

エネルギーと原子力 その3

高 橋 実

〔要旨〕

第8章に述べられている技術システムは、原子力エネルギーを結局は“人工ガソリン”に変えることによって、現在主として石油および天然ガスによって支えられている経済先進国の GNP システムや世界全体の GWP システム (Gross World Product System) に対するポスト・オイル・エージの燃料供給手段にしようとするものである。

産業構造（あるいは、トータルの附加価値システムの構造）の方を、燃料形態やエネルギー形態に合致させるように、その構造を変えようとしたり、また、構造が変わってゆくことを期待したりするよりも、エネルギー形態あるいは燃料形態の方を、産業構造や附加価値システムの構造に合致するように、変換させてゆく方が、遙かに早く、かつ容易に出来る。産業構造の方を変えようとするのは、恐らく 100 倍も難かしいことであり、時間もかかる。その間に、エネルギー危機と言うよりはもっと規模の大きな、世界全体の経済への危機と言うべきものが、先に襲って来ると考えられる。

石油および天然ガスを使っている現在の附加価値システムは、‘unreplaceable’（代替不可能、電力によって置換することが不可能）なものであって、かつての‘replaceable’（代替可能）であった石炭中心のシステムとは異った対策が必要である。また、この‘unreplaceable’なシステムにおいて、石油の埋蔵量の観点から、いろいろな限界が出てくることが予想されるということは、極めて重大な事態と解釈すべきであり、それを単なる資源問題あるいは単なるエネルギー問題として考えることは誤りである。それは人類の経済それ自体の問題である。

原子力は 1 次エネルギーとしては豊富であるが、それを電力に変えているだけでは不十分であり、急いで、これを更に‘人工ガソリン’に変えるという戦略の検討に、直ちに取りかかるべきである。とくに日本において、然りである。

全く新しいエネルギー構造論によるトータル・システムの図解が第 VIII—1 図に示してある。

このトータル・システムでは、原子力のエネルギーは直接に熱化学反応を利用して水素に変えるか、または原子力を一度電力にしてから再び水素にするか、いずれの方法によるにしろ、その大部分を水素の生産のために使う。生産された水素の主要な部分は、‘人工ガソリン’を製造するプラントの方に送られる。他の水素は直接 製鉄その他の重工業プラントに送られ、還元材等として使用される。水素の更に他の残りは、酸水素ジェットのような動力機関を開発することによって、従来のオイル・システムに置換できるような輸送・交通システムのために使い得るようにする。

‘人工ガソリン’を製造するためのシステムの最も重要な機能は 2 つある。1 つは勿論‘人工ガソリン’を合成するためのプラントであるが、他の 1 つは炭素という原料材料を大量に調達することを可能にするシステムである。炭素は、膨大な消費量に達すると予測される‘人工ガソリン’をつくるためには、不可欠な要素であるにもかかわらず、我々の容易に入手しうる範囲内には炭素は極めて僅かしか存在せず、殆ど唯一の大量の供給源は CO₂（炭酸ガス）である。そうして CO₂ は化学燃料を使った発電所から大量に放出される。そこで新しいトータル・システムでは CO₂ を全回収する‘無公害火力発電’のシステムが考えられ、石炭・石油・天然ガス等の燃料はこの無公害火力発電所に入れ

られ、電力を生産すると同時に大量の炭酸ガスを製造する。炭酸ガスは固体の形、すなわちドライ・アイス形で送り出される。

水素を生産するシステムから来た H と、無公害発電所から来た CO₂ とは、一緒に‘人工ガソリン’を生産するシステムに入れられ、人工ガソリンを生産する。このシステムの意義は種々に解釈される。或る意味では水素のエネルギーが炭素で固定されて、遙かに使い易い形にされたものである。他の解釈では、CO₂ が H によって還元され、人工ガソリンを生んだのである。

人工ガソリンの生成量は、化学当量から計算すると、無公害火力発電に使った燃料が石油または人工ガソリンである場合、その消費量とほぼ等量を新しく生産する。この場合、CO₂ は減らないで、一種の触媒のような役目をする。人工ガソリンを使った無公害火力発電所は、結局水素を消費することによって（化石燃料を消費することなしに）火力発電を続けることができる。

石炭を炭素の供給源として使う場合、1分子の CO₂ から、それに C（炭素）を加えて2分子の CO（一酸化炭素）が出来るので、結局1分子の CO₂ から2分子の‘人工ガソリン’をつくることのできる。従って同一の化学プロセスに対して、2倍の率で人工ガソリンが得られる。水素はもちろん、それだけ多く要することは当然である。人工ガソリンシステムでは、炭素を得ることがどのような分子形態においてもせよ、先決である。水素の供給源は無尽蔵である。

石油よりも遙かに埋蔵量が多く、可採埋蔵量も従って多いうえに、炭素の含有量も多い石炭が人工ガソリンに転換し得れば、‘置替不可能’な自動車・航空機等を軸にした GWP システムの部分に起って来る危機は、遙かに遠ざけられ、それだけ充分な余裕をもって巨大な附加価値システムの構造的な転換に取り組むことができる。なお、このトータル・システムは、水素生産システムを含め、全部を完全に無公害のシステムにすることができる。但し、温排水は残る。

VIII 燃料産業への大回転の考え方

VIII-1 構造論への序説——“人工ガソリン”の考え方

- 1.1 緒言
- 1.2 世界の巨大な経済危機（エネルギー危機ではない）
- 1.3 大きな転回
- 1.4 原子力システムの更に一層の拡大

1.5 高い速度の建設

1.6 その他のコメント

VIII-2 新エネルギー構造論におけるトータルシステム

- 2.1 トータルシステムの図解
- 2.2 全体のシステムの構成（第 VIII-1 図）
- 2.3 資源論から見た評価

VIII 燃料産業への大回転の考え方

本章では原子力と化石燃料資源の使い方に関する、新しいトータル・システムを読者に提示したい。本章のあと第9章に予定している「人類のエネルギー問題」において GWP (Gross World Product) システムに必要な総材料・総資源を踏まえた上での (GWP システムの) 極限と構造の分析に入り、次いで「世界社会のエネルギー問題」という章（第10章の予定）で、各国・各民族の具体的な経済・資源・エネルギー

