

# γスキャニング装置による ATR 燃料の 出力分布測定結果

動燃技報 No.84(1992)別刷

1992年12月

動力炉・核燃料開発事業団

新型転換炉ふげん発電所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒914 福井県敦賀市明神町3

動力炉・核燃料開発事業団

新型転換炉ふげん発電所

技術課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Section, Fugen Nuclear Power Station. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 3 Myoujin-cho, Tsuruga-shi, Fukui-ken 914, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1992



# γスキャニング装置によるATR 燃料の出力分布測定結果

白鳥 芳武 永松 健次 尾崎 信治  
林 卓

新型転換炉ふげん発電所

資料番号：84-4

Measured Result of ATR Fuel Power Distribution by  
γ-Scanning Apparatus

Yoshitake Shiratoi Kenji Nagamatsu Shinji Ozaki  
Takashi Hayashi  
(Fugen Nuclear Power Station)

新型転換炉ふげん発電所では、クラスター型燃料の燃焼度および出力測定を行うために、サイト内で使用可能なγスキャニング装置を開発した。

これまでに、燃焼度測定7体、出力測定14体の合計21体の燃料について測定を実施した。これまでの結果では、燃焼に伴い出力分布は解析どおり平坦化していくこと、MOX燃料とウラン燃料の軸方向出力分布にはほとんど差のこと、局所出力ピーピング係数(LPF)については測定結果と解析値とはよく一致していること等を確認した。

## 1. はじめに

新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」と略す。）では、ATR用クラスター型燃料の燃焼度分布および出力分布測定を行うために、サイト内で使用可能なγスキャニング装置を開発した。サイト内におけるγスキャニング測定は、ホットセルで行うPIE（照射後試験）に比べ燃焼度分布測定以外にも、炉心から取り出す直前の燃料の出力分布測定が可能であるとともに、比較的簡単な装置で多数の燃料体を測定できるという利点を有している。

γスキャニング装置の開発にあたっては、昭和60年度より動力炉建設運転本部（当時）を中心に装置の仕様の検討が進められた。昭和60年度は装置の設計およびコリメータの製作が行われ、昭和61年度には検出部をはじめγスキャニング装置本体の製作が行われた。昭和62年度ではふげん発電所に同装置を据付け、燃料体のγ線強度を測定し、装置の機能等の確認を行った。

これまでの測定では燃焼度分布測定7体、出力分布測定14体の合計21体の燃料について実施した。なお、燃料の出力分布を評価するためには短半減期の核種を測定する必要があり、サイト内でなければ実施できないものである。こうして得られた測定結果

は「ふげん」の炉心管理コードの精度評価に使用されている<sup>1,2)</sup>。

## 2. 装置の概要

図1に示すように、γスキャニング装置本体は、使用済燃料貯蔵プール中にある架台に設置して使用し、測定データはプールサイド上のデータ収集装置に記録される。測定対象燃料を既設の水中燃料検査装置(FIP)にセットし、このFIPで燃料体を上下に移動または、周方向に回転させ、所定の測定を行うようになっている。なお、γスキャニング装置は通常はプールの外に保管し、測定時にのみプール内に設置するようにしている。

図2に本装置の概要を示す。同図に示すように、Ge検出器および格納容器本体はセッティングベースに固定されているが、コリメータにはスライド機構と首振り機構の2つの機能があり、遠隔操作で動かすことができる。また、スリットには3種類あり（幅1mmの縦スリット、幅1mm、10mmの横スリット）、コリメータをスライドさせることにより、測定目的に応じて適宜選択できるようになっている。

