

《最近の話題》

# 原子力技術のスピンオフ と冷凍保存法

未踏加工技術協会監事  
日本原子力産業会議専務理事

森 一久

原子力関係の最近の話題のいくつかについてお話をしても、大方のご参考に供したいと思う。

## ■波紋(?)ウラン濃縮

ウラン濃縮というのは、ご承知のように天然ウランを濃縮して、原子力発電所で使えるように、U 235 の割合を高めることである。今まででは、まず「ガス拡散法」といって、ウランを UF<sub>6</sub> という化合物にして、これは 60°C くらいで気化するから、そのガスを素焼のようなものを通すと、軽いほうの U 235 が通りやすいので、だんだん濃くなつてゆくというやり方と、もう一つは「遠心分離法」といって、これは電気洗濯機のお化けのような周速毎秒 400 m くらいの等身大の高速回転体の中で、さきほどの気体をぶんまわして、軽いものが内部に来て重い U 238 が外側へ行くという原理で分ける方法と、この二つの方法が商業的におこなわれている。

ところが最近になってにわかに、これは米国だけではないのだが、いわゆる「レーザー分離法」が最終的にはいちばん安いのではないか、ということが多い出されて波紋を投げている。U 235 と U 238 とでは同じウランでも原子核の大きさが違うので、周りを回っている電子のもつエネルギーが違うということから、適当な波長のレーザー光線を当てると選択的に U 235 の軌道電子がはがれる、つまりイオン化したり分解したりするので、それを電極などで集めれば、きわめて高い効率で U 235 と U 238 とが分けられるわけである。

レーザー分離法にも二つのやり方がある、ウランの原子でやると、いま言った UF<sub>6</sub> というウランの化合物を使ってやると二つがあるが、米国が最近はっきり原子法を選ぶということで、つまりウランの原子を直接分けたほうがよいということで、そうすると 2000 年ごろになれば今のコストの半分くらいで出来るようになるということを発表し、日本もいろいろその影響を受けているわけである。

この原子法はウランの金属を 2,500°C 以上で気体にして金属蒸気を作り、それにある波長（可視光 0.6 μm 程度）のレーザー光を当てることにより、その U 235 と U 238 の原子を分けようということである。この方法はたいへんな高温で、さらにウラン金属自身がたいへん腐食性の強いものだから、そういう操作が非常にむずかしい。またレーザー自身もそういう波長を出すレーザーで、銅蒸気レーザー や 色素レーザー で商業規模なら 1 kW 級の大出力のものが必要になる。このような大出力のレーザーの開発ということでもむずかしいが、むしろ、もっとむずかしいのはウラン金属を 3,000°C 近い蒸気にして、しかも、この蒸気が何トンという大量のものだから、それをどう扱うのかということである。そんな高温に耐える坩埚はないから、おそらくウランの金属に電子ビームでも当てて、ウランが気化して蒸発したところを、レーザーで狙い打ちをして U 235 と U 238 とを分け、それを適当な方法で回収するという方法をとっているようである。この技術が成功すると、

設備自身も小さく、プロトタイプ程度のものは米国でもやっていて、会議室の中に納まる程度のものである。遠心分離だと1台で分けられる分離率は非常に低いから、商業工場の場合は100万台くらいの遠心分離機を並べた巨大な工場になるのであるが、レーザー法ならば、こんなに小さなものでも出来るということで話題になっている。

米国が分子法でなく原子法を選んだということには、いろいろな背景があるようである。分子法は実際は  $UF_6$  ガスを噴出させて、マイナス100°C くらいの状態のところへレーザーをかけて分けるわけで、この場合は 16 μm くらいの赤外線レーザーで  $UF_6$  を  $UF_5 + F$  に解離し、 $UF_5$  は粉になって落ちる。レーザーは液体レーザーなので、大出力も見通しあるが分離効率そのものは少々低いとか、いろいろ一長一短がある。そんなことを理由に米国は原子法で行くことを選んだと言わっているのだけれども、もともとレーザー法が理屈ではよいことも、また、その中でも原子法のほうが理論的には効率がよいことくらいは、もう何十年も前からわかっていることで、なぜ今日それを米国が選んだのかという点については、いろいろ憶測がある。

