

<研究抄録>

## 核燃料サイクルからみた原子力長期戦略の分析

電力中央研究所報告 No. 578002

山 地 憲 治

本論文の研究成果は第2章にまとめた核燃料利用効率の分析と第3章に収録した核燃料サイクルの相互制約の分析との2つに分けられる。これら分析研究の意義および分析結果利用上の留保が各々第1章と第4章で述べられている。

第2章における核燃料利用効率の分析は、原子炉炉型の選択という政策判断を解析するための一つのフレームワークを提供するものである。まず過去において如何なる判断基準によって原子炉炉型の選択がなされてきたかが概説される。米国を例にとり、軽水炉が実証炉となるまでと高速増殖炉中心の研究開発の時期および最近の動向の3時期に分けて原子炉開発の経緯が簡略にまとめられている。この歴史的過程の考察は現段階では不十分であるが、個々の炉型の経済性の優劣とともに長期的なウラン資源の有効利用を重視する考え方が原子炉炉型の選択に大きな役割をはたしているという基本的な特徴を見出すことはできた。

炉型選択と核燃料利用効率との基本的な関係を示すため、既報告（電力中央研究所報告 No. 577003, 山地, 1977）を要約して、まず理論的な分析を紹介した。理論的分析は静的分析と動的分析よりなる。静的分析では、核燃料サイクルシステムにおいて1グラムの核分裂性物質の

正味減耗によりどれだけのエネルギー発生が行なわれるかを示すエネルギー抽出効率を定義し、これを用いて各炉型での燃料利用効率と比較される。動的分析では、原子力発電規模の増大に対してプルトニウムの生産と消費の物量バランスを通して導入炉型が制約される効果を微分方程式を用いて表現し、転換炉から増殖炉へと推移する炉型構成変化の基本特性が分析される。

次に、これら理論的分析から予見される基本的特性がわが国におけるより具体的な諸条件下でどのように現われるかを計算機シミュレーションモデルを用いて検証した。シミュレーションモデルは核燃料サイクルを形成している核燃料物質の移動を模擬するものである。モデル化の手法としてはシステムダイナミックス (SD) 手法を選び、核燃料サイクル各プロセスにおける保持量をSD手法のレベルで表現し、プロセス間の移動をレイトで表現した。また各原子炉炉型の運転出力規模もレベルで表現され新設および廃炉がレイトで表現されることになる。分析目的に応じて、核燃料サイクル各プロセスの処理能力に様々な制約を課したり、それら能力を変更する論理をモデル化することができ、また原子炉炉型選択にもいくつかの論理を用いる

ことができるようになっている。

炉型選択と核燃料利用効率との基本的関係を分析するのが第2章の目的であるので、ここでのシミュレーションではプルトニウムバランス制約と新型炉導入時の市場参入率制約のみを考慮する。シミュレーションケースとしては、1975年から2050年までのわが国の原子力発電規模を4種想定しそれぞれに8つの炉型戦略を考え合計32ケースの計算を行なった。結果を分析して得られる主要な結論は次のとおりである。

まず、高速増殖炉導入時期の変化が天然ウラン所要量におよぼす効果のパターンは、超長期的な原子力発電規模の想定に依存して変化することがわかる。つまり、超長期的に原子力発電規模が拡大を続ける場合には、高速増殖炉の早期導入は天然ウラン節約に最終的にはそれ程大きく寄与しないのに対し、原子力発電規模の増大が21世紀に入って鈍る場合には、早期導入の効果は最終的にも大きいという結果が得られている。これは、プルトニウム不足によって高速増殖炉の新設が制約されるほど早期に高速増殖炉を導入してもその資源利用効率上の利益はごく僅かなものであるという理論的分析の結果が具体的に現われたものである。

次に、天然ウラン燃料型重水炉の良好な資源特性が具体的な数値で示される。この型の炉はそれ自身でウランの利用効率が良い上に、プルトニウムの生産性の良さが高速増殖炉の導入を促進するという二重の効果によって高い天然ウラン節約効果を示すのである。これも理論的分析から予見されていたことである。

