

(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2013-148430

(P2013-148430A)

(43) 公開日 平成25年8月1日(2013.8.1)

(51) Int.Cl.  
G21C 17/108 (2006.01)

F I  
G21C 17/10 GDBH

テーマコード(参考)  
2G075

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-8416 (P2012-8416)  
(22) 出願日 平成24年1月18日 (2012.1.18)

(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 100149803  
弁理士 藤原 康高  
(72) 発明者 四條 徹  
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 柳澤 正隆  
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 宮崎 禎司  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内  
Fターム(参考) 2G075 AA03 DA01 FB05 FB09 FC04 FC14

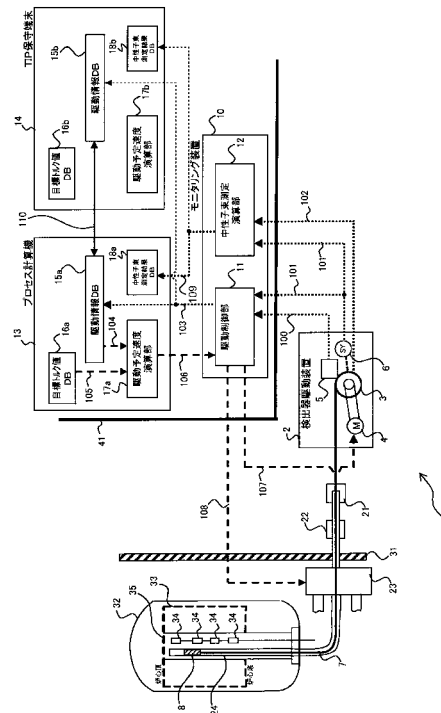
(54) 【発明の名称】 移動式原子炉出力測定装置およびその移動式検出器の駆動方法

(57) 【要約】

【課題】 移動式原子炉出力測定装置において、移動式中性子検出器を案内管内で適切な速度で移動させる。

【解決手段】 移動式原子炉出力測定装置1は、中性子検出器8と、中性子検出器8を接続するケーブル7と、ケーブル7を収納するリール3と、ケーブル7をリール3へ巻き取り、リール3から送り出すモータ4と、駆動予定速度で中性子検出器を移動させる駆動制御部11と、駆動トルクを測定するトルクセンサ5と、第1の閾値および第2の閾値を記憶するトルク曲線DB16と、駆動トルクを駆動速度とともに駆動情報として記憶する駆動情報DB15と、過去駆動トルクが第1の閾値から超過する部分は過去駆動速度を減少させ、過去駆動トルクが第2の閾値未満の部分は過去駆動速度を増加させて駆動予定速度として算出する駆動予定速度演算部17とを備える。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

原子炉内に設けられた複数の案内管内部の挿入位置において前記原子炉内の放射線を測定する移動式検出器と、  
この移動式検出器を一端に接続するケーブルと、  
このケーブルを巻き取り収納するリールと、  
前記ケーブルを前記リールへ巻き取りし、かつ前記ケーブルを前記リールから送り出しするモータと、  
このモータに駆動指令を与え、前記案内管内において駆動予定速度で前記移動式検出器を移動させる駆動制御部と、  
前記移動式検出器を移動させる駆動トルクを測定するトルクセンサと、  
複数の前記案内管ごとの各挿入位置について第 1 の閾値および第 2 の閾値を記憶するトルク曲線データベースと、  
前記トルクセンサから前記駆動トルクを受信し、この駆動トルクを前記駆動制御部が前記移動式検出器を移動させた駆動速度とともに、前記案内管ごとの各挿入距離についての駆動情報として記憶する駆動情報 DB と、  
前記駆動情報 DB 内の過去駆動情報を用いて、前記案内管ごとの各挿入距離について過去駆動トルクが前記第 1 の閾値から超過する部分は過去駆動速度を減少させ、前記過去駆動トルクが前記第 2 の閾値未満の部分は前記過去駆動速度を増加させた速度を前記駆動予定速度として設定する駆動予定速度演算部とを備えることを特徴とする移動式原子炉出力測定装置。

10

20

**【請求項 2】**

前記駆動予定速度演算部は、前記第 1 の閾値と前記第 2 の閾値に代えて、目標トルク曲線を用い、  
前記案内管ごとの各挿入距離について駆動トルクが前記目標トルク曲線から超過する部分について前記駆動速度を減少させ、駆動トルクが前記目標トルク曲線未満の部分では前記駆動速度を増加させた速度を駆動予定速度として設定することを特徴とする請求項 1 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

**【請求項 3】**

前記駆動制御部は、前記移動式検出器の駆動中において、さらに前記駆動トルクをアラーム発生用上限閾値と比較し、前記駆動トルクが前記アラーム発生用上限閾値を上回るときにアラームを発生させることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

30

**【請求項 4】**

前記駆動制御部は、前記移動式検出器の駆動中において、さらに前記駆動トルクを駆動停止用上限閾値と比較し、前記駆動トルクが前記駆動停止用上限閾値を上回るときに前記移動式検出器を再挿入することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

**【請求項 5】**

前記駆動制御部は、前記移動式検出器の再挿入時に前記駆動予定速度より遅い速度で駆動することを特徴とする請求項 4 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

40

**【請求項 6】**

所定速度分遅くした速度でなお前記駆動トルクが前記駆動停止用上限閾値を上回るときには前記移動式検出器の駆動を中止することを特徴とする請求項 5 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

**【請求項 7】**

前記駆動制御部は、前記移動式検出器の再挿入時に前記駆動予定速度と同じ速度で駆動することを特徴とする請求項 4 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

**【請求項 8】**

前記駆動制御部は、再挿入時に所定回数を超えて前記駆動トルクが前記駆動停止用上限

50

閾値を上回るときには前記移動式検出器の駆動を中止することを特徴とする請求項 7 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

【請求項 9】

前記トルク曲線データベースと、前記駆動情報 DB と、前記駆動予定速度演算部とを各々有するプロセス計算機と保守端末をさらに備え、このプロセス計算機または移動式原子炉出力測定装置保守端末のうちいずれか一方の前記駆動予定速度演算部によって前記駆動予定速度を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 の何れか一項に記載の移動式原子炉出力測定装置。

【請求項 10】

前記プロセス計算機と前記保守端末内の前記駆動情報 DB は、前記駆動情報を送受信して互いの記憶内容を更新して同期し、互いの前記駆動情報 DB を最新に保つことを特徴とする請求項 9 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

10

【請求項 11】

前記駆動予定速度演算部は、前記案内管の挿入区間を制御区間に分割し、各々の制御区間内の前記前回駆動トルクのうち最大値を用いて、各制御区間について前記駆動予定速度を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 の何れか一項に記載の移動式原子炉出力測定装置。

