

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02008/129969

発行日 平成22年7月22日 (2010. 7. 22)

(43) 国際公開日 平成20年10月30日 (2008. 10. 30)

(51) Int. Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 2 1 C 17/06 (2006.01) G 2 1 C 17/06 B 2 G 0 7 5

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

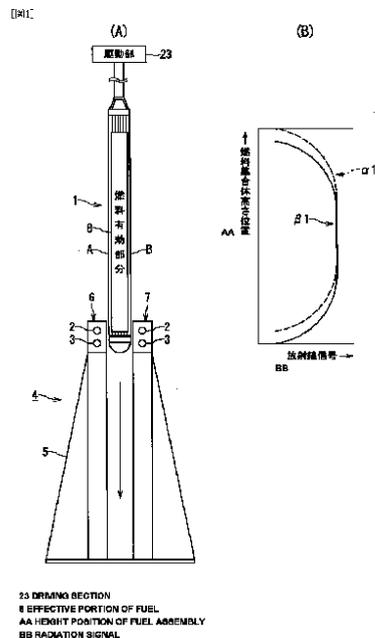
<p>出願番号 特願2009-510836 (P2009-510836) (21) 国際出願番号 PCT/JP2008/057203 (22) 国際出願日 平成20年4月11日 (2008. 4. 11) (31) 優先権主張番号 特願2007-106332 (P2007-106332) (32) 優先日 平成19年4月13日 (2007. 4. 13) (33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号 (74) 代理人 100078765 弁理士 波多野 久 (74) 代理人 100078802 弁理士 関口 俊三 (74) 代理人 100077757 弁理士 猿渡 章雄 (74) 代理人 100130731 弁理士 河村 修 (74) 代理人 100136504 弁理士 山田 毅彦</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃焼度相対分布測定方法、燃焼度相対分布測定装置、放射線信号分布測定装置及び燃焼度相対分布測定プログラム

(57) 【要約】

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体 1 の少なくとも一側面 A に対面して放射線を検出する上検出器 2、下検出器 3 を、燃料集合体 1 の軸方向に所定の間隔で設置し、燃料集合体と上検出器及び下検出器を当該燃料集合体の軸方向に沿って相対移動させながら、上検出器、下検出器により放射線信号の分布を測定し、これらの上検出器、下検出器により燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較することによって、測定毎に上検出器、下検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する。本発明によれば、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体の燃焼度相対分布を測定できる。



23 DRIVING SECTION
 1 EFFECTIVE PORTION OF FUEL
 AA HEIGHT POSITION OF FUEL ASSEMBLY
 BB RADIATION SIGNAL

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に所定の間隔で設置し、

前記燃料集合体と前記検出器を当該燃料集合体の軸方向に沿って相対移動させながら、前記検出器により放射線信号の分布を測定し、

これら複数の検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較することによって、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、

その後、測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とする燃焼度相対分布測定方法。

10

【請求項 2】

前記検出器により測定された放射線信号の健全性の判定は、前記各検出器により多重化して測定された放射線信号を規格化し、これらの規格化値の差の最大値を判定値と比較することによって実施することを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 3】

前記検出器により測定された放射線信号の健全性の判定は、前記各検出器により多重化して測定された放射線信号を規格化し、これらの規格化値の比の最大値と最小値を、それぞれの判定値と比較することによって実施することを特徴とする請求項 1 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

20

【請求項 4】

前記検出器は、燃料集合体の軸方向長さに対して比較的短い、5 ~ 50 cm の範囲の距離で接近して配置された 2 個の検出器であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 5】

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、

最下位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器とを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記各検出器により放射線信号の分布を測定し、

30

前記燃料集合体の軸方向に隣接する検出器により当該燃料集合体の同一部分を部分的に重複して測定し、この重複部分の放射線信号の関係を前回の測定結果を含む基準値と比較することにより、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、

その後、複数の前記検出器により測定された放射線信号を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出し、

この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とする燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 6】

前記検出器により測定された放射線信号の健全性の判定は、各検出器が重複して測定した部分について各放射線信号の比を求め、この比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた各放射線信号の比の平均値を含む基準値と比較することにより実施し、

40

また、燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布の算出は、各検出器による放射線信号を同一の感度レベルに補正した後に、これらの放射線信号を組み合わせることで実施することを特徴とする請求項 5 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 7】

前記検出器は、燃料集合体における燃料有効部長さの実質的に半分の距離だけ離間して配置された 2 個の検出器であり、前記燃料集合体と前記各検出器とを、当該燃料集合体の軸

50

方向に沿って前記燃料有効部長さの実質的に半分よりも長い距離を相対的に移動させながら、放射線信号の分布を測定することを特徴とする請求項 5 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 8】

前記検出器は、燃料集合体の軸方向に等間隔に配置された 3 ~ 6 個のいずれかの個数の検出器であり、前記燃料集合体と前記各検出器とを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器の配置間隔よりも長い距離を相対的に移動させながら、放射線信号の分布を測定することを特徴とする請求項 5 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 9】

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、複数の検出器ユニットを、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器ユニット個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、前記検出器ユニットが、前記燃料集合体の軸方向に所定間隔で設置された、放射線を検出する複数の検出器からなり、

最下位置の前記検出器ユニットにおける最上位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器ユニットとを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器ユニットの間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記検出器ユニットの前記各検出器により放射線信号の分布を測定し、

前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより当該燃料集合体の軸方向同一部分を部分的に重複して測定し、また、前記各検出器ユニットにおける複数の前記検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定し、

前記各検出器ユニットにおける複数の検出器により多重化して測定された放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器ユニットの当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、

その後、複数の前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号を、前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせるにより組み合わせ、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出し、

この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とする燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 10】

前記検出器ユニットの各検出器により測定された放射線信号の健全性の判定は、当該各検出器ユニットの複数の前記検出器により多重化して測定された放射線信号の比を求め、これらの比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた各放射線信号の比の平均値を含む基準値と比較することにより実施し、

また、燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布の算出は、前記検出器ユニットのそれぞれの検出器により測定された放射線信号の平均値を同一の感度レベルに補正して組み合わせることにより実施することを特徴とする請求項 9 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 11】

前記検出器ユニットは、燃料集合体における燃料有効部長さの実質的に半分の距離だけ離間して配置された上検出器ユニット及び下検出器ユニットであり、各検出器ユニットが、前記燃料集合体の軸方向長さに対して比較的短い、5 ~ 50 cm の範囲の距離で接近して配置された 2 個の検出器からなり、

前記上検出器ユニットの前記各検出器が前記燃料集合体における燃料有効部の上半部分について、前記下検出器ユニットの前記各検出器が前記燃料集合体における燃料有効部の下半部分について、それぞれ多重化して放射線信号分布を測定し、

これらの上検出器ユニットと下検出器ユニットのそれぞれの前記検出器が、前記燃料集合体における燃料有効部の中央部分について、放射線信号分布を重複して測定することを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項 12】

前記検出器が、ガンマ線をエネルギー弁別することなくガンマ線エネルギー総量として測定する電離箱であり、この検出器にて検出される放射線信号と燃焼度との関係式を予め算出し、この関係式を用いて放射線信号から相対燃焼度を算出することを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載の燃焼度相対分布測定方法。

【請求項13】

燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に所定の間隔で設置し、前記燃料集合体と前記検出器を当該燃料集合体の軸方向に沿って相対移動させながら、前記検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、

複数の前記検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、

この判定後に、測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とする燃焼度相対分布測定プログラム。

【請求項14】

燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、最下位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器とを当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記各検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、

前記燃料集合体の軸方向に隣接する各検出器により部分的に重複して測定された前記燃料集合体の重複部分の放射線信号の関係を、前回の測定結果を含む基準値と比較することにより、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、

この判定後に、複数の前記検出器により測定された放射線信号を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する手順と、

この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とする燃焼度相対分布測定プログラム。

【請求項15】

燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、複数の検出器ユニットを、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器ユニット個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、前記検出器ユニットが、前記燃料集合体の軸方向に所定間隔で設置された、放射線を検出する複数の検出器からなり、

最下位置の前記検出器ユニットにおける最上位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器ユニットとを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器ユニットの間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、

前記各検出器ユニットにおける複数の検出器により多重化して測定された放射線信号分

10

20

30

40

50

布を比較して、測定毎に当該各検出器ユニットの当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、

その後、複数の前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号を、前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせるにより組み合わせ、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する手順と、

この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とする燃焼度相対分布測定プログラム。

【請求項 16】

放射線を検出する複数の検出器と、

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面し、かつ、前記燃料集合体の軸方向に所定の間隔で前記検出器を保持する検出器保持部と、

前記燃料集合体及び前記検出器の少なくとも一方を前記燃料集合体の軸方向に沿って移動させる駆動部と、

前記複数の検出器が前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号に基づき前記燃料集合体の軸方向の放射線信号分布を取得する放射線信号分布取得部と、

前記放射線信号分布取得部が取得した複数の放射線信号分布に基づいて測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定部と、

前記判定部が前記放射線信号は健全であると判定した場合、前記燃料集合体の軸方向同一部分について測定された複数の放射線信号値を平均して得られた平均放射線信号値に基づいて前記燃料集合体の軸方向の放射線信号分布を得る平均化演算部と、を備えることを特徴とする放射線信号分布測定装置。

【請求項 17】

請求項 16 記載の放射線信号分布測定装置に、前記放射線信号分布測定装置が測定した放射線信号分布に基づき相対燃焼度を算出する相対燃焼度算出部をさらに備え、前記相対燃焼度算出部が算出した相対燃焼度を相対燃焼度測定結果として出力するように構成されたことを特徴とする燃焼度相対分布測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体における軸方向の燃焼度相対分布を測定する燃焼度相対分布測定方法、燃焼度相対分布測定装置、放射線信号分布測定装置及び燃焼度相対分布測定プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の燃焼度測定結果は、燃料集合体を貯蔵し保管するための貯蔵プールの貯蔵ラックや燃料を輸送するための輸送キャスクなどに燃料集合体を装荷する際、または使用済燃料の再処理施設で燃料溶解時の臨界安全性の確認や遮蔽性の確認の際に利用することができる。また、原子炉の炉心管理計算との比較照合を行って、計算の信頼性確認のためにも利用することができる。更に、燃料集合体が十分に燃焼して、内蔵する核燃料物質質量が減少していることを確かめるための査察検査にも利用することができる。このような利用を図るために、従来、燃料集合体の燃焼度測定技術の開発が国内外で盛んに行われてきた。

【0003】

原子炉、特に沸騰水型や加圧水型の軽水炉の燃料集合体では、燃料が充填された燃料有効部長さが 3 m 以上であり、原子炉内の中性子束分布のために、燃焼度は中央部が高く、上下端部で低い分布を示す。このため、中性子が照射された燃料集合体の燃焼度を精度良く測定するためには、燃料集合体の全長に亘って燃焼度分布を測定する必要がある。従来開発された燃焼度測定技術には、特許文献 1 及び 2 に示すように、燃料集合体の側方に放

10

20

30

40

50

射線測定用の検出器を多数配置して、それらの信号分布から燃焼度相対分布を測定する方法がある。また、燃料集合体を検出器の側方で上下に移動させながら、燃料集合体における軸方向全長の燃焼度相対分布を測定する方法もある（例えば、特許文献3参照）。

【0004】

特許文献1：特開平1-92692号公報

特許文献2：特開平2-222884号公報

特許文献3：特開平3-273192号公報

【0005】

発明の開示

上述のような従来の燃焼度相対分布の測定方法、即ち、検出器を多数配置して一度に燃焼度相対分布を測定する方法や、燃料集合体を上下に移動させながら燃焼度相対分布を測定する方法は、燃焼度相対分布測定の目的を達成することは可能である。

