

# 長寿命の原子燃料(高燃焼度燃料)の開発

信頼性、経済性に優れた燃料の開発

## Development of Long Life Nuclear Fuel (High Burn Up Nuclear Fuel)

Developing Fuel Designed for Higher Reliability, Operability, and Economy

(原子力管理部 原子力技術グループ)

原子力では、プラント運転性、経済性向上の観点から長寿命の燃料(高燃焼度燃料)の開発を進めている。本号では、前号に引き続き、高燃焼度燃料の開発研究の詳細、今後の展開について紹介する。

(Nuclear Power Operations Dept., Nuclear Engineering Section)

In view of improving the plant operability and economy, we are developing a long life nuclear fuel (a high burn up nuclear fuel). Following previous issues, we describe details of research and development of the high burn up nuclear fuel and future plans.

### 1 研究概要

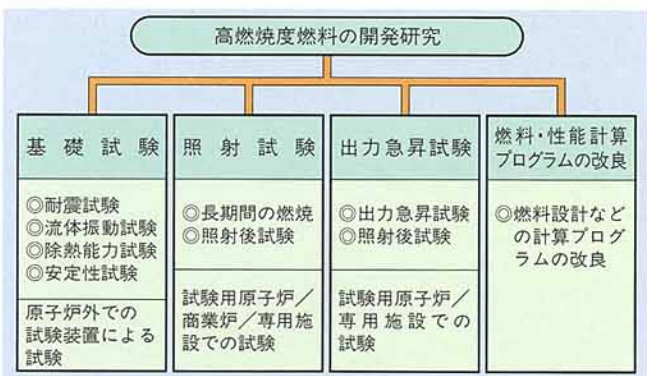
高燃焼度燃料の開発研究は、前号で紹介したとおり、高燃焼度化に伴う燃焼構造の変更を確認するための基礎試験、原子炉内での滞在期間の長期化に伴う影響を調査する目的で実際に試験燃料を照射し解体して調べる照射後試験及び出力の変動に対して健全であることを確認する出力急昇試験などがある。第1図に高燃焼度燃料における試験項目を示す。

### 2 基礎試験

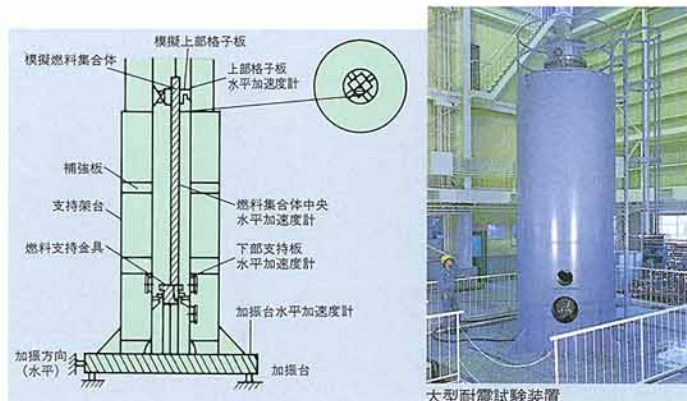
基礎試験には、地震時における燃料の機械的健全性を確認する耐震試験、水の流れに伴う振動に対しての健全性を確認する流体振動試験、燃料の除熱能力を確認する限界出力試験等がある。ここでは、一例として耐震試験の概要を紹介する。耐震試験は、第2図に示す試験装置を用い、実物大の模擬燃料集合体を実際に振動させることにより、各燃料の構成材料の健全性を確認する。耐震試験結果の一例を第3図に示す。この図では、 $9 \times 9$ 燃料の振動特性が、高燃焼度 $8 \times 8$ 燃料と同等であり、同程度の耐震性が保たれていることがわかる。

### 3 照射後試験

照射後試験は、新型燃料を実炉で数サイクル燃焼させた後、専用の試験施設(ホットラボ)で燃料を詳細に調査し、燃料の挙動を把握するとともに健全性を確認する試験である。第4図に示すように、照射後試験は、非破壊試験と破壊試験に大別される。非破壊試験には、燃料集合体及び燃料棒の外観を水中テレビカメラで調べる外観観察、燃料被覆管の酸化の度合いを調べる酸化膜厚さ測定試験などがある。非破壊試験終了後に行う破壊試験では、ペレットからの核分裂生成ガス放出率測定試験、燃料棒を切断し、ペレットや被覆管の状況を顕微鏡で調査する金相試験、被覆管の引張り強さ、伸び、硬さなどを調べる機械的特性試験、被覆管水素ガス分析などがある。第5図に酸化膜厚さの測定結果を示す。燃料棒表面が酸化されると熱が逃げていく燃料温度が高くなるため、酸化膜厚さは低く抑えなければいけない。この図から分かるように、酸化膜厚さは燃焼度とともに厚くなるが、ある程度燃焼が進めば飽和する傾向にある。この結果より、現行の燃料被覆管は、 $9 \times 9$ 燃料で使用する高燃焼度領域(最大55GWd/t)においても十分耐食性があることが分かる。



第1図 高燃焼度燃料の開発研究



第2図 耐震試験装置

また、核分裂生成ガス放出率は、燃焼度と共に増加するが、高燃焼度 8×8 燃料では、他の燃料に比べて特に高いことはない。第 6 図に金相試験の写真を示す。この写真から燃焼が進んでもペレットの状態は、大きく変化していないことがわかる。

