

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2516240号

(45) 発行日 平成 8 年(1996) 7 月24日

(24) 登録日 平成 8 年(1996) 4 月30日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 B 1/00			G 2 1 B 1/00	J

請求項の数 1 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願昭63-82704	(73) 特許権者	999999999 日本原子力研究所 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 2 号
(22) 出願日	昭和63年(1988) 4 月 4 日	(73) 特許権者	999999999 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号
(65) 公開番号	特開平1-254891	(72) 発明者	森 雅博 茨城県那珂郡東海村村松2116-11
(43) 公開日	平成 1 年(1989) 10 月11日	(72) 発明者	荘司 昭朗 茨城県那珂郡東海村舟石川765-1
		(72) 発明者	大藪 勲 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町 1 丁目 1 番 2 号 三菱電機株式会社制御製作所内
		(74) 代理人	弁理士 高田 守
		審査官	江塚 政弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ制御方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】ポロイダルコイルの目標電流パターン値を設定し、この目標電流パターン値をプラズマの位置及び形状のフィードバック信号に重畳させて、この重畳信号に基づきプラズマの制御を行うプラズマ制御方法において、上記ポロイダルコイルの電流を検出し、この検出信号から上記設定した目標電流パターン値を減算し、この減算値に一定の修正係数を乗算して修正値を求め、この修正値を上記目標電流パターン値に加算して次回の目標電流パターン値を得ることを特徴とするプラズマ制御方法。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

この発明は核融合装置において、プラズマの位置、形状を制御し、プラズマを所定時間安定に維持させるプラ

2

ズマ制御方法に関する。

〔従来技術〕

第 8 図は従来のプラズマ制御方法のブロック接続図であり、図において、1 は小型計算機 9 にあらかじめ用意されているプレプロ波形信号作成プログラムを用いて作成されたプレプロ波形信号を保持するバッファメモリからなるパターン発生器、2 はパターン発生器 1 に保持されているプレプロ波形信号を、プラズマ電流 I_p に見合うポロイダルコイル 5 の電流基準信号として、プラズマ制御装置 8 によるフィードバック信号で補正するフィードバック演算器、2a は直流電流検出器 7 の出力であるポロイダルコイル 5 の電流とフィードバック演算器 2 の出力とを比較する比較器、3 は比較器 2a 出力によりサイリスタ整流器 4 へのゲートパルス信号を制御する電流制御回路、4 はポロイダルコイル 5 に通電する電流を得るサイ

リスタ整流器、6はプラズマ、8はプラズマの発する信号にもとづきフィードバック信号を出力する上記プラズマ制御装置、9はプレプロ波形信号作成プログラム等の実行を制御したり、グラフィック・ディスプレイ装置10、キーボード装置11、フレキシブルディスク装置12を制御する小型計算機である。なお、このグラフィック・ディスプレイ装置10は小型計算機9に準備されているプレプロ波形信号作成プログラムを用いて使用者が作成したプレプロ波形、数値等を表示し、キーボード装置11は使用者がプレプロ波形信号を作成するのに必要な数値、記号等の情報を入力するために用い、フレキシブルディスク装置12はプレプロ波形信号作成プログラムをはじめ小型計算機で使用するプログラムの格納、あるいは作成されたプレプロ波形信号の数値、定数等を蓄積するために用いる。

次に動作について説明する。小型計算機9に準備されている機能は全てプログラムで供給され、それらはメニューにより選択し実行できる。まずプレプロ波形を作成するのに必要な初期値を入力する。入力された初期値は小型計算機9の主記憶装置の決められた初期値格納エリアに置かれて、必要によりプリンタ装置13に出力することも可能で、必要があれば修正することができ、正しく準備された初期値を引用し、プレプロ波形信号を作成する。

この装置は核融合実験装置等においてプレプロ波形信号とフィードバック信号を併用する制御システムで、プレプロ波形設定装置として小型計算機を採用し、小型計算機9にあらかじめ準備されているプレプロ波形作成プログラムにより使用者との対話形式でプレプロ波形を作成し、これを小型計算機9に接続されているパターン発生器1内のバッファメモリの所定のメモリ位置に一旦保持し、タイミング信号によってプレプロ波形信号を出力する。

〔発明が解決しようとする課題〕

従来のプラズマ制御方法は以上のように構成されているので、定常偏差、外乱に対するじょう乱の低下を、安定性を維持したまま達成するために、微妙に変化させるパターンの作成を、すべてマニュアル作業に頼らねばならず、実験データを測定した後、オペレータの判断で、次のパターンを決定する必要がある、作業に時間がかかりすぎるほか、パターンを高精度に設定するのが困難であるなどの問題点があった。

この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、あるパターンにより実験がなされた場合、その実験データにより予め設定した所定の関数に従って次回実験用のパターンを自動的に修正するプラズマ制御方法を得ることを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

この発明にかかるプラズマ制御方法は、ポロイダルコイルに供給する電力を、電流変成器等による電流検出に

よって行い、この検出出力と予め設定したポロイダルコイルに対して設定した電流パターン出力とに、一定の関数で演算をほどこし、この演算結果にもとづいて、次のプレプロ波形設定装置による放電のプレプロパターンを自動的に修正するように構成したものである。

〔作用〕

この発明におけるプラズマ制御方法は、このシステム中の小型計算機によって、プレプロ波形設定装置により設定したポロイダルコイル電流の設定値と、測定しているポロイダルコイル電流の実測値とを比較演算し、この演算結果たる誤差を修正する方向に、上記ポロイダルコイルに供給する電流を、サイリスタなどを用いて自動的にコントロールするように作用する。