【請求項 12】

前記駆動予定速度演算部は、前記案内管の挿入区間を制御区間に分割し、各々の制御区間内の前記前回駆動トルクの平均値を用いて、各制御区間について前記駆動予定速度を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 の何れか一項に記載の移動式原子炉出力測定装置。

20

【請求項 13】

原子炉内に設けられた複数の案内管内部の挿入位置において前記原子炉内の放射線を測定する移動式検出器と、この移動式検出器を一端に接続するケーブルと、このケーブルを巻き取り収納するリールと、前記ケーブルを前記リールへ巻き取りし、かつ前記ケーブルを前記リールから送り出しするモータと、このモータに駆動指令を与え、前記案内管内において駆動予定速度で前記移動式検出器を移動させる駆動制御部と、前記中移動式検出器を移動させる駆動トルクを測定するトルクセンサと、前記トルクセンサから前記駆動トルクを受信し、この駆動トルクを前記駆動制御部が前記移動式検出器を移動させた駆動速度とともに、前記案内管ごとの各挿入距離についての駆動情報として記憶する駆動情報 DB と、前記駆動情報 DB 内の過去駆動情報を用いて、次回駆動時の駆動予測トルクを予測し、この駆動予測トルクが所定の値を超えた場合に当該案内管番号および挿入位置を表示モニタに表示させることを特徴とする移動式原子炉出力測定装置。

30

【請求項 14】

前記保守情報演算表示装置における前記保守情報の表示のタイミングは、個別の前記案内管内の前記移動式検出器の移動完了直後であることを特徴とする請求項 13 に記載の移動式原子炉出力測定装置。

40

【請求項 15】

移動式検出器を一端に接続したケーブルをリールへ巻き取り、送り出して前記移動式検出器を駆動予定速度で移動させる工程と、前記移動式検出器および前記ケーブルを前記案内管内で移動させる駆動トルクを測定する工程と、前記トルクセンサから前記駆動トルクを受信し、この駆動トルクを前記駆動制御部が前記移動式検出器を移動させた駆動速度とともに、前記案内管ごとの各挿入距離についての駆動情報として記憶する工程と、

50

前記駆動情報DB内の過去の前記駆動情報を用いて、前記案内管ごとの各挿入距離について過去駆動トルクが第1の閾値から超過する部分は過去駆動速度を減少させ、前記過去駆動トルクが第2の閾値未満の部分は前記過去駆動速度を増加させた速度を前記駆動予定速度として設定する工程とを備えることを特徴とする移動式検出器の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、案内管内部で移動式検出器を移動させて原子炉内の出力を測定する移動式原子炉出力測定装置およびその移動式検出器の駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に沸騰水型原子炉には、炉内に複数の局所出力領域モニタ (Local Power Range Monitor。以下、LPRMと称す。) が設けられている。LPRMは、中性子照射によって内部の電極に設けられた核分裂物質が核分裂を起こし、その際に放出される電離物質を電気信号として測定することによって炉内の中性子束を測定する。しかし、電極の核分裂物質は中性子照射によって消費され、LPRMの感度は時間経過とともに低下するため、正確な炉内の中性子束を計測するために、LPRMの感度を適時校正する必要がある。

【0003】

また加圧水型原子炉においても、原子炉圧力容器の外周面に固定中性子検出器が設けられ、炉内の中性子束分布を計測しているが、上述したLPRMと同様に感度が時間経過とともに低下するため、固定中性子検出器の感度を校正する必要がある。

【0004】

そこで、LPRMや固定中性子検出器の校正のために、沸騰水型原子炉および加圧水型原子炉には移動式原子炉出力測定装置が設けられるものがある。この移動式原子炉出力測定装置のうち、沸騰水型原子炉に設けられるものは、Traversing Incore Probe (以下、TIP検出器と称す。) と呼ばれる移動式中性子検出器を原子炉内の案内管内で移動させながら、LPRMが設置されている位置付近の中性子束を計測する。このTIP検出器の中性子束の計測結果を用いて、LPRMの感度の校正を行う。加圧水型原子力発電所においても、原子炉内の案内管内で移動式中性子検出器を移動させて中性子束を計測し、固定中性子検出器の感度の校正を行う。

【0005】

移動式原子炉出力測定装置は、ケーブルの一端に移動式検出器を取り付け、モータによってケーブルをリールから送り出し、またはリールへ巻き取ることによって、移動式検出器を案内管内で移動させる。移動式検出器は、原子炉出力を測定するため、炉内の中性子やガンマ線等の炉内の放射線を検出する。

【0006】

案内管内部は、移動式検出器およびケーブルの移動時の摩擦を軽減するために潤滑剤がコーティングされている。しかしながら、移動式検出器およびケーブルを移動させる駆動トルクが適正値を超過すると、過度な摩擦が生じて移動式検出器およびケーブルならびに案内管が損傷する可能性がある。

【0007】

したがって、駆動トルクを計測し、移動式検出器およびケーブルと案内管内部との摩擦抵抗を監視することが求められる。そこで、移動式検出器の検出器駆動装置のモータ軸にトルクセンサを取り付け、駆動トルクを自動的に計測する技術が開発されている (例えば、特許文献1参照。 )。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2002-71483号公報

10

20

30

40

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0009】

上述した特許文献1に記載の技術は、摩擦抵抗の監視に用いる駆動トルクの閾値は、駆動トルクが最大となる案内管の挿入端での駆動トルクを基準に一定値として設定されている。しかしながら、移動式検出器を案内管の奥へ送り出すほど、ケーブルと案内管の接触面積は増加し、駆動トルクは増加し、さらに駆動トルクは駆動速度増加に従って増加する。したがって、案内管の各挿入位置において適切な駆動トルクを生じさせる適切な駆動速度を設定することはできず、過度に速い駆動速度での移動による異常な摩擦の発生や、過度に遅い速度での移動による時間コストの増加を招く可能性があった。

10

## 【0010】

そこで本発明は、移動式検出器を案内管内で適切な速度で移動させることができる移動式原子炉出力測定装置の提供を目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

上記目的を達成するために、本発明の移動式原子炉出力測定装置は、原子炉内に設けられた複数の案内管内部の挿入位置において原子炉の放射線を測定する移動式検出器と、この移動式検出器を一端に接続するケーブルと、このケーブルを巻き取り収納するリールと、ケーブルをリールへ巻き取りし、かつリールから送り出しするモータと、このモータに駆動指令を与え、案内管内において駆動予定速度で移動式検出器を移動させる駆動制御部と、移動式検出器を移動させる駆動トルクを測定するトルクセンサと、複数の案内管ごとの各挿入位置についての第1の閾値および第2の閾値を記憶するトルク曲線データベースと、トルクセンサから駆動トルクを受信し、この駆動トルクを駆動制御部が移動式検出器を移動させた駆動速度とともに、案内管ごとの各挿入距離についての駆動情報として記憶する駆動情報DBと、駆動情報DB内の過去の駆動情報を用いて、案内管ごとの各挿入距離について過去駆動トルクが前記第1の閾値から超過する部分は過去駆動速度を減少させ、過去駆動トルクが第2の閾値未満の部分は過去駆動速度を増加させた速度を駆動予定速度として設定する駆動予定速度演算部とを備えることを特徴とする。

