

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3788045号
(P3788045)

(45) 発行日 平成18年6月21日(2006.6.21)

(24) 登録日 平成18年4月7日(2006.4.7)

(51) Int.C1.

F 1

G21C 3/32 (2006.01)
G21C 3/33 (2006.01)G21C 3/32 GDBJ
G21C 3/30 GDBM

請求項の数 9 (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平10-185912

(22) 出願日

平成10年7月1日(1998.7.1)

(65) 公開番号

特開2000-19278 (P2000-19278A)

(43) 公開日

平成12年1月21日(2000.1.21)

審査請求日

平成15年3月26日(2003.3.26)

(73) 特許権者 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

(72) 発明者 桜見 亮司

茨城県日立市幸町三丁目1番1号

株式会社 日立製作所 日立
工場内

審査官 青木 洋平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】燃料集合体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心に装荷される燃料集合体において、

核燃料ペレットが充填されて相互間の間隔が一定に配置された複数の燃料棒と、1本の中性子減速棒とを正方格子状に配列し、

燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記中性子減速棒の中心が、前記燃料集合体の中心よりも制御棒が挿入されるコーナー側に偏って配置されていることを特徴とする燃料集合体。

【請求項2】

制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心に装荷される燃料集合体において、

核燃料ペレットが充填されて相互間の間隔が一定に配置された複数の燃料棒及び1本の中性子減速棒を正方格子状に束ねた燃料バンドルと、前記燃料棒の上端部及び下端部をそれぞれ保持する上部タイプレート及び下部タイプレートと、前記上部タイプレートの1つのコーナー部に前記燃料バンドルを覆う四角筒状のチャンネルボックスをチャンネルファスナにより固定する構造を備え、

燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記中性子減速棒の中心が、前記燃料集合体の中心よりも前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側に偏って配置されていることを特徴とする燃料集合体。

10

20

【請求項 3】

請求項 2 において、前記複数の燃料棒は、核燃料ペレットが充填されている部分の長さである燃料有効長が相対的に短い短尺燃料棒を複数含み、該短尺燃料棒が前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側よりもその反対側に多く配置されていることを特徴とする燃料集合体。

【請求項 4】

請求項 3 において、前記短尺燃料棒の少なくとも一部が、前記中性子減速棒に隣接する位置のうち、前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側と反対側に配置されていることを特徴とする燃料集合体。

【請求項 5】

請求項 2 乃至 4 の何れかにおいて、燃料集合体内をその対角線でチャンネルファスナが固定されるコーナー側の第 1 領域と反対側の第 2 領域とに分けた場合、燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記第 2 領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度が、前記横断面における前記第 1 領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度よりも高いことを特徴とする燃料集合体。

【請求項 6】

請求項 2 乃至 5 の何れかにおいて、前記複数の燃料棒は、可燃性毒物を添加した可燃性毒物入り燃料棒を複数含み、該可燃性毒物入り燃料棒が前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側よりもその反対側に多く配置されていることを特徴とする燃料集合体。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 の何れかにおいて、前記複数の燃料棒が 10 行 10 列の正方格子状に配列され、前記中性子減速棒が 3 行 3 列の燃料棒を配置可能な領域に配置された 1 本の円筒状の水ロッドであることを特徴とする燃料集合体。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 6 の何れかにおいて、前記複数の燃料棒が 11 行 11 列の正方格子状に配列され、前記中性子減速棒が 4 行 4 列の燃料棒を配置可能な領域に配置された 1 本の四角筒状の水ロッドであることを特徴とする燃料集合体。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 6 の何れかにおいて、前記燃料棒に含まれる核燃料が未燃焼時にプルトニウムを含むウラン燃料であることを特徴とする燃料集合体。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は沸騰水型原子炉（BWR）用の燃料集合体に係り、特に制御棒が挿入される側の水ギャップ幅（制御棒側水ギャップ幅）と、制御棒が挿入されない側の水ギャップ幅（反制御棒側水ギャップ幅）とがほぼ等しい炉心に装荷するのに好適な燃料集合体に関する。