〔実施例〕

以下、この発明の一実施例を図について説明する。第1図はプラズマ制御ブロック図であり、21は電源部、22はプレプロ波形設定装置、23はプラズマ伝達関数発生器、24はコントローラ、25はサイリスタ電源、26はポロイダルコイル、27は直流電流変換器（以下、DCCTという）を示す。

かかる回路では、プラズマの形状（例えば円形断面又はD形断面）を示す命令基準 x が与えられ、その制御対象であるプラズマ位置すなわち制御対象 y を得ることを目的とする。プラズマの形状そのものを学習制御することは困難であるため、ポロイダルコイルにある電流パターンを与えた場合、どのようなプラズマ形状となるかを測定し、そのプラズマ位置修正分を学習制御することにより次回放電ポロイダルコイル電流パターンを作成する。

第2図はプラズマ制御装置のブロック接続図である。

トカマク形核融合装置はプラズマを閉じ込めるトロイダルコイルとプラズマ形状及び位置をコントロールするためのポロイダルコイルより構成される。

そして、ポロイダルコイル中Sコイル35dは主ポロイダルコイルであり、ドーナツ形プラズマの大円周が膨張する力を抑える磁場を発生する。Vupコイル32d、 V_{L0w} コイル33dはSコイル35dの補助として、プラズマの速い動きを制御するために用いる。Qコイル34dは磁気ダイバータを現実的な電力で作作り出す。OHコイル36dはオーム加熱用コイルであり、主として電磁誘導でプラズマ電流を作り出す。

上記の如くプラズマ位置、形状は各々のポロイダル電流により制御されるが、必要な各コイルの電流は圧力等種々の要素によって左右され、本発明の構成の実験、学習により最適値をみつけるのが適当である。31はプラズマ制御盤であり、制御室に設置さてる。32はVup電源盤、33は V_{L0w} 電源盤、34はQ電源盤、35はS電源盤、36はOH電源盤、37はH電源盤であり、それぞれ現場に設置される。38はデータロガー盤であり、32～37の各電源盤の電流信号を受け、データロギングを行った後、光信号

に変換して制御室のプラズマ制御盤31へ送信する。データロガー盤38は現場にあり、かつ32～37の各制御盤から近い位置に設置される。プラズマ制御盤31には、コントローラ31a、ジェネラル・パポーズ・インタフェース・バス・インタフェース（GENERAL PURPOSE INTERFACE BUS INTERFACE、以下 GPIBI/F という）31b、光 GPIB リンク 31c が収納されている。Vup 電源盤にはコイル電圧フィードバック用抵抗 32a、主回路から電圧信号を絶縁して取り出すための絶縁アンプ 32b、プラズマ制御盤 31 から光信号で送られて来た電流基準アナログ信号を受けてサイリスタをコントロールするコントローラ 32c、Vup コイル 32d、Vup コイル 32d の電流を制御するサイリスタ 32e、コイル電流を計測する直流電流検出器（以下 DCCT という）、コイル電流信号をデータロガーに送出するための絶縁アンプ 32q が収納されている。電源 33～37 についても、同一サフィックスは同一物を示す。

38a はデータロガーであり、各電源から来る DCCT 電流信号を受け、アナログ→デジタル変換（以下 A/D 変換という）及びシリアルデータ化して光 GPIB リンク 38h を通し、光信号に変換した後、プラズマ制御盤 31 へ送出する。図中太線部は光信号であることを示す。

次に、プラズマ制御動作について説明する。

プレプロ波形設定装置 22 に設定された波形信号は、コントローラ 31a に送られ、プラズマ計測信号と演算を行って電流基準信号を作った後、アナログ光信号に変換されて、各電源盤 32～38 に送られると同時に、データロガー盤 38 のデータロガー 38a にデータ取込スタート信号が送られデータロガー 38a が計測をスタートする。一方、電源盤 32～37 の各コントローラ 32c～37c では、上記電流基準信号を受け、コイル電圧フィードバック信号とコイル電流フィードバック信号とを演算した後、その演算出力をサイリスタゲート信号とする。また、DCCT 電流信号は、絶縁アンプ 32q～37q のそれぞれを通してデータロガー 38a に入力され、データロギングされた後、プラズマ制御盤 31 のプレプロ波形設定装置に入力される。プレプロ波形設定装置 22 では、以下の学習制御がなされ、次回の設定信号が作成される。

第 3 図は学習制御ソフトウェアシステム構成図である。

41 はシングルジョグ・モードで動作するバッチディスクオペレーティングシステム、42 はコマンドアナライザであり、初期値設定プログラムや、波形設定プログラム等を管理し、オペレーターの指示により、それらのプログラムを起動させるプログラムである。43 は初期値設定プログラムであり、各コイル 32d～37d のコイルデータ、電流、電圧リミット値等の初期値パラメータを設定、表示、変更するものである。44 は学習制御初期値設定プログラムであり上記初期値設定プログラム 43 の 1 モジュールとして構成され、データ・サンプリングタイム、学習制御チャンネル割付、データロガー入力割付の設定値表

示、変更を行うプログラムである。45 は波形設定プログラムであり、ポロイダルコイルに通電する電流波形を計算機の主メモリ上にマニュアルにて作成及び修正する機能を持つプログラムである。さらに、オペレーターの指示により学習制御プログラムを起動する機能を有する。46 は学習制御プログラムであり、上記波形設定プログラム 45 により起動され、光 GPIB リンク 31c を介してデータロガー 38a をコントロールし、ポロイダルコイル電流波形を読み込む機能、オペレーターの指示により学習制御演算する機能、学習制御演算された波形データをデジタル→アナログ変換器（以下 D/A 変換器という）のパファメモリに転送する機能を持ったプログラムである。