一等の均衡を分析し、そこではじめて日本の未来の可能性に関する諸数値を出すことができると考えている。

本章に述べる技術システムは、原子力エネルギーを結局は“人工ガソリン”に変える——そのようにして、現在の附加価値システムの成長や needs の増大に対応する——というシステムを主戦略にしたものである。なぜ、そのようにするのがよいか？——と言う種類の考え方の検討経過を最初に述べ、次に技術システムを説明するとともに、これらの技術システムを全体

として成立させるために必要な要素的技術戦略について、恐らく読者が意想外とされるような技術システムの出現と、その可能性予想について、報告することになる。

VIII-1: 構造論への序説——“人工ガソリン”の考え方

1.1 緒言

“人工ガソリン”という考え方は、第7章（前回記載）に現れた考え方と、第9章に現れてくる考え方との中間にある大きな燃料変換戦略に関するものである。第7章の考え方は“現在の世界の附加価値体系の75%から80%ぐらいまでが、石油及び天然ガスシステムのエネルギーで支持されているのみならず、此の傾向は将来もますます強まる。”ということを中心に検討した。第9章では、この天然に得られるエネルギーが枯渇した後でもなお、不断に成長を続ける巨大な世界のGWPシステムを、どのようなエネルギー構造で、またどのような産業構造で、支持し得るのか、その基本戦略を述べることになる。ところで、第9章で検討するつもり産業構造は、現在の産業構造とは逐次に変ったものとなってゆくと考えられるが、実はこの産業構造なるものは一種の巨大な生物（イキもの）と考えてよいものであり、そう短期間に（20年や30年のうちに）勝手に変化させ得るものではない。GNPシステムやGWPシステムのサイズが巨大化すれば、なおさらのことである。現在の産業構造（或は附加価値体系）が半世紀や1世紀で簡単に死ぬものでもない。そこで、産業構造を変化させようとするよりも（それは実際には不可能に近いことを考えて）エネルギーの構造の方を変化させよう——という考え方が生じる。すなわち、原子力という1

次エネルギーを、電力にしないで、或は電力にした後で更に、人工ガソリンに変換させてしまおうという考え方である。ここで、以下にのべるのは、此のような考え方を理論的に（技術的評価を含めて）整理したものと思って頂きたいのである。“人工ガソリン”と言う言葉は、後のパラグラフで紹介する日本原子力産業会議の原子動力研究会の年会で、1973年9月、筆者が始めて公開の席で使った言葉である。いわゆる応用化学の専門家の意見も聞いた上でのことであるが、これは1つの新しい概念であろうという見解であった。勿論ずっと将来のこと——たとえば1世紀くらい先になれば、遂には産業構造も変ってゆくが、ここで（第8章で）述べる考え方は（現在の産業構造を変えないままで）、およそ来世紀一杯ぐらいは通用する（註：通用するとは、量的に可能の意である）考え方と見ておいて頂きたい。再来世紀（22世紀）ぐらいになると、主として材料面からの理由によるが、この（第8章の）戦略と雖も通用しなくなるという見通しがある。その辺の事情の詳しい分析は第9章で述べる。いずれにしても、この第8章は、来世紀の前半の世界経済を支える主力戦略となりそうなものなのであって、この主たる期間に至るまでの間（すなわち現在から今世紀末まで）に、その転回への準備期間があり、そして、この主たる期間の後半（2051年～2100年）はこの主力戦略が、やはり飽和（行き詰まり）に近づく期間そして、もう一段と新しい、徹底した戦略が逐次に出てくる期間——と見ているわけである。

1.2 世界の巨大な経済危機（エネルギー危機ではない）

1973年9月5日と6日の両日に、日本原子力産業会議の原子動力研究会の年会有り、その

6日に筆者が前後約1時間半にわたって、エネルギーと産業構造に関する講演をした。それは、“Atoms in Japan”（注：原子力産業会議の英文月刊公報誌：海外および国内の原子力関係諸団体、諸関連機関等に配布されている）に要約掲載されている。それは英文であるが、筆者の述べた所を、よく要約していると思うので、この英文を再度和訳した形で次に記載する（後述の「 」の部分）。石油の枯渇問題の本質は、資源の危機というよりは、むしろ世界の（或は人類の、と言ってもよい）経済の危機につながる、という考え方は、この論文の第7章（前回）にもちょっと述べたところである（No. 3, p. 22）。次に記載する要約も、この点を強調したものであるが、その主旨は（世界経済の）危機を強調して何かの脅しをかけるような積りでは毛頭なく、逆に、後に出てくる技術的な対策の方の重要性を浮き上らせるのが目的であり、そのための前段の行為なのである。資源の枯渇を（資源屋さんだけの問題ではなく）民族の経済問題として考えて貰いたいと同様に、それへの対策技術もまた（技術屋の技術開発論にだけ任しておかないで）、経済問題として考えて貰いたい——というにある。

〔原産（原動研）での講演要約（“Atoms in Japan” Sept. 1973, Vol. 17 No. 9）〕

「もしも我々が世界の総エネルギー・システムを維持するための適切な全く新しい戦略を求めることに無関心のままであり続けているならば、来るべき2~30年のうちに我々を襲うのは、エネルギー危機などというよりはもっと巨大な、世界的な範囲で起る極めて規模の大きな経済危機である——という警告を高橋氏は述べているが、その論点は次のとおりである。

1. 原子力を世界の総エネルギー・システム

への救世主にしようとして原子力にかかざらわっている人々が、いま行っていることは、原子力で電力を起すことであり、これさえやって居れば、すべてはうまく行くと思っただけに見える。原子力政策は原子力発電に主力が注がれている。だが、それで万事が終りなのではない。実際のところ、今日の巨大なGNPシステムを支えている総エネルギーシステムの中で、電気の形で需要されるエネルギーは、ほんの僅かな、小さな部分を占めているだけである。

