

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3894784号  
(P3894784)

(45) 発行日 平成19年3月22日(2007.3.22)

(24) 登録日 平成18年12月22日(2006.12.22)

(51) Int. Cl. F I  
**G 2 1 C 5/00 (2006.01)** G 2 1 C 5/00 G D B B  
**G 2 1 C 3/62 (2006.01)** G 2 1 C 3/62 N

請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-384233 (P2001-384233)	(73) 特許権者	000229461 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン 神奈川県横須賀市内川二丁目3番1号
(22) 出願日	平成13年12月18日(2001.12.18)	(74) 代理人	100077816 弁理士 春日 譲
(65) 公開番号	特開2003-185776 (P2003-185776A)	(72) 発明者	井筒 定幸 神奈川県横須賀市内川二丁目3番1号 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン内
(43) 公開日	平成15年7月3日(2003.7.3)	(72) 発明者	平野 靖 神奈川県横須賀市内川二丁目3番1号 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン内
審査請求日	平成13年12月18日(2001.12.18)		
審判番号	不服2004-20208 (P2004-20208/J1)		
審判請求日	平成16年9月30日(2004.9.30)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 沸騰水型原子炉の燃料装荷方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応度の燃焼変化が異なる2種類以上の燃料集合体を沸騰水型原子炉の炉心に混在して装荷する沸騰水型原子炉の燃料装荷方法において、

反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第1燃料集合体を、主として炉心平均出力密度より平均出力が相対的に高い領域である炉心の中央側領域に装荷し、

反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第2燃料集合体を、主として炉心平均出力密度より平均出力が相対的に低い領域である炉心の周辺側領域に装荷し、

前記第1燃料集合体はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を備える燃料集合体であり、前記第2燃料集合体はウラン燃料を備える燃料集合体であることを特徴とする沸騰水型原子炉の燃料装荷方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、沸騰水型原子炉(以下適宜、BWRと称する)の燃料装荷方法に係わり、特に、反応度の燃焼変化が異なる複数の燃料集合体を一つの原子炉の炉心に混在して装荷する原子炉の燃料装荷方法に関する。

【0002】

【従来技術】

一般に、BWRの炉心に装荷される燃料は、種々の異なった形状の燃料集合体や異なった

組成の燃料集合体を使用される。これらの複数の種類の燃料集合体を装荷した炉心を混在炉心と呼ぶ。

【 0 0 0 3 】

このような混在炉心における燃料装荷方法に関する従来技術としては、例えば、特開平2-232595号公報や特開昭60-262090号公報がある。

【 0 0 0 4 】

特開平2-232595号公報に記載の沸騰水型原子炉の燃料装荷方法においては、制御棒による制御性を向上させることを目的に、長期間挿入する制御棒に隣接する燃料セル（以下、コントロールセルと記す）に対しては必ずウラン燃料集合体を装荷している。

【 0 0 0 5 】

また、特開昭60-262090号公報に記載の原子炉燃料装荷方法においては、MOX燃料集合体の新燃料としての装荷体数を低減することを目的に、MOX燃料集合体を炉心の外周領域に、ウラン燃料集合体を炉心の中央領域に装荷している。

【 0 0 0 6 】

ところで、燃料集合体の形状が異なると、燃料集合体内における水と燃料の体積割合が異なることがある。水対燃料割合（いわゆる水素対ウラン原子数比、H/U比にもほぼ対応する）が小さい場合、一般に燃焼の初期においては水の量が少なく中性子の減速効果が不足するため、燃料集合体としての反応度が低いが、燃焼が進むにつれて中性子のエネルギースペクトルが硬くなることによりPuの蓄積が図られ、燃料集合体としての反応度低下が抑制される。

【 0 0 0 7 】

この結果、水対燃料割合が小さい燃料集合体と水対燃料割合が大きい燃料集合体を比較すると、前者は反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な燃料集合体となり、後者は反応度の燃焼変化が相対的に急峻な燃料集合体となる。

