

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-234476  
(P2006-234476A)

(43) 公開日 平成18年9月7日(2006.9.7)

(51) Int. Cl.

G21C 3/324 (2006.01)

F1

G21C 3/30 GDBH

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2005-47092(P2005-47092)  
(22) 出願日 平成17年2月23日(2005.2.23)

(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  
(71) 出願人 501204525  
独立行政法人海上技術安全研究所  
東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
(71) 出願人 000173809  
財団法人電力中央研究所  
東京都千代田区大手町1丁目6番1号  
(71) 出願人 000173647  
財団法人産業創造研究所  
東京都文京区湯島1丁目6番8号  
(71) 出願人 504132272  
国立大学法人京都大学  
京都府京都市左京区吉田本町36番地1  
最終頁に続く

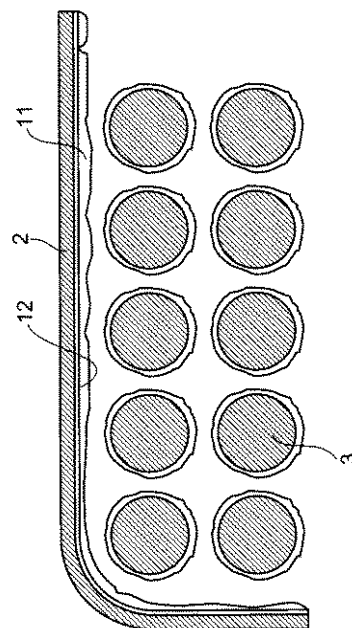
(54) 【発明の名称】 沸騰水型原子炉用燃料集合体および沸騰水型原子炉用チャンネルボックス

(57) 【要約】

【課題】 チャンネルボックス内面の濡れ性を均一にし、液膜を均一にすることにより限界出力を向上させる。

【解決手段】 燃料棒3およびスペーサの側部外周を囲む筒状の金属製の沸騰水型原子炉用チャンネルボックス2であって、内面に、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜11が形成されている。皮膜11は、チャンネルボックス2の上部内面にのみ形成されていて、プラズマ酸化、オートクレーブ、気中酸化などによって形成された酸化皮膜である。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

核燃料を充填した複数の燃料棒と、  
これらの燃料棒の上部および下部をそれぞれ保持する上部タイプレートおよび下部タイプレートと、  
前記上部タイプレートおよび下部タイプレートの上に配置されて前記複数の燃料棒を支持する少なくとも一つのスペーサと、  
前記複数の燃料棒およびスペーサの側部外周を囲む筒状の金属製チャンネルボックスと、  
を有する沸騰水型原子炉用燃料集合体であって、  
前記金属製チャンネルボックスの内面に、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜が形成されていること、  
を特徴とする沸騰水型原子炉用燃料集合体。

10

**【請求項 2】**

前記皮膜が前記チャンネルボックスの上部内面にのみ形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の沸騰水型原子炉用燃料集合体。

**【請求項 3】**

前記皮膜は、酸化皮膜であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の沸騰水型原子炉用燃料集合体。

**【請求項 4】**

前記酸化皮膜は、プラズマ酸化、オートクレーブ、気中酸化のうちのいずれかにより形成されたものであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の沸騰水型原子炉用燃料集合体。

20

**【請求項 5】**

複数の燃料棒の側部外周を囲む沸騰水型原子炉用チャンネルボックスであって、  
上下端が開放された筒状で、金属製であって、その内面に、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜が形成されていること、  
を特徴とする沸騰水型原子炉用チャンネルボックス。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

30

**【0001】**

本発明は、沸騰水型原子炉で用いられ、限界出力を増大させることのできる燃料集合体およびチャンネルボックスに関する。

**【背景技術】****【0002】**

一般に沸騰水型原子炉用燃料集合体では、原子力プラントの運転コスト低減を実現するため、限界出力が高く、圧力損失の小さな燃料集合体が求められている。

**【0003】**

沸騰水型原子炉用の典型的な燃料集合体では、金属製の筒状のチャンネルボックス内に、燃料棒およびウォータロッドの束が正方格子状に配置されている。燃料集合体は、上部タイプレートおよび下部タイプレートに、多数本の燃料棒と、中心部に 1 ~ 2 本程度の太径ウォータロッドが固定されている（特許文献 1 ~ 3 参照）。

40

**【0004】**

燃料棒とウォータロッドの相互間の水平方向間隔を一定に保持するため、燃料スペーサが、鉛直方向に間隔をあけて複数個配置されている。さらに、燃料スペーサによって束ねられた燃料棒、ウォータロッドをチャンネルボックスによって取り囲んでいる。チャンネルボックスは上部タイプレートに取り付けられ、下部タイプレートの外側面までを覆っている。

