

# 最近の炉心及び燃料の技術展開

## Latest Trends of BWR Core and Fuel Technologies

BWR炉心・燃料の改良及び開発は、当初、信頼性の向上に重点が置かれていた。最近ではこれに加え、プラント利用率や燃料の経済性、原子炉の運転性などを向上させる要望が強まっている。

これにこたえるため、日立製作所では上下2領域燃料や新型8×8燃料を開発し、既に実炉で性能の確認を行なっている。また、これらをベースとした長期サイクル用の炉心・燃料を開発し、同時に運転性向上のため高性能燃料を開発中である。

更に、長期的には燃料サイクルコストの低減や、省ウラン資源を考慮した炉心・燃料の開発を進めている。

山下淳一\* Jun'ichi Yamashita  
河原 暉\*\* Akira Kawahara

### 1 緒 言

BWR(沸騰水型原子炉)炉心・燃料の改良及び開発は、当初、信頼性の向上に重点が置かれてきた。最近では、この信頼性の向上に加えて、プラント利用率を向上させ経済性を高めること、熱的余裕を増大し、原子炉の運転性を向上させることなどの要望が強まり、これにこたえるために、日立製作所では上下2領域燃料の開発や、新型8×8燃料の採用による炉心特性改善のほか、長期サイクル運転用の炉心・燃料の開発などを行ない、同時に電力系統運用上の要求に応じ、自由に出力変動を行なえる高性能燃料の開発を実施してきた。

更に、長期的には燃料サイクルコストの低減や、省ウラン資源を考慮した炉心・燃料の開発を進めている。

本稿では、近年のこれら炉心・燃料の面での、日立製作所の開発の実績、及び経緯に重点を置いて述べる。

### 2 日立BWR燃料の運転実績

燃料棒は、 $\text{UO}_2$ (二酸化ウラン)の焼結ペレットをジルカロイ-2製の被覆管に密封したもので、ウランの核分裂によって生ずる放射性生成物を、燃料棒内に封じ込める役割を果たすように設計されている。燃料集合体の概要を図1に示す。

日立製作所がこれまでに商用炉燃料として納入し、原子炉に装荷された燃料棒総数は約10万本に達する。これらの燃料は、1968年に商用BWR燃料の生産工場として設立したJNF(日本ニュクリア・フェューエル株式会社：日立製作所と他のBWRメーカーとの合弁会社)で製造したものである。

日立製作所では信頼性の高い燃料棒を納入するため、独自の研究開発を積み重ねてきているが、昭和55年には中国電力株式会社島根原子力発電所に対し初装荷燃料用として、昭和47年に納入した7×7燃料400体が最高6年間使用のうち、全数異常なく燃焼を完了するなど、常に信頼度の高い実績をもっている。信頼性を更に向上させることを目的として、燃料の設計も当初の7×7燃料から7×7改良型、8×8型と改良を加えており、現在炉心に装荷されている燃料の約90%近くが、8×8燃料で占められている。

更に、信頼性の向上、経済性の向上の要求にこたえるため、日立改良型8×8燃料を開発し、新型8×8燃料として今後、8×8型燃料に代わって使用される予定である。この新型8×8燃料は、ほぼ同一仕様のものが8体昭和55年から先行使用燃

料として使われており、この先行使用中の新型8×8燃料は、後述する上下2領域燃料(燃料内の濃縮度を軸方向に2領域としたもの)でもある。

表1に日立製作所がこれまでに納入してきた燃料の仕様と使用実績をまとめて示す。

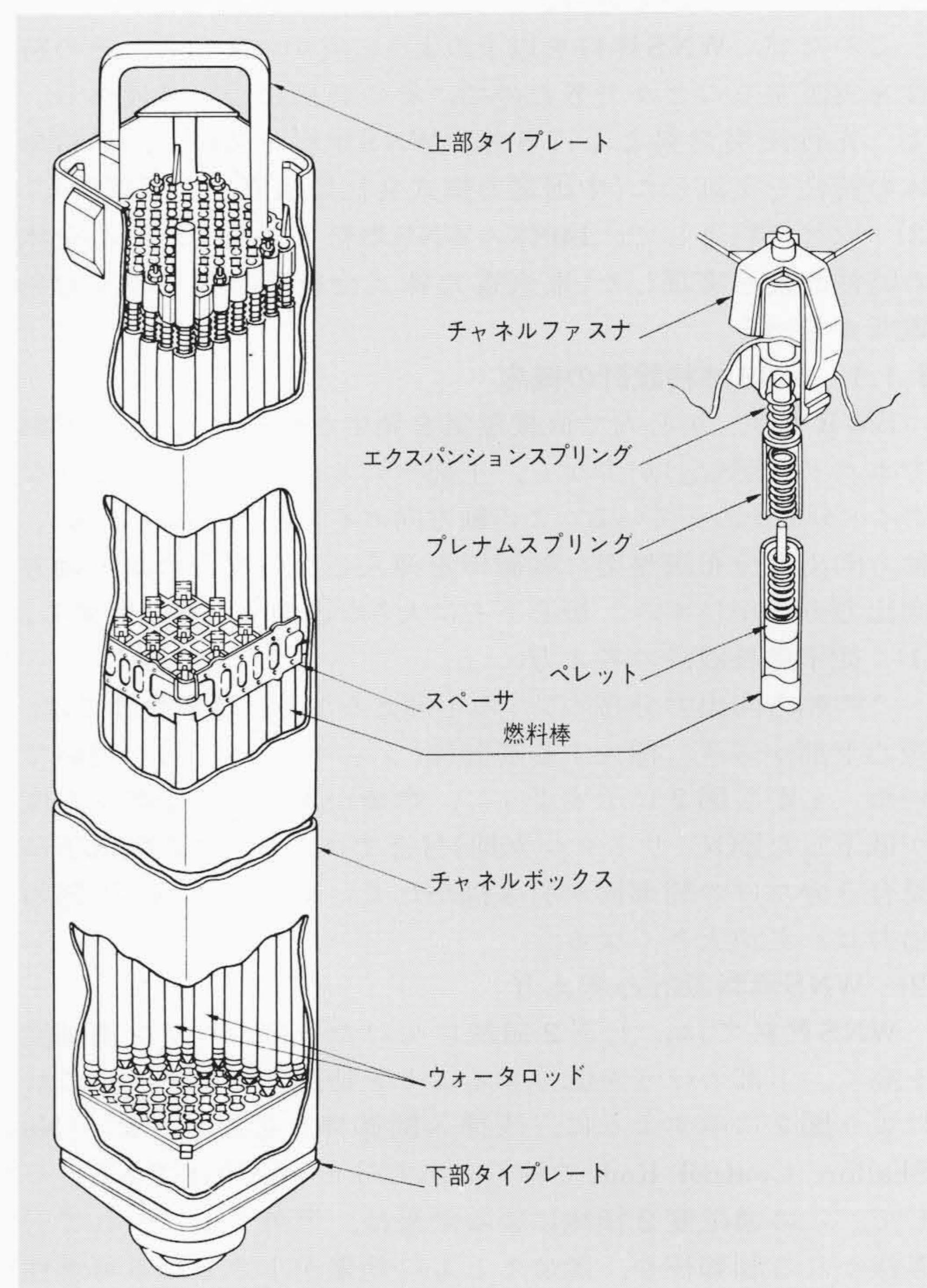


図1 BWR新規8×8燃料集合体の構造 燃料集合体は、62本の燃料棒と2本のウォータロッドから構成される燃料バンドルと、それを囲むチャネルボックスから成る。

表1 燃料型式別燃料棒仕様　日立製燃料の使用実績燃料棒総数は約10万本に達しており、現在炉心に装荷されている燃料の約90%は8×8燃料である。

項目	燃料型式	7×7型	7×7改良型	8×8型	新型8×8型*
仕様	燃料棒外径 (mm)	14.3~14.5	14.3	12.5	12.3
	被覆管肉厚 (mm)	0.81~0.90	0.94	0.86	0.86
	ペレット一被覆管キャップ (mm)	0.28~0.30	0.30	0.23	0.24
	燃料有効長さ (mm)	3,658	3,658	3,658~3,708	3,658~3,708
	ペレット高さ/直径比	≈1.5	≈1.0	≈1.0	≈1.0
	ペレット形状	ディッシュ付	チャンファ付	チャンファ付	チャンファ付
	被覆管材質	応力除去 焼鈍材	再結晶化 焼鈍材	再結晶化 焼鈍材	再結晶化 焼鈍材
	水分ゲッタの使用	—	使用	使用	使用
使用実績	集合体当たりの燃料棒本数 (本)	49	49	63	62
	装荷開始時期	昭和49年3月	昭和50年4月	昭和51年4月	昭和55年4月
	燃料棒数(燃料集合体数) (本)	19,796 (404)	33,369 (681)	48,636 (772)	496 (8)
	集合体最高燃焼度 (MW·d/t)	約22,000	約27,000	約22,000	約5,000