【 0 0 0 8 】

また一方、燃料集合体の組成がウラン燃料と異なるもので、いわゆるプルサーマル計画に関連して近年脚光を浴びつつあるものとして、使用済燃料再処理によって取り出されたプルトニウムをウランと混合したウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（以下適宜、MOX燃料という）がある。燃料集合体にこのMOX燃料を装荷すると、核分裂核種であるプルトニウム-239やプルトニウム-241の熱中性子吸収断面積がウラン-235より大きいこと及びプルトニウム-240による中性子吸収がウラン-238より大きいことにより中性子のエネルギースペクトルが硬くなることに基づき、ウラン燃料集合体に比べてプルトニウムの蓄積が促進され、この結果、燃焼の進行に伴う反応度低下が抑制される。

【 0 0 0 9 】

したがって、MOX燃料集合体とウラン燃料集合体を比較した場合には、前者は反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な燃料集合体となり、後者は反応度の燃焼変化が相対的に急峻な燃料集合体となる。特に、MOX燃料の高燃焼度化を図る場合には、燃料の持つ反応度を高める必要があることから、MOX燃料のプルトニウム富化度を増加させることとなるため、上記の傾向が一層強められる。

【 0 0 1 0 】

以上のような事情に基づき、異なった形状の燃料集合体や異なった組成の燃料集合体を混在して炉心に装荷する場合には、燃料集合体の反応度の燃焼変化が相互に異なることから、それらの特性を考慮した燃料装荷方法が種々提唱されており、一例としては、例えば特開昭63-16292号公報がある。

【 0 0 1 1 】

この従来技術においては、燃焼の初期においてはMOX燃料集合体の反応度がウラン燃料集合体の反応度より低いという点を改善することを目的として、MOX燃料集合体を炉心の周辺領域に、ウラン燃料集合体を炉心の中央領域に装荷率を高めて装荷している。

【 0 0 1 2 】

【 発明が解決しようとする課題 】

10

20

30

40

50

しかしながら、上記特開昭63-16292号公報においては、以下の課題が存在する。

【0013】

すなわち、今後の技術動向として、ウラン燃料装荷炉心の高燃焼度化、あるいは異種類燃料（ウラン燃料及びMOX燃料）の混在装荷、さらにはMOX燃料の部分装荷などが増大することが予想されており、上述したような燃料集合体による反応度の燃焼変化特性を利用し、燃料混在装荷時における反応度利得上の向上を図る必要性がますます高まっている。

【0014】

ここで、一般に、発電用原子炉の炉心の場合、その目的は、所定のエネルギーを発生させることであるから、エネルギーの時間積分値である燃焼度について、運転サイクル末期においてある一定値の達成が要求される。そして、この炉心全体平均の達成すべき燃焼度を炉心を構成する個々の燃料がどのように負担するかは、炉心内の燃料装荷パターンによって異なることとなる。上記のように反応度利得上の向上を図る場合にも、運転サイクル全体でみたトータルの反応度利得として考える必要がある。

10

【0015】

しかしながら、上記特開昭63-16292号公報においては、反応度の燃焼変化特性を反応度利得向上に生かすときに、運転サイクルの初期における反応度利得のみを図るものとなっており、運転サイクル全体（特に運転サイクル末期）でみた反応度利得については配慮されておらず、改善の余地があった。

【0016】

本発明の目的は、種々の異なった形状あるいは組成の燃料集合体を装荷した混在炉心である場合に、運転サイクル全体でみた反応度利得向上を図ることができる沸騰水型原子炉の燃料装荷方法を提供することにある。

20

【0017】

【課題を解決するための手段】

(1)上記目的を達成するために、本発明は、反応度の燃焼変化が異なる2種類以上の燃料集合体を沸騰水型原子炉の炉心に混在して装荷する沸騰水型原子炉の燃料装荷方法において、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第1燃料集合体を、主として炉心平均出力密度より平均出力が相対的に高い領域である炉心の中央側領域に装荷し、反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第2燃料集合体を、主として炉心平均出力密度より平均出力が相対的に低い領域である炉心の周辺側領域に装荷し、前記第1燃料集合体はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を備える燃料集合体であり、前記第2燃料集合体はウラン燃料を備える燃料集合体であるものとする。