2. 世界の巨大なGWPシステム——すなわち各国や各民族のGNPシステムを全部一緒に考えたもの——は、その大部分が石油と天然ガスで養われている。僅かに10%が電力の形でエネルギーを求めているだけである。日本は以前から電力の供給に長い年月の間、大きな努力を払ってきた国であるが、それですら、巨大なGNPを支える総エネルギーの中で、電力は20%にしかなっていないのである。日本のGNPのおよそ70%かまたはそれ以上が、今後の何十年にも亘って、石油でまかなわれることになろう。そうして、この20%という比率は、今後、殆んど変ることはないのではないか、と思われる。

3. いまや龍大なサイズ（総需要量）になってきた世界の石油は年率6%という早さで、ますます大きくなりつつある。この勢いはしかし、1990年から2000年にかけての間に、少しずつ継続的に騰勢が減じてゆき、次いで年産量の増加率がゼロになり（供給力の絶対値は、この時極大になる）、それから漸減の道をたどる。そして、21世紀を通じて、この供給力は次第に衰え、微

弱なものとなってゆくであろう。人類が地下から実際に取り出し得た窮極の総量が結局（結果論的に）1兆トン（累積採掘量）であったとした場合の試算によると、最大の年間産出量 140 億トン/年の年は 2010 年に来る。そして、その場合、供給力の絶対値における最大の年間減少率 1.8 億トン/年/年 という減り方が 2015 年におこる。これらの試算での石油エネルギーは 6,848 kcal/kg の石炭に換算して、そのトン数で示してある。そうして既出の 1.8 億トン/年/年 という減少速度は、ほぼ 1 億 kW/年 に等しいので、総エネルギーへの寄与の観点からは、1 年間に 1 億 kW の発電所が廃止され（供給力を喪失した）のと同じことである。また、石油の最大供給力 140 億トン/年（既出）は、電力に換算評価すればおよそ 80 億 kW にあたる。

4. 80 億キロワットの発電力（前項）が、140 億トン/年の石油の供給力に、現実的に代替され得る——と考えるのは、間違った考え方なのである。それは実際には、錯覚なのである。この間違い（錯覚）は、恐らく、今から約 20 年前に、石炭のエネルギーが電力で置換できると考えたことから、尾を引いて来ているのであると思われる。20 年前のその当時においては、世界の諸民族の GNP システムを支えるエネルギーの大部分は石炭であった。そうして、石炭なら電力で置換できると考えられたのである。例えば蒸気機関車と鉄道とで造られた輸送・交通のシステムは、電気機関車で置き換えることが可能であった。その他の多くの、石炭を使ったシステムも殆んど電力で置換することが可能であったのであ

る。しかしながら、石油をベースにして造られつつある巨大な GWP システムは、電力をもって置換すること不可能なのである。それは“unreplaceable”なシステムなのである。自動車にモーター（電動機）を載せ、長い長い電線をオシリに引っ張って発電所と結びつけながら、自由自在に走り廻らせる（run about）ことは不可能である。航空機を発電所に電線で結び、それで空を飛ばせることも出来ない。今日の人類の巨大な GWP システムなるものは、代替不可能であるところの石油システムで養われており、石油でもって生きている（石油を常食としている。living on）。そうしてこの代替不可能なシステムが、かつての代替可能であったシステム（註：石炭システムを指す）とは似ざる姿で遙かにそれよりも大きい巨大なシステムへと成長しつつある。

5. 現在の此の代替不可能な石油ベースの GWP システムに、世界の石油埋蔵量（或は、地球の埋蔵量）という点から、繁栄の限界（どこまで繁栄できるか）と時間のリミット（何時まで繁栄が続けられるか）があることは、極めて重大である。

石油を供給（する）システムの、それが年産において最大のピークに達する時期の前後における挙動（behaviour）は誠にドラスティック（激烈）である。それは資源システムの問題ではない。それは人類の経済それ自体の問題である。ハイポセティカル（仮設的）な 1 つの例（それは、実際には、在らしめてはいけぬケースであるが）についての試算結果は、石油の年産の急激な減少によって引き起されるところ

の、GWP システムへのドラスティックなショックの大きさを、数字でもって示している。

いま仮りに石油が（将来の或る時点で）200 億トン/年の速度で使われているとしよう。そうして地下にはその時なお 3,000 億トンの石油が（実際に確かに使い得る数量として）残されているとしよう。この状態から石油の年産量が減ってゆくケースと考える。この埋蔵システムの半減期 (half-life) を 15 年とすると、その減少率は年間約 5% となる。200 億トン/年 に対しての 5% は 1 年に 10 億トンであり、年産量にして 10 億トン/年の分が 1 年で減少する。すなわち 10 億トン/年/年 である。此の減少速度を GWP システムの数値になおすと、1969 年のドル価格で計算して 4,250 億ドル/年/年に相当する（註：石炭採算 200 億トン/年の GWP システムは 7.44 兆ドル 第七章 VII-2 表参照。石炭換算は 6,848 kcal/kg）。すなわち GWP は 1 年間に 4,250 億ドルも減少するのである。勿論、このようなドラスティックなショックは、それを在らしめざるように、注意ぶかくコントロール（制御）されねばならぬものである。

6. 原子力エネルギーに立ちかえろう。それは嘗つて“ポスト・オイル”時代の全エネルギーを支え得ると考えられたものである。たしかに、原子力エネルギーは無際限に近いほど豊富で、石炭換算にして 1.5 兆トン/年 という供給力（註：太陽輻射=地球に与えられる分=の 1%）にも楽々と堪えうる。しかしながら、その原子力エネルギーは今のままでは、すなわち、それを電力に変えることだけに汲々としているままでは、急