実測では、コリメータの正面を燃料の中心に正確に合わせることがきわめて重要である。ここではコ

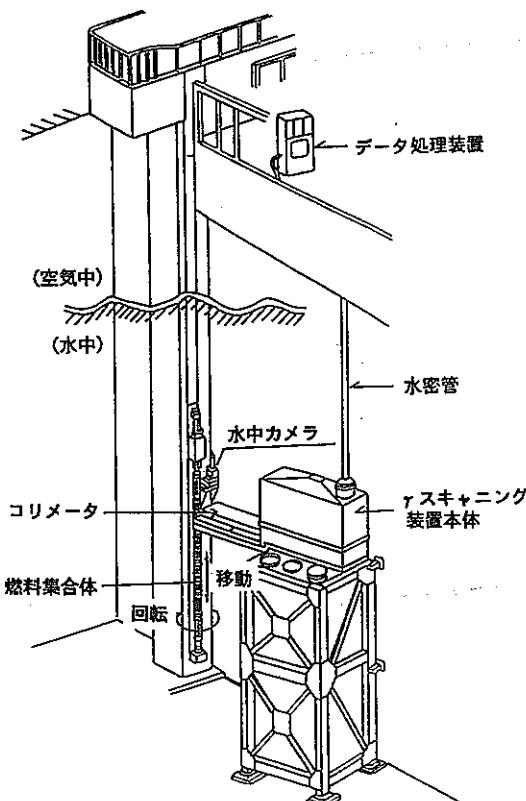


図1 ゲンマキャニング測定概要図

コリメータの向きを間違いなく正確に一致させるために、燃料をセットする度にコリメータの角度を首振り機構を用いて約1mm間隔で動かし、燃料ピンからのγ線強度が零になる位置を探すことによって、中

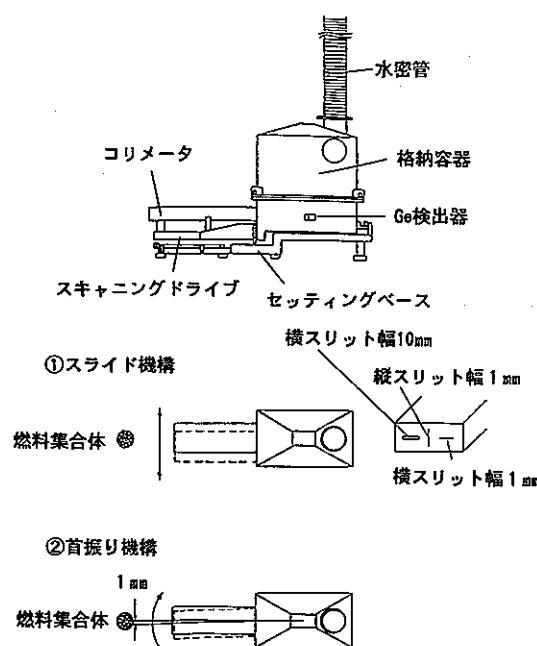


図2 ゲンマキャニング装置の機構図

表1 出力分布測定一覧表

測定燃料 No.	平均燃焼度 (MWd/t)	原原子炉停止後の冷却期間	炉心内における燃料の燃焼位置	γスキャニング測定後の燃料の取扱い	
PSK	6,680	約6日	制御棒隣接	再装荷	
PAX	11,683	約7日	炉心内側	再装荷	
MOX	3,471	約8日	炉心最外周	再装荷	
	17,326	約9日	炉心最外周	使用済	
	17,559	約15日	炉心内側	使用済	
ウラン	UKP	17,434	約15日	炉心内側	使用済

心を合わせている。

### 3. 測定結果および評価

#### 3.1 測定対象燃料について

表1に平成2年度計画停止時（第15サイクル終了後）に出力分布測定を行った測定対象燃料を示す。測定にあたってはMOX燃料を中心に、できるだけ炉心内装位置や燃焼度等の条件の異なる燃料を幅広く選定した。

特に燃焼度については使用済燃料のように燃焼度の高い燃料の他に、燃焼度の低いシャーフリング燃料（燃料の装荷位置を変えて継続して使用する燃料）を測定することにより、10,000MWd/t以下の燃焼度の低い燃料についての情報も得ることができた。また、MOX燃料だけでなく、比較のためにウラン燃料についても同程度の燃焼度のものについて測定した。

#### 3.2 軸方向出力分布測定

出力分布を測定する時の核種は、比較的短半減期であって、収率が高く測定時に十分な量が存在するものでなければならない。こうした点を考慮して、出力分布評価では通常<sup>140</sup>La (1.596MeVγ線)を測定している<sup>3)</sup>。

