

原子力発電とその経済的影響

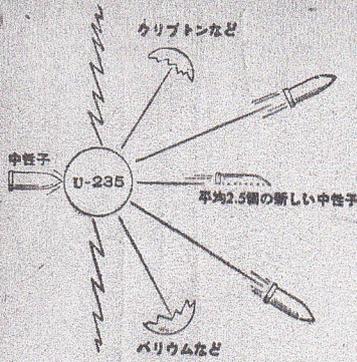


危険日本の民肉自書  
 森 一 久  
 東洋経済新報別冊 第15号  
 S28.9.10

原子力発電の施設及原價

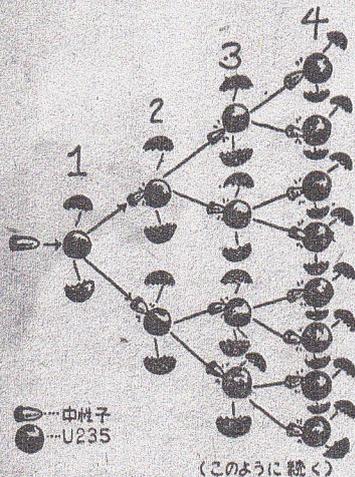
(1) 原子爐の構造

原子爐は原子核分裂によって生ずるエネルギー



U-235の分裂  
 (「産業における原子力の應用」より)

ギーを利用できるような形態に転換させる器  
 械——原子の火を起す炉——である。周知の  
 ように、ウラニウム二三五は中性子をぶつけ  
 ると分裂するがそのとき熱と同時に、中性子  
 を平均二・五個生ずるので、一個  
 のウラニウム原子の分裂で生じた  
 中性子が隣のウラニウム原子を分  
 裂させるといふふうに、焔が燃え  
 ひろがるように、連鎖的に分裂を  
 持続させることができる。この連  
 鎖反応を瞬間的に起させたのが原  
 爆であり、これをゆっくりと持続  
 的におこなせようとするのが原子  
 爐である。つまり原子爐とは、ウ



連鎖反応 (原爆の原理)  
 (「百万人の原子学」より)

ラニウムを燃料として、中性子という焔(或  
 は火花)でもえひろがる焔なのである。  
 ところがこの焔は燃料を燃して灰とするは  
 かりでなく、燃えることによって同時に新し  
 い燃料を創立するように設計することもでき  
 る。天然のウラニウムは質量の異なる二種の  
 ウラニウムの混合物で、中性子によって燃え  
 る(分裂する)のは軽いウラニウム二三五  
 (全体の僅か〇・七しか含まれていない)だ  
 けで、重い方のウラニウム二三八はウラニウ  
 ム二三五の分裂で生じた中性子を一個吸収し  
 て今まで地上に存在しなかつた全く新しい元  
 素プルトニウムになる。しかも、このプルト  
 ニウムはウラニウム二三五と同様に速度の遅

中性子で燃える(分裂する)元素であり、分裂して約三個(平均して)の中性子を発生する。すなわちウラン<sup>235</sup>より五個だけ中性子を多く出す、いいかえればウラン<sup>235</sup>より五個より火力の強い燃料なのである。(原子爐で創られたこの新元素は主として原爆用に貯蔵されているので、「プルトニウムを仕込んだ原子爐」というものは、まだまだ論じられていない。)

原子爐には用途——プルトニウム製造用、アイソトープ製造用等々——によっていろいろの型がある。そのうち動力用として最も有利なのは、均質爐をよばれるものである。連鎖反応をおこさせるための煤質——緩速物質とよばれる——として重水を用い、その中にウランニウムを硝酸ウランニウムの形で溶解させたものである。これが原子力発電に都合がよいわけでは、原子爐のもえ滓や生成されたプルトニウムを爐外に取り出すための操作が容易であり、このような化学処理をしながら、原子爐を連続運転することも不可能ではないからである。(別稿「原子力工業と民間産業」○○頁参照)。