速に絶えまなく、いつまでも成長してゆくとする GWP システムにおいて、石油の後を継ぐことは、まったく不可能なのである。

7. 多くの人々は次のように考えているかもしれない。すなわち、世界の GWP システムそのものが変わるのである——いや、変らざるを得ないのである——と。そうして、それを、電力で養うことが出来るようなシステムに造り変えるコースを考えればよいのである、と。しかし、このコースはいま 1 つのコースよりも、実際に困難である。多分、100 倍も困難である。そうしてそのもう 1 つのコースというのは、エネルギー・システムの方を、現在の GWP システムに合うように、現在の GWP システムの中で便利に使い易いエネルギー（の形）に造り変えるのである（次項参照）。
8. もし原子力エネルギーが来るべき人類の経済危機（エネルギー危機ではない）において、救世主になりたいと願うのならば、原子力を電力に変えることがすべてであるという考えを、即刻、捨て去らねばならない。そうして原子力エネルギーを“人工ガソリン”に転換させ、それによって人類のための附加価値生成の体系（GWP システム）に奉仕するエネルギーの最終消費形態（註：final form の意：人が最後に消費するときの形。生産→輸送→分配→消費という各段階についての最後の段階の意。遠い将来の ultimate form すなわち究極の形態という意味ではない）に適する姿に変えてゆくべきである。

1.3 大きな転回

〔註：講演要約は、なお続いていて、これからあと、中間結論や、具対的対応策などの説明に移っている。これらは、後節でもう少し明確に説明するが、ここでは考

え方の流れや位置づけ等を簡潔に示している‘要約’の記述を続ける。]

講演者の中間的結論は次のとおりである。

- (A) 原子力は、もっと必要である。それは急速に絶え間なくいつまでも成長しようとするGWPシステムを支え養うためである。そして此の新しい(原子力への)需要は、従来原子力に期待されていた需要(註: 電力を指す)よりも恐らく数倍の大きさに達するものである。
- (B) 新しい(原子力への)需要の内の大きな部分は、“人工ガソリン”に転換させられるであろう。たぶん、その“部分”は全体の2/3から3/4にもなってゆくであろう。全原子力のうちのこれだけの(大きな)部分が、将来の或る成熟した発展の段階では、ガソリン型の燃料の製造に使われる。

上述のような大きな転回(註: 戦略の転換)へのタイミングに就いて、講演者は、それが(世界平均としては)1990年代に実行されるであろうと述べた。米国のような、自国内に豊富な石油・天然ガス資源を持つ国では、この戦略を2000年代から始めても、充分にやってゆけるであろう。日本については、しかしながら、この戦略を1980年代から始めることを目標とし、そのために、準備的なシステムズ・アナリシスに、いますぐに取りかかるべきだ——と言うのが、講演者の主張である。

‘人工ガソリン’という言葉について講演者は次のように言っている。“私は勿論、もっと他の言葉たとえば‘化学燃料’(chemical fuel)とか‘合成燃料’(synthetic fuel)とか言う言葉の方が、より正確だとは知っている。しかし、これらの言葉はやや理論的であり過ぎる。‘人工

ガソリン’(Artificial Gasoline)の方が良い。この言葉は一言でもって、新しく興される産業(生産システム)が何を生産(produce)しようとしているか、そのすべてを表現している。自動車も航空機も、この‘人工ガソリン’を使用するのに、今までと全く同じエンジンを使用することができるのである。”

居住地域や家庭内で使用するためには、この人工燃料は、もう少し違った形(註: 灯油のごときもの)に変えられる。原子力エネルギーは第1段階で水素(H₂)をつくるために使われる。水素はそのままの形で各種の工業的用途(註: 還元など)にも使われる。この水素は炭素(C)と結合させて固定し、炭水化物と呼ばれる基本的な有機物質をつくる。これから更に進んで各種の人工燃料が造られる。

炭水化物を造る段階での最重要の注意事項について、講演者は次の点を挙げている。このシステムが成立する最も基本的な条件は、尨大な量に達する人工ガソリンをつくるための材料として、必要量の炭素(C)をいったい何処からもって来るか? ということである。高橋氏のトータル・システムズ・アナリシスによれば、CO₂(炭酸ガス)がこのための最も貴重な原料であり、それがカーボン(C)という元素の唯一の大量供給源であると言う。化石燃料発電所(石炭火力発電所でも重油火力発電所でもよい)から放出されるCO₂はトラップ(捕獲)されて‘ドライ・アイス’にされ、固体の形で貯蔵される。このCO₂方式を使う場合にはすべての化石燃料発電所は‘無煙突火力発電所’(stackless power plant)になる(註: この火力発電所は、‘無公害火力発電所’にもなる)。石炭と石油の中にあるカーボン元素は‘無煙突火力発電所’(stackless power plant)で燃され、CO₂をつくる。

こうして O_2 (酸素) と結合された炭素は大気中へ逃げてゆく代りに、固定 (捕獲) され、リサイクル (循環使用) される。‘無煙火力発電所’ に結合される CO_2 システムは、発電所出力の凡そ 5% 以内の動力で作業 (オペレート) される。このシステムによって、H は CO_2 と共に (両者とも始めはガス状態にあるわけであるが) 液体または固体の形に変えられる。つまり水素 (H) は人工ガソリンとして固定される。それは貯蔵にも輸送にも、そして最終消費にも、最も便利な形態なのである。

1.4 原子力システムの更に一層の拡大

新しいストラテジー (戦略) では、更に一層の原子力が必要になる。しかし世間では現在の原子力に対してすらも、限られた原子力資源の状態から来る所の核燃料の不足に対して苦闘している。この所はどうなるのか? 勿論、ブリーダー・システム (増殖型の原子炉システム) が必要である。が、それに加えて、次のような努力が必要である。即ち、現在と同じ量の核分裂性物質から、現在の数倍の出力の原子力設備をつくることである。このため、比出力は数倍に上げられる。例えば現在の非均質な固体燃料システムの増殖炉では、1,000 MWe (100 万キロワットの発電力) をつくるのに初装荷燃料として核分裂性物質が 2.5~3 トン要る (燃料サイクル・インベントリーを含め)。この初装荷燃料を、新しい原子力システムでは、1,000 MWe 当り 1 トンにする。ここで重要なことは、このように初装荷を小さくすると反比例して比出力は著しく (数倍に) 高まることになるが、このようなことは流体燃料増殖炉においてのみ可能である、ということである。非均質の固体燃料原子炉でもって現在以上に比出力を高めることは不可能である。そこで 1,000 MWe