30

【0018】

一般に、発電用沸騰水型原子炉の炉心の場合、その目的は、所定のエネルギーを発生させることであるから、エネルギーの時間積分値である燃焼度は、運転サイクル末期において一定値が要求される。炉心に装荷される燃料集合体は、炉心全体平均の運転サイクル末期のその所定の燃焼度において反応度がちょうど0となるように設計される。

【0019】

このとき、形状や組成が異なる燃料を混在して炉心に装荷する場合、各燃料集合体の燃焼挙動は互いに異なり、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第1燃料集合体では、上記所定の燃焼度より低い燃焼度では反応度は0より大きい、上記所定の燃焼度に近づくに連れて緩やかに減少し、上記所定の燃焼度で上述のように反応度0となった後さらに燃焼度が増大するにつれて反応度はゆるやかに0よりも減少していく。

40

【0020】

一方反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第2燃料集合体では、上記所定の燃焼度より低い燃焼度では反応度は0よりはるかに大きい、上記所定の燃焼度に近づくに連れて急激に減少し、上記所定の燃焼度で上述のように反応度0となった後さらに燃焼度が増大するにつれて反応度は急激に0よりも大きく減少していく。

【0021】

50

以上のような特性の結果、上記所定の燃焼度より低い燃焼度の場合には第1燃料集合体及び第2燃料集合体のいずれの反応度も0より大きい正の値となり、第2燃料集合体のほうが第1燃料集合体よりもその絶対値が大きくなる。また上記所定の燃焼度より高い燃焼度の場合には、第1燃料集合体及び第2燃料集合体のいずれの反応度も0より小さい負の値となるが、第2燃料集合体のほうが第1燃料集合体よりもその絶対値が大きくなる。

#### 【0022】

ここで、上記炉心全体平均の燃焼度所定の燃焼度を、炉心を構成する個々の燃料集合体がどのように負担するかは、炉心内の燃料装荷パターンに依存することとなる。そこで、第1及び第2燃料集合体について、それぞれを上記所定の燃焼度より高い燃焼度及び上記所定の燃焼度より低い燃焼度のいずれかに振り分けて負担するように炉心に配置することにより、上記特性線の挙動を利用して正の反応度利得を得ることができる。

10

#### 【0023】

すなわち、緩やかな右下がり特性直線で表される第1燃料集合体を例えば炉心の中央側領域等、炉心平均出力密度より平均出力が相対的に高い領域に装荷し、急激な右下がり特性直線で表される第2燃料集合体を中性子の漏れが大きい炉心の周辺側領域等、炉心平均出力密度より平均出力が相対的に低い領域に装荷する。この場合、第1燃料集合体の運転サイクル末期での燃焼度は上記所定の燃焼度より大きくなってその反応度は負の値となるが、前述のように緩やかな右下がり特性であることからその絶対値は小さい。一方第2燃料集合体の運転サイクル末期での燃焼度は上記所定の燃焼度より小さくなってその反応度は正の値となり、しかも前述のように急激な右下がり特性であることからその絶対値は大きい。

20

#### 【0024】

このとき、炉心平均としての反応度は、(第1燃料集合体の炉心装荷割合)×(第1燃料集合体の最終燃焼度における反応度)と(第2燃料集合体の炉心装荷割合)×(第2燃料集合体の最終燃焼度における反応度)で表され、上記のように、(第1燃料集合体の最終燃焼度における反応度)は負の値となり、(第2燃料集合体の最終燃焼度における反応度)は正の値となるが、前述のように絶対値どうしの比較では前者の絶対値は後者の絶対値よりも小さくなっている。したがって、炉心全体で見た場合には、その炉心平均反応度は、炉心平均の上記所定の燃焼度よりも燃焼の進んだ第1燃料集合体による負の反応度の効果よりも、上記所定の燃焼度に達していない第2燃料集合体による正の反応度の効果のほうが大きくなる。この結果、運転サイクル全体(特にサイクル末期)で見て、上記のように燃焼挙動の差を利用した正の反応度利得を得ることができる。