注: \* 先行使用燃料の実績で、昭和59年から本格的に使用開始の予定である。

### 3 最近のBWR炉心・燃料の開発

#### 3.1 上下2領域炉心の開発

上下2領域炉心は、燃料内のウラン濃縮度分布を軸方向に2領域としたもので、WNS<sup>\*1</sup>燃料<sup>1)</sup>と呼ばれている。この燃料を用いることによって、制御棒で炉心内の軸方向出力分布の調整をしなくとも、燃料自体で軸方向出力分布平坦化ができる。これにより運転時の最大線出力密度を低減でき、熱的余裕を増すことができる。

このたび、WNS燃料を以下のように実炉に装荷し、その特性を実証することができたので、その詳細について述べる。

- (1) 先行使用燃料として8体のWNS燃料を装荷し、燃料単体の特性を実証した(中国電力株式会社島根原子力発電所)。
- (2) 取替燃料として、140体のWNS燃料を装荷し、炉心全体の特性改良を実証した(東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機)。

#### 3.1.1 WNS燃料設計の概念

BWRでは、炉心内で直接蒸気を発生させるため、炉心下部でボイド(蒸気泡)が少なく、上部へいくほど多くなるようなボイド分布をもっている。この軸方向ボイド分布があるために、軸方向出力分布調整用に制御棒を挿入しない場合には、軸方向出力分布がひずみ、炉心下方に大きな出力ピークを生ずる。

##### (1) 従来燃料設計の考え方

この軸方向出力分布のひずみを抑えるため、従来設計では、炉心下部から浅く挿入する制御棒(シャローロッド)を用いていた。しかし図2に示すように、燃焼が進み炉心余剰反応度が低下したEOC(サイクル末期)付近では、この反応度低下に見合う分だけの制御棒が引き抜かれていくため、炉心下部の出力ピークが大きくなる。

##### (2) WNS燃料設計の考え方

WNS燃料では、上下2領域に分けた上部のウラン濃縮度を高く、下部のほうを低くすることを特徴としている。これにより図2に示すように、浅挿入制御棒を必要としない(No Shallow Control Rod)で軸方向出力分布を平坦化できる。そして、この濃縮度2領域による効果は、燃焼するにつれて引き抜かれる制御棒や、燃焼とともに効果が小さくなる可燃性

中性子吸収材と異なり、燃焼が進んでも安定に持続する特長をもっている。これが運転中を通じて燃料の最大線出力密度を低減でき、結果的に燃料健全性の維持による信頼性のいっそうの向上や運転性の向上、プラント利用率向上などに寄与することになる。

またWNS燃料により、軸方向出力分布が平坦化された炉心では、従来炉心のように定期検査時の燃料交換の際に行なっている燃料の並べ替え(Shuffling)を行ない、炉心径方向の出力分布平坦化をしなくとも、十分な熱的余裕を得ることができる。このため燃料交換時間を短縮でき、定期検査期間の短縮によるプラント利用率向上が期待できる。

#### 3.1.2 WNS燃料単体特性の実証

WNS燃料8体を先行使用燃料として、中国電力株式会社島根原子力発電所BWR/3炉心(電気出力460MW)の第7サイクル(昭和55年5月30日~昭和56年2月14日)に装荷し、以下に示すような燃料単体特性を確認することができた<sup>2)</sup>。

- (1) 軸方向出力分布の平坦化効果確認
- (2) 燃料の機械的健全性の確認

なお、本WNS燃料の寸法仕様は、我が国初の新型8×8燃料である。

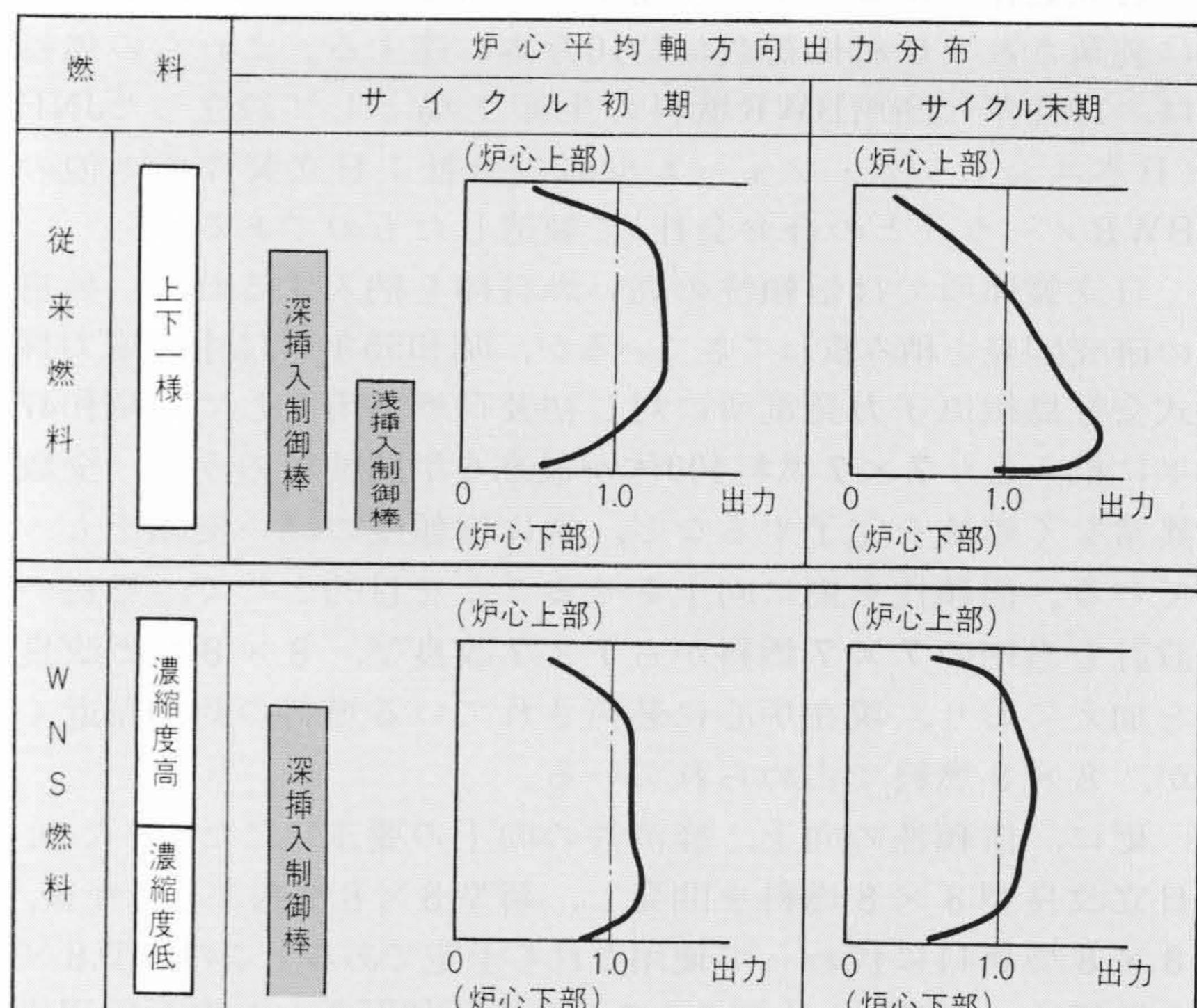
装荷した燃料の濃縮度分布は図3に示すもので、これらの8体の燃料は図4に示す位置に対称に装荷された。