**【0005】**

冷却材は下部タイプレートから流入し、チャンネルボックス内を上向きに流れて、燃料

50

棒からの熱を除去する。燃料集合体内では、燃料棒からの熱伝達により、冷却材は沸騰して蒸気と水の混じった二相流となり、下流側すなわち上方に進むにつれて蒸気割合（ボイド率）が増加する。軸方向中央から上部の区間では、断面に占める蒸気の割合は50%を越え、蒸気流が高速で流れる二相流様式となっている。

【0006】

その際、気相は主として、燃料棒間の比較的広い流路中を流れ、液相は一部が気相に随伴して流れ、その一部は燃料棒の表面やチャンネルボックス表面を液膜流として流れる。燃料棒の表面を流れる液相が減少すると、燃料棒の表面の熱伝達率が低下し（沸騰遷移開始）、過熱（ドライアウト）が起こる恐れがある。

【0007】

燃料集合体の熱的限界は、核沸騰領域から遷移沸騰領域に移行する状態であり、その時の熱流束を限界熱流束と定義する。通常運転中の沸騰モードは核沸騰領域である。この領域は安定した状態であり、燃料棒の表面（被覆管表面）温度は冷却材の飽和温度より数度高い程度の温度でほぼ一定に保たれる。一方、ドライアウト点を超えると、燃料棒の表面温度と冷却材の飽和温度との差（過熱度）が次第に大きくなり、熱伝達が不安定な沸騰状態になる。このドライアウト点は実際に被覆管の熱的破損に結びつく限界点ではないが、燃料棒としては通常運転および単一故障の過渡変化中においても許容されない沸騰領域である。

【0008】

ドライアウト点は圧力、冷却材流量、燃料集合体形状、軸方向の出力分布、核燃料棒の出力分布等のパラメータに依存することが実験的に知られている。

【0009】

炉心の熱的余裕に関する指標として現在用いられているものには次式に示すような限界出力比がある。

【0010】

（限界出力比）＝（燃料集合体限界出力）／（燃料集合体運転出力）

設計指標としては、炉心内各位置の燃料集合体の最小の限界出力比を用いている。したがって、原子力プラントの運転コスト低減のためには、熱的限界出力の高い燃料集合体設計が求められており、ハード設計（燃料スペーサ、燃料棒などの設計）やソフト設計（燃料濃縮度分布、燃焼管理などの設計）の目的の一つになっている。

【0011】

限界出力を向上させる燃料集合体として、被覆管の下流部分に、その表面の親水性を増した領域を形成する技術が知られている（特許文献1参照）。また、被覆管表面に酸化被膜を形成した金属基材を線環境下に配して該表面の濡れ性を向上させ限界出力を向上させる技術が知られている（特許文献2参照）。

【0012】

さらに、チャンネルボックス内面には燃料棒冷却には寄与しない液膜が形成されているので、チャンネルボックス表面に濡れ性の低い金属性の被覆層を設けることにより、このチャンネルボックス表面に液膜が形成しないようにし、より多くの液体を燃料棒の冷却へ利用し、限界出力を向上させる技術が知られている（特許文献3参照）。

【特許文献1】特開平3-238395号公報

【特許文献2】国際公開第W001/033574号パンフレット

【特許文献3】特開平3-238395号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

上述した沸騰水型燃料集合体においては、チャンネルボックス表面に濡れ性の低い金属性の被覆層を設けたとしても、高温状態での表面酸化により濡れ性が改善され、このような効果がなくなってしまう課題があった。加えて、チャンネルボックス表面酸化は均一にならないため、限界出力が発生するような蒸気量が多く液膜流量が少ない場合は、チャン

10

20

30

40

50

ネルボックス内面の液膜厚さがまばらになる課題があった。

【0014】

本発明は上述した課題を解決するためになされたものであり、チャンネルボックス内面の濡れ性を均一にし、液膜を均一にすることにより限界出力の向上を図ることのできる沸騰水型原子炉用燃料集合体および沸騰水型原子炉用チャンネルボックスを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記目的を達成するために、本発明に係る沸騰水型原子炉用燃料集合体は、核燃料を充填した複数の燃料棒と、これらの燃料棒の上部および下部をそれぞれ保持する上部タイププレートおよび下部タイププレートと、前記上部タイププレートおよび下部タイププレートの間に配置されて前記複数の燃料棒を支持する少なくとも一つのスペーサと、前記複数の燃料棒およびスペーサの側部外周を囲む筒状の金属製チャンネルボックスと、を有する沸騰水型原子炉用燃料集合体であって、前記金属製チャンネルボックスの内面に、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜が形成されていること、を特徴とする。