20

## 【0012】

さらに上記目的を達成するために、本発明の移動式検出器の駆動方法は、移動式検出器を一端に接続したケーブルをリールへ巻き取り、送り出して移動式検出器を駆動予定速度で移動させる工程と、移動式検出器およびケーブルを案内管内で移動させる駆動トルクを測定する工程と、トルクセンサから駆動トルクを受信し、この駆動トルクを駆動制御部が移動式検出器を移動させた駆動速度とともに、案内管ごとの各挿入距離についての駆動情報として記憶する工程と、駆動情報DB内の過去の駆動情報を用いて、案内管ごとの各挿入距離について過去駆動トルクが第1の閾値から超過する部分は過去駆動速度を減少させ、過去駆動トルクが第2の閾値未満の部分は過去駆動速度を増加させた速度を前記駆動予定速度として算出する工程とを備えることを特徴とする。

30

## 【発明の効果】

## 【0013】

本発明によれば、移動式原子炉出力測定装置において、移動式検出器を案内管内で適切な速度で移動させることができる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0014】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の概略構成図。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の前回駆動トルクと閾値1および閾値2との比較を示すグラフ。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の駆動予定速度の算出方法を示すグラフ。

【図4】本発明の第2の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の前回駆動トルクと目

50

標トルク曲線との比較を示すグラフ。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の駆動予定速度の算出方法を示すグラフ。

【図6】本発明の第3の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の概略構成図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態を説明する。

【0016】

(第1の実施形態)

(構成)

以下、本発明の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置について図1乃至図3を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の概略構成図である。

【0017】

図1は、一般的な沸騰水型原子炉を示している。原子炉格納容器31内には原子炉圧力容器32が設けられ、原子炉圧力容器32内のうち核燃料が装荷される部位が炉心33である。複数のLPRM検出器34は、炉心33内に設けられる。複数の案内管24は、それぞれLPRM検出器34近傍に設けられる(図1は、複数の案内管24のうち1つを代表して示す。)

【0018】

移動式原子炉出力測定装置1は、検出器駆動装置2と、ケーブル7と、TIP検出器8と、モニタリング装置10と、プロセス計算機13と、TIP保守端末14とから構成される。検出器駆動装置2は、リール3と、モータ4と、トルクセンサ5と、検出器位置信号発生器6とから構成される。また、モニタリング装置10と、プロセス計算機13と、TIP保守端末14は、中央制御室41内に設けられる。

【0019】

モニタリング装置10は、駆動制御部11と、中性子束測定演算部12を有する。プロセス計算機13は、駆動情報データベース(DB)15aと、目標トルクDB16aと、駆動予定速度演算部17aと、中性子束測定結果DB18aとを有する。TIP保守端末14は、駆動情報DB15bと、目標トルクDB16bと、駆動予定速度演算部17bと、中性子束測定結果DB18bとを有する。

【0020】

プロセス計算機13は、プラント内に設けられたセンサから信号を受信してプラントの状態を監視および制御する機能を有する機器である。TIP保守端末14は、校正作業に関してはプロセス計算機13と同様の監視および制御の機能を有し、プロセス計算機13の保守中にプロセス計算機13に代えて校正作業を行うことができる。

【0021】

移動式原子炉出力測定装置1の検出器駆動装置2は、原子炉格納容器31の外に設置される。ケーブル7の一端をTIP検出器8に接続し、ケーブル7の他端をリール3に接続する。モータ4によってケーブル7をリール3から送り出し、リール3へ巻き取りできるように、リール3とモータ4を接続する。リール3とモータ4には、プーリやギヤ、クラッチ等を適宜設けることができる。さらにトルクセンサ5は、ケーブル7およびTIP検出器8をリール3へ巻き取りし、送り出しする際の駆動トルクを測定するように設けられる。

【0022】

検出器位置信号発生器6は、リール3のケーブル7の巻き取り長さを検出する装置である。検出器位置信号発生器6は、ケーブル7の巻き取り長さを検出し、検出器位置信号101として送信することができる。

【0023】

さらに駆動制御部11は、駆動指令107をモータ4に送信し、索引指令108を索引

10

20

30

40

50

装置 2 3 に送信できるように、駆動制御部 1 1 とモータ 4 および索引装置 2 3 とが接続される。さらに、駆動制御部 1 1 は、トルクセンサ 5 から駆動トルク情報 1 0 0 を受信し、検出器位置信号発生器 6 から検出器位置信号 1 0 1 を受信することができるように、駆動制御部 1 1 はトルクセンサ 5 および検出器位置信号発生器 6 に接続される。

#### 【 0 0 2 4 】

T I P 検出器 8 は、測定した中性子束を示す検出器出力信号 1 0 2 をケーブル 7 内の信号伝送線を通して出力することができる。T I P 検出器 8 は、ケーブル 7 を介して中性子束測定演算部 1 2 に検出器出力信号 1 0 2 を送信することができるように、ケーブル 7 と中性子束測定演算部 1 2 は接続される。さらに、中性子束測定演算部 1 2 は、検出器位置信号発生器 6 から検出器位置信号 1 0 1 を受信することができるように、中性子束測定演算部 1 2 と検出器位置信号発生器 6 とが接続される。

10

#### 【 0 0 2 5 】

原子炉格納容器 3 1 外において、T I P 検出器 8 を格納し、待機させておくための遮蔽容器 2 1 が設けられる。また、原子炉格納容器 3 1 外であって、遮蔽容器 2 1 より内側にバルブアセンブリ 2 2 が設けられる。さらに、原子炉格納容器 3 1 内に索引装置 2 3 が設けられる。遮蔽容器 2 1 およびバルブアセンブリ 2 2 ならびに索引装置 2 3 を配管によって連通し、この配管内部で遮蔽容器 2 1 からバルブアセンブリ 2 2 を通って索引装置 2 3 へ T I P 検出器 8 を移動させることができる。する。また、バルブアセンブリ 2 2 は、案内管 2 4 内のガスをパージする弁や、緊急時に配管を切断する切断弁等を有し、さらに中性子束の非測定時には配管を閉鎖する。

20

#### 【 0 0 2 6 】

索引装置 2 3 には複数の案内管 2 4 が接続される。案内管 2 4 は、それぞれ索引装置 2 3 から原子炉圧力容器 3 2 の下方へ向かい、湾曲した後、原子炉圧力容器 3 2 の底部を貫通して炉心 3 3 内へ該垂直に立ち上がるように形成される。