【0002】**【従来の技術】**

近年、軽水型原子炉では燃料経済性向上と廃棄物量低減（燃料集合体の取出数低減、使用済燃料の発生量低減）が重要な課題となっている。この課題に対応するには、燃料集合体の取出燃焼度を大きくすること（高燃焼度化）が効果的である。燃料集合体を高燃焼度化するためには、ウラン濃縮度を高める必要がある。これに起因して、冷温時と出力運転時の反応度差が増大し炉停止余裕が減少する傾向がある。また、炉内滞在期間の違いにより燃料集合体間の燃焼度差が大きくなるため、燃料集合体の最大出力（チャンネルピーピング係数）が増大し、熱的余裕が減少する傾向がある。

【0003】

これに対して、特開平8-285977号公報に、燃料集合体の外側から2層目のコーナー位置に可燃性毒物を含む短尺燃料棒を配置して、高燃焼度化を図りつつ熱的余裕を確保する第1の従来技術が記載されている。

【0004】

10

20

30

40

50

また、特開昭64-31091号公報に、制御棒側水ギャップ幅が反制御棒側水ギャップ幅よりも大きなD格子炉心用の燃料集合体において、燃料集合体内にインナーギャップを設けて炉停止余裕を増大し、燃料集合体内のインナーギャップまたは水ロッドを反制御棒側に偏らせて熱的余裕を確保する第2の従来技術が記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、第1の従来技術では、炉停止余裕の改善に関しては考慮されていない。また、第2の従来技術はD格子炉心用の燃料集合体に関するものであり、制御棒側水ギャップ幅と反制御棒側水ギャップ幅がほぼ等しい炉心用の燃料集合体に関しては考慮されていない。

10

【0006】

本発明の第1の目的は、制御棒側水ギャップ幅と反制御棒側水ギャップ幅とがほぼ等しい炉心に装荷された場合に、炉停止余裕を増大できる高燃焼度化対応の燃料集合体を提供することにある。

【0007】

本発明の第2の目的は、第1の目的に加えて、更に熱的余裕も増大できる高燃焼度化対応の燃料集合体を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

第1の目的を達成するための第1の発明は、制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心に装荷される燃料集合体において、

20

核燃料ペレットが充填されて相互間の間隔が一定に配置された複数の燃料棒と、1本の中性子減速棒とを正方格子状に配列し、

燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記中性子減速棒の中心を、前記燃料集合体の中心よりも制御棒が挿入されるコーナー側に偏って配置することにある。

【0009】

第1の目的を達成するための第2の発明は、制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心に装荷される燃料集合体において、

核燃料ペレットが充填されて相互間の間隔が一定に配置された複数の燃料棒及び1本の中性子減速棒を正方格子状に束ねた燃料バンドルと、前記燃料棒の上端部及び下端部をそれぞれ保持する上部タイプレート及び下部タイプレートと、前記上部タイプレートの1つのコーナー部に前記燃料バンドルを覆う四角筒状のチャンネルボックスをチャンネルファスナにより固定する構造を備え、

30

燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記中性子減速棒の中心を、前記燃料集合体の中心よりも前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側に偏って配置することにある。

【0010】

第2の目的を達成するための第3の発明は、第2の発明において、前記複数の燃料棒が、核燃料ペレットが充填されている部分の長さである燃料有効長が相対的に短い短尺燃料棒を複数含み、該短尺燃料棒を前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側よりもその反対側に多く配置する。

40

【0011】

第4の発明は、第3の発明において、前記短尺燃料棒の少なくとも一部を、前記中性子減速棒に隣接する位置のうち、前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側と反対側に配置する。

【0012】

第5の発明は、第2乃至第4の発明において、燃料集合体内をその対角線でチャンネルファスナが固定されるコーナー側の第1領域と反対側の第2領域とに分けた場合、燃料集合体の軸方向に垂直な横断面における前記第2領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度を、前記横断面における前記第1領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度より高くする。

50

【0013】

第6の発明は、第2乃至第5の発明において、前記複数の燃料棒が可燃性毒物を添加した可燃性毒物入り燃料棒を複数含み、該可燃性毒物入り燃料棒を前記チャンネルファスナが固定されるコーナー側よりもその反対側に多く配置する。