- (1) 軸方向出力分布の平坦化効果確認

軸方向出力分布の測定はTIP(可動型炉内中性子検出器)を用いて行なうことができた。

本WNS燃料のうちの2体は、図4に示すような対称性を用いて、従来燃料の軸方向出力分布と直接比較ができる。なお、運転中この燃料付近の制御棒は全引抜きされており、炉心の中央付近に挿入される制御棒も、できる限り対称性を保つよう選択された。

図5に、このようにして測定したTIP実測値の比較を示す。同図中の横軸はTIP値で、燃料の軸方向出力に比例したものである。同図に示すように、WNS燃料の出力ピーク値は従来燃料に比べて約30%低くなっている。出力分布が平坦化されている。また図6に示すように、WNS燃料の軸方向出力分布



注: 略語説明 WNS(脚注※1)参照

図2 軸方向出力分布の平坦化 WNS燃料は濃縮度上下2領域により、サイクルを通じて軸方向出力分布平坦化ができる。

\*1) 本燃料を用いた改良炉心の特徴であるNo Shuffling(燃料交換時に新燃料以外の燃料移動不要)and No Shallow(浅い制御棒不要)の二つのNSから名付けられた。

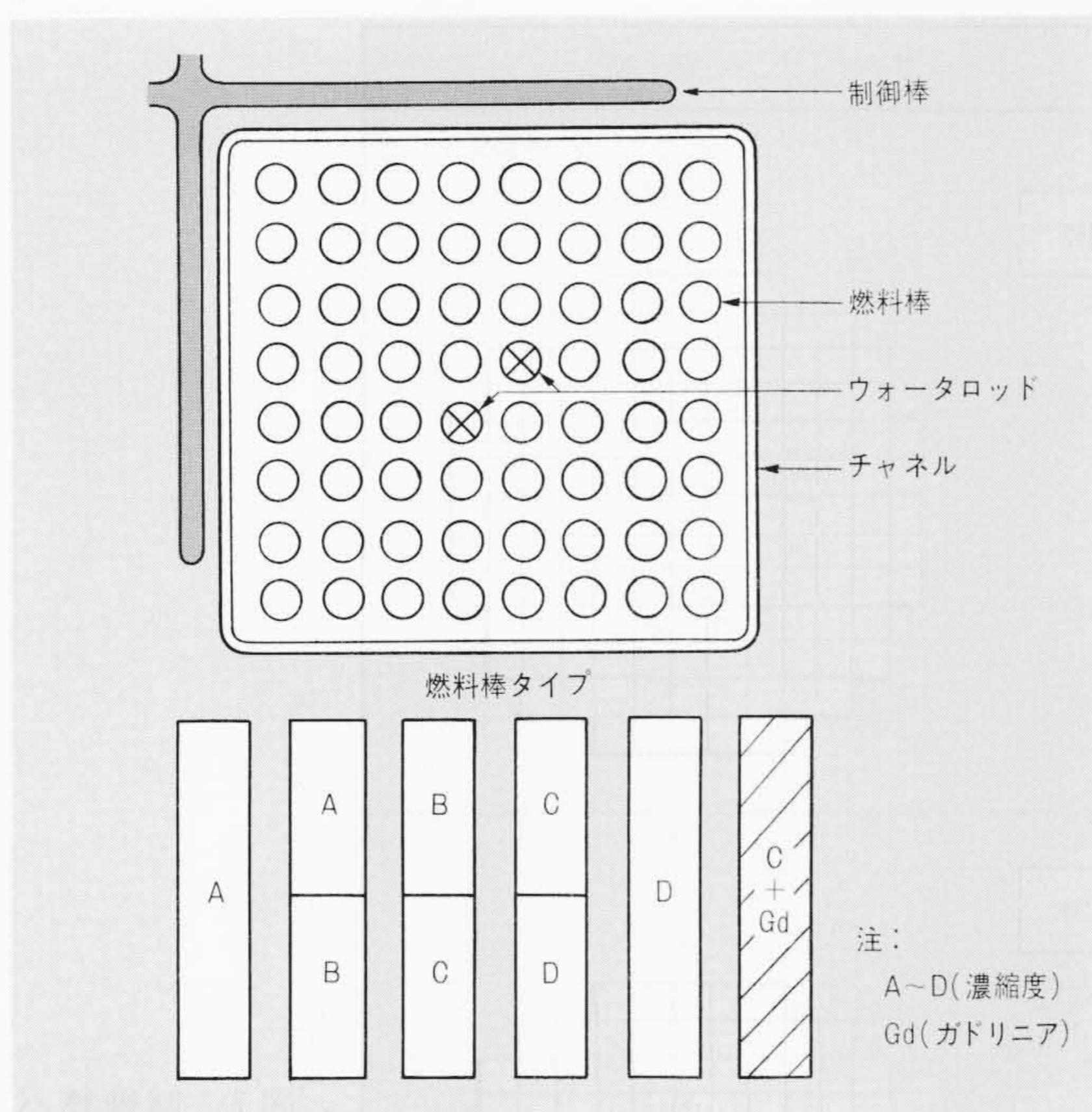


図3 燃料棒内濃縮度ガドリニア分布例 燃料集合体内には、上下2領域に濃縮度分布した燃料棒が採用されている。燃料棒内のアルファベット記号A~Dはウラン濃縮度を、Gdはガドリニアを表わす。

