

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6522926号  
(P6522926)

(45) 発行日 令和1年5月29日 (2019.5.29)

(24) 登録日 令和1年5月10日 (2019.5.10)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 C 17/108 (2006.01)

G 2 1 C 17/108 1 0 0

G 0 1 T 3/00 (2006.01)

G 0 1 T 3/00 D

請求項の数 5 (全 14 頁)

|           |                              |           |                     |
|-----------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2014-229293 (P2014-229293) | (73) 特許権者 | 000003078           |
| (22) 出願日  | 平成26年11月11日 (2014.11.11)     |           | 株式会社東芝              |
| (65) 公開番号 | 特開2016-90555 (P2016-90555A)  |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号      |
| (43) 公開日  | 平成28年5月23日 (2016.5.23)       | (73) 特許権者 | 317015294           |
| 審査請求日     | 平成29年7月3日 (2017.7.3)         |           | 東芝エネルギーシステムズ株式会社    |
|           |                              |           | 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34  |
|           |                              | (74) 代理人  | 110001092           |
|           |                              |           | 特許業務法人サクラ国際特許事務所    |
|           |                              | (72) 発明者  | 河野 繁宏               |
|           |                              |           | 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  | 伊藤 大二郎              |
|           |                              |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 |
|           |                              |           | 東芝内                 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 中性子測定装置および中性子測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子炉の定格出力より低い領域における中性子強度を測定する中性子測定装置であって、

入射する中性子に対応する出力信号を発する中性子検出器と、  
前記中性子検出器の前記出力信号を増幅し中性子検出信号を出力する前置増幅器と、  
前記中性子検出信号を用いて個別のパルス数を計数するパルス計数法により中性子強度を測定するパルス計数部と、

前記中性子検出信号の交流成分の二乗の時間平均値を算出するキャンベル法により中性子強度を測定するキャンベル測定部と、

前記パルス計数部からの複数の中性子強度および前記キャンベル測定部からの複数の中性子強度を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度の補正用の補正用定数を算出する補正用定数演算部と、

前記補正用定数を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度を補正した補正值を出力する補正值算出部と、

を備えることを特徴とする中性子測定装置。

【請求項 2】

前記補正用定数は、前記パルス計数部において入出力の直線性が得られる領域において、次の式(1)で表現する回帰演算により算出されるゲイン a およびオフセット b であり、前記補正值は、次の式(2)により算出されることを特徴とする請求項 1 に記載の中性

子測定装置。

$$Y = a X + b \quad \dots (1)$$

ただし、Xは前記パルス計数部の出力、Yは同一時点での前記キャンベル測定部の出力を示す。

$$Y' = (Y - b) / a \quad \dots (2)$$

ただし、aは前記ゲイン、bは前記オフセット、Y'は前記補正值を示す。

#### 【請求項3】

前記パルス計数部において入出力の直線性が得られる領域の上限の中性子強度レベル1よりも中性子強度レベルが低い低レベル領域であるか否かを判定する測定領域判定部と、

前記測定領域判定部において低レベル領域であると判定された場合に、前記キャンベル測定部の出力から前記補正值算出部の出力に切り替える信号選択部と、

をさらに備えることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の中性子測定装置。

#### 【請求項4】

前記信号選択部からの出力を入力とし所定の時定数を有する出力フィルタをさらに備えることを特徴とする請求項3に記載の中性子測定装置。

#### 【請求項5】

原子炉の定格出力より低い領域における中性子強度を測定する中性子測定方法であって、

パルス計数法により中性子強度を測定するパルス計数測定ステップと、

パルス計数法において入出力の直線性が成立する領域において、パルス計数部からの複数の中性子強度に対するキャンベル測定部からの複数の中性子強度の関係から前記キャンベル測定部で測定された中性子強度の補正用の補正用定数を演算する補正用定数演算ステップと、

前記補正用定数演算ステップの後に、補正值算出部が、前記補正用定数を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度を補正した補正值を算出する補正值算出ステップと、

を有することを特徴とする中性子測定方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明の実施形態は、中性子を測定する中性子測定装置および中性子測定方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

一般に、沸騰水型原子炉において起動時および停止時の原子炉内の中性子を測定する中性子測定装置には、パルス計数法とキャンベル法を併せて用いている。

#### 【0003】

このような中性子測定装置としては、起動領域モニタ（ワイド・レンジ・モニタとも言う。）がある（例えば特許文献1参照）。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0004】

【特許文献1】米国特許第4493811号明細書

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

上述した起動領域モニタにおいては、異なる2種類の測定方法、即ち、パルス計数法とキャンベル法を組み合わせるため、この2つの測定方法の互いの切り替え点において入出力の直線性がずれないように測定結果を滑らかに接続することが課題であった。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 6 】

図 1 5 は中性子検出器の出力信号をパルス計数法およびキャンベル法で測定し、遷移領域が存在する場合の中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。図 1 5 において、パルス計数法で測定した結果を示す曲線 A とキャンベル法で測定した結果を示す曲線 B のそれぞれが中性子強度に対して入出力直線性を保った部分が重なる範囲をパルス測定法とキャンベル測定法の遷移領域と称している。

## 【 0 0 0 7 】

中性子検出器は、そこに入射する中性子 1 個に対して 1 つのパルス状の信号（パルス信号）を発生する。しかし、中性子強度が高くなって中性子検出器に入射する中性子数が多くなると、もはやパルス信号を 1 つずつ個別に計数することが困難となり、いわゆるパルス計数の飽和状態が発生するため、曲線 A は中性子強度が高くなると直線性が失われる。