## 4 出力急昇試験

現在、当社で採用の燃料は、全て被覆管の内面にジルコニウムを内張りしたジルコニウムライナ燃料である。この燃料は、ジルコニウム内張りにより、出力の急激な上昇時にペレットと被覆管の接触力を柔らげ出力急上昇時の特性が良好となる。ジルコニウムライナ燃料の出力急昇特性を確認するため、出力急昇試験を実施した。試験はスウェーデンの商用BWRで照射した燃料を再加工、輸送レスタズビック研究所のR2炉で実施した。出力急昇試験には、第7図に示すようにある一定出力より階段状に出力を上昇させるモードと短時間に出力を急昇させるモードなどがある。この試験結果を第8図に示すが、9×9燃料の最高燃焼度 55GwD/t の領域まで、現在の出力管理値 (44kW/m) 内であれば出力変動に対して燃料の健全性が十分確保できることがわかる。

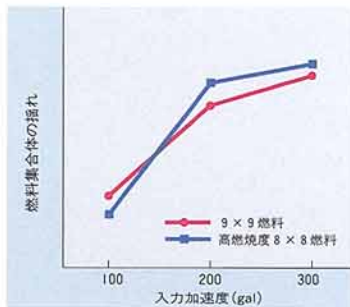
## 5 燃料設計プログラムの改良

前段までの各種試験結果をもとに、燃料を設計するために必要な計算プログラムの改良・整備が行われた。第9図に燃料設計プログラムによるペレット中心温度と計算結果の比較を示す。この図から試験で得られたデータと燃料設計プログラムによる計算値がよく一致していることがわかる。

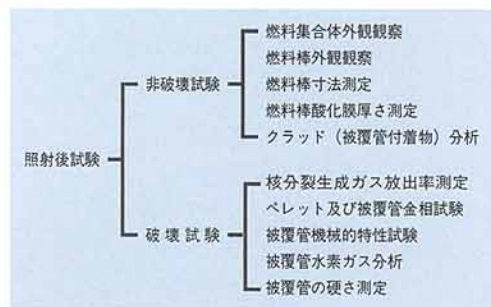
## 6 今後の展開

燃料の高燃焼度化を進めるにあたり、高燃焼度化の各段階毎に前述したような各種研究を実施してきている。このような研究成果を反映して、当社における高燃焼度燃料の採用計画は第10図に示すように、昭和63年度より 8×8 ジルコニウムライナ燃料の採用を始め、平成5年度から高燃焼度 8×8 燃料を順次採用している。また、9×9燃料については、平成10年代半ば頃を目途に採用していく予定である。

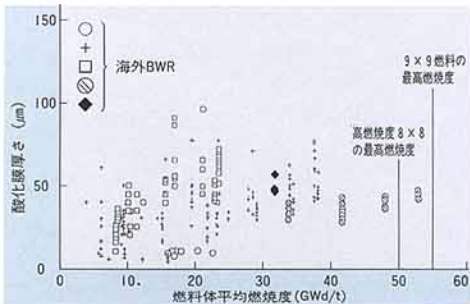
また、さらなる高燃焼度燃料の開発については、核分裂生成ガス放出量増加の抑制や燃料被覆管の腐食量増加の改善などのため、ペレットや被覆管について抜本的な改良が必要であり、現在基礎的な研究を進めているところである。



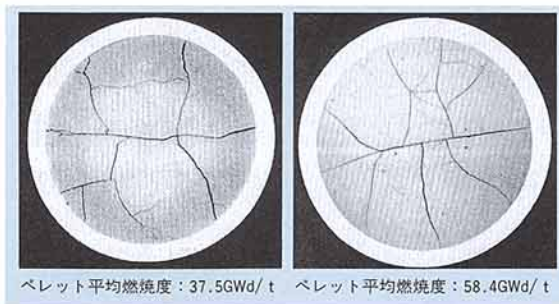
第3図 燃料集合体の振動特性



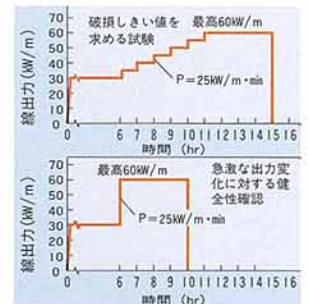
第4図 照射後試験の項目



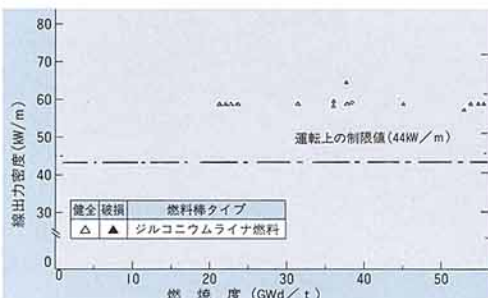
第5図 被覆管最大酸化膜厚さ



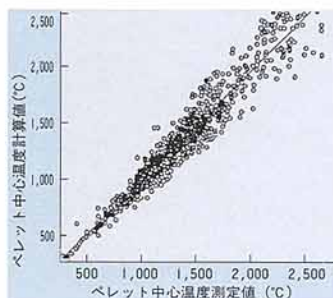
第6図 燃料ペレットの金相写真



第7図 代表的な出力急昇モード



第8図 出力急昇試験結果



第9図 設計プログラムの検証結果の例

第10図 高燃焼度燃料の採用計画(当社)

燃料種類	年度			
	昭和60	平成元 5	10	15
従来燃料	8×8燃料			
高燃焼度燃料	8×8ジルコニウムライナ燃料			
	高燃焼度8×8燃料			
	9×9燃料			