【0014】

第7の発明は、第1乃至第6の発明において、前記複数の燃料棒が10行10列の正方格子状に配列され、前記中性子減速棒を3行3列の燃料棒を配置可能な領域に配置された1本の円筒状の水ロッドとする。

【0015】

第1又は第2の発明によれば、中性子減速棒の中心を燃料集合体の中心よりも制御棒が挿入されるコーナー側（制御棒側）、即ちチャンネルファスナが固定されるコーナー側（チャンネルファスナ側）に偏って配置したことにより、その燃料集合体が装荷化された、制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心において、熱中性子束がチャンネルファスナ側で高くなる。従って、中性子減速棒の中心を、燃料集合体の中心、又はチャンネルファスナ側の反対側（反チャンネルファスナ側）に配置した場合に比べて、制御棒価値を高くできる。よって、制御棒側水ギャップの幅と反制御棒側の水ギャップの幅がほぼ等しい炉心において、高燃焼度化を図りつつ炉停止余裕を増大できる。

【0016】

第3の発明によれば、短尺燃料棒をチャンネルファスナ側よりもその反対側に多く配置したことにより、出力運転時には、短尺燃料棒上端より上側の燃料集合体の軸方向に垂直な横断面において、チャンネルファスナ側とその反対側の減速材（水）分布がほぼ均一になるため、局所出力分布を平坦化できる。また、冷温時には、短尺燃料棒上端より上側の領域のうち、反チャンネルファスナ側の領域で水密度が大幅に増大するため過減速となり、反応度上昇を低減できる。これに伴い、熱的余裕を増大できる。

【0017】

第4の発明によれば、短尺燃料棒の少なくとも一部を、中性子減速棒に隣接する位置のうち反チャンネルファスナ側に配置したことにより、ボイド係数の絶対値を低減できる。

【0018】

第5の発明によれば、中性子減速棒の影響で熱中性子束が比較的高くなる第1領域内の平均ウラン濃縮度を低く、熱中性子束が比較的低くなる第2領域内の平均ウラン濃縮度を高くしたことにより、出力運転時の局所出力分布をより平坦化でき、熱的余裕を更に増大できる。

【0019】

第6の発明によれば、反チャンネルファスナ側に多く配置された可燃性毒物入り燃料棒の影響でチャンネルファスナ側の熱中性子束が相対的に増大するため、制御棒価値をより高めて炉停止余裕を更に増大できる。また、熱中性子束の比較的低い反チャンネルファスナ側に可燃性毒物入り燃料棒を多く配置したため、可燃性毒物の効果が長期間保たれるので、長期サイクル運転にも適する。

【0020】

第7の発明によれば、中性子減速棒として円筒状の水ロッドを用いたことにより、四角筒状の水ロッドを用いた場合に比べて、出力運転時の中性子の無駄な吸収が減るため、中性子経済性を向上できる。

【0021】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。

【0022】**(実施例1)**

まず、本発明による燃料集合体の第1実施例を図1及び図2により説明する。本実施例は、制御棒側水ギャップ幅と反制御棒側水ギャップ幅とがほぼ等しい炉心に装荷される燃料

10

20

30

40

50

集合体である。図1は第1実施例の横断面図、図2は第1実施例の概略縦断面図である。本燃料集合体は、図2に示すように、複数の燃料棒10、燃料棒10の上端及び下端を保持する上部タイプレート14及び下部タイプレート15、複数の燃料棒10の間隔を一定に保持し軸方向に複数設けられるスペーサ16、複数の燃料棒10が束ねて構成される燃料バンドルを外側から覆う四角筒状のチャンネルボックス13などから構成される。

【0023】

図1に示すように、91本の燃料棒10が10行10列(10×10)の正方格子状に配列され、中央部の3行3列(3×3)の燃料棒(9本の燃料棒)が配置可能な領域に1本の四角筒型の水ロッド21が配置されている。各燃料棒10は、濃縮ウランの酸化物からなる複数の核燃料ペレットがジルカロイの被覆管内に充填されたものである。