#### 【 0 0 2 7 】

中央制御室 4 1 内において、モニタリング装置 1 0 内の駆動制御部 1 1 は、プロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末 1 4 内の駆動予定速度演算部 1 7 a、1 7 b の各々から駆動予定速度情報 1 0 6 を受信することができるように、駆動制御部 1 1 はプロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末 1 4 に接続される。さらに駆動制御部 1 1 は、現在駆動情報 1 0 3 を駆動情報 D B 1 5 a、1 5 b に送信することができるように接続される（図 1 は、プロセス計算機 1 3 と駆動制御部 1 1 との接続関係のみを示す。）。

30

#### 【 0 0 2 8 】

駆動予定速度演算部 1 7 a、1 7 b は、それぞれ駆動情報 D B 1 5 a、1 5 b から前回駆動情報 1 0 4 を受信し、目標トルク D B 1 6 a、1 6 b から目標トルク情報 1 0 5 を受信することができるように、駆動予定速度演算部 1 7 a、1 7 b は、駆動情報 D B 1 5 a、1 5 b および 1 6 a、1 6 b と接続される。

#### 【 0 0 2 9 】

中性子束測定演算部 1 2 は、中性子束測定情報 1 0 9 を中性子束測定結果 D B 1 8 a、1 8 b に送信することができるように、中性子束測定演算部 1 2 と中性子束測定結果 D B 1 8 a、1 8 b とが接続される。さらに、プロセス計算機 1 3 内の駆動情報 D B 1 5 a と T I P 保守端末 1 4 内の駆動情報 D B 1 5 b は、相互に D B 同期情報 1 1 0 を送受信することができるように接続される。

40

#### 【 0 0 3 0 】

(作用)

以下、本発明の第 1 の実施形態の作用について説明する。まず、移動式原子炉出力測定装置 1 による中性子束計測方法について説明し、駆動予定速度の算出方法については後述する。移動式原子炉出力測定装置 1 は、中性子束計測方法ならびに駆動予定速度の算出をプロセス計算機 1 3 と T I P 保守装置 1 4 の何れかを用いて行う。以下、プロセス計算機 1 3 を用いて中性子束計測および駆動予定速度の算出を行う場合を代表して説明する。

#### 【 0 0 3 1 】

50

通常、TIP検出器8は遮蔽容器21内に格納され待機している。中性子束計測を行うとき、駆動制御部11は駆動予定速度演算部17aから駆動予定速度情報106を受信する。駆動予定速度情報106には、各案内管24の各挿入位置においてTIP検出器8を移動させるべき速度である駆動予定速度が示されている。

【0032】

駆動制御部11は、モータ4に駆動指令107を送信して回転駆動し、ケーブル7をリール3から送り出し、遮蔽容器21内に待機させていたTIP検出器8を索引装置23へ移動させる。さらに駆動制御部11は、索引指令108を索引装置23に送信し、索引装置23に中性子束を計測すべき案内管24へTIP検出器8を索引させる。

【0033】

駆動制御部11は、モータ4をさらに駆動してTIP検出器8を案内管24内に導入する。駆動制御部11は、検出器位置信号発生器6から検出器位置信号101を受信して案内管24内のTIP検出器8の挿入位置を認識し、この位置において駆動予定速度情報106が示す駆動予定速度でTIP検出器8を移動させる。

【0034】

TIP検出器8は、案内管24内を移動しながら所定位置において中性子束の計測を行い、ケーブル7を通して、検出器出力信号102を中性子束測定演算部12へ送信する。また、中性子束測定演算部12は、検出器位置信号発生器6から検出器位置信号101を受信する。

【0035】

中性子束測定演算部12は、受信した検出器出力信号102および検出器位置信号101を用いて、各所定位置の中性子束測定結果を中性子束測定情報109として中性子束測定DB18a、18bに送信し、これを記憶させる。この中性子束測定情報109は、LPRM検出器34の校正に用いられる。

【0036】

駆動制御部11は、案内管24内の挿入端である炉心頂までTIP検出器8を移動させた後、モータ4を逆回転させてケーブル7をリール3に巻き取り、TIP検出器8を索引装置23まで戻す。さらに他の案内管24においても中性子束計測を行う場合には、駆動制御部11は索引指令108を索引装置23に送信して他の案内管24へTIP検出器8を索引させ、他の案内管24内でTIP検出器8を移動させて中性子束の計測を行う。

【0037】

全ての中性子束を計測すべき案内管24内でのTIP検出器8の移動が終わった後、モータ4によってリール3にケーブル7を巻き取り、再びTIP検出器8を遮蔽装置21内に格納し、待機させる。

【0038】

次に、移動式原子炉出力測定装置1のTIP検出器8の駆動予定速度の算出方法について説明する。図2は、本発明の第1の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の前回駆動トルクと閾値1および閾値2を示すグラフである。図2に示す閾値1、閾値2は、それぞれ駆動速度低減用閾値、駆動速度増加用閾値であり、駆動予定速度の算出に用いる。また閾値3、閾値4はそれぞれアラーム発生用上限閾値、駆動停止用上限閾値であり、後述するアラームの発生およびTIP検出器8の駆動停止に用いる。

【0039】

ここで閾値1～4は、案内管24の形状ならびに長さが案内管24ごとに異なるため、各案内管24ごとにあらかじめ設定される。さらにTIP検出器8の案内管24への挿入距離に応じて主にケーブル7と案内管24の接触面積が増加し、駆動トルクは増加する。したがって、閾値1、閾値2はそれぞれTIP検出器8の挿入距離に比例して増加するように設定される。

【0040】

閾値1および閾値2の算出方法の一例を説明する。まず、TIP検出器8の挿入を従来の駆動速度 $V_a(x)$ で行い、各挿入位置 $x$ における駆動トルク値 $T_a(x)$ を測定する

10

20

30

40

50



。次に、TIP検出器の挿入を従来より10%速い駆動速度 $V_b(x)$ ( $=1.1 \times V_a(x)$ )で行い、各挿入位置 $x$ における駆動トルク値 $T_b(x)$ を測定する。一般に駆動速度 $V$ が増加するにつれ、駆動トルク $T$ も増加する。各挿入位置 $x$ における従来駆動速度 $V_a(x)$ に対する駆動トルク $T_a(x)$ の増加割合を $r(x)$ とすると、(式1)の関係が成立する。

【0041】

$$\begin{aligned} T_b(x) - T_a(x) &= r(x) \times (V_b(x) - V_a(x)) \\ &= r(x) \times (1.1 \times V_a(x) - V_a(x)) \dots (\text{式1}) \end{aligned}$$