その一つは、プルトニウムの精製には、これが最適だということである。ウランを原子炉で燃やすとプルトニウムが出来るわけだが、その平和利用で出来たプルトニウム (Pu) は、非分裂性の Pu 240 などを多く含んでいる。平和利用ならそのままよいが、兵器用ならば純粋な Pu 239 ほどよい。予算が非常に絞られているなかで、原子法だといえば軍部からの応援もあるだろうということも、一つのポイントになっているのではないかという見方もある。日本はいま遠心分離法で青森や岡山で国産の濃縮ウランが自分で商業的に作れるようにしようと取り組んでいる矢先のこと、まさかそんなことを牽制するために言ったのではないと思うが、少なくとも結果的に関係者の一部が動搖したことは確かである。

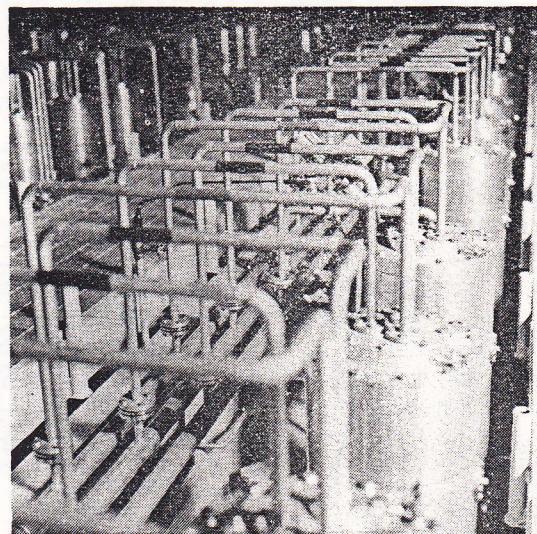
ただし米国でも、いますぐ原子法の大生産を始めようというのではなく、数年間の研究開発の結果と濃縮ウランの需要を見ながら、次の新設備はレーザー原子法にするということである。実は今まで米国も遠心分離法に数十億ドルも使ったの

に、これはレイオフという米国一流のやり方で、冷酷無残に中止させてしまった。こんどのことも、ほんとうにやるのかどうかは、連邦予算の大なた減額も始まっているし、まだまだ不透明であるといふほかにない。

なにしろ、この技術は、レーザーもそう簡単ではないけれども、それよりもむしろウラン金属を 3,000°C の蒸気にして分ける、扱うということのほうがたいへんである。これは今までにやったことがない。強いていうならば半導体の製造の場合、シリコンウェハーか何かの上に薄く均一に金属膜を載せるというような技術に似てはいるが、原子法のまさに「軽薄」とは反対の、何トンという「重厚」のものを、ゆらゆらと回してゆくという、ちょっと想像もつかないような技術になるわけである。

これこそまさに「未踏技術」であって、当協会の役員の方々にも、ぜひ関心をもっていただきたいと思う。このような革新的技術の開発は、そのスピンドルというか、ほかの技術への大きな波及効果も考えられる。

なお日本でも原子法、分子法は、それぞれ日本原子力研究所、理化学研究所で原理実証の研究をほぼ終わっており——数マイクログラムほどの U 235 を回収している——開発の基盤は形成されている。



岡山県の人形峠で運転中の動力炉・核燃料開発事業団のウラン濃縮パイロットプラントの遠心分離機

波及効果といえば、同じ濃縮でもう一つの話がある。いま動いているものも、また着工しようとしているものも、マレージング鋼という材料であるが、10年ほど前にカーボンファイバーが良い、正確にいえば炭素繊維補強プラスチック材料が良いと、日本はそれに眼をつけ、東レ(株)が非常に良い炭素繊維を開発した。ところが、その直後の技術評価で、カーボンでなく鋼材料ということになったが、東レのこの炭素繊維は世界最高ということで、宇宙関係その他ほとんど独占状況にある。ところがまた最近この材料のウラン遠心分離機のほうが軽くて経済的であるというデータが出て、マレージング鋼の次のものとして、これに力を入れるべしという意見が大勢を占めてきている。原子力技術のスピンドルの好例である。

