

原子燃料の動向

中 村 康 治

この生産研究には原子力関係が少ないので、はじめに少し解説的なことを述べ、それから昨秋および今春の短期間の海外出張から得られたことを書き連ねたい。

エネルギー事情の解決に大きな期待をもって原子力の平和利用が始められ、すでに国内でいくつかの原子炉が建設の段階に入り、とくに実用発電炉としての東海村の日本原子力発電会社の天然ウラン黒鉛減速型原子炉は電気出力 16.5 万キロワットを目標として建設されつつあって、2 年半の後には画期的な原子力による発電が予定されている。このほか低濃縮ウラン軽水減速型の動力炉の計画も検討されているし、そのほかのいろいろな計画も耳にするようになってきた。

しかしながら、世界的視野に立ったエネルギー資源の賦存状況はこの数年間の成果によって数年前とだいぶ様子を異にしてきた。サハラの大油田は今後数十年の全ヨーロッパの需要を賄うというし、わが国の資本も投下されているアラビアの油井は日産 1,000 キロリットルの噴油を示している。

一方過少資源としてみられていたウラン資源さえも探鉱の結果、世界的には予想外の鉱量であることも知られるようになった。

このようなエネルギー資源の全世界的な存在状況から問題はエネルギーコストであるという見地から、原子力の在来の化石燃料との比較がおこなわれるのであるが、現在の炉型から得られるいわゆる発電コストは現有新鋭火力のそれに匹敵しうべくもない。しかしながら、若い技術年令の原子力技術にはまだまだ改善の余地があるし、ウランの燃焼とともに新たに核分裂のプルトニウムを生じ、このプルトニウムを再びエネルギー源として用いる——いわゆる燃料サイクル——の可能性があると、原子力の魅力がある。しかしながら世界的にみても資金の総量には限りがあり、ごく近い将来のエネルギー源としての、たとえば油田開発にも多額の資金を要する一方、可能性を現実化するために原子力分野に膨大な研究開発資金を必要とし、しかもこの実現のためにはかなりの時間を要すると考えられるので、従来原子力分野の大きな支えとなっていた非平和利用の線での国家資金の投入が国際情勢の変化によって弱まりつつあるため、自由資金の流入がむしろ近い将来のものに流れるという傾向から原子力のスローダウンを説く者もある。少なくとも

も原子力開発について反省がおこなわれつつあるようである。

国内資源が乏しく、エネルギー源の大部分を輸入しなければならぬわが国の事情では、アメリカにおけるそれとは逼迫度が異なるし、開発初期から全く平和利用のみを考えていたわれわれにとって反省事情も異なるのは当然であるが、しかしながら乏しい資金の投入に対しより効果的な結果を期待しうるだけの方策が必要である。

この点今までは原子力技術の何であるかを覚えるための時期であって、もちろんこの目的はいつまでも完全に果たさるべくもないが、しかし開発初期には短兵急な合目的性の論もある程度は無視し得たのであろうが、今や、全世界的なものと同様一つの反省が必要と考えられる。

発電コストの要素

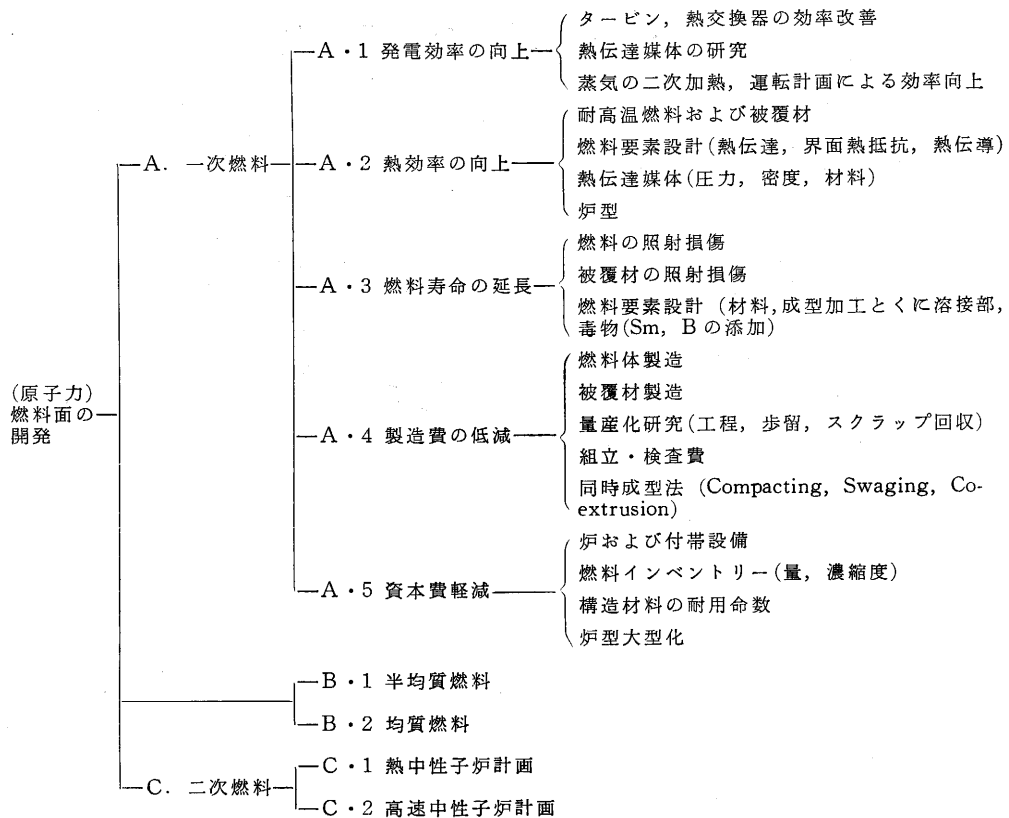
原子力委員会の動力炉調査専門部会（部会長瀬藤象二先生）では、今日の実用炉およびプロトタイプの試験炉からのデータから近い将来の数型式の動力炉の発電コストの試算をされている。そのあるものによれば、kwh 当たり 3.46 円で電力が得られるとされているが、その構成内容をみると資本費が約 53%，燃料費が約 32%，残りが運転費となっている。この燃料費は UF_6 から UO_2 への変換、その成型費と損失を含めた加工費、ウランの損耗費および残存ウランとプルトニウム抽出のための化学処理費、輸送保険費の合計からプルトニウムの買上費を差し引いて求めている。資本費のなかには償却費、金利等が含まれている。