10

【0024】

図1に示すように、燃料集合体をその対角線13aで制御棒24側と反制御棒側に領域分けした場合、水ロッド21は制御棒側に偏って配置されている。言い換えれば、水ロッド21の中心が燃料集合体の中心よりも制御棒が挿入されるコーナー側に偏って配置されている。図2に示すように、チャンネルボックス13は、制御棒24が挿入されるコーナー部において、チャンネルファスナ17を上部タイプレート14に取り付けられたコーナーポスト18に固定することにより、燃料バンドルに固定される。即ち、制御棒側は、チャンネルファスナ側又はコーナーポスト側に対応している。

【0025】

本実施例では、制御棒側(チャンネルファスナ側、コーナーポスト側)に水ロッド21を偏って配置したことにより、制御棒24近傍の熱中性子束が増大するため、制御棒価値を高めることができる。従って、水ロッドを燃料集合体の中心又は反制御棒側に配置した場合に比べて、燃料集合体の高燃焼度化を図りつつ炉停止余裕を増大できる。これに伴い、燃料経済性を向上し使用済燃料の発生量を低減できる。

20

【0026】

(実施例2)

次に、図3を用いて本発明による燃料集合体の第2実施例を説明する。図3は第2実施例の横断面図である。本実施例では、第1実施例において、燃料有効長(核燃料ペレットが充填されている部分の長さ)が異なる2種類の燃料棒を用いている。即ち、燃料有効長が相対的に長い長尺燃料棒11と、燃料有効長が長尺燃料棒11の約15/24と短い短尺燃料棒12とを用いている。図3に示すように、8本の短尺燃料棒12が燃料集合体の外側から2層目に配置されており、このうち1本が制御棒側に、5本が反制御棒側にそれぞれ配置されている。

30

【0027】

本実施例でも、第1実施例と同様に、炉停止余裕を増大できる。更に、本実施例では以下の効果も得られる。短尺燃料棒は、一般的には軸方向の減速材(水)分布の平坦化に寄与するが、本実施例の場合、反制御棒側に短尺燃料棒12を多く配置したことにより、軸方向に垂直な横断面における減速材分布も平坦化できるので、局所出力分布の平坦化及び冷温時の反応度上昇の低減にも寄与する。これに伴い、熱的余裕も増大できる。

40

【0028】

(実施例3)

次に、図4を用いて本発明による燃料集合体の第3実施例を説明する。図4は第3実施例の横断面図である。本実施例では、第2実施例で分散させて配置していた短尺燃料棒12を、四角筒型の水ロッド21の周囲に集中して配置している。即ち、7本の短尺燃料棒12が水ロッド21に隣接する位置に配置されている。このうち5本の短尺燃料棒12は、反制御棒側の領域に配置されている。

【0029】

本実施例でも、第2実施例と同等の炉停止余裕の増大効果及び局所出力分布の平坦化による熱的余裕の増大効果が得られる。更に、本実施例では、水ロッドの横断面積が実効的に大きくなった場合と同様に、チャンネルボックス内の減速材のボイド率によらず十分な減

50

速効果が得られるため、ボイド係数の絶対値を低減することもできる。

【0030】

(実施例4)

次に、図5を用いて本発明による燃料集合体の第4実施例を説明する。図5は第4実施例の横断面図である。本実施例は、第2実施例で更に燃料棒の平均ウラン濃縮度（以下、単に濃縮度という）の分布を工夫したものである。本実施例の場合、濃縮度が異なる4種類の長尺燃料棒を用いており、濃縮度が約5wt%の燃料棒1と、濃縮度が約4wt%の燃料棒2と、濃縮度が約3wt%の燃料棒3と、濃縮度が約2wt%の燃料棒4とを配置している。燃料棒1aは、第2実施例と同じ短尺燃料棒で、その濃縮度は約5wt%と最高にしている。その他の構成は第2実施例と同じであるので、ここでは説明を省略する。

