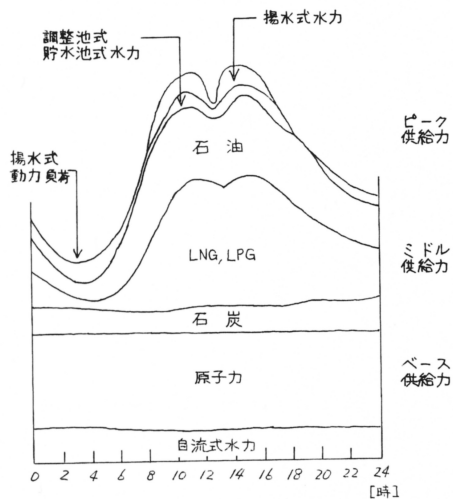


図2-1 わが国の一日当たりの時間帯電力供給

出典 各種電力資料

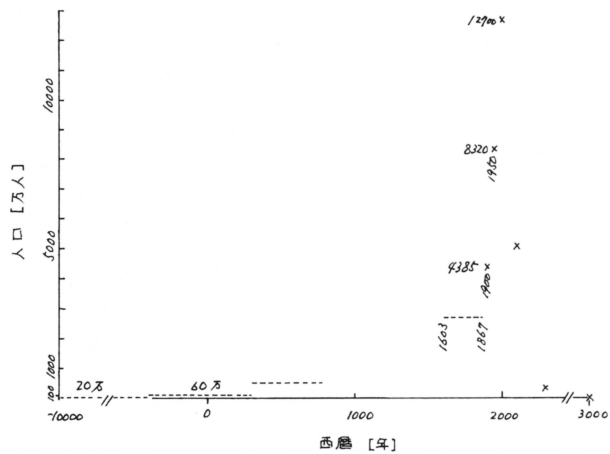
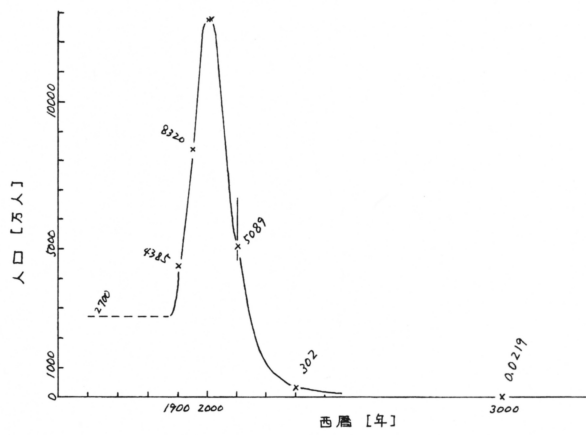


図4-1 わが国の人口推移(長期)

参照資料 原子力文化 (2002. 3)