そして、(式1)を変形した(式2)を用いて、 $r(x)$ を各挿入位置について算出する。

【0042】

$$r(x) = 10 \times (T_b(x) - T_a(x)) / V_a(x) \dots (\text{式2})$$

さらにTIP検出器8が炉心頂( $x = top$ )にある場合において、駆動トルクがモータ4の最大トルクの80%となる時の値を炉頂上限トルク $Thi(top)$ とする。炉頂上限トルク $Thi(top)$ は、TIP検出器8の挿入端である炉心頂における閾値1の値となる。炉心頂において(式1)を用いると(式3)のように表される。

【0043】

$$Thi(top) = T_a(top) + r(top) \times (V_{hi} - V_a(top)) \dots (\text{式3})$$

$V_a(top)$ : 炉心頂における従来の駆動速度

$T_a(top)$ : 炉心頂における駆動速度 $V_a(top)$ における駆動トルク値

$r(top)$ : 炉心頂における駆動速度 $V_a(top)$ に対する駆動トルク値 $T_a(top)$ の増加割合

$V_{hi}$ : 炉心頂において駆動トルクが $Thi(top)$ であるときの駆動速度

さらに炉心頂において駆動トルクが $Thi(top)$ であるときの駆動速度 $V_{hi}$ を(式3)を変形して(式4)で算出する。

【0044】

$$V_{hi} = V_a(top) + (Thi(top) - T_a(top)) / r(top) \dots (\text{式4})$$

さらに各挿入位置においてTIP検出器8を駆動速度 $V_{hi}$ 一定で駆動したときの駆動トルク値 $Thi(x)$ を求め、平滑化することによって閾値1を得る。 $Thi(x)$ は(式3)を各挿入位置についてあてはめた(式5)で算出することができる。

【0045】

$$Thi(x) = T_a(x) + r(x) \times (V_{hi} - V_a(x)) \dots (\text{式5})$$

また、TIP検出器8が炉心頂にある場合の駆動トルク値が駆動モータの最大トルク値の60%を炉頂下限トルク $Tlo(top)$ とする。炉頂下限トルク $Tlo(top)$ は、TIP検出器8の挿入端である炉心頂における閾値2の値となる。 $Tlo(top)$ における駆動速度 $Vlo$ を(式6)を用いて算出する。

【0046】

$$Vlo = V_a(top) + (Tlo(top) - T_a(top)) / r(top) \dots (\text{式6})$$

さらに、各挿入位置において駆動速度 $Vlo$ で駆動したときの駆動トルク $Tlo(x)$ を(式7)によって算出し、平滑化することによって閾値2を得る。

【0047】

$$Tlo(x) = T_a(x) + r(x) \times (Vlo - V_a(x)) \dots (\text{式7})$$

さらに引抜きについても同様の手順によって閾値1、閾値2を算出することによって、挿入時と引抜き時に駆動トルクが異なる場合に、挿入時と引抜き時のそれぞれの閾値1および閾値2を設定することができる。また、案内管24のうち原子炉圧力容器32下方の湾曲形状部位では、垂直に立ち上がる部位に比べて駆動トルクがより増大するため、湾曲

10

20

30

40

50

形状部位における閾値 1、2 は広く設定してもよい。

【0048】

閾値 3、閾値 4 は、例えばモータ 4 の最大駆動トルクの 90% の値を閾値 3、最大駆動トルクの 95% の値を閾値 4 として設定することができる。閾値 1 ~ 4 は、目標トルク情報 105 として目標トルク DB 16 a、16 b に記憶される。

【0049】

プロセス計算機 13 内の駆動予定速度演算部 17 a は、目標トルク DB 16 a から目標トルク情報 105 を受信し、さらに駆動情報 DB 15 a から前回校正時の駆動トルクならびに駆動速度である前回駆動トルクおよび前回駆動速度を前回駆動情報 104 として受信する。駆動予定速度演算部 17 a は、閾値 1、2 と前回駆動トルクを比較して、前回駆動速度を増減させて駆動予定速度を算出する。

10

【0050】

図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の駆動予定速度の算出方法を示すグラフである。図 2 に示す区間 A では、前回駆動トルクが閾値 2 より小さく駆動トルクに余裕があるため、図 3 に示すように区間 A での駆動予定速度を前回駆動速度より速く設定する。図 2 に示す区間 B では、前回駆動トルクが閾値 1 と閾値 2 の間であるため、適正駆動トルクと判断され、図 3 に示すように区間 B での駆動予定速度は前回駆動速度と同じとする。図 2 に示す区間 C では、前回校正時の駆動トルクが閾値 1 より大きいいため、図 3 に示すように区間 C での駆動予定速度を前回駆動速度より遅く設定する。

【0051】

20

上述した駆動予定速度の算出は、挿入区間を微小な制御区間に分割して行うことができる。各制御区間内で前回駆動トルク、および閾値 1、2 は各制御区間内では一定値として、この制御区間単位で前回駆動トルクと閾値 1、2 と比較し、制御区間単位で駆動予定速度を算出するものとする。

【0052】

駆動速度の増減幅は、次の計算式にもとづいて算出する。

【0053】

$$V = \{ (T_0 - T_1) / T_0 \} \times V_1 \times W \cdots (式 8)$$

$$V_2 = V_1 + V \cdots (式 9)$$

T 1 : 前回駆動トルク                      V : 駆動速度の増減幅                      T 0 : 駆動トルク閾値変数

30

W : 重み係数                      V 1 : 前回駆動速度                      V 2 : 駆動予定速度

各制御区間において、駆動トルク閾値変数 T 0 は、前回駆動トルク T 1 が閾値 1 より大きい場合は閾値 1 の値とし、閾値 2 より小さい場合は閾値 2 の値とする。前回駆動トルク T 1 が閾値 2 以上閾値 1 以下の場合は、駆動トルク閾値変数 = 前回駆動トルク T 1 とする。重み係数 W は、駆動予定速度の極端な速度変化を防止するための係数であり、値の範囲は  $0 < W < 1.0$  とし、必要に応じて調整する。また、各制御区間における前回駆動トルクのうち最大値を用いて駆動予定速度の算出を行うことによって、安全性を高めることができる。

【0054】

駆動予定速度演算部 17 a は、案内管 24 ごとの各制御区間について駆動予定速度を算出して駆動予定速度情報 106 として駆動制御部 11 に送信する。このとき、駆動予定速度情報 106 には閾値 3 および閾値 4 が付加される。

40

【0055】

駆動制御部 11 は、駆動予定速度情報 106 に基づいてモータ 4 に駆動指令 107 を送信して T I P 検出器 8 を駆動予定速度情報 106 が示す駆動予定速度で移動させる。駆動制御部 11 による T I P 検出器 8 の移動中に、トルクセンサ 5 は駆動トルクを測定して駆動トルク情報 100 として駆動制御部 11 に送信する。

【0056】

駆動制御部 11 は、駆動トルク情報 100 を受信し、駆動トルクを閾値 3 および閾値 4 と比較する。駆動トルクが閾値 3 を超過した場合、駆動制御部 11 はプロセス計算機 13