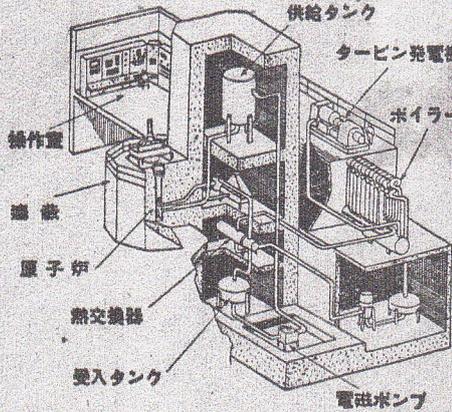
(口) 火室の代りに原子爐

原子力発電といっても、従来の火力発電とあまり変わったところはないともいえる。原理的には、在来の発電所の石炭を燃す火室を、ウランニウム<sup>235</sup>やプルトニウムを燃料とした原子爐で置き換えれば、それでそのまま原子力発電所誕生ということになる。(○○頁「原子力発電の原理」図参照) 小型で危険のない原子爐ができれば、汽船や飛行機などが運転できるわけである。実際これらのことは、金に糸目さえつけなければ現在でも可能である。

原子爐をボイラーに連結する場合、問題は原子爐で発生する熱を、どういう方法で取出すかである。無論、ボイラーを直接原子爐で熱することはできない。そこで、先ず加圧した水や気体、或は液体金属(何れも中性子を吸収しないものがよい)を原子爐を環流せる(これを冷却物質という)それを熱と放射能とを帯びているので、隣接した管を流れる第二の煤質でその熱だけを受取り、それをボイラーにつなぐのである。

このような発電設備を具えた増殖爐が(後述)アイダホ州アーク原子爐試験場で完成し、一九五一年十二月から運転を開始してい

る。その諸元を記すれば次の通り。



実験原子力発電所(「産業における原子力の應用」より)

- 爐心の大きさ フットボール位
  - 冷却物質 ナトリウム、カリウム合金(沸点一五〇〇度)
  - 冷却物質の温泉 六六〇度(出口附近)
  - 発電容量 二五〇キロワット
  - タービン蒸気 四〇〇ポンド(一平方インチ当り)
  - 電力密度 四・〇キロワット(一立方インチ当り)
- いうまでもなく、この発電は経済的に引合うものではなく、建設に二八〇万ドルを費し

(ハ) 原子力発電の燃料原価

このような有用性がしれてから、それまで殆ど観られなかったウラニウム235の原価は昂騰した。一九四三年に一ポンド二〇ドルと公表されたが、その後も騰貴を続けているので、アルゴンヌ国立研究所長W・H・ジン博士によつて、ウラニウム金属一ポンド三五ドルこれから分離抽出した純粋な燃料ウラニウム二三五なら一グラム二〇ドル——として考えてみよう。

単純に、天然ウラニウムからその一四〇分の一に当るウラニウム二三五を分離して原子炉で燃す場合を考えてみよう。例えばウラニウム二〇ポンドを取れば、それに含まれる〇一四ポンドのウラニウム二三五を全部抽出して原子炉で燃し、残りのウラニウム二三八は棄てるとしよう。原子炉でも完全燃焼をさまたげる因子——中性子の逃散など——があるので、その半分が燃焼するものとして考えよう。そう考えると、発生するエネルギーは九一トン分の石炭、一八万キロワットの電力に相当するから、一キロワットが七ミル(一ミルは千分の一ドル)につくことになる。通常

の原子力発電の燃料原価は三・五乃至四ミル(日本でも電気連合会の言によると大体同程度)であるから、これでは、石炭による発電に原子力発電はとでも太刀打できない。(設備は原子力発電の方がどうしても高価になる)