10

【0006】

しかし、多数の検出器を用いる場合に、測定の途中で一部の検出器がノイズなどの原因により本来と異なる信号を出力したときには、測定された信号分布から正常な結果が得られない。更に、劣化などの原因により一部の検出器の感度が変化してしまった場合にも正常な結果が得られない。

【0007】

また、燃料集合体を移動させながら測定する場合にも、測定の途中でノイズなどの原因で測定値が異常となったときには、正常な結果を得ることができない。燃料を移動させるためには、その駆動力となるモータなどが稼動しており、電氣的に負荷の大きな回路が近くに存在するため、この回路がノイズ発生源となって測定信号に悪影響を及ぼす恐れがある。

20

【0008】

測定値を十分に吟味することによって、ノイズなどの異常な測定値を除外することが可能な場合も考えられる。しかしながら、例えば、使用済燃料を輸送キャスクに順次装荷していく作業の過程で、燃料集合体の燃焼度を測定した直後に当該燃料集合体をキャスクに収納する場合のように、測定結果を十分に吟味する期間が与えられていないときには、上述のような突発的な異常信号を見落とす可能性がないとはいえない。

【0009】

また、多数の検出器を用いて燃焼度相対分布を測定する装置では、測定時間は短縮されるものの、検出器の個数が多いために、故障率が高いことや製造・保守のための費用が多くなるなどの欠点がある。一方、燃料集合体を移動させながら測定する方法では、故障率や費用では優るが、多大な測定時間を要することが欠点となる。

30

【0010】

本発明の目的は、上述の事情を考慮してなされたものであり、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体の燃焼度相対分布を測定できる燃焼度相対分布測定方法及びプログラムを提供することにある。

【0011】

本発明の他の目的は、測定結果の信頼性を確保しつつ、燃料集合体の燃焼度相対分布を効率的に測定できる燃焼度相対分布測定方法及びプログラムを提供することにある。

40

【0012】

本発明に係る燃焼度相対分布測定方法は、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に所定の間隔で設置し、前記燃料集合体と前記検出器を当該燃料集合体の軸方向に沿って相対移動させながら、前記検出器により放射線信号の分布を測定し、これら複数の検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較することによって、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とするものである。

50

【0013】

また、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法は、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、最下位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器とを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記各検出器により放射線信号の分布を測定し、前記燃料集合体の軸方向に隣接する検出器により当該燃料集合体の同一部分を部分的に重複して測定し、この重複部分の放射線信号の関係を前回の測定結果を含む基準値と比較することにより、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、複数の前記検出器により測定された放射線信号を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出し、この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とするものである。

10

【0014】

更に、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法は、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、複数の検出器ユニットを、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器ユニット個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、前記検出器ユニットが、前記燃料集合体の軸方向に所定間隔で設置された、放射線を検出する複数の検出器からなり、最下位置の前記検出器ユニットにおける最上位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器ユニットとを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器ユニットの間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記検出器ユニットの前記各検出器により放射線信号の分布を測定し、前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより当該燃料集合体の軸方向同一部分を部分的に重複して測定し、また、前記各検出器ユニットにおける複数の前記検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定し、前記各検出器ユニットにおける複数の検出器により多重化して測定された放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器ユニットの当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、複数の前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号を、前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせることににより組み合わせ、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出し、この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定することを特徴とするものである。

20

30

【0015】

本発明に係る燃焼度相対分布測定プログラムは、燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に所定の間隔で設置し、前記燃料集合体と前記検出器を当該燃料集合体の軸方向に沿って相対移動させながら、前記検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、複数の前記検出器により前記燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、この判定後に、測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とするものである。

40

【0016】

また、本発明に係る燃焼度相対分布測定プログラムは、燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器を、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、最下位置の前記検出器を前記燃

50

料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器とを当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記各検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、前記燃料集合体の軸方向に隣接する各検出器により部分的に重複して測定された前記燃料集合体の重複部分の放射線信号の関係を、前回の測定結果を含む基準値と比較することにより、測定毎に当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、この判定後に、複数の前記検出器により測定された放射線信号を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する手順と、この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とするものである。

10

【0017】

更に、本発明に係る燃焼度相対分布測定プログラムは、燃料集合体の燃焼度相対分布測定処理をコンピュータに実行させる燃焼度相対分布測定プログラムであって、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体の少なくとも一側面に対面して、複数の検出器ユニットを、前記燃料集合体の軸方向に沿って、当該燃料集合体の燃料有効部の長さを当該検出器ユニット個数で除した距離と実質的に等しい間隔で設置し、前記検出器ユニットが、前記燃料集合体の軸方向に所定間隔で設置された、放射線を検出する複数の検出器からなり、最下位置の前記検出器ユニットにおける最上位置の前記検出器を前記燃料有効部の下端に配置して、前記燃料集合体と前記検出器ユニットとを、当該燃料集合体の軸方向に沿って前記検出器ユニットの間隔よりも長い距離を相対移動させながら、前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号の分布を用いて、燃焼度相対分布を測定する際に、前記各検出器ユニットにおける複数の検出器により多重化して測定された放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器ユニットの当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定する判定手順と、その後、複数の前記検出器ユニットの前記各検出器により測定された放射線信号を、前記燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせることに組み合わせて、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する手順と、この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して燃焼度相対分布を測定する手順と、を前記コンピュータに実行させることを特徴とするものである。

20

30

【0018】

本発明に係る燃焼度相対分布測定方法及びプログラムによれば、複数の検出器により燃料集合体の軸方向同一部分を多重化して測定した放射線信号分布を比較することによって、測定毎に各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、測定された放射線信号を用いて燃焼度相対分布を測定することから、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体の燃焼度相対分布を測定できる。

【0019】

また、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法及びプログラムによれば、燃料集合体の軸方向に隣接する各検出器により燃料集合体の同一部分を部分的に重複して測定し、この重複部分の放射線信号の関係を前回の測定結果を含む基準値と比較することにより、測定毎に各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、複数の前記検出器により測定された放射線信号を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、前記燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。このように、測定毎に各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定することで、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体の燃焼度相対分布を測定できる。

40

【0020】

また、燃料集合体と検出器とを、当該燃料集合体の軸方向に沿って検出器間隔よりも長い距離を相対移動させながら、各検出器により放射線信号の分布を測定することから、上記移動距離が短縮されて、放射線信号の測定時間を短縮できるので、燃料集合体の燃焼度相対分布を効率的に測定することができる。

50

【 0 0 2 1 】

更に、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法及びプログラムによれば、各検出器ユニットにおける複数の検出器により多重化して測定された放射線信号分布を比較して、測定毎に当該各検出器ユニットの当該各検出器により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、複数の検出器ユニットの各検出器により測定された放射線信号を、燃料集合体の軸方向に隣接する前記検出器ユニットにより重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせるにより組み合わせ、燃料集合体の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。このように、測定毎に各検出器ユニットのそれぞれの検出器により測定された放射線信号の健全性を判定することで、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体の燃焼度相対分布を測定できる。

10

【 0 0 2 2 】

また、燃料集合体と検出器ユニットとを、当該燃料集合体の軸方向に沿って検出器ユニットの間隔よりも長い距離を相対移動させながら、各検出器ユニットの各検出器により放射線信号の分布を測定することから、上記移動距離が短縮されて、放射線信号の測定時間を短縮できるので、燃料集合体の燃焼度相対分布を効率的に測定することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 (A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 1 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 1 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

20

【 図 2 】 (A) が、図 1 (A) の検出装置の他の態様を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 2 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

【 図 3 】 図 1 (A) の検出器を含む測定系と信号処理装置とを示すブロック図である。

【 図 4 】 図 3 の測定系及び信号処理装置が実行する燃焼度相対分布測定方法を示すフローチャートである。

【 図 5 】 本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 2 の実施の形態を示すフローチャートである。

【 図 6 】 (A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 3 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 6 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

30

【 図 7 】 (A) が、図 6 (A) の検出装置の他の態様を燃料集合体と共に示す側面図、(B) が、図 7 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

【 図 8 】 図 7 (A) の検出器を含む測定系と信号処理装置を示すブロック図である。

【 図 9 】 図 8 の測定系及び信号処理装置が実行する燃焼度相対分布測定方法を示すフローチャートである。

【 図 1 0 】 (A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 4 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 1 0 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

【 図 1 1 】 (A) が、図 1 0 (A) の検出装置の他の態様を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 1 1 (A) の検出器により測定された信号を示すグラフである。

40

【 図 1 2 】 (A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 5 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 1 2 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。

【 図 1 3 】 図 1 2 (A) の検出器を含む測定系と信号処理装置を示すブロック図である。

【 図 1 4 】 図 1 3 の測定系及び信号処理装置が実行する燃焼度相対分布測定方法の一部を示すフローチャートである。

【 図 1 5 】 図 1 4 のフローチャートの続きを示すフローチャートである。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 4 】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、図面に基づき説明する。但し、本発明は

50

、これらの実施の形態に限定されるものではない。すなわち、本発明は各実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除したり、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせたりして実施する形態も包含する。

【0025】

[A]第1の実施の形態(図1~図4)

図1は、(A)が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第1の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B)が、図1(A)の各検出器により測定された信号を示すグラフである。図3は、図1(A)の検出器を含む測定系と信号処理装置とを示すブロック図である。

【0026】

本実施の形態における燃焼度相対分布測定方法では、まず、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体1の少なくとも一側面に対面して、放射線を検出する複数の検出器、例えば上検出器2及び下検出器3を、燃料集合体1の軸方向に所定の間隔で設置する。

【0027】

図1に示す検出装置4には、検出器保持部5の対向位置に検出器ユニット6及び7が設置され、各検出器ユニット6、7に上検出器2及び下検出器3が備えられている。これらの上検出器2と下検出器3は、燃料集合体1の軸方向長さに対して比較的短い、5~50cmの範囲の距離で接近して配置されている。検出器保持部5における検出器ユニット6、7間を挟む中央位置に燃料集合体1が配置される。

【0028】

ここで、検出器ユニット6と7のそれぞれの上検出器2及び下検出器3は、燃料集合体1の対向するそれぞれの側面A、Bの放射線信号分布を独立して検出し、これにより、燃料集合体1の対向する側面A、Bのそれぞれの燃焼度相対分布が後述のごとく独立して測定される。従って、本実施の形態を含めた各実施の形態においては、燃料集合体1の一方の側面Aについて検出器ユニット6により放射線信号分布を測定し、この放射線信号分布に基づいて、燃料集合体1の側面Aについて燃焼度相対分布を測定する場合を説明する。

【0029】

次に、検出器ユニット6の上検出器2を燃料集合体1の燃料有効部8の下端に位置付けた状態で、燃料集合体1と検出器ユニット6の上検出器2及び下検出器3とを、燃料集合体1の軸方向に沿って相対移動させながら、検出器ユニット6の上検出器2及び下検出器3により、燃料集合体1の側面Aについて放射線信号の分布を測定する。

【0030】

燃料集合体1と上検出器2及び下検出器3との相対移動は、燃料集合体1、及び、上検出器2と下検出器3の少なくとも一方を移動させる駆動部23によってなされる。例えば、図1(A)に示した検出装置4は、上検出器2及び下検出器3を保持する検出器保持部5と、燃料集合体1を上下方向へ移動させる駆動部23を有して構成されており、駆動部23が燃料集合体1と上検出器2及び下検出器3との相対移動を行う。

【0031】

図1(A)に一例として示される駆動部23は、例えばモータ等の駆動機構を有しており、当該駆動機構の作用によって、燃料集合体1の上端を掴んで吊り下げた状態のまま、測定の際には、初期位置から下方(図1(A)に示す矢印方向)に移動させたり、測定後は上方に持ち上げたりの上下方向の移動が可能となる。尚、駆動機構については公知技術を採用して成し得るものから適宜選択できる。例えば、燃料集合体1を下方から保持して支える台を設け、この台を油圧機構(油圧ピストン)によって上下方向に移動させることも可能である。