30

#### 【0028】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面を参照しつつ説明する。

#### 【0029】

本発明の第1の実施形態を図1～図5により説明する。本実施形態は、反応度の燃焼変化が相対的に急峻な燃料集合体としてウラン燃料集合体を、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な燃料集合体としてMOX燃料集合体を沸騰水型原子炉炉心に混在装荷する場合の実施形態である。

40

#### 【0030】

図2は、本実施形態の燃料装荷方法により装荷される燃料集合体11U、11Mの全体構造を表す縦断面図であり、図3は後述のようにウラン燃料集合体11Uの横断面図であり、図4は後述のようにMOX燃料集合体11Mの横断面図である。

#### 【0031】

これら図2、及び図3又は図4において、本実施形態の燃料集合体11U、11Mは、燃料棒12、チャンネルボックス13、水ロッド14、上部タイプレート15、下部タイプレート16及び燃料スペーサ17等から構成されている。

#### 【0032】

燃料棒12及び水ロッド14の上下端部は、上部タイプレート15及び下部タイプレート16で保

50

持される。スペーサ17は、燃料棒12の軸方向に幾つか配置され、燃料棒12及び水ロッド14の相互間の間隙を適切に保持している。チャンネルボックス13は、上部タイプレート15に取り付けられ、スペーサ17で保持された燃料棒12の束の外周を取り囲んでいる。横断面十字型の制御棒19は、チャンネルボックス13に隣接する。燃料棒12は、上部端栓及び下部端栓により両端を密封された被覆管内に多数の燃料ペレットを充填したものである。水ロッド14は、燃料物質を充填せず、内部を沸騰しない冷却水が通過するようになっている。水ロッドの大きさは燃料棒7本分に相当している。短尺燃料棒（部分長燃料棒）18（燃料棒記号P）は、水平方向位置が、燃料棒配列における外層から2層目にコーナ部を含む8本が設けられている。

【0033】

図3において、燃料集合体11Uは、燃料棒12を構成する全ての燃料ペレットが燃料物質であるUO<sub>2</sub>にて構成され、核分裂物質である<sup>235</sup>Uを含んでいるが、PuO<sub>2</sub>を含んでいない。一部の燃料ペレットはガドリニア入りウラン燃料ペレットとして、燃料物質であるUO<sub>2</sub>及びこれに含有した可燃性毒物であるガドリニア（Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）にて構成される。使用されているガドリニア入りウラン燃料棒（燃料棒記号G）の本数は、12本である。

10

【0034】

図4において、燃料集合体11Mは、燃料ペレットが燃料物質であるUO<sub>2</sub>及びPuO<sub>2</sub>の混合酸化物にて構成され、核分裂物質である<sup>239</sup>Pu、<sup>241</sup>Pu、及び<sup>235</sup>Uを含んでいる。一部の燃料ペレットはガドリニア入りウラン燃料ペレットとして、燃料物質であるUO<sub>2</sub>及びこれに含有した可燃性毒物であるガドリニア（Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）にて構成される。使用されているガドリニア入りウラン燃料棒（燃料棒記号G）の本数は、18本である。

