(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3542260号
(P3542260)
(45)発行日　平成16年7月14日(2004.7.14)　(24)登録日　平成16年4月9日(2004.4.9)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G21C　7/12　G21C　7/12　GDCA

請求項の数 1　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平9-344644
(22)出願日　平成9年12月15日(1997.12.15)
(65)公開番号　特開平11-174188
(43)公開日　平成11年7月2日(1999.7.2)
審査請求日　平成12年12月12日(2000.12.12)
審判番号　不服2002-20510(P2002-20510/J1)
審判請求日　平成14年10月23日(2002.10.23)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地
(74)代理人　100075096
弁理士　作田　康夫
(72)発明者　有田　節男
茨城県日立市大みか町七丁目２番１号
株式会社　日立製作所　電力・電機開発本部内
(72)発明者　清治　岳彦
茨城県日立市大みか町五丁目２番１号
株式会社　日立製作所　大みか工場内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】制御棒制御装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ギャング操作される複数の制御棒に対して個別に設けられた複数の誘導電動機と、前記複数の誘導電動機毎に設けられ前記誘導電動機の回転を制止させる複数の電磁ブレーキと、対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキ毎に設けられ、制御棒操作指令に基づいてこれらの前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに対する交流電力の供給を制御する半導体スイッチング素子とを備え、
対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキは交流電力を供給するためのケーブルの一部を共有し、前記半導体スイッチング素子は前記ケーブルの共有部分に設けられており、
前記電磁ブレーキは、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに交流電力を供給した場合にそのブレーキ力が解除され、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキへの交流電力の供給を停止した場合にそのブレーキ力が働くように構成されており、
前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに交流電力を供給することにより、該交流電力を供給された電磁ブレーキのブレーキ力が解除され且つ対応する誘導電動機が回転し始めるように制御され、
前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキへの交流電力の供給を停止することにより、該交流電力を供給された電磁ブレーキのブレーキ力が働き且つ対応する誘導電動機が回転を停止するように制御されることを特徴とする制御棒制御装置。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、制御棒制御装置に係り、特に沸騰水型原子炉に用いられる制御棒制御装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
改良型沸騰水型原子力発電所（ＡＢＷＲ）の出力制御は、電動駆動型の制御棒駆動装置で制御棒を操作することによって行われる。電動駆動型の制御棒駆動装置は、ステップモータ，ステップモータに連結されたボールスクリューネジ，ボールスクリューネジと噛み合うボールナット、およびボールナットに取り付けられて軸方向に伸びる連結棒を備え、制御棒の微駆動が可能である。この制御棒駆動装置は、ステップモータ回転軸に連結された電磁ブレーキを有する。連結棒が原子炉内にある制御棒に連結される。制御棒が原子炉の炉心内に出し入れされることによって原子炉出力が制御される。原子炉出力の制御要求の一つに、運転員の制御棒停止要求に基づき、できる限り遅れ時間がなく制御棒を停止させることがある。
【０００３】
制御棒の操作は、中央制御室制御棒操作監視盤からの操作指令により、制御棒動作手順に基づき行われる。ステップモータは、速度制御回路からのパルス信号により動作する。また、ステップモータの速度制御は、パルス電流の周波数を変えることにより行われる。制御棒停止時は、速度制御回路から、ステップモータの回転を低下するため、周波数の低いパルス信号を出力して回転数を下げる。ステップモータが最終的に止まった時点で、電磁ブレーキが作動する。電磁ブレーキは、制御棒駆動中は一斉作動せず、ステップモータ停止制御時にも作動しない。電磁ブレーキの作動により、ステップモータ停止後において制御棒の自重で制御棒が移動することが防止される。なお、ステップモータによる制御棒操作に関連する技術としては、特開昭５５－１４３６０４号公報および特開昭５７－２０８８８０号公報に記載されているものがある。
【０００４】
ステップモータにより制御棒の微駆動を可能にした場合、多くのステップモータ用電源盤、および布設ケーブルが必要になる。このため、ステップモータの替りに誘導電動機の適用が検討されている。誘導電動機は、１次側の固定子と２次側の回転子を備える。２次巻線は、電磁誘導作用によって固定子より電気エネルギーを受け、エアギャップを通じてこれを機械エネルギーに変換させて、回転子を回転させ、機械動力を発生する。
【０００５】
この誘導電動機は、ステップモータとは原理が異なっており、ステップモータのようにパルス信号で回転数を制御できない。また、誘導電動機のディテントトルクはほぼ０に等しく、固定子側の電流を０にしても回転子は回る。そのため、誘導電動機を停止させるためには、外部から摩擦等によって止める制動ブレーキ、または励磁電流の位相を制御してダイナミックに制動をかける制動機構が必要になる。誘導電動機による制御棒駆動に関する技術としては、特開昭６１－５９２８７号公報に記載されたものがある。これは、誘導電動機の励磁電流の位相を制御してダイナミックに制動をかけて停止時の位置決め精度を高めるものである。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
原子炉の起動時間および出力制御時間の短縮を目的として複数の制御棒を同時に操作するギャング操作が考えられている。ステップモータは引加するパルスの数に対応した量だけ回転するので、ステップモータを用いた場合には、このパルス数を制御することにより、制御棒を目標位置まで正確に移動できる。このため、ギャング操作時に、複数の制御棒を同時に同一の目標位置に移動させることができる。
【０００７】

誘導電動機を適用した場合は、誘導電動機をオンオフ制御で駆動して制御棒を駆動すると、ステップモータの場合に必要であった電力変換器および速度制御装置が不要になり、設備を簡略化低減できる。しかしながら、誘導電動機は電磁ブレーキのブレーキ力によってその位置が保持されるが、誘導電動機起動時にはこのブレーキ力を解除する必要がある。ギャング操作開始時にそれぞれの誘導電動機の起動タイミングおよび電磁ブレーキの作動タイミングがずれると、それぞれの誘導電動機の起動時の回転数の上昇過程が異なる。このため、駆動中のそれぞれの制御棒の位置がずれてしまう。さらに、停止時にはブレーキ性能に依存して停止位置が決まるため、それぞれの電磁ブレーキの動作タイミングがずれると停止時のそれぞれの制御棒の位置が異なってしまう。つまり、制御棒駆動源に誘導電動機を適用した場合には、ギャング操作において駆動中および停止時に各制御棒の位置に偏差が生じる可能性がある。各制御棒の位置に偏差が生じると、出力分布の対称性が崩れて燃料に熱的なストレスを与える可能性がある。従来はこの点に関して何ら検討されていなかった。

