

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4728250号  
(P4728250)

(45) 発行日 平成23年7月20日(2011.7.20)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int.CI.

G 2 1 C 3/328 (2006.01)

F 1

G 2 1 C 3/30 G D P X

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2006-540537 (P2006-540537)  
 (86) (22) 出願日 平成16年11月25日 (2004.11.25)  
 (65) 公表番号 特表2007-514141 (P2007-514141A)  
 (43) 公表日 平成19年5月31日 (2007.5.31)  
 (86) 國際出願番号 PCT/FR2004/003025  
 (87) 國際公開番号 WO2005/055246  
 (87) 國際公開日 平成17年6月16日 (2005.6.16)  
 審査請求日 平成19年8月22日 (2007.8.22)  
 (31) 優先権主張番号 0313950  
 (32) 優先日 平成15年11月27日 (2003.11.27)  
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(73) 特許権者 509104562  
 アレヴア エヌペ  
 フランス 92400 クールベヴォワ  
 ブラース ジャン ミリエ 1 トゥール  
 アレヴア  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 晴男  
 (74) 代理人 100067013  
 弁理士 大塚 文昭  
 (74) 代理人 100065189  
 弁理士 宍戸 嘉一  
 (74) 代理人 100088694  
 弁理士 弟子丸 健  
 (74) 代理人 100103609  
 弁理士 井野 砂里

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プルトニウム非含有濃縮ウランを含む加圧水型原子炉用の燃料集合体および該燃料集合体を備えた炉心

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

実質的に規則的な格子のノードに燃料棒が配置され、その外側輪郭が多角形になっているタイプの加圧水型原子炉用の燃料集合体(3)であって、燃料棒は、同位元素235の濃縮されたウランを含み、集合体が原子炉内にて使用される前には、全くプルトニウムを含んでいないような上記燃料集合体であって、

燃料集合体のほぼ中央に位置し、ウラン235の第1レベルの濃縮度e1を有している燃料棒を備えた第1群の燃料棒と、

この第1群の燃料棒よりも外側に位置する外側周縁層(13)の燃料棒と、を有し、前記外側周縁層(13)の燃料棒は、前記格子の外側輪郭をなす面(15)に沿って延在している第2群の燃料棒であって、前記第1レベルの濃縮度e1よりも低いウラン235の第2レベルの濃縮度e2を有する前記第2群の燃料棒と、前記格子の外側輪郭における角部に配置された第3群の燃料棒であって、前記第2レベルの濃縮度e2よりも低いウラン235の第3レベルの濃縮度e3を有する前記第3群の燃料棒と、を備えていることを特徴とする燃料集合体。

## 【請求項 2】

前記第1群の燃料棒は、更に、中性子毒物を含有する請求項1に記載の燃料集合体。

## 【請求項 3】

燃料棒の格子の外側輪郭をなす各面(15)において、前記第2群の燃料棒は、前記面(15)の一方の角部から他方の角部へと延び、前記第3群の燃料棒は、燃料棒の格子の

外側輪郭における角部に配置された燃料棒だけから構成されている請求項 1 又は 2に記載の燃料集合体。

**【請求項 4】**

第2レベルの濃縮度e2は、e1-0.8%~e1-0.2%の範囲にある請求項 1乃至3の何れか1項に記載の燃料集合体。

**【請求項 5】**

第3レベルの濃縮度e3は、e1-1.8%~e1-0.6%の範囲にある請求項 1乃至4の何れか1項に記載の燃料集合体。

**【請求項 6】**

第1レベルの濃縮度e1は、3%~6%の範囲にある請求項 1乃至5の何れか1項に記載の燃料集合体。 10

**【請求項 7】**

燃料棒の格子(3)は、正方形である外側輪郭を有していることを特徴とする請求項 1乃至6の何れか1項に記載の燃料集合体。

**【請求項 8】**

請求項 1乃至7の何れか1項に記載の燃料集合体(3)を備えていることを特徴とする原子炉の炉心。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