当り 1 トンという燃料インベントリーを持った熔融塩増殖炉 (molten salt breeder reactor) が、新しい戦略のために、選択されることになる。熔融塩増殖炉は上記のように比出力を高めると、その重要な機能の幾つかを犠牲にすることになる。例えば増殖利得率 (breeding gain factor) は低下する。炉心部およびブランケット部のグラファイトの寿命が短縮される。しかしながら、初期装荷燃料 (それで、どれだけの kW がつくれるか) の方が第 1 義の問題で、増殖利得率の効果は遙かに後の問題である。上記のような方式で、現在の人々が入手し得る見込のある核分裂性物質の同一量から、2.5~3 倍のキロワットをつくることができる。

1.5 高い速度の建設

新しい戦略が採用された暁には、原子力システムは非常なハイ・スピードで、例えば 1 年間に数億キロワット (註: 世界合計) という速度で建設されることになる。世界の GWP システムの巨大な成長の結果、このような (原子力システムの) 拡大の速度が必要になるのである。天然のオイル・システム (それに支えられている附加価値体系) における激烈な変化 (既述) のこともここで考えておかねばならない。世界計で毎年数億キロワットも建てられる原子力システムの中で 2/3 乃至 3/4 が人工燃料を造るプラントになる——と考えられる。

“電源セット” (Nuclear Power Set) という考え方が、ここ数年の間に、電力中央研究所 (高橋研究室) と JAIF (日本原子力産業会議) のスタディ・グループとで研究されて来た。講演者の見解では、この電源セットの概念が、新しい戦略的 (ストラテジック) な原子力システムのために、広範囲に適用し得るであろうとしている。電源セットはマス・プロダクションの

方法を用いる。これらは通常のオン・サイト (on-site) で、数年がかりで建設するという建設方法を採用のだけでなく、大きな基地 (basin) で‘セット’として建造される。大量生産方式で生産された‘セット’は海上移送で指定された位置に運ばれ、そこに‘セット’される。熔融塩増殖炉システムは此のような新しい建造方式に最適である。何故かなれば、熔融塩炉システムは世界のすべての原子力システムの中でも最も安全なもの1つであり、自分自身の中に再処理サイクルを内蔵した増殖系である。従って、これを購入したオーナー (所有者) の側においては殆んど完全にメンテナンスの業務から離れ得る (maintainance free)。電源セットはまた、工業的な2次製品である、とも考え得る。それは、何処へでも持ってゆける。それは何処でも、その置かれた位置で、燃料の補給もしないのにエネルギーを発生する (もっとも、少量の原材料物質、この場合はトリウムであるが、を補給しなければならないが)。そこで電源セットのオーナーは永遠につづくエネルギー源を持ったと同様のことになる。

もし上記のようなパワー・セットと海水脱塩の装置と結びつけると、世界中どこでも、必要な所で、エネルギーと水とが得られることになる。

もしこれ (電源セット) を‘人工ガソリン’の製造システムと結びつけるならば、現在石油という資源を持っていないどんな民族でも、その位置 (電源セットの位置) に油田を持ったのと同じようなことになるのである。

これらのシステムに就いて、注目すべき重要なことは、それ (このシステム) がトポグラフィカリー・フリー (何処へでも置ける) であるということである。従って、エネルギーや水の

無かった所へもエネルギーと水とを与え得るし、またエネルギーや水を輸送するという困難な仕事からも解放されるのである。

1.6 その他のコメント

講演者はこのトータルシステムに結合されるべき重要な数個の新しい技術システムについて言及した。それらはすでに研究され始めている、と言う。

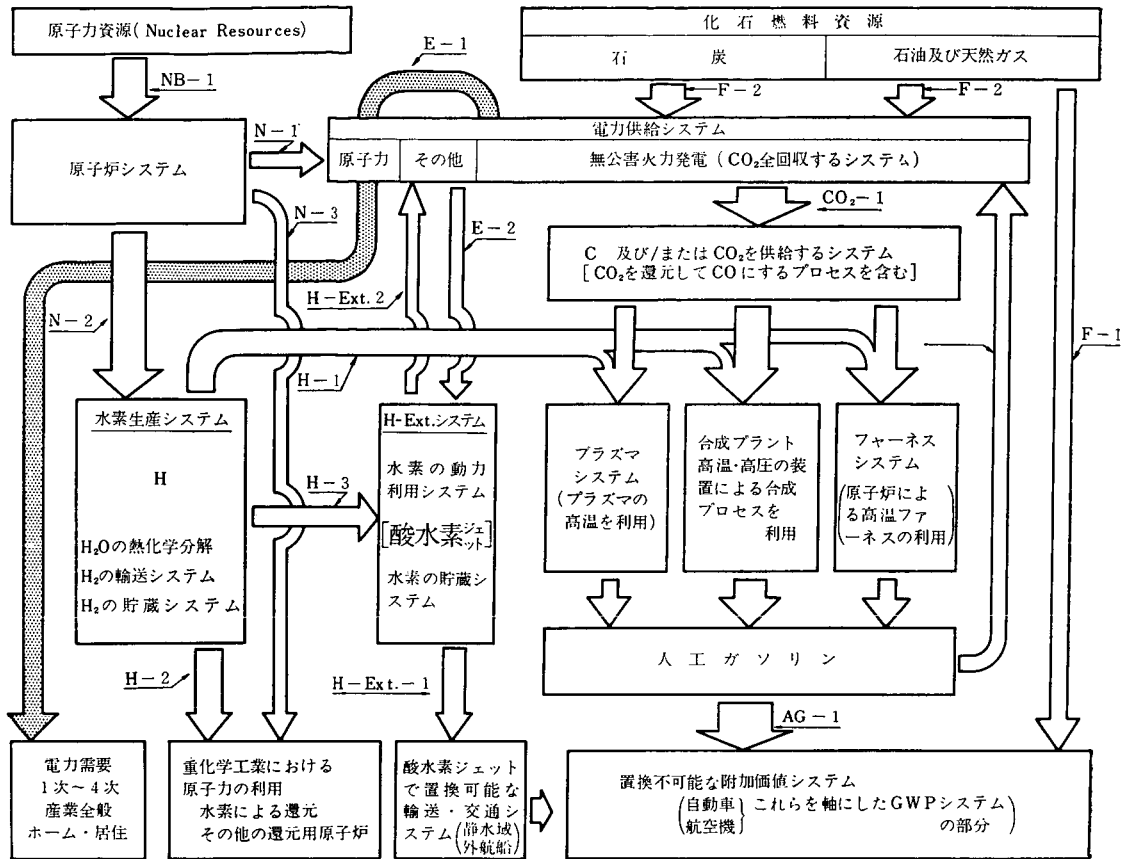
“日本は現在のところ、資源の乏しい国と定義されている。しかし、何十年かの後日本が巨大なエネルギーの輸出国となっているのを、世界の人々は、見るかもしれない。”