【０００８】

本発明の目的は、制御棒駆動装置に誘導電動機を適用した場合において、ギャング操作の際に、各制御棒の停止位置の偏差を低減できる制御棒制御装置を提供することにある。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の特徴は、ギャング操作される複数の制御棒に対して個別に設けられた複数の誘導電動機と、前記複数の誘導電動機毎に設けられ前記誘導電動機の回転を制止させる複数の電磁ブレーキと、対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキ毎に設けられ、制御棒操作指令に基づいてこれらの前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに対する交流電力の供給を制御する半導体スイッチング素子とを備え、対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキは交流電力を供給するためのケーブルの一部を共有し、前記半導体スイッチング素子は前記ケーブルの共有部分に設けられており、前記電磁ブレーキは、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに交流電力を供給した場合にそのブレーキ力が解除され、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキへの交流電力の供給を停止した場合にそのブレーキ力が働くように構成されており、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキに交流電力を供給することにより、該交流電力を供給された電磁ブレーキのブレーキ力が解除され且つ対応する誘導電動機が回転し始めるように制御され、前記半導体スイッチング素子が対応する前記誘導電動機及び前記電磁ブレーキへの交流電力の供給を停止することにより、該交流電力を供給された電磁ブレーキのブレーキ力が働き且つ対応する誘導電動機が回転を停止するように制御される。

【００１０】

半導体スイッチング素子の動作遅れが極めて短くかつそのバラツキも小さいので、半導体スイッチング素子を用いて誘導電動機及び電磁ブレーキへの電力供給を制御することにより、ギャング操作を行う場合に、誘導電動機の起動及び電磁ブレーキのブレーキ力解除のタイミング、及び電磁ブレーキのブレーキ力作動に伴う誘導電動機の回転停止のタイミングのずれが、ギャング操作を行う各制御棒において小さくなる。このため、制御棒を駆動するのに誘導電動機を用いた場合において、ギャング操作の際に、各制御棒の停止位置の偏差を低減できる。このため、炉心の水平断面においてギャング操作された各制御棒の位置での原子炉出力がほぼ均一化でき、熱的制限値等を考慮した炉心運転管理がしやすくなる。

【００３３】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例である制御棒制御装置を図１を用いて以下に説明する。本実施例の制御棒制御装置は、誘導電動機を用いた電動駆動型の複数の制御棒駆動装置１８を備える。各制御棒駆動装置１８は、誘導電動機７および誘導電動機７の回転軸に連結された電磁ブレーキ１５を備える。更に、制御棒駆動装置１８は、図示されていないが、誘導電動機

７の回転軸に連結されたボールスクリューネジ，ボールスクリューネジと噛み合うボールナット、およびボールナットに取り付けられて軸方向に伸びる連結棒を備える。

【００３４】

本実施例が適用されるＡＢＷＲの原子炉５内には、冷却水１７に浸された状態で複数の燃料集合体１６が複数設置される。複数の制御棒６が燃料集合体１６間に挿抜自在に配置される。各制御棒６は、それぞれ結合器（例えば歯車または電磁クラッチ）２０によって別々の制御棒駆動装置１８の連結棒に接続されている。各制御棒６は、該当する制御棒駆動装置１８の誘導電動機７の駆動により操作される。炉心内の軸方向における制御棒の位置を検出する制御棒位置検出器８が、設置される。

【００３５】

本実施例の制御棒制御装置は、制御棒駆動装置１８以外に、中央制御室に設けられた制御棒操作監視盤１，誘導電動機７および電磁ブレーキ１５の動作を制御するための機器を有する制御棒駆動補助盤３、および制御棒操作監視盤１からの制御棒操作指令の内容と現在の制御棒の状態とを比較し、制御棒操作が必要な場合に、制御棒駆動補助盤３に動作指令を出力する制御棒位置伝送補助盤２を有する。制御棒位置伝送補助盤２及び制御棒駆動補助盤３は、制御棒駆動装置１８毎に設けられる。

【００３６】

制御棒操作監視盤１は、運転員が操作および監視するための入出力機器（図示せず），複数の制御棒６の引抜，挿入の手順、および動作量を予め定めた制御棒動作手順を記憶する制御棒動作手順記憶部１１、および引抜／挿入指令を制御棒位置伝送補助盤２に出力する制御棒操作回路１０を有する。入出力機器には、制御棒の座標表示を行う表示装置，座標選択ボタン、および制御棒動作モード，挿入，引抜等の操作指令ボタンの指示入力器がある。運転員は、これらの機器により制御棒の操作を指令する。しかし、運転員が操作すべき制御棒を間違って選択することにより操作すべきでない制御棒が引抜かれた場合には、原子炉の熱的余裕が逸脱し、危険な状態になりかねない。これを防止するために、本実施例は、制御棒動作手順記憶部１１に記憶した制御棒動作手順を用いて、運転員により選択された複数の制御棒が、間違いなく操作すべき座標の制御棒であるか、また、動作量が規定値を超えていないかを常に監視している。

【００３７】

制御棒位置伝送補助盤２は、制御棒停止移動量記憶手段２１，励磁遮断目標位置作成手段２２，励磁遮断目標位置判定手段２３，制御棒位置判定手段２４，駆動中目標位置設定手段２５、および操作指令遮断手段２６を有する。制御棒位置伝送補助盤２は、各々の制御棒位置検出器８および制御棒操作監視盤１の各出力信号をもとにして、制御棒位置が励磁遮断目標位置作成手段２２から出力する引抜／挿入の目標値まで達していなければ、制御棒引抜／挿入指令を制御棒駆動補助盤３に出力する。一方、操作している制御棒の位置が励磁遮断目標位置作成手段２２から出力する引抜／挿入の目標値と一致した場合には、制御棒引抜／挿入指令の出力を遮断する。