50

および T I P 保守端末 1 4 にアラーム信号を送信し（図示せず。）、プロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末 1 4 によって異常警報を発する。

【 0 0 5 7 】

また、駆動トルクが閾値 4 を超過した場合、所定距離だけ T I P 検出器 8 を戻し、より遅い速度で再挿入を行う。再挿入時の駆動トルクが閾値 4 を下回ればそのまま校正動作を継続する。再挿入時の駆動トルクが閾値 4 を上回った場合は、再度 T I P 検出器 8 を戻し、さらに遅い速度で再挿入を行う。所定速度分遅くした速度でなお駆動トルクが閾値 4 を上回る場合は T I P 検出器 8 の駆動を中止する。T I P 検出器 8 の引抜き時にも同様に閾値 4 を下回るように速度調整が行われる。

【 0 0 5 8 】

または、T I P 検出器 8 の駆動中に駆動トルクが閾値 4 を上回った場合において、T I P 検出器 8 の駆動を一旦停止し一定区間だけ後退させた後、同じ駆動速度で再挿入してもよい。再挿入時の駆動トルクが閾値 4 を下回った場合は、そのまま T I P 検出器 8 の駆動を継続し、校正作業を実施する。再挿入時の駆動トルク値が閾値 4 を上回った場合は、再び T I P 検出器 8 の駆動を一旦停止し一定区間だけ後退させた後、再び同じ駆動速度で再挿入を行う。再挿入を繰り返す回数は、同じ制御区間に対してあらかじめ定められた回数までとし、これを超えた場合は T I P 検出器 8 の駆動を中止する。この場合、より高速に T I P 検出器 8 の挿入が実施できる可能性がある。なお上述した再挿入手順は、引抜き時にも同様に実施することができる。

【 0 0 5 9 】

さらに駆動制御部 1 1 は、検出器位置信号 1 0 1 および駆動トルク情報 1 0 0、ならびに自己が T I P 検出器 8 を駆動した駆動速度を用いて、案内管 2 4 の各挿入位置において駆動トルクおよび駆動速度を対応付け、現在駆動情報 1 0 3 として駆動情報 D B 1 5 a、1 5 b に送信して記憶させ、次回以降の駆動予定速度の算出に用いる。

【 0 0 6 0 】

D B 同期信号 1 1 0 の送受信によってプロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末内 1 4 内の駆動情報 D B 1 5 a、1 5 b 内の互いのデータは最新内容に更新され、同期する。さらに、プロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末 1 4 が互いに D B 同期信号 1 1 0 の信号断絶や相手系の異常発生を検知することによって、プロセス計算機 1 3 および T I P 保守端末 1 4 のうち正常な機器を選択し、切換えて上述した駆動予定速度の算出ならびに中性子束測定を行うことができる。

【 0 0 6 1 】

（効果）

本発明の実施形態によれば、プロセス計算機 1 3 または T I P 保守端末 1 4 によって駆動トルクを閾値 1 と閾値 2 の間に収めるように駆動予定速度を算出し、T I P 検出器 8 を移動させることによって駆動速度を最適化し、安全かつ高速に中性子束測定を行うことができる。また、駆動トルクの超過により T I P 検出器 8 の駆動停止が発生しても、T I P 検出器 8 の停止と再挿入によって校正作業を可能な限り継続させることができる。

【 0 0 6 2 】

なお、前回駆動トルクは、各制御区間における最大値に代えて、制御区間内の駆動トルク値の平均値を適用することもできる。この場合、駆動トルクの最大値を適用する場合に比べて極端な制御に陥りにくく、安定度の高い制御を行うことができる。

【 0 0 6 3 】

（第 2 の実施形態）

（構成）

以下、本発明の第 2 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置について図 4 または図 5 を参照して説明する。第 1 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の各部と同一部分には同一符号を付し、同一の構成についての説明は省略する。

【 0 0 6 4 】

図 4 は、本発明の第 2 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の前回駆動トルクと

10

20

30

40

50

目標トルク曲線を示すグラフである。第 2 の実施形態が第 1 の実施形態と異なる点は、駆動予定速度の算出において閾値 1、2 に代えて目標トルク曲線を用いる点である。

【0065】

図 4 に示す目標トルク曲線は、上述した閾値 1 および閾値 2 と同様の手順で求めることができる。TIP 検出器 8 が炉心頂にある場合において駆動トルク値が駆動モータの最大トルク値の 70% を炉頂中間トルク  $T_{mid(top)}$  とし、 $T_{mid(top)}$  における駆動速度  $V_{mid}$  を算出する。

【0066】

$V_{mid} = V_a(top) + (T_{mid(top)} - T_a(top)) / r(top) \cdot \cdot \cdot$  (式 10)

10

さらに、各挿入位置  $x$  において駆動速度  $V_{mid}$  一定で駆動したときの駆動トルク値  $T_{mid}(x)$  を (式 11) によって算出し、平滑した曲線が目標トルク値曲線として得られる。

【0067】

$T_{mid}(x) = T_a(x) + r(x) \times (V_{mid} - V_a(x)) \cdot \cdot \cdot$  (式 11)  
(作用)

以下、本発明の第 2 の実施形態の作用について説明する。図 5 は、本発明の第 2 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の駆動予定速度の算出方法を示すグラフである。プロセス計算機 13 内の駆動予定速度演算部 17a は、図 4 に示す区間 D では、前回駆動トルクが目標トルク曲線より小さく駆動トルクに余裕があるため、図 5 に示すように区間 D での駆動予定速度を前回駆動速度よりも速く設定する。また図 4 に示す区間 E では、前回校正時の駆動トルクが目標トルク曲線より大きいため、図 5 に示すように区間 E での駆動予定速度を前回駆動速度より遅く設定する。駆動予定速度の増減幅は、上述した (式 1)、(式 2) にもとづいて制御区間単位で算出する。また、 $T_0$  は当該制御区間における目標トルクカーブとする。

20

【0068】

(効果)

本発明の第 2 の実施形態によれば、駆動トルクを目標トルク曲線に近づけるように駆動予定速度を算出することによって、より最適値に近づくように TIP 検出器 8 の制御をすることができ、安全性と高速性をより高めることができる。

30

【0069】

(第 3 の実施形態)

(構成)

以下、本発明の第 3 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置について図 6 を参照して説明する。第 1 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の各部と同一部分には同一符号を付し、同一の構成についての説明は省略する。

【0070】

図 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係る移動式原子炉出力測定装置の概略構成図である。第 3 の実施形態が第 1 の実施形態と異なる点は、プロセス計算機 13 と、TIP 保守端末 14 がそれぞれ保守情報演算表示装置 19a、19b を有する点である。保守情報演算表示装置 19a、19b はそれぞれ駆動情報 DB 15a、15b から保守情報信号 111 を受信することができるように接続される。

