

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5312754号
(P5312754)

(45) 発行日 平成25年10月9日(2013.10.9)

(24) 登録日 平成25年7月12日(2013.7.12)

(51) Int.Cl.

F 1

G 2 1 C 5/00 (2006.01)
G 2 1 C 5/16 (2006.01)G 2 1 C 5/00
G 2 1 C 5/16

A

請求項の数 3 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2007-127547 (P2007-127547)
 (22) 出願日 平成19年5月14日 (2007.5.14)
 (65) 公開番号 特開2008-281501 (P2008-281501A)
 (43) 公開日 平成20年11月20日 (2008.11.20)
 (54) 審査請求日 平成22年4月8日 (2010.4.8)

(73) 特許権者 303002055
 白川 利久
 東京都台東区谷中3-17-8 ベルクレ
 ール201
 (72) 発明者 白川利久
 東京都台東区谷中3-17-8 ベルクレ
 ール201
 審査官 青木 洋平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】軽水型原子炉の炉心

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内面を純鉄ライナで覆ったステンレス製であることを特徴とする被覆管(20)内にPu富化度が10wt%以下のMOX燃料を円柱状に焼結してなるMOXペレット(31)を多数個充填して気密閉塞されたる燃料棒(40)を稠密3角格子状に配列した多数本の燃料棒(40)及び制御棒案内シングル(50)を内包し、4辺の長さが等しい60度と120度とからなる菱形にならしめたことを特徴とする正菱形燃料集合体(1000)において、

当該正菱形燃料集合体(1000)の1体には駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に固着せる制御棒を制御棒案内シングル(50)内に貫通装荷させ、計装用案内シングルの上端及び下端を拘束する上部ノズル及び下部ノズルからなり、

当該正菱形燃料集合体(1000)の3体には駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に転換材を含有せる転換棒(80)を制御棒案内シングル(50)内に貫通装荷させた合計4体の正菱形燃料集合体(1000)が隣接するように装荷し、

隣接する正菱形燃料集合体(1000)の間を流れる冷却水の通路である漏洩水通路(71)にはアルミナまたは三フッ化アルミニウムまたは水晶石またはこれ等の混合物と転換材をジルコニア合金またはステンレスで被覆したボイド反応度抑制板(62)を敷設し、

前記ボイド反応度抑制板(62)の延長交点部に炉内中性子検出器を貫通装荷せる計装用案内シングルを敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心。

【請求項 2】

請求項1の軽水型原子炉の炉心において、

10

20

一様正菱形燃料集合体(2000)は、正菱形燃料集合体(1000)から制御棒案内シンプル(50)と転換棒(80)を削除し更に燃料棒の数本をタイロッドとして上部ノズルと下部ノズルを結合してなり、

可動型外制御棒(2001)は、駆動装置に接続されている“X”字型の制御棒クラスタの先端部に固着せる“X”字型の中性子吸収材であり、隣接する一様正菱形燃料集合体(2000)の間を流れる冷却水の通路である漏洩水通路(71)に敷設せる“X”字型の外制御棒案内シンプル(2050)の中を上下でき、

変換型外制御棒(2002)は、ジルコニウム合金またはステンレスで被覆された転換材からなり、駆動装置に接続されていない“X”字型の非可動制御棒クラスタの先端部に固着せる“X”字型の転換材であり、隣接する一様正菱形燃料集合体(2000)の間を流れる冷却水の通路である漏洩水通路(71)に敷設せる“X”字型の外制御棒案内シンプル(2050)の中に貫通装荷されており、

可動型外制御棒(2001)の配置は炉心中央に配置してから1/4対称に配置し、

変換型外制御棒(2002)の配置は前記可動型外制御棒(2001)とは市松模様状になるように配置し、

前記各制御棒に前記一様正菱形燃料集合体(2000)

4体を隣接せしめ、

前記各制御棒と反対側の漏洩水通路(71)にボイド反応度抑制板(62)を敷設し、

前記ボイド反応度抑制板(62)の延長交点部に炉内中性子検出器を貫通装荷せる計装用案内シンプルを敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心。

【請求項3】

請求項1または請求項2の軽水型原子炉の炉心において、

炉内中性子検出器を石英またはアルミナまたはサファイア製の光ファイバー下端に核燃料と同一材質のMOX燃料片を有らしめてなることを特徴とする中性子検出器(61)としたことを特徴とする軽水型原子炉の炉心。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軽水を冷却材とする軽水型原子炉(LWR)の燃料集合体および炉心および炉内監視機器に関する。

【背景技術】

【0002】

軽水を冷却材とする原子炉には、加圧水型炉(PWR)と沸騰水型炉(BWR)とがある。総称して軽水型原子炉(LWR)と呼ばれる。

【0003】

図1はPWRに装荷せる核燃料であるプルトニウム(Pu)やウラン(U)を内包する従来の正方形の燃料集合体の概観図である(非特許文献1)。当該燃料集合体は、多数本正方格子状に配列された核燃料を内封している円柱形状の燃料棒と、燃料棒束の上端を拘束する上部ノズルと、前記燃料棒の高さ途中に位置して燃料棒間の間隔を規制する数個の支持格子と、中性子吸収材を含有せる制御棒が上下できる中空の管である制御棒案内シンプルと、炉内中性子検出器が通る中空の管である計装用案内シンプルとこれ等の上端及び下端を拘束する上部ノズル及び下部ノズルからなる。燃料棒は、ジルコニウムの合金製またはステンレス製の燃料被覆管内にスプリングとPuまたはUの酸化物またはPuとUの混合酸化物(MOX)を円柱状に焼結してなる多数個のペレットを充填し気密閉塞してなる。

【0004】

本発明の燃料集合体は、内面にアルミナバリア(30)が施されている新燃料被覆管(20)内にPu富化度が10wt%以下のMOXを円柱状に焼結してなるMOXペレット(31)を多数個充填して気密閉塞されたる新燃料棒(40)を稠密3角格子状に配列した多数本の新燃料棒(40)と、中性子吸収材を含有せる制御棒または転換材を含有せる転換棒(80)を貫通装荷せる新制御棒案内シンプル(50)とで、

10

20

30

40

50

4辺の長さが等しい160度と120度とからなる菱形にならしめたことを特徴とする正菱形燃料集合体(1000)である。

制御棒は制御棒駆動装置に直結せる制御棒クラスタの先端部に接続されている。

転換棒(80)は御棒駆動装置には接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に接続されている。

ボイド反応度係数が充分負の場合はアルミナバリア(30)の替わりに、純粹高純度の鉄(Fe)と言った軟らかな素材の純鉄ライナで内面をライナ覆いした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)とすれば被覆管内面の応力を緩和できる。外面を純鉄でライナした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)にすれば応力腐食割れを抑制することができる。被覆管にかかる応力が大きくな場合はバリアやライナが施されていない素管の燃料被覆管にPu富化度が10wt%以下のMOXペレット(31)を充填してなる新燃料棒(40)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)も成り立つ。

本発明の軽水型原子炉の炉心は、中央領域は駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端が中性子吸收材からなる制御棒を新制御棒案内シンプル(50)に貫通装荷せる正菱形燃料集合体(1000)1体と駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端が転換材からなる転換棒(80)を新制御棒案内シンプル(50)に貫通装荷せる正菱形燃料集合体(1000)3体の合計4体が頂部で隣接するように構成し、最外周領域も含めた周辺領域には正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体配置形状が1/4対称になるように転換棒(80)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)を装荷し、漏洩水通路(71)にボイド反応度抑制板(62)を敷設し、正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンプル(60)を敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心である。

本発明の軽水型原子炉の炉心の他の例は、頂部で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に固着せる中性子吸收材を含有せる可動型外制御棒(2001)と頂部で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着せる転換材を含有せる変換型外制御棒(2002)とを市松模様状に配置せしめ、漏洩水通路(71)にボイド反応度抑制板(62)を敷設し、隣接せる4体の正菱形燃料集合体(1000)一様正菱形燃料集合体(2000)が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンプル(60)を敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心である。

正方形の燃料集合体を装荷せる従来の軽水型原子炉に新燃料棒(40)を稠密3角格子に多数本配列してなる正方形に近い4隅の角度が各々90度の本発明の長方形燃料集合体(3200)を装荷してなることを特徴とする軽水型原子炉の炉心。