20

本発明は、加圧水型原子炉用の燃料集合体に関し、実質的に規則的な格子のノードに燃料棒が配置され、その外側輪郭が多角形になっているタイプの加圧水型原子炉用の燃料集合体であって、燃料棒は、同位元素235の濃縮されたウランを含み、集合体が原子炉内にて使用される前には、全くプルトニウムを含んでいないような上記燃料集合体に関する。

従って、本発明による燃料集合体は、沸騰水型原子炉(BWR)ではなく、加圧水型原子炉(PWR)で用いられることを意図していて、燃料としては同位元素235を濃縮したウランを使用する。

**【背景技術】**

**【0002】**

30

これらの燃料集合体は、それらの燃料について、一般にUO<sub>2</sub>の燃料集合体を用いる。

UO<sub>2</sub>という用語は、MO<sub>x</sub>燃料集合体と通称されるウランとプルトニウム酸化物を含む燃料集合体に対して、これとは対照的に用いられる。

このタイプのMO<sub>x</sub>の燃料集合体においては、UO<sub>2</sub>の燃料集合体を再処理したことによって生じたプルトニウムを再使用することができる。文献FR-2 693 023号は、このタイプのMO<sub>x</sub>燃料集合体について記述している。UO<sub>2</sub>の燃料集合体とMO<sub>x</sub>の燃料集合体とでは異なった中性子の振る舞いを示す。同一の原子炉内において、MO<sub>x</sub>とUO<sub>2</sub>との燃料集合体をかかわりなく同時に燃焼できるように、前記文献では、異なるプルトニウム含有量をもつ燃料棒をMO<sub>x</sub>燃料集合体の中で用いることを提案している。従って、このために“領域式”的MO<sub>x</sub>燃料集合体が用いられ、というのは、燃料集合体は、異なるプルトニウム含有量をもつ燃料棒の領域から構成されているためである。 40

**【0003】**

前述の如く、本発明はMO<sub>x</sub>燃料集合体に関するものではなく、UO<sub>2</sub>燃料集合体に適用されるものであって、このタイプは領域式の配置をもつものではなく、同位元素235は均一に濃縮されている。例えばEP-799 484号が開示しているUO<sub>2</sub>燃料集合体においては、2~3の燃料棒は隔離されて、ガドリウムで汚染され、隣接する燃料棒に比べて低いレベルのウラン235で濃縮されているのは、事実である。しかしながら、これらは厳密な意味においては領域式の燃料集合体ではない。

**【0004】**

従来、UO<sub>2</sub>燃料集合体は、略正方形のベースをもつ規則的な格子のノードに燃料棒

50

を保持するようなスケルトンを備えている。スケルトンは、下端と、上端と、燃料棒を保持する格子を2つの端部に結合させる案内管とを備えている。

加圧水型原子炉の炉心の内部においては、 $\text{UO}_2$ 燃料集合体は、横並びにされて、横方向には2mmのオーダーのわずかな隙間が設けられる。この隙間があるために、とりわけ、炉心を装荷及び除荷する作業に際して、燃料集合体を上昇又は下降させることができる。

冷却・減速水は、かかる隙間の結果、該位置に水の層を形成するように、このギャップを流れる。

このタイプの燃料集合体の高さは大きくて、最大3~4mに達する。製造公差のために、水の層の実際の厚みは、少なくとも局所的には、公称値である2mmとは異なる。

さらに、原子炉に配置された燃料集合体は、理論的には照射によって変形し、結果的にC、S、又はW字形の形状になる。10

このタイプの変形は多くの問題点を生じさせる。運転中には、かかる変形のために、原子炉の案内管に、制御・停止ロッドのクラスタを挿入することが困難になる。

取扱い中には、これらの変形によって、例えば原子炉の炉心に装荷する作業中に、燃料集合体が互いに引っかかるリスクが高まる。

従って、 $\text{UO}_2$ 燃料集合体の実際の挙動は、少なくとも機械的な観点において、望ましい挙動とは異なることになる。

#### 【0005】

【特許文献1】F R - 2 6 9 3 0 2 3号

【特許文献2】E P - 7 9 9 4 8 4号20

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

本発明の目的は上述した課題を解決することであって、リスクを軽減でき、機械的な観点からは、望ましい挙動とは異なった集合体の挙動を軽減できるよう、上述したタイプの燃料集合体を提供する。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