【００３８】

交流電源が、ケーブル３５により、制御棒駆動補助盤３内の半導体スイッチング素子１３Ｂおよび誘導電動制御回路１３を介して誘導電動機７に接続される。電磁ブレーキ１５は、ケーブル３６によってケーブル３５に接続される。制御棒駆動補助盤３は、誘導電動機７及び電磁ブレーキ１５に供給する電力をオン／オフする半導体スイッチング素子１３Ｂ，制御棒引抜／挿入指令（引抜きまたは挿入）に応じて誘導電動機７の回転方向を設定する制御棒動作方向切換回路１３Ａ、および制御棒引抜／挿入指令を受けて、半導体スイッチング素子１３Ｂのオンオフ制御を行うと共に誘導電動機７の回転方向を設定する信号を制御棒動作方向切換回路１３Ａに出力する誘導電動制御回路１３を有する。半導体スイッチング素子１３Ｂとしては、トランジスタおよびサイリスタ等がある。

【００３９】

ＡＢＷＲでは、原子炉５に装荷された燃料集合体１６内に充填されている核燃料であるウラン等の核反応によって発生する熱が、原子炉５内に充填された冷却水１７に伝えられる

。冷却水１７は沸騰して蒸気１７Ａになる。図示されていないが、タービンは、蒸気１７Ａの供給によって回転され、発電機を回転させる。核燃料の核分裂の制御は、制御棒６の引抜／挿入の操作により行われる。制御棒６の炉心への挿入によって核燃料の核分裂が抑制され、制御棒６の炉心からの引抜きによって核燃料の核分裂が促進される。

【００４０】

本実施例の制御棒制御装置による制御棒引抜き操作を以下に説明する。ギャング操作すべき複数の制御棒の操作シーケンスは、制御棒動作手順記憶部１１に記憶されている。図２は、その操作シーケンスのうちの制御棒引き抜き時におけるギャング操作の操作シーケンスを示している。

【００４１】

制御棒操作においては、１本の制御棒のみを操作するのではなく、図２の制御棒座標に示すように複数の制御棒を１つのグループとして同時に操作するギャング操作を実施する。このギャング操作は、原子炉プラントの起動時間の短縮及び制御棒操作の省力化を達成することができる。例えば、制御棒グループ番号が１と示されている制御棒は２６本あり、このグループの制御棒が最初に同時に操作される。制御棒の操作に関する情報は、図２において制御棒の引抜シーケンスとして示されている。引抜シーケンス中の操作情報は、制御棒操作リミット，ガイドパターン及び引抜番号を含む。制御棒操作リミットは制御棒の操作目標位置を示す情報で、ガイドパターンは制御棒の連続的操作及びステップ的操作を示す情報であり、引抜番号は引抜操作の順番を示す情報である。制御棒をステップ的に操作するケースとしては、ステップ操作とノッチ操作がある。ノッチ操作は、制御棒をステップ的に操作する際の移動量がステップ操作よりも多い。

【００４２】

図２において、制御棒グループ番号１の全制御棒は、引抜順番１でポジション１８まで連続的に引抜かれることが示されている。引抜順番２は操作順番１に引き続いて操作されるものである。操作順番２において、制御棒グループ番号１の全制御棒がポジション１８からポジション２２までステップ操作で引抜かれる。引抜順番３においては、制御棒グループ番号１の全制御棒がポジション２２からポジション４８まで連続で引抜かれる。なお、制御棒の炉心内での全挿入位置をポジション０とし、制御棒が炉心から全引抜きされている位置をポジション４８としている。制御棒の微小移動の観点から、制御棒の全挿入位置をポジション０とし、制御棒の全引抜き位置をポジション２００とする場合もある。

【００４３】

次の引抜順番４では、制御棒グループ番号２の全制御棒に対して、ポジション１８まで連続的に引抜く操作が行われる。以下、図２の制御棒の引抜シーケンスにしたがって、引抜順番の番号順にギャング操作による制御棒の引抜きが行われる。引抜順番は、図２のＣの部分に示されている。

【００４４】

ギャング操作による制御棒の炉心内への挿入は、図２の制御棒引き抜き時におけるギャング操作の操作シーケンスの逆の順番で行われる。

【００４５】

ギャング操作すべき複数の制御棒の操作は、前述したように入出力機器を用いて運転員が入力した引抜制御棒座標（または挿入制御棒座標）および制御棒操作モード（連続，ノッチ，ステップ）の指定、および引抜指令（または挿入指令）といった制御棒操作指令９を制御棒操作回路１０が読み込むことによっても行われる。しかしながら、以下におけるギャング操作による制御棒引抜きは、制御棒操作回路１０が、制御棒動作手順記憶部１１の制御棒引抜シーケンスから読み出した情報（制御棒操作リミット，ガイドパターン及び引抜番号）、及び入出力機器を用いて運転員が入力した引抜指令（または挿入指令）を含む制御棒操作指令９を、制御棒位置伝送補助盤２の励磁遮断目標位置作成手段２２に出力することにより行われる。この制御棒操作指令９は、引抜指令及び引抜制御棒座標の情報を含んでいる。なお、制御棒操作回路１０は、運転員が引抜指令を入出力機器から入力すると、制御棒動作手順記憶部１１の制御棒引抜シーケンスを読み出す。制御棒停止移動量記

憶手段２１は、誘導電動機７への電力供給を遮断する指令が半導体スイッチング素子１３Ｂに出力されてから制御棒６が停止するまでに移動する制御棒移動量を記憶する。励磁遮断目標位置作成手段２２は、制御棒操作回路１０から入力した引抜目標位置、および制御棒停止移動量記憶手段２１から読み出した制御棒移動量を基に、引抜目標位置に対してこの制御棒移動量だけ手前の励磁遮断目標位置（＝（引抜目標位置）－（制御棒移動量））を作成する。この励磁遮断目標位置が最終的には誘導電動機７への電力供給を遮断し、かつ電磁ブレーキ１５を作動させる制御棒位置になる。制御棒が電力遮断目標位置に達したとき、誘導電動機７への電力供給が遮断され、かつ電磁ブレーキ１５が作動してから上記の制御棒移動量だけ制御棒６が移動して制御棒は引抜目標位置に停止する。励磁遮断目標位置作成手段２２で作成された励磁遮断目標位置は、励磁遮断目標位置判定手段２３に出力される。