10

【0031】

図5に示すように、最低濃縮度の燃料棒4が最外層の4つのコーナーに配置され、最外層でコーナー付近の位置には2番目に濃縮度の低い燃料棒3が配置されている。水ロッド21に行方向又は列方向（図5の縦横方向）で隣接する位置には2番目に濃縮度の高い燃料棒2が配置され、水ロッド21に斜め方向で隣接する位置には最高濃縮度の燃料棒1が配置されている。また、燃料集合体の軸方向に垂直な横断面において、対角線13aで分けられた反制御棒側領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度は、制御棒側領域内の燃料棒の平均ウラン濃縮度よりも高くなっている。

【0032】

本実施例でも、第2実施例と同様の効果が得られる。更に、本実施例では、相対的に熱中性子束が少ない反制御棒側領域の平均濃縮度を制御棒側領域よりも高くしたことにより、局所出力分布をより効果的に平坦化できる。

20

【0033】

(実施例5)

次に、図6を用いて本発明による燃料集合体の第5実施例を説明する。図6は第6実施例の横断面図である。本実施例は、第4実施例で更にガドリニア入り燃料棒（以下、Gd燃料棒という）の配置を工夫したものである。Gd燃料棒9は、平均ウラン濃縮度が約4wt%、平均ガドリニア濃度が約5wt%で、16本のGd燃料棒9が設けられている。16本のGd燃料棒9のうち10本が反制御棒側領域に配置され、6本が制御棒側領域に配置されている。また、外側から2層目において、コーナーに配置された燃料棒1a（最高濃縮度の短尺燃料棒）に隣接する8ヶ所の位置にはGd燃料棒9が配置されている。その他の構成は第2実施例と同じであるので、ここでは説明を省略する。

30

【0034】

本実施例でも、第4実施例と同様の効果が得られる。更に本実施例では、Gd燃料棒を反制御棒側領域に多く配置したことにより、制御棒側領域に比べて反制御棒側領域の方が中性子がより多く吸収される。このため、制御棒側領域の熱中性子束を相対的に増大できるので、第4実施例よりも制御棒価値及び炉停止余裕を増大できる。

【0035】

(実施例6)

次に、図7を用いて本発明による燃料集合体の第6実施例を説明する。図7は第6実施例の横断面図である。本実施例は、図4の第3実施例で四角筒型の水ロッド21に代えて円筒型の水ロッド22を配置したものである。水ロッド22の横断面積は、水ロッド21の横断面積よりも小さい。その他の構成は第3実施例と同じであるので、ここでは説明を省略する。

40

【0036】

本実施例でも、第3実施例と同様の効果が得られる。更に本実施例では、第3実施例よりも水ロッドの横断面積を小さくしたことにより、出力運転時の水ロッドによる中性子の無駄な吸収を減らすことができるので、第3実施例よりも中性子経済性を向上することができる。

【0037】

50

(実施例 7)

次に、図 8 を用いて本発明による燃料集合体の第 7 実施例を説明する。図 8 は第 7 実施例の横断面図である。本実施例は、図 1 の第 1 実施例よりも高燃焼度化を図るために、1 行 11 列 (11×11) に燃料棒を配列して、燃料棒の数を増やしたものである。即ち、105 本の燃料棒 11 を 11×11 の正方格子状に配列し、中央部の 4 行 4 列 (4×4) の燃料棒 (16 本の燃料棒) が配置可能な領域に 1 本の四角筒型の水ロッド 23 が配置されている。燃料集合体をその対角線 13a で制御棒側と反制御棒側に領域分けした場合、水ロッド 23 は制御棒側に偏って配置されている。従って、本実施例でも、第 1 の実施例と同等な効果が得られる。

【0038】

10

尚、以上の実施例では核燃料物質として濃縮ウランを用いる例を説明したが、濃縮ウランの一部または全部をプルトニウムを富化したウランに置き換えた燃料を用いても良く、この場合も上記の各実施例と同様な効果が得られる。

【0039】**【発明の効果】**

第 1 及び第 2 の発明によれば、制御棒側水ギャップ幅と反制御棒側水ギャップ幅とがほぼ等しい炉心に燃料集合体を装荷しても、高燃焼度化を図りつつ炉停止余裕を増大できる。第 3 の発明によれば、上記効果に加えて、更に熱的余裕も増大できる。