【0032】

また、図1(A)に示した検出装置4では、燃料集合体1を上検出器2及び下検出器3に対して下方へ移動させることによって燃料集合体1と上検出器2及び下検出器3との相対移動を行っているが、図2(A)に示した検出装置4のように、上検出器2及び下検出器3を備えた検出器ユニット6を保持する検出器保持部5に駆動部23を設け、駆動部2

10

20

30

40

50

3の駆動機構の作用によって、検出器ユニット6を燃料集合体1の軸方向に沿って上方(図2(A)に示す矢印方向)へ移動させて燃料集合体1と上検出器2及び下検出器3との相対移動を行っても良い。

【0033】

尚、図2(A)に一例として示される駆動部23の駆動機構についても、公知技術を採用して成し得るものから適宜選択するものである。例えば、螺子シャフトの回転によって検出器ユニット6,7を上下方向に駆動する駆動機構や検出器ユニット6,7をワイヤで吊り下げておき、当該ワイヤをモータ等で巻き取り及び送り出しを行うことで検出器ユニット6,7を上下方向に駆動する駆動機構を採用することもできる。

【0034】

このように構成される駆動部23の作用によって、燃料集合体1と検出器ユニット6,7における上検出器2及び下検出器3との相対移動を行うことで、燃料集合体1の側面A、Bについて、燃料有効部8の略全長にわたる放射線信号の分布を多重化して測定することができる。

【0035】

次に、検出器ユニット6の上検出器2及び下検出器3により燃料集合体1の燃料有効部8について多重化して測定した放射線信号分布を比較することによって、測定毎に上検出器2及び下検出器3により測定された放射線信号の健全性を判定する。この判定は、後述のごとく、検出器ユニット6の上検出器2及び下検出器3により多重化して測定された放射線信号をそれぞれ規格化し、これらの規格化値の差の最大値を判定値と比較することによって実施する。

【0036】

図1(B)において、上検出器2により測定された放射線信号分布を破線1に、下検出器3により測定された放射線信号分布を実線1にそれぞれ示す。上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号の分布は、検出器の感度の相違によって信号の絶対値が異なる場合はあるものの、本来同一な形状となる。しかし、上検出器2と下検出器3のいずれかが故障や突発的なノイズ等によって異常な状態となった場合には、これらの上検出器2と下検出器3により測定される放射線信号の分布は、同一な形状からずれてしまう。従って、上検出器2と下検出器3により測定された放射線信号を比較することによって、これらの信号の異常を判定することが可能となる。

【0037】

その後、検出器ユニット6の上検出器2及び下検出器3により測定された放射線信号を用いて相対燃焼度を算出し、燃料集合体1の側面Aについて軸方向の燃焼度相対分布を測定する。

【0038】

放射線信号からの相対燃焼度の算出は、測定される放射線信号の種類によって異なる。つまり、上検出器2及び下検出器3が、放射線としてのガンマ線をエネルギー弁別することなくガンマ線エネルギー総量として、つまり、グロスガンマ線として測定する電離箱である場合には、このグロスガンマ線信号分布と相対燃焼度分布とは必ずしも一致しない。そこで、この場合には、放射線信号(グロスガンマ線信号)と相対燃焼度との関係を、本発明者が特許文献2に開示した例えば式(4)を用いて予め求め、この関係を用いて放射線信号(グロスガンマ線信号)から相対燃焼度を算出する。

【0039】

また、上検出器2及び下検出器3が、Ge半導体検出器のようにエネルギー分解能が高い検出器である場合で、 137Cs から放出される 662keV のガンマ線を放射線として測定した場合には、このガンマ線信号分布は相対燃焼度分布と一致する。従って、この場合には、上検出器2及び下検出器3が検出した放射線信号から直ちに相対燃焼度を求めることが可能となる。但し、本実施の形態を含めた全ての実施の形態においては、装置構成が簡易な電離箱が上検出器2及び下検出器3として用いられる。

【0040】

10

20

30

40

50

ところで、図 1 に示す上検出器 2、下検出器 3 のそれぞれは、図 3 に示すように測定器 9、10 にそれぞれ接続され、上検出器 2 及び測定器 9 により測定系 11 が、下検出器 3 及び測定器 10 により測定系 12 が構成される。上検出器 2 にて検出され測定器 9 にて増幅された放射線信号（上検出器信号ともいう）と、下検出器 3 にて検出され測定器 10 にて増幅された放射線信号（下検出器信号ともいう）は、ともに信号処理装置 13 へ入力される。この信号処理装置 13 はコンピュータであり、分布データ演算部 14、15、規格化部 16、17、比較判定演算部 18、平均化演算部 19 及び燃焼度相対分布演算部 20 の各機能部を有する。これらの機能部の各機能を実現する後述の手順 ST1 ~ ST14（図 4）が、図示しない記憶装置にコンピュータプログラムとして記憶されている。

【0041】

前記測定器 9、10 は、前述のごとく上検出器 2、下検出器 3 からのそれぞれの放射線信号を増幅するものであり、図 4 のフローチャートにおいて、測定器 9 が手順 ST1 及び ST2 を、測定器 10 が手順 ST1 及び ST3 をそれぞれ実行する。

【0042】

分布データ演算部 14 は、燃料集合体 1 に対する上検出器 2 の測定位置と、当該上検出器 2 による上検出器信号とを対応付けた分布データを演算するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST4 及び ST5 を実行する。また、分布データ演算部 15 は、燃料集合体 1 に対する下検出器 3 の測定位置と、当該下検出器 3 による下検出器信号とを対応付けた分布データを演算するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST6 及び ST7 を実行する。

【0043】

規格化部 16 は、上検出器信号を規格化して規格化値を算出するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST8 を実行する。また、規格化部 17 は、下検出器信号を規格化して規格化値を算出するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST9 を実行する。

【0044】

比較判定演算部 18 は、規格化部 16 及び 17 による規格化値の差の最大値を判定値と比較して、上検出器 2 及び下検出器 3 にて測定された放射線信号の健全性を判定するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST10 ~ ST12 を実行する。

【0045】

平均化演算部 19 は、上検出器 2 と下検出器 3 により多重化して測定された上検出器信号と下検出器信号との平均値を算出するものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST13 を実行する。

【0046】

相対燃焼度算出部 20 は、平均化演算部 19 にて算出された上検出器信号と下検出器信号との平均値から相対燃焼度を算出して、燃焼度相対分布を求めるものであり、図 4 のフローチャートの手順 ST14 を実行する。

【0047】

この信号処理装置 13 が実行する燃焼度相対分布測定の手順を、図 4 を用いて以下に説明する。

【0048】

燃料集合体 1 の側面 A に検出器ユニット 6 の上検出器 2 及び下検出器 3 が対面して隣接設置されている状態で、燃料集合体 1 の位置 z を変化させながら、上検出器 2 により上検出器信号 S1 を測定し、下検出器 3 により下検出器信号 S2 を測定する（ST1、2、3）。

【0049】

燃料集合体 1 の位置 z を、上検出器 2 の位置に変換する値 A1 と、下検出器 3 の位置に変換する値 A2 とが、検出装置 4 における上検出器 2、下検出器 3 の据付位置と、燃料集合体 1 の駆動装置との取り合いによって決められる。この変換値 A1 を燃料集合体 1 の位置 z に加えて、燃料集合体 1 に対する上検出器 2 の測定位置 Z1 を求め（ST4、5）、また、変換値 A2 を燃料集合体 1 の位置 z に加えて、燃料集合体 1 に対する下検出器 3 の

10

20

30

40

50

測定位置 Z_2 を求める (ST6、7)。

【0050】

次に、燃料集合体1における燃料有効部8の下端から上端までの上検出器信号 S_1 の平均値 S_{a1} でこの上検出器信号 S_1 を割って、上検出器信号 S_1 の規格化値 S_{n1} を求める (ST8)。同様に、燃料集合体1における燃料有効部8の下端から上端までの下検出器信号 S_2 の平均値 S_{a2} でこの下検出器信号 S_2 を割って、下検出器信号 S_2 の規格化値 S_{n2} を求める (ST9)。

【0051】

上検出器2及び下検出器3が、燃料集合体1における燃料有効部8の同じ位置を多重化して測定した場合、即ち $Z_1 = Z_2$ の場合毎に、両規格化値 S_{n1} と S_{n2} との差を求め (ST10)、この差の絶対値の最大値 max を求める (ST11)。この最大値 max が予め決められた判定値 H よりも小さい場合に、上検出器2、下検出器3によりそれぞれ測定された放射線信号に異常がないと判定する (ST12)。

10

【0052】

この差は、平均値が1となるように規格化された規格化値 S_{n1} と S_{n2} の差であるから、測定が正常に行われた場合には、差が0に近い値となる。従って、判定値 H は、両検出器信号 S_1 、 S_2 のばらつきや、燃料集合体1の位置ずれ等による測定誤差を考慮して決定される。

【0053】

そして、上検出器2及び下検出器3が燃料有効部8の同じ位置を測定した場合、即ち $Z_1 = Z_2$ の場合における上検出器信号 S_1 と下検出器信号 S_2 との平均値 S を求める (ST13)。この平均値 S は、上検出器信号 S_1 と下検出器信号 S_2 の幾何平均値を用いてもよい。この幾何平均は相乗平均とも呼ばれるもので、上検出器信号 S_1 と下検出器信号 S_2 の積の平方根である。

20

【0054】

上下両検出器信号 S_1 、 S_2 の平均値 S と燃焼度との関係を予め計算しておき、この関係を用いて、手順ST13にて求めた平均値 S から相対燃焼度 B_U を算出し、燃焼度相対分布を求める (ST14)。

【0055】

従って、本実施の形態によれば、次の効果(1)及び(2)を奏する。

30

【0056】

(1) 上検出器2及び下検出器3により燃料集合体1の燃料有効部8における軸方向同一部分を多重化して測定し、これらの上下両検出器信号のそれぞれの規格化値の差の最大値を判定値 H と比較することによって、測定毎に上検出器2、下検出器3によりそれぞれ測定された上検出器信号、下検出器信号の健全性を判定し、その後、上下両検出器信号の平均値を用いて相対燃焼度を求め、燃焼度相対分布を測定することから、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体1の燃焼度相対分布を測定することができる。

【0057】

(2) 燃料集合体1の側面Aに多数の検出器を設置せず、2台の検出器(即ち上検出器2及び下検出器3)を設置しただけなので、検出器の個数が多い場合に比べ、検出器の故障率が低くなり、且つ保守費用も低減できる。

40

【0058】

尚、上検出器2、測定器9及びこの測定器9への電源系統21(図3)と、下検出器3、測定器10及びこの測定器10への電源系統22とが多重化して別系統に構成されている。このため、これら多重化された何れかの系統に故障やノイズ等の異常の発生が判明した場合、他方の系統が正常であることを確認できれば、正常な系統で測定された放射線信号を用いて、燃焼度相対分布を測定することも可能である。

【0059】

また、燃料集合体1の対向する側面A、Bに配置された上検出器2どうし、または下検出器3どうしのそれぞれの検出器信号(放射線信号)を平均化することにより測定精度を

50

向上させて、燃料集合体 1 の側面 A、B 毎ではなく、燃料集合体 1 毎に燃焼度相対分布を求めてもよい。この場合には、上検出器 2、下検出器 3 のそれぞれを、燃料集合体 1 の対向する 2 側面または 4 側面に設置するのが望ましい。また、発明者らが特許文献 3 に開示したように、上述の平均化の際に、燃料集合体 1 の対向する 2 側面についての上検出器 2 または下検出器 3 の検出器信号の幾何平均を求めることにより、更に測定精度を向上させることが可能になる。

