(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2019-28014
(P2019-28014A)
(43)公開日　平成31年2月21日(2019.2.21)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G21C 17/10	(2006.01)	G21C	17/10	GDCT	2G075
G21C 7/36	(2006.01)	G21C	17/10	A	
		G21C	7/36		

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 13 頁）

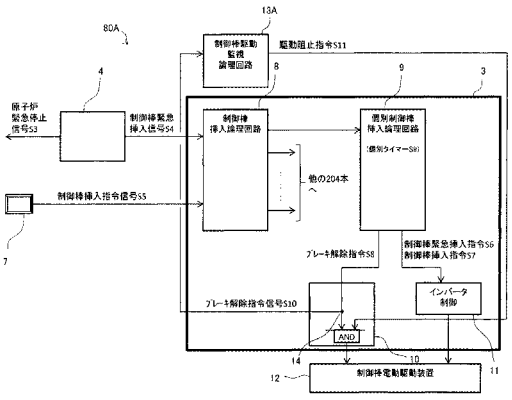
(21)出願番号　特願2017-150543 (P2017-150543)
(22)出願日　平成29年8月3日 (2017.8.3)

(71)出願人　507250427
日立ＧＥニュークリア・エナジー株式会社
茨城県日立市幸町三丁目１番１号
(74)代理人　110001829
特許業務法人開知国際特許事務所
(72)発明者　北村　純一
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　日立ＧＥニュークリア・エナジー株式会社内
(72)発明者　近藤　宏則
茨城県日立市幸町三丁目１番１号　日立ＧＥニュークリア・エナジー株式会社内

Ｆターム(参考)　2G075 AA04　BA07　CA39　FC08　GA17

(54)【発明の名称】制御棒操作監視システム

(57)【要約】
【課題】全制御棒全挿入動作のような不適切な組み合わせ時の制御棒動作をより確実に抑制し、燃料の健全性を維持することが可能な制御棒操作監視システムを提供する。
【解決手段】制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄは、電動駆動により制御棒２を全て挿入する動作を行う全挿入機能および全挿入機能を実行する際に各制御棒２の挿入開始時間を変更する変更機能を有する、デジタル式の制御棒操作監視装置３と、制御棒操作監視装置３に対して独立しており、制御棒２が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの制御棒２が挿入される制御をアナログで捉えて、制御棒２の挿入動作を停止する制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂもしくは緊急制御棒挿入動作を実行させる制御棒操作監視阻止装置１３Ｃと、を備えた。
【選択図】　図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
緊急停止時に水圧駆動により制御棒を挿入するスクラム機能を有する原子力発電プラントで用いられる制御棒操作監視システムであって、
電動駆動により前記制御棒を全て挿入する動作を行う全挿入機能および前記全挿入機能を実行する際に各制御棒の挿入開始時間を変更する変更機能を有する、デジタル式の制御棒操作監視装置と、
前記制御棒操作監視装置に対して独立しており、前記制御棒が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの前記制御棒が挿入される制御をアナログで捉えて、前記制御棒の挿入動作を阻止する制御棒操作監視阻止装置と、を備えた
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項２】
請求項１に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は、前記制御棒の挿入動作を停止することで前記制御棒の挿入動作を阻止する
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項３】
請求項１に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は、緊急制御棒挿入動作を実行させることで前記制御棒の挿入動作を阻止する
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項４】
請求項１に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は、前記制御棒操作監視装置における前記制御棒のブレーキの解除指令をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項５】
請求項４に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は前記解除指令の電流を電流検出器で、または前記解除指令の電圧を電圧検出器で検出することで前記解除指令をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項６】
請求項１に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は、前記制御棒の位置の変動をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項７】
請求項６に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は前記制御棒を駆動するモータの回転軸の角度変化を検出することで前記変動をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項８】
請求項１に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は、前記制御棒操作監視装置における前記制御棒を駆動する駆動指令をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。
【請求項９】
請求項８に記載の制御棒操作監視システムにおいて、
前記制御棒操作監視阻止装置は前記駆動指令の電流を電流検出器で、または前記駆動指令の電圧を電圧検出器で検出することで前記駆動指令をアナログで捉える
ことを特徴とする制御棒操作監視システム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、制御棒操作監視システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
特許文献１には、通常制御棒選択部は制御盤から操作された制御棒選択情報から対応する制御棒アドレスを算出し、駆動指令出力部は算出された制御棒アドレスから駆動指令信号を生成し、複数制御棒選択部は制御棒選択情報から当該選択された制御棒を含む４本の制御棒を選択する複数選択情報を生成し、複数駆動指令出力部は、制御棒の挿入または引抜き信号とから複数駆動指令信号を出力し、論理積演算手段は、原子炉モード信号が燃料モードで、かつ、許可信号が入力すると切替手段を他方側へ切替えて４本の制御棒を作動させエアベントの作業時間を短縮することが記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開平１０－１６０８８８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
改良沸騰水型原子炉は、電動駆動を用いた制御棒の挿入や引抜により原子炉出力を変更する機能を有している。この電動駆動を用いた制御棒の引抜や挿入操作は、自動出力装置等を用いた自動操作、または運転員の手動操作による制御棒操作監視システムにて実施される。このような制御棒操作監視システムには、例えば特許文献１に記載のものがある。
【０００５】
制御棒の挿入には通常の運転で用いる通常挿入操作と緊急時に用いる緊急制御棒挿入操作の２種類があり、前者は通常運転時の原子炉出力調整時に使用される。一方、後者はスクラムなどの水圧駆動による制御棒挿入動作のバックアップとして電動駆動による緊急挿入機能として使用される。
【０００６】
沸騰水型原子炉は、冷却材のボイド率に依存して出力が変化する特性を有しており、通常運転において制御棒の挿入割合により燃料棒の軸方向に出力の偏りを持っている。
【０００７】
このような原子炉では、電動駆動のような比較的緩やかな速度で全制御棒の挿入動作を行った場合、制御棒挿入により負の反応度が印加されるため、炉心下部のボイド率が減少する。この為、ボイド量変化が炉心上部に伝播し、炉心上部のボイド率が減少し炉心上部の出力密度が上昇する。
【０００８】
ここで、過度に出力密度が上昇する場合、放置すれば、原子炉燃料の熱的制限を逸脱し、燃料破損に至る可能性がある。このメカニズムを図１Ａ乃至図１Ｃに示す。図１Ａ乃至図１Ｃは、沸騰水型原子炉における全制御棒同時挿入事象のメカニズムを説明する図である。
【０００９】
図１Ａに示すように、通常運転においては燃料の軸方向中央ピークの出力分布となっている。これに対し、図１Ｂに示すように、図１Ａに示す状態から全制御棒が電動駆動により比較的ゆっくりとした同時挿入が開始されると、制御棒の挿入による負の反応度が印加されるため、炉心下部のボイドが減少し、ボイド量の変化が炉心上部に伝播する。電動駆動による制御棒の挿入速度に対し炉心上部でボイドが減少する方が速いため、図１Ｃに示すように、炉心上部では出力が上昇し、以上の影響から炉心上部の出力密度が上昇する。
【００１０】