【００４６】

全制御棒に対応して設けられた全ての制御棒位置検出器８の出力は、制御棒位置判定手段２４に入力される。制御棒位置判定手段２４は、励磁遮断目標位置作成手段２２が入力したギャング操作の対象となる各制御棒の制御棒座標（例えば、図２において制御棒グループ番号１の各制御棒に対する（０２，３９）及び　（０２，２３）等）を入力する。制御棒位置判定手段２４は、制御棒座標で示されたギャング操作される該当の各制御棒に対応する制御棒位置検出器８から、測定された制御棒位置信号を入力する。制御棒位置判定手段２４は、これらの制御棒位置信号に基づいて、制御棒６の移動方向（この場合、引抜方向）に対して先頭の制御棒の制御棒位置を検出する。駆動中目標位置設定手段２５は、制御棒位置判定手段２４から出力された先頭の制御棒の制御棒位置と移動加算量記憶手段２７から読み出された移動加算量とを加えて移動中の制御棒の目標位置を作成する。上記移動加算量は、誘導電動機７への電力供給を遮断する指令を半導体スイッチング素子１３Ｂに出力してから制御棒６が停止するまでに移動する制御棒移動量またはその移動量以上の値である。つまり、現在先頭の制御棒の制御棒位置にこの移動加算量を加えて移動中の制御棒の目標位置とするために、移動によって先頭の制御棒の制御棒位置が変わると、移動中の制御棒の目標位置も更新される。なお、駆動中目標位置設定手段２５は、先頭の制御棒の制御棒位置が上記の移動中の制御棒の目標位置に到達したとき、その更新が停止される。駆動中目標位置設定手段２５から出力される移動中の制御棒の目標位置は、励磁遮断目標位置判定手段２３および保持手段２８に入力される。

【００４７】

励磁遮断目標位置判定手段２３は、励磁遮断目標位置作成手段２２の出力と駆動中目標位置設定手段２５の出力を比較し、これらが一致したときに「移動中の制御棒の目標位置」を保持手段２８に保持させるための保持指令信号を保持手段２８に出力する。保持手段２８は、保持指令信号を入力するまで、駆動中目標位置設定手段２５から出力された「移動中の制御棒の目標位置」をそのまま目標位置判定手段２９に出力する。自己制御棒位置検出手段３０は、操作される自己の制御棒の位置を検出するものである。

【００４８】

目標位置判定手段２９は、保持手段２８の出力信号と自己制御棒位置検出手段３０の出力である制御棒位置とを比較し、これらが一致したときに遮断手段開信号を操作指令遮断手段２６に出力する。操作指令遮断手段２６は、遮断手段開信号の入力により開放されて、励磁遮断目標位置作成手段２２から出力された引抜指令（引抜方向，駆動オン）の、制御棒駆動補助盤３の誘導電動機制御回路１３への伝送を阻止する。一方、目標位置判定手段２９は、保持手段２８の出力信号と自己制御棒位置検出手段３０からの制御棒位置とが一致しないときに遮断手段閉信号を出力する。操作指令遮断手段２６は、遮断手段閉信号の入力により閉じられ、励磁遮断目標位置作成手段２２から出力された引抜指令を誘導電動機制御回路１３に伝える。

【００４９】

なお、複数の制御棒を同時に操作する際に、負荷条件（例えば、制御棒駆動装置１８のボール・スクリューナットとの嵌合の度合，駆動履歴，経年変化等）によって該当する各制

御棒間のわずかな位置ずれに起因して、制御棒が該当する引抜目標位置を大きく超えて停止することが、移動方向に対して先頭の制御棒の制御棒位置を基にして移動目標位置を設定してギャング操作をする各制御棒を移動させることによって、防止できる。更に、本実施例は、駆動中目標位置設定手段２５が「先頭の制御棒の制御棒位置」と「移動加算量」とを加えて「駆動中の制御棒の目標位置」を作成することにより、制御棒の現在位置に対して大きな移動目標量を与えることがないので、制御棒位置判定手段２４および移動加算量記憶手段２７に異常が発生しても制御棒を誤って大きく移動させることを防止できる。

【００５０】

誘導電動機制御回路１３は、遮断手段閉信号により操作指令遮断手段２６が閉じられているときに、励磁遮断目標位置作成手段２２から出力された引抜指令を入力する。誘導電動機制御回路１３は、入力した指令が引抜指令および挿入指令のいずれに該当するか判定する。誘導電動機制御回路１３は、引抜指令であると判定した場合に、引抜であることを示す信号（第１切替指令）を制御棒動作方向切換回路１３Ａに出力すると共に、半導体スイッチング素子１３Ｂをオンする。このため、交流電力がケーブル３５により半導体スイッチング素子１３Ｂおよび制御棒動作方向切換回路１３Ａを介して誘導電動機７に供給される。同時に、その電力がケーブル３５および３６を介して電磁ブレーキ１５に供給され、誘導電動機７の回転を阻止している電磁ブレーキ１５のブレーキ力が解除される。誘導電動機７が制御棒６を引抜く方向に回転し始める。制御棒６は、炉心から引抜かれる方向に移動する。

【００５１】

目標位置判定手段２９が遮断手段開信号を出力したとき、励磁遮断目標位置作成手段２２から誘導電動機制御回路１３への指令（引抜指令または挿入指令）の入力が停止される。誘導電動機制御回路１３は、引抜指令の入力停止により半導体スイッチング素子１３Ｂをオフする。誘導電動機７および電磁ブレーキ１５への電力供給が停止され、誘導電動機７の励磁が解除されると共に電磁ブレーキ１５のブレーキ力が働く。このため、ギャング操作を行った各制御棒６は、同一の引抜目標位置に停止できる。

【００５２】

特に、半導体スイッチング素子１３Ｂの応答遅れ時間は極めて短い。このため、半導体スイッチング素子１３Ｂを設けることによって、ギャング操作開始時にそれぞれの制御棒駆動装置１８の誘導電動機７の起動タイミングおよび電磁ブレーキ１５の作動タイミングがずれることがなく、駆動中のそれぞれの制御棒の位置がずれない。更に、誘導電動機７の回転停止時にはブレーキ性能に依存して誘導電動機７の回転停止位置が決まるが、それぞれの制御棒駆動装置１８の電磁ブレーキ１５の作動タイミングがずれることがないので、それぞれの制御棒の停止位置を引抜目標位置に一致させることができる。この結果、ギャング操作を行った各制御棒の位置に偏差を生じさせることがなく、原子炉出力分布の対称性が崩れて燃料集合体内の燃料棒に熱的なストレスを与えない。