【0060】

つまり、幾何平均は相乗平均とも呼ばれるもので、2 個の値の積の平方根である。燃料集合体 1 が水平方向に位置がずれて、所定の位置よりも少しだけ片側の検出器に近寄った場合、この燃料集合体 1 は反対側の検出器からは同じ距離だけ遠ざかる。放射線強度は水などの遮蔽物を通るとき、通った距離の指数関数として減衰するので、もとの値が同じである場合、同じ距離だけ指数関数的に減少したものと、指数関数的に増加したものの積は、指数関数による影響が相殺されてもとの値の 2 乗になる。従って、その平方根、即ち幾何平均はもとの値となる。幾何平均は、燃料集合体 1 において対向する 2 側面の放射線強度が近い値の場合に有効である。

10

【0061】

[B] 第 2 の実施の形態 (図 5)

図 5 は、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 2 の実施の形態を示すフローチャートである。この第 2 の実施の形態において、前記第 1 の実施の形態と同様な部分は、同一の符号を付して説明を簡略化し、または省略する。

20

【0062】

本実施の形態の燃焼度相対分布測定方法が前記第 1 の実施の形態と異なる点は、上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号の健全性の判定手順である。つまり、上検出器 2、下検出器 3 により多重化してそれぞれ測定された放射線信号 (上検出器信号、下検出器信号) を規格化した後、これらの規格化値の比の最大値と最小値を、それぞれの判定値と比較することによって、上検出器 2、下検出器 3 により測定された放射線信号の健全性を判定する。

【0063】

本実施の形態の燃焼度相対分布の測定手順を、図 5 を用いて以下に説明する。

【0064】

前記第 1 の実施の形態の手順 S T 1 ~ S T 9 と同様の手順で、上検出器 2 による上検出器信号 S 1 の規格化値 S n 1 と、下検出器 3 による下検出器信号 S 2 の規格化値 S n 2 を求める (S T 2 1 ~ S T 2 9)。

30

【0065】

上検出器 2 及び下検出器 3 が燃料集合体 1 における燃料有効部 8 の同じ位置を測定した場合、即ち $Z 1 = Z 2$ の場合毎に、規格化値 S n 1 と S n 2 との比 R を求める (S T 3 0)。次に、この比 R の最大値 R m a x 及び最小値 R m i n を求める (S T 3 1)。この比の最小値 R m i n が予め決められた判定値 H m i n よりも大きく、かつ、最大値 R m a x が予め決められた判定値 H m a x よりも小さいときに、上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号に異常がないと判定する (S T 3 2)。

40

【0066】

この比 R は、平均値が 1 となるように規格化された規格化値 S n 1 と S n 2 の比であるから、測定が正常に行われた場合には、1 に近い値となる。また、比の最小値 H m i n、最大値 H m a x は、第 1 の実施の形態と同様に、両検出器信号 S 1、S 2 のばらつきや、燃料集合体 1 の位置ずれ等による測定誤差を考慮して決定される。

【0067】

そして、第 1 の実施の形態の手順 S T 1 3 及び 1 4 と同様に、 $Z 1 = Z 2$ の場合の上検出器信号 S 1 と下検出器信号 S 2 の平均値 S を求め (S T 3 3)、上下両検出器信号 S 1、S 2 の平均値 S と燃焼度との予め計算した関係を用いて、手順 S T 3 3 にて求めた平均値 S から相対燃焼度 B U を算出し、燃料集合体 1 の燃焼度相対分布を求める (S T 3 4)

50

。

【 0 0 6 8 】

従って、本実施の形態においても、測定毎に上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号の健全性を判定することから、前記第 1 の実施の形態の効果 (1) 及び (2) と同様な効果を奏する。

【 0 0 6 9 】

[C] 第 3 の実施の形態 (図 6 ~ 図 9)

図 6 は、(A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 3 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 6 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。この第 3 の実施の形態において、前記第 1 の実施の形態と同様な部分は、同一の符号を付して説明を簡略化し、または省略する。

10

【 0 0 7 0 】

本実施の形態における燃焼度相対分布測定方法は、まず、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体 1 の対向する側面 A、B のそれぞれに対面して、放射線を検出する上検出器 2 及び下検出器 3 を、燃料集合体 1 の軸方向に沿って配置する。これらの上検出器 2 と下検出器 3 は、燃料集合体 1 の軸方向に沿って、当該燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の長さの約半分の距離だけ離間して、好ましくは、燃料有効部 8 の長さの半分よりも若干短い距離だけ離間して配置される。つまり、検出装置 30 の検出器保持部 31 には、その上部に上検出器 2 が設置され、この上検出器 2 よりも燃料有効部 8 の長さの約半分の距離 (好ましくは燃料有効部 8 の長さの半分よりも若干短い距離) だけ下方に下検出器 3 が設置される。

20

。

【 0 0 7 1 】

次に、下検出器 3 を燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の下端に位置付けた状態で、燃料集合体 1 を軸方向に沿って、燃料有効部 8 の長さの約半分よりも若干長い距離だけ下方へ移動させながら、上検出器 2 及び下検出器 3 により放射線信号の分布を測定する。このとき、燃料集合体 1 の燃料有効部 8 における略上半分の範囲の放射線信号分布が上検出器 2 により測定され、燃料有効部 8 の略下半分の範囲の放射線信号分布が下検出器 3 により測定される。更に、燃料有効部 8 の上下略中央部分の放射線信号分布が上検出器 2 及び下検出器 3 により重複して測定される。

【 0 0 7 2 】

燃料集合体 1 を、検出器保持部 31 に固定配置の上検出器 2 及び下検出器 3 に対して下方へ移動させる代りに、図 7 (A) に示すように、上検出器 2 及び下検出器 3 を燃料集合体 1 に対して上方へ移動させてもよい。つまり、上検出器 2 及び下検出器 3 を、それらの離間距離を燃料有効部 8 の約半分の距離に保持した状態で、検出器保持部 31 に対して燃料集合体 1 の軸方向に沿い上方へスライドさせる。そして、これらの上検出器 2 及び下検出器 3 を、燃料集合体 1 に対して燃料有効部 8 の約半分よりも若干長い距離だけ移動 (スライド) させながら、燃料有効部 8 の上半分の範囲の放射線信号分布を上検出器 2 により、下半分の範囲の放射線信号分布を下検出器 3 により、上下略中央部分の放射線信号分布を上検出器及び下検出器 3 により、それぞれ測定するようにしてもよい。

30

【 0 0 7 3 】

次に、上検出器 2 及び下検出器 3 が測定した放射線信号の健全性を判定する。つまり、上検出器 2 及び下検出器 3 が放射線信号分布を重複して測定した燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の上下略中央部分について、各放射線信号の比を求め、この比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比の平均値を含む基準値、即ち当該比の平均値及び予め決められた判定値と比較する。この比較により、上検出器 2 及び下検出器 3 が測定した放射線信号の健全性を判定する。

40

【 0 0 7 4 】

図 6 (B) において、上検出器 2 により測定された放射線信号分布を破線 2 で、下検出器 3 により測定された放射線信号分布を実線 2 で示す。燃料集合体 1 における燃料有効部 8 の同一部分を上検出器 2 及び下検出器 3 にて重複して測定したときの測定信号の強

50

度は、検出器の感度により相違はあるものの、どの燃料集合体 1 を測定した場合も略同一である。従って、上検出器 2 及び下検出器 3 により重複して測定した部分における放射線信号の比を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比などと比較することにより、測定毎に上検出器 2、下検出器 3 の故障や感度の変化の有無を判定することが可能となる。

【 0 0 7 5 】

この判定後、上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号を、同一の感度レベルに補正する。そして、上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号を、これらの放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号に重ね合わせて組み合わせることにより、燃料集合体 1 の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して、燃料集合体 1 の燃焼度相対分布を測定する。

10

【 0 0 7 6 】

上述のような燃焼度相対分布の測定は、図 8 に示す信号処理装置 3 2 によって主に実施される。この信号処理装置 3 2 は、前記第 1 の実施の形態の信号処理装置 1 3 と略同様な構成であるが、信号処理装置 1 3 の規格化部 1 6 及び 1 7 が省略され、比較判定演算部 3 3 の内容が信号処理装置 1 3 の比較判定演算部 1 8 と異なり、信号処理装置 1 3 の平均化演算部 1 9 に代えて合成演算部 3 4 が設けられたものである。この信号処理装置 3 2 もコンピュータにて構成され、この信号処理装置 3 2 を駆動させる後述の手順 S T 4 1 ~ S T 5 3 は、コンピュータプログラムとして図示しない記憶装置に記憶される。

20

【 0 0 7 7 】

この信号処理装置 3 2、測定器 9 及び 1 0 と、それぞれが実行する図 9 に示す手順 S T 4 1 ~ S T 5 3 との関係は、以下に示す。測定器 9 は手順 S T 4 1 及び S T 4 2 を実行し、測定器 1 0 は、手順 S T 4 1 及び S T 4 3 を実行する。分布データ演算部 1 4 は手順 S T 4 4 及び S T 4 5 を実行し、分布データ演算部 1 5 は手順 S T 4 6 及び S T 4 7 を実行する。比較判定演算部 3 3 は、上検出器 2 と下検出器 3 が重複して測定した部分について放射線信号の比を求め、これらの放射線信号の健全性を判定するものであり、手順 S T 4 8 ~ S T 5 1 を実行する。合成演算部 3 4 は、上検出器 2 と下検出器 3 のそれぞれが測定した放射線信号（それぞれ上検出器信号、下検出器信号ともいう）を組み合わせ燃料集合体 1 の軸方向の放射線信号分布を演算するものであり、手順 S T 5 2 を実行する。相対燃焼度算出部 2 0 は手順 S T 5 3 を実行する。

30

【 0 0 7 8 】

上述の信号処理装置 3 2 等が実行する燃焼度相対分布測定の手順を、図 9 を用いて以下に説明する。

【 0 0 7 9 】

燃料集合体 1 の例えば側面 A に上検出器 2 及び下検出器 3 が対面して、燃料有効部 8 の長さの約半分の距離だけ上下に離間して設置された状態で、燃料集合体 1 を、燃料有効部 8 の下端が下検出器 3 の位置となるように設定する。次に、燃料集合体 1 の位置 z を、燃料有効部 8 の長さの半分よりも少し長い距離まで変化させながら、上検出器 2 により上検出器信号 S_1 を測定し、下検出器 3 により下検出器信号 S_2 を測定する（S T 4 1、4 2、4 3）。

40

【 0 0 8 0 】

燃料集合体 1 の位置 z を上検出器 2 の位置に変換する値 A_1 をこの位置 z に加えて、燃料集合体 1 に対する上検出器 2 の測定位置 Z_1 を求める（S T 4 4、4 5）。また、燃料集合体 1 の位置 z を下検出器 3 の位置に変換する値 A_2 をこの位置 z に加えて、燃料集合体 1 に対する下検出器 3 の測定位置 Z_2 を求める（S T 4 6、4 7）。

【 0 0 8 1 】

上検出器 2 と下検出器 3 の重複部分、即ち $Z_1 = Z_2$ である部分が存在する範囲について、 $Z_1 = Z_2$ のときの上検出器信号 S_1 と下検出器信号 S_2 の比 R を求める（S T 4 8）。そして、この R の平均値 R_a 、最大値 R_{max} 、最小値 R_{min} をそれぞれ求める（