結果論であるが、もし、あのときマレージングでなくカーボンを選んでいたら、日本のウラン濃縮は今日すでに世界最低価格のものとなっていたかもしれない。技術の選択、とくに曲り角での決断というのは、ほんとうに怖いくらい難しいものであると思う。

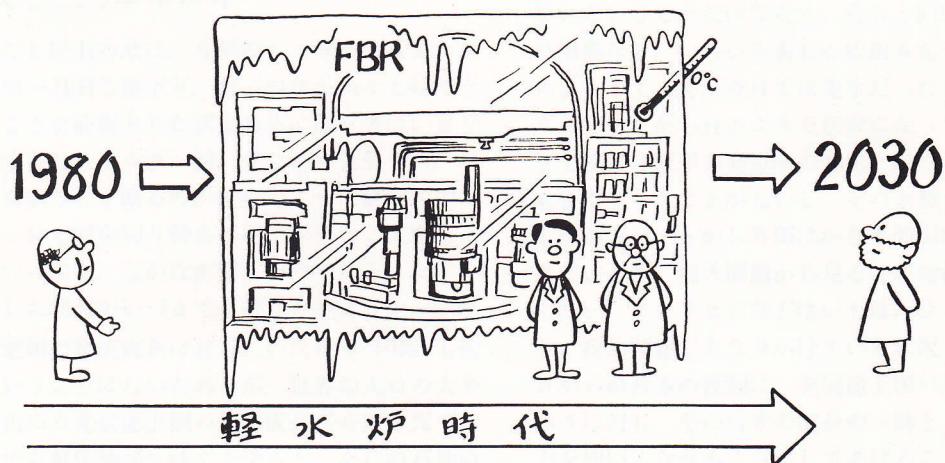
### ■早産(?)高速増殖炉

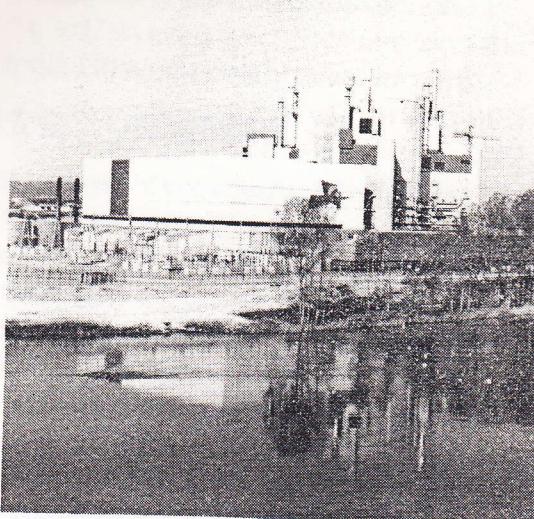
次の話題は高殖増殖炉である。日本ではすでに全発電量の1/4が軽水炉による原子力発電になっているが、軽水炉はウランの使用効率としてはあまり良くない。おおざっぱにいって重さ当りで石油、石炭の1万倍程度である。今のウランのうち分裂性のU235とプラスα程度の利用で、あとの大半は捨ててしまう結果になる。日本など

はウラン資源もないからなおさら、なるべく早い時期に高速増殖炉をということになって、燃えるU235よりもU238から出来るプルトニウムが多いという、いわゆるFBRが使えるだろうということで各国も今まで進んできたのである。

ところが、ここ数年来、経済全体の低迷もあるし、原子力発電も日本やフランスはむしろ例外として、量的にもそれほど伸びないということになり、これに加えてウランは、まだかなり長い期間もつだろう、値段も安いだろう、海の中にも3億分の1くらいはあるし、ウラン資源というものは簡単になくならないと見られるようになってきた。そこで近い将来、20年や30年、いや50年くらいは今のようなワンスルーというか、都合のよいU235だけ燃やして使い捨てにする方式でゆけるし、そのほうが発電コストも安い、うんとさきになつてプルトニウムの利用を考えればよいのではないか、というようなコンセンサスが形成されつつあるのである。すなわち今の軽水炉時代はもう50年くらいは続く、そして2030年ごろになつたら、やっと経済性のある高速増殖炉が本格的に採用されるのではなかろうかというわけである。