[註：ここまでが、講演要約の再和訳である。次は、この中にも出て来た幾つかの重要技術システムを含めたトータル・システムの説明に移る。読者はこの中で、幾つかの新しい概念に突然に出会われたわけであるが、その代表的なものは‘人工ガソリン’ (‘artificial gasoline’) と‘無公害火力発電所’あるいは‘stackless power plant’ (無煙突火力発電所) の2つであろう。原子力を水素に転換するシステムに就ては、既に読者は聞いて居られる向きが多いであろう (例えば、ユーラトムのイスプラ研究所の報告)。熔融塩増殖炉についても、既に同様に多くの人は知って居られるはずであるが、その比出力を数倍に上げて使うという戦略については、これは若干新しい問題だと考えられるであろう。これらの凡そ4つの重要な技術システム (註：原子力の設計転換・水素の製造・無公害火力発電 (CO₂ 固定)・人工ガソリン製造の4つを計上する) を組合せることによって、Post-Oil の非常に急激な経済ショックを回避しつつ、世界の成長経済を維持しよう、そして21世紀末から22世紀へかけての本格的な産業構造変革の世紀へと、つないでゆこう、——というのが、次節にのべる技術的なトータル・システムの内部である。]

VIII-2: 新・エネルギー構造論に於けるトータル・システム

2.1 トータル・システムの図解

第 VIII-1 図、は本章の主題であるところの、燃料 (またはエネルギー) の生産・輸送・消費を通じての、エネルギー産業の構造・形態を変革しよう (註：全体産業構造の方を本格的に変革するの



は、100倍も難かしいか、それは1世紀ほど先になる) ———と、言う意味でのトータルシステムを示している。22世紀以降の産業構造は、この図 VII-1 の方式でも、うまくゆかない(註:端的に言えば人工ガソリンの原料である炭素の不足による)という点があって、そのため、更に一層変化した構造が要求される。とくに輸送・動力機関のエンジンの形態が大変革されざるを得ないようである。この場合、読者は、それらエンジンを造る材料の取得可能量についても思いを致しておいて頂きたい。燃料だけでなく、材料が足りなくなるのである(エンジンやモーターを造る材料のことを指す)。これを突破する方法として、人類の最

終材料として rock (岩) を使うことが考えられるのであるが、このことは第 IX 章で述べる。とにかく、そういう意味で、第 VII-1 図には此の rock を使うような技術は、まだ示してない。そういう段階でのトータル・システムであると諒解して頂きたい(最終的なトータル・システムは、別にあるということである)。

なお、さらに、第 VII-1 図の説明として、ここでは、その詳細を省略せざるを得ない部分技術に関するものが2つあり、その1つは、CO₂の回収システム(第 VII-1 図右上)他の1つは‘静水域’(第 VII-1 図中央下部)の開発または建造の技術についてである。これらは2つとも

新しい技術であるので、読者はそのような技術が果して在りうるか、どうかを、疑われるかもしれない。これについて、基本的な設計理念は既に準備されている——と言う程度に説明しておくことで寛容願いたいのである。また、そのコストについても、夫々を単独でこれらの技術を実施するなら、それは高価なものにつく場合もあるであろうが、トータル・システムの中では十分に（経済性が）成立すると見ている点も併せて諒解ねがいたい。なお上記の2つの内、‘静水域’は‘酸水素ジェット’そのものと関連しているのであるが、この酸・水素ジェット・システムは第 VII-1 の中では最も後期に現れるものと見ており、むしろ超長期システムへの伏線として描かれている。そのようなシステムに関連した‘静水域’であるから、その技術は多少遅れて出現することになる（そうであっても、差しつかえはない）。

以上の諸点を含みとして、次に、第 VII-1 図による解説を述べる。

2.2 全体のシステムの構成（第 VII-1 図）

原子力資源はリアクター・システムに入れられ（ルート NR-1）、各種の温度で熱を発生する。原子炉システムで発生されたエネルギーは水（ H_2O ）の熱化学的分解を通じて、水素の製造に使われる（図のルート N-2）。従来どおり原子力発電にも使われる（ルート N-1）。この場合の原子炉の熱媒体の温度は $350^{\circ}C \sim 400^{\circ}C$ である。将来（可なり遠い）は原子炉によって直接に材料の製造加工を行う（ルート N-3。この場合の原子炉の温度は $1,000^{\circ}C$ 以上 $2,000^{\circ}C$ 前後までを考える）。ルート N-2 の用途が極めて近い将来、非常に重要となるものと考えられる。その場合、原子炉の温度は $700^{\circ}C$ 程度を考える。その技術を使う日は、もう明日に迫

っている、という意見も、重工業界にはある（後述ルート H-2 参照）。

水素生産システムは、適切な化学反応を組み合わせながら、熱化学的な過程で水（ H_2O ；海水）を還元し、水素ガス（ H_2 ）を生産する。ただし、ここでは水素（ H_2 ）だけを主製品として追及するが、同時に酸素も製造され、これにも重要な複合用途が考えられる。しかし、ここでは酸素については触れず、別の研究報告において独立に述べることにする。