なお、熱炉でのプルトニウム利用については軽水炉へのプルトニウムリサイクルとプルトニウム燃焼型重水炉の導入との2方法を考慮した

が、その天然ウラン節約効果はシミュレーションの諸条件の与え方によって様々に変化している。しかし、効果の大小はあるものの、高速増殖炉の容量拡大を制約するほど大量に熱炉でプルトニウムを利用してしまふのは長期的には結局天然ウランを余計に消費することになるという理論的分析から得られる基本特性を示している。

結局、具体的数値を得ることが目的の場合にはシミュレーションモデルが役立つが、炉型選択と核燃料利用効率の関係の基本特性は理論的分析で十分に理解できていると言えよう。

第3章における核燃料サイクルの相互制約の分析は原子炉中心的な分析の欠陥、つまり原子炉炉型構成さえ決めれば核燃料サイクルの他の局面（たとえばウラン濃縮能力の確保など）は自ら調和的に成立してくるという仮定の不都合、を補う意味がある。原子炉炉型の選択をウラン濃縮および核燃料再処理の長期計画と結びつけて核燃料サイクルの長期戦略として総合的に分析することの必要性は近年ますます強く認識されているところである。ここでの分析には、第2章で理論的分析の裏付けに用いたSD手法による核燃料サイクルシミュレーションモデルの特長を活用する。なお第3章での分析対象期間は1975年から2025年までである。

まず、1990年代後半から徐々に高速増殖炉が導入され、現在の海外ウラン濃縮契約レベルは確保され、1990年頃国内に商業用再処理工場が稼動し始めるという条件下で、軽水炉へのプルトニウムリサイクルおよび1990年以降の国内ウラン濃縮工場の建設をモデルに組み込んだ論理で選択させ核燃料サイクルの将来像を描かせた。結果として、1990年頃一部の軽水炉でプルトニウムリサイクルが行なわれ、90年代

後半に国内ウラン濃縮工場が稼働し始め、2000年以降高速増殖炉時代に入るという現在コンセンサスとなっているものに近い核燃料サイクルの将来像が得られた。この結果はモデルの機能を示すための例示としてかなり詳しく説明されている。

次に、再処理を中心とする核燃料サイクルの相互制約を分析した。ここでは軽水炉燃料の再処理を高速増殖炉導入時点まで延期する場合を考え、2025年までに導入されない場合も含めて高速増殖炉導入時点を4時点設定して分析した。結論は、高速増殖炉導入が遅れる場合にはそれに合わせて再処理を延期することは天然ウラン資源所要量を増大させ損になるが、プルトニウム不足を起こすほど高速増殖炉が早期に導入される場合であれば、再処理計画を遅延させてもウラン資源上の損失はなくむしろ軽水炉へのプルトニウムリサイクルを阻止するのでかえって長期的にはウラン節約になるということである。ただしここでは高速増殖炉導入と歩調を合わせて再処理が可能となるような技術の蓄積が前提にされていることと、使用済燃料貯蔵の方途を考えておかねばならないことに留意すべきであろう。

最後にウラン濃縮需要パターンを重水炉の導入、軽水炉へのプルトニウムリサイクル、高速増殖炉の導入時期との関係で分析した。ウラン濃縮需要は高速増殖炉の導入によってピークを生じるので、軽水炉へのプルトニウムリサイクルの運用等による需要の平坦化およびウラン濃

縮設備の運転上の工夫の必要性があることを指摘した。

本論文の研究概要は以上のようなものである。ただし、本研究の結論であるこれらの成果の解釈にあたっては次のことに注意していただきたい。

原子力開発は、技術、経済、環境、安全、資源問題、技術開発体制問題など多くの側面を考慮した判断に基づいて、計画され、推進されていくべきものである。その判断において第一義的に重要なことは、どの面を重視するかという基本的考え方である。各側面についての分析は、その基本的考え方に理論的土台を与えることができるだけである。したがって、本研究から得られた結論は、それから一つの原子力開発方針が示唆されるというものではなく、原子力開発論争の場において、例えば燃料資源の有効利用という論点に関してのフレームワークを与えるものである。しかし、そのフレームワークの与え方は、前提に直結した結果しか得られないような構造化の乏しい記述的なものでは困る。そのような記述的な分析しかできないフレームワークの上では有効な議論は成立しない。原子力長期戦略問題について実りある議論が行なわれるためには、構造化された論理が各判断の背後にあることが必要条件なのであり、そのために本研究が些かなりとも寄与できれば幸いである。

(やまじ けんじ)  
技術経済研究部)