【００５３】

本実施例は、誘導電動機７および電磁ブレーキ１５に電力を供給するケーブルの一部を共有しているので、約２００本ある制御棒に対するケーブルを大幅に削減できる。この点を考慮しなければ、図７の実施例のように誘導電動機７および電磁ブレーキ１５に分離した別々のケーブルによって電力を供給してもよい。

【００５４】

ギャング操作を行う各制御棒６を炉心内に挿入するとき、制御棒操作回路１０は、運転員が入力する挿入指令に基づいて制御棒動作手順記憶部１１の制御棒挿入シーケンスから読み出した挿入制御棒座標，制御棒操作リミット，ガイドパターン及び挿入番号、更に運転員が入力した挿入指令を含む制御棒操作指令９を作成し、この制御棒操作指令９を励磁遮断目標位置作成手段２２に出力する。励磁遮断目標位置作成手段２２は、制御棒操作回路１０から入力した引抜目標位置、および読み出した制御棒移動量を基に、挿入目標位置に対してこの制御棒移動量だけ手前の励磁遮断目標位置（＝（挿入目標位置）－（制御棒移動量））を作成する。目標位置判定手段２９は、保持手段２８の出力信号と自己制御棒位

置検出手段
３０の出力である制御棒位置とを比較し、引抜操作の場合と同様に遮断手段開信号または遮断手段閉信号を出力する。遮断手段閉信号が出力されたとき、励磁遮断目標位置作成手段２２から出力された挿入指令（挿入方向，駆動オン）が操作指令遮断手段２６を介して誘導電動機制御回路１３に伝えられる。誘導電動機制御回路１３は、挿入であることを示す信号（第２切替指令）を制御棒動作方向切換回路１３Ａに出力すると共に、半導体スイッチング素子１３Ｂをオンする。電磁ブレーキ１５のブレーキ力が解除される。誘導電動機７は、引抜きのときと逆方向に回転し、制御棒６を炉心内に挿入する。遮断手段開信号によって操作指令遮断手段２６が開放されて誘導電動機制御回路１３への挿入指令の入力が阻止される。半導体スイッチング素子１３Ｂがオフされて電磁ブレーキ１５のブレーキ力が働き、ギャング操作を行った各制御棒６は、同一の挿入目標位置に停止できる。

【００５５】
半導体スイッチング素子１３Ｂの設置により、制御棒挿入操作時においても、制御棒引抜き操作時と同様な効果を生じる。

【００５６】
本実施例の作用を、制御棒引抜きを例として具体的な数値を用いて以下に説明する。理解を容易にするために、制御棒６の全挿入位置を０とし、全引抜位置を２００とする。目標引抜位置を１００とし、現在の制御棒６の位置を７０とする。先頭の制御棒の制御棒位置を７１とする。制御棒停止移動量記憶手段２１に記憶されている制御棒移動量５とし、移動加算量記憶手段２７に記憶されている移動加算量は５またはそれ以上であるが、本例では５とする。制御棒操作回路１０から出力される操作指令は引抜指令であるので、引抜目標位置は１００となり、励磁遮断目標位置作成手段２２の出力である励磁遮断目標位置は９５となる。制御棒位置判定手段２４によって判定された先頭の制御棒の制御棒位置は７１であるため、駆動中目標位置設定手段２５の出力である駆動中の制御棒の目標位置は７６となる。励磁遮断目標位置判定手段２３は入力の９５と７５を比較し、これらが一致しないため保持手段２８には保持指令を出力しない。従って、保持手段２８の出力は７６となり、自己制御棒位置検出手段３０の出力である制御棒位置が７０であるため、目標位置判定手段２９は遮断手段閉信号を出力するので、励磁遮断目標位置作成手段２２から出力された引抜指令（引抜方向，駆動オン）が誘導電動機制御回路１３に入力される。

【００５７】
このため、制御棒が炉心から引抜かれる。この引抜きに伴って制御棒６の位置が大きくなり、駆動中目標位置設定手段２５の出力である駆動中の制御棒の目標位置も増大する。駆動中目標位置設定手段２５の出力が９５になると、励磁遮断目標位置作成手段２２の出力と一致するために、励磁遮断目標位置判定手段２３は保持指令を保持手段２８に出力する。保持手段２８は駆動中目標位置設定手段２５から出力される駆動中の制御棒の目標位置である９５を保持する。目標位置判定手段２９は自己制御棒位置検出手段３０の出力と保持手段２８の出力（値は９５）とが一致したとき、駆動指令遮断手段２６に遮断手段開信号を出力する。この結果、操作指令遮断手段２６は励磁遮断目標位置作成手段２２からの引抜指令（引抜方向，駆動オン）を誘導電動機制御回路１３に伝えない。従って、誘導電動機７および電磁ブレーキ１５は制御棒位置が９５のときに電力供給が遮断され、誘導電動機７の励磁が解除されると共に電磁ブレーキ１５のブレーキ力が働き、制御棒６は目標位置１００で停止する。このように他の制御棒も動作し、ギャング駆動の制御棒は目標位置１００ですべて停止する。

【００５８】
以上、制御棒引抜を説明したが、制御棒挿入のときには、駆動方向が逆だけであり同様である。ただし、例えば、現在の制御棒位置が１００から７０に駆動する場合に、目標位置７０に対して手前の７５で駆動指令の遮断が行われる。また、駆動中目標位置設定手段２５から出力される駆動中の制御棒の目標位置は、先頭の制御棒の制御棒位置より５ほど小さい値になる。

【００５９】

図３は、中央制御室からの制御棒操作指令と、それに基づく誘導電動機７の動作および制御棒の移動量との関係を示す。図３に示すように、制御棒動作指令が引抜／挿入のいずれかに応じて、誘導電動機７の回転方向が変化する。また、遮断手段開信号が出力されたときは実質的に制御棒の停止指令が出されたときに相当し、誘導電導機７は停止状態にある。また、制御棒引抜量は、引抜指令が出た場合には増加し、遮断手段開信号が出力された場合には一定となり、挿入指令が出力された場合には減少する。