【0040】

20

第 4 の発明によれば、更にボイド係数の絶対値を低減できる。第 5 の発明によれば、熱的余裕を更に増大できる。第 6 の発明によれば、炉停止余裕を更に増大できる。第 7 の発明によれば、四角筒状の水ロッドを用いた場合に比べて中性子経済性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による燃料集合体の第 1 実施例の横断面図。

【図 2】本発明による燃料集合体の第 1 実施例の概略縦断面図。

【図 3】本発明による燃料集合体の第 2 実施例の横断面図。

【図 4】本発明による燃料集合体の第 3 実施例の横断面図。

【図 5】本発明による燃料集合体の第 4 実施例の横断面図。

【図 6】本発明による燃料集合体の第 5 実施例の横断面図。

【図 7】本発明による燃料集合体の第 6 実施例の横断面図。

30

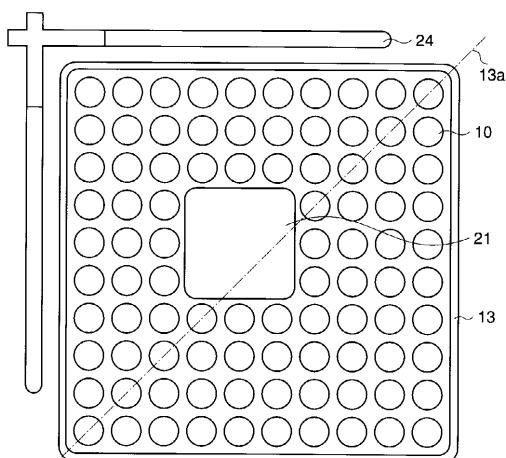
【図 8】本発明による燃料集合体の第 7 実施例の横断面図。

【符号の説明】

1 , 2 , 3 , 4 , 10 ... 燃料棒、1a , 12 ... 短尺燃料棒、9 ... Gd 燃料棒、11 ... 長尺燃料棒、13 ... チャンネルボックス、14 ... 上部タイプレート、15 ... 下部タイプレート、16 ... スペーサ、17 ... チャンネルファスナ、18 ... コーナーポスト、21 , 22 , 23 ... 水ロッド、24 ... 制御棒。