10

## 【 0 0 0 8 】

一方、キャンベル法による測定では、パルス信号の重なりで形成される中性子検出器出力信号の交流信号成分を二乗平均して測定を行っているが、中性子強度が低い範囲では中性子検出器信号の交流信号成分よりもバックグラウンドの交流成分の方が大きくなるため、曲線 B は中性子強度が低い範囲では直線性が失われる。

## 【 0 0 0 9 】

パルス計数法で直線性が保たれる上限の中性子強度 1 が、キャンベル法で直線性が保たれる下限の中性子強度 2 よりも十分高くないと十分な範囲の遷移領域を形成することが出来なくなり、パルス計数法からキャンベル法に測定方法を変更する際に測定値を滑らかに接続することが困難であった。

20

## 【 0 0 1 0 】

図 1 6 は、中性子検出器の出力信号をパルス計数法およびキャンベル法で測定し、不連続領域が存在する場合の中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。図 1 6 に示す様に、パルス計数法で直線性が保たれる上限の中性子強度 1 が、キャンベル法で直線性が保たれる下限の中性子強度 2 よりも低い場合、パルス領域とキャンベル領域との間に、パルス計数法でもキャンベル法でも直線性が得られない不連続領域が存在することとなり、2 つの測定結果を接続する際に段差が生じてしまい、曲線 A と曲線 B を滑らかに接続することが困難となる。

## 【 0 0 1 1 】

30

そこで、本発明の実施形態は、従来はパルス計数法で測定していた比較的低い強度の中性子についてもキャンベル法による測定を可能とすることを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 2 】

上述の目的を達成するため、本実施形態は、原子炉の定格出力より低い領域における中性子強度を測定する中性子測定装置であって、入射する中性子に対応する出力信号を発生する中性子検出器と、前記中性子検出器の前記出力信号を増幅し中性子検出信号を出力する前置増幅器と、前記中性子検出信号を用いて個別のパルス数を計数するパルス計数法により中性子強度を測定するパルス計数部と、前記中性子検出信号の交流成分の二乗の時間平均値を算出するキャンベル法により中性子強度を測定するキャンベル測定部と、前記パルス計数部からの複数の中性子強度および前記キャンベル測定部からの複数の中性子強度を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度の補正用の補正用定数を算出する補正用定数演算部と、前記補正用定数を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度を補正した補正値を出力する補正値算出部と、を備えることを特徴とする。

40

## 【 0 0 1 3 】

また、本実施形態は、原子炉の定格出力より低い領域における中性子強度を測定する中性子測定方法であって、パルス計数法により中性子強度を測定するパルス計数測定ステップと、パルス計数法において入出力の直線性が成立する領域において、パルス計数部からの複数の中性子強度に対するキャンベル測定部からの複数の中性子強度の関係から前記キャンベル測定部で測定された中性子強度の補正用の補正用定数を演算する補正用定数演算

50

ステップと、前記補正用定数演算ステップの後に、補正值算出部が、前記補正用定数を用いて前記キャンベル測定部で測定された中性子強度を補正した補正值を算出する補正值算出ステップと、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明の実施形態によれば、従来はパルス計数法で測定していた比較的低い強度の中性子についてもキャンベル法による測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

10

【図2】横軸・縦軸ともに対数目盛で表した場合の、中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。

【図3】パルス領域を横軸・縦軸ともに線形目盛で表した場合の、中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。

【図4】パルス測定値を横軸とし、キャンベル測定値を縦軸とした概念的グラフである。

【図5】中性子測定装置の出力信号と中性子強度の関係を示す概念的グラフである。

【図6】パルス測定法の説明のための信号応答図である。

【図7】中性子検出信号の周波数スペクトルの例を示す概念的スペクトル図である。

【図8】キャンベル測定法の説明のための信号応答図である。

【図9】キャンベル測定法における中性子検出信号の周波数スペクトルの例を示す概念的スペクトル図である。

20

【図10】第1の実施形態に係る中性子測定方法の手順を示すブロック図である。

【図11】第2の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

【図12】第3の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

【図13】第4の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

【図14】第5の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

【図15】中性子検出器の出力信号をパルス計数法およびキャンベル法で測定し、遷移領域が存在する場合の中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。

【図16】中性子検出器の出力信号をパルス計数法およびキャンベル法で測定し、不連続領域が存在する場合の中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。

30

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態に係る中性子測定装置および中性子測定方法について説明する。ここで、互いに同一または類似の部分には、共通の符号を付して、重複説明は省略する。

【0017】

[第1の実施形態]

図1は、第1の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。本実施形態における中性子測定装置101は、原子炉出力が定格出力に近い範囲（出力領域）より低い領域における炉心の中性子強度を測定するものである。中性子測定装置101は、中性子検出器1、前置増幅器2、パルス計数部3、キャンベル測定部4、補正用定数演算部5、および補正值算出部6を有する。

40

【0018】

中性子検出器1は、炉心内に設置されている状態で入射する中性子に対応する出力信号を発する。前置増幅器2は、中性子検出器1の出力信号を増幅して中性子検出信号を出力する。前置増幅器2からの中性子検出信号は、パルス計数部3およびキャンベル測定部4に入力される。