長方形燃料集合体(3200)または従来のB型燃料集合体(3030)が接するB漏洩水通路(3052)位置に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンプル(60)を敷設した炉内監視装置により炉心中の全長方形燃料集合体(3200)または従来のB型正方形燃料集合体(3030)の出力挙動を監視することができる。

【 0 0 0 5 】

図3は、支持格子のない高さでの制御棒も炉内中性子検出器も挿入されていない状態での従来の正方形の燃料集合体の平面図である(非特許文献3)。燃料棒の間は冷却材が流れる漏洩水通路となっている。燃料棒にはMOXのペレットが充填されている。燃料集合体内の出力分布を平坦化するためにPuの割合が高いMOXを含有せる高富化度燃料棒と、Puの割合が中くらいに高いMOXを含有せる中富化度燃料棒と、Puの割合が低いMOXを含有せる低富化度燃料棒とからなっている。その他、構造材として制御棒案内シンプルと計装用案内シンプルが装荷されている。A-Gは寸法を示す。LWRの運転が進み蓄積されたPuを処分するために、充分な水により中性子を充分減速させてPuを消滅させようとしている。

【 0 0 0 6 】

図4は、図3の従来の正方形の燃料集合体を装荷せる運転時炉心平面図である。正方形の燃料集合体が正方格子状に配列されている。炉心中央領域は第1領域と第2領域とに領域されている。それぞれの領域に燃料集合体平均Pu富化度割合が低い低富化度燃料集合体とPu

10

20

30

40

50

割合が中くらいの中富化度燃料集合体が装荷されている。炉心外周領域の第3領域にはPu割合が高い高富化度燃料集合体が装荷されている。

【0007】

図5は、制御棒クラスタの炉心配置を示した図である。制御棒クラスタは図に見る様にほぼ、燃料集合体4体に1体の割合で配置されている。制御棒駆動装置は炉心全体の燃料集合体に対応している訳ではない。制御棒操作上、A~DとS_A~S_Dにグループ分けされている。

【0008】

図6は、炉内計装の炉心配置を示した図である。図に見る様にほぼ、燃料集合体2体に1体の割合で配置されている。炉内計装は炉心全体に配置されているわけではない。冷却材温度は熱電対で監視し、中性子はA~DとCALの炉内中性子束検出器で監視している。

10

【非特許文献1】：コロナ社、昭和50年、都甲著「原子動力」。

【非特許文献2】：オーム社、1989年、「原子力ハンドブック」。

【非特許文献3】：日本原子力研究所、2001年、「軽水炉次世代燃料の炉物理に関するベンチマーク問題の提案及び解析結果」

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

充分な水により中性子を充分減速させてMOX燃料を燃焼させPuを消滅させる方法では、Puの同位元素であるプルトニウム239(Pu239)とプルトニウム241(Pu241)は消滅できるがプルトニウム240(Pu240)とプルトニウム242(Pu242)は消滅できずに蓄積されてしまう。そこで、減速材でもある冷却材としての水の割合を除熱可能な範囲で減少させて、中性子減速作用をできるだけ抑制してPuを効率よく燃焼させるLWRである低減速原子炉が最近注目されだしているが、ボイド反応度係数が正になり易いことが問題である。問題解決のために色々な工夫をしているため開発要素の多い炉心構造となり実運転までの年数と費用が膨大でもあるし、安全性の問題への対応が不十分である。現行LWRの構造を大きく変えることなく低減速原子炉を実現したい。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の燃料集合体は、内面にアルミナバリア(30)が施されている新燃料被覆管(20)内にPu富化度が10wt%以下のMOXを円柱状に焼結してなるMOXペレット(31)を多数個充填して気密閉塞されたる新燃料棒(40)を稠密3角格子状に配列した多数本の新燃料棒(40)と、

30

中性子吸収材を含有せる制御棒または転換材を含有せる転換棒(80)を貫通装荷せる新制御棒案内シングル(50)とで、

4辺の長さが等しい60度と120度とからなる菱形にならしめたことを特徴とする正菱形燃料集合体(1000)である。

【0011】

制御棒は制御棒駆動装置に直結せる制御棒クラスタの先端部に接続されている。

【0012】

転換棒(80)は御棒駆動装置には接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に接続されている。

40

【0013】

ボイド反応度係数が充分負の場合はアルミナバリア(30)の替わりに、純粋の鉄(Fe)と言った軟らかな素材の純鉄ライナで内面をライナ覆いした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)とすれば被覆管内面の応力を緩和できる。外面を純鉄でライナした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)にすれば応力腐食割れを抑制することができる。被覆管にかかる応力が大きくな場合はバリアやライナが施されていない素管の燃料被覆管にPu富化度が10wt%以下のMOXペレット(31)を充填してなる新燃料棒(40)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)も成り立つ。

【0014】

本発明の軽水型原子炉の炉心は、中央領域は駆動装置に接続されている制御棒クラスタ

50

の先端が中性子吸収材からなる制御棒を新制御棒案内シングル(50)に貫通装荷せる正菱形燃料集合体(1000)1体と駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端が転換材からなる転換棒(80)を新制御棒案内シングル(50)に貫通装荷せる正菱形燃料集合体(1000)3体の合計4体が頂部で隣接するように構成し、最外周領域も含めた周辺領域には正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体配置形状が1/4対称になるように転換棒(80)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)を装荷し、漏洩水通路(71)にボイド反応度抑制板(62)を敷設し、正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シングル(60)を敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心である。

【0015】

10

本発明の軽水型原子炉の炉心の他の例は、頂部で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に固着せる中性子吸収材を含有せる可動型外制御棒(2001)と頂部で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着せる転換材を含有せる変換型外制御棒(2002)とを市松模様状に配置せしめ、漏洩水通路(71)にボイド反応度抑制板(62)を敷設し、隣接せる4体の正菱形燃料集合体(1000)が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シングル(60)を敷設したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心である。

【0016】

20

正方形の燃料集合体を装荷せる従来の軽水型原子炉に新燃料棒(40)を稠密3角格子に多数本配列してなる正方形に近い4隅の角度が各々90度の本発明の長方形燃料集合体(3200)を装荷してなることを特徴とする軽水型原子炉の炉心。

【0017】

長方形燃料集合体(3200)または従来のB型燃料集合体(3030)が接するB漏洩水通路(3052)位置に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シングル(60)を敷設した炉内監視装置により炉心中の全長方形燃料集合体(3200)または従来のB型正方形燃料集合体(3030)の出力挙動を監視することができる。

【発明の効果】

【0018】

30

多数本の燃料棒を3角格子に配列して外形を菱形にした正菱形燃料集合体(1000)は燃料棒の稠密度を高くすることができるため、減速材でもある水を冷却可能な範囲で減らすことにより熱中性子成分を減らすことができる。ナトリウムを冷却材とする高速増殖炉では多数本の燃料棒を3角格子に配列して外側が蜂の巣の形状の6角燃料集合体としているが、これでは燃料集合体の挿入引き抜きに際して隣接する6体の6角燃料集合体による6面の摩擦やぶつかりにあうため、事故を生じ易い。その点、本発明の正菱形燃料集合体(1000)は隣接する正菱形燃料集合体(1000)は4体であるため摩擦やぶつかりにあうことが4/6になり燃料集合体の挿入引き抜きが容易であり事故も生じ難い。

【0019】

アルミナバリア(30)やボイド反応度抑制板(62)の主成分であるアルミ(Al)は高速中性子を吸収する性質がありボイド反応度係数を負にすることができるため、ボイド反応度係数が正になり易い稠密度の高い燃料集合体であってもボイド反応度係数が正になるのを抑制することができる。

40

【0020】

水の温度が低い原子炉停止時には、減速材でもある水の密度が上がり中性子減速作用を起こす水素が多くなることにより熱中性子が多くなり熱中性子領域で非常に大きいPuの核分裂断面積と反応して反応度は高くなる。正菱形燃料集合体(1000)に装荷した転換棒(80)中の可燃性毒物は、反応度が高い燃焼初期には熱中性子を吸収して反応度を抑制し反応度が低い燃焼末期には熱中性子を吸収する効果が小さくなるため制御棒と制御棒駆動装置を削減できる。なお、燃焼が進むと核分裂生成物の中のサマリウム(Sm)等の熱中性子吸収物質が蓄積されるため原子炉停止時の反応度は抑制される。正菱形燃料集合体(1000)に装荷