20

【0035】

図1は、上記2種類の燃料集合体11U、11Mを用いて構成した沸騰水型原子炉炉心（1/4回転対称炉心）の一つの象限を示す燃料集合体配置図である。

【0036】

図1において、この炉心では、反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第2燃料集合体としての図3に示したウラン燃料集合体11Uと、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第1燃料集合体としての図4に示したMOX燃料集合体11Mとを混在して装荷している。詳細には、図1に示すように、ウラン燃料集合体11Uを主として炉心の周辺側（外周側）領域及び長期間挿入する制御棒に隣接する燃料セル（いわゆるコントロールセル）領域等、平均出力が相対的に低い領域（詳細には炉心平均出力密度よりも低い領域）に装荷し、MOX燃料集合体11Mを主として炉心の中央側領域等、平均出力が相対的に高い領域（詳細には炉心平均出力密度よりも高い領域）に装荷している（但しこの例では、MOX燃料集合体11Mは、出力分布特性を考慮して最外周領域にも若干数装荷している）。

30

【0037】

なお、図1中の数字は、炉心滞在サイクル数を示しており、明確化のために上記ウラン燃料集合体11Uについては 冏 数字で表し、上記MOX燃料集合体11Mについては無冏数字で表している。

【0038】

次に、以上のように構成した本実施形態の作用を以下に説明する。

40

【0039】

図5は、一般的な沸騰水型燃料集合体における反応度と燃焼度の関係について、横軸に燃焼度、縦軸に反応度をとって示したものである。

【0040】

一般に、発電用沸騰水型原子炉の炉心の場合、その目的は、所定のエネルギーを発生させることであるから、エネルギーの時間積分値である燃焼度は、運転サイクル末期において一定値が要求される。図5における点E0はその炉心全体平均の運転サイクル末期の燃焼度を表しており、炉心に装荷される燃料集合体は、この燃焼度E0において反応度がちょうど0となるように設計される。

50

## 【 0 0 4 1 】

このとき、形状や組成が異なる燃料を混在して炉心に装荷する場合、各燃料集合体の燃焼挙動は互いに異なることとなる。図5において、記号aは反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な例えば上記第1燃料集合体11Mを示しており、上記E0を通る比較的緩やかな右下がり直線で表される。上記E0より低い燃焼度では反応度は0より大きい、E0に近づくと連れて緩やかに減少し、燃焼度E0で上述のように反応度0となり、さらにE0を超えて燃焼度が増大するにつれて反応度はゆるやかに0よりもさらに減少していく。

## 【 0 0 4 2 】

図5において、記号bは反応度の燃焼変化が相対的に急峻な例えば上記第2燃料集合体11Uを表しており、上記E0を通る比較的急激な右下がり直線で表される。上記E0より低い燃焼度では反応度は0よりはるかに大きい、E0に近づくと連れて急激に減少し、燃焼度E0で上述のように反応度0となり、さらにE0を超えて燃焼度が増大するにつれて反応度は急激に0よりも大きく減少していく。

10

## 【 0 0 4 3 】

以上のような2つの特性線の結果、図5に示されるように、上記E0より低い燃焼度の場合には第1燃料集合体11M及び第2燃料集合体11Uのいずれの反応度も0より大きい正の値となり、第2燃料集合体11Uのほうが第1燃料集合体11Mよりもその絶対値が大きくなる。また上記E0より高い燃焼度の場合には、第1燃料集合体11M及び第2燃料集合体11Uのいずれの反応度も0より小さい負の値となるが、第2燃料集合体11Uのほうが第1燃料集合体11Mよりもその絶対値が大きくなる結果、反応度としては第1燃料集合体11Mのほうが大きくなる。

20

## 【 0 0 4 4 】

ここで、上記炉心全体平均の燃焼度E0を、炉心を構成する個々の燃料集合体がどのように負担するかは、炉心内の燃料装荷パターンに依存することとなる。炉心の中央領域のような高出力の領域に装荷された燃料集合体は図5中点E2のような点E0よりも高い燃焼度までに達するが、炉心の周辺領域のような低出力の領域に装荷された燃料集合体は図5中点E1のように点E0よりも低い燃焼度にとどまることとなる。言い換えれば、上記の炉心全体平均の運転サイクル末期の燃焼度E0という条件にあっても、そのE0より高い燃焼度となる燃料もあれば、低い燃焼度となる燃料も存在している。