【００６０】

次に、本発明の他の実施例である制御棒制御装置を図４を用いて説明する。図１の実施例と同じ構成は、同じ符号で示している。本実施例は、図１の実施例と、制御棒位置伝送補助盤２から実質的に駆動中目標位置設定手段２５および移動加算量記憶手段２７を削除した制御棒位置伝送補助盤２Ａを用いている点が異なっている。

【００６１】

制御棒位置伝送補助盤２Ａの作用のうち制御棒位置伝送補助盤２と異なっている部分を説明する。励磁遮断目標位置判定手段２３Ａは、励磁遮断目標位置作成手段２２の出力である励磁遮断目標位置と制御棒位置判定手段２４の出力である「先頭の制御棒の制御棒位置」とを比較し、一致した場合に励磁遮断目標位置を保持手段２８Ａに保持させる。目標位置判定手段２９Ａは、保持手段２８Ａの出力と自己制御棒位置検出手段３０の出力とを比較し、これらが一致するまでは遮断手段閉信号を、これらが一致したときに遮断手段開信号を、それぞれ操作指令遮断手段２６に出力する。このような本実施例は、図１の実施例と同様に誘導電動機７および電磁ブレーキ１５への電力供給、および電力供給の停止を行うことができ、図１の実施例と同様な効果を得ることができる。

【００６２】

図１の実施例における制御棒位置伝送補助盤２の機能を計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）で実現する場合には、演算周期を高速にして演算周期ごとに、駆動中目標位置設定手段２５で移動加算量記憶手段２７の出力と制御棒位置判定手段２４からの出力を加算して移動中の制御棒の目標位置を求める必要がある。計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）の演算周期が遅いと制御棒６が引抜目標位置（または挿入目標位置）をオーバーして停止する可能性がある。高速な演算周期を達成する計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）は大型である。これに対して、図４の実施例は、移動中の制御棒の目標位置を求める必要がなく、制御棒位置伝送補助盤２Ａを小型の低価格の計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）で実現できる。

【００６３】

本発明の他の実施例である制御棒制御装置を以下に説明する。本実施例は、図１の実施例の構成において、制御棒位置伝送補助盤２を計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）で実現したものである。本実施例における制御棒位置伝送補助盤２は、図５に示す処理を実行する。

【００６４】

図５の処理内容を以下に述べる。まず、制御棒操作回路１０からの制御棒操作指令９（移動方向，目標位置等）を取り込む（ステップ４１）。取り込んだ制御棒操作指令９のうちの目標位置に対して、電磁ブレーキ作動から制御棒停止までに移動する制御棒移動量（制御棒停止移動量記憶手段２１の記憶情報）を基に、誘導電動機への電力供給を遮断する励磁遮断目標位置を算出する（ステップ４２）。すべての制御棒位置検出器８から検出された制御棒位置情報を取り込み、制御棒の移動方向に対して先頭の制御棒の制御棒位置を算出する（ステップ４３）。算出した先頭の制御棒の制御棒位置に対して移動加算量（移動加算量記憶手段
２７の記憶情報）を加えて駆動中の制御棒の目標位置を算出する（ステップ４４）。移動方向が挿入の場合には、算出した先頭の制御棒の制御棒位置に対して上記の移動加算量を引くことにより移動中の制御棒の目標位置を算出することになる。ステップ４２での算出値とステップ４４での算出値とを比較し、これらの算出値が一致するか否かを判定する（

ステップ４５）。ステップ４５の判定が「不一致」の場合にはステップ４６の処理を実行する。ステップ４５の判定が「一致」の場合にはステップ４７の処理が実行される。ステップ４６では、制御棒駆動補助盤３に操作指令（制御棒の移動方向，駆動オン）を出力する。これにより制御棒の移動が開始され、ステップ４７の処理が実行されるまで制御棒が移動され続ける。ステップ４７では、移動対象の制御棒の位置を取り込み、この位置がステップ４４で最後に算出した「駆動中の制御棒の目標位置」と一致するか否かを判定する。ステップ４７の判定が「不一致」の場合には、図示されていないが遮断手段閉信号を操作指令遮断手段２６に対して出力し、ステップ４７の処理を再実行する。ステップ４７の判定が「一致」の場合にはステップ４８の処理を実行する。ステップ４８では、制御棒駆動補助盤３への操作指令（制御棒の移動方向，駆動オン）の出力を停止するための遮断手段開信号を操作指令遮断手段２６に対して出力する。なお、ステップ４４で最後に算出した駆動中の制御棒の目標位置が図１の励磁遮断目標位置作成手段２２で作成した誘導電動機の励磁を遮断する目標位置と等しい。このようにして制御棒位置伝送補助盤２の機能を計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）で実現することができる。

【００６５】

本実施例は、図１の実施例と同じ効果を生じる。

【００６６】

本発明の他の実施例である制御棒制御装置を以下に説明する。本実施例は、図４の実施例の構成において、制御棒位置伝送補助盤２Ａを計算機システム（あるいはマイクロプロセッサシステム）で構成したものである。本実施例における制御棒位置伝送補助盤２Ａは、図６に示す処理を実行する。

【００６７】

図６の処理のうち図５と同じ処理は、同一の符号を付してある。図５の処理と同様に、ステップ４１，４２および４３の処理が実行される。その後、ステップ４２での算出値とステップ３３での算出値とを比較し、これらの算出値が一致するか否かを判定する（ステップ４５Ａ）。ステップ４５Ａの判定が「不一致」の場合にはステップ４６の処理を実行する。ステップ４５Ａの判定が「一致」の場合にはステップ４７Ａの処理が実行される。ステップ７４Ａでは、移動対象の制御棒の位置を取り込み、この位置がステップ４３で最後に算出した「先頭の制御棒の制御棒位置」と一致するか否かを判定する。ステップ４７Ａの判定が「不一致」の場合には、図示されていないが遮断手段閉信号を操作指令遮断手段２６に対して出力し、ステップ４７Ａの処理を再実行する。ステップ４７の判定が「一致」の場合にはステップ４８の処理を実行する。なお、ステップ４３で最後に算出した先頭の制御棒の制御棒位置が図４の実施例の励磁遮断目標位置作成手段
２２で作成した誘導電動機の励磁を遮断する目標位置と等しい。本実施例は、図４の実施例と同じ効果を得ることができる。