ここで、初期値設定プログラム 43 は、コマンドアナライザ 42 より初期値設定プログラム 43 を起動後、初期値設定メニューを画面に表示し、オペレーターの指示により学習制御初期値設定ルーチンへジャンプする。学習制御初期値設定ルーチンでは、以下の 3 つの項目に対して、現在の設定値の表示および変更を行う。

- (1) データサンプリングタイムの選択
- (2) 学習制御を行うチャンネル番号とデータロガー 38a の測定チャンネルの割付
- (3) データロガーの計測割込入力番地の選択

データサンプリングタイムは、商用電源周波数 50Hz の波長に対し、12 相整流の 1 相分、すなわち 1,667msec 及びその 2 倍の 3,333msec の二者択一とし、現在の設定値の表示及び変更が行えるようになっている。

○学習制御を行うチャンネル番号とデータロガー測定チャンネルの割付は、まず現在の設定値の画面表示を行い、オペレータ装置にて変更を行う。

○データロガー 38a の計測割込入力番地選択は画面表示して選択するものとする。

すべての入力が終了した後画面表示し、現在の設定値を入力値と置き換えるか否かをキーボードより入力し、文字「Y」が入力された時、バッファエリアに入れてある入力値を学習制御初期値設定テーブルに記憶させ、さらに、データロガーに対し、データサンプリング周期等の初期化を行う。

文字「N」が入力された場合は、何もせず次の処理に移る。それ以外の文字が入力された場合はベルを鳴らし、再入力するものとする。以上の処理が終了後、オペレータ指示により初期値設定メニューに戻る。

波形設定プログラム 45 はコマンドアナライザよりオペレータ指示により起動後、波形設定メニューを画面に表示し、学習制御プログラムを起動する。

第 4 図は学習制御プログラム全体フローチャートを示す。

学習制御プログラムは、下記の 3 つのモジュールより構成される。

- (1) コントローラ 31a への波形データ転送
- (2) データロガー 38a のコントロール

(3) 学習制御演算

まず、波形設定プログラム45より学習制御プログラム46を起動すると、まず、コントローラ31aへの波形データ転送ルーチンがスタートし、(ステップ51)、学習制御を行うチャンネルの波形データをコントローラ31a内のD/A変換器のバッファメモリに転送する。次に、転送データのエラーの有無を判断し(ステップ52)、無い場合はデータロガー38aのコントロールルーチンがスタートし(ステップ53)、データロガー38aに電流波形データを取込み、さらにそのデータを計算機の主メモリエリアに転送する。次に、転送データのエラーの有無を判断し(ステップ54)無い場合には学習制御演算ルーチンがスタートし(ステップ55)、オペレータの指示により学習制御演算を行う。オペレータのコマンド入力により(ステップ56)、そのまま学習制御を継続する場合は、学習制御プログラム46の先頭に戻り(ステップ57)、同じ処理ことをくり返す。また、学習制御された波形に修正を加える必要がある場合は、波形設定プログラム45に戻り、このプログラム45の波形修正機能を用いて、オペレータの指示による修正を行い、再び学習制御プログラムに戻る。そして、学習制御を終了するときは、コマンドアナライザ42に戻る。

第5図はコントローラ31a内のバッファメモリへのデータ転送ルーチンのフローチャートを示す。

まず、バッファメモリデータへの転送を実行するには、ディスプレイ上にバッファメモリのライト中表示を行い(ステップ62)、次に、学習制御初期化ルーチンで設定された学習制御割付チャンネルを基に、コモンブロック内の波形データを汎用デジタル入出力機構を介してコントローラ31a内のD/A変換器のバッファメモリに転送し、(ステップ63)、その後、バッファメモリ内の波形データを読み出し、転送したデータと比較し、正確な転送が行われたかをチェックする(ステップ64)。

データの転送中はそのチェック内容を画面に表示し、現在の状態がオペレータにわかる様にする。正常に終了した場合は、エラーフラグをゼロとして処理を終了する(ステップ65)。

転送データに不良が発生した場合は、再度波形データをバッファメモリに転送し(ステップ66)さらにバッファメモリを読み出し、比較を行う。もし、再度不良が発生した場合は、不良内容をプリンタに出力し(ステップ67)、エラーフラグに1を立てて処理を終了する(ステップ68)。

なお、データの転送時、計算機内の波形データは単精度実数形式の工学単位のデータ、D/A変換器のバッファメモリ内は、 $\pm 10V$ フルスケールとした12ビットのデータであり、そのスケール変換係数は、各チャンネルに対応して単精度実数形式で格納してある。波形データは、先頭より各チャンネル単精度実数形式で格納してある。

第6図はデータロガー・コントロール・ルーチンのフローチャートを示す。これによれば、まずエラーフラグとオーバーフローフラグをゼロにしてリセットし(ステップ71)、次に GPIB 機構、光 GPIB リンク 31c を介して計算機に接続されたデータロガーをコントロールし、データロガー割込番地に割込信号が入力されると、計測をスタートする様にデータロガー内にプログラムを組み、それを起動し(ステップ72)、画面にデータロガーがスタンバイ状態にあることを表示し(ステップ73)、計測完了まで待つ(ステップ74)。計測が完了したら、「データ計測完了」「データ転送中」表示し(ステップ75)、データロガチャンネル割付テーブルを基にして6チャンネル分繰り返し(ステップ76)、データロガー38aの計測データを主メモリエリアに読み込む(ステップ77)。次に、GPIBエラーの有無を判定し(ステップ78)、無い場合には、後述のコード変換を行う。なお、データロガーの計測インターバルは、データサンプリングタイムが1,667msecの時1msec、3,333msecの時2msecとして設定し、その差は直線補間を用いて時間軸補間84により修正する(ステップ84)。