50

した転換材を含有せる転換棒(80)の中の劣化ウラン(DU)や天然ウラン(NU)の酸化物の主成分であるウラン238(U238)は、反応度が高い燃焼初期には熱外中性子を吸収して反応度を抑制し反応度が低い燃焼末期には熱外中性子を吸収したU238から生じたPuが蓄積されるため反応度を高める効果があり、原子炉の運転期間を長くし原子炉稼働率を向上させ発電コストの低減が図れる。

【0021】

正菱形燃料集合体(1000)に装荷した転換棒(80)中のウラン235(U235)は、Pu同様に核分裂する性質があるがPuに比べてボイド反応度係数を負にしやすい性質が大きいため安全性に寄与する。

【0022】

正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体配置形状が1/4対称であるため出力が局所的に高くなるのを緩和できる。

【0023】

最外周領域に転換棒(80)を装荷した正菱形燃料集合体(1000)を装荷したことにより、転換棒(80)に含有せるU238が中性子を吸収して炉心から無駄に漏洩する中性子が少なくなる。中性子を吸収したU238はPuになり、反応度が低下する燃焼後期に反応度上昇に寄与する。

【0024】

新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンプル(60)の適切な配置により全炉心の正菱形燃料集合体(1000)の出力拳動を常時監視できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

安全性を損なうことなくPuを効率よく燃焼させる軽水型原子炉の炉心が提供できた。

【実施例1】

【0026】

図7は本発明の支持格子のない高さでの正菱形燃料集合体(1000)詳細平面図である。新燃料棒(40)は、アルミニウム(Al)の酸化物であるアルミナ(Al2O3)からなるアルミナバリア(30)が施されているジルコニウムの合金製またはステンレス製の新燃料被覆管(20)内にPu富化度が10wt%以下のMOXペレット(31)を多数個装荷し気密密封してなる。新燃料棒(40)の間は冷却水が流れている冷却水通路(70)となっている。

【0027】

正菱形燃料集合体(1000)には、間隙が1mm程度の稠密3角格子に配列された多数本の新燃料棒(40)と転換材を含有せる転換棒(80)を新制御棒案内シンプル(50)内に貫通装荷せる4辺の長さが等しい160度と120度とからなる菱形になるように配列しているものと、本図に示してある転換棒(80)の代わりに制御棒を新制御棒案内シンプル(50)内に貫通装荷せるものとがある。

【0028】

制御棒は駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に固着していて、新制御棒案内シンプル(50)の中を上下に操作できる。

【0029】

転換棒(80)は非可動制御棒クラスタ(駆動装置に接続されていない制御棒クラスタ)の先端部に固着していて、新制御棒案内シンプル(50)中に貫通装荷されている。

【0030】

転換棒(80)は、DUまたはNUの酸化物と可燃性毒物(ガドリニウム(Gd)、カドミウム(Cd)、サマリウム(Sm)、ディスプロシウム(Dy))の酸化物との混合物である転換材をステンレスやジルコニウム合金の円柱形状の管内に充填気密密封したものである。DUやNU中のU238の共鳴中性子吸収作用により反応度が高い運転初期において反応度を低くすることができるためPuの富化度を十分高めることができるため制御棒の原子炉停止能力範囲内で長期間燃焼させることができる。中性子を吸収したU238はPuになり反応度が低くなる運転末期の反応度上昇に寄与し運転期間を延長させることができる。DUやNU中のU235はPuに比べてボ

10

20

30

40

50

イド反応度係数を負にする効果が高いため安全性を高めることができる。水の密度が高くなり熱中性子が増加することによる反応度が更に高くなる運転停止時には可燃性毒物の強い熱中性子吸収作用により未臨界度を保つことができる。反応度が低くなる運転末期には可燃性毒物の熱中性子吸収作用は弱まるため反応度低下にはならない。転換棒(80)は、新制御棒案内シングル(50)中に貫通装荷せるものがない場合の浸水を排除し、中性子の減速作用を減少させる働きもする。

【0031】

ボイド反応度係数が充分負の場合は、純粋の鉄(Fe)と言った軟らかな素材の純鉄ライナで内面をライナ覆いした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)とすれば被覆管内面の応力を緩和できるし、外面を純鉄でライナした新燃料被覆管(20)からなる新燃料棒(40)にすれば応力腐食割れを抑制することができる。被覆管にかかる応力が大きくない場合はバリアやライナが施されていない素管の燃料被覆管からなる新燃料棒(40)でも正菱形燃料集合体(1000)は成り立つ。

10

【0032】

当該燃料集合体は、多数本3角格子状に配列された新燃料棒(40)と、新燃料棒(40)束の上端を拘束する上部ノズルと、前記燃料棒の高さ途中に位置して燃料棒間の間隔を規制する数個の支持格子と、中性子吸収材を含有せる制御棒または転換材を含有せる転換棒(80)を貫通装荷せる新制御棒案内シングル(50)と、この上端及び下端を拘束する上部ノズル及び下部ノズルからなり平面外形状を4辺の長さが等しい60度と120度とからなる菱形になるように配列している。概観図は図1の正方形の燃料集合体を菱形の燃料集合体にし、炉内計装用案内シングルを削除したものである。なお、新燃料棒(40)束の下端を下部ノズルで拘束すれば更に頑丈になる。

20

【0033】

図8は燃焼初期における支持格子のない高さでの炉心中央領域詳細平面図である。高富化度正菱形燃料集合体(1100)はDUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物を充填した転換棒(80)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)である。Puの割合が最も高い高富化度MOXペレット(41)を含有せる高富化度燃料棒(1110)が装荷されている。高富化度燃料棒(1110)の間は冷却水が流れている冷却水通路(70)となっている。転換棒(80)は駆動装置が接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着されていて、当該棒の移動は原子炉運転停止時に可能である。高富化度正菱形燃料集合体(1100)の概観図は図1の正方形の燃料集合体を菱形の燃料集合体にし、炉内計装用案内シングルを削除したものである。

30

【0034】

中富化度正菱形燃料集合体(1200)はNUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物を充填した転換棒(80)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)である。Puの割合が中くらいの中富化度MOXペレット(42)を含有せる中富化度燃料棒(1210)が装荷されている。転換棒(80)は駆動装置が接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着されていて、当該棒の移動は原子炉運転停止時に可能である。概観図は高富化度正菱形燃料集合体(1100)と同じである。

【0035】

低富化度正菱形燃料集合体(1300)は制御棒を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)である。Puの割合が低い低富化度MOXペレット(43)を含有せる低富化度燃料棒(1310)が装荷されている。制御棒は駆動装置に接続されている制御棒クラスタに固着されていて原子炉運転時に上下に操作されて原子炉出力や反応度を調節する。反応度が高い燃焼初期には制御棒クラスタが炉心に挿入され、その結果制御棒が炉心に挿入される。反応度が低い燃焼末期には制御棒クラスタが引き上げられ制御棒が炉心の上に引き上げられるため新制御棒案内シングル(50)の中は冷却水のみとなる。制御棒の先端部にジルコニウム合金や黒鉛等の固体反射材からなるフォロワを付ければこの冷却水は排除され、ボイド反応度に関わる液体の水が排除されるためボイド反応度係数が大きくなるのを抑制できる。概観図は高富化度正菱形燃料集合体(1100)と同じである。

40

【0036】

50

上記正菱形燃料集合体(1000)4体は冷却水が流れている漏洩水通路(71)を隔てて頂部で隣接している。正菱形燃料集合体(1000) 4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)にはジルコニウム合金製またはステンレス製の新計装用案内シンプル(60)があり、この中に新中性子検出器(61)が装荷されている。

【0037】

アルミナまたはAlとフッソ(F)の化合物である三フッ化アルミニウム(AlF₃)または氷晶石(Na₃AlF₆)またはこれ等の混合物と転換材をジルコニウム合金またはステンレスで被覆したボイド反応度抑制板(62)を漏洩水通路(71)に敷設する。

【0038】

本発明における炉心は、減速材でもある冷却水が少ないから運転中の熱中性子は少ない。その結果、Pu239が熱中性子を吸収してPu240に変換されてしまったりPu241が熱中性子を吸収してPu242に変換されてしまったりする割合が少ない。核分裂しやすいPu239やPu241の無駄な消耗が少なく効率よく核分裂するため燃焼に伴う反応度の低下は小さい。