【００６８】

本発明の他の実施例である制御棒制御装置を図７により以下に説明する。本実施例は、整流装置４Ａおよび半導体スイッチング素子４Ｂを有するブレーキ電源装置４を備えている点が図１の実施例と異なっている。

【００６９】

整流装置４Ａは、ブレーキ用電源ＡＣを電磁ブレーキ１５Ａ動作用のＤＣ電源に変換する。半導体スイッチング素子４Ｂは、整流装置４Ａに接続され、ケーブル３６Ａによって電磁ブレーキ１５Ａに接続される。半導体スイッチング素子
４Ｂは、目標位置判定手段２９の出力である遮断手段閉信号および遮断手段開信号を入力する。遮断手段閉信号が入力されたとき、半導体スイッチング素子４Ｂはオンされ、電磁ブレーキ１５Ａのブレーキ力が解除される。一方、遮断手段開信号が入力されたとき、半導体スイッチング素子４Ｂはオフされ、電磁ブレーキ１５Ａのブレーキ力が作動する。このとき、誘導電動機７は回転できない。

【００７０】

図１の実施例と同様に、半導体スイッチング素子１３Ｂがオンすると誘導電動機７に電力

が供給され、半導体スイッチング素子１３Ｂがオフすると誘導電動機７への電力供給が停止される。半導体スイッチング素子４Ｂおよび１３Ｂのオン／オフ動作は、一致している。このため、電磁ブレーキ１５Ａのブレーキ力が解除されるとき、誘導電動機７に電力が供給されて誘導電動機７が回転し、制御棒６が設定された方向に移動する。本実施例は、図１の実施例で生じる効果を得ることができる。

【００７１】

誘導電動機７の回転軸に連結される電磁ブレーキ１５Ａは、ＤＣ電源で動作する。このような電磁ブレーキ１５Ａを用いる理由は、電源ＡＣ電源で動作する電磁ブレーキ１５よりもブレーキの応答時間が短くなる。従って、電磁ブレーキ１５Ａの適用は、電源ＡＣ電源で動作する電磁ブレーキを用いる場合に比べて負荷変動の影響を受ける時間が短くなるので、制御棒の位置決め目精度を一層向上できる。なお、電磁ブレーキ１５Ａは電力供給でブレーキ力が作動するものであっても良い。この場合には誘導電動機７を回転させるために励磁すると共に電磁ブレーキ１５Ａへの電力供給を遮断し、誘導電動機７の励磁が遮断されると共に電磁ブレーキ１５に電力を供給するようにすればよい。

【００７２】

ブレーキ電源装置４および電磁ブレーキ１５Ａは、図４の実施例に適用することもできる。

【００７３】

【発明の効果】

本発明によれば、半導体スイッチング素子を用いて誘導電動機及び電磁ブレーキへの電力供給を制御するので、制御棒を駆動するのに誘導電動機を用いた場合において、ギャング操作の際に、各制御棒の停止位置の偏差を低減できる。このため、炉心の水平断面においてギャング操作された各制御棒の位置での原子炉出力がほぼ均一化でき、熱的制限値等を考慮した炉心運転管理がしやすくなる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の好適な一実施例である制御棒制御装置の構成図である。

【図２】図１の制御棒動作手順記憶部に記憶されている制御棒引抜シーケンスの具体例を示す説明図である。

【図３】図１における誘導電動機の動作及び制御棒の動作量との関係を示す特性図である。

【図４】本発明の他の実施例である制御棒制御装置の構成図である。

【図５】本発明の他の実施例である制御棒制御装置の制御棒位置伝送補助盤２で実行される処理のフローチャート。

【図６】本発明の他の実施例である制御棒制御装置の制御棒位置伝送補助盤２で実行される処理のフローチャート。

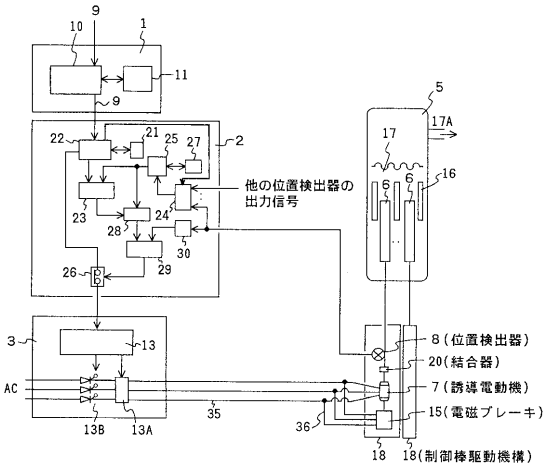
【図７】本発明の他の実施例である制御棒制御装置の構成図である。

【符号の説明】

１…制御棒操作監視盤、２，２Ａ…制御棒位置伝送補助盤、３…制御棒駆動補助盤、４…電磁ブレーキ電源装置、４Ｂ，１３Ｂ…半導体スイッチング素子、６…制御棒、７…誘導電動機、８…制御棒位置検出器、１５，１５Ａ…電磁ブレーキ、２１…制御棒停止移動量記憶手段、２２…励磁遮断目標位置作成手段、２３…励磁遮断目標位置判定手段、２４…制御棒位置判定手段、２５…駆動中目標位置設定手段、２６…操作指令遮断手段、２７…移動加算量記憶手段、２８…保持手段、２９…目標位置判定手段、３０…自己制御棒位置検出手段。

【図１】

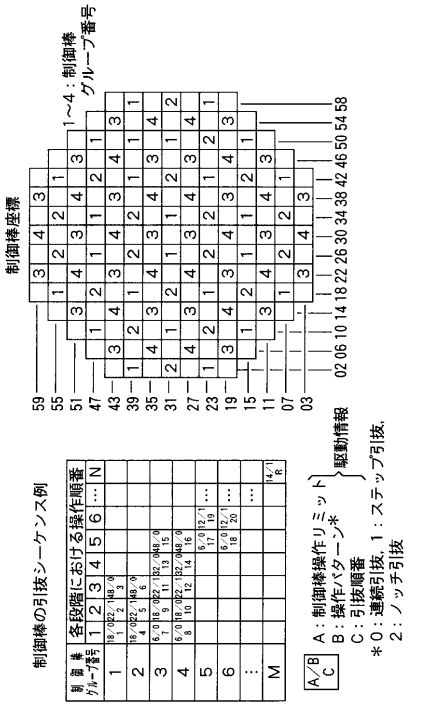
図 1



1…制御棒操作監視盤
2…制御棒位置伝送補助盤
3…制御棒駆動補助盤
6…制御棒
7…誘導電動機
13B…半導体スイッチング素子
15…電磁ブレーキ
21…制御棒停止移動量記憶手段
22…励磁遮断目標位置作成手段
23…励磁遮断目標位置判定手段
24…制御棒位置判定手段
25…駆動中目標位置設定手段
26…操作指令遮断手段
27…移動加算量記憶手段
28…保持手段
29…目標位置判定手段
30…自己制御棒位置検出手段