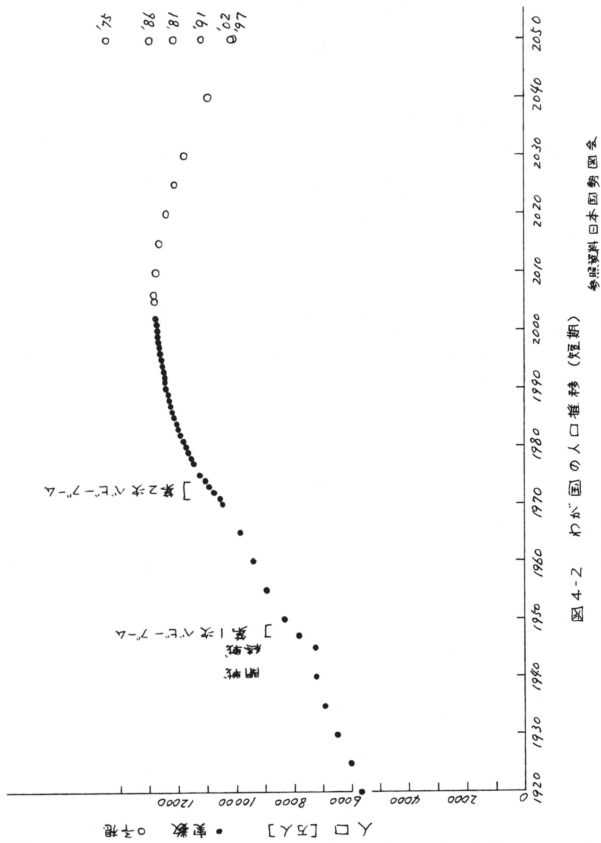


図4-2 わが国の人口推移(短期) 参照資料 日本国勢調査

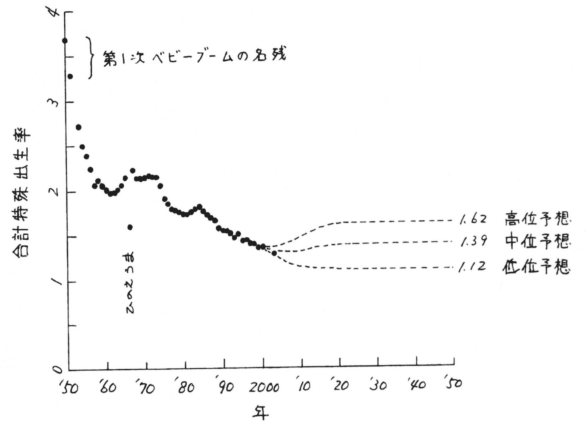


図4-3 合計特殊出生率の年次推移(長期)

出典 将来人口推計の視点 (H14.8) 2004年新聞各紙

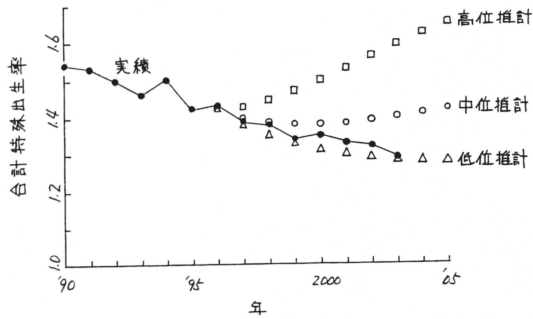


図4-4 合計特殊出生率の年次推移(短期)

出典 将来推計人口の視点 参照資料 日本国勢調査 新聞各紙(2004)