データロガーからのデータはASCIIコードで送られてくるが、これを1wd長の整数に変換する(ステップ79)。この時、GPIB I/Fのデータ転送エラーや、送られてきたASCIIコードが正常に数値に変換されなかった場合は、コード変換エラーを判別し(ステップ80)、再度データロガーから計測データを読み込む(ステップ81)。再度エラーが生じた時は、エラーの生じたデータロガーチャンネル及び、データロガーのステータスをプリンタに出力し、エラーフラグに“3”を立てて処理を終了する(ステップ82)。また、データロガーのステータスを読み込む(ステップ83)。

なお、データロガーの計測時にエラーが生じていない場合には、時間軸補間を行って、データロガーのステータスを調べ(ステップ85)、(86)、もし、エラーが生じていれば、エラーフラグに“2”を立てて処理を終了し(ステップ87)、エラーNo.、チャンネルNo.のステータス表示をする(ステップ88)。また、この時、ステータス内のスケールオーバーフローフラグを調べ(ステップ89)、学習制御プログラム内のオーバーフローフラグをセットする(ステップ90)。

第7図は学習制御計算のフローチャートを示す。

まず、画面上に座標軸を表示させ(ステップ100)、チャンネルNo.、時間軸、コントロール方法などをキーボードにより入力し(ステップ101)、学習制御を行うチャンネルの指示及び時間軸はms単位の時間表現とするか、順番表現とするかの方法を指定する。次に、前回設定及び測定波形表示を行う(ステップ102)。例えば前回ショットの設定波形を一点鎖線で、測定波形を破線でそれぞれ示す。次に学習制御区間及び

係数 α の入力をする(ステップ(103))。具体的には式(1)の α_m, T_m, T_m' の値を入力する。次に、 $f_m \leftarrow f_m + \alpha_m (d_m - f_m)$ の式に従って学習制御計算を行い、次回の設定波形データを求める(mはチャンネル番号で $1 < m < 6$)。すなわち、式(1)の演算を行う(ステップ(104))。

* 続いて、次回設定波形表示を行い(ステップ(105))学習制御演算終了後、その結果を実線として加える。次に、他チャンネルの学習制御計算をするかどうかの入力であり、2チャンネル以上学習制御を行う場合は、再度前記の動作を繰り返す(ステップ(106))。

$$f_m^{(1)}(t) = f_m^{(0)}(t) + \alpha_m (d_m(t) - f_m^{(0)}(t))$$

… 式(1)

($T_m \leq t \leq T_m'$)

※ ※但し、

$f_m^{(0)}(t)$: 第mチャンネル、時刻tにおける前回放電の目標値

$f_m^{(1)}(t)$: 第mチャンネル、時刻tにおける次回放電の目標値

$d_m(t)$:時刻tでの第mチャンネルに対応した前回放電のデータ

α_m :第mチャンネルの修正係数

T_m :学習制御演算スタート時刻

T_m' :学習制御演算エンド時刻

本実施例では電流検出器に直流形変流器を用いたがシャント抵抗や交流形変流器でも同一目的が達成できる。また、コイル電流のコントロールに用いているサイリスタ電源はトランジスタ電源でも良く、また演算式の変形も可能である。

〔発明の効果〕

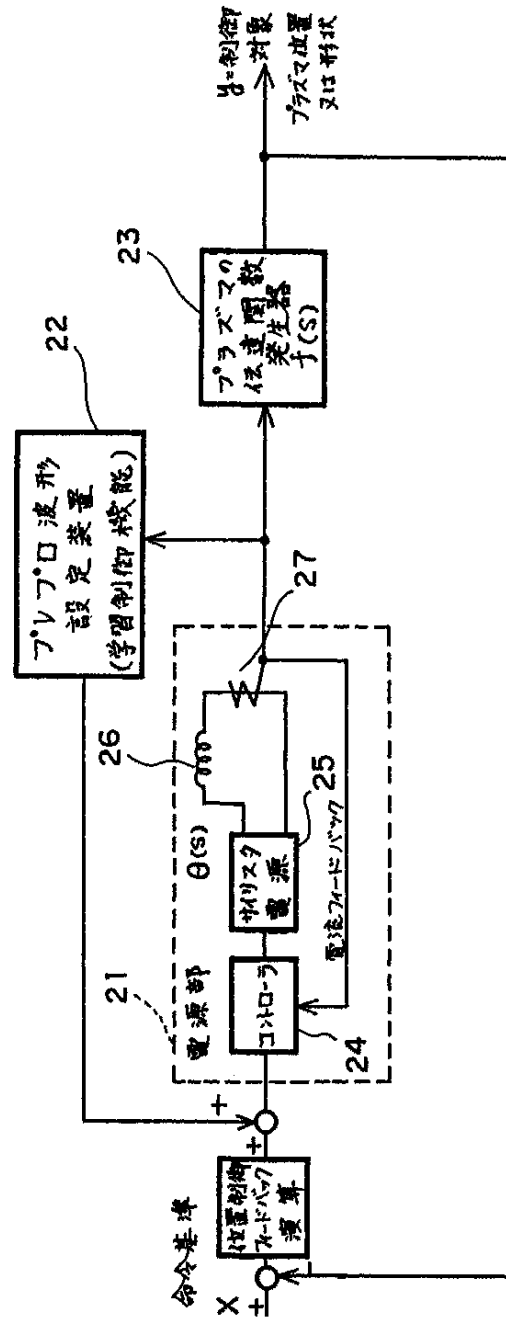
以上のように、この発明によれば、ポロイダルコイルの電流を検出し、この検出信号から上記設定した目標電流パターン値を減算し、この減算値に一定の修正係数を乗算して修正値を求め、この修正値を上記目標電流パターン値に加算して次回の目標電流パターン値を得るよう