40

【0071】

(作用)

以下、本発明の第 3 の実施形態の作用について説明する。以下、プロセス計算機 13 内の保守情報演算表示装置 19a に保守情報を表示させる場合を代表して説明する。

【0072】

保守情報演算表示装置 19a は、駆動情報 DB 15a から保守情報信号 111 を受信する。保守情報信号 111 には、過去複数回分の案内管 24 ごとの駆動トルクが示される。保守情報演算表示装置 19a は、駆動トルクの履歴を元に、個別の案内管 24 ごとに次回

50

校正時の駆動トルクの予測値を計算する。ここで、次回校正時の駆動トルクの予測値は、例えば前回と前々回校正時のトルク値を元に制御区間ごとに線形予測することによって計算することができる。

【0073】

予測値が上述した図2に示す閾値4を超える場合は案内管番号と該当挿入位置を保守情報演算表示装置19aのディスプレイやプロジェクタによって表示する。保守情報演算表示装置19aにおける保守情報の表示のタイミングは、個別の案内管24内のTIP検出器8の移動完了直後とすることで、即座に保守が必要な案内管24を特定することができる。

【0074】

(効果)

本発明の第3の実施形態によれば、駆動トルクの予測値にもとづいて保守が必要な案内管番号と挿入位置を表示することにより、案内管24の保守作業を効率的に行なうことができる。

【0075】

なお、本発明の実施形態は上述した第1から第3の実施形態に限られないことは言うまでもない。例えば、遮蔽容器21、バルブアセンブリ22、索引装置23の設置位置は、原子力発電所の設計基準や設計要求によって適宜変更されうるものである。また加圧水型原子炉は、LPRM検出器34に代えて固定中性子検出器が原子炉压力容器の外周に設けられる点を除いて沸騰水型原子炉と同様の構成であり、加圧水型原子炉にも上述した実施形態を適用することができる。さらに沸騰水型原子炉や加圧水型原子炉には案内管を原子炉压力容器の上部から貫通して設けるものが考えられる。この場合、移動式検出器を案内管内部において原子炉压力容器の上部から炉心頂を通して炉底へ移動するように挿入して中性子束を測定する。このとき、上述した駆動トルクは炉底に向かうにつれ増大するため、閾値1および閾値2ならびに目標トルク曲線は炉底に向かうにつれ増大するように設定される。

【0076】

また移動式検出器として、上述した中性子を測定するTIP検出器8に代えて、ガンマ線を測定することができるガンマサーモメータをケーブル7に接続することによって、炉内の放射線としてガンマ線を測定することによって原子炉の出力を測定し、固定中性子検出器等の校正をすることができる。さらにTIP検出器8に代えて検出器をケーブル7に接続することによって原子炉内の線や線を測定する構成としてもよい。

【0077】

また、閾値1および閾値2は、個別の案内管24ごとにプラント定期検査の際に測定した正常状態の駆動トルクカーブを平滑化した曲線を目標トルク曲線とし、一定値を加算したものを閾値1、一定値を減算したものを閾値2としてもよい。その他、閾値1および閾値2ならびに目標トルク曲線は、シミュレーションや原寸模型による実験によって得られた最適値を適用することもできる。

【0078】

また、駆動予定速度の算出には、前回校正時の前回駆動トルクおよび前回駆動速度を示す前回駆動情報104を用いるだけでなく、前々回校正時の駆動トルクおよび駆動速度や、前回と前々回を平均した駆動トルクおよび駆動速度等の過去駆動トルクおよび過去駆動速度であれば、いずれの駆動トルクおよび駆動速度も適用することができる。

【0079】

さらに、同型の他のプラントにおける過去の駆動情報を駆動情報DB15a、15bに読み込ませることによって、自己のプラントの過去駆動情報を蓄積せずに駆動速度の最適化を行うこともできる。また、上述した駆動予定速度の算出は、案内管24の全挿入区間について行うだけでなく、所定の離間した挿入位置のみについて行ってもよい。なお、上述した第1から第3の実施形態は適宜組み合わせることができる。