【0019】

パルス計数部3は、前置増幅器2からの中性子検出信号を用いて、個別のパルス数を計数するパルス計数法により中性子強度を測定する。キャンベル測定部4は、前置増幅器2

50

からの中性子検出信号の交流成分の二乗の時間平均値を算出するキャンベル法により中性子強度を測定する。

#### 【 0 0 2 0 】

補正用定数演算部 5 は、パルス計数部 3 の出力およびキャンベル測定部 4 の出力を用いて、後述する方法によって、キャンベル測定部 4 の出力の補正用の補正用定数を算出する。補正值算出部 6 は、補正用定数演算部 5 で算出された補正用定数を用いて、キャンベル測定部 4 の出力を補正し、キャンベル測定部 4 の出力補正值を出力する。

#### 【 0 0 2 1 】

図 2 は、横軸・縦軸ともに対数目盛で表した場合の、中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。横軸は、中性子強度である。縦軸は、パルス計数部 3 の出力およびキャンベル測定部 4 の出力である。図 2 は、中性子強度がパルス計数部 3 の入出力間に直線性がある領域（以下、「低強度領域」という。）の場合であり、パルス計数部 3 の出力を実線 A で、キャンベル測定部 4 の出力を破線 B で示している。

#### 【 0 0 2 2 】

パルス計数部 3 では、したがって、実線 A に示すように中性子強度に比例した出力が得られる。一方、キャンベル測定部 4 では、中性子強度が低下するとともにノイズの影響で、中性子強度の低下に応じた低下がなく、ノイズに対応するレベルが残存する。このノイズは、一般にホワイトノイズが多いが、インバータ負荷等の影響がある場合は高周波ノイズが重畳する。

#### 【 0 0 2 3 】

図 3 は、パルス領域を横軸・縦軸ともに線形目盛で表した場合の、中性子強度に対する測定値の関係を示す概念的グラフである。すなわち、横軸、縦軸の表示する対象は図 2 と同様であるが、表示される目盛のみが図 2 と異なっている。この場合、パルス計数部 3 の出力が実線 A' のように原点を通る直線となる。キャンベル測定部 4 の出力は、原点を通らない直線の破線 B' となる。

#### 【 0 0 2 4 】

図 4 は、パルス測定値を横軸とし、キャンベル測定値を縦軸とした概念的グラフである。キャンベル測定部 4 の出力は、実線 B' のように原点を通らない直線であるので、次の式 ( 1 ) で表される。

$$Y = a X + b \quad ( 1 )$$

ただし、X は中性子強度に対応するパルス計数部 3 の出力、Y は同一時点でのキャンベル測定部 4 の出力、a は中性子強度変化に対するキャンベル測定部 4 の出力の変化割合すなわちゲイン、b は中性子強度がゼロの場合におけるキャンベル測定部 4 の出力すなわちオフセットを示す。

#### 【 0 0 2 5 】

図 4 に示すように、キャンベル法による測定値はある値（縦軸の切片）に上乗せした直線で示される。この縦軸の切片は中性子強度に依存しないバックグラウンドの信号の揺らぎを二乗平均した値に相当する。

#### 【 0 0 2 6 】

これは、以下のように説明できる。すなわち、キャンベル測定法による中性子検出信号を V、中性子検出信号 V の中性子による信号成分を V<sub>s</sub>、バックグラウンドによる信号成分を V<sub>b</sub> とすれば、中性子検出信号 V は次の式 ( 2 ) で表される。

$$V = V_s + V_b \quad ( 2 )$$

#### 【 0 0 2 7 】

V の二乗平均  $\langle V^2 \rangle$  は、十分長い時間間隔 T での演算を用いて、次の式により導かれる式 ( 3 ) のように、V<sub>s</sub> の二乗平均  $\langle V_s^2 \rangle$  と V<sub>b</sub> の二乗平均  $\langle V_b^2 \rangle$  の和で表される。

$$\begin{aligned} \langle V^2 \rangle &= \int V^2 dt / T = \int (V_s + V_b)^2 dt / T \\ &= \left( \int V_s^2 dt + 2 \int V_s V_b dt + \int V_b^2 dt \right) / T \end{aligned}$$

ここで、右辺の第 2 項は、V<sub>s</sub> と V<sub>b</sub> とが互いに相関がないため 0 となるので、

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} \langle V^2 \rangle &= V_s^2 dt / T + V_b^2 dt / T \\ &= \langle V_s^2 \rangle + \langle V_b^2 \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

## 【 0 0 2 8 】

図 5 は、中性子測定装置の出力信号と中性子強度の関係を示す概念的グラフである。キャンベル法で出力すべき値は、オフセット  $b$  を除去した値、すなわち  $aX$  である。

## 【 0 0 2 9 】

いま、低強度領域では、パルス計数部 3 の出力は中性子強度に比例するので、式 ( 1 ) における中性子強度  $X$  を、パルス計数部 3 の出力としても図の関係は崩れない。なお、この際、適切な換算係数が施されているものとする。低強度領域で、パルス計数部 3 の出力とキャンベル測定部 4 の出力の組を、複数の中性子強度について収集する。これらの測定結果の複数の組から、自己回帰直線を得ることにより、式 ( 1 ) の、ゲイン  $a$  およびオフセット  $b$  が算出される。