例えば、ひとつの原子炉内部に２０５本の制御棒を有するような場合、通常運転での制御棒挿入動作では、同時に操作できる制御棒の本数が全２０５本のうち２６本に制限されているため、全制御棒が全挿入されるような動作は無い。

【００１１】

一方、緊急挿入信号が成立した場合には全制御棒に全挿入の信号が出力される。この緊急挿入信号のように全制御棒に対して挿入信号が出力されるような場合には、全２０５本の制御棒を４つのグループに分割し、それぞれのグループにタイマーを持たせて時間差で制御棒を挿入することで全制御棒が同時に挿入されることを回避させている。なお、スクラムにより水圧駆動で既に制御棒が挿入されている制御棒についてはタイマーがバイパスされる仕組みを有している。

【００１２】

基本的に制御棒が挿入される事象では原子炉出力が減少するため、スクラム等の安全機能は働かない。よって、現状では、上述のようなタイマーが全制御棒全挿入を回避するための唯一の対策設備となっている。

【００１３】

しかしながら、現状の設備構成では、制御棒の挿入機能もタイマーも、また同時に操作できる制御棒本数の制御機能も同一の制御棒操作監視システム内で実現されている。このため、共通原因故障のような要因で制御棒操作監視システムが故障して誤緊急挿入信号等が発信された場合には同一制御内に設置しているタイマーも故障して働かないことが考えられることから、全制御棒が同時に全挿入される可能性を入り低減することが望まれる。

【００１４】

本発明は、全制御棒全挿入動作のような不適切な組み合わせ時の制御棒動作をより確実に抑制し、燃料の健全性を維持することが可能な制御棒操作監視システムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【００１５】

本発明は、上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、緊急停止時に水圧駆動により制御棒を挿入するスクラム機能を有する原子力発電プラントで用いられる制御棒操作監視システムであって、電動駆動により前記制御棒を全て挿入する動作を行う全挿入機能および前記全挿入機能を実行する際に各制御棒の挿入開始時間を変更する変更機能を有する、デジタル式の制御棒操作監視装置と、前記制御棒操作監視装置に対して独立しており、前記制御棒が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの前記制御棒が挿入される制御をアナログで捉えて、前記制御棒の挿入動作を阻止する制御棒操作監視阻止装置と、を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【００１６】

本発明によれば、全制御棒全挿入動作のような不適切な組み合わせ時の制御棒動作をより確実に抑制して、燃料の健全性を維持することができる。上記した以外の構成および効果は、以下の実施例の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１Ａ】沸騰水型原子炉における全制御棒同時挿入事象のメカニズムを説明する図である。