## 【 0 0 4 5 】

そこで、前述した2種類の燃料集合体11M, 11Uについて、それぞれを上記E0より高い燃焼度及び上記E0より低い燃焼度のいずれかに振り分け配置した場合、上記特性線の挙動に応じ、正の反応度利得又は負の反応度利得が生じることとなる。

30

## 【 0 0 4 6 】

まず比較例として、急激な右下がり特性直線で表される第2燃料集合体11Uを炉心の高出力領域に装荷し、緩やかな右下がり特性直線で表される第1燃料集合体11Mを炉心の低出力領域に装荷した場合を考える。この場合、第2燃料集合体11Uの運転サイクル末期での燃焼度はE0より大きいE2となってその反応度K2bは負の値となり、前述のように急激な右下がり特性であることからその絶対値|K2b|は大きく、K2bは0よりもかなり小さくなる。一方第1燃料集合体11Mの運転サイクル末期での燃焼度はE0より小さいE1となってその反応度K1aは正の値となるが、前述のように緩やかな右下がり特性であることからその絶対値|K1a|は小さく、K1aは0よりそれほど大きな値とはならない。

40

## 【 0 0 4 7 】

このとき、第1燃料集合体11M及び第2燃料集合体11Uの炉心における装荷割合をそれぞれWa, Wb (Wa + Wb = 1) とすると、炉心平均燃焼度  $E_0 = E_1 \times Wa + E_2 \times Wb$  であることから、炉心平均としての反応度は  $K_{1a} \times Wa + K_{2b} \times Wb$  で表される。ここで、上記のように、K2bは負の値、K1aは正の値となるが、前述のように絶対値どうしの比較では  $|K_{2b}| > |K_{1a}|$  となっている。したがって、炉心全体で見た場合には、その炉心平均反応度は、炉心平均燃焼度E0よりも燃焼の進んだ第2燃料集合体11Uによる負の反応度の効果のほうが炉心平均燃焼度E0に達していない第1燃料集合体11Mによる正の

50

反応度の効果よりも大きくなり、この結果反応度利得としては負となってしまう。

【0048】

これに対し、本実施形態においては、緩やかな右下がり特性直線で表される第1燃料集合体11Mを炉心の高出力領域に装荷し、急激な右下がり特性直線で表される第2燃料集合体11Uを炉心の低出力領域に装荷している。この場合、第1燃料集合体11Mの運転サイクル末期での燃焼度はE0より大きいE2となってその反応度K2aは負の値となるが、前述のように緩やかな右下がり特性であることからその絶対値 $|K2a|$ は小さく、K2aは0よりもそれほど大きくは小さくならない。一方第2燃料集合体11Uの運転サイクル末期での燃焼度はE0より小さいE1となってその反応度K1bは正の値となり、しかも前述のように急激な右下がり特性であることからその絶対値 $|K1b|$ は大きく、K1bは0よりもかなり大きな値となる。

10

【0049】

このとき、第1燃料集合体11M及び第2燃料集合体11Uの炉心における装荷割合をそれぞれ $W_a$ 、 $W_b$  ( $W_a + W_b = 1$ ) とすると、炉心平均燃焼度 $E_0 = E_2 \times W_a + E_1 \times W_b$ であることから、炉心平均としての反応度は $K2a \times W_a + K1b \times W_b$ で表される。ここで、上記のように、K2aは負の値、K1bは正の値となるが、前述のように絶対値どうしの比較では $|K2a| < |K1b|$ となっている。したがって、炉心全体で見た場合には、その炉心平均反応度は、炉心平均燃焼度E0よりも燃焼の進んだ第1燃料集合体11Mによる負の反応度の効果よりも炉心平均燃焼度E0に達していない第2燃料集合体11Uによる正の反応度の効果のほうが大きくなる。以上の結果、本実施形態においては、上記のような燃焼挙動の差を利用した正の反応度利得を得ることができる。