このために、本発明は上述したタイプの燃料集合体であって、燃料棒の配置状態が少なくとも、30

- ・第1レベルの反応度を有している燃料棒によって構成された、第1の中央群と、
- ・第1レベルの反応度に比べて厳密に低い反応度のレベルを有する、外側周縁層の燃料棒と、

から構成されている。

特定の実施形態によれば、燃料集合体は以下の1又は複数の特徴を単独で、または、技術的に可能なあらゆる組み合わせにおいて備えることができ：

周縁層の燃料棒の配列が、

- ・格子の外側輪郭をなす面に沿って延在している第2群の燃料棒であって、第1レベルの反応度に比べて厳密に低いレベルである第2レベルの反応度を有するような第2群の燃料棒と、40

- ・格子の外側輪郭における角部に配置された第3群の燃料棒であって、第2レベルの反応度に比べて厳密に低いレベルである第3レベルの反応度を有するような第3群の燃料棒と、

から構成される。

#### 【0008】

- ・燃料棒の格子の外側輪郭をなす各面において、第2群は、ひとつの角部から関心のある他方の面へと延び、第3群は、燃料棒の格子の外側輪郭における角部に配置された燃料棒だけから構成されていることを特徴とする。

- ・様々な群の燃料棒において、異なったレベルの反応度を得るために、燃料棒に含まれるウラン235の質量を相違させる。

50

・様々な群の燃料棒において、異なったレベルの反応度を得るために、燃料棒におけるウラン235の濃縮度合いのレベルを相違させる。

- ・第1群の燃料棒は、ウラン235について第1レベルの濃縮度e1を有しており、
- ・第2群の燃料棒は、ウラン235について第2レベルの濃縮度e2を有していて、該レベルは、第1レベルの濃縮度e1に比べて厳密に低くなっていること。
- ・第3群の燃料棒は、ウラン235について第3レベルの濃縮度e3を有していて、該レベルは、第2レベルの濃縮度e2に比べて厳密に低くなっていること。
- ・第2レベルの濃縮度e2は、e1 - 0.8% ~ e1 - 0.2%の範囲にあること。
- ・第3レベルの濃縮度e3は、e1 - 1.8% ~ e1 - 0.6%の範囲にあること。
- ・第1レベルの濃縮度e1は、3% ~ 6%の範囲にあること。

10

また、本発明は原子炉の炉心にも関し、それは上述した燃料集合体を備えていることによって特徴付けられる。

本発明については、純粹に例示に過ぎない、以下の詳細な説明を添付図面を参照して読むことで明らかになるだろう。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0009】

図1は、加圧水型原子炉(PWR)の炉心1のうち1/4の部分を示している。従って、この原子炉は、加圧水によって冷却され、減速される。従来より、炉心1は縦横対称になっているので、対称軸を破線にて示している。

炉心1は、燃料集合体3を備え、燃料集合体は互いに横に並べられ、側部には隙間が設けられている。その結果燃料集合体3の間は、ギャップが設けられ、冷却・減速水によって満たされている。従って、燃料集合体3は、水の層5によって横に区切られ、水の層は燃料集合体3の全高にわたる。

20

代表的には、これらの水の層5の公称厚みは2mmである。

##### 【0010】

燃料集合体3、UO<sub>2</sub>の燃料集合体であって、核燃料として、同位元素235のウランが濃縮されている。従って、燃料集合体3は、炉心1の内部で使用される前には、まったくプルトニウムを含んでいない。