そこで、原子炉内でプルトニウムがウラニウム二三八から創生される場合に希望が托されることになる。そうすればウラニウム二三八を全部棄てなく済むからである。ウラニウム二三五の分裂で生ずる二・五個の中性子のうち、一個は連鎖反応を持続する役目を担うとして、残りの一・五個を燃料に吸収されたり外へ逃散したりすることのないようにすれば、そのうちの幾つかが非燃焼性のウラニウム二三八に吸収されてプルトニウムを創る。

この型の原子炉の最初のものとして、原爆用プルトニウム製造の目的で戦争中につくられたアルゴンヌ国立研究所の原子炉「重水タンク」がある。これは小型で出力僅か三〇〇キロワットであるが、この原子炉では前述の中性子一・五個のうち〇・八個(平均して)がウラニウム二三八に吸収されている。すなわちウラニウム二三五が一個消費される度に、平均〇・八個のプルトニウムが製造され

ていた。ウラニウム二三五全部が消費される時には、その八〇%の数のプルトニウムが生じ、このプルトニウムが消費されるときそのまた八〇%が生じるといふ具合に、次々と原子炉を断続運転すると考えよう。そうすると長期運転の結果ウラニウム二三五の量から、 $1 + 0.8 + (0.8 \times 0.8) + \dots$  となつて

五量が増えたことになる。今度の場合は原理的す、天然ウラニウムの三・五% (〇.〇〇三)まで燃焼可能ということになる。但しこの場合、断続運転の度毎に、灰(分裂生成物——種々の軽い元素の混合物であるが、中性子を吸収したりして燃焼の邪魔になる)を除去したりする化学処理に費用がかかるので、その回数を減らして、ウラニウムの一%が燃えるまで燃焼させるとする。前述と同様に考えると、二〇ポンドのうち〇・二ポンドが燃えることになり、発電の燃料原価として、一・三三ミルとなり、石炭と競争可能かもしれない。その燃料原価の差額を、費用を食う原子力発電所の原子炉部分建造資金にまわせるわけである。

もう少し欲を深くして、上述の八〇%を一〇〇%より少しでも大きく——すなわち消費

するウラニウム二三五より創成するプルトニウムの方が多量にすることはできない。中性子一・五個のうち一個以上がプルトニウムをつくれればよい。このようなことは原子炉の材料などに工夫をこらせば原理的に可能であって、そうならば、ウラニウムの全量が燃料(分裂物質)として使えることになる。

このような原子炉を、燃料が増殖する炉という意味で「増殖炉」と呼んでいるが、増殖炉では一運転毎に内部の燃料を取出して化学処理して再生しなければならない。

再三繰返しているように、この化学処理費が高価であって、原子力発電が引合いかどうかは、この費用がどこまで低められるかにかかっているといっても過言ではない位である。しかしそれを燃料原価に含めて考えて、十倍になるとしても、増殖炉による原子力発電の燃料原価は〇・一三ミルという殆んど無視しうる値である。

増殖炉についても一つ重要なことは、トリウムからも原子燃料ウラニウム二三三が生産されることである。トリウムは地殻内には、ウラニウムの三倍ほど存在する資源である。原理的にはプルトニウムとトリウムを

混合したものを燃料とする増殖型原子炉も可能であって、それによってトリウムを全部ウラニウム二三三に転換することができる。そうならば、人類が利用しうる原子燃料資源は非常に多くなるわけである。

### (二) 建設費の問題

前述のW・H・ジンによれば、火力(石炭発電所では、建設費は、一キロワット当り平均二〇〇ドルで、その半分が原子炉ボイラーに代替できる部分の費用であるという。さて原子力発電所をこれと同じ位の建設費で建設できるだろうか。原子力発電所では、原子炉部分の建設費の一キロワット当り一〇〇ドルに燃料原価節減により浮いた額を加えたものが設備資金にまわせるわけである。比較的有利な大型の、出力二〇万キロワット発電所について整理してみると、原子炉ボイラー部分(化学処理費も含む)が約六千万ドル以内で出来れば火力発電に匹敵することになる。この程度の原子炉建設費はいくらかが問題となるが、AEC原子炉考案部長L・R・ハフスタッドらの発言からすると、これは必ずしも化学処理設備費如何によつては、不可能ではないのである。