20 に達成したので、修正値がばらつくのみであり、ハードウェアの制御がやりやすい。また、プラズマの位置や形状を安定性を保持しつつ、数ショットの放電にて確実に制御できるものが得られる効果がある。

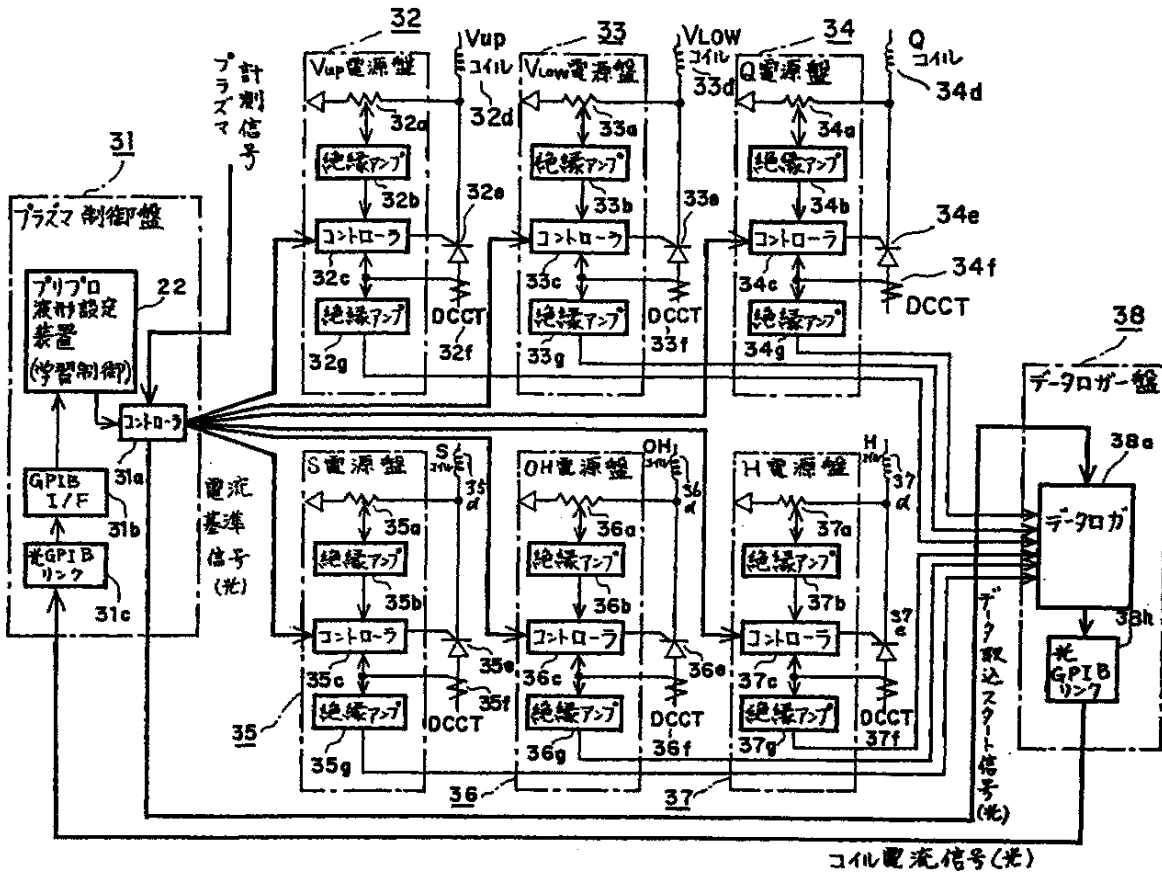
【図面の簡単な説明】

第1図は本発明の一実施例によるプラズマ制御方法のブロック接続図、第2図はプラズマ制御方法の回路図、第3図は学習制御ソフトウェアのシステム構成図、第4図は学習制御プログラム全体のフローチャート、第5図はバッファメモリ・データ転送ルーチンのフローチャート、第6図はデータロガーコントロールルーチンのフローチャート、第7図は学習制御のフローチャート、第8図は従来のプラズマ制御方法のブロック接続図である。21は電源部、22はプレプロ波形設定装置、23はプラズマの伝達関数発生器、25はサイリスタ電源、26はポロイダルコイル、27はポロイダルコイルの電流検出器。