図3にシャーフリング燃料(MOX)の<sup>140</sup>Laを測定し

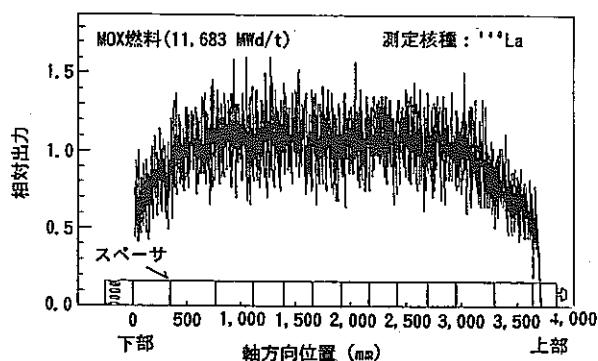


図3 軸方向出力分布測定

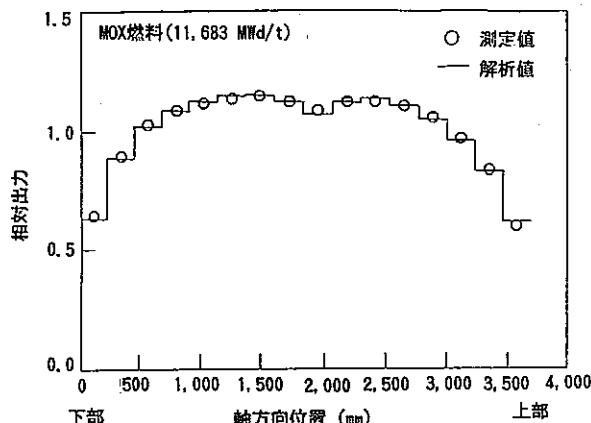


図4 軸方向出力分布測定

た時の生データを示す。同図は横スリットを使用して測定したものである。測定データはかなりバラツキが見られるが、スペーサ位置での凹が確認できる他、全体的に平坦化した出力分布であることが分かる。

データ処理を行い、軸方向を16分割して解析値と比較評価したものを見ると図4に示す。測定値と解析値はよく一致している。なお、燃料中央部で若干凹んでいるのはカランドリアタンク内の防振板の影響によるものである。

図5に制御棒に隣接していた燃料の軸方向出力分布を示す。測定した燃料は制御棒に隣接した位置で2サイクル（約1年）燃焼したもので、燃焼度は6,680MWd/t、シャフリングのために一旦炉外に取り出された燃料である。炉内に挿入している制御棒は出力調整用に使用しているもので、燃料上部よりわずかに挿入し、原子炉全体の出力調整をしている。同図に示すように、制御棒のように熱中性子の強い吸収体が燃料の近くにあるにも係わらず、出力