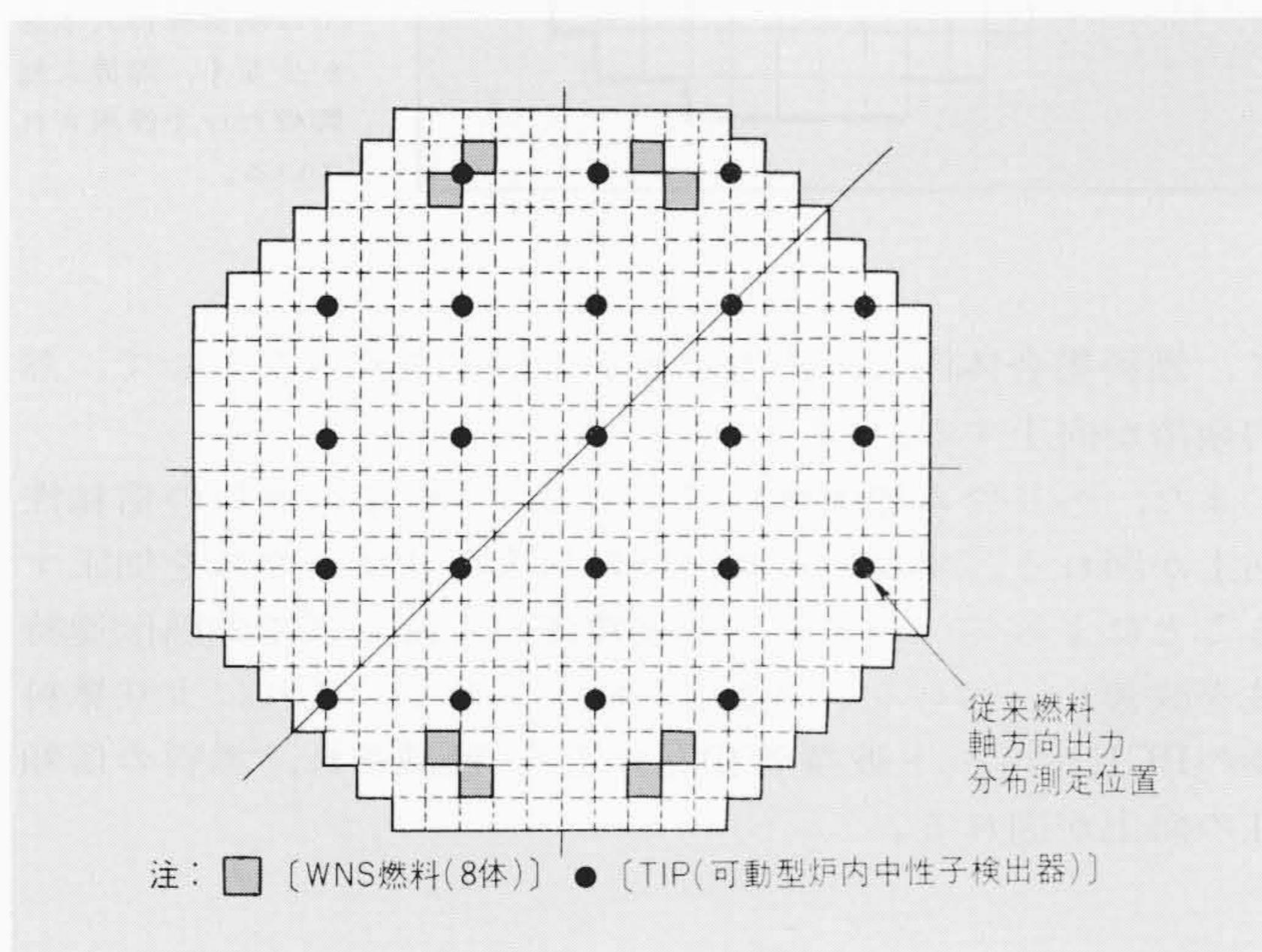


図4 WNS燃料装荷位置及び測定位置 8体のWNS燃料のうち2体は、従来燃料と図に示す線で対称に配置されており、TIPを用いて出力分布を比較できる。

が、サイクルを通じて平坦化されていることも確認できた。この出力分布平坦化により、最大線出力密度が低下し、燃料健全性の維持による信頼性向上、及びPCIOMR(ならし運転)による運転制約を最小限にでき、運転性の向上及びプラント利用率の向上へ寄与することが期待できる。

## (2) 燃料の機械的健全性の確認

本WNS燃料は前述のように、我が国初の新型 $8 \times 8$ 燃料であり、第7サイクル終了後、これらの燃料の外観検査及び寸法検査を行なった。この結果、WNS燃料は良好な状態にあることが確認され、燃料の機械的健全性が実証された。

なお、これらの燃料は現在も装荷されており、順調に運転されている。

### 3.1.3 WNS炉心特性の実証

WNS燃料140体が、東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機BWR/4炉心(電気出力784MW)の第3サイクル(昭和55年12月20日～昭和56年9月21日)に取替燃料として装荷された。これらのWNS燃料が装荷された第3サイクルは、以下のような炉心特性をもつ運転を実施でき、WNS炉心の効果が実証された<sup>3)</sup>。

- (1) 深挿入制御棒(ディープロッド)だけの運転
- (2) サイクル末期での出力分布を平坦化できる運転
- (3) 運転計画変動に伴う融通性のある運転

なお、本WNS燃料の寸法仕様は従来型の $8 \times 8$ 燃料であり、燃料の型式にかかわらず、WNS燃料の採用が炉心特性の改善をもたらすことが実証された。

- (1) 深挿入制御棒(ディープロッド)だけの運転

図7に、WNS炉心(第3サイクル)の制御パターンを従来炉心(第2サイクル)の制御棒パターンと比較して示す。これよりWNS炉心では、サイクルを通じて5本から12本の深挿入制御棒だけで運転できることが示された。このように使用制御棒本数が少なくなった(従来に比べ約60%低減)ことにより、