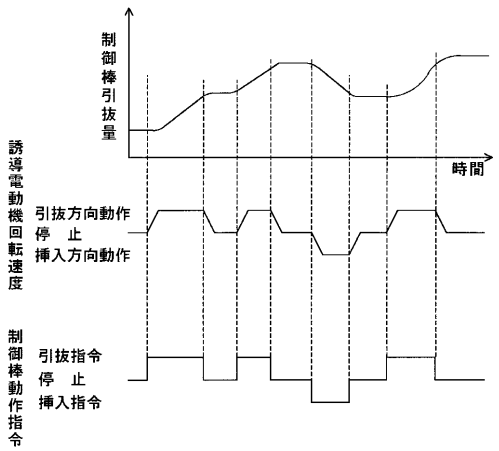
【図２】

図 2



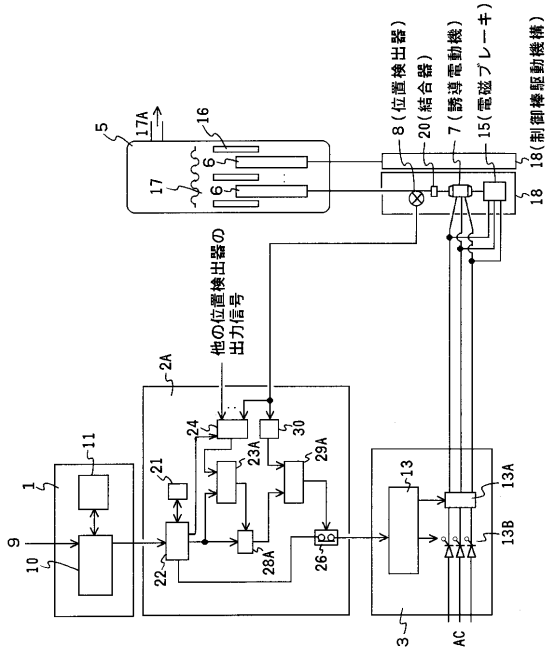
【図３】

図 3



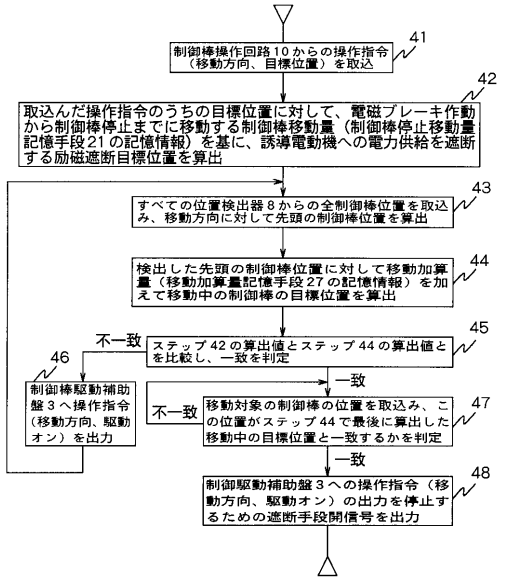
【図４】

図 4



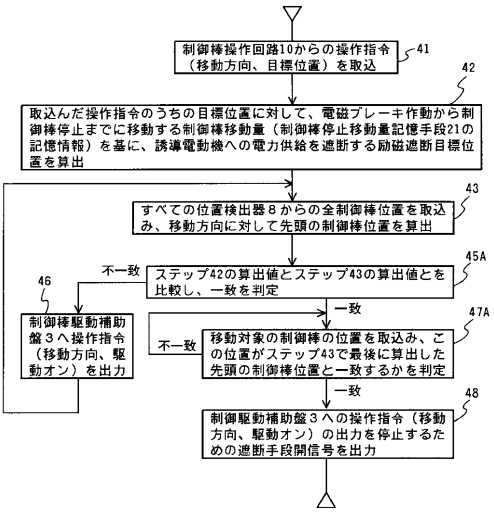
【図５】

図 5



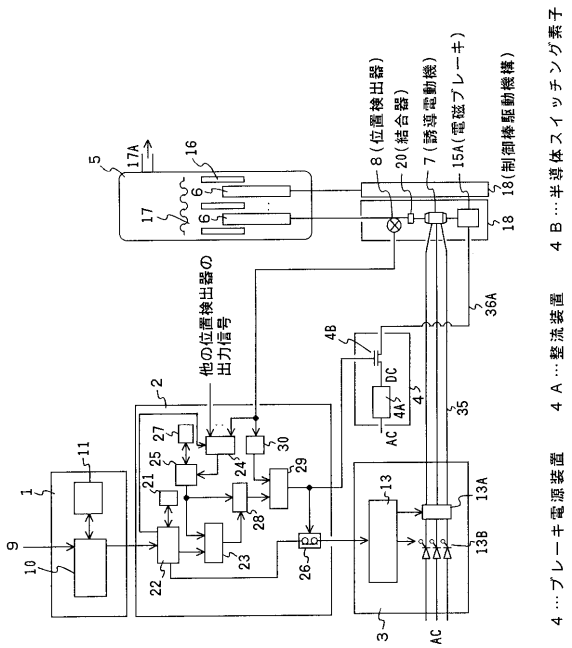
【図６】

図 6



【図７】

図 7



フロントページの続き

(72)発明者　東川　裕一
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

合議体
審判長　鹿股　俊雄
審判官　辻　徹二
審判官　柏崎　正男

(56)参考文献　特開平６－３００８７８（ＪＰ，Ａ）
特開平９－８０１８２（ＪＰ，Ａ）
特開平７－２４５９７３（ＪＰ，Ａ）
特開昭４９－１３５９７（ＪＰ，Ａ）