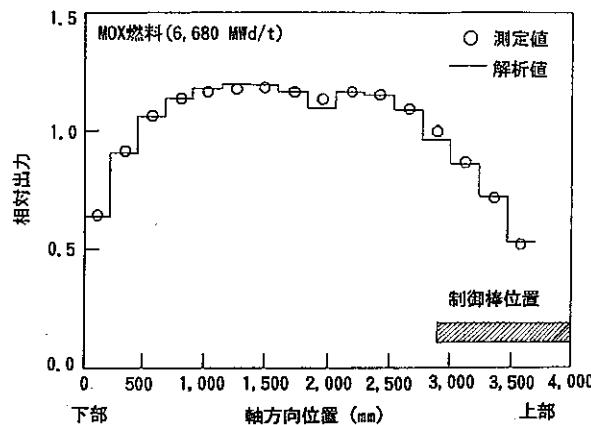


図5 制御棒隣接燃料の軸方向出力分布測定

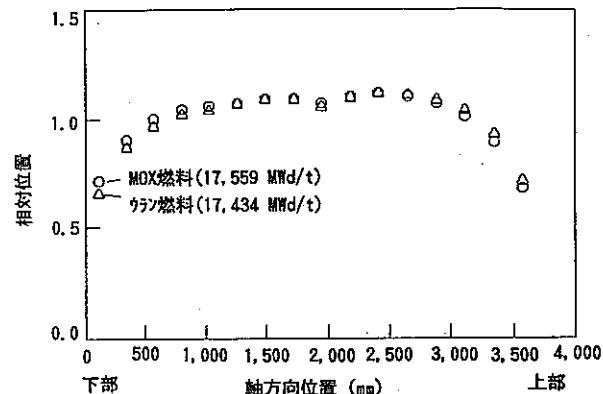


図6 MOX燃料とウラン燃料の出力分布比較

分布の歪みは大きくないことが確認された。

図6にMOX燃料とウラン燃料の軸方向出力分布の比較を示す。これら2つの燃料は燃焼度がどちらも約17.5GWd/t付近のものであり、制御棒の影響を受けていない燃料である。同図に示すように、ほとんど同じ出力分布であることが確認された。

### 3.3 周方向出力分布測定

図7に周方向測定時の検出器と標準燃料集合体の関係を示す。燃料の周方向出力分布を測定する場合は、幅1mmの縦スリットを使用した。同図に示すように標準燃料集合体には4か所の見通し部があり、この位置にコリメータの正面がきたときはGe検出器でカウントされる $\gamma$ 線は零である。また、燃料集合体を見通し部から一方向に11.25°, 22.5°, 45°

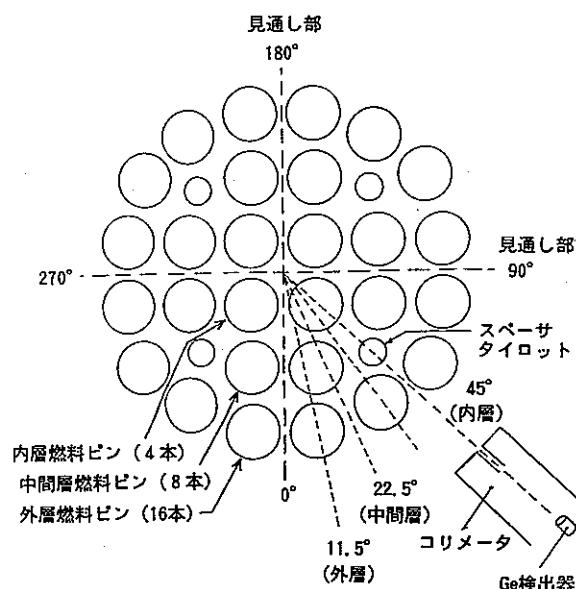


図7 周方向測定時の検出器と標準燃料集合体関係図

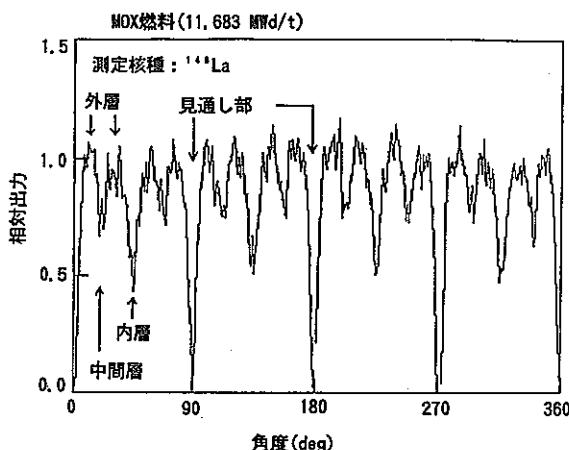


図8 周方向出力分布測定

回転させた場合、それぞれ外層ピン、中間層ピン、内層ピンがコリメータの正面にくることから、それぞれの $\gamma$ 線強度比によって出力比（局所出力ピーキング係数、LPF）を測定することが可能である。このようにATR用クラスター型燃料（28本燃料）は外層ピンの間から内層ピンや中間層ピンの出力分布や燃焼度分布を直接測定できるという軽水炉の燃料ではできない利点がある。

なお、外層ピンに比べ、中間層ピンや内層ピンについてはGe検出器までの水の遮蔽の違い（距離の違い）、スペーサタイロッドによる遮蔽の影響があるのでこれを補正した。また、中間層は燃料ピンの中心位置を測定できないことから、中心位置からの