【0039】

高富化度正菱形燃料集合体(1100)に装荷した転換棒(80)中のU238の効果により運転初期において出力が大きくなるのを抑制すると共に運転停止時には可燃性毒物の効果により未臨界度を保つことができる。Puをボイド反応度係数を負にできる範囲内の10wt%以下で大量に装荷できるため長期間燃焼させることができる。

【0040】

中富化度正菱形燃料集合体(1200)も転換棒(80)を装荷したため、高富化度正菱形燃料集合体(1100)程ではないが長期間燃焼させることができる。

【0041】

低富化度正菱形燃料集合体(1300)には転換棒(80)の代わりに制御棒を装荷する。

【0042】

上記各正菱形燃料集合体(1000)は燃焼に伴う反応度の低下が小さいため燃焼反応度を調節するための制御棒本数は少なくてもよいことになる。即ち、ナトリウム型高速炉のように制御棒本数は少なくてよい。Pu240やPu242の蓄積抑制によるPu処分費用の低減と制御棒本数低減による建設コスト低減とから発電コスト低減になる。

【0043】

運転停止時は減速材温度低下に伴い減速材である水の密度が上昇し熱中性子が多くなるが、Pu240やPu242の熱中性子吸収断面積が大きいことと、転換棒(80)中の可燃性毒物は熱中性子を極端に吸収するため実際には熱中性子の増加は抑制される。なお、運転中は熱中性子が少ないため燃焼に伴う可燃性毒物の消耗は少ない。更に、燃焼が進むと核分裂生成物としてGdやSmといった熱中性子吸収物質が蓄積されるため停止余裕は向上する。平衡炉心では初装荷燃料のみに可燃性毒物を含有せる転換棒(80)の装荷で充分である。

【0044】

アルミナバリア(30)に含まれるAlやボイド反応度抑制板(62)に含まれるAlとFは高速中性子を吸収する性質が高いため、事故等でボイドが発生した場合減速材である液体の水の減少による反応度増加を抑制することができる。Alを含有する物質として金属間化合物であるチタンアルミ(TiAl)やアモルファスであるアルミマンガン(Al-Mn)を新燃料被覆管(20)やボイド反応度抑制板(62)の素材やバリア材や充填物に使うこともできる。

【0045】

ボイド反応度抑制板(62)に転換材を含めると、燃焼初期の余剰反応度を抑制するため制御棒の本数を削減する効果があると共に燃焼末期にはPuの生成による反応度向上に寄与する。

【0046】

図9は平衡炉心として炉心中央領域を3バッチ交換することを想定した正菱形燃料集合体(1000)を装荷せる本発明の軽水型原子炉の初装荷炉心例を示した炉心平面図である。

A : 制御棒挿入可能位置で、低富化度正菱形燃料集合体(1300)を装荷する。

B : 制御棒挿入不可能位置で、中富化度正菱形燃料集合体(1200)を装荷する。

10

20

30

40

50

C : 制御棒挿入不可能位置で、高富化度正菱形燃料集合体(1100)を装荷する。

d2 : 周辺領域の制御棒挿入不可能位置で、中富化度正菱形燃料集合体(1200)を装荷する。

d3 : 周辺領域の制御棒挿入不可能位置で、制御棒挿入可能位置に装荷したものと同じ低富化度正菱形燃料集合体(1300)を装荷する。

空白 : 外周領域の制御棒挿入不可能位置に装荷せる最低富化度正菱形燃料集合体(1400)を装荷する。NUの酸化物と微量の可燃性毒物の酸化物の混合物の転換棒(80)を新制御棒案内シングル(50)内に装荷せる最低富化度正菱形燃料集合体(1400)は、Puの割合が最低の最低富化度MOXペレット(44)を含有せる最低富化度燃料棒(1410)を装荷している。転換棒(80)は駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着されていて、当該棒の移動は原子炉運転停止時に可能である。概観図は高富化度正菱形燃料集合体(1100)と同じである。可燃性毒物が微量であるのは、原子炉運転開始時に充分な原子炉停止余裕を確保し安全性を確実なものにするためである。

：正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に配置せる新中性子検出器(61)が貫通装荷されている新計装用案内シングル(60)。

【 0 0 4 7 】

炉心中央領域を図中縦縞模様の4体の正菱形燃料集合体(1000)を単位として構成する。新制御棒案内シングル(50)内に制御棒を貫通装荷せる低富化度正菱形燃料集合体(1300)1体と新制御棒案内シングル(50)内にNUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物を充填せる転換棒(80)を貫通装荷せる中富化度正菱形燃料集合体(1200)1体と新制御棒案内シングル(50)内にDUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物を充填せる転換棒(80)を貫通装荷せる高富化度正菱形燃料集合体(1100)2体により合計4体の正菱形燃料集合体(1000)が頂部で隣接するように装荷せしめ構成した。

【 0 0 4 8 】

外周領域を含む周辺領域は炉心全体で制御棒を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)相当の低富化度正菱形燃料集合体(1300)の体数と中富化度正菱形燃料集合体(1200)の体数と高富化度正菱形燃料集合体(1100)の体数と最低富化度正菱形燃料集合体(1400)の体数が同じ体数になるように調整したため初装荷炉心以降の平衡炉心での燃料集合体交換が簡単にできる。正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体の配置形状が1/4対称になるように装荷した。

【 0 0 4 9 】

正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シングル(60)を敷設した軽水型原子炉の炉心平面図である。漏洩水通路(71)には図8に示す如くボイド反応度抑制板(62)を敷設した。

【 0 0 5 0 】

初装荷炉心以降の平衡炉心の構成は、転換棒(80)を装荷せる高富化度正菱形燃料集合体(1100)は未燃焼の高富化度正菱形燃料集合体(1100)36体とし、中富化度正菱形燃料集合体(1200)は1サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)36体とし、低富化度正菱形燃料集合体(1300)は2サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)36体の内23体から2サイクル燃焼の進んだ転換棒(80)を非可動制御棒クラスタごと取出し代わりに制御棒クラスタの先端部に固着せしめた制御棒を新制御棒案内シングル(50)に貫通装荷せしめた後制御棒挿入可能位置Aに移動し残り13体は転換棒(80)を装荷したまま燃焼させ、最低富化度正菱形燃料集合体(400)は3サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)の内18体(31体-13体)に取り出されていた2サイクル燃焼の転換棒(80)を再装荷し残り13体は転換棒(80)を装荷したままにすればよい。転換棒(80)中の可燃性毒物量を1.5サイクル期間程度効果があるように充分添加すれば原子炉停止余裕を充分に持つことができる。

【 0 0 5 1 】

出力が高くなる炉心中央領域での高富化度正菱形燃料集合体(1100)は、2体以下でかつ位置Cのように頂部で隣接するように装荷した。高富化度正菱形燃料集合体(1100)同士が辺を接すると出力が過度に高くなるのを防いだ。

10

20

30

40

50

【0052】

制御棒を装荷せる低富化度正菱形燃料集合体(1300)を1/4対称に配置したため制御棒挿入時に出力ピークが局所的に高くなることはない。

【0053】

正菱形燃料集合体(1000) 4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)が貫通装荷されている新計装用案内シンブル(60)を重複無く正菱形燃料集合体(1000) 4体に新計装用案内シンブル(60) 1本の割合で配置したため炉心内全ての正菱形燃料集合体(1000)の出力拳動が効率よく常時監視できる。

【0054】

外周領域に装荷せる最低富化度正菱形燃料集合体(1400)の転換棒(80)中のU238により中性子が吸収され漏洩する中性子が少くなり炉心を包む原子炉容器への中性子照射量が少くなり原子炉容器寿命を長くすることができる。中性子を吸収したU238はPuを生成するため燃焼末期に反応度を高める。更に、転換材中のU235は炉心周辺にある水により生じる熱中性子を吸収して核分裂し出力増加に寄与すると共にボイド反応度係数を負にする効果を高めている。 10