50

ST49)。この場合の比Rは、測定が正常に行われたときには、概ね検出器2、3の感度の比となる。

【0082】

次に、前回の測定にて同様の方法で得られた比Rの平均値 R_a を R_{a0} とする(ST50)。そして、上記最小値 R_{min} が、前回の比の平均値 R_{a0} から予め決められた判定値 H_r を差し引いた値よりも大きく、かつ、上記最大値 R_{max} が、前回の比の平均値 R_{a0} に予め決められた判定値 H_r を加えた値よりも小さいときに、上検出器2、下検出器3によりそれぞれ測定された放射線信号に異常がないと判定する(ST51)。この判定では、上検出器2及び下検出器3の感度比が、前回行った測定と比べて変化していないことが判定され、これらの検出器2、3に感度変化や故障が生じていないことが確認される。

10

【0083】

ここで、当該測定における比Rの平均値 R_a と比較する基準としては、前回の測定で得られた比Rの平均値 R_{a0} のほかにも、その時点までの複数回の全ての測定で得られた比の平均値 R_a の平均値を用いることや、検出装置30の運用開始時に入念にテストして得られた信頼性の高い値を用いることなどが想定される。

【0084】

次に、下検出器信号 S_2 に比の平均値 R_a を掛けることにより、この下検出器信号 S_2 を上検出器信号 S_1 と同一の感度レベルに補正した補正下検出器信号 S_2' を求める(ST52)。そして、上検出器信号 S_1 がある部分については $S = S_1$ 、下検出器信号 S_2 のみがある部分については $S = S_2'$ として、燃料集合体1における燃料有効部8の全長の放射線信号 S の分布を求める。

20

【0085】

以下、放射線信号 S と燃焼度との予め計算した関係を用いて、手順ST52にて算出した放射線信号 S から相対燃焼度 B_U を求め、燃料集合体1の燃焼度相対分布を求める(ST53)。

【0086】

従って、本実施の形態によれば、次の効果(3)及び(4)を奏すると共に、前記第1の実施の形態の効果(2)と同様な効果を奏する。

【0087】

(3)上検出器2、下検出器3のそれぞれにより燃料集合体1の燃料有効部8における同一部分の放射線信号を若干重複して測定し、この重複部分の放射線信号の比を、前回の測定で得られた放射線信号の比などと比較することにより、測定毎に上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、これらの上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号(上検出器信号、下検出器信号)を、この放射線信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、燃料集合体1の燃料有効部8における軸方向全長の放射線信号分布を算出する。このように、測定毎に上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号の健全性を判定することで、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体1の燃焼度相対分布を測定できる。

30

【0088】

(4)燃料集合体1と上検出器2及び下検出器3とを、燃料集合体1の軸方向に沿って燃料有効部8の約半分の距離よりも長い距離だけ相対移動させながら、上検出器2、下検出器3により放射線信号の分布を測定することから、上記移動距離が短縮されて、放射線信号の測定時間を短縮できるので、燃料集合体1の燃焼度相対分布を効率的に測定することができる。

40

【0089】

[D]第4の実施の形態(図10、図11)

図10は、(A)が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第4の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B)が、図10(A)の各検出器により測定された信号を示すグラフである。この第4の実施の形態において、前記第1

50

及び第3の実施の形態と同様な部分は、同一の符号を付して説明を簡略化し、または省略する。

【0090】

本実施の形態の燃焼度相対分布測定方法が前記第3の実施の形態と異なる点は、燃料集合体1の軸方向に沿って等間隔に配置された3～6個のいずれかの個数、例えば3個の検出器を用い、これらの検出器と燃料集合体1とを、燃料集合体1の軸方向に沿って検出器の配置間隔よりも若干長い距離だけ相対移動させながら、放射線信号の分布を測定する点である。

【0091】

つまり、本実施の形態における燃焼度相対分布測定方法では、まず、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体1の対向する側面A、Bのそれぞれに対面して、放射線信号を検出する上検出器41、中検出器42及び下検出器43を、燃料集合体1の軸方向に沿って配置する。

10

【0092】

これらの上検出器41、中検出器42及び下検出器43は、燃料集合体1の軸方向に沿って、当該燃料集合体1の燃料有効部8の長さの約3分の1の距離だけ離間して、好ましくは燃料有効部8の長さの3分の1よりも若干短い距離だけ離間して配置される。即ち、検出装置40の検出器保持部44には、その上部に上検出器41が設置され、この上検出器41よりも燃料有効部8の長さの約3分の1の距離（好ましくは燃料有効部8の長さの3分の1よりも若干短い距離）だけ下方に中検出器42が設置され、この中検出器42によりも燃料有効部8の長さの約3分の1の距離（好ましくは燃料有効部8の長さの3分の1よりも若干短い距離）だけ下方に下検出器43が設置される。

20

【0093】

次に、下検出器43を燃料有効部8の下端に位置付けた状態で、燃料集合体1を軸方向に沿って燃料有効部8の長さの約3分の1よりも若干長い距離だけ下方へ移動させながら、上検出器41、中検出器42及び下検出器43により放射線信号の分布を測定する。このとき、燃料集合体1の燃料有効部8における上方の約3分の1の範囲の放射線信号分布が上検出器41により測定され、燃料有効部8の上下中央の略3分の1の範囲の放射線信号分布が中検出器42により測定され、燃料有効部8の下方の略3分の1の範囲の放射線信号分布が下検出器43により測定される。

30

【0094】

更に、燃料集合体1における燃料有効部8の上方から約3分の1付近において、同一の部分が上検出器41と中検出器42により重複して測定される。また、燃料集合体1の燃料有効部8の下方から約3分の1付近において、同一の部分が中検出器42と下検出器43により重複して測定される。

【0095】

燃料集合体1を、検出器保持部44に固定配置の上検出器41、中検出器42及び下検出器43に対して下方へ移動させる代りに、図11(A)に示すように、上検出器41、中検出器42及び下検出器43を燃料集合体1に対して上方へ移動させてもよい。即ち、上検出器41、中検出器42及び下検出器43を、これらの離間距離を燃料有効部8の約3分の1の距離に保持した状態で、検出器保持部44に対して燃料集合体1の軸方向に沿って上方へスライドさせる。そして、これらの上検出器41、中検出器42及び下検出器43を、燃料集合体1に対して燃料有効部8の約3分の1よりも若干長い距離だけ移動（スライド）させながら、燃料有効部8の上方の略3分の1の範囲の放射線信号分布を上検出器41により、燃料有効部8の上下中央の略3分の1の範囲の放射線信号分布を中検出器42により、燃料有効部8の下方の略3分の1の範囲の放射線信号分布を下検出器43によりそれぞれ測定するようにしてもよい。

40

【0096】

次に、上検出器41、中検出器42及び下検出器の43により測定された放射線信号の健全性を判定する。つまり、上検出器41及び中検出器42が放射線信号分布を重複して

50

測定した部分について各放射線信号の比を求め、この比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比の平均値を含む基準値と比較する。同様に、中検出器 4 2 及び下検出器 4 3 が放射線信号分布を重複して測定した部分について各放射線信号の比を求め、この比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比の平均値を含む基準値と比較する。これらの比較により、上検出器 4 1、中検出器 4 2、下検出器 4 3 が測定した放射線信号の健全性を判定する。

【 0 0 9 7 】

図 1 0 (B) において、上検出器 4 1 により測定された放射線信号の分布を破線 3 で、中検出器 4 2 により測定された放射線信号の分布を実線 3 で、下検出器 4 3 により測定された放射線信号の分布を一点鎖線 3 でそれぞれ示す。燃料集合体 1 における燃料有効部 8 の同一部分を 2 個の検出器で重複して測定したときの測定信号の強度は、検出器の感度により相違はあるものの、どの燃料集合体 1 を測定した場合にも略同一である。従って、上検出器 4 1 と中検出器 4 2 にて重複して測定した部分における放射線信号の比を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比と比較し、更に、中検出器 4 2 と下検出器 4 3 で重複して測定した部分における放射線信号の比を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比と比較することにより、測定毎に上検出器 4 1、中検出器 4 2、下検出器 4 3 の故障や感度変化などの有無を判定することが可能となる。

【 0 0 9 8 】

その後、上検出器 2 1、中検出器 4 2、下検出器 4 3 によりそれぞれ測定された放射線信号を同一の感度レベルに補正する。そして、上検出器 4 1、中検出器 4 2、下検出器 4 3 によりそれぞれ測定された放射線信号を、これらの信号が重複して測定された部分の放射線信号を重ね合わせて組み合わせることにより、燃料集合体 1 の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して、燃料集合体 1 の燃焼度相対分布を測定する。

【 0 0 9 9 】

本実施の形態は、燃料集合体 1 の軸方向に等間隔に配置される検出器の個数が第 3 の実施の形態と異なるだけなので、この第 3 の実施の形態の効果 (2)、(3) 及び (4) と同様な効果を奏する。

【 0 1 0 0 】

[E] 第 5 の実施の形態 (図 1 2 ~ 図 1 5)

図 1 2 は、(A) が、本発明に係る燃焼度相対分布測定方法の第 5 の実施の形態に用いられる検出装置を燃料集合体と共に示す側面図であり、(B) が、図 1 2 (A) の各検出器により測定された信号を示すグラフである。この第 5 の実施の形態において、前記第 1 及び第 3 の実施の形態と同様な部分は、同一の符号を付して説明を簡略化し、または省略する。

【 0 1 0 1 】

本実施の形態における燃焼度相対分布測定方法では、まず、原子炉内で中性子が照射された燃料集合体 1 の対向する側面 A、B のそれぞれに対面して、上検出器ユニット 5 1、下検出器ユニット 5 2 を、燃料集合体 1 の軸方向に沿って配置する。これらの上検出器ユニット 5 1 と下検出器ユニット 5 2 は、燃料集合体 1 の軸方向に沿って、当該燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の長さの約半分の距離だけ離間して、好ましくは、燃料有効部 8 の長さの半分よりも若干短い距離だけ離間して配置される。上検出器ユニット 5 1、下検出器ユニット 5 2 のそれぞれには、放射線を検出する上検出器 2 及び下検出器 3 が、燃料集合体 1 の軸方向に沿って、燃料集合体 1 の軸方向長さに対して比較的短い、5 ~ 5 0 c m の範囲の距離で接近して配置されている。

【 0 1 0 2 】

従って、検出装置 5 0 の検出器保持部 5 3 には、その上部に、上検出器 2 及び下検出器 3 を上下に接近して配置した上検出器ユニット 5 1 が設置され、この上検出器ユニット 5 1 よりも燃料有効部 8 の長さの約半分の距離 (好ましくは燃料有効部 8 の長さの半分よりも若干短い距離) だけ下方に、上検出器 2 及び下検出器 3 を上下に接近して配置した下検

10

20

30

40

50

出器ユニット 5 2 が設置されている。

【 0 1 0 3 】

次に、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 を燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の下端に位置付けた状態で、燃料集合体 1 を軸方向に沿って燃料有効部 8 の長さの約半分よりも若干長い距離だけ下方へ移動させながら、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 及び下検出器 3 と、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 及び下検出器 3 により、例えば燃料集合体 1 の側面 A について、それぞれ放射線信号の分布を測定する。

【 0 1 0 4 】

このとき、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 及び下検出器 3 が燃料集合体 1 における燃料有効部 8 の略上半部分について、放射線信号分布を多重化して測定し、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 及び下検出器 3 が燃料有効部 8 の略下半部分について、放射線信号分布を多重化して測定する。更に、上検出器ユニット 5 1 と下検出器ユニット 5 2 のそれぞれの上検出器 2 及び下検出器 3 が、燃料有効部 8 の上下略中央部分について、放射線信号分布を若干重複して測定する。