【0016】

さらに、本発明に係る沸騰水型原子炉用チャンネルボックスは、複数の燃料棒の側部外周を囲む沸騰水型原子炉用チャンネルボックスであって、上下端が開放された筒状で、金属製であって、その内面に、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜が形成されていること、を特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、チャンネルボックス内面の濡れ性を均一にし、液膜を均一にすることにより限界出力を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明に係る沸騰水型原子炉用燃料集合体の実施形態について、図1～図3を参照して説明する。

【0019】

図1は、本実施形態の沸騰水型原子炉用燃料集合体の部分平断面図、図2は全体縦断面図、図3は図2のA部拡大縦断面図である。この沸騰水型原子炉用燃料集合体は、ほぼ正方形断面を有する金属製の筒状のチャンネルボックス2内に、燃料棒3およびウォータロッド(図示せず)の束が正方格子状に配置されている。各燃料棒3は、金属製の被覆管の中にペレット状の燃料(図示せず)を充填してなる。燃料集合体は、上部タイププレート7および下部タイププレート6に、たとえば60本の燃料棒3と、2本の太径ウォータロッドが固定されている。ウォータロッドは、燃料集合体の中央部の燃料棒3に囲まれた位置にあって、各4本の燃料棒3に相当する位置を占める。なお、上部タイププレート7にはハンドル5が含まれている。

【0020】

燃料棒3とウォータロッドの相互間の水平方向間隔を一定に保持するため、燃料スペーサ9が、鉛直方向に間隔をあけて複数個配置されている。さらに、燃料スペーサ9によって束ねられた燃料棒3およびウォータロッドをチャンネルボックス2によって取り囲んでいる。チャンネルボックス2は上部タイププレート7に取り付けられ、下部タイププレート6の外側面までを覆っている。

【0021】

燃料スペーサ9は、燃料棒3とウォータロッドの相互間のギャップ、およびチャンネルボックス2と燃料棒3、ウォータロッド間のギャップを保持し、燃料集合体の形状を維持するという役割を持っている。

【0022】

冷却材は下部タイププレート6から流入し、チャンネルボックス2内を上向きに流れて、

10

20

30

40

50

燃料棒 3 からの熱を除去する。燃料集合体内では、燃料棒 3 からの熱伝達により、冷却材は沸騰して蒸気と水の混じった二相流となり、下流側すなわち上方に進むにつれて蒸気割合（ボイド率）が増加する。軸方向中央から上部の区間では、断面に占める蒸気の割合は 50% を越え、蒸気流が高速で流れる二相流様式となっている。

【0023】

この実施形態では、放射線により水の濡れ性が向上する皮膜 12 をチャンネルボックス 2 内面に付着させている。放射線により水の濡れ性が向上する皮膜 12 としては、好ましくは、プラズマ酸化、オートクレーブ、気中酸化などにより形成した酸化膜を用いる。

【0024】

本実施形態によると、チャンネルボックス 2 内面の濡れ性が均一化し、図 1 に示すように液膜 11 が均一にでき、燃料棒 3 の冷却のむらが少なくなり、限界出力が向上する。

10

【0025】

図 4 に、種々の材料について、200 kGy の放射線を照射した場合の照射前と照射後の接触角を比較して示す。ここで用いた材料は、プラズマ酸化したジルカロイ、オートクレーブしたジルカロイ、空气中酸化したステンレス鋼、アルゴン中のチタン、乾燥空気中のチタン、空気中のチタンである。この図に示すように、アルゴン中のチタンを除いて、放射線によりこの皮膜の濡れ性が增大することが試験結果で示された。

【0026】

チャンネルボックス 2 内面の皮膜 12 は、好ましくは、燃料集合体の軸方向中央位置から上部の区間に付着させるのが好ましい。それは以下の理由による。すなわち、沸騰水型原子炉用燃料集合体では、軸方向上方に向かって沸騰が進んで蒸気の割合が増大し、軸方向中央位置から上部の区間では断面に占める蒸気の割合が 50% を越え、蒸気流が高速で流れる二相流様式となっている。そのため、液膜の消失、すなわち沸騰遷移はこの区間で生じる可能性が高い。したがってこの区間に放射線により水の濡れ性が向上する皮膜があると、被覆管表面の液膜が形成され易くなり、液膜の消失を抑制することができることから、燃料集合体の限界出力を増大させることが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】本発明に係る沸騰水型原子炉用燃料集合体の実施形態の部分平断面図。