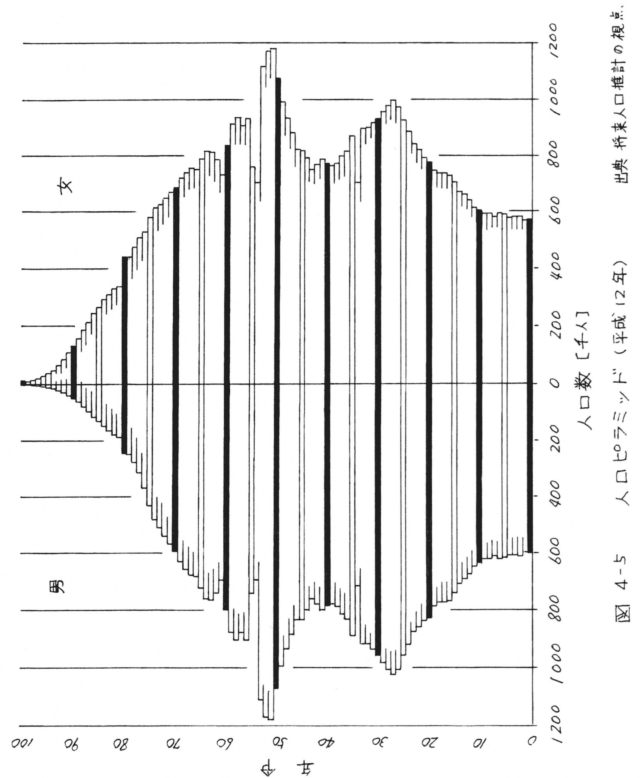


図4-5 人口ピラミッド(平成12年) 出典 将来人口推計の視点

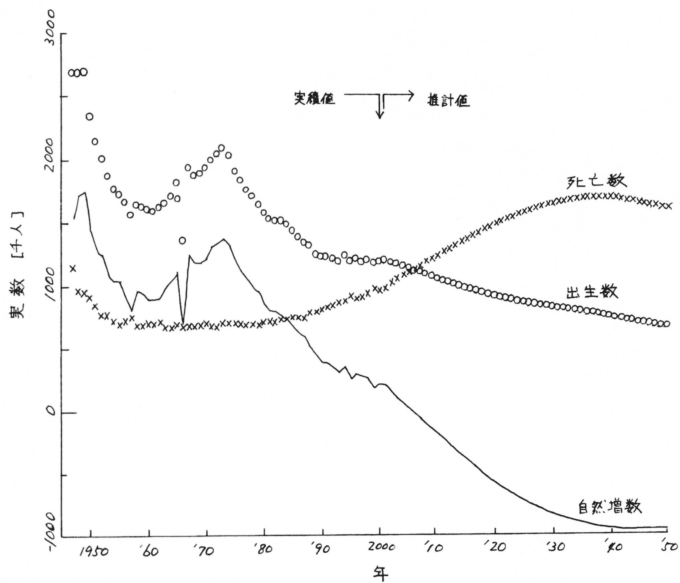


図4-6 出生数、死亡数、自然増数、中位推計

出典 将来人口推計の視点。

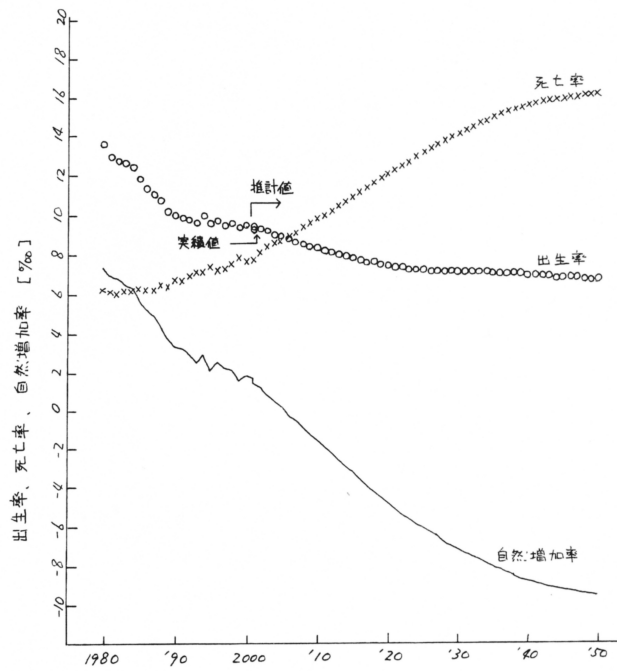


図4-7 出生率、死亡率、自然増加率、中位推計

参照資料 日本国勢調査  