【 0 1 0 5 】

燃料集合体 1 を上検出器ユニット 5 1 及び下検出器ユニット 5 2 に対して下方へ移動させる代わりに、燃料集合体 1 を固定保持し、上検出器ユニット 5 1 及び下検出器ユニット 5 2 を、それらの離間距離を燃料有効部 8 の約半分の距離に保持した状態で、燃料集合体 1 の軸方向に沿って上方へ、燃料有効部 8 の約半分よりも若干長い距離だけ移動させてもよい。

【 0 1 0 6 】

次に、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 及び下検出器 3 と、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 及び下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号の健全性を判定する。つまり、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 及び下検出器 3 が放射線信号分布を多重化して測定した燃料集合体 1 の燃料有効部 8 における略上半部分について、この多重化して測定された放射線信号の比を求め、これらの比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比の平均値を含む基準値、即ち当該比の平均値及び予め決められた判定値と比較する。この比較により、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 及び下検出器 3 が測定した放射線信号の健全性を判定する。

【 0 1 0 7 】

同様に、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 及び下検出器 3 が放射線信号分布を多重化して測定した燃料集合体 1 の燃料有効部 8 における略下半部分について、この多重化して測定された放射線信号の比を求め、これらの比の平均値、最大値、最小値を、前回の測定で同様にして得られた放射線信号の比の平均値を含む基準値、即ち当該比の平均値及び予め決められた判定値と比較する。この比較により、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 及び下検出器 3 が測定した放射線信号の健全性を判定する。

【 0 1 0 8 】

図 1 2 (B) において、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号分布を破線 4、二点鎖線 4 でそれぞれ示し、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2、下検出器 3 によりそれぞれ測定された放射線信号分布を実線 4、を一点鎖線 4 でそれぞれ示す。

【 0 1 0 9 】

燃料集合体 1 における燃料有効部 8 の同一部分を、上検出器ユニット 5 1 または下検出器ユニット 5 2 のそれぞれ 2 個の検出器 (上検出器 2 及び下検出器 3) で多重化して測定したときの放射線信号の分布は、検出器の感度の相違によって信号の絶対値が異なる場合はあるもの、本来同一の形状となる。従って、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 と下検出器 3 で多重化して測定された放射線信号を上述のごとく比較することで、この上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2、下検出器 3 の故障や感度変化、ノイズ等による突発的な異常の有無を判定することが可能となる。下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 と下検出器 3 で多重化して測定された放射線信号についても同様であるため、これらの放射線信号を比

10

20

30

40

50

較することで、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 と下検出器 3 の故障、感度変化などの有無を判定することが可能となる。

【 0 1 1 0 】

その後、上検出器ユニット 5 1 の上検出器 2 と下検出器 3 により測定された放射線信号の平均値と、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 と下検出器 3 により測定された放射線信号の平均値とを、同一の感度レベルに補正する。そして、これらの放射線信号の平均値を、上検出器ユニット 5 1 と下検出器ユニット 5 2 とが重複して測定した部分の放射線信号の平均値を重ね合わせることで組み合わせ、燃料集合体 1 の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。この軸方向全長の放射線信号分布から相対燃焼度を算出して、燃焼度相対分布を測定する。

10

【 0 1 1 1 】

上述のような燃焼度相対分布の測定は、図 1 3 に示す信号処理装置 5 4 によって主に実施される。この信号処理装置 5 4 は、前記第 1 の実施の形態の信号処理装置 1 3、第 3 の実施の形態の信号処理装置 3 2 と同様な機能部を有し、同一の符号を付す。このうち、上検出器 2、下検出器 3、測定器 9、1 0、分布データ演算部 1 4、1 5、比較判定演算部 3 3 及び平均化演算部 1 9 は、上検出器ユニット 5 4 と下検出器ユニット 5 2 に対応してそれぞれ設けられる。この信号処理装置 5 4 もコンピュータにて構成され、この信号処理装置 5 4 を駆動させる後述の手順 S T 6 1 ~ S T 8 6 (図 1 4、図 1 5) は、コンピュータプログラムとして図示しない記憶装置に記憶される。

20

【 0 1 1 2 】

この信号処理装置 5 4、測定器 9 及び 1 0 と、それぞれが実行する図 1 4 及び図 1 5 に示す手順との相対関係を以下に示す。上検出器ユニット 5 1 側の測定器 9 は手順 S T 6 1 及び S T 6 2 を実行し、上検出器ユニット 5 1 側の測定器 1 0 は手順 S T 6 1 及び S T 6 3 を実行する。下検出器ユニット 5 2 側の測定器 9 は手順 S T 6 1 及び S T 6 4 を実行し、下検出器ユニット 5 2 側の測定器 1 0 は手順 S T 6 1 及び S T 6 5 を実行する。上検出器ユニット 5 1 側の分布データ演算部 1 4 は手順 S T 6 6 及び手順 S T 6 7 を実行し、上検出器ユニット 5 1 側の分布データ演算部 1 5 は手順 S T 6 8 及び S T 6 9 を実行する。下検出器ユニット 5 2 側の分布データ演算部 1 4 は手順 S T 7 0 及び S T 7 1 を実行し、下検出器ユニット 5 2 側の分布データ演算部 1 5 は手順 S T 7 2 及び S T 7 3 を実行する。

30

【 0 1 1 3 】

上検出器ユニット 5 1 側の比較判定演算部 3 3 は手順 S T 7 4、S T 7 5、S T 7 8 及び S T 8 0 を実行し、下検出器ユニット 5 2 側の比較判定演算部 3 3 は手順 S T 7 6、S T 7 7、S T 7 9 及び S T 8 1 を実行する。上検出器ユニット 5 1 側の平均化演算部 1 9 は手順 S T 8 2 を実行し、下検出器ユニット 5 2 側の平均化演算部 1 9 は手順 S T 8 3 を実行する。合成演算部 3 4 は手順 S T 8 4 及び S T 8 5 を実行し、相対燃焼度算出部 2 0 は手順 S T 8 6 を実行する。

【 0 1 1 4 】

上述の信号処理装置 5 4 などが実行する燃焼度相対分布測定の手順を、図 1 4 及び図 1 5 を用いて以下に説明する。

40

【 0 1 1 5 】

燃料集合体 1 の例えば側面 A に対面して、5 ~ 5 0 c m 程度の比較的短い距離で上下に上検出器 2 及び下検出器 3 が配置された 2 組の検出器ユニット (上検出器ユニット 5 1、下検出器ユニット 5 2) が、燃料集合体 1 の燃料有効部 8 の長さの約半分の距離だけ離間して上下に配置されている。

【 0 1 1 6 】

最初に、下検出器ユニット 5 2 の上検出器 2 が燃料有効部 8 の下端に、上検出器ユニット 5 1 が燃料有効部 8 の約中央となる位置に燃料集合体 1 を設置する。そして、この燃料集合体 1 を、上検出器ユニット 5 1 及び下検出器ユニット 5 2 に沿って下方向へ、燃料有効部 8 の長さの半分よりも少しだけ長い距離だけ移動させながら、または、上検出器ユニ

50

ット51及び下検出器ユニット52を燃料集合体1に沿って上方向へ、燃料有効部8の長さの半分よりも少しだけ長いだけ移動させながら、例えば燃料集合体1の側面Aについて、放射線信号分布を測定する(ST61)。

【0117】

このとき、上検出器ユニット51の上検出器2及び測定器9を用いて、燃料集合体1の位置zにおける上検出器信号S11を測定する(ST62)。また、上検出器ユニット51の下検出器3及び測定器10を用いて、燃料集合体1の位置zにおける下検出器信号S12を測定する(ST63)。更に、下検出器ユニット52の上検出器2及び測定器9を用いて、燃料集合体1の位置zにおける上検出器信号S21を測定する(ST64)。また、下検出器ユニット52の下検出器3及び測定器10を用いて、燃料集合体1の位置z

10

【0118】

燃料集合体1の位置zを上検出器ユニット51の上検出器2の位置に変換する値A11をこの位置zに加えて、燃料集合体1に対する上検出器ユニット51の上検出器2の測定位置Z11を求める(ST66、67)。また、燃料集合体1の位置zを上検出器ユニット51の下検出器3の位置に変換する値A12をこの位置zに加えて、燃料集合体1に対する上検出器ユニット51の下検出器3の測定位置Z12を求める(ST68、69)。

【0119】

燃料集合体1の位置zを下検出器ユニット52の上検出器2の位置に変換する値A21をこの位置zに加えて、燃料集合体1に対する下検出器ユニット52の上検出器2の測定位置Z21を求める(ST70、71)。また、燃料集合体1の位置zを下検出器ユニット52の下検出器3の位置に変換する値A22をこの位置zに加えて、燃料集合体1に対する下検出器ユニット52の下検出器3の測定位置Z22を求める(ST72、73)。

20

【0120】

上検出器ユニット51の上検出器2と下検出器3による測定の多重化部分、即ちZ11 = Z12である部分が存在する範囲について、Z11 = Z12のときの上検出器信号S11と下検出器信号S12との比R1を求め(ST74)、この比R1の平均値R1a、最大値R1max、最小値R1minをそれぞれ求める(ST75)。

【0121】

更に、下検出器ユニット52の上検出器2と下検出器3による測定の多重化部分、即ちZ21 = Z22である部分が存在する範囲について、Z21 = Z22のときの上検出器信号S21と下検出器信号S22との比R2を求め(ST76)、この比R2の平均値R2a、最大値R2max、最小値R2minをそれぞれ求める(ST77)。

30

【0122】

同様の方法で前回の測定で得られた比の平均値R1aをR1a0とし(ST78)、比の平均値R2aをR2a0とする(ST79)。そして、上記最小値R1minが、前回の比の平均値R1a0から予め決められた判定値Hrを差し引いた値よりも大きく、かつ、上記最大値R1maxが、前回の比の平均値R1a0に予め決められた判定値Hrを加えた値よりも小さいときに、上検出器ユニット51の上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号に異常がないと判定する(ST80)。

40

【0123】

更に、上記最小値R2minが、前回の比の平均値R2a0から予め決められた判定値Hrを差し引いた値よりも大きく、かつ、上記最大値R2maxが、前回の比の平均値R2a0に予め決められた判定値Hrを加えた値よりも小さいときに、下検出器ユニット52の上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号に異常がないと判定する(ST81)。

【0124】

ここでは、上検出器ユニット51の上検出器2及び下検出器3は、燃料集合体1の燃料有効部8の略上半分の部分について、同じ位置を多重化して測定しており、同様に、下検出器ユニット52の上検出器2及び下検出器3は、燃料集合体1の燃料有効部8の略下半

50

分の部分について、同じ位置を多重化して測定している。

【0125】

測定が正常に行われた場合には、上検出器ユニット51の上検出器信号S11と下検出器信号S12との比R1の平均値R1aは、上検出器ユニット51の上検出器2と下検出器3の感度比に相当し、また、下検出器ユニット52の上検出器信号S21と下検出器信号S22との比R2の平均値R2aは、下検出器ユニット52の上検出器2と下検出器3の感度比に相当する。もし、上検出器2と下検出器3のいずれかの検出器に故障、感度変化、またはノイズなどの突発的な信号異常があれば、比R1の平均値R1aや比R2の平均値R2aの最大値または最小値が判定値を超えて、異常を検知することが可能となる。

【0126】

次に、上検出器ユニット51の上検出器2と下検出器3が同じ位置を測定したとき、即ちZ11 = Z12のときの上検出器信号S11と下検出器信号S12との平均値をS1とする(ST82)。また、下検出器ユニット52の上検出器2と下検出器3が同じ位置を測定したとき、即ちZ21 = Z22のときの上検出器信号S21と下検出器信号S22の平均値をS2とする(ST83)。