最近のアメリカの原子力計画には、多くの民間会社に参加しているので、新設火力発電所と競争可能かどうかという論議が活潑で楽観的・悲観的な見解が伝えられている。例えばデトロイト・エディソン社の社長W・L・シスターは、目下建設中の出力六二万キロワットの火力発電所では一キロワット当り投資(建設費)が七七ドルであるのに、同規模の原子力発電所では二七七ドルとなるという見解を提出している。またA・M・ワインベルグは一キロワット当り五〇〇ドルまでにはなるだろうという予想をのべている。

### 原子力発電の経済的影響

#### (1) 原子燃料の特質

このような原子力発電の技術とその経済的影響とをまとめた著書としては、シカゴ大学のユッルズ経済研究委員会による「Economic Aspects of Atomic Power」1950(原子力の経済的分析)がある。増殖炉完成の前に書かれたものではあるが、ウラニウムを全部燃料化しうるという仮定に立っており、今日でもその内容は殆ど影響がないので、これをもとして以下の敘述を進めよう。

原子燃料(ウラニウム二三五、プルトニウム、トリウム二三三)では莫大な量に上る。通常の火力発電施設では一ポンドの石炭から約一キロワット時の電力を生ずるが、原子燃料一ポンドからは二五〇キロワット時の電力が生ずる。(しかもその価格は前述のように甚だやすい)これを逆にいえば、単位エネルギー当りの燃料重量は、化学燃料に比して殆んど無視可能である。すなわち原子動力の燃料は世界中どこでもほぼ同一価格で入手できる。(運賃がゼロ)非常にやすい燃料である。

ユウルク委員会は、一九四六年の物価水準をもとにして、出力七万五千キロワット、負荷率五〇%の原子力発電所の原価計算を行い、最低発電原価一キロワット時当り四ミル、最高九ミルと算出し、この原価でどの地方なら火力発電と競争できるかを論じている。

同委員会の分析によれば、同じ基準の石炭価格から炭鉱近在の火力発電所の電力と比較すれば、原子力発電コストの最低値四ミルでやうと競争可能である。しかし、アメリカでも、炭坑から五〇〇マイルも距った地点で

石炭による発電よりも低廉な電力を原子力発電によって供給できるし、はるはるイギリスから石炭を運んで火力発電をしているアルゼンチンやブラジルでは原子力発電が極度に有利となる。実際アメリカ西部の製鋼地帯では近くに炭坑がないので、最近、原子力発電に非常に積極的に乗出そうとしているといわれている。(後述するように、尤もこれには鉄鋼業特有の理由もある。)

#### (ロ) エネルギー資源として

エネルギー消費量からみれば、大国においては、電力はそれほど大きな割合を占めてはいない。(アメリカで一五%)それでそのようなところでは、原子動力が発電としてのみ用いられるならば、電力全部が原子力発電となっても、それほど大きい影響はないかもしれない。しかし、エネルギーの絶対量の乏しい国(前述のアルゼンチンやブラジル)、水力資源のみで鉱物燃料の乏しい国(デンマーク・北アフリカ諸国・日本など)、若干資源があっても採掘が高価につく国(ハンガリー)、水力を開発しつづいた国(イタリア・オーストリア・スイス)、燃料供給先行不安の国(イギリス)など、大体この順序で、原子力発電に期

待がかけられる。(最近イギリスは最初に原子発電所のパイロット・プラントをもつかもしれない)と、オックスフォード大学のF・E・シモンズは述べている。)