燃料集合体3の一般的な構造は在来のものであるから、詳しくは説明しない。各燃料集合体3は、燃料棒と、これらの燃料棒を、実質的に規則的な格子のノードで支持し保持するスケルトンから構成されていることに留意されたい。

30

図2の例において、規則的な格子は、正方形ベースと正方形の外部輪郭とを有している。

スケルトンは、下端と、上端と、案内管6とを備え、案内管は2つの端部を結合すると共に、炉心の運転状態を制御すべく制御棒クラスタの制御棒を受け入れる。

スケルトンはさらに、規則的な格子のノードに、燃料棒を保持するための格子7を備える。これらの格子7は従来より、連結板の組を備えていて、これらが共にセル9を区画して、セルは規則的な格子のノードに中心を合わせられる。それぞれのセル9は、燃料棒か、案内管6かを受け入れるもので、中央のセル9はそれ自体、計装管11を受け入れる。

##### 【0011】

40

図2の例においては、保持格子7は、各辺について17個のセル9を備えている。従って、格子の外側輪郭は、17個の側部セルからなる正方形になっている。変形例としては、セル9の数を変更して、例えば14×14や15×15としても良い。

燃料棒は3つの群に分配され、すなわち、

- ・第1の中心群であって、図2では空白になっているセル9を占拠するもの。
- ・第2の群としての側部燃料棒であって、図2では十字をマークしているセル9を占拠するもの。
- ・第3の群としての角部燃料棒であって、図2ではハッチングしているセル9を占拠するもの。

図示の例においては、第1の群は200本の燃料棒を備える。この第1の群は、周縁の

50

燃料棒の層 13 を除けば、格子の全体を占拠する。

従って、この第 1 の群は、側部セルが 15 個である正方形に対応し、案内管 6 と計装管 11 とによって占拠される 25 個のセル 9 を含む。

この第 1 の群の燃料棒は、核燃料として、第 1 レベルの濃縮度  $e_1$  にまで同位元素 235 で濃縮されたウランを含む。第 1 レベルの濃縮度  $e_1$  は、およそ 4.11% である。この濃縮度は、同位元素 U235 の質量比と、核燃料中に存在するウランの合計量とによって定められる。

第 2 の群の燃料棒は、60 本の燃料棒からなり、これらは、周縁層 13 の 4 つの面 15 に分配されている。

#### 【0012】

10

より詳しくは、燃料棒の格子におけるそれぞれの外面 15 については、15 本の燃料棒は、外面 15 において第 2 の群に属する 2 本の角部燃料棒の間に配置されることになる。

第 2 の群の燃料棒は、核燃料として、同位元素 235 を第 2 レベル  $e_2$  にまで濃縮されたウランを含む。ウラン 235 についての、かかる第 2 レベルの濃縮度  $e_2$  は、およそ 3.7% である。

第 3 の群は、4 本のロッドから構成され、格子をなす燃料棒の外側角部を占拠するもので、すなわち、周縁層 13 の角部を構成する。第 3 群の核燃料の燃料棒については、その第 3 レベルの濃縮度  $e_3$  はおよそ 2.8% である。

従って、周縁層 13 における各面 15 は、少なくともそれらの両端に、第 3 群の燃料棒を備え、残余については、第 2 群の燃料棒を備える。格子における残余の部分は、第 1 群の燃料棒によって占拠される。燃料集合体 3 の周縁にわたって連続的に延在する周縁層 13 の燃料棒は、燃料集合体の中心部における燃料棒の濃縮度に比べて低い濃縮度になっている。

#### 【0013】

20

第 1、第 2、第 3 群に属する燃料棒は、同じ形状をもっているけれども、同位元素 235 の濃縮の度合いが異なっていて、このため、異なった質量の同位元素 235 を含んでいる。

その結果、燃料集合体 3 は、使用前にあっては、“領域式”の構造になっていて、角部の燃料棒は低レベルの反応度をもち、角部の間の外面 15 に沿って配置されて燃料棒は中間的なレベルの反応度をもち、格子に配置されるその他の燃料棒は高いレベルの反応度をもつ。