【0127】

上検出器ユニット51と下検出器ユニット52の重複測定部分、即ちZ11 = Z21となる部分がある範囲における上検出器ユニット51側の平均値S1と、下検出器ユニット52側の平均値S2との比Rを求めて、その比Rの平均値をRaとする(ST84)。

【0128】

下検出器ユニット52側の平均値S2に比Rの平均値Raを掛けることにより、下検出器ユニット52側の平均値S2を、上検出器ユニット51側の平均値S1と同一の感度レベルに補正した下検出器ユニット52側の補正平均値S2'を求める。上検出器ユニット51の検出器信号がある部分についてはS = S1、下検出器ユニット52の検出器信号のみがある部分についてはS = S2'として、燃料集合体1における燃料有効部8の全長の放射線信号Sの分布を求める(ST85)。

【0129】

その後、放射線信号Sと燃焼度との予め計算した関係を用いて、手順ST85にて算出した放射線信号Sから相対燃焼度BUを求めて、燃料集合体1の燃焼度相対分布を求める(ST86)。

【0130】

従って、本実施の形態によれば、次の効果(5)及び(6)を奏すると共に、前記第1の実施の形態の効果(2)と同様な効果を奏する。

【0131】

(5)上検出器ユニット51の上検出器2及び下検出器3により多重化して測定された放射線信号分布を比較し、また、下検出器ユニット52の上検出器2及び下検出器3により多重化して測定された放射線信号を比較して、測定毎に上検出器ユニット51の上検出器2及び下検出器3、下検出器ユニット52の上検出器2及び下検出器3によりそれぞれ測定された放射線信号の健全性を判定し、その後、上検出器ユニット51の上検出器2及び下検出器3により測定された放射線信号の平均値と、下検出器ユニット52の上検出器2及び下検出器3により測定された放射線信号の平均値とを、これらの上検出器ユニット51と下検出器ユニット52により重複して測定された部分の放射線信号の平均値を重ね合わせるにより組み合わせ、燃料集合体1の軸方向全長の放射線信号分布を算出する。このように、測定毎に、上検出器ユニット51、下検出器ユニット52のそれぞれの上検出器2、下検出器3により測定された放射線信号の健全性を判定することで、測定結果の信頼性を確保して燃料集合体1の燃焼度相対分布を測定することができる。

【0132】

(6)燃料集合体1と上検出器ユニット51及び下検出器ユニット52とを、燃料集合体1の軸方向に沿って、上検出器ユニット51と下検出器ユニット52の間隔よりも少し長い距離だけ相対移動させながら、上検出器ユニット51、下検出器ユニット52の上検

10

20

30

40

50

出器 2、下検出器 3 により放射線信号の分布を測定することから、上記移動距離が短縮されて、放射線信号の測定時間を短縮できるので、燃料集合体 1 の燃焼度相対分布を効率的に測定することができる。

【 0 1 3 3 】

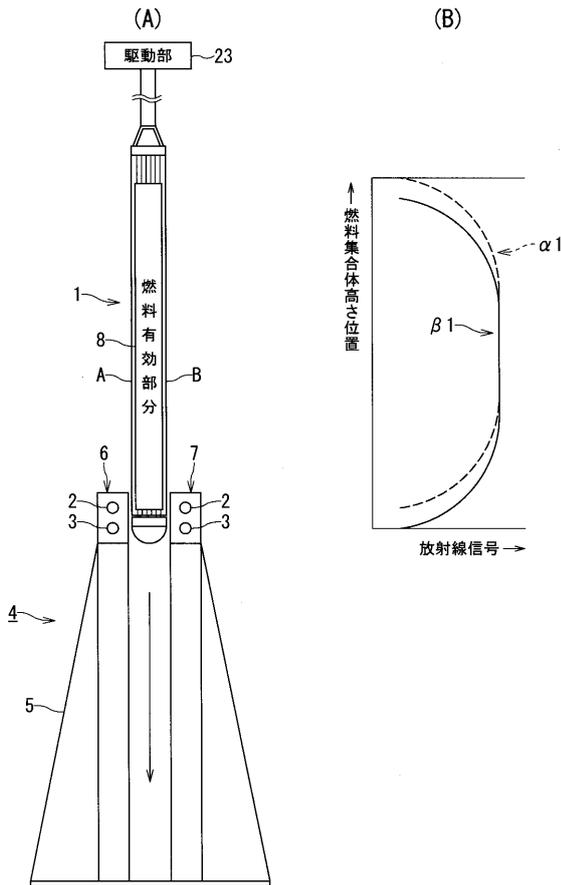
尚、この第 5 の実施の形態において、検出器ユニットは上検出器ユニット 5 1 と下検出器ユニット 5 2 に限らず、3 個以上の複数個が燃料集合体 1 の軸方向に沿って設置されるものでもよい。