出典 将来人口推計の視点。

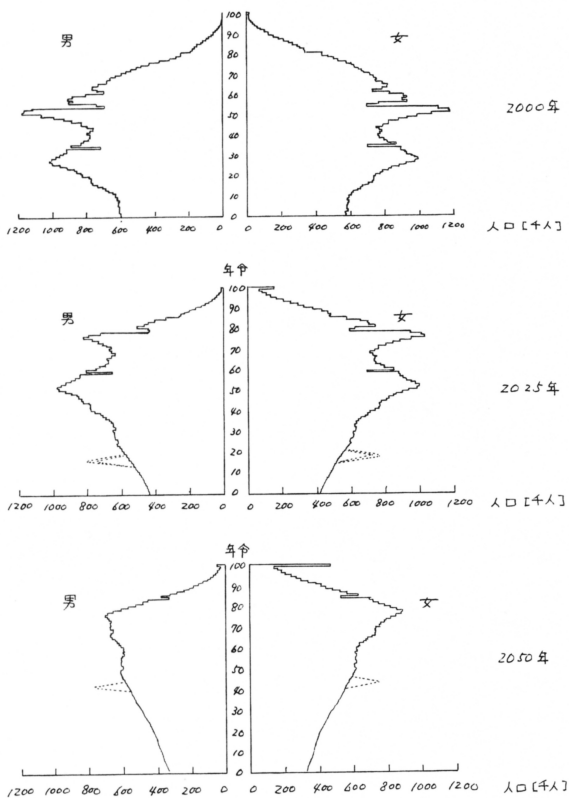


図4-8 年齢別ピラミッド 中位推計

出典 将来人口推計の視点。

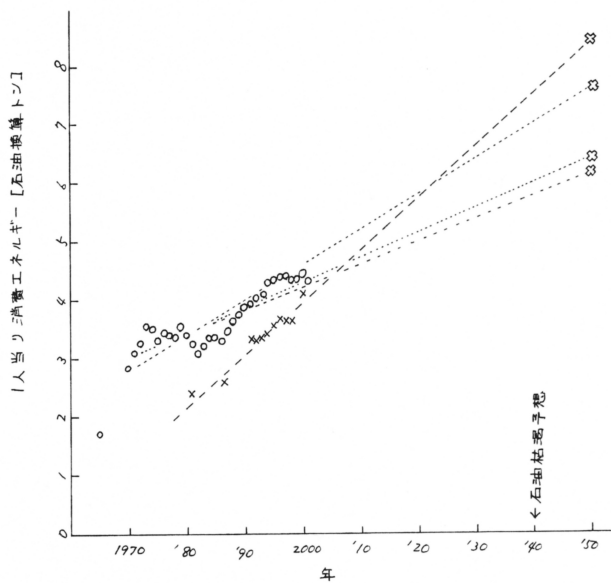


図4-9 1人当たり消費エネルギーの変動

参照資料 総合エネルギー統計 ○印  
日本国勢調査 ×印



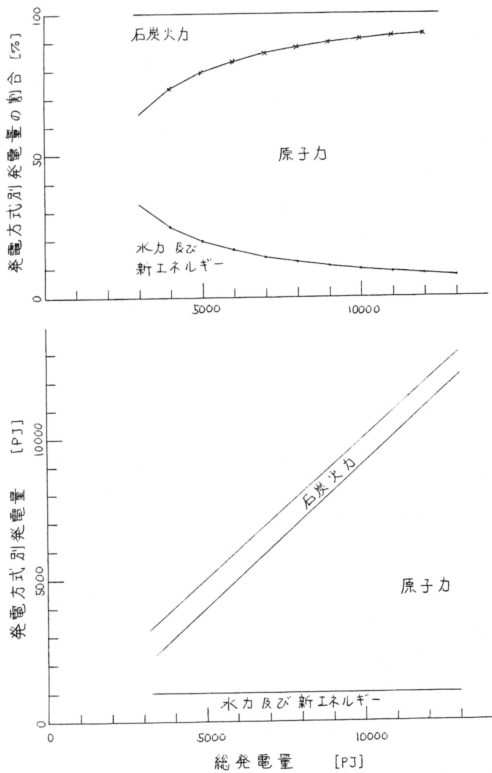