## 【 0 0 3 0 】

一旦、ゲイン  $a$  およびオフセット  $b$  が得られれば、補正值算出部 6 は、キャンベル測定部 4 の出力を入力として次の式 ( 4 ) により補正して出力補正值を出力することができる。このため、以下、ゲイン  $a$  およびオフセット  $b$  を総称して補正用定数と称する。

$$Y' = (Y - b) / a \quad (4)$$

ただし、 $Y$  はキャンベル測定部 4 の、 $Y'$  は補正值算出部 6 から出力する出力補正值を示す。

## 【 0 0 3 1 】

図 6 は、パルス計数法の説明のための信号応答図である。たとえば、図 6 の場合は、表示された時間間隔において 5 つのパルスが発生している。破線で示す閾値を下回った場合、すなわち絶対値が図 6 で示す閾値の幅である  $S$  値を超えた場合に、パルス計数部 3 がカウントする。図 6 の場合では、それぞれのパルスは、互いに重なることなく、5 回のカウントがなされる。また、図 7 は、中性子検出信号の周波数スペクトルの例を示す概念的スペクトル図である。横軸は周波数、縦軸はそれぞれの周波数における強度である。

## 【 0 0 3 2 】

図 8 は、キャンベル測定法の説明のための信号応答図である。中性子強度が大きくなると、個々のパルス信号が時間的に互いに近接するため、信号が互いに重畳する部分が生ずる。このため、閾値を常に超える状態となり、パルス係数法では中性子強度を測定できない状態となる。この場合の中性子検出信号は、図 8 に示すように、直流成分  $S_1$  と、これを中心を増減する交流成分とに分解できるような信号となる。

## 【 0 0 3 3 】

図 9 は、キャンベル測定法における中性子検出信号の周波数スペクトルの例を示す概念的スペクトル図である。横軸は周波数、縦軸はそれぞれの周波数における強度である。中性子検出信号は、図 8 に示すように個々のパルス信号が重畳した信号である。したがって、キャンベル測定法における中性子検出信号の周波数スペクトル  $F$  は、個々のパルス信号の周波数スペクトル  $E$  が重畳したものである。したがって、図 9 に示すように、キャンベル測定法における中性子検出信号の周波数スペクトル  $F$  は、個々のパルス信号の周波数スペクトル  $E$  を縦軸方向に拡大したものである。

## 【 0 0 3 4 】

以上のように、従来、パルス計数法で測定している中性子検出信号の周波数スペクトル  $E$  と、キャンベル測定法で測定している中性子検出信号の周波数スペクトル  $F$  は、相対的に同一のスペクトルであるといえる。

## 【 0 0 3 5 】

中性子強度と中性子検出信号の二乗平均値  $V_s^2$  との比例関係がパルス領域でも成立することは、中性子検出器の 1 個のパルス出力信号を一定の時間内でランダムに発生させて加算するシミュレーションによって簡単に確認することができる。

## 【 0 0 3 6 】

さらに、バックグラウンドによる信号成分の二乗平均値  $V_b^2$  が中性子強度に依存しない

10

20

30

40

50

ことは自明である。なお、パルス領域の定義より、パルス計数法による測定結果がパルス領域で中性子強度と比例することは明らかである。

【 0 0 3 7 】

したがって、前述の図 4 のようにパルス測定値を横軸とし、キャンベル測定値を縦軸としたグラフにおける縦軸の切片、即ち、バックグラウンドの信号の揺らぎの二乗平均値を測定し、中性子検出信号の二乗平均値から差し引くことにより、中性子による信号成分の二乗平均値を得ることができ、中性子強度と中性子による信号成分の二乗平均値との比例関係がパルス領域においても成立する。

【 0 0 3 8 】

このため、中性子強度をパルス計数法に依らず、キャンベル法だけで広範囲に測定することが可能となり、パルス計数法とキャンベル法の切り替えのための遷移領域の信号処理を行う必要をなくすることができる。

10

【 0 0 3 9 】

図 1 0 は、第 1 の実施形態に係る中性子測定方法の手順を示すブロック図である。

【 0 0 4 0 】

まず、パルス計数部 3 およびキャンベル測定部 4 のそれぞれによって中性子強度を測定する（ステップ S 0 1）。次に、パルス計数部 3 の入出力の直線性が得られる領域、すなわち低強度領域においてのパルス計数部 3 およびキャンベル測定部 4 のそれぞれの出力の複数の組にもとづいて、補正用定数演算部 5 において、補正用定数、すなわちゲイン a およびオフセット b を算出する（ステップ S 0 2）。

20

【 0 0 4 1 】

次に、補正値算出部 6 において、キャンベル測定部 4 の出力値を入力として、補正用定数を用いて出力補正値を算出する（ステップ S 0 3）。

【 0 0 4 2 】

以上のように、従来はパルス計数部 3 でパルス計数法によって測定していた低強度領域の中性子についても、キャンベル測定部 4 が、キャンベル法によって測定することが可能となる。したがって、低強度領域においては、パルス計数部 3 およびキャンベル測定部 4 のいずれもが測定可能となり、両者の出力を比較し異常のないことを確認することができ測定の信頼性が向上する。