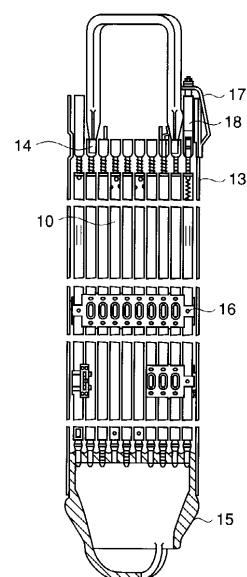
【図 1】

図 1



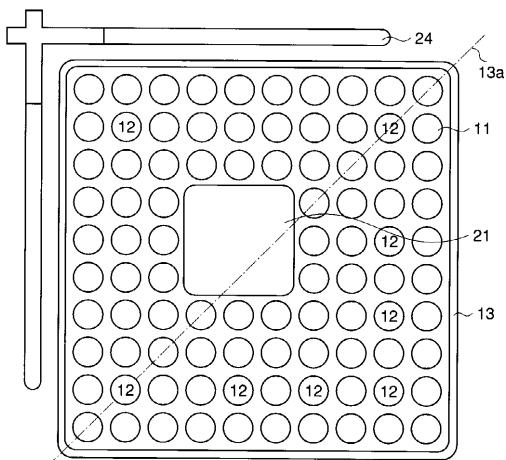
【図 2】

図 2



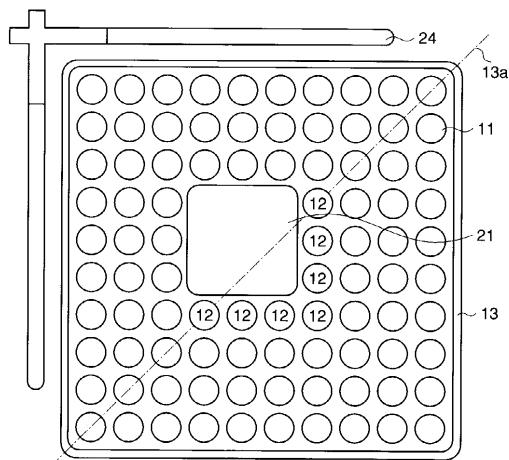
【図 3】

図 3



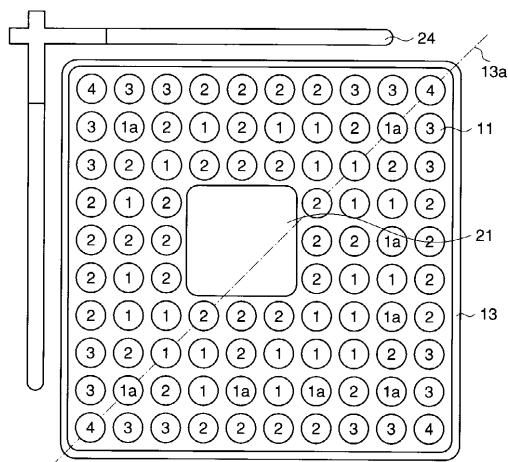
【図 4】

図 4



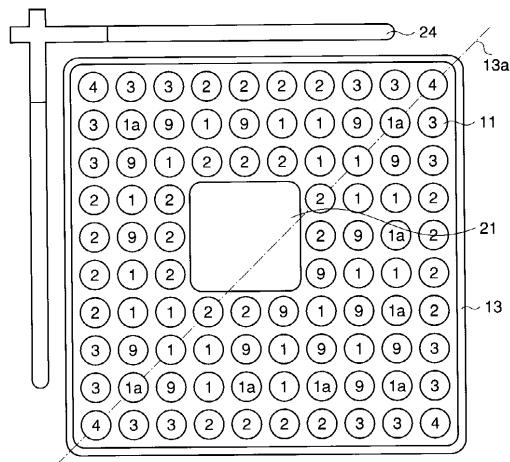
【図5】

図 5



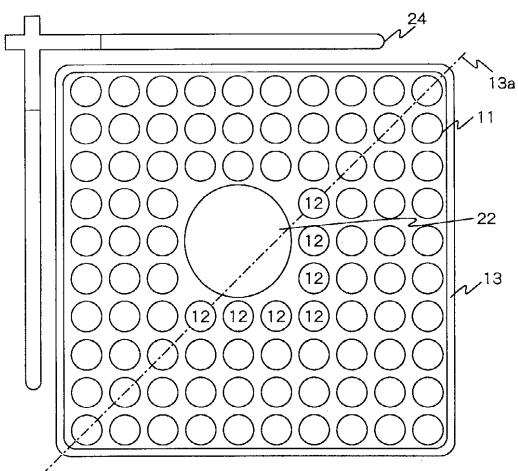
【図6】

図 6



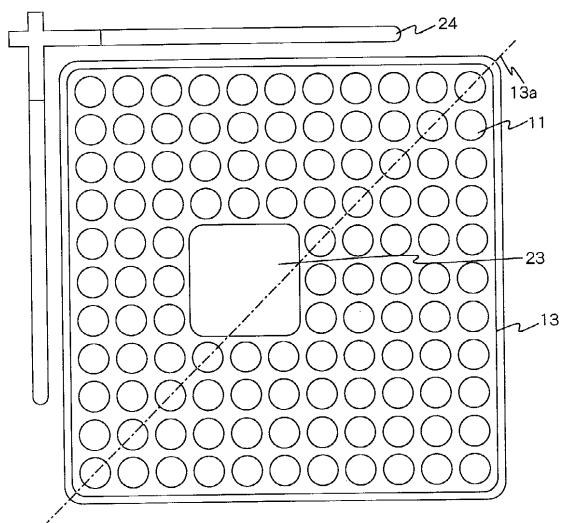
【図7】

図 7



【図8】

図 8



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭64-031091(JP,A)
特開平05-215881(JP,A)
特開平07-209461(JP,A)
特開平08-285977(JP,A)
特開平09-197081(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 3/30-34