(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3712329号

(P3712329)

(45)発行日　平成17年11月2日(2005.11.2)　(24)登録日　平成17年8月26日(2005.8.26)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G05B 13/04	G05B	13/04	
F22B 35/00	F22B	35/00	A
G05B 13/02	G05B	13/02	E

請求項の数 14　(全 35 頁)

(21)出願番号　特願平11-25960
(22)出願日　平成11年2月3日(1999.2.3)
(65)公開番号　特開2000-222005(P2000-222005A)
(43)公開日　平成12年8月11日(2000.8.11)
審査請求日　平成13年10月23日(2001.10.23)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100084032
弁理士　三品　岩男
(72)発明者　山田　昭彦
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　佐藤　美雄
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　野村　政英
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所　日立研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プロセスの制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

制御対象とすべきプロセス量（被制御量）の将来の値を予測する予測手段と、該予測手段から出力される予測値に基づいて前記被制御量を制御するために操作するプロセス量（操作量）を決定する操作量算出手段とを有する制御装置において、

１つの被制御量に対して複数の操作量が存在するものであって、

前記予測手段は、前記制御対象のプロセスを模擬した制御対象モデルと、前記操作量算出手段を模擬した制御器モデルとを具備し、前記制御器モデルが、前記制御対象モデルから出力された被制御量を用いて操作量を演算すること、及び、前記制御対象モデルが、複数の前記制御器モデルから出力された操作量を用いて被制御量を演算することを、各予測時刻が到来するまで、および、各予測時間間隔が経過するまでのうち少なくとも一方まで繰り返すことで、複数の予測値を演算して出力し、

前記操作量算出手段は、前記複数の予測値を用いて前記複数の操作量をそれぞれ決定することを特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項２】

請求項１に記載のプロセスの制御装置において、

前記予測手段は、

前記複数の操作量のうち前記制御対象量に対しての時定数が大きい方の操作量を決定するために設けられた前記操作量算出手段の一部構成を模擬した制御器モデルを少なくとも含んでいること

を特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項３】

請求項１に記載のプロセスの制御装置において、

前記予測手段は、

前記複数の操作量のうち前記制御対象量に対しての時定数が小さい方の操作量を決定するために設けられた前記操作量算出手段の一部構成を模擬した制御器モデルを少なくとも含んでいることを特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項４】

請求項１～３のいずれかに記載のプロセスの制御装置において、

予め定義した制御性能を評価するための評価値を算出し、該評価値を用いて前記複数の予測値の各々について予測時刻または予測時間間隔を決定する予測時間決定手段をさらに具備すること

を特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項５】

請求項２または３に記載のプロセスの制御装置において、

予め定義した制御性能を評価するための評価値を算出し、該評価値を用いて前記制御器モデルのパラメータ値を設定するパラメータ設定手段をさらに具備すること

を特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項６】

請求項５に記載のプロセスの制御装置において、

前記操作量算出手段は、比例制御器および積分制御器のうち少なくとも一方を含んで構成されており、

前記パラメータ設定手段が設定するパラメータ値は、前記比例制御器の比例ゲインまたは前記積分制御器の積分時間に対応するものであること

を特徴とするプロセスの制御装置。

【請求項７】

火力発電プラントの蒸気温度の将来値を予測する予測手段と、該予測手段の出力値である蒸気温度予測値に基づいて前記火力発電プラントの燃料流量、蒸気温度減温器スプレ流量、再循環ガス流量およびガス分配ダンパ開度のうち少なくとも一つを操作量として決定する、一つまたは複数の操作量算出手段とを有する火力発電プラントの制御装置において、

前記予測手段は、前記火力プラントの運転に関する制御信号および前記操作量のうち少なくとも一方と前記蒸気温度との関係を模擬した熱交換器モデル、および、前記蒸気温度減温器を模擬した蒸気温度減温モデルのうち少なくとも一方とから構成される制御対象モデルと、前記操作量算出手段と等価またはその特性を模擬した一つ又は複数の操作量算出モデルとを具備し、前記操作量算出モデルが、前記制御対象モデルから出力された蒸気温度を用いて操作量を演算すること、及び、前記制御対象モデルが、一つ又は複数の前記操作量算出モデルから出力された操作量を用いて蒸気温度を演算することを複数の特定の各時刻が到来するまで繰り返すことより、前記複数の特定の各時刻における蒸気温度を算出し、

前記操作量算出手段は、前記出力された複数の予測値を用いて前記燃料流量、前記蒸気温度減温器スプレ流量、前記再循環ガス流量および前記ガス分配ダンパ開度のうち２つ以上の操作量を決定すること