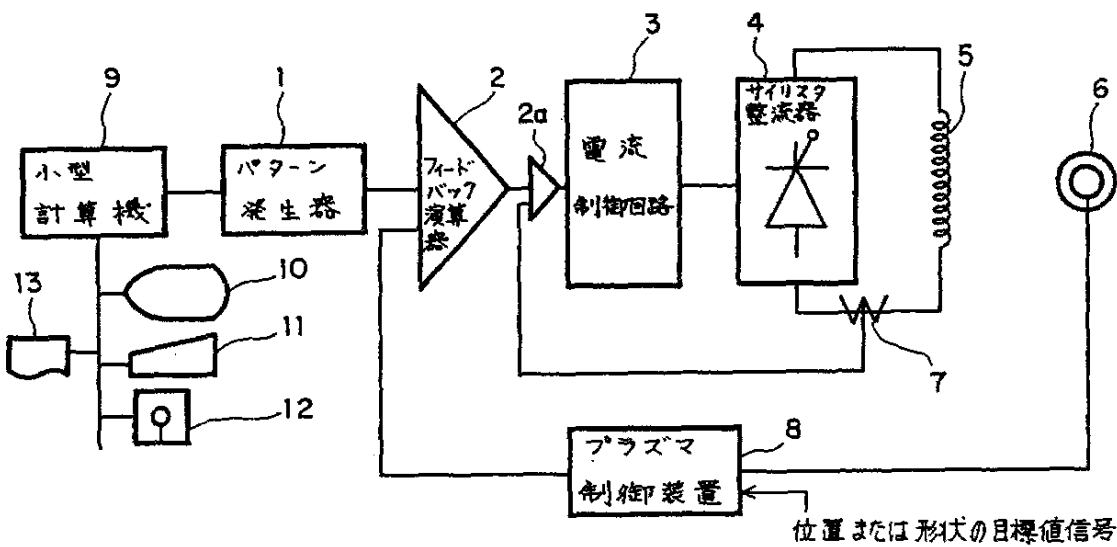
【第1図】



【第2図】

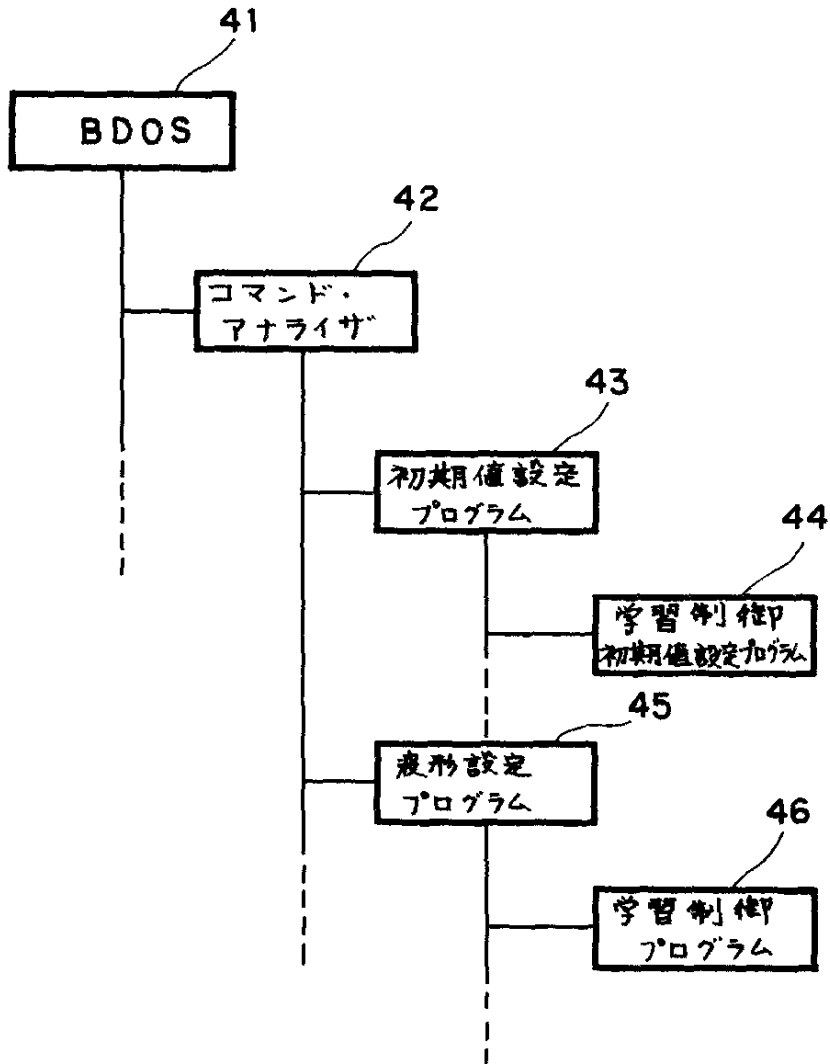


【第8図】



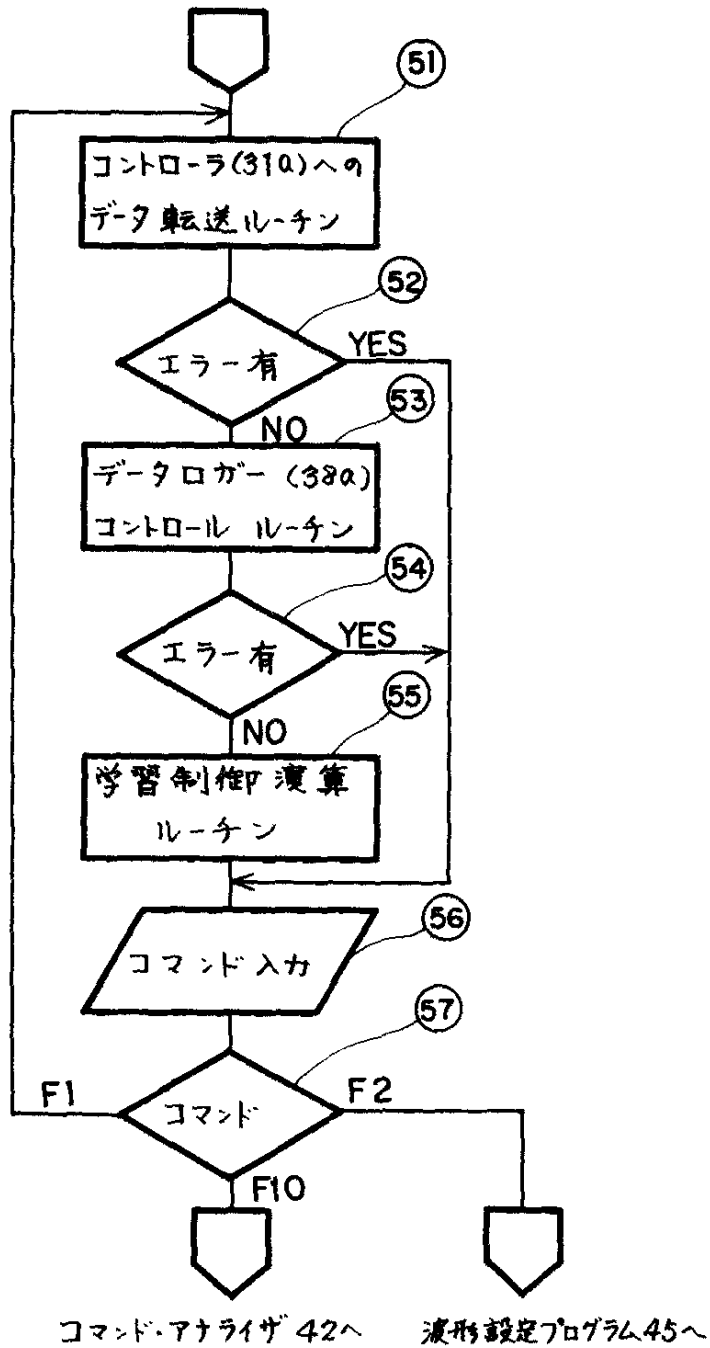
- 10: グラフィックディスプレイ装置
- 11: キーボード装置
- 12: フレキシブルディスク装置
- 13: プリンタ装置