次に、ウラニウムやトリウムの埋蔵量は石油・石炭に比してどうであろうか。最近各国で原子燃料資源の開発がすすみ、アメリカでは、黄金狂時代ならぬウラニウム・ラッシュが現出して、新しい鉱床がみつかりつつある。それに貧乏処理技術も進歩したので、利用しうる埋蔵量は相当ふえた。

AECの委嘱によるア・パトナムの調査はよく引用されるが、それによると石油・ガスの既知埋蔵量は〇・四〇(1Qは10<sup>15</sup>Btu、但し1Btu=0.0003258キロワット)石炭六八Qに対して、ウラニウムは、増殖に成功するとして、一〇〇Q以上はあるといわれ、原子力発電だけで、相当期間世界のエネルギー需要をまかなうことができる見込がある。

ところで、単に電力ばかりでなく、原子動力が水力や石油や石炭に代って、根幹動力となる日が来れば、世界の産業分布は一変するであろう。ウラニウム・トリウムの国際的分布は他の石炭・石油の分布とは全く違った様

相を呈している。最も顕著なのは、ブラジルとインドで、石炭・石油の少い両国とも、屈指のトリウム保有国である。ウラニウムの大鉱脈としては、ベルギー領コンゴ、カナダのグレートベア・サバスカ両湖近傍の熱水鉱脈鉱床、アメリカのコロラド平原、ソヴェトのトルケスタンの堆積鉱床などがある。産出量等は勿論公表されていない。

#### (ハ) 外国為替と原子燃料の輸入

原子動力施設は、通常の石炭による発電施設よりもおそらく高価につくであろうが、燃料が非常に安いという点から、燃料資源に乏しい国家では、外国為替が非常に有利になると考えられる。従って、為替の節減は、原子力発電用施設をどれだけ自国でまかなえるかにかかっているけれども、それを輸入に仰がねばならぬような国でも、石炭の代りに原子燃料を輸入する方が外国為替の根本的節減になると、コウルズ委員会は結論している。

#### (ニ) 工場地帯の移動

各産業への影響を、鉄鋼を例にとって述べてみよう。

鉄鉱石を熔融するのにコークスを使っているが、コークスは鉄源としてのほか、還元剤

として二重の役割を果たしているし、鋼の精錬や圧延にも熱があるので、今日の鉄鋼業は、熔鉱から圧延まで一貫作業として石炭地帯の近くに集中している傾向がある。

先ず鉄鋼熔融を原子力発電によって行えば、後段の作業はコークスでなくともやれるから、鉄鋼業全体が石炭から解放される。次に製鋼爐と圧延機を熔鉱爐から分離できるので、鋼屑からの製鋼を鉄鋼消費地帯で行う可能性がでてくる。

更に最近製鉄において還元剤として水素を用いることが研究されている。コークスの代りに水素を用いれば、鉄鉱から海綿鉄が得られるが、コウルズ委員会の推定によれば、現存する石炭に緊密に結付いた施設ではこの水素還元法は無理としても、原子燃料を使用する場合(水を電気分解して水素をうる)には、施設を鉄鉱床近くに建設することができるので有望である。そうすれば鉄鉱を鉱床地帯で原子力発電による水素還元法で還元し、それ以後は鋼製品市場の近く行うことができる。