20

【0050】

また、この正の反応度利得を利用すれば、ウラン燃料集合体11Uを、通常の沸騰水型原子炉の炉心（形状あるいは組成の異なる複数の燃料集合体を装荷した混在炉心ではない、単一の燃料集合体を装荷した炉心）に装荷されるウラン燃料集合体に比べて平均濃縮度を減少させたり、またMOX燃料集合体11Mについても、通常のMOX燃料単一炉心に装荷されるMOX燃料集合体に比べて平均プルトニウム富化度を減少させ、燃料経済性を向上させることもできる。

【0051】

あるいは同様の考え方で、上記正の反応度利得を利用し、ウラン燃料集合体11Uのサイクル終了時の取替え体数を減らして、通常のウラン燃料単一炉心に装荷される場合より取り出し平均燃焼度を増加させたり、またMOX燃料集合体11Mについても通常のMOX燃料単一炉心に装荷される場合よりサイクル終了時の取替え体数を減らして取り出し平均燃焼度を増大させ、燃料経済性を向上させることもできる。

30

【0059】

なお、図1を用いて前述したように、上記実施形態では、基本的に、反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第2燃料集合体を主として炉心の周辺側（外周側）領域及び長期間挿入する制御棒に隣接する燃料セル（いわゆるコントロールセル）領域等に装荷する一方、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第1燃料集合体を主として炉心の中央側領域に装荷し、さらに例外的に、第1燃料集合体について、出力分布特性を考慮して最外周領域にも若干数装荷したが、これに限られない。

40

【0060】

すなわち、種々の異なった形状あるいは組成の燃料集合体を装荷した混在炉心である場合に、運転サイクル全体でみた反応度利得向上を図るといふ本発明の基本的効果を得る限りにおいては、第1燃料集合体の最外周領域への装荷を行わなくてもよい。この場合、第1燃料集合体は中央側領域にのみ装荷されるため、周辺側領域の第1燃料集合体と明確な境界が形成されることとなる。本願発明者等の検討によれば、大きな原子炉では炉心の中央領域の出力分布は平坦に近く、出力が低下する周辺領域の範囲として、この中央側領域と周辺側領域との境界の位置は、炉心の中心からの距離が炉心半径の約 $7/10$ 以上となる位置であることが分かった。図1に示す配置についても、上述の最外周の第1燃料集合体を

50

除いて考えれば、この条件を満たしている。

【 0 0 6 1 】

【 発明の 効果 】

本発明によれば、反応度の燃焼変化が相対的に緩慢な第 1 燃料集合体を炉心平均出力密度より平均出力が相対的に高い領域に装荷し、反応度の燃焼変化が相対的に急峻な第 2 燃料集合体を炉心平均出力密度より平均出力が相対的に低い領域に装荷する。これにより、炉心全体で見た場合には、炉心平均反応度は、炉心平均の所定の燃焼度よりも燃焼の進んだ第 1 燃料集合体による負の反応度の効果よりも、その所定の燃焼度に達していない第 2 燃料集合体による正の反応度の効果のほうが大きくなる。この結果、運転サイクル全体（特にサイクル末期）で見て、上記のように燃焼挙動の差を利用した正の反応度利得を得ることが

10

【 図面の 簡単な 説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施形態の適用対象である、2 種類の燃料集合体を用いて構成した沸騰水型原子炉混在炉心（1 / 4 回転対称炉心）の一つの象限を示す配置図である。

【 図 2 】 本発明の第 1 の実施形態の燃料装荷方法により装荷される燃料集合体の全体構造を表す縦断面図である。

【 図 3 】 図 1 及び図 2 に示したウラン燃料集合体の横断面図である。

【 図 4 】 図 1 及び図 2 に示した M O X 燃料集合体の横断面図である。

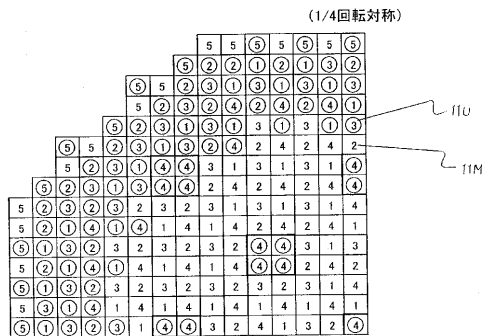
【 図 5 】 一般的な沸騰水型燃料集合体における反応度と燃焼度の関係について、横軸に燃焼度、縦軸に反応度をとって示した図である。