【図１Ｂ】沸騰水型原子炉における全制御棒同時挿入事象のメカニズムを説明する図である。

【図１Ｃ】沸騰水型原子炉における全制御棒同時挿入事象のメカニズムを説明する図である。

【図２】制御棒操作監視システムと炉心との関係の概要を示す図である。

【図３】従来の制御棒操作監視システムの構成を説明する図である。

【図４】本発明の制御棒操作監視システムの構成を説明する図である。

【図５】本発明の制御棒操作監視システムの他の構成を説明する図である。

【図６】本発明の制御棒操作監視システムの更に他の構成を説明する図である。
【図７】本発明の制御棒操作監視システムの更に他の構成を説明する図である。
【図８】本発明の制御棒操作監視システムの制御棒操作監視阻止装置における制御棒駆動監視阻止ロジックの概要を説明する図である。
【発明を実施するための形態】
【００１８】
以下、本発明の実施例について図２乃至図８に基づいて説明する。最初に、本発明の制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄと原子力発電プラント１００との関係について図２を用いて説明する。図２は、制御棒操作監視システムと炉心との関係の概要を示す図である。
【００１９】
図２に示すように、本発明の制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄは、原子力発電プラント１００内に配置されており、特に、運転員操作部７や原子炉緊急停止装置４からの制御棒挿入指令信号Ｓ５、制御棒緊急挿入信号Ｓ４の信号により原子炉１内に配置された制御棒２を電動駆動させるためのシステムである。
【００２０】
原子炉緊急停止装置４では原子炉１内に配置された原子炉出力検出器５や原子炉水位・圧力検出器６からの原子炉出力信号Ｓ１や原子炉水位・圧力信号Ｓ２等を受け、原子炉の状態を常に監視している。
【００２１】
例えば、原子炉出力信号Ｓ１が異常に上昇した場合や、原子炉水位・圧力信号Ｓ２が異常に低下・上昇した場合には、原子炉緊急停止装置４は、原子炉１や燃料の健全性を確保するために、原子炉緊急停止信号Ｓ３を発信して制御棒２を水圧駆動により緊急挿入する。この時、原子炉緊急停止装置４は同時に制御棒緊急挿入信号Ｓ４を制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄに発信し、電動駆動によるバックアップの制御棒２の挿入動作を行う。
【００２２】
本発明を含む制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄの構成を図３乃至図８に基づいて説明する。最初に、参考として従来の制御棒操作監視システムについて図３を用いて説明する。図３は、従来の制御棒操作監視システムの構成を説明する図である。
【００２３】
図３に示す従来の制御棒操作監視システムは制御棒操作監視装置３から構成され、全制御棒制御統括部８、個別制御棒制御部９、個別ブレーキ盤１０及び個別駆動制御盤１１からなる。
【００２４】
このような制御棒操作監視システムでは、制御棒２が挿入される場合、全制御棒制御統括部８で原子炉緊急停止装置４からの制御棒緊急挿入信号Ｓ４や運転員操作部７からの制御棒挿入指令信号Ｓ５を受け、どの制御棒２をどのように挿入するかを全制御棒制御統括部８内の制御棒挿入論理回路で判断し、その結果が個別制御棒制御部９に受け渡される。
【００２５】
個別制御棒制御部９では個別制御棒挿入論理回路で個々の制御棒に対する信号を生成する。生成された信号はブレーキ解除指令Ｓ８となり個別ブレーキ盤１０に受け渡されるとともに、制御棒緊急挿入指令Ｓ６や制御棒挿入指令Ｓ７となり個別駆動制御盤１１に受け渡される。
【００２６】
個別ブレーキ盤１０ではブレーキ解除が、個別駆動制御盤１１ではインバータによる制御が行われ、制御棒電動駆動装置１２が駆動される。この結果、制御棒２が原子炉１内に挿入される仕組みとなる。
【００２７】

図３に示すような従来の制御棒操作監視システムでは、全制御棒制御統括部８で生成された制御棒挿入信号を受信した個別制御棒制御部９内で個々の制御棒２の状態を確認し、個別タイマーＳ９を使用することで２０５本の全制御棒が同時に挿入されることを防御しつつ（変更機能）、全挿入動作を実行する（全挿入機能）ものとしていた。

【００２８】

しかしながら、全制御棒制御統括部８や、個別タイマーＳ９を含む個別制御棒制御部９は、同一の制御棒操作監視装置３の内部においてデジタル方式で実現されており、制御棒操作監視装置３、延いては制御棒操作監視システムは故障に対する防御が弱い、との懸念が新たに生じている。

【００２９】

そこで本発明の制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄでは、制御棒操作監視装置３の外部に、制御棒操作監視装置３に対して独立しており、新たに制御棒挿入動作をアナログで監視し、異常作動を阻止する機能を有する制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂ，１３Ｃを新たに設置している。

【００３０】

制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂ，１３Ｃの制御棒挿入動作を阻止する機能は、大きく分けて以下の２方式となっている。

【００３１】

１つ目の方式は、制御棒２が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの制御棒２が挿入される制御をアナログで捉えて、制御棒２の挿入動作を停止するものである。２つ目の方式は、制御棒２が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの制御棒２が挿入される制御をアナログで捉えて、緊急の制御棒２の挿入動作を実行させるものである。

【００３２】

以下、制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂ，１３Ｃの具体的構成の例について図４乃至図８を用いて説明する。図４乃至図７は、制御棒操作監視システムの構成を説明する図である。

【００３３】

最初に、上述した１つ目の方式の具体的構成について図４を用いて説明する。

【００３４】

図４に示す制御棒操作監視システム８０Ａは、制御棒２のブレーキ解除信号（ブレーキ解除指令Ｓ８）を検知して、制御棒操作監視阻止装置１３Ａで制御棒２の組み合わせの適切性を判断する。そして、その結果を駆動阻止信号として個別ブレーキ盤１０のＡＮＤ回路に入力することによりブレーキ解除を阻止し、結果として制御棒２の不適切な駆動を阻止するものである。

【００３５】

図４に示すように、制御棒操作監視システム８０Ａでは、制御棒２の動作状態を判断するため、制御棒２のブレーキの解除状態（ブレーキ解除指令Ｓ８）の電圧値を電圧検出器１４で検知することとした。なお、電圧検出器１４に換わり、電流検出器し、ブレーキ解除指令Ｓ８の電流値を検出するものとすることができる。

【００３６】

制御棒操作監視システム８０Ａは、制御棒２を駆動する場合にはまずブレーキが解除される必要があり、ブレーキ解除のためには電圧を印加する必要があるというメカニズムを利用したものであり、電圧や電流をアナログで検出する。

【００３７】

制御棒操作監視システム８０Ａでは、ブレーキ解除指令Ｓ８を検知した電圧検出器１４からブレーキ解除指令信号Ｓ１０が出力され、制御棒操作監視装置３とは物理的に異なる位置に配置された制御棒操作監視阻止装置１３Ａに入力される。制御棒２が同時に駆動している場合、駆動している制御棒２の本数分だけブレーキ解除指令信号Ｓ１０が制御棒操作監視阻止装置１３Ａに入力される。