しかし高速増殖炉というものは現在、フランスで30万kWと120万kW、ソ連で30万kWと60万kWのものが快調に動いており、技術的には完成して存在しているわけである。ただ今日の技術では、水ではなくてナトリウムを冷却材に使っていることもある、コストが非常に高い。だから50年もたつてFBRの合理化の研究開発が実り、かつウランの値段が今の5倍とか10倍





今年 1 月 14 日に送電を開始したフランスの高速増殖実証炉「スーパー・フェニックス」120 万 kW 発電所

とかになれば、やはり FBR のほうが経済的に引き合うだろうという見通しがもたれている。そうなると、おそらく歴史的にもはじめてだと思うが、技術的にはもう完成したものが、その技術体系を今後 30 年も 40 年もの間に果たして健康に維持発展してゆけるかどうかが問題となってくる。いわゆるハイテク分野のような非常に進歩の早い分野から見ると、やや異常な状況かもしれない。どうしてその間をつなぐのか、技術者だって世代が二つも替わってしまうのだから、新技術を生きたまま冷凍保存する方法でもあったら、ぜひ教えていただきたいくらいである。

### ■太平(?)エネルギー

ただし以上の話は、今朝のニュースでも見たが石油の一方的な値下り、だぶつきが長々と続くということを前提とした話である。経営者はいまや買いすぎたエネルギー源、すなわち天然ガス、石炭、石油などを断るのが仕事のような状況の中だから、いま頭を切り替えて何十年先のことを考えろといっても、なかなか難しいのである。だが、こうした状況がいつまでも続くのかどうか。

先進国の経済成長は昔みたいに毎年 10% も続くということはないだろうが、世界の人口の大多数を占める発展途上国の経済成長が今後 1% でも 2% でも毎年伸びてゆくとすると、今日の石油の

産出能力から考えて 2000 年くらいになると満杯になってしまうという状況である。したがって 2000 年くらいになれば、おそらく石油をいつまでも燃やし続けられるとか石炭が買い放題とかいう状況は、そう続くはずもない。また逆に、もし途上国の経済が発展しないで、依然として先進国との間の格差が広がる一方という、今と同じような状況が続くとすれば、むしろ日本経済そのものの存立がおかしくなってしまうに違いない。そう考えると、やはり途上国の経済成長を待て助けるということを前提で考えるとすれば、やはり 2000 年ごろに一つの変曲点が来るのではないか。

そのうえ一部で強く指摘されているような炭酸ガスの問題も、現在はまだ地球にはっきり破滅的な効果を及ぼすものと、そこまでは言いきれない面もあるけれども、2000 年ごろになれば結果が見えてくる。ほんとうは、そのときではもう取り返しがつかぬのかもしれないが、とにかく化石燃料を燃やすということ自体を、たとえ資源はあっても、やはり考え方直さなければいけない。そうなれば先進国では、使い方の難しい原子力のほうを使えということになるだろう。

そんな議論をしているわけだが、しかし私どもに集まって来ていただいている方々は、なにしろ毎日のお仕事が余ったエネルギーをどうやって断るかが仕事なので、そういう方々を相手にいくら説得しても、なかなか難しい話である。

日本の原子力産業は、世界で唯一の原爆体験国という中で、いろいろ実績を積みながらやっとここまで来た。原子力産業の特色はただ技術的に新しいということだけでなく、それと同時に社会との関係など、いろいろ新しい仕組みをつくりながらここまで来て、今日では先生だった米国からもうらやましがられるような状況になっている。今まで日本は原子力発電所の輸出ということを一度もまだやったことがないし、その余裕も心臓(?)もなかった。しかし外国はかなり強引に輸出してきているが、輸入国側から見ると成功例はほとんどない。フィリピンなどはいちばんひどい例であり、政治問題にもなりかけている状況である。これから日本の役割は、発展途上国の意欲のある国々に対し、その将来の成長の一助として、原子力を使いこなせるようにしてあげることである。