【第3図】

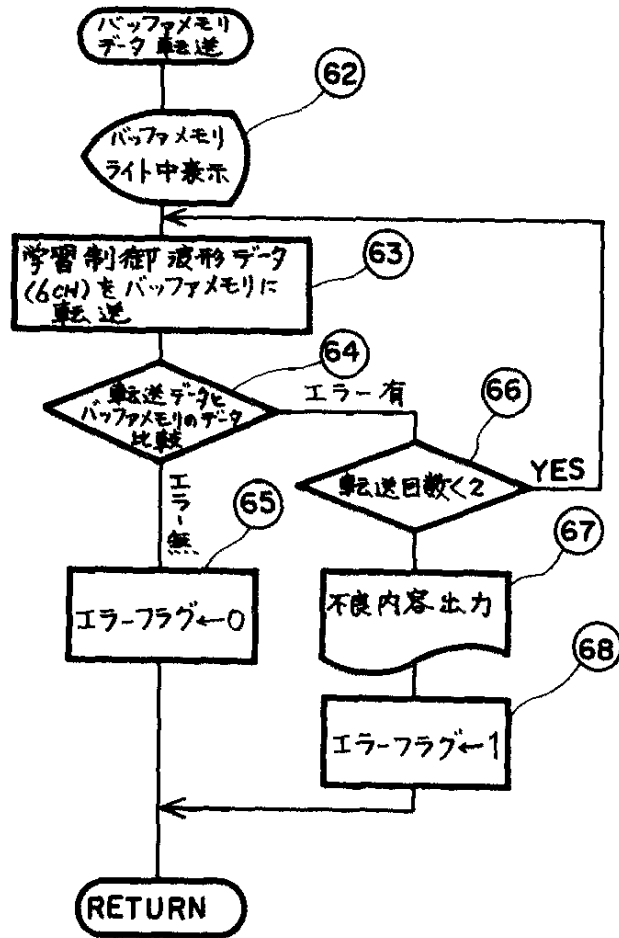


【第4図】

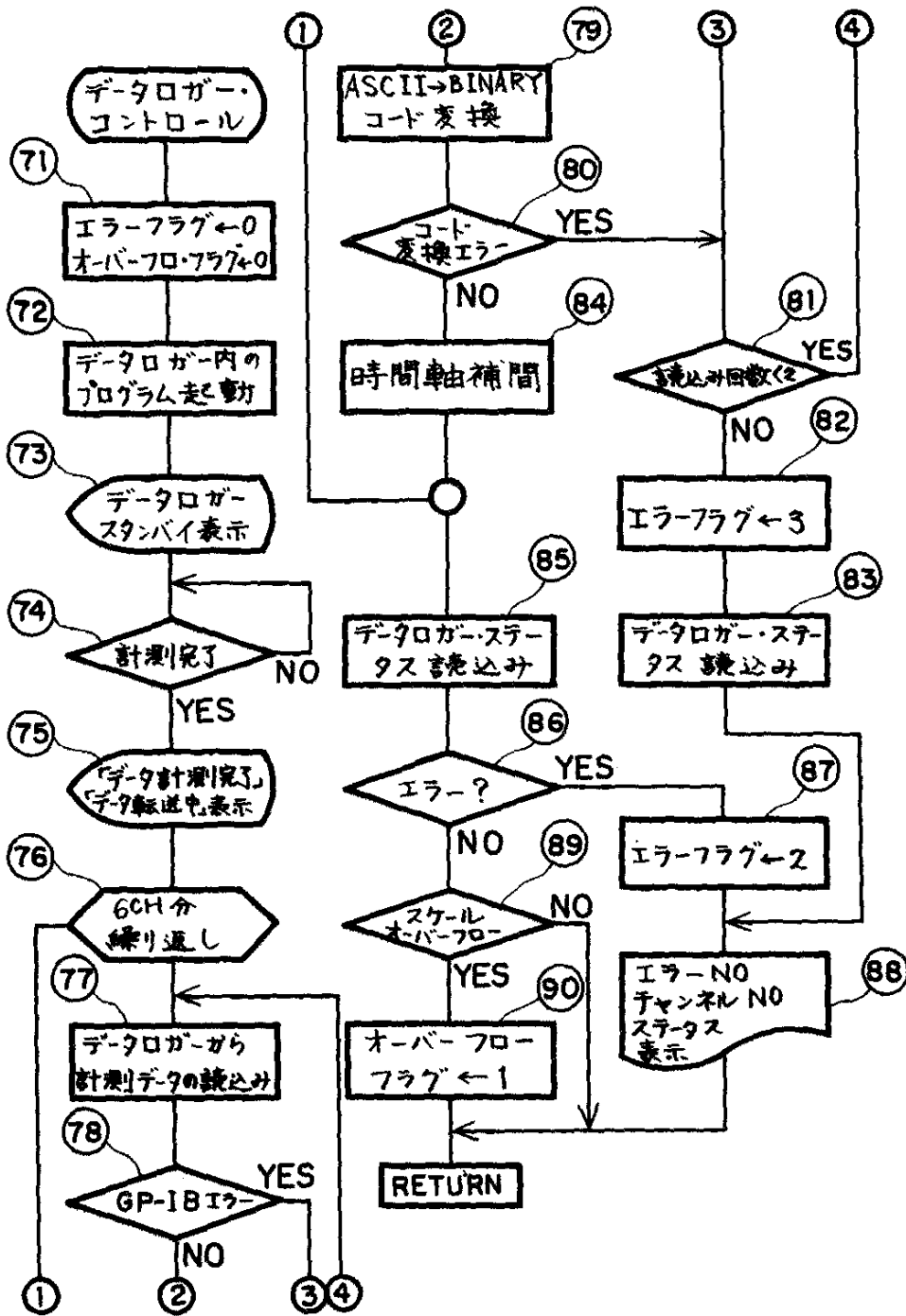
波形設定プログラム(45)より



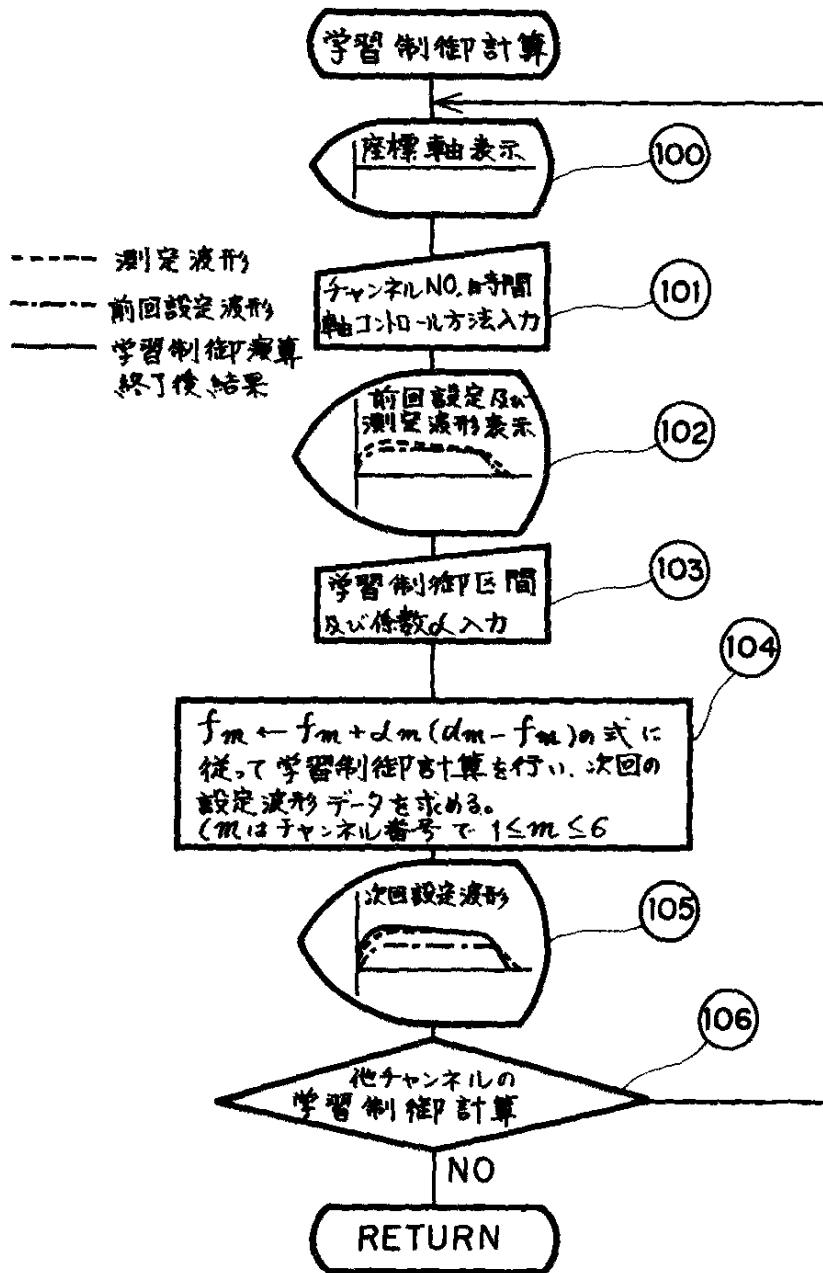
【第5図】



【第6図】



【第7図】



フロントページの続き

(72)発明者 清原 豊彦

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町1丁目1番
2号 三菱電機株式会社制御製作所内

(56)参考文献

特開 昭56-159098 (J P, A)
特開 昭57-43268 (J P, A)