今日いずれの炉型をとってみても、完全には満足すべきものでなく、今日のある形をもって原子力発電が経済的な完成されたものとは、とうてい考えられないが、端的に言ってこの発電コストの低下が自由資金の流入に最も効果的である。それではどのような点が不満であってどこを改善すべきかという点になると異論もあるが、少なくとも方向としては、つぎの表に示すことができると思う。

各項についてとくに説明の必要もないと思われるが、燃料面について二三の解説を加えると、前に引用した動力炉調査専門部会の資料である型式の炉の燃料費の内訳数字をみると第 2 表のごとくである。

損耗費はエネルギーに対応するものであるから、量的には変更の余地がないにしても、ウラン鉱石費、製錬

第 1 表



第 2 表

| 燃料費内訳 | 千円/kg U |
|----------------------------------|---------|
| 燃料費 | 92.9 |
| ○加工費 | 33.5 |
| UF ₆ →UO ₂ | 6.0 |
| 成型費 | 25.3 |
| 損失 | 2.2 |
| ○化学処理費 | 6.2 |
| ○損耗費 | 65.2 |
| 初期価格 | 134.7 |
| 残存価格 | △69.5 |
| ○残存ウラン転換費 | 3.7 |
| 転換費 | 2.0 |
| 損失 | 1.7 |
| ○プルトニウムクレジット | △26.6 |
| ○輸送保険 | 10.9 |

(△印は収入を示す)

費、濃縮費などの構成要素の低下に努力が向けられる。

加工費のなかでとくに成型費の占める割合が高いが、この試算に用いられた型式は、UO₂ペレット—ステンレス鋼シースのもので、この型式によるかぎりは大きなコストダウンは望めないが、第1表のA・4項に示したように燃料と被覆材とを同時に加工しようとする研究があり、かなりの成果を収めている。これについて次の項でやや詳しく述べる。

プルトニウム

プルトニウムクレジットは、USAECの\$12/gPuの買上価格を基準としたものであるが、プルトニウムはそれをいかに有効に利用するかということが、いまなお研究中であって、第1表のB項に一応の方向は示されているが、まだ動力炉にプルトニウムを用いることは実用に到っていない。去る4月フランスのグルノーブルで開かれた国際プルトニウム冶金会議で発表された報告は、大部分基礎的研究に属するものであって、米、英、仏およびユーラトムでのプルトニウム研究計画の初段階のものであった。研究炉としてプルトニウム燃料を用いて運転されたもの、および当初は濃縮ウランを用いるが順次プルトニウムに置きかえる予定のものならびに計画の原子炉が今日世界中に15基を越えるが、動力炉燃料としての価値を論ずることはできない。軍用に供せられるものは、ウラン燃料の燃焼度の低い使用済燃料から抽出した高次同位元素含有のほとんどないプルトニウムであって、動力炉から取り出される燃料から抽出されるそれは、Pu-240, Pu-241, Pu-242などの高次同位元素を含み、理論的解析としてU-235に対する等価性が論じられているが、今日および近い将来は政策的に決定されたプライスであって、厳密な意味のコストでも、バリュエーションもない。このような不安定な基礎に立つプルトニウムク

レジットを基礎の明確化と価値の上昇のためにはプルトニウム研究計画の推進が必要である。とくにプルトニウムがアルファ放射体であり、生物学的毒物でもある関係でグローブボックスまたは遠隔取扱が必要なため、その加工費は、ウラン系に比べて数段高いことが予想されるので、計画の推進のためには、加工問題を解決することが先決である。