このタイプの領域式の配置によれば、たとえ燃料集合体 3 の実際の幾何学形状がその公称の幾何学形状に対して異なっていたとしても、燃料集合体 3 において満足すべき個々の中性子拳動が確保される。

#### 【0014】

30

図 3 A は、従来技術による、つまりすべての燃料棒を均一に濃縮した場合における、同位元素 235 が濃縮されたウランの燃料集合体について、線出力の分布を示している。関心のある燃料集合体を取り囲む水の層 5 の厚みは、均一で 2mm、すなわち公称値であると仮定している。Y 軸上の出力値は、燃料集合体の平均線出力に基づいて、標準化されていることに留意されたい。この出力分布は、150MW / t の減少率であるとして計算したもので、“キセノン平衡期間の開始”と称される、燃料集合体の運転サイクルの期間に対応している。これは、出力分布が最も不均一であると思われる時刻である。

#### 【0015】

40

図 3 の事例においては、出力分布は均一で、燃料集合体の最大線出力と燃料集合体の平均線出力との比率に対応する、形状係数はおよそ 1.053 である。形状係数値がおよそ 1 であることは、出力分布が均一で満足できることを確認している。

図 3 B は、図 2 に示した燃料集合体 3 についてのチャートである。図示の通り、第 3 群、つまり燃料集合体の角部にある燃料棒の線出力は、第 3 群の燃料棒の反応度が低いことから、中央にある第 1 群の線出力に比べてはるかに低くなっている。同様に、燃料集合体 3 の外面 15 に沿って配置された第 2 群の燃料棒について、これによって提供される線出

50

力は、第1群つまり燃料集合体3の中央にある燃料棒と、角部にある第3群の燃料棒との間の線出力になっている。

#### 【0016】

従って、形状係数はおよそ1.068である。従って、従来技術に比べて、若干大きくなっている。しかしながら、出力係数の値は許容できるものであり、図2に示した燃料集合体3は原子炉において用いるのに完全に適している。

図4A及び図4Bは、図3A及び図3Bに対応するもので、水の層5が7mmの均一な厚みになっている。

図示の如く、従来技術(図4A)においては、形状係数は著しく大きくなっている。その値は1.186に達している。従って、出力分布は極めて不均一であって、これは原子炉の炉心において防がなければならない。

この事実を後天的に説明すれば、層5の領域にある水の厚みが大きいので、中性子をより大きな程度遅らせて、側部にある燃料棒及び角部にある燃料棒は、より強く熱中性子に暴露され、核分裂が大きくなることができて、もって出力を発生させる。

#### 【0017】

図4Bに示すように、図2に示した燃料集合体3の領域式の配置によれば、燃料集合体3における角部と外面15において、線出力が減少して、はるかに均一な分布を達成している。従って、形状係数の値は1.078になって、これは完全に満足できる値である。

図5A及び図5Bに示すように、同一の現象は、水の層5の均一な厚みが例えれば12mmと大きい場合にも見受けられる。従来技術による燃料集合体の場合には、形状係数はおよそ1.342であったが、図2に示した燃料集合体3の場合には、およそ1.181になっている。

#### 【0018】

従って、図2に示した燃料集合体3の構造を採用するならば、たとえ局所的に、水の層5が公称値から逸脱した厚みになっていても、出力分布をより均一に確保でき、水の層5の厚みが公称値に対応するならば、全体的には著しくこの分布を害することがない。

従って、図2に示した燃料集合体3によれば、燃料集合体についての機械的な変形や、その製造公差がもつであろう、中性子に関する結果を減少させる。

ある種の事例においては、燃料集合体3は、特に第1群の燃料棒が、ガドリニウムなどの中性子毒を含んでいる。それらの燃料棒においては、同位元素235の濃縮が、同じ群に属する他の燃料棒以下になっている。

#### 【0019】

図6に示した変形例においては、第3群は、4本の角部の燃料棒に加えて、周縁層13と接するような、8本の燃料棒から構成されている。この結果、第3群のロッドは12本の燃料棒から構成される。