【００３８】
制御棒操作監視阻止装置１３Ａでは、複数の制御棒２が同時に駆動しているか否かが検知され、予め定められた本数以上、又は規定された組み合わせとは異なる不適切な組み合わせの制御棒２が動作した場合には、駆動阻止指令Ｓ１１を個別ブレーキ盤１０内のＡＮＤ回路に対して出力する。
【００３９】
これにより制御棒２の駆動に必要なブレーキ解除を阻止し、ブレーキが解除されない制御棒電動駆動装置１２は停止することとなる。この結果として制御棒２の駆動が阻止される。
【００４０】
以上の効果から、共通原因故障のような要因で制御棒操作監視システム８０Ａのうち制御棒操作監視装置３が故障しても、制御棒操作監視装置３とは別体であり、且つ別方式（デジタルに対してアナログ）である制御棒操作監視阻止装置１３Ａにより、全ての制御棒２が同時に誤挿入となるような場合や、不適切な組み合わせの制御棒２の動作となるような場合に、その引抜挿入動作を阻止することが可能となり、全制御棒全挿入時や不適切な組み合わせを阻止し、制御棒動作時に生じる可能性のある燃料棒の軸方向出力分布の歪が生じることをより確実に抑制することが可能となる。
【００４１】
なお、図４では、ブレーキ解除指令Ｓ８による電圧値を電圧検出器１４で検知するものとしたが、絶えず電圧検出器１４からブレーキ解除指令電圧値（もしくは電流値）を出力し、制御棒操作監視阻止装置１３Ａにおいて、ブレーキ解除指令電圧値の変動（ブレーキ解除）を検知するものとすることができる。
【００４２】
次に、上述した１つ目の方式の具体的構成の他の一例について図５を用いて説明する。
【００４３】
図５に示す制御棒操作監視システム８０Ｂは、制御棒２の位置信号の変位を検知して、制御棒操作監視阻止装置１３Ｂで制御棒２の組み合わせの適切性を判断する。そして、その結果を駆動阻止信号として個別ブレーキ盤１０のＡＮＤ回路に入力することによりブレーキ解除を阻止し、結果として制御棒２の不適切な駆動を阻止するものである。
【００４４】
図５に示すように、制御棒操作監視システム８０Ｂでは、制御棒２の動作状態を判断するため、制御棒電動駆動装置１２に内蔵された制御棒位置検出器１５で検知した制御棒２の位置信号の変位を検知することとした。これは、制御棒２が駆動する場合には、制御棒２を挿入動作させるための駆動モータ（図示省略）の回転数が変化することにより制御棒位置が変化する、という制御棒位置の状態変位のメカニズムを利用するものであり、アナログで検知される駆動モータの回転軸の角度変化により生じる信号値の変化を検出する。
【００４５】
制御棒操作監視システム８０Ｂでは、制御棒位置検出器１５から制御棒位置信号Ｓ１２が絶えず出力されており、制御棒操作監視装置３とは物理的に異なる位置に配置された制御棒操作監視阻止装置１３Ｂに入力される。
【００４６】
制御棒操作監視阻止装置１３Ｂでは、制御棒位置信号Ｓ１２の変動から駆動モータの回転軸の角度変化、即ち制御棒２の位置の変化が検知されている。制御棒操作監視阻止装置１３Ｂは、複数の不適切な組み合わせの制御棒が同時に駆動していること、あるいは予め定められた本数以上又は不適切な組み合わせの制御棒が動作したと判断される場合には、駆動阻止指令Ｓ１１を個別ブレーキ盤１０内のＡＮＤ回路に対して出力する。
【００４７】
これにより制御棒２の駆動に必要なブレーキ解除を阻止し、ブレーキが解除されない制御棒電動駆動装置１２は停止することとなる。この結果、制御棒２の駆動が阻止される。
【００４８】

以上の効果によっても、共通原因故障のような要因で制御棒操作監視システム８０Ａのうち制御棒操作監視装置３が故障しても、制御棒操作監視装置３とは別体であり、且つ別方式（デジタルに対してアナログ）である制御棒操作監視阻止装置１３Ｂにより、全ての制御棒２が同時に誤挿入となるような場合や、不適切な組み合わせの制御棒２の動作となるような場合に、その引抜挿入動作を阻止することが可能となり、全制御棒全挿入時や不適切な組み合わせを阻止し、制御棒動作時に生じる可能性のある燃料棒の軸方向出力分布の歪が生じることをより確実に抑制することが可能となる。

【００４９】

なお、図５では、制御棒位置信号Ｓ１２の変動から駆動モータの回転軸の角度変化、即ち制御棒２の位置の変化を検知するものとしたが、制御棒位置検出器１５によって駆動モータの回転軸の角度変化、即ち制御棒２の位置の変化を検知した場合に制御棒位置変化信号を制御棒操作監視阻止装置１３Ｂに対して出力するものとすることができる。

【００５０】

次に、上述した２つ目の方式の具体的構成の他の一例について図６を用いて説明する。

【００５１】

図６に示す制御棒操作監視システム８０Ｃは、制御棒２のブレーキの解除信号又は制御棒２の位置信号の変位を検知して、緊急制御棒挿入動作（スクラム）を実行させるものである。その結果として制御棒２の不適切な駆動を阻止するものである。

【００５２】

図６に示すように、制御棒操作監視システム８０Ｃでは、制御棒２の動作状態を判断するため、図４で説明した制御棒２のブレーキ解除指令信号、および図５で説明したような制御棒位置信号の変位を利用する。

【００５３】

制御棒操作監視システム８０Ｃは、制御棒２のブレーキの解除状態（ブレーキ解除指令Ｓ８）の電圧値を電圧検出器１４で検知した場合にブレーキ解除指令信号Ｓ１０を制御棒操作監視阻止装置１３Ｃに対して出力するとともに、制御棒位置検出器１５によって駆動モータの回転軸の角度変化、即ち制御棒２の位置の変化を検知した場合に制御棒位置変化信号Ｓ１４を制御棒操作監視阻止装置１３Ｃに対して出力するものであり、検知されたブレーキ解除指令信号Ｓ１０または制御棒位置変化信号Ｓ１４は、制御棒操作監視装置３とは物理的に異なる位置に配置された制御棒操作監視阻止装置１３Ｃに対して出力される。