【符号の説明】

10

20

30

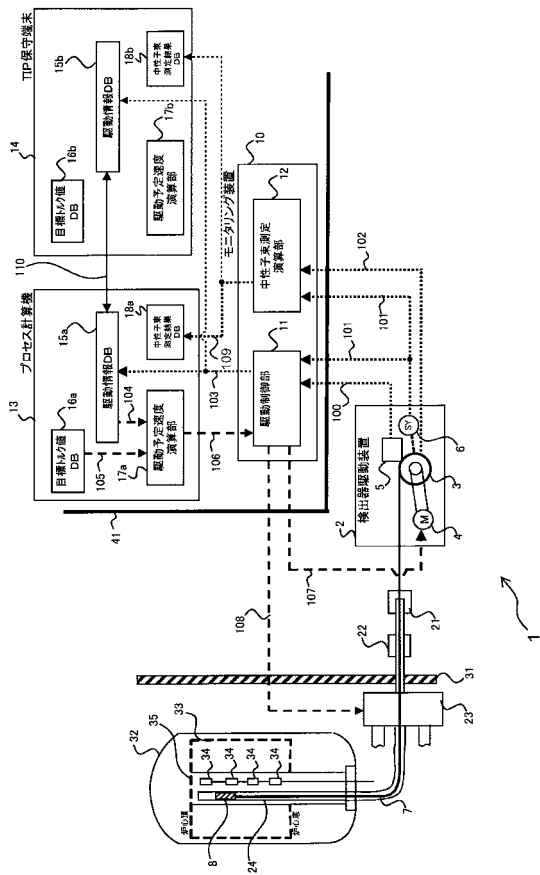
40

50

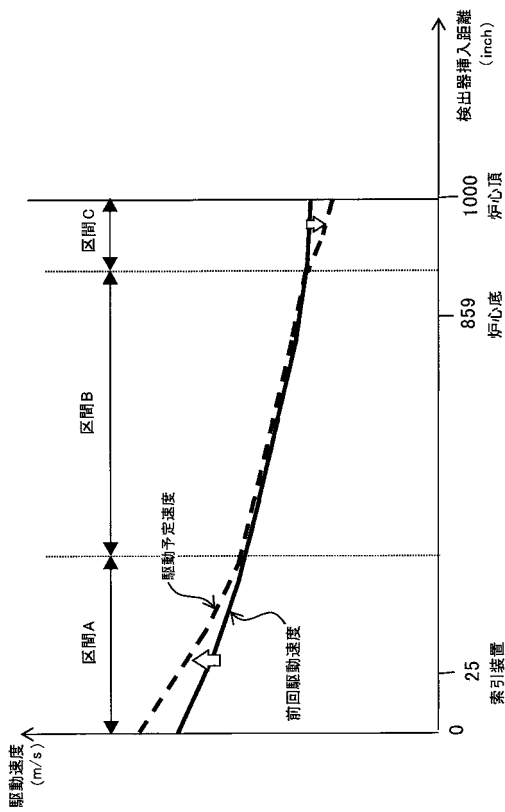
## 【 0 0 8 0 】

1 . . .	移動式原子炉出力測定装置	
2 . . .	検出器駆動装置	
3 . . .	リール	
4 . . .	モータ	
5 . . .	トルクセンサ	
6 . . .	検出器位置信号発生器	
7 . . .	ケーブル	
8 . . .	T I P 検出器	
9 . . .	駆動制御装置	10
1 0 . . .	モニタリング装置	
1 1 . . .	駆動制御部	
1 2 . . .	中性子束測定演算部	
1 3 . . .	プロセス計算機	
1 4 . . .	T I P 保守端末	
1 5 a、b . . .	駆動情報 D B	
1 6 a、b . . .	目標トルク D B	
1 7 a、b . . .	駆動予定速度演算部	
1 8 a、b . . .	中性子束測定結果 D B	
1 9 a、b . . .	保守情報演算表示装置	20
2 1 . . .	遮蔽容器	
2 2 . . .	バルブアセンブリ	
2 3 . . .	索引装置	
2 4 . . .	案内管	
3 1 . . .	原子炉格納容器	
3 2 . . .	原子炉圧力容器	
3 3 . . .	炉心	
3 4 . . .	L P R M 検出器	
3 5 . . .	検出器集合体	
4 1 . . .	中央制御室	30
1 0 0 . . .	駆動トルク信号	
1 0 1 . . .	検出器位置信号	
1 0 2 . . .	検出器出力信号	
1 0 3 . . .	現在駆動情報	
1 0 4 . . .	前回駆動情報	
1 0 5 . . .	目標トルク情報	
1 0 6 . . .	駆動予定速度情報	
1 0 7 . . .	モータ駆動指令	
1 0 8 . . .	索引指令	
1 0 9 . . .	中性子束測定情報	40
1 1 0 . . .	D B 同期信号	
1 1 1 . . .	保守情報信号	

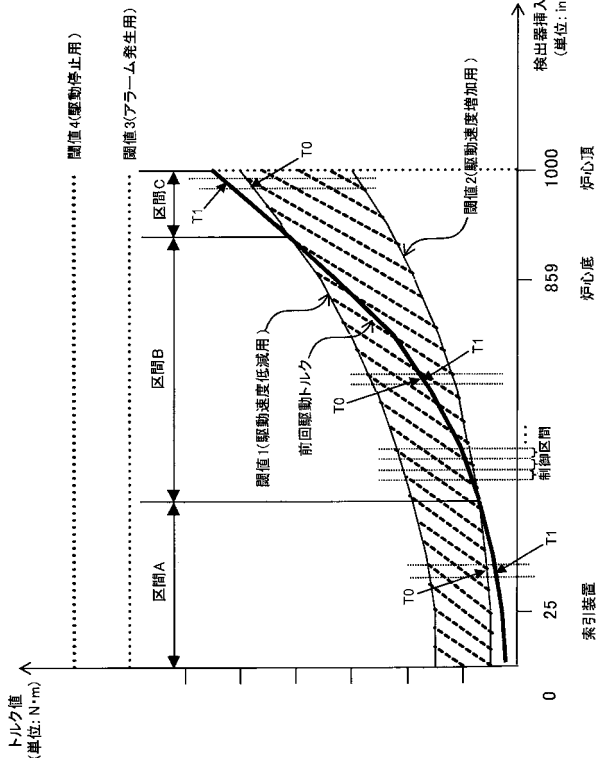
【図 1】



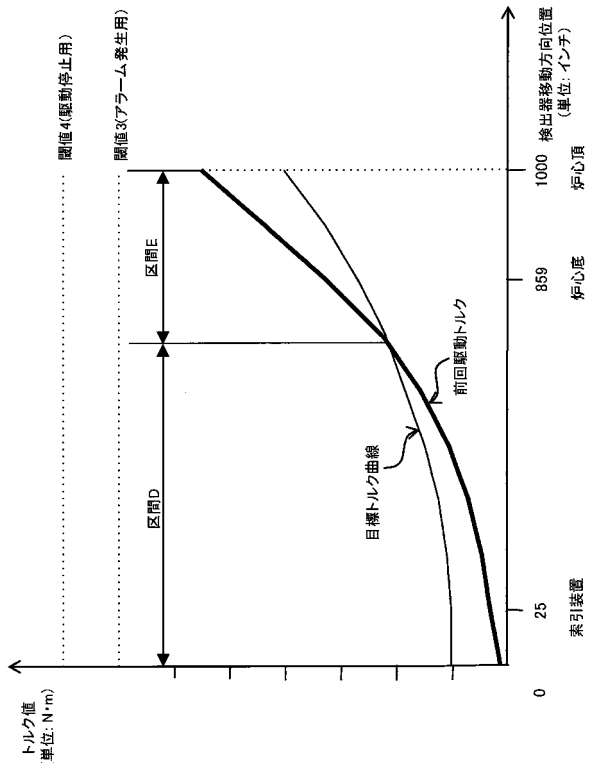
【図 3】



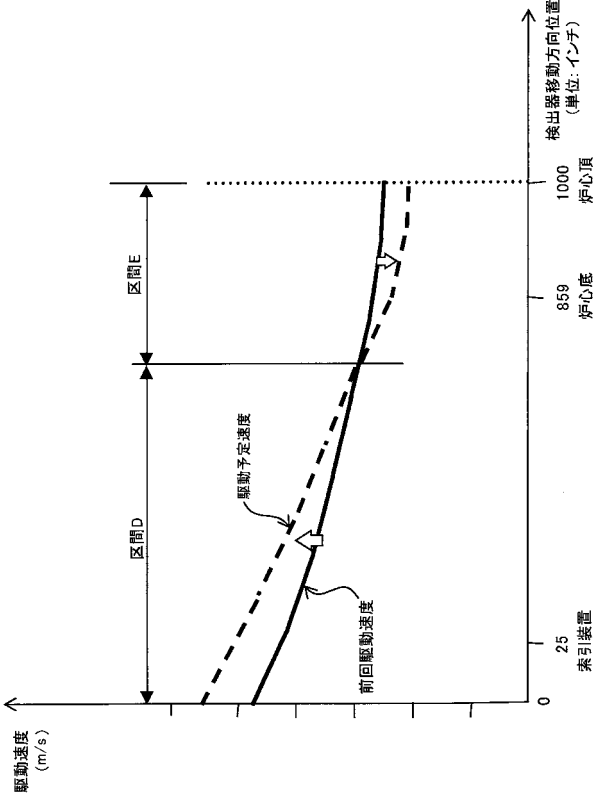
【図 2】



【図 4】



【 図 5 】



【 図 6 】