H_2 は気体であるので、製造（生産）と同時に超大口の需要先と予想される人工ガソリン製造プラントに送られる（ルート H-1）。その次の大口需要先の重化学工業には、パイプ等を通じて大量に送られ、還元剤として製鉄等に使われる（ルート H-2）。少々小口で且つ諸方に分散している需要に対しては、圧力容器または液体水素（低温）の形で輸送される（ルート H-2）。 H_2 を更に広い用途に使うために、大規模な貯蔵システムが開発されるようになる（ルート H-3）。このシステムが出来るようになれば、水素の利用範囲は一段と拡大される（後述）。

H-Ext. システム（H-Extention System）は、要するに水素を（気体の形で）貯蔵する技術が基本となるが、いずれにしても規模の大きなシステムである。大口の需要家に対しては、その需要家の消費する量の半日分乃至1日分を貯蔵するのが（気体での貯蔵方法としては）限度かもしれない。しかし、この貯蔵量でも、発電所の電力の日負荷調整に使い得る（ルート H-Ext.-2）。この水素貯蔵システムを、酸水素ジェット方式によるエンジンを持った輸送交通機関に対して、燃料補給基地のように使うことができる（ルート H-Ext.-1）。その交通機関自

身が或る程度大型のものでないと、燃料（水素）を自分で持ち歩くのに、徒らに容積ばかり要ることになるので、実用的でない。そういう意味で、一定の静水域内で行動する中小型の海上輸送交通の機関；水上家屋・ヨットなどが対象になる〔註：この水素を人工ガソリンにすれば、遙かに便利であるわけである。なお、この H-Ext-1 のルートは、人類の最終（究極）文明の形態として、人工ガソリン製造の原料が限界にきた後には、動力機関の燃料を、これに頼るほか、ない、と思われる。なお、酸・水素ジェットエンジンは、排出するものは（原理的に）水（H₂O）ばかりである。〕

化石燃料資源（第 VIII-1 図右上）は、新しいストラテジーではルート F-2, F-3 を通って“無公害火力発電所”に入る。ルート F-1 は現在周知のルートであって、既に第 VII 章以来説明を重ねて来たように、此のルート F-1 が現在の世界の（石油・天然ガスを主軸として）附加価値体系を支えているものである。このルート F-1 が、新しいストラテジーでも、当分の間は、‘unreplaceable’（置換不可能）な附加価値体系を支えてゆくわけである。ルート F-1 の解釈の仕方については、註を参照されたい。

〔註：ルート F-1 は石油（原油）から石油精製業を経てガソリンとして航空機・自動車を主軸にして産業構造を維持するわけである（現在と同じ産業構造）。そこで将来、F-2 のルートが開かれた場合の中間段階的な問題に就いてであるが、F-2 のルートは人工ガソリンも造るが同時に電力も発生される（無公害火力発電所から）。そこで F-1 を通るか F-2 を通るかは、この電力の需要によるものである。電力が不足しているなら（そういう時代、そういう国なら）F-2 を通ることによって、電力と人工ガソリンとが同時に得られる。電力が余っているなら、F-1 のルートを通ればよい。但し、これは石油・天然ガスについての話である。石炭が F-1 のルートに流れる可能性は（石炭ガス化の技術があったにしても）少いであろう。

更に遠い将来になって、石油だけでなく石炭も少くなり、いよいよ化石燃料資源が乏しくなると、F-1 のルートは廃止され、F-2 か F-3 のルートで一旦電力を発生してから人工ガソリンとして消費するよ

うに（どうしても置換できない需要のために）計画されるであろう。〕

電力供給システム（第 VIII-1 図で）は、原子力発電・その他及び無公害火力発電となっており、将来はむしろ、この無公害火力発電所が、大部分を占めるのではないかと、誠に意外な予想が此の第 VIII-1 図では（無公害火力発電所の図上スペースを広くとって）示してある。これは筆者自身も自分で驚いているような次第であるが、後で概略を説明する所の無公害火力発電所の機能（の如きもの）を考えると、ますます此の型の発電所が将来の発電設備の主流になるのではないかという予感を、否定することができないのである。取りあえず、なぜこのような結論になったか？ その理由を考えると、これは一種の過剰生産のような形になっているわけである。しからば何処でこのような過剰性が生じてくるのかと言うと、それは人工ガソリンを（電力の数倍も）大量に生産しよう（その必要がある）と考えたことから来ている。人工ガソリンを造るために CO₂（炭酸ガス）が必要である（註：それ以外に、産業的に有意なほどに大量に炭素の得られる道はない）。そのために、CO₂ を取得する方法として火力発電所をつくるのであるから、何だか電力が副産物であるかのような錯覚にさえとられて来るのである。しかし、実際には此の余剰気味の電力があってその推進力によって、産業構造の電化（‘replaceable’ な部分を拡大してゆくこと）が進んでゆくのではないかと、考えている。いずれにしても、将来（と言っても、ポスト・オイル時代のことであるが）の発電所の主力は火力発電（但し、ここで‘無公害火力発電’と暫定的に呼んでいる形式の火力発電であるが）になる——などとは、本当に予想もしなかった結論であ

る。ただ、結論とは言ってもそれは予想の上のことであるから、実際の歴史的過程としての経過が、どうなるかは別のこととしておく。

‘無公害火力発電所’ (CO₂ を全回収するシステムを含む) は、主要な 附帯設備として CO₂ (燃料ガスの中に含まれる) を捕獲して、これをドライ・アイス (固形の二酸化炭素) にする。ガス体のものを固体にするわけである。このプロセスは比較的単純であって、大型の構造物が建造し得れば問題は解決する (ガス状の物質を扱うときは、いずれにしても大型の構造物が要る。水素の場合も同様である) (註: 此のシステムを ‘無公害火力発電’ と言う理由は、硫黄や煤塵も同時に除去できるからである)。コストの点も、後のプロセスさえ完結しておれば、決して高いものではない。筆者の概略の試算によれば、市販ではキログラム当り 20~30 円しているドライ・アイスが、1 円/kg 以下で出来る。もっとも、超大量生産であるから、安くなって当然である。さて、後のプロセスであるが、目的もなく CO₂ を固定しても、どうにもならない。単独で (目的もなく) 炭酸ガスをつくっても、忽ちドライ・アイスの山が数百万トンも出来る。こんなものを発電所の傍に置いておくわけにゆかない。邪魔になるばかりである (註: 100 万 kW の火力発電所が、1 年 250 万トンの石炭をたくと、炭酸ガスが 370 万トンも出来る。もっと、この計算は単純な単糖類でのモル当量による計算であるが)。このドライ・アイスの山に対して、水素製造システムの方から、大量の水素が供給されることによって、はじめて人工ガソリンが生産される (第 VIII-1 図ルート H-1)。水素の方も (既述したように) 気体であって、溜めておけば龐大なボリュームになるから、CO₂ と H₂ とは、計算された当量で適切に供給されるわけである。このように、無