これは輸出としてみれば、当分のあいだ、まったく“もうけ”にもならないことだが、そういう考え方で途上国協力の旗を振っているわけである。

## ■安全(?)廃棄物問題

原子力で残っているいちばん大きな問題は、いわゆる廃棄物の処理処分の問題なのである。その中でも原子力発電所で毎日使っている手袋の使いかすとか、そうしたいわゆる低レベルのものは、量は多い（発電所当たり年間ドラム缶数百本）が放射能は低いので、処置は比較的簡単なのである。一方いわゆる高レベルの核分裂生成物の処分がいちばん残された問題で、これは量は逆に非常に少ないのだが、放射能が強くて減衰に時間がかかる。最終的には安定した深部地層その他へ処分をするにしても、いちばん良いのはガラス化、つまり水に溶けないガラスというより宝石状のものにして安定なところに置くということである。その量は100万キロを1年間運転して出てくる量がキャスク30本程度である。キャスク1本は直径40～50cm、長さ1.5m程度のもので、それが1年間30本程度だから、量としては少ないけれども、ただ非常に放射能の強い危険なものである。もう少し詳しくいうと、ホウケイ酸ガラスをステンレス筒に入れたもので、これを30年くらい地上施設で空気を送って冷やして貯蔵する。そして30年もすると、とくに冷却が必要ないくらいに放射能が衰えるので、それを安定した地層の地下数百米のところへ格納する。これが外国ではすでに着手しているやり方である。

とにかく次はキャスクの処分地というようなことが、いずれ問題になってくるわけである。いまちょっと手が上がっているのが、これは処分地ではなく、その試験施設の候補地ということだが、北海道の幌延町が出ている。これは必ずしも選ばれた地域ということではなく、非常に町長さん始め熱心で、科学的にやれば安全だということわかるから、ぜひ来てほしいという話があったのである。それでは試験地として研究所でも置かしてもらうようにしようか、そのため、まず適地かどうかか調査したいという申し入れを動燃事業団がおこなったところ、知事さんが、ちょっと待てということで難航しているわけである。

いずれ近い将来に本格的な処分地——これも一気に捨てるのではなく、いま述べたように安全を確めながら数十年がかりでやるのである——を日本全体の中から科学的な基準で、どのようなところがよいかということを調査して、適地であって、かつ地元の理解が得られるところに定めることになると思う。すなわち日本の全体を見て、玄武岩とか花崗岩とか、あるいは粘土質などの地帯の中から、万年单位で安定している地層の候補を探して、その中から地元の方々の理解が得られるところに置いてゆくという手順になるわけである。高レベル放射能といつても、それ相応に手をかけるのだから、最終的な安全性は別に原子力発電所と極端に違うわけではないと関係者は思うのだけれども、ただ非常に理解されにくい問題であることは確かである。

たまたま中国地方の山のほうで、地下水が出なくて産業誘致もむずかしいが、原子力関係で何かないかと地元の有志の方々からお話をあった。それなら将来の問題として、この高レベルの問題、とくに安全性についてご勉強になったらどうかと、いうことで、パンフレットをお届けしたりしていた。ところが何かの拍子に、この話が高レベルの処分地として、私が申し入れをしたというふうに尾ひれがついて、地元の新聞に出たりした。

私はその施設を計画する立場にもないし、いわんや申し入れなどということをする資格もない。第一まだ国としても、まだ候補地を探したり公募したりする段階にもない。新聞記者の方くらいしか私のところへは来ないので、弁明する機会もなくて困っている。おそらく地元の関係者の方々もそうだろうと思う。地元の開発を真剣に考える立場から、国として重要なことで安全が確実に保証され、かつ地元の発展に寄与しうるかどうか、ただその可能性を調べてみようとするだけで、こんな騒ぎになってしまふのである。

原子力に反対の方々は、この高レベル問題を天王山のように考え、これさえ止めればと意気込んでおられるからだろうか。当協会の役員の中にはご縁の深い方もおられるので、この機会に経緯を説明してご理解を願いたい。

\* この記事は森一久監事が去る1月21日、本協会定例の理事懇談会の席上で話されたものの要旨です。