20

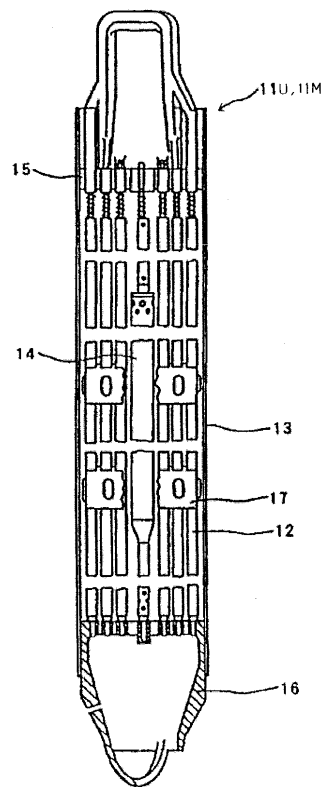
【 符号の 説明 】

- 11M M O X 燃料集合体
- 11U , U ' ウラン燃料集合体
- 12 燃料棒

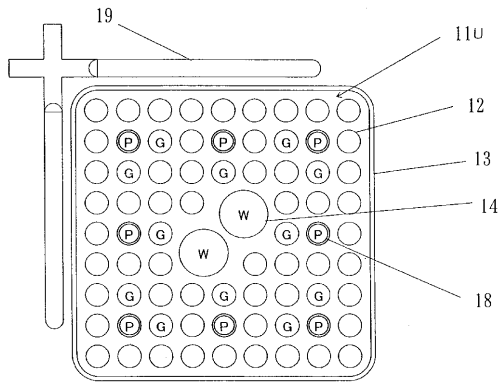
【 図 1 】



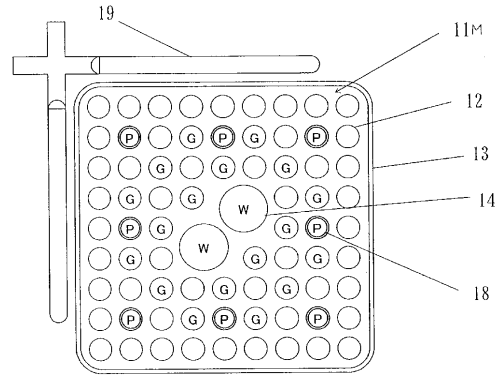
【 図 2 】



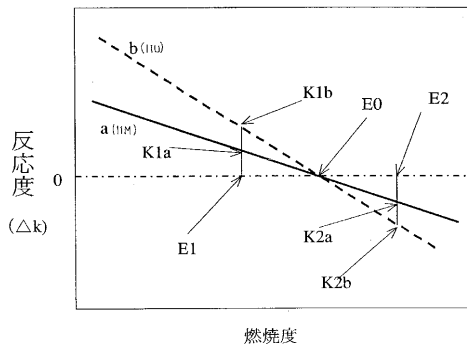
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 藤巻 真吾  
神奈川県横須賀市内川二丁目3番1号  
エル・ジャパン内 株式会社グローバル・ニュークリア・フュ  
エル・ジャパン内
- (72)発明者 吉田 学  
神奈川県横須賀市内川二丁目3番1号  
エル・ジャパン内 株式会社グローバル・ニュークリア・フュ  
エル・ジャパン内

合議体

審判長 江塚 政弘

審判官 森内 正明

審判官 森口 良子

- (56)参考文献 特開平9 - 304571 (JP, A)  
特開昭60 - 50488 (JP, A)  
特開平9 - 243773 (JP, A)  
特開平1 - 191093 (JP, A)