【 0 0 4 3 】

30

また、原子炉が初装荷燃料の装荷後に最初に起動する場合は、たとえば毎秒 2 ～ 3 カウント程度の計測が必要であるが、いったん出力上昇を行った後は、炉心内の中性子強度は、たとえば毎秒数百カウント程度となる。したがって、パルス計数部 3 を用いずに、キャンベル測定部 4 の出力を補正した補正値算出部 6 のみを使用することも可能となる。この場合は、出力上昇時のパルス計数部 3 からキャンベル測定部 4 への切り替え、出力下降時のキャンベル測定部 4 からパルス計数部 3 への切り替えのいずれもが不要となる。

【 0 0 4 4 】

以上のように、本実施形態によれば、従来はパルス計数法で測定していた比較的低い強度の中性子についてもキャンベル法による測定が可能となる。

【 0 0 4 5 】

40

[ 第 2 の実施形態 ]

図 1 1 は、第 2 の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。本実施形態は、第 1 の実施形態の変形である。本第 2 の実施形態に係る中性子測定装置 1 0 2 は、測定領域判定部 7 および信号選択部 8 をさらに有する。

【 0 0 4 6 】

測定領域判定部 7 は、中性子検出器 1 が設置されている場所の中性子強度  $n$  に対してパルス計数部 3 のパルス計数値  $X_i$  が直線性を維持できる上限値  $X_{max}$  を予め設定している。上限値の代わりに余裕分を減じた値を  $X_{max}$  としてもよい。測定領域判定部 7 は、パルス計数値  $X_i$  が  $X_{max}$  以下の場合、回帰演算許可信号をオンとして出力する。補正用定数演算部 5 は、前記測定領域判定部 7 から回帰演算許可信号が出力されている場合

50

に、パルス計数部 3 で計数したパルス計数値  $X_i$  と、キャンベル測定部 4 で測定した結果  $Y_i$  との線形回帰直線を演算して、ゲイン  $a$  とオフセット  $b$  および残差を出力する。

$$Y = aX + b$$

【 0 0 4 7 】

補正值算出部 6 は、補正用定数演算部 5 で演算された残差が事前に設定した値以下の場合に、キャンベル測定部 4 の測定結果  $Y_i$  に対して、補正用定数演算部 5 で演算して得られたゲイン  $a$  とオフセット  $b$  を用いて、

$$Y'_{i} = (Y_i - b) / a$$

の補正演算を行って補正值  $Y'_{i}$  を出力すると共に、補正演算完了信号をオンとして出力する。

10

【 0 0 4 8 】

補正演算完了信号の初期値はオフとし、補正值算出部 6 での補正值算出の演算が 1 度でも完了した場合はオン状態を持続する。補正值算出部 6 は、補正演算完了信号がオフの場合は、キャンベル測定部 4 の測定結果  $Y_i$  をそのまま補正值  $Y'_{i}$  として出力する。

【 0 0 4 9 】

信号選択部 8 は、補正值算出部 6 からの信号である補正值  $Y'_{i}$  と、前記パルス計数部 3 からパルス計数値  $X_i$  と、測定領域判定部 7 から回帰演算許可信号と、補正值算出部 6 から補正演算完了信号を入力として受け入れる。回帰演算許可信号がオンで、かつ、補正演算完了信号がオフの場合にのみパルス計数値  $X_i$  を選択して出力し、それ以外の場合、即ち、前記補正演算完了信号がオンか、あるいは、前記回帰演算許可信号がオフの場合には補正值  $Y'_{i}$  を選択して出力する。

20

【 0 0 5 0 】

本実施の形態によれば、中性子測定装置 102 を起動後、最初に補正演算が実施されるまでは、中性子強度が低いパルス領域ではパルス計数値  $X_i$  が出力され、中性子強度が高いキャンベル領域ではキャンベル法による測定結果  $Y_i$  が出力されるが、通常の原子炉では中性子強度は徐々に高くなるので、中性子強度がパルス領域を超えてキャンベル領域に達する前に前記補正演算が実施され、出力信号は補正值  $Y'_{i}$  に切り替わる。

【 0 0 5 1 】

線形回帰直線で得られたゲインとオフセットで補正した補正值  $Y'_{i}$  はパルス計数法の直線性が保持されているパルス領域ではパルス計数値  $X_i$  と同等であるので、パルス計数値  $X_i$  から補正值  $Y'_{i}$  への切り替えは滑らかに行われる。このため、従来のパルス計数法とキャンベル法の切り替え時に問題となっていた遷移領域の信号の不連続性の問題は発生しない。

30

【 0 0 5 2 】

[ 第 3 の実施形態 ]

図 12 は、第 3 の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。本実施形態は、第 2 の実施形態の変形である。本第 3 の実施形態に係る中性子測定装置 103 は、出力フィルタ 9 をさらに有する。出力フィルタ 9 は、信号選択部 8 の後段に設けられている。出力フィルタ 9 は、適切な時定数を有するローパスフィルタである。

【 0 0 5 3 】

40

前記第 2 の実施形態では、測定方法をパルス計数法からキャンベル法に切り替えた際の出力信号の段差を前記線形回帰直線の残差程度にすることができるが、本第 3 の実施形態においては、出力フィルタ 9 を設けることによって、中性子測定装置 103 において測定方法をパルス計数法からキャンベル法に切り替えた際のパルス計数部 3 の出力信号と補正值算出部 6 の出力信号の段差をさらに緩やかに発生させることができる。

【 0 0 5 4 】

[ 第 4 の実施形態 ]

図 13 は、第 4 の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。本実施形態は、第 2 の実施形態の変形である。本第 4 の実施形態に係る中性子測定装置 104 は、信号比較部 10 をさらに有する。