【0055】

図10に新中性子検出器(61)の概念図を示した。ジルコニウム合金製またはステンレス製の新計装用案内シンブル(60)の下端に冷却水流入口を開けて新中性子検出器(61)を冷却する冷却水を流している。ジルコニウム合金製またはステンレス製の中性子検出器被覆管(714)の中には、石英またはアルミナまたはサファイア製の光ファイバー(713)が通っている。光ファイバー(713)の下端には核燃料と同一材質のMOX燃料片(712)があって、その下に断熱材(711)が装荷されている。MOX燃料片(712)はPuとUを含むため中性子を吸収して核分裂し発熱する。その結果、赤外線等の熱線を放射する。光ファイバー(713)によりこの熱線を外に導き計測監視する(非特許文献4)。新計装用案内シンブル(60)の中に高さを変えて数本の新中性子検出器(61)を敷設すれば中性子の高さ分布を監視することができる。また、新中性子検出器(61)からMOX燃料片(712)を削除して新計装用案内シンブル(60)の外に敷設すれば冷却水温度を計測監視することができる。更に、光ファイバー(713)の先端部に光学レンズを付帯せしめればチェレンコフの光や赤外線を光源として胃カメラの内視鏡検査同様に炉心内を監視検査できる。本発明の炉心では、新中性子検出器(61)を装荷せる新計装用案内シンブル(60)が炉心中の全ての正菱形燃料集合体(1000)に接しているため 20 全ての正菱形燃料集合体(1000)の出力や温度拳動を監視することができる。 30

【0056】

図11は、平衡炉心として4バッチ交換を想定した正菱形燃料集合体(1000)を装荷せる本発明の軽水型原子炉の初装荷炉心例を示した炉心平面図である。

A : 制御棒挿入可能位置で、低富化度正菱形燃料集合体(1300)を装荷する。

B : 制御棒挿入不可能位置で、中富化度正菱形燃料集合体(1200)を装荷する。

C : 制御棒挿入不可能位置で、高富化度正菱形燃料集合体(1100)を装荷する。

D : 制御棒挿入不可能位置で、最低富化度正菱形燃料集合体(1400)を装荷する。

a : 周辺領域の制御棒挿入不可能位置で、制御棒挿入可能位置に装荷したものと同じ低富化度正菱形燃料集合体(1300)を装荷する。 40

e : 正菱形燃料集合体(1100)の炉心全体の配置形状が1/4対称になるように、外周領域の制御棒挿入不可能位置に最低富化度正菱形燃料集合体(1400)を装荷する。

：正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に配置せる新中性子検出器(61)が貫通装荷されている新計装用案内シンブル(60)。

【0057】

炉心中央領域を図中縦縞模様の4体の正菱形燃料集合体(1000)を単位として構成する。制御棒を新制御棒案内シンブル(50)に貫通装荷せる低富化度正菱形燃料集合体(1300)1体と、DUの酸化物と可燃性毒物の混合物の転換棒(80)を装荷せる高富化度正菱形燃料集合体(1100)1体と、NUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物の転換棒(80)を新制御棒案内シンブル(50)に貫通装荷せる中富化度正菱形燃料集合体(1200)1体と、NUの酸化物と微 50

量の可燃性毒物の混合物の転換棒(80)を新制御棒案内シングル(50)に貫通装荷せる最低富化度正菱形燃料集合体(1400)1体とにより合計4体が頂部で隣接するように装荷せしめ構成した。

【0058】

外周領域を含む周辺領域は炉心全体で制御棒を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)相当の低富化度正菱形燃料集合体(1300)の体数とNUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物の転換棒(80)を装荷せる中富化度正菱形燃料集合体(1200)の体数とDUの酸化物と可燃性毒物の酸化物の混合物の転換棒(80)を装荷せる高富化度正菱形燃料集合体(1100)の体数とNUの酸化物と微量の可燃性毒物の酸化物の混合物の転換棒(80)を装荷せる最低富化度正菱形燃料集合体(1400)の体数と同じ体数になるように調整したため初装荷炉心以降の平衡炉心での燃料集合体交換が簡単になる。正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体の配置形状が1/4対称になるように装荷した。

10

【0059】

正菱形燃料集合体(1000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シングル(60)を敷設し、漏洩水通路(71)には図8に示す如くボイド反応度抑制板(62)を敷設した。

【0060】

平衡炉心では、高富化度正菱形燃料集合体(1100)は未燃焼の高富化度正菱形燃料集合体(1100)34体とし、中富化度正菱形燃料集合体(1200)は1サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)34体とし、低富化度正菱形燃料集合体(1300)は2サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)34体の内23体から2サイクル燃焼の進んだ転換棒(80)を非可動制御棒クラスタごと取出し代わりに制御棒クラスタの先端部に固着せしめた制御棒を新制御棒案内シングル(50)に貫通装荷せしめた後制御棒挿入可能位置Aに移動し残り11体は転換棒(80)を装荷したまま燃焼させ、最低富化度正菱形燃料集合体(400)37体は3サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)34体と4サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)3体とすればよい。制御棒位置への移動の際に取り出されていた2サイクル燃焼の転換棒(80)23体は3サイクル燃焼した高富化度正菱形燃料集合体(1100)に再装荷してもよい。転換棒(80)中の可燃性毒物量を1.5サイクル期間程度効果があるように充分添加すれば原子炉停止余裕を充分に持つことができる。

20

【0061】

30

なお、正菱形燃料集合体(1000)の炉心全体の配置形状を図12のように左右1/2対称になるようにし、図12の記号”3“の位置に制御棒クラスタの先端部に固着せしめた制御棒を貫通装荷せる新制御棒案内シングル(50)を内蔵せる低富化度正菱形燃料集合体(1300)を装荷し、制御棒クラスタを駆動装置に接続させ、制御棒が新制御棒案内シングル(50)の中を上下に操作できるようにする炉心も平衡炉心では4バッチ交換が容易である。

【非特許文献4】: R.R.Dils, "High Temperature Optical Fiber Thermometer", J. Appl. Physics. 54-3(1983).

【実施例2】

【0062】

図12は、一様正菱形燃料集合体(2000)を装荷せる平衡炉心として4バッチ交換することを想定した本発明の軽水型原子炉の初装荷炉心例を示した炉心平面図である。

40

1には高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)を装荷する。

2には中富化度一様正菱形燃料集合体(2200)を装荷する。

3には低富化度一様正菱形燃料集合体(2300)を装荷する。

4には最低富化度一様正菱形燃料集合体(2400)を装荷する。

：一様正菱形燃料集合体(2000)4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)に配置せる新中性子検出器(61)が貫通装荷されている新計装用案内シングル(60)。

【0063】

頂部で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に固着せる中性子吸収材を含有せる可動型外制御棒(2001)と頂部

50

で隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)の中心に駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に固着せる転換材を含有せる変換型外制御棒(2002)とを市松模様状に配置する。

【0064】

外周領域で変換型外制御棒(2002)の周りに一様正菱形燃料集合体(2000)が3体の場合は変換型外T字制御棒(2003)とする。

【0065】

炉心全体で高富化度一様正菱形燃料集合体(2100) 体数と中富化度一様正菱形燃料集合体(2200) 体数と低富化度一様正菱形燃料集合体(2300) 体数と最低富化度一様正菱形燃料集合体(2400) 体数とが同じになるようにした。

10

【0066】

可動型外制御棒(2001)挿入時に出力ピークが局所的に高くならないようにするため可動型外制御棒(2001)配置を1/4対称にした。変換型外制御棒(2002)に含有せる可燃性毒物の量が燃焼の進展により変わることによる中性子吸收分布の変化から出力ピークが局所的に高くならないようにするため変換型外制御棒(2002)配置も1/4対称にした。

【0067】

可動型外制御棒(2001)と変換型外制御棒(2002)を市松模様状に配置し可動型外制御棒(2001)を炉心に平均的に分散配置したため、可動型外制御棒(2001)挿入時に出力が極端に上がったり下がったりする所がない。

【0068】

高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)同士が隣接すると出力が過度に高くなるため、富化度の異なる4種類の一様正菱形燃料集合体(2000)で構成した。また、初装荷炉心以降の4バッチ交換を想定した平衡炉心で燃料交換が単純になるように4種類の一様正菱形燃料集合体(2000)の体数が同じになるようにした。高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)を未燃焼の高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)とし、中富化度一様正菱形燃料集合体(2200)を1サイクル燃焼した高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)とし、低富化度一様正菱形燃料集合体(2300)を2サイクル燃焼した高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)とし、最低富化度一様正菱形燃料集合体(2400)を3サイクル燃焼した高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)とすればよい。運転末期には、3サイクル燃焼した高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)は4サイクル燃焼した高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)となりこれを炉心の外に取出し、そこに未燃焼の高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)を装荷すれば次の運転初期炉心とすることができる4サイクル循環の炉心を構成することができる。