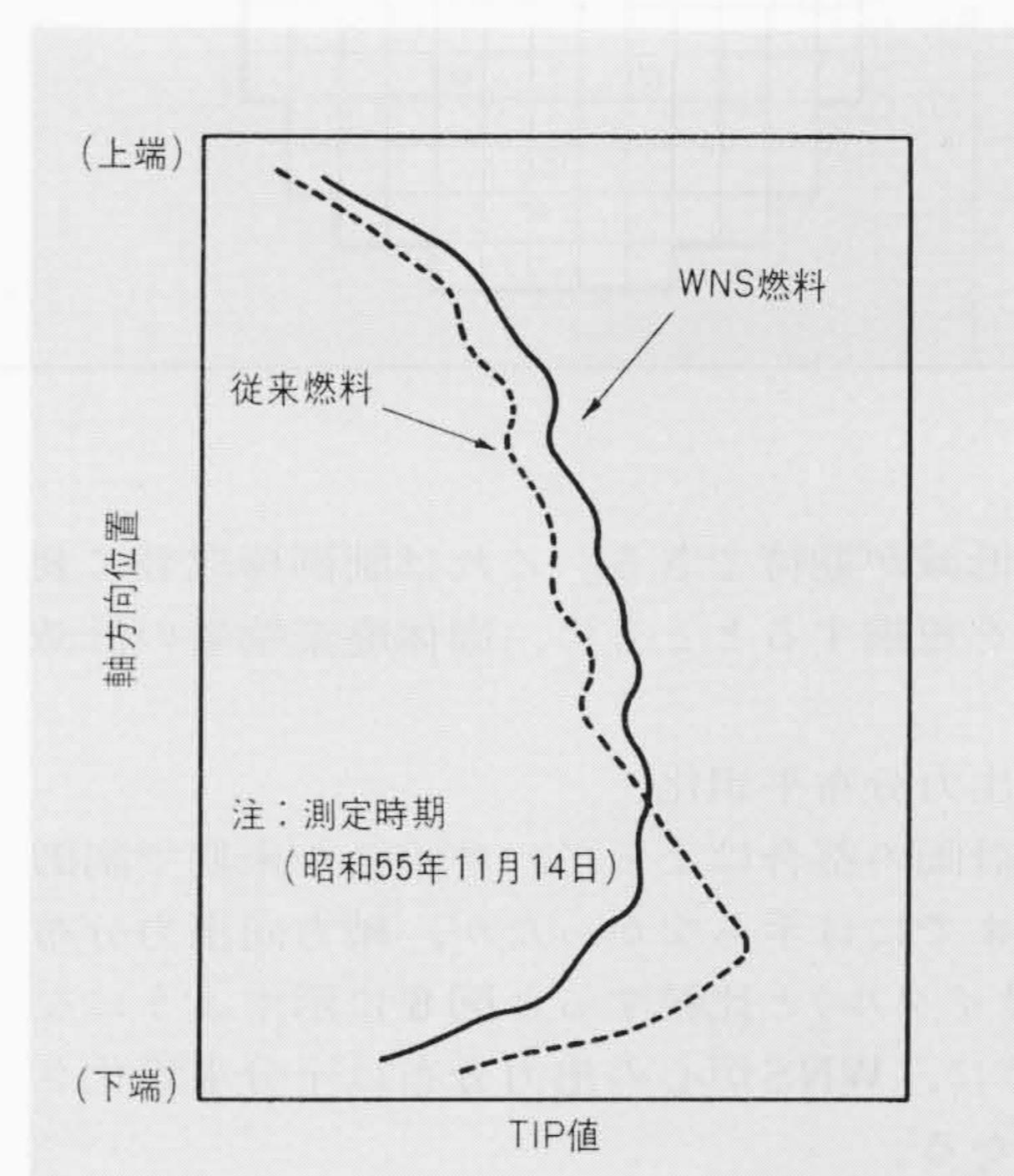


図5 軸方向出力分布測定値  
WNS燃料の軸方向出力分布は、従来燃料に比べて平坦化されている。

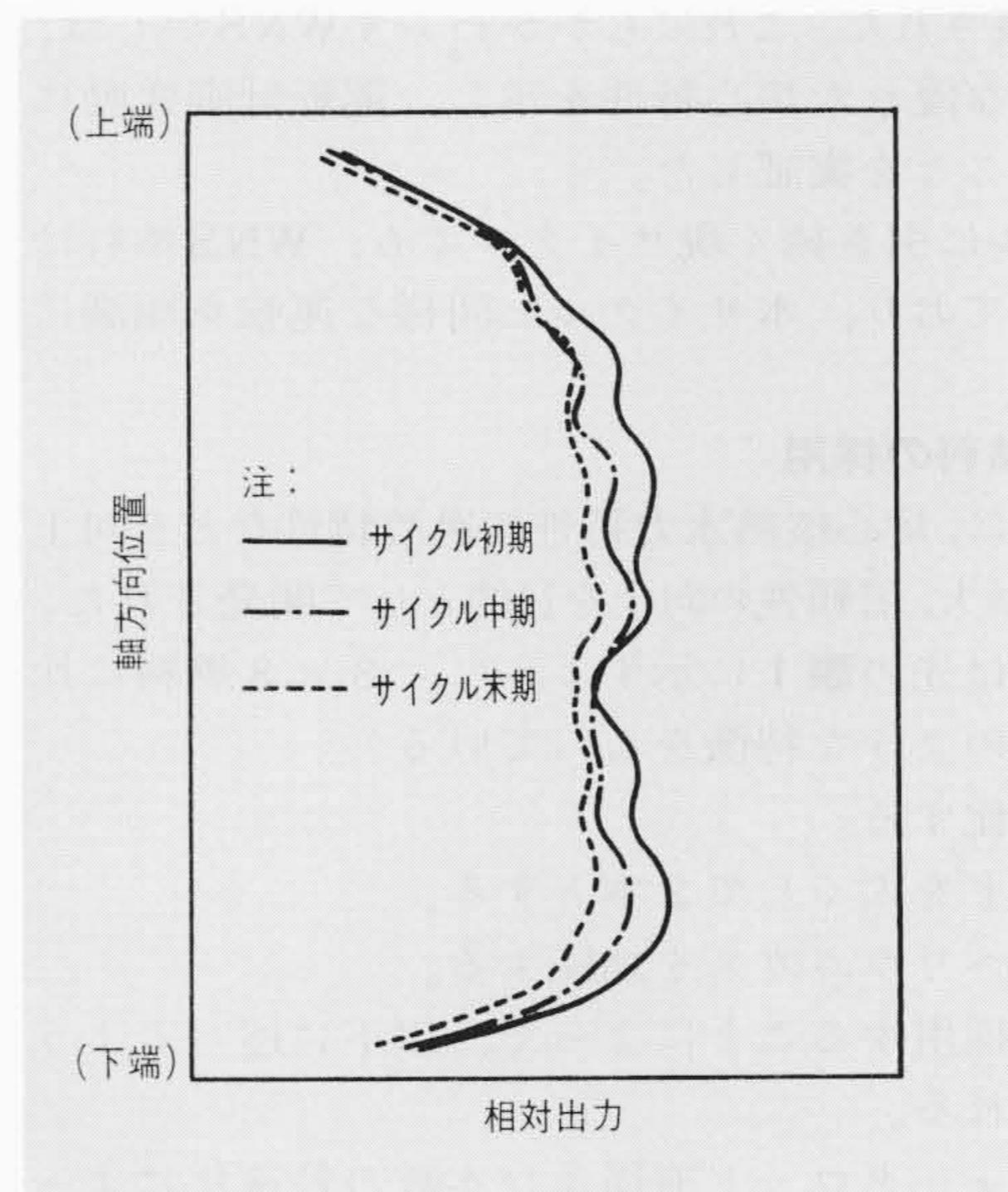


図6 WNS燃料の軸方向出力分布の変化  
サイクルを通じて出力分布は平坦で、変化が少なく安定している。

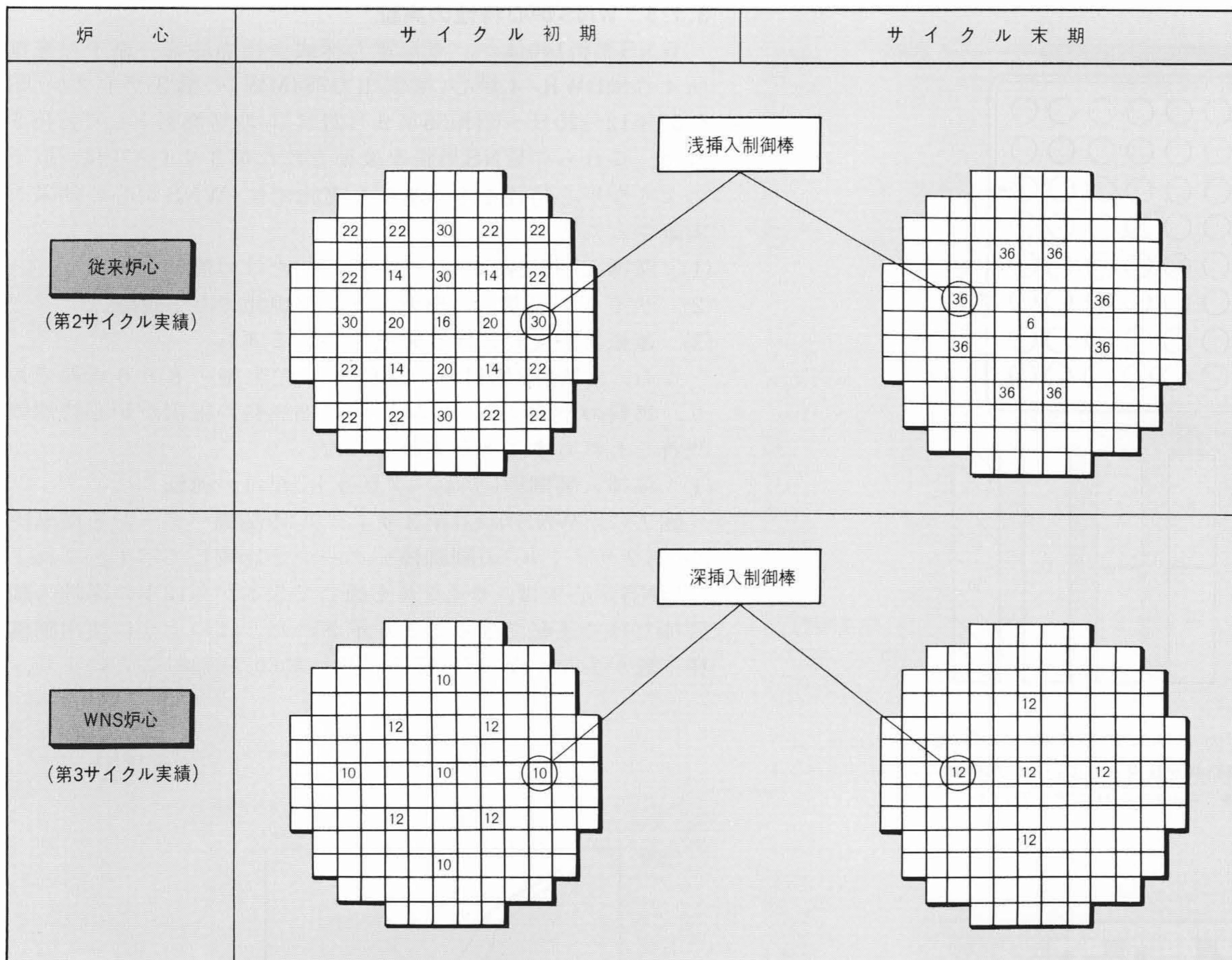


図7 制御棒パターン実績 制御棒を示す数字は引抜ノッチ数を、48及び空白は全引抜きを意味する。WNS炉心では制御棒挿入本数が少なく、深挿入制御棒だけで使用されている。

制御棒取替本数の低減が期待できる。これは制御棒取替に要する定期検査期間を短縮するとともに、固体廃棄物量の低減が期待できる。

### (2) サイクル末期出力分布平坦化

本炉心では運転計画の都合によって、サイクル末期で制御棒を全引抜きするまでは至らなかったが、軸方向出力分布を従来炉心(第2サイクル)と比較すると図8に示すようになる。同図に示すように、WNS炉心の出力分布は十分平坦化されていることが分かる。

### (3) 運転計画変動に伴う融通性

本プラントの前サイクルまでの運転計画は、当初計画によって約1.5箇月延長された。これにもかかわらずWNS炉心は、先にも示したような優れた炉心特性を示し、運転計画変動に伴う融通性が高いことを実証した。