50



## 【 0 0 5 5 】

測定領域判定部 7 でパルス計数値  $X_i$  がパルス計数部 3 で入出力直線性を維持できる上限値  $X_{max}$  よりも小さいと判定した低強度領域において、信号比較部 10 は、補正值算出部 6 の出力信号である補正值  $Y'_i$  とパルス計数部 3 の出力信号であるパルス計数値  $X_i$  の比較を行う。補正值  $Y'_i$  とパルス計数値  $X_i$  の差が、予め設定した規定値を超えた場合に、補正用定数演算部 5 に対して、補正用定数の演算を再度実施する要求を発生する。規定値は、例えば、補正用定数演算部 5 で演算した際の残差の 3 倍程度とする。

## 【 0 0 5 6 】

補正用定数演算部 5 は、中性子測定装置 104 が初期化された場合、あるいは、信号比較部 10 から補正用定数演算を再度実施する要求が発生された場合のみ、補正用定数の演算を実施する。このため、補正值算出部 6 の補正演算で使用する補正用定数が頻繁に変化することがなくなるので出力信号が安定する。

10

## 【 0 0 5 7 】

## [ 第 5 の実施形態 ]

図 14 は、第 5 の実施形態に係る中性子測定装置の全体構成を示すブロック図である。

## 【 0 0 5 8 】

本第 5 の実施形態においては、補正用定数の演算は、オフラインで別途実施する。この結果を、キャンベル測定部 4 が記憶していることにより、単純な構成の中性子測定装置 105 におけるキャンベル法による測定領域を低い中性子強度の領域まで拡張することができる。

20

## 【 0 0 5 9 】

## [ その他の実施形態 ]

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。また、各実施形態の特徴を組み合わせてもよい。

## 【 0 0 6 0 】

さらに、これらの実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。

## 【 0 0 6 1 】

これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

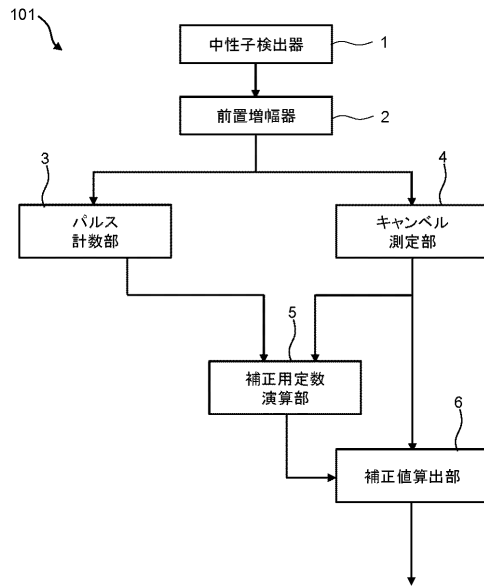
30

## 【 符号の説明 】

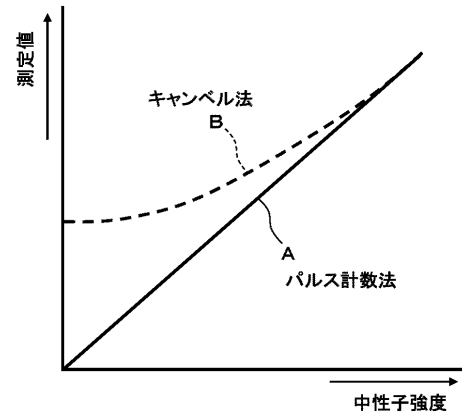
## 【 0 0 6 2 】

1 ... 中性子検出器、2 ... 前置増幅器、3 ... パルス計数部、4 ... キャンベル測定部、5 ... 補正用定数演算部、6 ... 補正值算出部、7 ... 測定領域判定部、8 ... 信号選択部、9 ... 出力フィルタ、10 ... 信号比較部、101、102、103、104、105 ... 中性子測定装置