いままでプルトニウムというと爆弾を連想し、事実外国でも限られた情報しか得られなかったのであるが、平和利用の立場からかなり知識の公開がおこなわれ、また逆に関係者がウラン系燃料についての知識、経験を求めるようになってきた。グルノーブル会議でもソ連の参加はなかったが、東欧圏の国を含め 16 国から 200 余名が参集し、友好的雰囲気活発な質疑応答がおこなわれたことは従前の暗いかげを払って、プルトニウムが陽の当たるところに出てきたことを感じさせた。しかし各国とも軍をもち、国家政策に支えられてこれらの計画が進められていることは事実であって、国際情勢の変化に最も敏感な分野の一つでもある。これに対しわが国では、あくまで公開・自主・平和の三原則に立って原子力計画が進められ、エネルギー問題の圧力がより大きいわけであるから、この問題についてもわが国独自の計画を早く立案し実行に移さなければならないと痛感している。このことが一次燃料を用いる原子力計画の裏付ともなるからである。

燃料加工

コールドターホール型燃料、すなわち天然ウラン金属棒にマグノックスというマグネシウム合金を被覆した型式のものの製造には、燃料体の製造よりも被覆材加工および組立加工にむしろコストがかかる。

照射生長や膨潤を最少限にするための微量添加元素による改良や真空鑄造技術の改善もおこなわれ、鑄造に対し押出や圧延によるコスト低下の試みもある。

被覆材に高放射能の分裂生成物の外部への逸散を防止することを第 1 の目的とし、燃料に発生した熱を冷却材に伝達する役割をもっているため、中性子経済上中性子吸収の可及的少ない材料で、可及的肉薄の伝熱に最も都合のよい設計になっている。熱効率、発電効率を向上するために伝熱媒体である炭酸ガスはより高温、高圧、高

流量になり、より高い燃焼度したがって燃料体のより大きな変形とより長時間の炉内滞留を期待しなければならないので、被覆材に対する要求はいっそう酷になってくる。効率的な熱伝達のために複雑な放熱ヒレをもつ構造になっている。このような複雑な形状のものを製造するのに現在のコールドターホール燃料は一重ラセン型ヒレであることと、内部健全性の保証のために押出棒から旋盤切削によって加工している。切削加工は最も高価な加工法の一つであり、大部分の材料を切削クズにしてしまうことであるから、これに対し押出、衝撃押出、転造法のような量産的非切削加工法の適用が試みられ、およそ実用段階に入っている。端栓の溶接は最も重要な作業で健全性保証とコスト低下のために自動化されつつある。

低濃縮酸化ウランを用いる炉の燃料は通常 UO_2 ペレットに焼結して、この直径 10mm 前後のペレットをステンレスまたはジルコニウム合金の管に収めてある。

UO_2 ペレットは熱伝導度が低く、そのため使用中外壁温度が $270^\circ C$ 近辺であっても、燃料中心温度ははなはだ高温になり、その融点 $2750^\circ C$ にも及ぶことがあるこれを防ぐために寸法を小さくする必要があるが、一方これは加工費を著しく高くすることになる。また焼結した円筒形を長い管に収め、熱伝達上ペレットと管との隙間をなるべく小さくするため、ペレットも管も寸法精度を高くする必要がある。このことも加工費を著しく高くする要因になっている。

この分野では、焼結性のよい UO_2 粉末を求めること熱伝導度改善のための添加剤の研究、精密プレス法の研究がおこなわれ、さらに飛躍的に成型加工費を低下させる手段として焼結工程を省いて compacting によって、 UO_2 の理論密度に近い圧搾体を作る研究と UO_2 粉末を金属媒体に分散させて被覆材とともに押し出し、あるいは圧延するいわゆる同時成型法とが研究されている。このためには UO_2 粉末や焼結体の物性研究（焼結機構の究明、圧着機構としての内部欠陥の自己拡散、半導体的性質をもつ UO_2 の塑性の研究）とともに工学的には UO_2 粉末への加圧方法やコーティングの研究がおこなわれている。これらに関する論文がウィーンで開かれた国際原子力機関主催の燃料要素加工シンポジウムでのトピックであった。(1960. 7. 1)

東京大学生産技術研究所報告 第 9 卷 第 4 号 刊行

「固液相吸着における拡散機構に関する研究」

趙 容 達 ・ 福 田 義 民 著

化学工学的な基礎研究として固液相吸着の拡散機構に関する理論的および実験的究明を試みた。

物質移動において粒外拡散が律速のとき総括物質移動係数とこれに影響を及ぼす諸因子について述べ、攪拌装置と攪拌速度との関係を検討し、その結果粒外拡散が支配的因子ではないことを明らかにした。

粒内拡散において粒内拡散が律速のとき粒内拡散係数とこれに影響を及ぼす諸因子について述べ、粒内拡散係数が吸着が進むにつれて著しく増大し、これは表面拡散によるものであることを認めた。

粉内および粒外拡散においても理論的な計算の結果粒外境界膜抵抗は無視され、拡散は最初マイクロ孔において行なわれ、次にミクロ孔において表面拡散が起こりここで吸着されると結論した。