公害火力発電所と言っても、それを単独につくる意味は無いので、水素生産システムと結合されて始めて有意の設備となる。

人工ガソリン合成プラントは、数種の方式が考えられるが、矢張りもっとも普通なのは高温高圧のシステムを使った合成方法であろう。有機化学の合成においては、高い圧力が反応速度を高める (製品の収量を高める) のに最も基本的に有意の手段である。第 VIII-1 図に示された基本的な燃料合成戦略の要点は、合成プロセスを CO₂ から始めるという点にあり、ここが、従来研究されてきた CO (1 酸化炭素) から始める方法に対して、異っている点である。そうしてこの相違点は結局、還元材としての水素が (CO プロセスよりも) 多く要る、ということだけを覚悟すればよい。CO₂ から一挙に合成燃料をつくる方法と、CO₂ を一度 CO にしてから合成燃料にする方法とがあり得ると考えられる。CO から合成する方法は既に古くから開発されており、いつでも工業化できる。CO₂ から一挙に合成する場合については、H (水素) の所要量・各種混合生成物の生成比・その他、混合生成物の分離・再合成などのプロセスを考えておけばよい。触媒 (それは、いずれにしても必要である) の開発も重要事項の 1 つである。

人工ガソリン ‘Artificial Gasoline’ (第 VIII-1 図で) は、図上では単一種類の燃料のように示してあるが、実際には各種の用途に応じて、多少異った製品にされるであろう。そうして、ルート AG-1 を通って、置換不可能な附加価値システムに供給される。

人工ガソリンが、いま 1 つのルート AG-2 を通って、発電用に使い得ることは、極めて重要なことである。このルート AG-2 によって、

‘無公害火力発電所’は第2段階の完成が見られるものと思われる。このリサイクルされた（AG-2のルート）燃料で、発電したあと、CO₂を回収し（それにHを加えて）、再び人工燃料とし、またAG-2を通して戻すようにすれば、CO₂を減少させずに、Hの供給だけで発電が続けられる。このサイクルでは、CO₂は一種の触媒のような役目をする。そうして、Hをつくるために消費されたエネルギーが、電力に変化したという結果になる。従って、この無公害火力発電所は（CO₂の一定量をインベントリーとして持つまでの過程を除いて、それ以後は）、化石燃料を消費しない火力発電所となる。あるいは、別の言い方をすれば、地下資源（石炭・石油・天然ガス）の要らない火力発電所となる。それ故、第VIII-1図の上部に示されている化石燃料資源は、それを殆んど使わなくても、何億キロワットもの火力発電所を運転することが出来るのである。

以上が第VIII-1図を中心にした、新しい燃料戦略の概要である。

2.3 資源論から見た評価

此の章で述べた燃料変換のシステムが、さきに第7章および今回の第8章の前半において指摘したところの、石油および天然ガスを中心とする世界の附加価値体系（GWPシステム）に対する危機の問題に対して、どのようにその救援策となるのかを、概略述べておこう。

結論は第VIII-1図にのべた石炭という資源が、全部（いま残っているもの全部）人工ガソリンになる——ということである。

石油および天然ガスは、その可採埋蔵量を1兆トン（石炭換算）前後に見た時の試算を第7章に掲げておいた。このケースは、現在の推定埋蔵量に照して、最大限に近いものと筆者は考

えているのであり、その理由は第7章に明らかにしてある。

さて石炭の埋蔵量は、なお数兆トン（2～3兆トン）を残しており、その可採埋蔵量の評価も、石油よりは遙かに多い。これが石油と同じ附加価値システムに参加した場合の予測計算法は、まだ詳しくは行ない得ない（註：第VIII-1図の諸システムの原単位等は、今後の研究を俟って明らかになる）が、凡その評価は次のように出来よう。

すなわち、第7章にのべた石油の最大産出のケースについて、2010年頃、140億トン/年という場合をとると、この産出量を100年維持するのが1.4兆トンである。従って、われわれは仮りに此の産出量の線か、或はもう少し上回ったレベルで、人工ガソリンを使いながら、人類の最大の危機を、少なくとも半世紀は伸ばし得るのではないかとと思われる。

さて、そのあとはどうするか？

いよいよ、酸水素ジェットを主要動力とする文明に切り換えてゆかざるを得ないであろうが、同時に航空機用の燃料は万難を排してでも残しておきたいところである。また、産業構造の逐次の変化により、急激には行ない得ない電力システムへの変換も、やはり努力して遂行してゆかなければならない。GNP当りに必要なエネルギーも、次第に改善してゆくことも期待しなければならない。これらの総合的な推移の検討は第9章で行なってみよう。

なお、最後に、日本のことについて一言附記しておく。上述した結論（石油危機が半世紀伸ばしうる）は、世界平均のことである。日本については、上述の平均値的な効果よりも、もっと大きな効果が（第VIII-1図のシステムにより）期待できる。民族により、偏差があるのは当然であって、人工ガソリンを多く使う民族も

あれば（そうなるには、多くの投資も必要である）、そうなり得ない民族もある。日本が第Ⅷ-1図のようなシステムを早く使い始めれば、それだけ早く、こういうシステムの利得を入手し得るわけである。詳しくは第10章で述べる。

とりあえず明らかなことは、日本がいま、経済力において相当な余裕があるということで、この力を早く、新しいシステムの開発に投入してゆけばよいのである。（未完）

（たかはし みのる・高橋研究室）