なお、本サイクルに引き続く現サイクルでも、WNS燃料は全数炉内に滞在しており、本サイクルと同様な運転を順調に続けている。

### 3.2 新型8×8燃料の採用

新型8×8燃料は、炉心核熱水力特性や過渡特性などを向上させ、運転余裕の増大、信頼性の向上を目的として開発された。

新型8×8燃料は先の表1に示すように、8×8燃料に比べて主として以下のようないくつかの特徴をもっている。

- (1) 燃料棒を細径化する。
- (2) ウォータロッドを太くして2本とする。
- (3) 燃料棒の封入ヘリウムガスを加圧する。

これらの特徴を採用することによって、以下に述べるような性能の向上が図れる。

燃料棒直径、ウォータロッド直径及び本数の最適化によっ

て、燃料集合体内での出力分布が平坦化されるなどして、熱的余裕が向上する。

また、ヘリウム加圧燃料によって、運転中の燃料の信頼性向上が図れる。すなわち燃料棒の封入ヘリウムガスを加圧することによって、ペレットと被覆管のギャップでの熱伝達特性を改善し、ペレットの温度を低下させる。これにより燃料棒のPCI(ペレット被覆管相互作用)が軽減され、燃料の信頼性の向上が図れる。

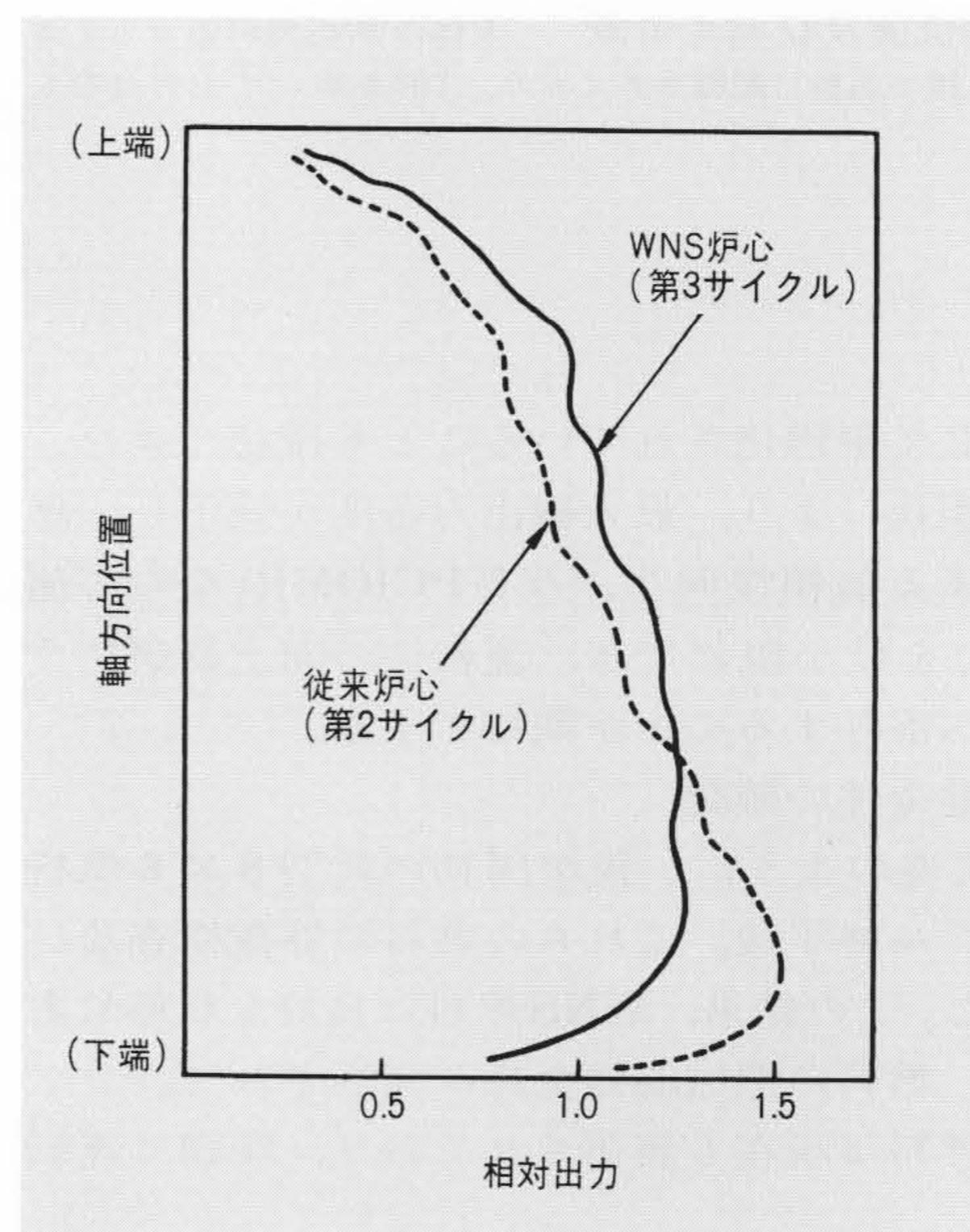


図8 サイクル末期の軸方向出力分布比較 WNS炉心の軸方向出力分布は、従来炉心に比べて十分平坦化されている。

これらの効果によって、新型  $8 \times 8$  燃料では炉の運転が容易になるとともに、負荷率を向上させて経済性を改善することができる。

### 3.3 長期サイクル運転用炉心の展望

以上述べたWNS燃料及び新型  $8 \times 8$  燃料は、主として熱的余裕の増大により信頼性の向上、プラント利用率の向上、あるいは運転性の向上を図ることができたが、更に、これらの燃料をベースとして運転サイクルの長期化を図ることにより、サイクル期間中に占める定期検査期間の割合を小さくして、プラント利用率をいっそう向上させることができる。

現在、原子力プラントの運転サイクルは12箇月から徐々に15箇月へと移りつつあり、今後更に延長される可能性がある。

これら運転サイクル長期化のための炉心設計方式として以下のものがある。

- (1) 取替燃料体数増加方式
- (2) 高濃縮度燃料方式

次にこれらについて説明する。

#### 3.3.1 取替燃料体数増加方式

取替燃料の濃縮度を変えずに、長期サイクル運転をするためには取替体数を増す必要がある。例えば、18箇月サイクル(定期検査3箇月を含む、以下同じ定期検査長さを含む)用の取替燃料体数は、12箇月サイクルの取替燃料体数の約2倍を要する。この取替燃料体数の増加割合は、サイクル長さの増加割合よりも大きいため、燃料1体当たりの発生熱量(取出し燃焼度)は、サイクル長さが長くなるほど小さくなる。

一般に発電費は、燃料サイクル費と固定費から成る。このうち燃料サイクル費は、燃料の取出し燃焼度が大きいほど安くなることから、取替燃料体数を増加させてサイクルを長期化すると、燃料サイクル費は高くなる傾向にある。一方、固定費が発電費に占める費用は、サイクル長期化によってプラント利用率が向上する分だけ安くなる。これらの関係の一例を図9に示す。同図に示すように、一定の濃縮度燃料を用いてサイクルを長期化すると、発電費が最も安くなるサイクル期間が存在するが、これを越えると発電費は高くなっていく。本方式では、現行の燃料をそのまま使える利点はあるが、上記のように経済的にみると限界がある。

#### 3.3.2 高濃縮度燃料方式

サイクル長期化のもう一つの方式として、取替燃料の濃縮度を高くする方法がある。図9に濃縮度を変えたときのサイクル期間と発電費の関係例を示す。同図に示すように、取替燃料濃縮度が高いほど発電費は安くなる。これは高濃縮度化に伴って増加する濃縮費などのコスト増加分よりも、取出し燃焼度の上昇による発電費低減効果のほうが大きいためである。なお、この傾向は出力密度などの違いによって異なることがある。また、濃縮度を上昇させるに際しては、燃料製造設備あるいは再処理設備上の制約などを考慮する必要がある。