図6-2 二酸化炭素排出削減目標値に対する発電システム割合

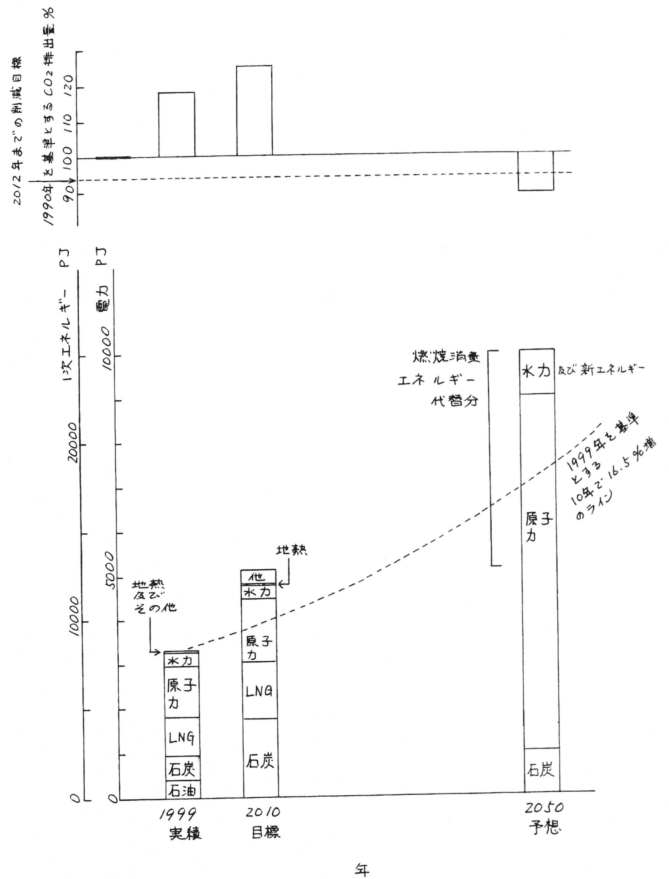


図7-1 電力供給量と電源別割合

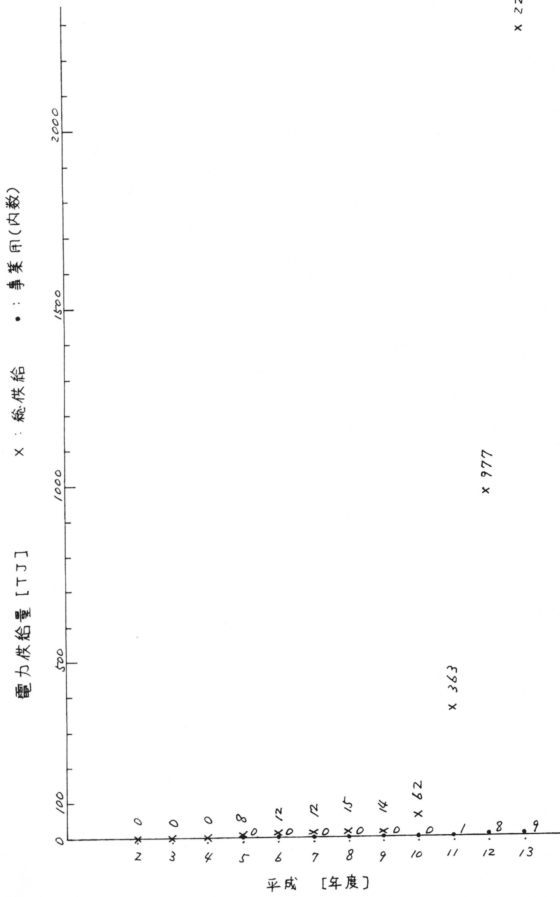


図5-1 風力発電による電力供給推移 電力供給総計

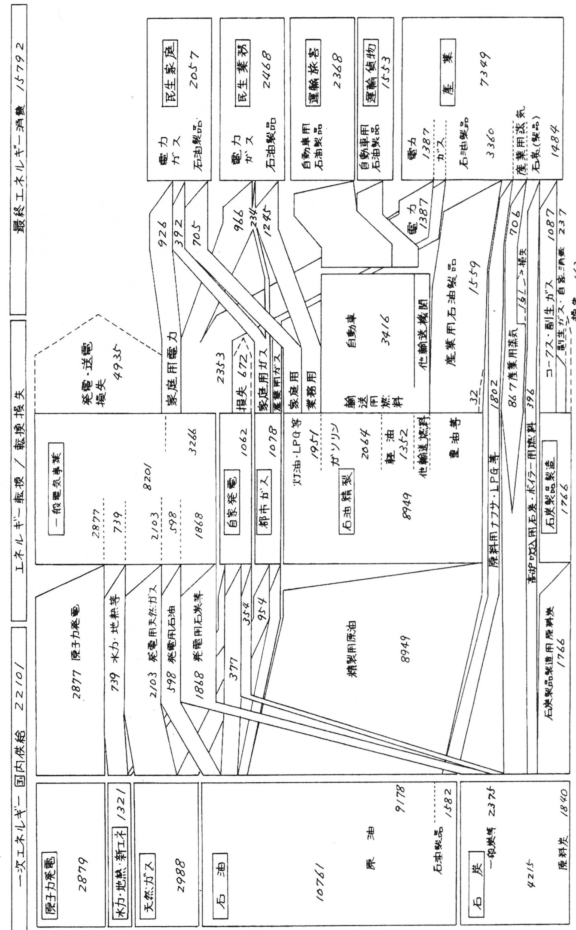


図6-1 平成13年度(2001年度)の電力供給のエネルギーバランス、フロー 単位[PJ]