しかしながら、この変形例はあまり有利ではないことが見い出されたもので、というのは、水の層の厚みが公称厚みに等しい場合、出力分布をかなり害するためである。

好ましい変形例においては、第2レベルの濃縮度e2はe1-0.8%~e1-0.2%であり、第3レベルの濃縮度e3はe1-1.8%~e1-0.6%の範囲である。

第1レベルの濃縮度は好ましくは3%~6%の範囲である。

また、ひとつの変形例として、第2群と第3群を、同一レベルの同位元素235で濃縮された燃料棒から構成しても良い。すなわち、e2とe3とを等しくする。従って、低レベルの反応度レベルの燃料棒が、周縁層13の全周を占拠し、燃料集合体3の周辺に連続して延在する群を形成する。

さらに別の変形例として、様々な群の燃料棒における反応度のレベルを変化させるためには、同位元素235の濃縮度のレベルを変える代わりに、燃料棒の直径を変化させるようにして、異なる群における燃料棒の同位元素235の質量を異ならせることができる。

#### 【0020】

従って、第1群の燃料棒は第1の直径を有し、第2群の燃料棒は第1の直径に比べて厳

10

20

30

40

50

密に小さい第2の直径を有し、第3群の燃料棒は第2の直径以下である第3の直径を有するようにする。従って、第1、第2、第3の群の燃料棒に含まれる同位元素<sup>235</sup>の質量は、反応度と共に、少なくなっていく。

より一般的には、正方形以外の多角形の外側輪郭を有しているような格子を形成すべく、燃料棒は燃料集合体の内部に配置することができる。

**【図面の簡単な説明】**

**【0021】**

**【図1】**図1は、本発明による原子炉の炉心のうち1/4の部分を示した模式的な平面図である。

**【図2】**図2は、図1の炉心に含まれる燃料集合体のひとつについて、燃料棒の分配状態を示した模式的な平面図である。

**【図3A】**図3Aは、従来技術による燃料集合体と、図2に示した燃料集合体とのそれについて、水の層の厚みが2mmであるときの、出力分布を示したチャート図である。

**【図3B】**図3Bは、従来技術による燃料集合体と、図2に示した燃料集合体とのそれについて、水の層の厚みが2mmであるときの、出力分布を示したチャート図である。

**【図4A】**図4Aは、水の層の厚みが7mmの場合について、図3A及び図3Bと同様に示した図である。

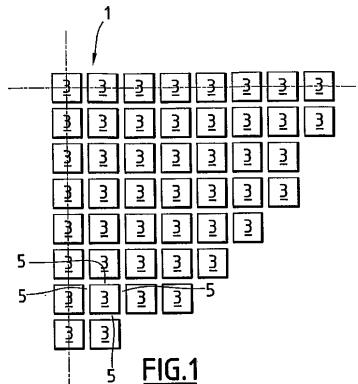
**【図4B】**図4Bは、水の層の厚みが7mmの場合について、図3A及び図3Bと同様に示した図である。

**【図5A】**図5Aは、水の層の厚みが12mmの場合について、図3A及び図3Bと同様に示した図である。

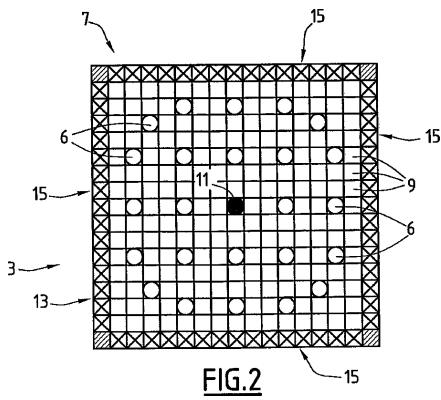
**【図5B】**図5Bは、水の層の厚みが12mmの場合について、図3A及び図3Bと同様に示した図である。