#### 3.3.3 今後の展望

運転サイクル長期化への当面の対応としては、現行の燃料をそのまま使用し、取替体数を増す方法により15箇月サイクル運転を行ないつつあるが、近い将来は燃料濃縮度を現行の2.7wt%から3.0wt%程度へと上げることを計画している。このような設計変更を行なっても、先に述べた上下2領域燃料の設計を適用することによって、十分な熱的余裕や運転融通性をもった運転が可能である見通しを得ている。ただし、この3%燃料は長期サイクル用燃料として、上下濃縮度2領域のほかにガドリニアについても上下2領域とし、下部の濃度を若干濃くすることによって特性のいっそうの改善を図って

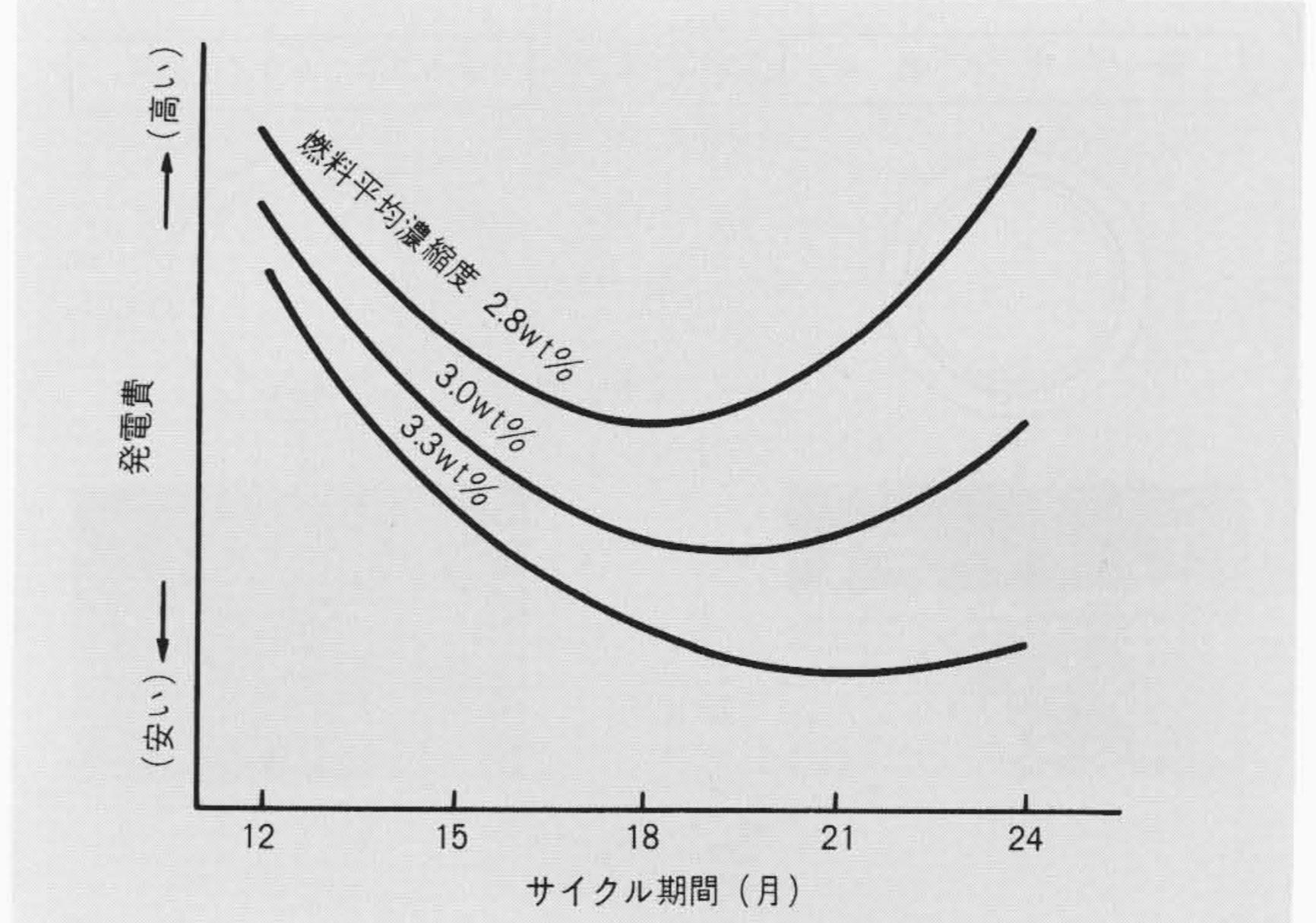


図9 サイクル期間と発電費との関係例 発電費は濃縮度が一定の場合、サイクル期間によって極小点がある。サイクル期間が一定の場合は、濃縮度が高いほど安くなる。

いる。本燃料は、国内BWRの標準燃料として今後広く用いられる予定である。

この3.0wt%燃料を用いて取替体数を増すことによって、18箇月サイクル程度までは十分な熱的余裕や運転融通性をもって、経済的な運転が可能である見込みである。

更に、今後の製造設備などの増強後は、より高濃縮度燃料を用いて21箇月サイクル程度のサイクル長期化ならば、現行と同程度の取出し燃焼度の範囲内で、十分な炉心特性をもった運転が可能な見通しを得ている。今後、よりいっそうのサイクル長期化あるいは高経済化を図るために、高燃焼度燃料の諸特性を把握する必要があり、この方面での研究も進めている。加えて、プルトニウム燃料を利用して省ウラン資源の観点から、経済性を更に改善する開発も併行して進んでいる。

## 4 PCI対策燃料

現行の燃料では、急速な出力上昇時にPCI破損を生ずる可能性があり、これを防止するため、あらかじめ一種の「ならし運転」(PCIOMR)を行なっておく必要がある。PCIOMRの適用によって、急速な出力上昇に起因した燃料破損の発生は極めて低くなっているものの、一方では、プラント利用率の損失となっている。したがって、プラント利用率を改善し、PCIOMRの適用を必要としない燃料、すなわちPCI対策燃料の開発が有効である。PCI対策燃料の開発に当たっては、対象を銅バリア燃料、ジルコニウムライナ燃料及び中空ペレット燃料の3種類に絞って、BWR電力会社と共同で開発、実証を進めている。

### (1) 銅バリア燃料

銅バリア燃料は図10に示すように、現行の被覆管内面にいったん酸化膜を形成した後、銅めっきを施したもので、銅めっき層が腐食性FP(ヨウ素など)に対し、化学ゲッタとして働くことによって被覆管を保護するものである。日立製作所では独自に化学めっき法によって酸化膜上に均一かつ緻密な銅めっき層を設ける技術を開発している。

### (2) ジルコニウムライナ燃料

ジルコニウムライナ燃料は図10に示すように、ジルカロイ-2の内側に純ジルコニウムを内張りしたもので、その穏やかな性質によって出力上昇時に被覆管に発生する応力を緩和する