【００５４】

制御棒操作監視阻止装置１３Ｃでは、ブレーキ解除指令信号Ｓ１０または制御棒位置変化信号Ｓ１４の入力を受けて、複数の制御棒２が同時に駆動しているか否かが検知され、予め定められた本数以上、又は規定された組み合わせとは異なる不適切な組み合わせの制御棒２が動作した場合には、安全機能である緊急制御棒挿入（スクラム）信号Ｓ１３を原子炉緊急停止装置４に出力する。この結果、原子炉緊急停止装置４は原子炉緊急停止信号Ｓ３を制御棒２のスクラム駆動系（水圧駆動、図示省略）に対して出力し、原子炉をスクラムさせる。

【００５５】

以上の結果、制御棒２が緊急挿入される効果から原子炉は停止する。この効果により、共通原因故障のような要因で制御棒操作監視システム８０Ａのうち制御棒操作監視装置３が故障しても、制御棒操作監視装置３とは別体であり、且つ別方式（デジタルに対してアナログ）である制御棒操作監視阻止装置１３Ｃにより、全制御棒全挿入時や不適切な組み合わせによる制御棒動作時に生じる可能性のある燃料棒の軸方向出力分布の歪をより確実に抑制することが可能となる。

【００５６】

なお、図６に示す場合においても、図５に示すように、制御棒位置検出器１５から制御棒位置信号Ｓ１２が絶えず出力されており、制御棒位置信号Ｓ１２の変動から駆動モータの回転軸の角度変化、即ち制御棒２の位置の変化を検知するものとすることができる。この場合、制御棒操作監視阻止装置１３Ｃは、ブレーキ解除指令信号Ｓ１０の入力を受ける

か、または制御棒位置信号Ｓ１２の変動を検知することで、複数の制御棒２が同時に駆動しているか否かを検知するものとする。

【００５７】

また、図６に示す場合において、制御棒操作監視阻止装置１３Ｃでは、ブレーキ解除指令信号Ｓ１０および制御棒位置変化信号Ｓ１４の入力を受けて、複数の制御棒２が同時に駆動しているか否かを検知することができる。この場合、ブレーキ解除指令信号Ｓ１０または制御棒位置変化信号Ｓ１４が誤って出力されるような事態、例えば電圧検出器１４や制御棒位置検出器１５の故障に対して不要な制御棒挿入阻止動作が実行されないシステム系とすることができる。これに対し、図６のようなブレーキ解除指令信号Ｓ１０または制御棒位置変化信号Ｓ１４の入力を受けた場合に複数の制御棒２が同時に駆動しているとする場合は、どちらか一方の検出系に故障が生じても制御棒挿入阻止動作を実行することができるシステム系とすることができる。

【００５８】

なお、制御棒操作監視阻止装置は、図４乃至図６に示す形態に限られず、制御棒操作監視装置３における制御棒２を駆動する駆動指令をアナログで捉えることによって、複数の制御棒２が同時に駆動しているか否かを検知するものとすることができる。

【００５９】

例えば、図７に示すように、制御棒操作監視システム８０Ｄの制御棒操作監視阻止装置１３Ｄは、個別駆動制御盤１１でのインバータによる制御の結果、制御棒電動駆動装置１２に対して出力される駆動指令信号Ｓ１６の電流を電流検出器で、または駆動指令の電圧を電圧検出器１４で検出するものとすることができる。この場合、予め定められた本数以上、又は規定された組み合わせとは異なる不適切な組み合わせの制御棒２が動作したと判断された場合には、図７に示すように駆動阻止指令Ｓ１１を個別ブレーキ盤１０内のＡＮＤ回路に対して出力する、もしくは安全機能である緊急制御棒挿入（スクラム）信号Ｓ１３を原子炉緊急停止装置４に出力するものとすることができる。

【００６０】

また、制御棒操作監視阻止装置は、図４，図５および図７に示すような制御棒２の駆動に必要なブレーキ解除を阻止する形態や図６に示すスクラム信号を出力する形態に限られず、例えば、個別駆動制御盤１１でのインバータによる制御を阻止するものとすることができる。これには、例えば、個別駆動制御盤１１に対する駆動阻止信号の入力や、制御棒電動駆動装置１２に対する出力ラインの分断等の方法がある。この方法によっても、制御棒２の駆動を結果として阻止することができ、制御棒電動駆動装置１２が停止することとなる。

【００６１】

次に、図４乃至図６に示す制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂ，１３Ｃにおける不適切な制御棒駆動の組み合わせ（グループ）を判断するハードワイヤードのロジックについて図８を用いて説明する。図８は、制御棒操作監視システムの制御棒操作監視阻止装置における制御棒駆動監視阻止ロジックの概要を説明する図である。図８では、図４に示す制御棒操作監視阻止装置１３Ａにおいて、適切な組み合わせ（グループ）を仮に６Ｇｒとした場合を記載している。なお、Ｇｒ数はシステム設計に応じて可変である。

【００６２】

上述のように、制御棒操作監視阻止装置１３Ａへは全２０５本の制御棒２のブレーキ解除指令信号Ｓ１０のＯＮ信号又はＯＦＦ信号が入力されている。

【００６３】

制御棒操作監視阻止装置１３Ａでは、入力されたＯＮ信号又はＯＦＦ信号が適切な組み合わせ（グループ）内の信号であることを制御棒操作監視阻止装置１３Ａ内の制御棒グループシーケンス１３Ａ１と照らし合わせることで確認する。