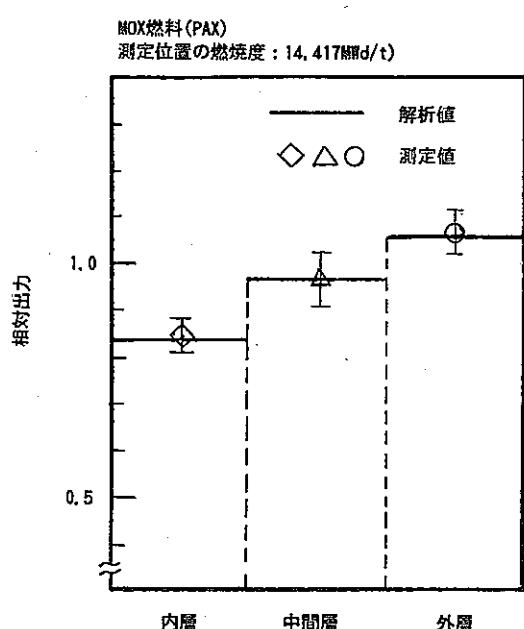


図9 内、中、外層ピン出力の比較

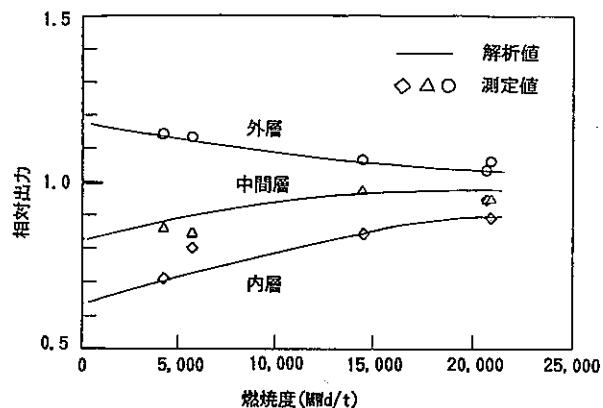


図10 局所出力ピーキング係数の燃焼度依存性(MOX)

ずれについても補正した。さらに、目標とする燃料ピンの後ろから検出器に飛び込んでくる $\gamma$ 線の影響についてもその量を評価し補正した。

図8に燃料を周方向に360°回転させた場合の測定結果についてデータ処理を行ったものを示す。測定した核種は、軸方向出力測定と同様に $^{140}\text{La}$ である。

燃料を360°回転させた場合、90°毎に見通し部でカウントが零であること、外層ピン、中間層ピン、内層ピンからの $\gamma$ 線が図7で示した順で表われてくることが分かる。こうして得られたデータを内層ピン、中間層ピン、外層ピンの出力比に直して、解析コードの計算結果と比較したものを図9に示す。

こうした出力測定を様々な燃焼度の燃料について実施し、局所出力ピーキング係数の燃焼度依存性の形で示した結果を図10に示す。同図に示すように測定値と解析値はよく一致していることを確認した

ここでは出力分布測定の例を紹介したが、この他にも燃焼度分布測定を実施しており、同様の成果を得ている。こうして得られた測定データは「ふげん」の炉心管理コードの精度評価に利用されている。

#### 4. まとめ

新型転換炉ふげん発電所内の使用済燃料プール内で使用可能な $\gamma$ スキャニング装置を開発し、サイト内で使用できる利点を最大限活かし、ATR用クラスター型燃料について燃焼度分布7体、出力分布14体の合計21体の燃料について測定を実施した。

軸方向出力分布、周方向出力分布、局所ピーキング係数の燃焼度依存性を測定したところ、ほぼ解析値と一致していることが確認できた。また、同程度の燃焼度および燃焼履歴をもつ燃料について、MOX燃焼とウラン燃料の軸方向出力分布を比較したとこ

ろ、両者ほとんど同じ出力分布であり、ATRでは大きな差がないことが確認できた。

## 参考文献

- 1) 白鳥他：クラスター型燃料のサイト内γスキャニング測定、日本原子力学会1990年秋の大会、J 47、(1990)
- 2) 石黒他：「ふげん」の炉心管理(3)、日本原子力学会1992年春の大会、K3、(1992)
- 3) 「核燃料燃焼計測」研究専門委員会：核燃料の燃焼測定と解析、日本原子力学会誌、Vol.19, No.9 (1977)