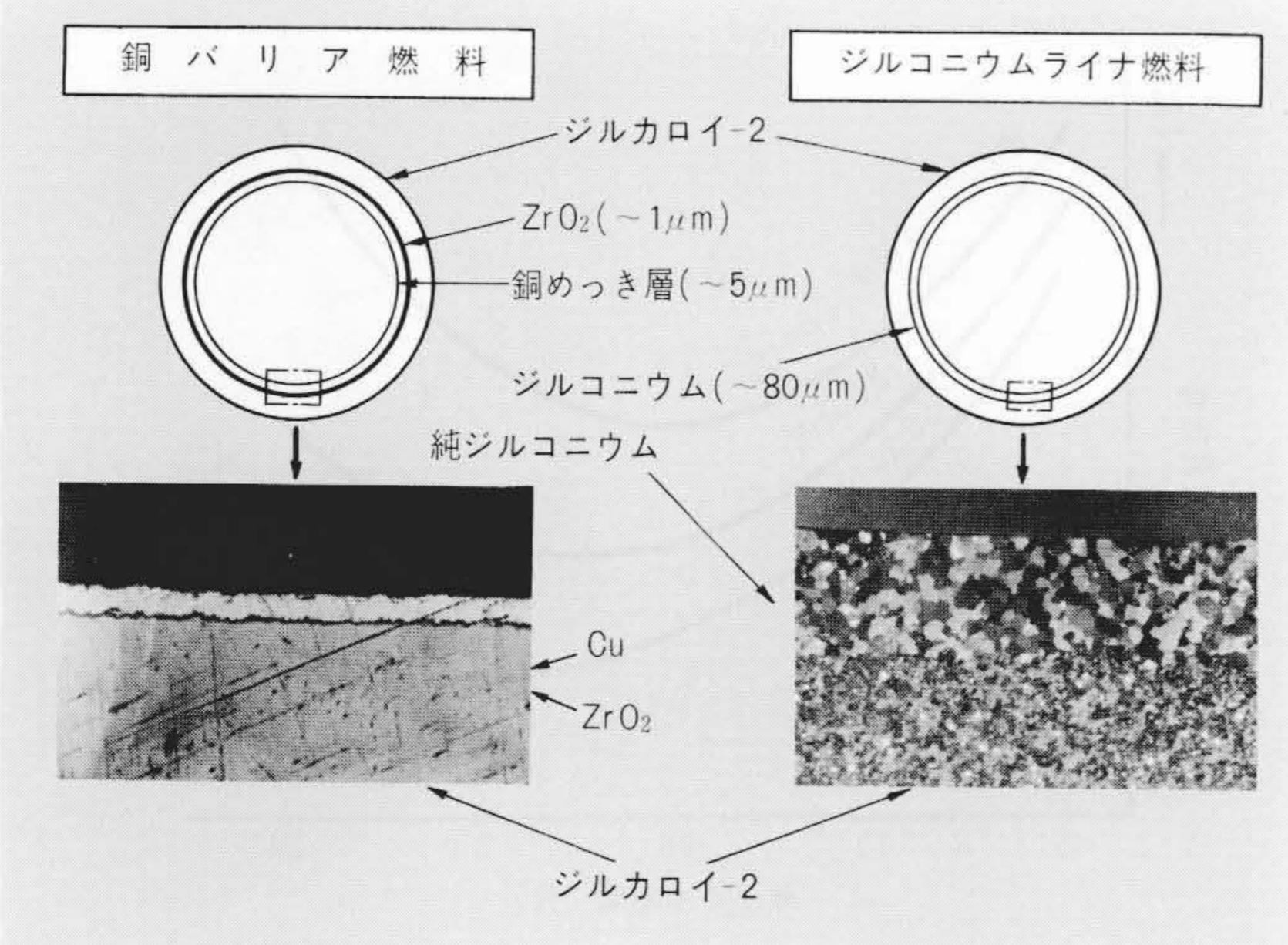


図10 PCI対策燃料 銅バリア燃料・銅めっき層が、腐食性の核分裂生成物に対し被覆管を化学的に保護する。ジルコニウムライナ燃料・内張りした純ジルコニウムが、核分裂生成物に対する物理的な保護膜となるとともに、その穏やかな性質により応力を緩和する。

ものである。日立製作所は国内の被覆管メーカーと共同して、ジルコニウムスポンジの溶解以降最終製品に至るまで一貫した製造技術を開発している。

### (3) 中空ペレット燃料

中空ペレット燃料は、ペレットに数ミリメートルの中心孔を設けることによってペレットの温度を低下させ、FPガス放出量及びペレット熱膨脹量を減少させるもので、JNFで製造技術の開発が進められている。

以上述べたPCI対策燃料については、製造技術の確立と並行して、これまでに(a)炉外での性能評価試験、(b)材料の照射試験、(c)燃料棒の出力急昇試験が行なわれており、いずれもPCI特性の点で現行燃料に比較し大幅な改善効果を示す結果が得られている。引き続き海外の実験炉及び商用炉を用いた照射試験が行なわれており、更に国内でも官民共同のプロジェクトとして昭和56年度から高性能燃料確認試験計画が開始されている。

## 5 TMS炉心

TMS炉心<sup>4)</sup>は先のWNS炉心を発展させ、これにコントロールセルの概念を加えたもので、WNS炉心の特徴に加えて以下に述べるような運転性向上の面での特徴をもっている。

### (1) 出力運転中の制御棒操作がほとんど不要

すなわち、出力運転中、炉心に挿入する制御棒本数を最小にできる(Minimum Shim rods)こと及び制御棒パターン交換回数を最小にできる(Minimum Swaps of control rod pattern)こと。

### (2) 燃料交換時、燃料シャッフリングを最小にできる(Minimum Shuffling of fuel bundle)こと。

TMS炉心は、上記三つのMSをとって名付けられたものである。

TMS炉心でも、WNS炉心と同様な上下2領域燃料を採用しており、燃料自体のもつ上下反応度差によって、常に平坦で安定な軸方向出力分布を実現できるため、軸方向出力分布制御のための浅い制御棒は挿入不要となる。これは出力運転中の制御棒挿入本数を大幅に減らすとともに、制御棒パターンを容易に組むことを可能にしている。更に、WNS燃料よりも可燃性中性子吸収材の設計をより最適化することによって、

炉心反応度を常に一定で小さくして、出力運転中の制御棒挿入本数を少なくし、サイクルを通してほとんどの期間、ほぼ一定の制御棒挿入量での運転を可能にした。

またWNS炉心と同様に、TMS炉心でもコントロールセルなどの一部を除き、燃料交換時、径方向出力分布平坦化のための燃料シャッフリングをしなくとも、十分な熱的余裕が得られる。

コントロールセルは、制御棒周辺の燃料4体を反応度の低い燃料としておくもので、運転中このセル内に制御棒を長時間挿入しても、サイクル末期近くにこの制御棒を引き抜いたとき、大きな出力ピークが生じないようになっている。したがって、運転中使用する予定の少数本の制御棒周辺に、このコントロールセルを形成しておけば、サイクル末期近くで引き抜かれるまで制御棒は、運転期間を通じてほとんど動かさないで済み、このためサイクル途中での制御棒パターン交換は不要にできる。

以上述べたように、本TMS炉心を用いれば、

- (1) 出力運転中に挿入する制御棒本数が少なく、それをほとんど動かす必要がないため運転が非常に簡単となる。
- (2) 制御棒パターンの交換や調整に伴うプラント利用率の損失がほとんどない。
- (3) 燃料シャッフリングが少なくて済むとともに、制御棒の中性子照射量も少ないため、制御棒取替本数を少なくできる。これらは定期検査の短縮につながる。
- (4) 制御棒取替本数が少ないと、使用済み廃棄物量も低減できるなどの運転性の面に加え、経済的な面での向上が期待できる。

更に本炉心は、出力分布が平坦なため、負荷追従時にも出力分布変化幅が小さく、日間負荷追従運転にも適している。

以上述べたように、本TMS炉心の採用によって、運転性及び経済性の向上が期待できる。

## 6 結 言

BWR炉心・燃料の改良は、当初、信頼性の向上に重点が置かれ、この面ではほぼ十分な実績が得られたと言える。最近の技術展開としては、これに加えてプラント利用率や燃料の経済性、及び原子炉の運転性などの向上に重点が移りつつある。これにこたえるために、日立製作所では上下2領域燃料や新型8×8燃料を開発し、既に実炉で性能の確認を行なった。また、これらをベースとした長期サイクル用の炉心・燃料を開発し、同時に運転性向上のため高性能燃料を開発中である。

更に、長期的には燃料サイクルコストの低減や省ウラン資源を考慮し、高燃焼度燃料やプルトニウム利用などの炉心・燃料の開発を進めている。

終わりに、本開発設計に当たり、御指導をいただいた電力会社の関係各位に対し厚くお礼を申し上げる。

## 参考文献

- 1) R. Takeda, et al.: New BWR Core Concept of Improved Performance—Summary of WNS Core, Trans. Am. Nucl. Soc. 28, 558(1978)
- 2) O. Sugimoto, et al.: BWR Operating Experience at Shimane-1 with WNS Type Initial Fuel, Trans. Am. Nucl. Soc. 39, 912(1981)
- 3) K. Umegaki, et al.: Application of Improved Core Design to Conventional BWR, Trans. Am. Nucl. Soc. 33, 640(1979)
- 4) Y. Kobayashi, et al.: New BWR Core Concept with WNS-Type Fuel and 9 Control Cell, Trans. Am. Nucl. Soc. 32, 641(1979)