【 産業上の利用可能性 】

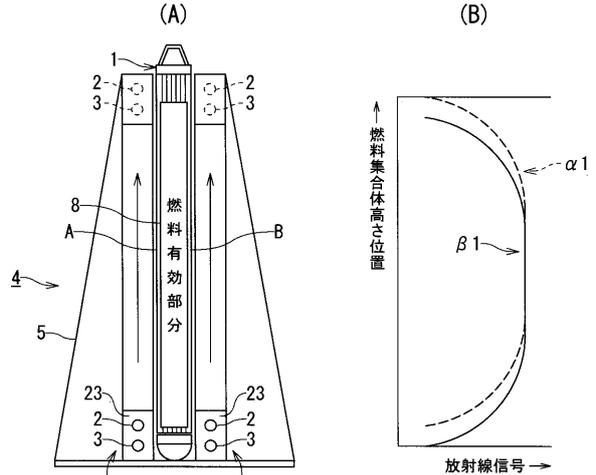
【 0 1 3 4 】

本発明によれば、測定結果の信頼性を確保しつつ燃料集合体の燃焼度相対分布を効果的に測定できる。

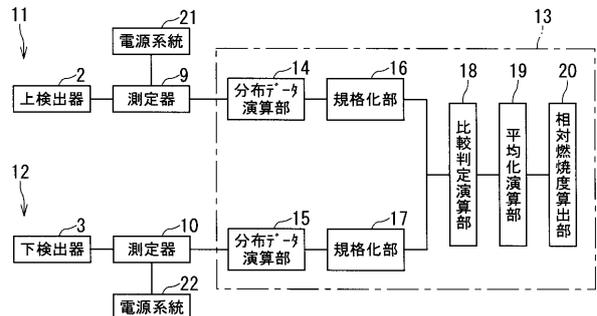
【 図 1 】



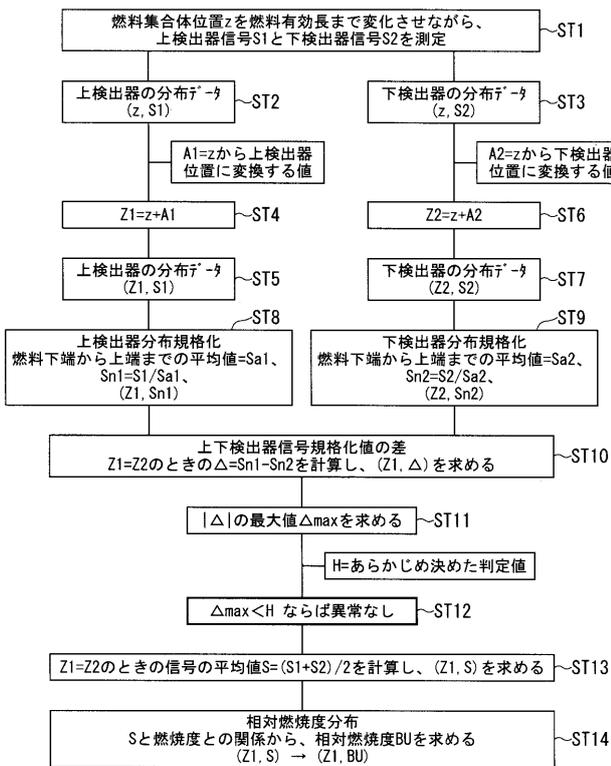
【 図 2 】



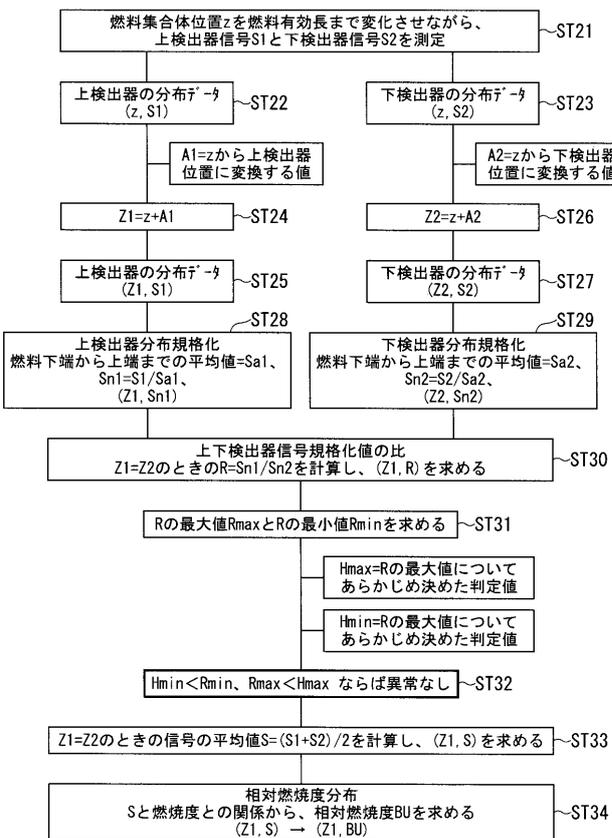
【 図 3 】



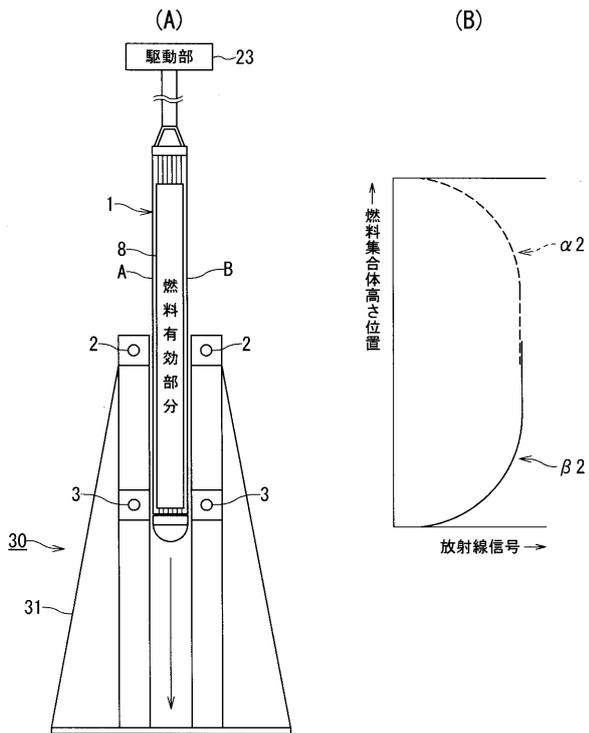
【 図 4 】



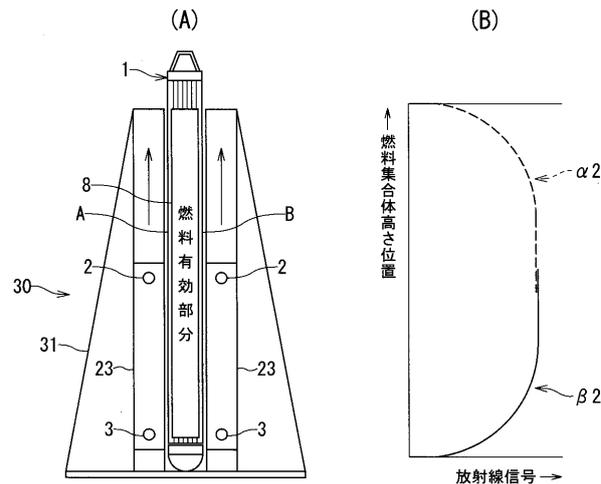
【 図 5 】



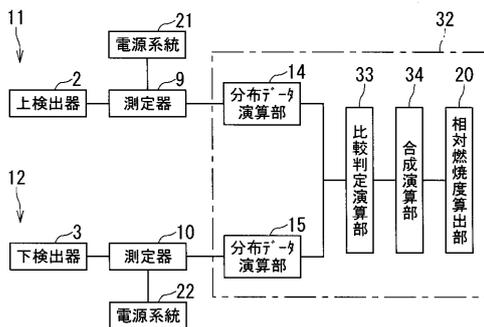
【 図 6 】



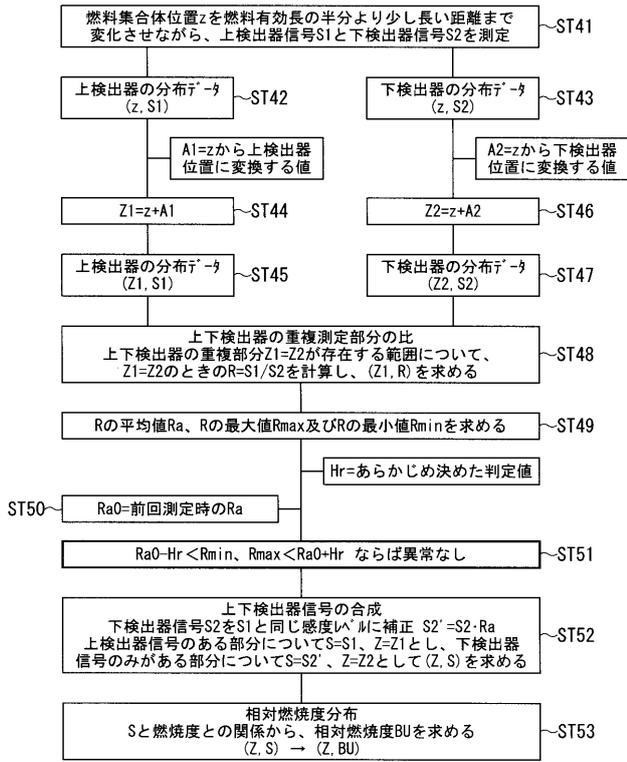
【 図 7 】



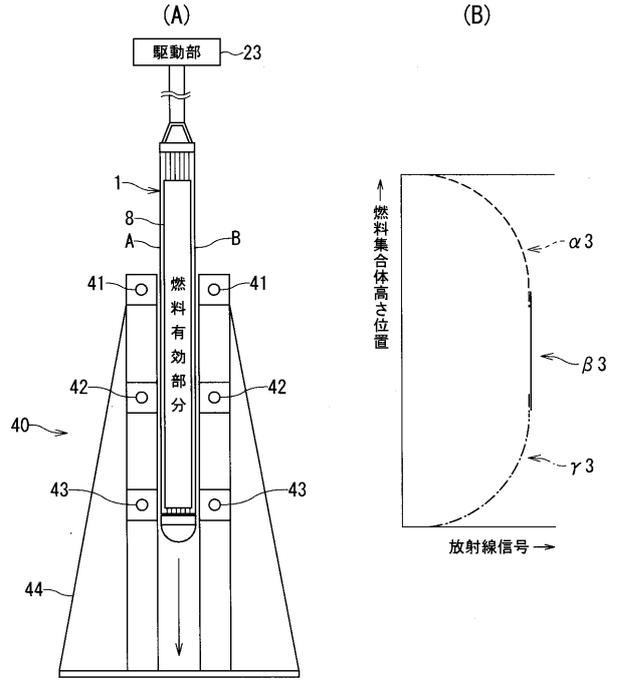
【 図 8 】



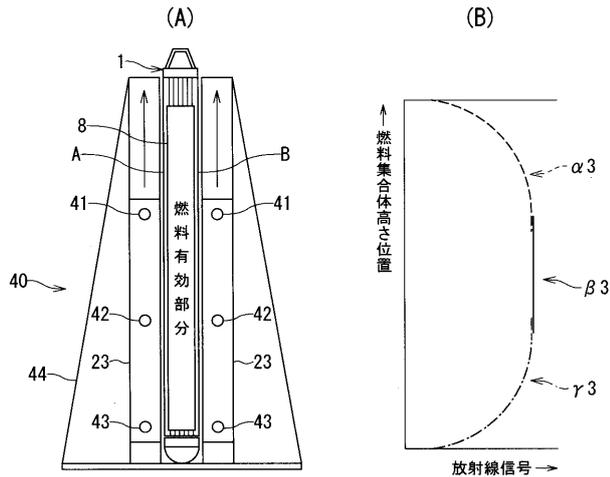
【 図 9 】



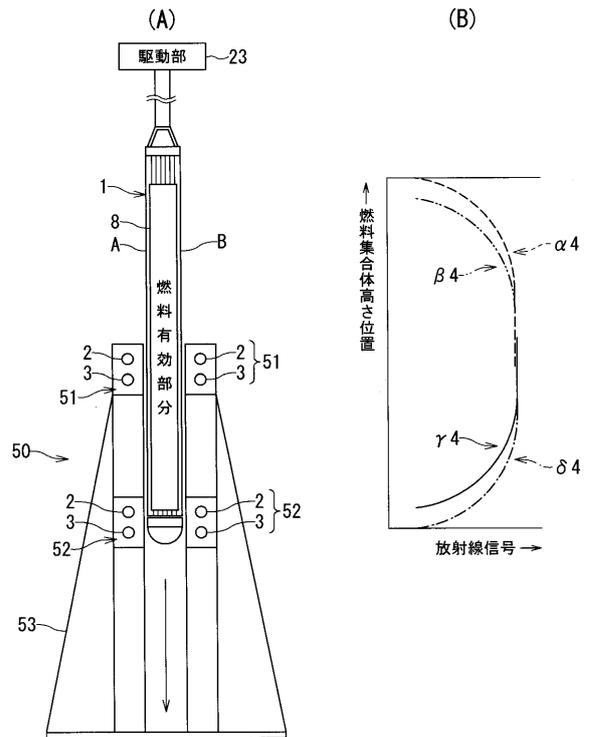
【 図 1 0 】



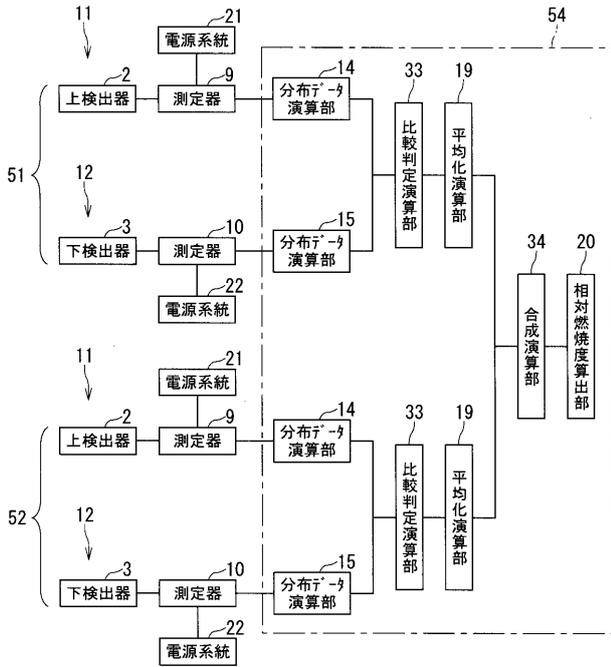
【 図 1 1 】



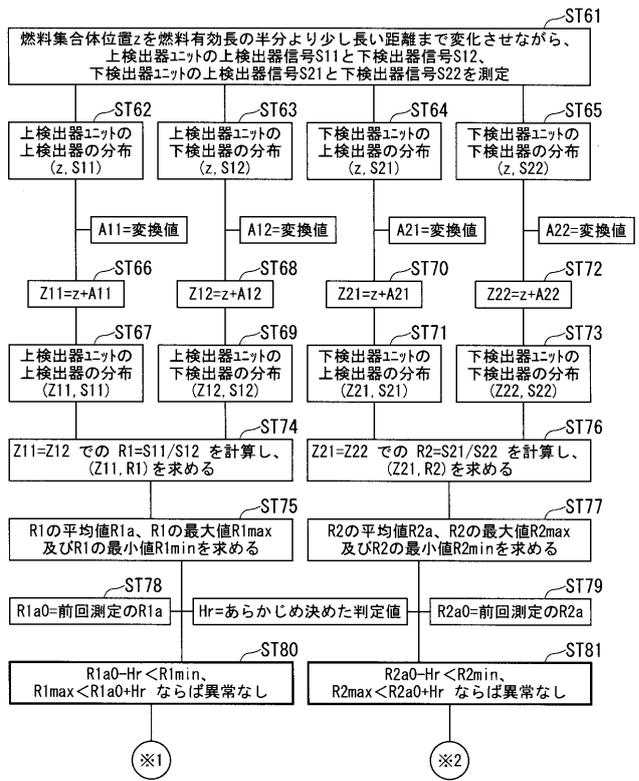
【 図 1 2 】



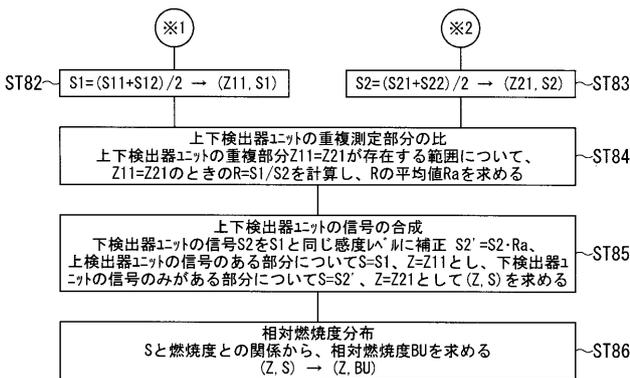
【図13】



【図14】



【図15】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2008/057203
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G21C17/06(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G21C17/06		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDreamII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-92692 A (Nippon Atomic Industry Group Co., Ltd., Toshiba Corp.), 11 April, 1989 (11.04.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2-222884 A (Toshiba Corp.), 05 September, 1990 (05.09.90), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 3-273192 A (Toshiba Corp.), 04 December, 1991 (04.12.91), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 April, 2008 (24.04.08)		Date of mailing of the international search report 13 May, 2008 (13.05.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2008/057203									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21C17/06(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21C17/06											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2008年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2008年	日本国実用新案登録公報	1996-2008年	日本国登録実用新案公報	1994-2008年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2008年										
日本国実用新案登録公報	1996-2008年										
日本国登録実用新案公報	1994-2008年										
国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus (JDreamII)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号									
A	JP 1-92692 A (日本原子力事業株式会社、株式会社東芝) 1989. 04. 11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17									
A	JP 2-222884 A (株式会社東芝) 1990. 09. 05, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17									
A	JP 3-273192 A (株式会社東芝) 1991. 12. 04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17									
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 24. 04. 2008		国際調査報告の発送日 13. 05. 2008									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 木下 忠	21 3904								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3273									

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 熊埜御堂 宏徳
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 小田 直敬
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 常盤 豊
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 植田 精
神奈川県川崎市川崎区日進町7-1 東芝ビジネスアンドライフサービス株式会社内
Fターム(参考) 2G075 AA03 AA05 CA38 DA02 FB07 FC15

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。