20

30

【0069】

隣接せる4体の一様正菱形燃料集合体(2000)が頂部で隣接する漏洩水通路(71)に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンブル(60)を敷設した。

【0070】

漏洩水通路(71)には図13に示す如くボイド反応度抑制板(62)を敷設した。

【0071】

図13は燃焼初期における支持格子のない高さでの一様正菱形燃料集合体(2000)と可動型外制御棒(2001)からなる詳細平面図である。一様正菱形燃料集合体(2000)は、図7に示した正菱形燃料集合体(1000)から新制御棒案内シンブル(50)と転換棒(80)を削除し、上部ノズルと下部ノズルとの結合は新燃料棒(40)の数本をBWRで言うタイロッドとして用いる。一様正菱形燃料集合体(2000)と変換型外制御棒(2002)からなる領域詳細平面図は図13において可動型外制御棒(2001)を変換型外制御棒(2002)に置き替えたものである。高富化度一様正菱形燃料集合体(2100)は高富化度燃料棒(1110)を多数本3角格子配列した一様正菱形燃料集合体(2000)である。中富化度一様正菱形燃料集合体(2200)は中富化度燃料棒(1210)を多数本3角格子配列した一様正菱形燃料集合体(2000)である。低富化度一様正菱形燃料集合体(2300)は低富化度燃料棒(1310)を多数本3角格子配列した一様正菱形燃料集合体(2000)である。最低富化度一様正菱形燃料集合体(2400)は最低富化度燃料棒(1410)を多数本3角格子配列した一様正菱形燃料集合体(2000)である。

40

50

【0072】

一様正菱形燃料集合体(2000) 4体が頂部で隣接する位置の漏洩水通路(71)には新計装用案内シンプル(60)があり、この中に新中性子検出器(61)が装荷されている。

【0073】

可動型外制御棒(2001)はステンレスで被覆された中性子吸收材からなり、駆動装置に接続されている制御棒クラスタの先端部に装着され外制御棒案内シンプル(2050)の中を上下して出力を調節する。

【0074】

変換型外制御棒(2002)はジルコニウム合金またはステンレスで被覆された転換材からなり、駆動装置に接続されていない非可動制御棒クラスタの先端部に装着され外制御棒案内シンプル(2050)の中に貫通装荷されている。転換材に含まれる可燃性毒物は、反応度が高い燃焼初期には中性子を吸收して反応度を抑制するが反応度が低い燃焼末期になると中性子吸收能力が減少し反応度を低下させることができない。原子炉運転が終了し中性子吸收能力が低下した変換型外制御棒(2002)は定期点検の際に交換される。転換材に含まれるDUまたはNU中のU238は、反応度が高い燃焼初期には中性子を吸收して反応度を抑制するが反応度が低い燃焼末期になると中性子を吸收して生じたPuが蓄積され反応度増加に寄与する。

10

【0075】

実施例1と同様に一様正菱形燃料集合体(2000)の外周にはボイド反応度抑制板(62)を敷設する。

【0076】

20

なお、制御棒クラスタと、非可動制御棒クラスタと、外制御棒案内シンプル(2050)の形状は図に見るように "X" 字型である。

【実施例3】

【0077】

図14は従来の正方格子形状のB型正方形燃料集合体(3030)と従来の十字型制御棒(3110)を装荷せるBWR炉心中央領域における平面詳細図である。十字型制御棒(3110)は駆動装置に直結されていて上下に操作することができるため出力を調節することができる。

【0078】

核燃料を内包する従来のB燃料棒(3032)はチャンネルボックス(3035)によって格納されている。B燃料棒(3032)の間はB冷却水通路(3049)となっている。数本のB燃料棒(3032)の代わりに水棒(3036)を配する場合がある。B型燃料集合体(3030)はB漏洩水通路(3052)を挟んで格子状に配列されている。

30

【0079】

図15は従来の十字型制御棒(3110)を装荷せるBWR炉心に、新燃料棒(40)を稠密3角格子に多数本配列してなる正方形に近い4隅の角度が各々90度の本発明の長方形燃料集合体(3200)を装荷したるBWR炉心の支持格子のない高さでの中央領域詳細平面図である。

【0080】

新燃料棒(40)の間は冷却水が流れているB冷却水通路(3049)となっている。従来のチャンネルボックス(3035)は削除され長方形燃料集合体(3200)の支持格子外枠(BWRではスペーサと呼称されている)の内側にジルコニウム合金製の内側水排除棒(3230)を敷設し外側にジルコニウム合金製の外側水排除棒(3240)を敷設した。隣接せる長方形燃料集合体(3200)の間にはB漏洩水通路(3052)を貫通する従来の十字型制御棒(3110)が正方格子状に配列されている。正方形の燃料集合体を装荷せる従来の軽水型原子炉に長方形燃料集合体(3200)を装荷したことを特徴とする軽水型原子炉の炉心である。なお、外側水排除棒(3240)を支柱としてその間をボイド反応度抑制板(62)で繋げば隣接する長方形燃料集合体(3200)との冷却水の横流れを抑制することができる。

40

【0081】

内側水排除棒(3230)は図に見るように境界が菱形であれば生じなかつた境界部分の余分な水を排除するためである。外側水排除棒(3240)は十字型制御棒(3110)をガイドするためにある。

50

【0082】

本発明の長方形燃料集合体(3200)は正菱形燃料集合体(1000)ほどには水を排除して減速効果を減じることはできないが、現行BWRに装荷することも可能と考えられるため実用的である。

【0083】

正方形の燃料集合体を装荷せる従来の軽水型原子炉に新中性子検出器(61)を貫通装荷せる新計装用案内シンプル(60)を敷設した炉内監視装置により炉心中の全長方形燃料集合体(3200)または従来の正方形の燃料集合体の出力拳動を監視することができる。

【産業上の利用可能性】

【0084】

従来通りの正方形の燃料集合体を装荷せる従来のPWR炉心は変えずに、冷却系は事故等の非常時に重力落下により注水をする等の工夫をした安全性の高いAP1000(非特許文献5)が開発された。AP1000の炉心として本発明の正菱形燃料集合体(1000)または従来の正方形燃料集合体を装荷せる炉心にすれば安全性の高い低減速炉心が実現できる。

【0085】

本発明は、PWRだけでなく軽水を冷却材とするBWRにも適用できる。

【非特許文献5】: G.Saiu, (EUR) Volume 3 Assessment for AP1000, ICONE13-50748, Beijing, May 2005.