【００６４】

例えば適切な組み合わせのグループが６Ｇｒ存在する場合、正常であれば、動作しても問題無いグループ数は１Ｇｒとなる。一方、異常な組み合わせの場合は、２Ｇｒ以上が動

作する。この場合は、この照らし合わせの結果から異常な組み合わせであることを示す判断結果が出力される。

【００６５】

判断結果は後段に設置されている２　ｏｕｔ　ｏｆ　６論理１３Ａ２に入力され、その結果として駆動阻止指令Ｓ１１が個別ブレーキ盤１０に対して出力される。

【００６６】

次に、本実施例の効果について説明する。

【００６７】

上述した本発明の緊急停止時に水圧駆動により制御棒２を挿入するスクラム機能を有する原子力発電プラント１００で用いられる制御棒操作監視システム８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄは、電動駆動により制御棒２を全て挿入する動作を行う全挿入機能および全挿入機能を実行する際に各制御棒２の挿入開始時間を変更する変更機能を有する、デジタル式の制御棒操作監視装置３と、制御棒操作監視装置３に対して独立しており、制御棒２が制限本数以上挿入された、又は規定された組み合わせとは異なる組み合わせの制御棒２が挿入される制御をアナログで捉えて、制御棒２の挿入動作を停止する制御棒操作監視阻止装置１３Ａ，１３Ｂもしくは緊急の制御棒２の挿入動作を実行させる制御棒操作監視阻止装置１３Ｃと、を備えたものである。

【００６８】

上記従来技術では、共通原因故障のような要因による制御棒操作監視装置の故障を仮定した場合に全制御棒が同時に全挿入され、対策設備も動作しない可能性がある、との懸念がある。さらにこのような事象が発生した場合には、原子炉出力が減少する事象のため安全機能が働かない、との懸念がある。

【００６９】

これに対し、本発明によれば、全ての制御棒２が全挿入動作する場合及び制限本数以上又は不適切な組み合わせの制御棒２が挿入動作する場合に、制御棒操作監視装置３とは別に制御棒２の動作状態を検知して制御棒２の駆動を阻止する機能、または緊急制御棒挿入動作を行う機能を別体で、且つアナログで実装することにより全制御棒全挿入動作又は不適切な制御棒動作を停止させ、全制御棒全挿入時に生じる可能性のある燃料棒の軸方向出力分布の歪をより確実に抑制し、燃料の健全性を維持することが可能となる。

【００７０】

＜その他＞

なお、本発明は上記の実施例に限られず、種々の変形、応用が可能なものである。上述した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されない。

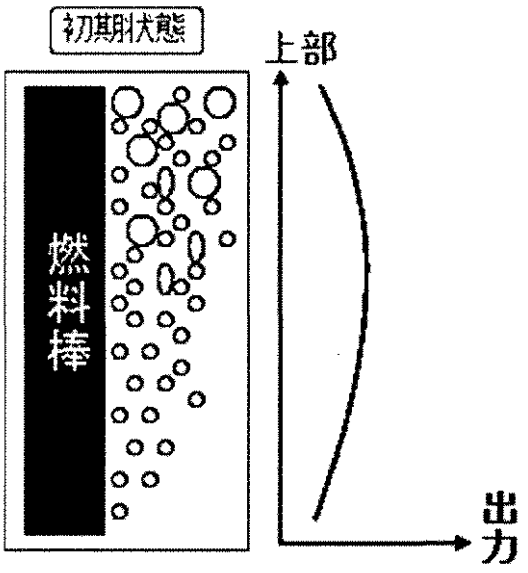
【符号の説明】

【００７１】

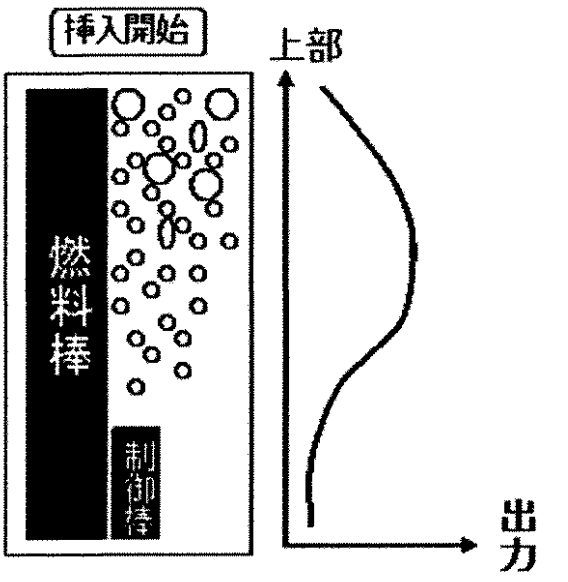
１：原子炉
２：制御棒
３：制御棒操作監視装置
４：原子炉緊急停止装置
５：原子炉出力検出器
６：原子炉水位・圧力検出器
７：運転員操作部
８：全制御棒制御統括部
９：個別制御棒制御部
１０：個別ブレーキ盤
１１：個別駆動制御盤
１２：制御棒電動駆動装置
１３Ａ，１３Ｂ，１３Ｃ，１３Ｄ：制御棒操作監視阻止装置
１３Ａ１：制御棒グループシーケンス

１３Ａ２：２　ｏｕｔ　ｏｆ　６論理
１４：電圧検出器
１５：制御棒位置検出器
８０Ａ，８０Ｂ，８０Ｃ，８０Ｄ：制御棒操作監視システム
１００：原子力発電プラント
Ｓ１：原子炉出力信号
Ｓ２：原子炉水位・圧力信号
Ｓ３：原子炉緊急停止信号（水圧駆動）
Ｓ４：制御棒緊急挿入信号
Ｓ５：制御棒挿入指令信号（運転員）
Ｓ６：制御棒緊急挿入指令信号（電動駆動）
Ｓ７：制御棒挿入指令信号（電動駆動）
Ｓ８：ブレーキ解除指令
Ｓ９：個別タイマー
Ｓ１０：ブレーキ解除指令信号
Ｓ１１：駆動阻止指令
Ｓ１２：制御棒位置信号
Ｓ１３：緊急制御棒挿入信号