**【図6】**図6は、本発明の変形例について、図2と同様に示した図である。

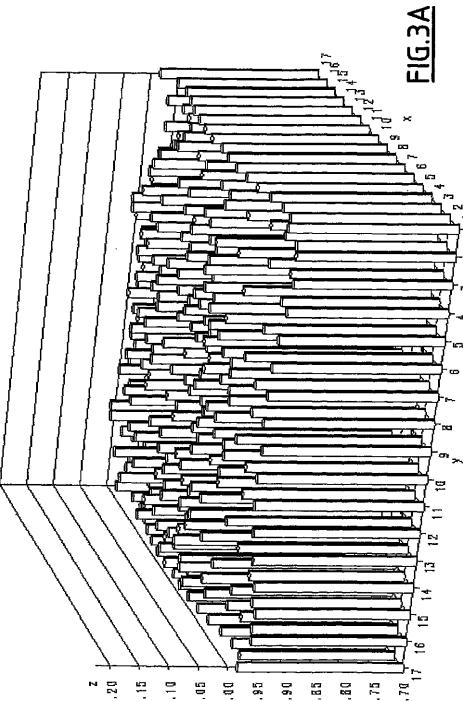
**【図1】**



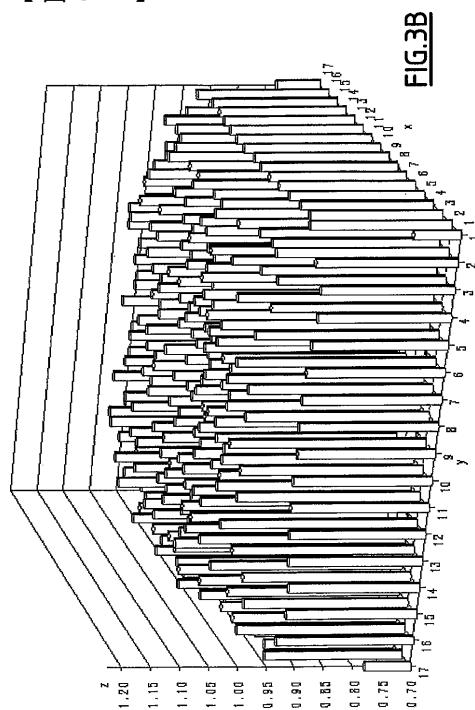
**【図2】**



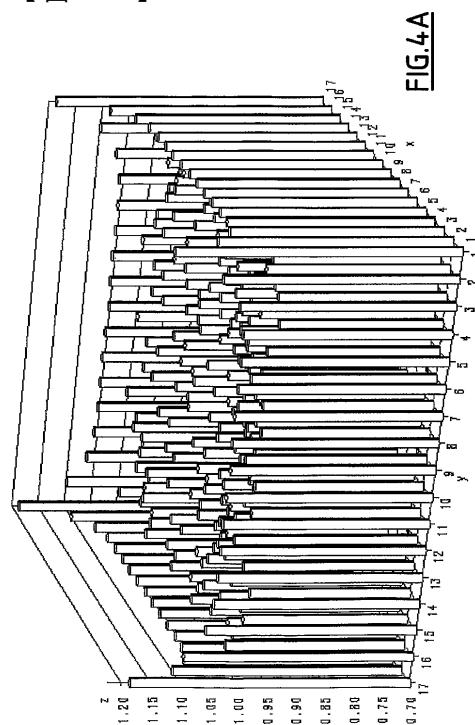
**【図3A】**



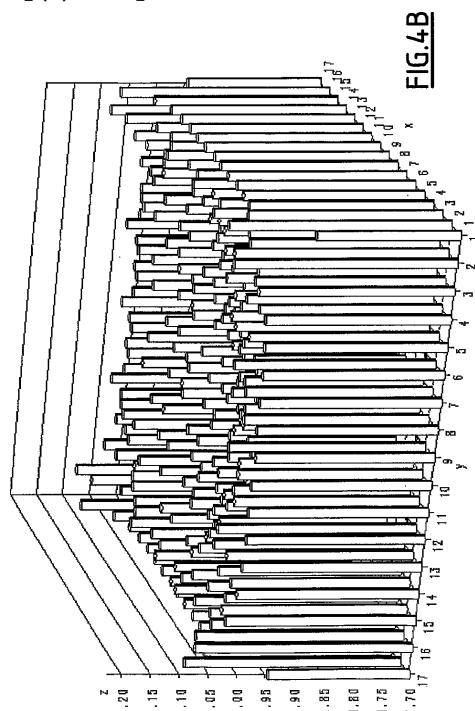
【図 3 B】



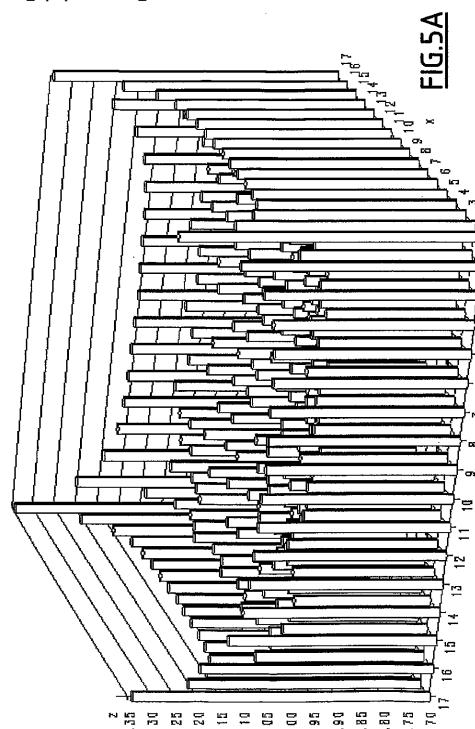
【図 4 A】



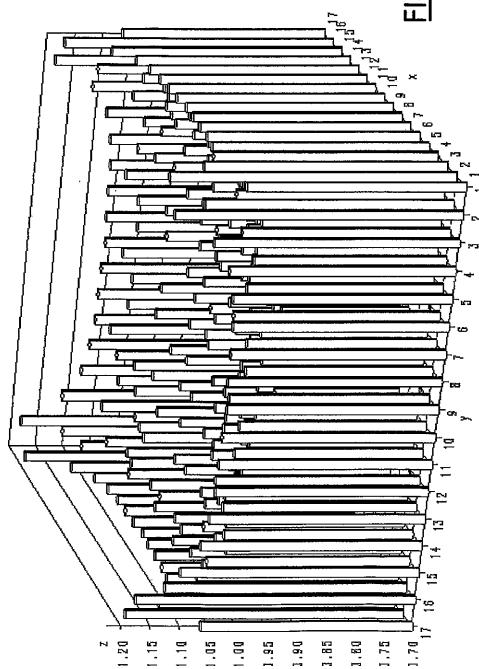
【図 4 B】



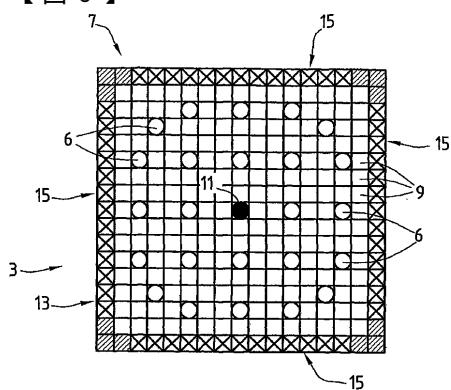
【図 5 A】



【図 5B】



【図 6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ブーフィエール マルセル  
フランス エフ - 6 9 9 7 0 シャポネイ アレー ジヤン ブリュイエール 2

審査官 青木 洋平

(56)参考文献 特開平03-249593(JP,A)  
特開平05-323072(JP,A)  
特開昭61-223582(JP,A)  
特開平08-201555(JP,A)  
特表2001-500265(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 3/328