【図 2】図 1 の沸騰水型原子炉用燃料集合体の全体縦断面図。

30

【図 3】図 2 の A 部拡大縦断面図。

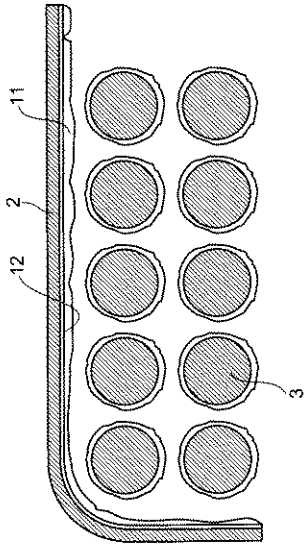
【図 4】放射線照射前後の接触角を比較して示すグラフ。

【符号の説明】

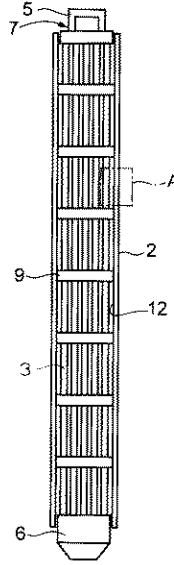
【0028】

2 チャンネルボックス、3 燃料棒、5 ハンドル、6 下部タイプレート、7 上部タイプレート、11 液膜、12 被膜

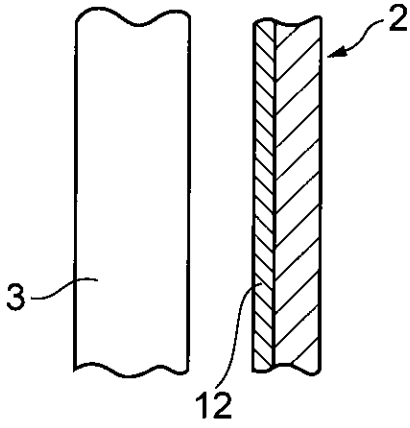
【図1】



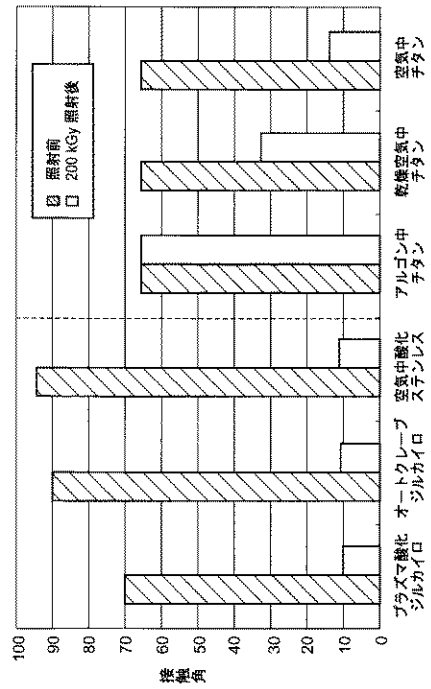
【図2】



【図3】



【図4】



## フロントページの続き

- (71)出願人 504196300  
国立大学法人東京海洋大学  
東京都港区港南4丁目5番7号
- (71)出願人 504137912  
国立大学法人 東京大学  
東京都文京区本郷七丁目3番1号
- (71)出願人 000001199  
株式会社神戸製鋼所  
兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
- (74)代理人 100103333  
弁理士 菊池 治
- (74)代理人 100081732  
弁理士 大胡 典夫
- (71)出願人 505374783  
独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
茨城県那珂郡東海村村松4番地49
- (74)代理人 100103333  
弁理士 菊池 治
- (72)発明者 賞雅 寛而  
東京都江東区越中島二丁目1番6号 国立大学法人東京海洋大学 海洋工学部内
- (72)発明者 波津久 達也  
東京都江東区越中島二丁目1番6号 国立大学法人東京海洋大学 海洋工学部内
- (72)発明者 関村 直人  
東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科内
- (72)発明者 岡本 孝司  
東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科内
- (72)発明者 阿部 弘亨  
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地22 国立大学法人東京大学 原子力研究総合センター内
- (72)発明者 三島 嘉一郎  
大阪府泉南郡熊取町朝代西二丁目 国立大学法人京都大学 原子炉実験所内
- (72)発明者 中村 秀夫  
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究所 東海研究所内
- (72)発明者 柴本 泰照  
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究所 東海研究所内
- (72)発明者 植松 進  
東京都三鷹市新川六丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内
- (72)発明者 古谷 正裕  
東京都狛江市岩戸北二丁目11番1号 財団法人電力中央研究所 原子力技術研究所内
- (72)発明者 宮野 征巳  
千葉県柏市高田1201 財団法人産業創造研究所 原子力化学工学センター内
- (72)発明者 師岡 慎一  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 秋葉 美幸  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 鹿野 文寿  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝京浜事業所内
- (72)発明者 安永 龍哉  
兵庫県神戸市西区高塚台一丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 藤沢 匡介

兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目3番1号 株式会社神戸製鋼所高砂製作所内

(72)発明者 千草 剛

兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目3番1号 株式会社神戸製鋼所高砂製作所内

(72)発明者 下条 純

兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目3番1号 株式会社神戸製鋼所高砂製作所内