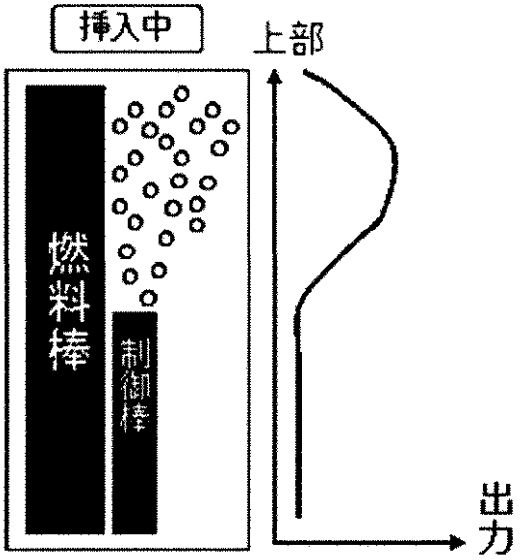
【図１Ａ】



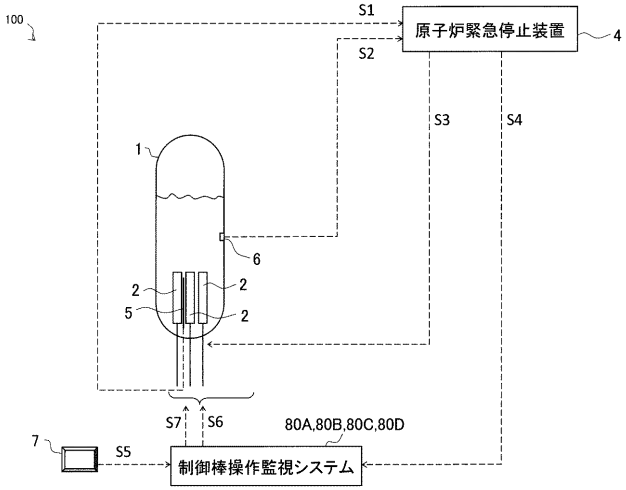
【図１Ｂ】



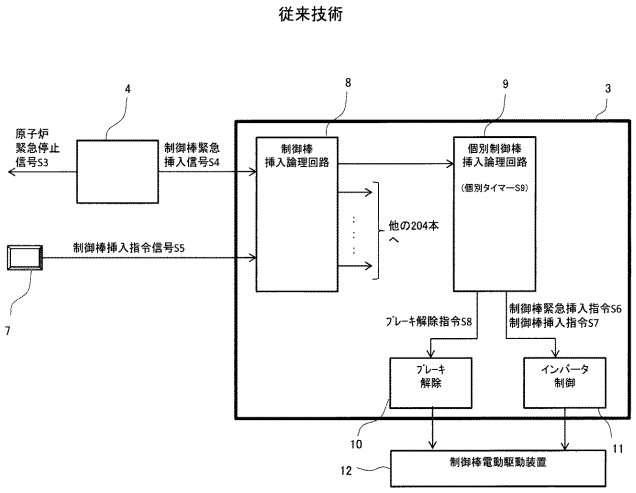
【図１Ｃ】


挿入中
上部
燃料棒
制御棒
出力

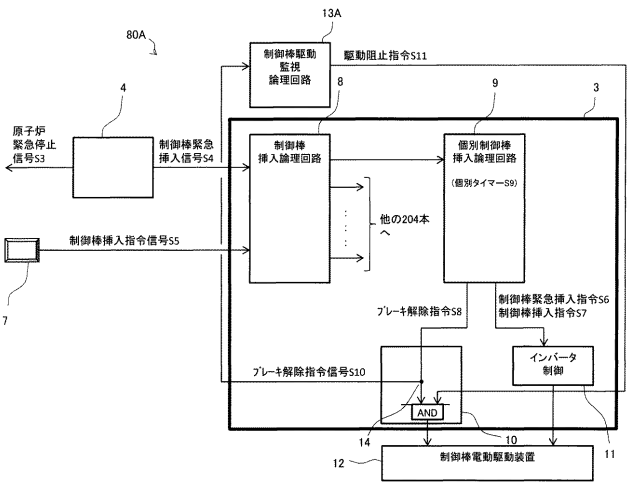
【図２】


100
S1
原子炉緊急停止装置
4
S2
S3
S4
1
6
2
2
5
2
S7
S6
80A,80B,80C,80D
7
S5
制御棒操作監視システム

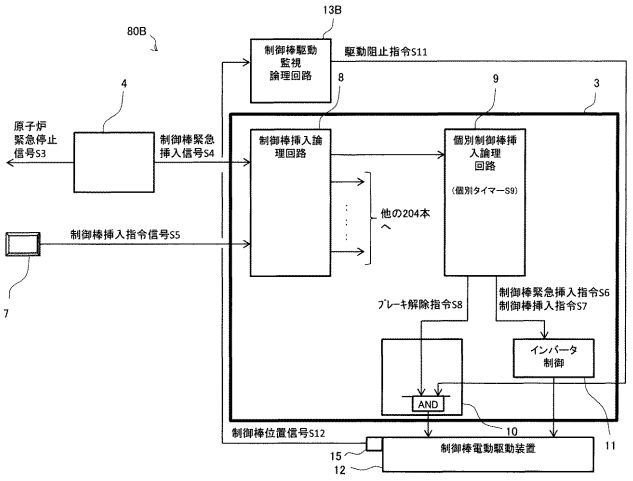
【図３】


従来技術
4
8
9
3
原子炉
緊急停止
信号S3
制御棒緊急
挿入信号S4
制御棒
挿入論理回路
個別制御棒
挿入論理回路
(個別タイマーS9)
他の204本
へ
制御棒挿入指令信号S5
7
ブレーキ解除指令S8
制御棒緊急挿入指令S6
制御棒挿入指令S7
ブレーキ
解除
インバータ
制御
10
11
12
制御棒電動駆動装置