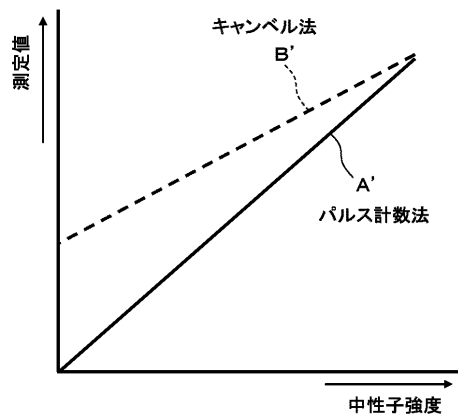
【図 1】



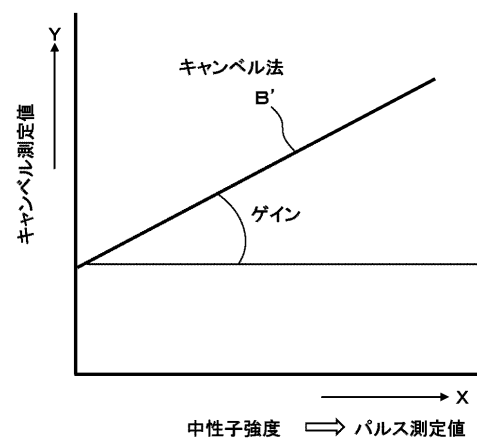
【図 2】



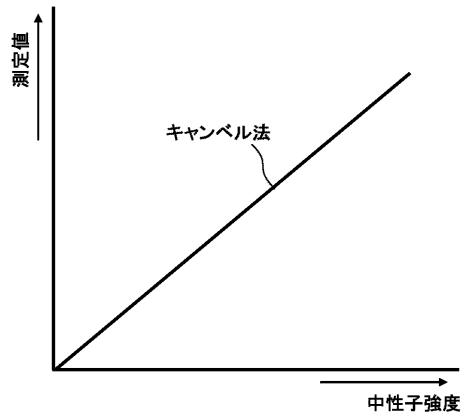
【図 3】



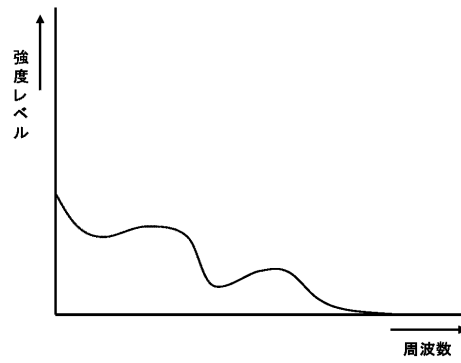
【図 4】



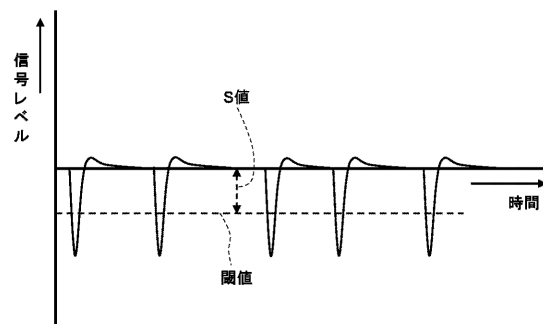
【図 5】



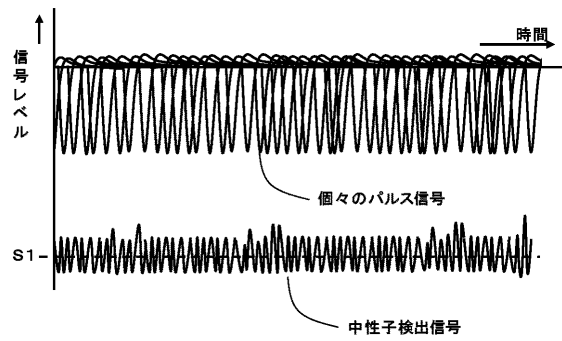
【図 7】



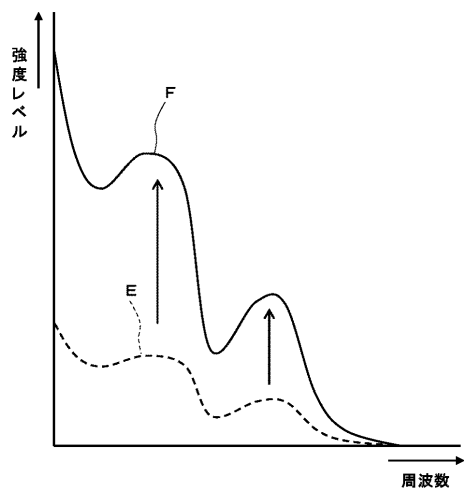
【図 6】



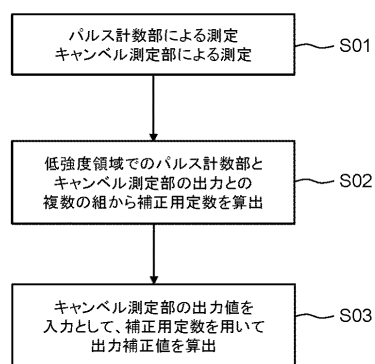
【図 8】



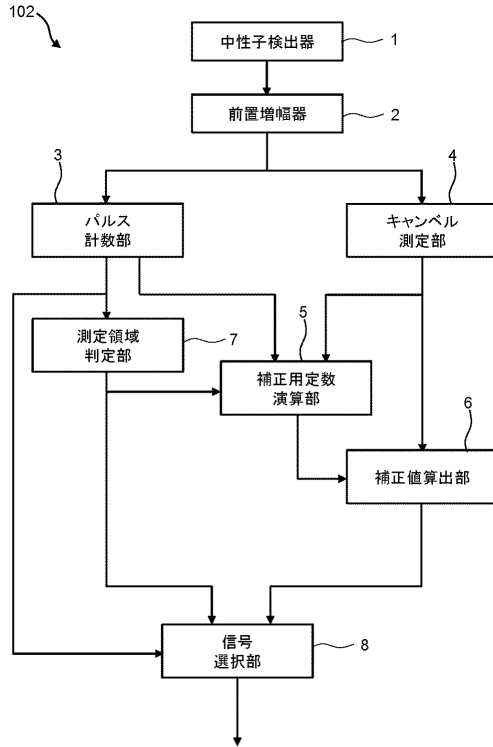
【図 9】



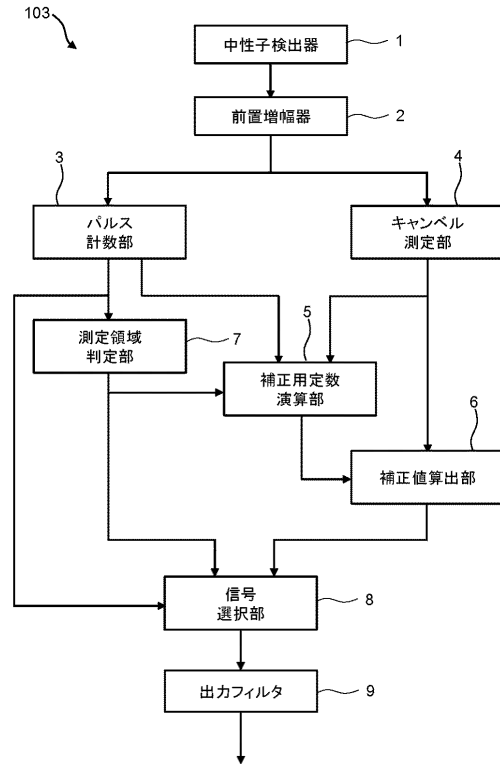
【図 10】



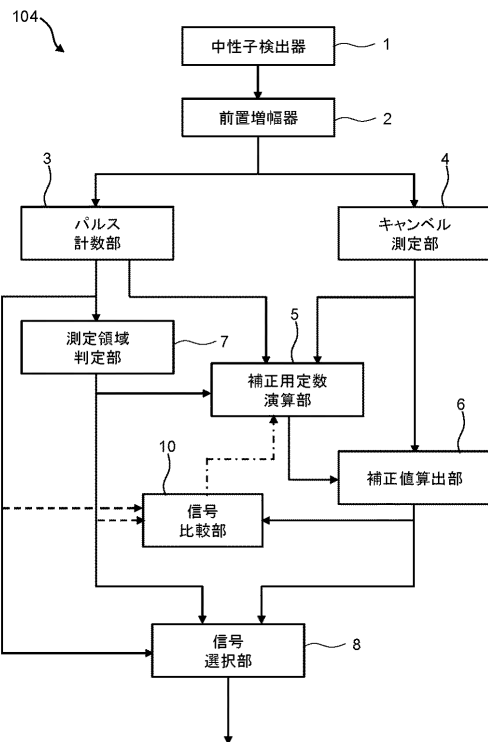
【図 1 1】



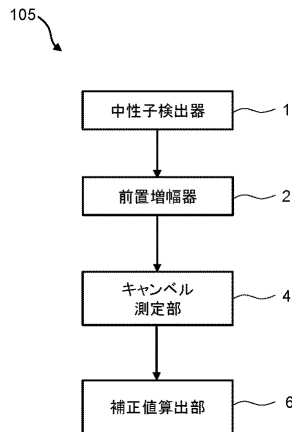
【図 1 2】



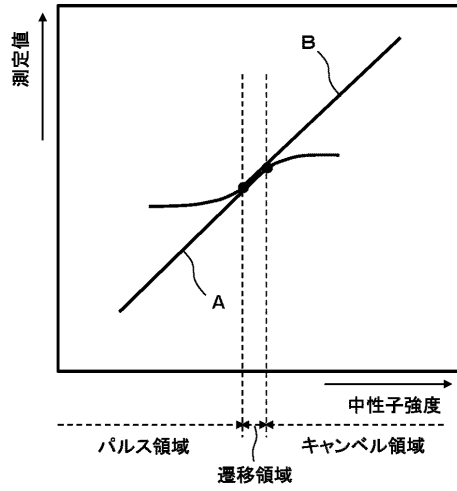
【図 1 3】



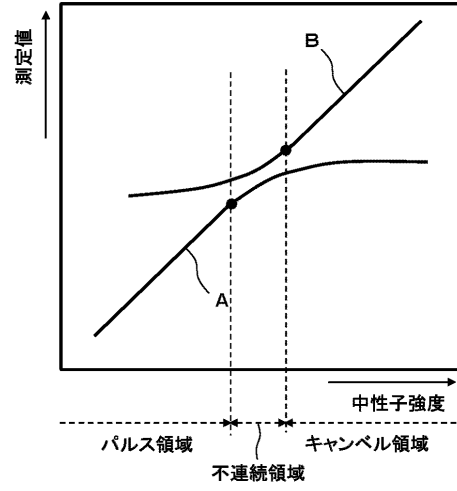
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



## フロントページの続き

- (72)発明者 富高 真  
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 熊谷 剛  
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 梅村 憲弘  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 鳥居 祐樹

- (56)参考文献 特開2002-357692(JP,A)  
特開2015-040720(JP,A)  
特開2015-200634(JP,A)  
特開平09-133773(JP,A)  
特開昭64-088179(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

|         |             |   |             |
|---------|-------------|---|-------------|
| G 0 1 T | 1 / 0 0     | - | 1 / 1 6     |
| G 0 1 T | 1 / 1 6 7   | - | 7 / 1 2     |
| G 2 1 C | 1 7 / 0 0   | - | 1 7 / 0 0 3 |
| G 2 1 C | 1 7 / 0 1 3 |   |             |
| G 2 1 C | 1 7 / 0 2   |   |             |
| G 2 1 C | 1 7 / 0 2 5 |   |             |
| G 2 1 C | 1 7 / 0 3 2 | - | 1 7 / 1 0   |
| G 2 1 C | 1 7 / 1 0 8 |   |             |
| G 2 1 C | 1 7 / 1 2   | - | 1 7 / 1 4   |