以上は鉄鋼であるが、アルミニウムの場合でも、ボーキサイト産地から離れて、アルミ

ニウム市場の近くに、アルミニウム製造工場を設けることができよう。

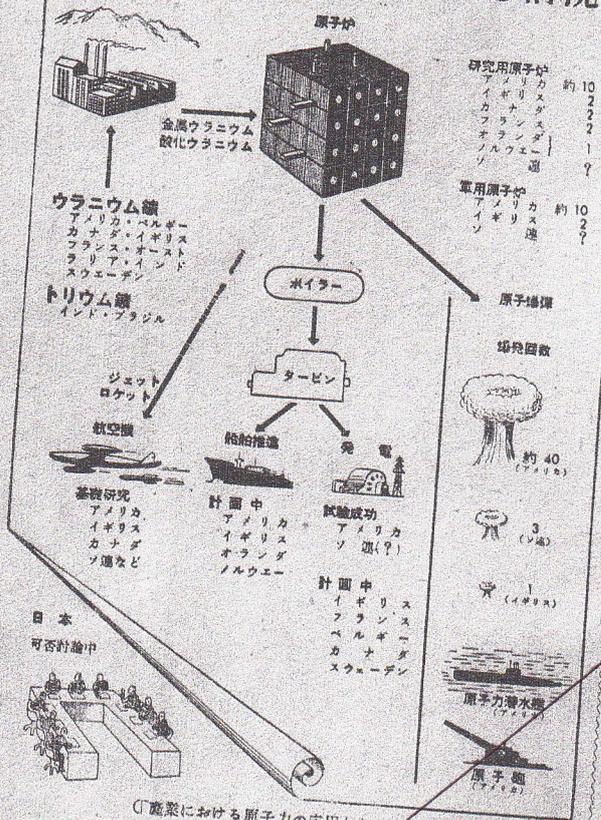
煖房設備には原子動力を直接利用できるのとくに有利である。ニューヨーク・シカゴ・ボストンなどのように人口が稠密で厳寒地の都市では普及するのも日時の問題であろう。

コウルズ委員会は、このような経済的分析を、塩素と苛性ソーダ、燐酸肥料、セメント、煉瓦、板ガラス、鉄道輸送などのエネルギーの大消費部門について行っている。そのごく大略の結論は、アメリカでは、原子動力を用いても原価全体の切下げは少ないが、経済構造に重大な変化がおきると予想している。これまで余り人力を使わなかった領域に新しい産業が設立されると地方に定着しがちな労働者を吸収してその地方の所得率が高められるであろう。

また石炭から解放されて、農業に緊密に結付いた工業が発展する可能性があり、その結果出稼ぎなどを減少し、農耕の機械化が促進されて新しい形態の「農村」が誕生しよう。

原子力の将来はこのように洋々たるものである。いままでいたずらに原爆をつみ重ねるのみであったアメリカの原子力計画も最近平

# 世界各国の原子力開発情況

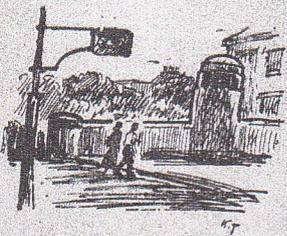


ソヴェトについては資料は皆無に近いが、上述の分析を当てはめれば、ソヴェトも原子動力を渴望している一國であろう。このようにして原子動力の面でも、資本主義と社会主義との競争という新局面が現われることであろう。この面に希望をかけるアメリカ経済の将来はどうかであるか。

## 石垣綾子著 病めるアメリカ

これは自由と民主主義をほこるアメリカにとつては、まことに不名誉な病状診断書である。病名はさしあたりアカ恐怖症といふところだ。例のマッカーシーを先頭とするアカ狩りがまさかこの疑いと不信と恐怖をはじめ、ニグロの悲劇や重税と生活費の

230



高勝になやむ一般庶民の不安等の実態を著者はその曇りない知性と著々しい文体とで、すどくえぐり出している。

朝日新聞七月二十三頁

フレックチャー 著 田中西二郎訳

アメリカ開拓物語

P.A.ソロキン著 岡本順一訳

連とアメリカ

世界における

アメリカ観

徳原正英・加瀬俊一・井上満著

岡倉古志郎・魚返善雄著

66判 予二五〇円

アメリカは世界で何をしたか。そして世界はアメリカをどうみているか。これは今後のアメリカの動向を示唆し、対処すべき基盤を提供する。英独ソ印中中国等の赤裸々なアメリカ観を収めてある。

書店又は本社に御申込み下さい。

¥320 ¥250