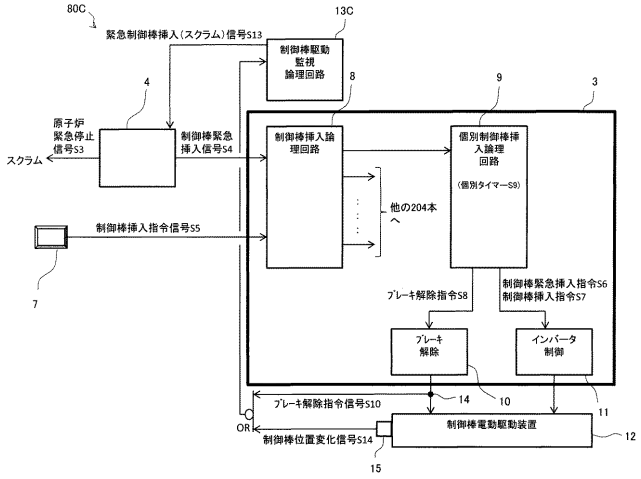
【図４】


80A
13A
制御棒駆動
監視
論理回路
駆動阻止指令S11
4
8
9
3
原子炉
緊急停止
信号S3
制御棒緊急
挿入信号S4
制御棒
挿入論理回路
個別制御棒
挿入論理回路
(個別タイマーS9)
他の204本
へ
制御棒挿入指令信号S5
7
ブレーキ解除指令S8
制御棒緊急挿入指令S6
制御棒挿入指令S7
ブレーキ解除指令信号S10
インバータ
制御
AND
14
10
11
12
制御棒電動駆動装置

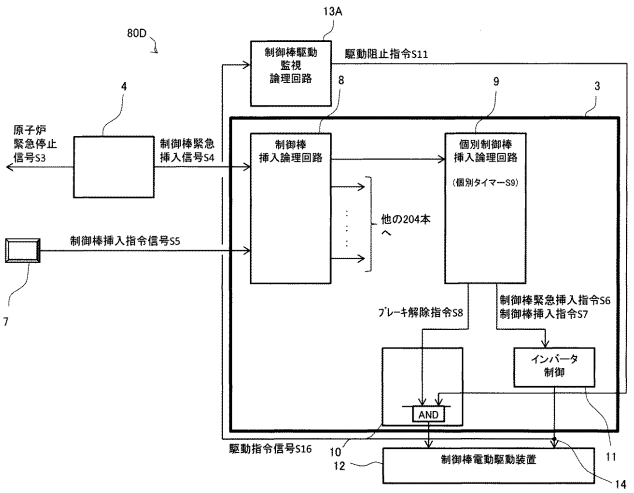
【図５】


80B
13B
制御棒駆動
監視
論理回路
駆動阻止指令S11
4
8
9
3
原子炉
緊急停止
信号S3
制御棒緊急
挿入信号S4
制御棒挿入論
理回路
個別制御棒挿
入論理
回路
(個別タイマーS9)
他の204本
へ
制御棒挿入指令信号S5
7
ブレーキ解除指令S8
制御棒緊急挿入指令S6
制御棒挿入指令S7
インバータ
制御
AND
制御棒位置信号S12
10
11
15
12
制御棒電動駆動装置

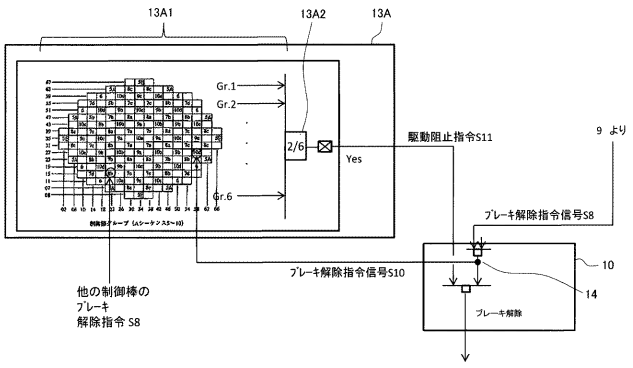
【図６】


80C
13C
緊急制御棒挿入(スクラム)信号S13
制御棒駆動
監視
論理回路
4
8
9
3
原子炉
緊急停止
信号S3
制御棒緊急
挿入信号S4
スクラム
制御棒挿入論
理回路
個別制御棒挿
入論理
回路
(個別タイマーS9)
他の204本
へ
制御棒挿入指令信号S5
7
ブレーキ解除指令S8
制御棒緊急挿入指令S6
制御棒挿入指令S7
ブレーキ
解除
インバータ
制御
ブレーキ解除指令信号S10
14
10
11
OR
制御棒位置変化信号S14
15
制御棒電動駆動装置
12

【図７】


80D
13A
制御棒駆動
監視
論理回路
駆動阻止指令S11
4
8
9
3
原子炉
緊急停止
信号S3
制御棒緊急
挿入信号S4
制御棒
挿入論理回路
個別制御棒
挿入論理回路
(個別タイマーS9)
他の204本
へ
制御棒挿入指令信号S5
7
ブレーキ解除指令S8
制御棒緊急挿入指令S6
制御棒挿入指令S7
インバータ
制御
AND
駆動指令信号S16
10
11
12
14
制御棒電動駆動装置

【図８】


13A1
13A2
13A
Gr.1
Gr.2
Gr.6
2/6
Yes
駆動阻止指令S11
9 より
ブレーキ解除指令信号S8
ブレーキ解除指令信号S10
10
14
ブレーキ解除
他の制御棒の
ブレーキ
解除指令 S8