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】図1はPWR装荷従来の正方形の燃料集合体の概観図。

【図2】図2は制御棒クラスタの構造説明図。

【図3】図3は支持格子のない高さでの制御棒と中性子検出器が挿入されていない状態での従来の正方形の燃料集合体の平面図。

【図4】図4は従来の正方形の燃料集合体を配置せる運転時炉心平面図。

【図5】図5は制御棒クラスタの炉心配置を示した図。

【図6】図6は炉内計装の炉心配置を示した図。

【図7】図7は本発明の転換棒(80)を装荷せる正菱形燃料集合体(1000)の平面図。

【図8】図8は燃焼初期における支持格子のない高さでの炉心中央領域詳細平面図。

【図9】図9は本発明の正菱形燃料集合体(1000)からなる炉心平面図。

【図10】図10は本発明の新中性子検出器(61)の概念図。

【図11】図11は4バッチ交換の平衡炉心を想定した初装荷炉心構成例。

【図12】図12は一様正菱形燃料集合体(2000)と可動型外制御棒(2001)と変換型外制御棒(2002)からなる本発明の炉心の平面図。

【図13】図13は一様正菱形燃料集合体(2000)と可動型外制御棒(2001)からなる詳細平面図。

【図14】図14は従来の正方格子状のB型正方形燃料集合体(3030)と従来の十字型制御棒(3110)を装荷せるBWR炉心中央領域における平面詳細図。

【図15】図15は従来の十字型制御棒(3110)を装荷せるBWR炉心に、本発明の長方形燃料集合体(3200)を装荷したる本発明のBWR炉心の中央領域詳細平面図。

【符号の説明】

【0087】

20は新燃料被覆管。

30はアルミナバリア。

31はMOXペレット。

40は新燃料棒。

41は高富化度MOXペレット。

42は中富化度MOXペレット。

43は低富化度MOXペレット。

44は最低富化度MOXペレット。

10

20

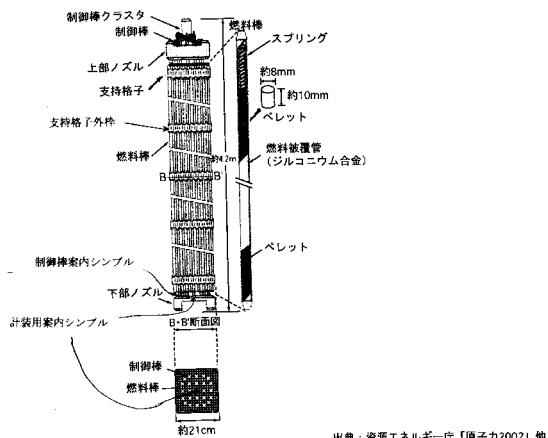
30

40

50

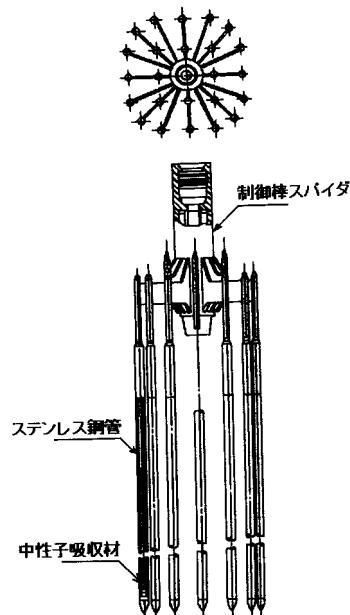
- 50は新制御棒案内シングル。
60は新計装用案内シングル。
61は新中性子検出器。
62はボイド反応度抑制板。
70は冷却水通路。
71は漏洩水通路。
80は転換棒。
711は断熱材。
712はMOX燃料片。
713は光ファイバー。
714は新中性子検出器被覆管。
1000は正菱形燃料集合体。
1100は高富化度正菱形燃料集合体。
1110は高富化度燃料棒。
1200は中富化度正菱形燃料集合体。
1210は中富化度燃料棒。
1300は低富化度正菱形燃料集合体。
1310は低富化度燃料棒。
1400は最低富化度正菱形燃料集合体。
1410は最低富化度燃料棒。
2000は一様正菱形燃料集合体。
2001は可動型外制御棒。
2002は変換型外制御棒。
2003は変換型外T字制御棒。
2050は外制御棒案内シングル。
2100は高富化度一様正菱形燃料集合体。
2200は中富化度一様正菱形燃料集合体。
2300は低富化度一様正菱形燃料集合体。
2400は最低富化度一様正菱形燃料集合体。
3030はB型正方形燃料集合体。
3032はB燃料棒。
3035はチャンネルボックス。
3036は水棒。
3049はB冷却水通路。
3052はB漏洩水通路。
3110は十字型制御棒。
3200は長方形燃料集合体。
3230は内側水排除棒。
3240は外側水排除棒。

【図1】



出典：資源エネルギー庁「原子力2002」他

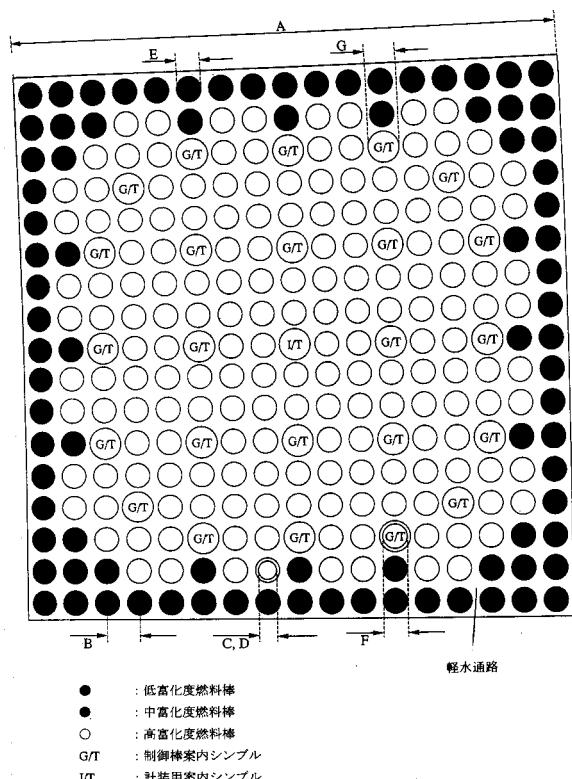
【図2】



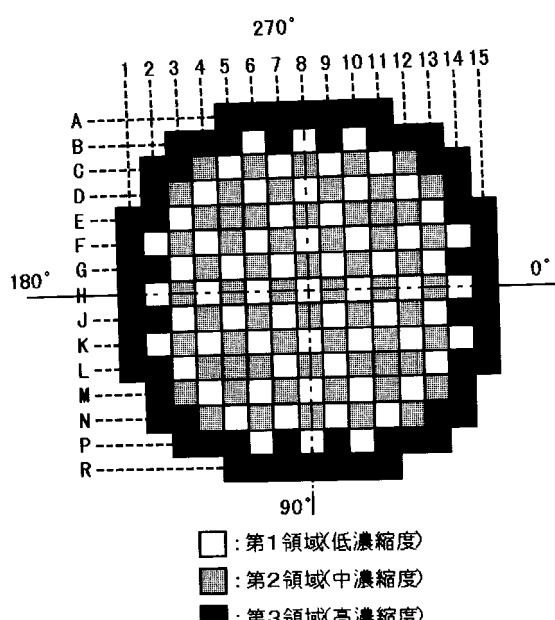
PWR制御棒クラスタ構造説明図

【出典】九州電力：玄海原子力発電所原子炉設置変更許可申請書、(1982年10月) p.8-3-101

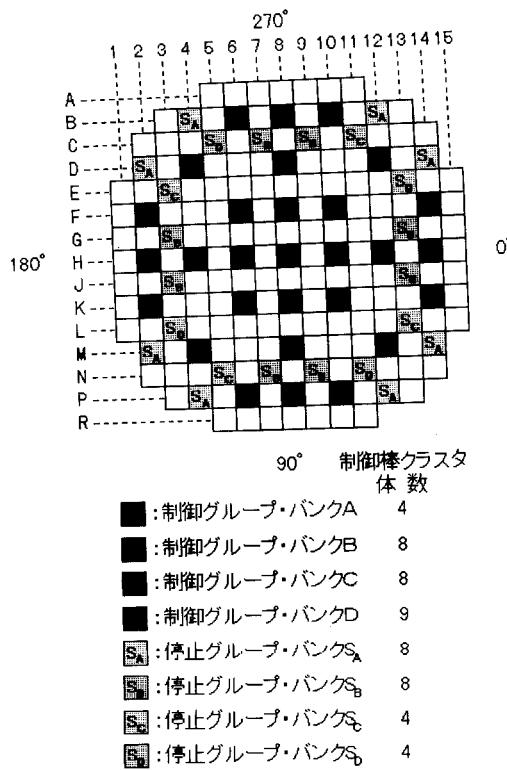
【図3】



【図4】

PWRの燃料装荷パターン
(初装荷炉心)【出典】原子力安全研究協会(編)：軽水炉燃料のふるまい、
原子力安全研究協会(1998年7月)p.44

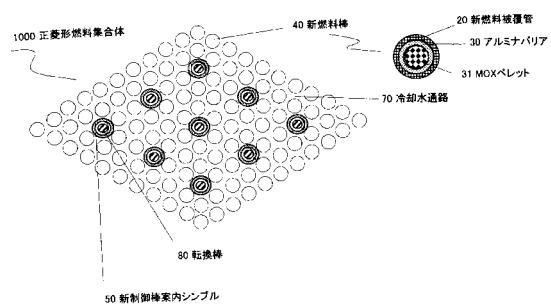
【図5】



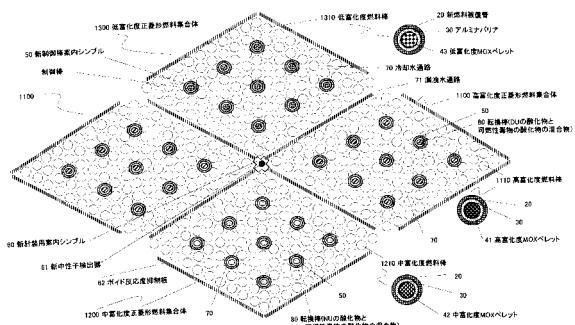
PWR炉心制御棒クラスタ 配置説明図

[出典]九州電力:玄海原子力発電所原子炉設置変更許可
申請書(1982年10月)p.8-3-110

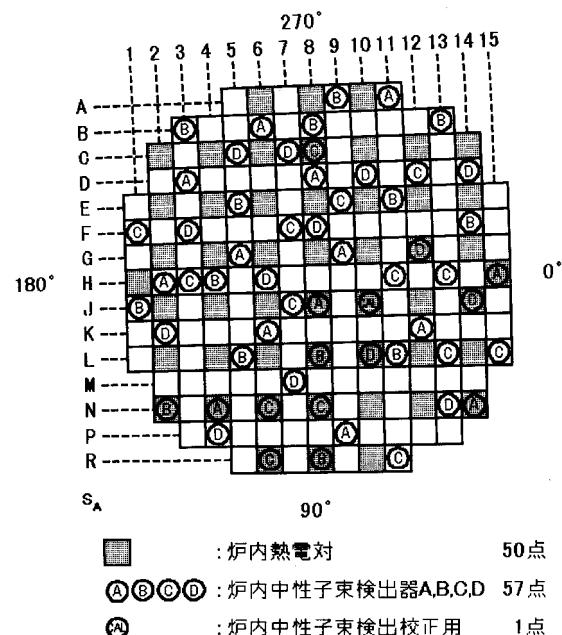
【図7】



【図8】



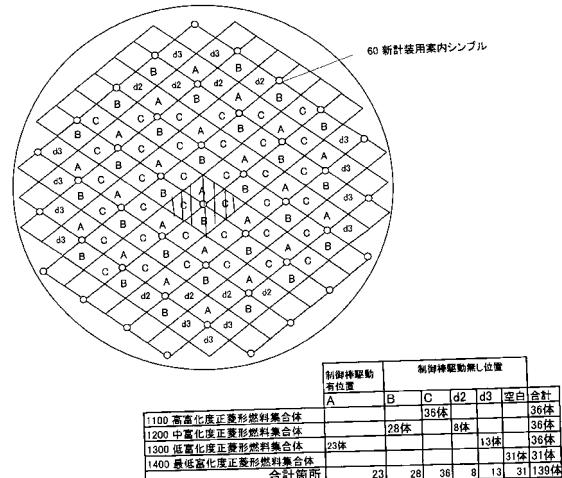
【図6】



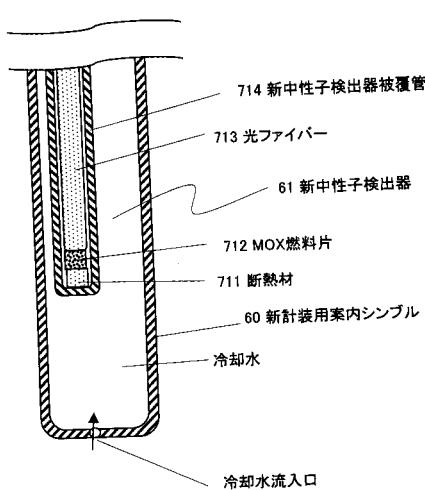
PWR炉内計装配置説明図

[出典]九州電力:玄海原子力発電所原子炉設置変更許可
申請書(1982年10月)p.8-3-60

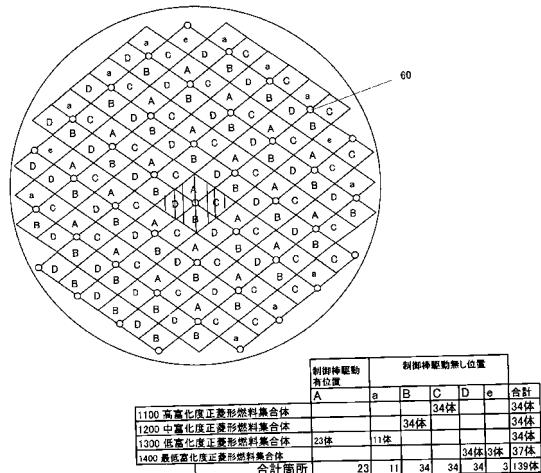
【図9】



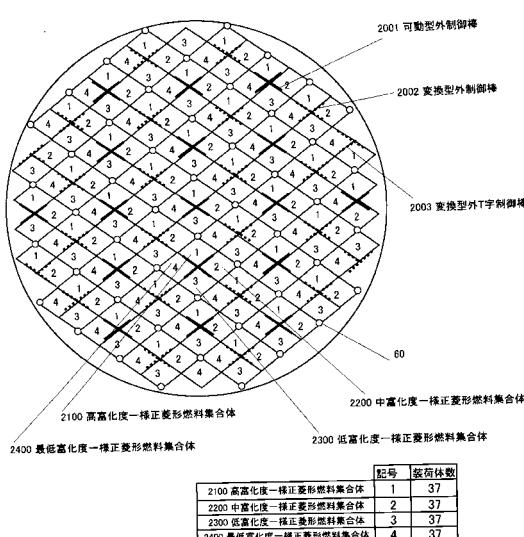
【図10】



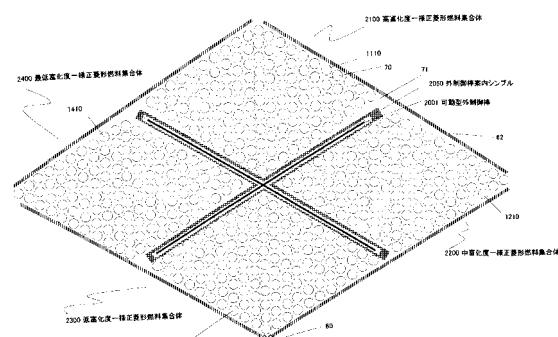
【図11】



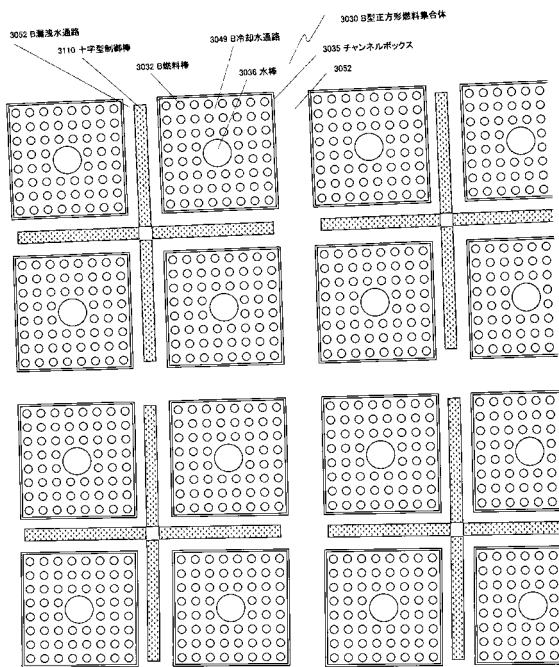
【図12】



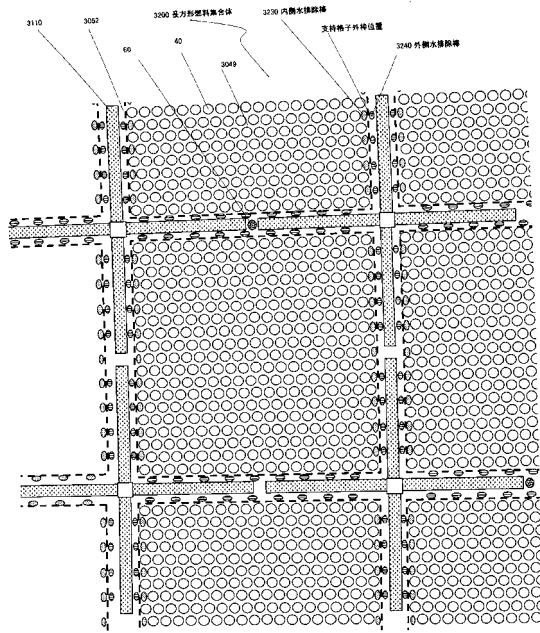
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-145414(JP,A)
特開2000-266880(JP,A)
特開昭61-020887(JP,A)
特開平09-080160(JP,A)
特開平11-094972(JP,A)
特開平08-114689(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 21 C 3 / 00 - 3 / 64
G 21 C 5 / 00
G 21 C 5 / 16