を特徴とする制御装置。

【請求項８】

請求項７に記載の火力発電プラントの制御装置において、

前記予測手段は、前記燃料流量、前記蒸気温度減温器スプレ流量、前記再循環ガス流量および前記ガス分配ダンパ開度のうち前記蒸気温度に対しての時定数が小さい操作量を決定する前記操作量算出手段の一部構成と等価またはその入出力特性を模擬した制御器モデルを少なくとも含んで構成すること

を特徴とする制御装置。
【請求項９】
請求項７又は８に記載の火力発電プラントの制御装置において、
予め定義した制御性能を評価するための評価値を算出し、該評価値を用いて前記複数の予測値の各々について予測時刻および予測時間間隔のうち一方を決定する予測時間決定手段をさらに具備すること
を特徴とする制御装置。
【請求項１０】
請求項７～９のいずれかに記載の火力発電プラントの制御装置において、
前記操作量算出手段は、比例制御器および積分制御器のうち少なくとも一方を含んで構成されており、
予め定義した制御性能を評価するための評価値を算出し、該評価値を用いて前記比例制御器の比例ゲインまたは積分制御器の積分時間を算出する制御器パラメータ設定手段をさらに具備すること
を特徴とする制御装置。
【請求項１１】
請求項１～６のいずれかに記載のプロセスの制御装置において、
前記被制御量は、廃棄物焼却プロセスに係わる排出ガス中のCO（一酸化炭素）濃度、塩化フェノール濃度、窒素酸化物濃度、およびダイオキシン類濃度のうち少なくとも一つであり、
前記操作量は、焼却炉への廃棄物の投入量、該焼却炉内の搬送速度、乾燥用空気流量、燃焼用空気流量、空気温度、および燃焼ガス無害化処理用の薬剤投入量のうちいずれかを少なくとも含むこと
を特徴とするプロセスの制御装置。
【請求項１２】
制御対象とすべきプロセス量（被制御量）の将来の値を予測し、該予測値に基づいて前記被制御量を制御するために操作するプロセス量（操作量）を決定するプロセスの制御方法において、
１つの被制御量に対して複数の操作量が存在するものであって、
前記プロセス量を決定するステップを模擬した制御器モデルで、前記制御対象のプロセスを模擬した制御対象モデルにより演算された被制御量を用いて操作量を演算し、前記制御対象モデルで、前記制御器モデルにより演算された操作量を用いて被制御量を演算することを、各予測時刻が到来するまで、および、各予測時間間隔が経過するまでのうち少なくとも一方まで繰り返すことで、複数の予測値を演算して出力し、
前記出力された複数の予測値を用いて前記複数の操作量をそれぞれ決定すること
を特徴とするプロセスの制御方法。
【請求項１３】
火力発電プラントの蒸気温度の将来値を予測する予測手段と、該予測手段の出力値である蒸気温度予測値に基づいて前記火力発電プラントの燃料流量、蒸気温度減温器スプレ流量、再循環ガス流量およびガス分配ダンパ開度のうち少なくとも一つを操作量として決定する、一つまたは複数の操作量算出手段とを有する火力発電プラントの制御方法において、
前記操作量を決定するステップを模擬した操作量算出モデルで、前記火力プラントの運転に関する制御信号および前記操作量のうち少なくとも一方と前記蒸気温度との関係を模擬した熱交換器モデル、および、前記蒸気温度減温器を模擬した蒸気温度減温器モデルのうち少なくとも一方とから構成される制御対象モデルで演算された蒸気温度を用いて操作量を演算し、前記制御対象モデルで、前記操作量算出モデルにより演算された操作量を用いて蒸気温度を演算することを、各予測時刻の到来するまで、および、各予測時間間隔の経過するまでのうち少なくとも一方まで繰り返すことより、複数の予測値を演算して出力し、

前記出力された複数の予測値を用いて前記燃料流量、前記蒸気温度減温器スプレ流量、前記再循環ガス流量および前記ガス分配ダンパ開度のうち２つ以上の操作量を決定すること

を特徴とする制御方法。

【請求項１４】

請求項１３に記載の火力発電プラントの制御方法において、

燃焼ガス温度の推定値と蒸気温度測定値とを少なくとも用いて、該蒸気温度を測定した時刻以降の蒸気温度と前記熱交換器の伝熱管温度とを推定すると共に、所定時間経過後の蒸気温度を予測する際には、推定した前記蒸気温度と推定した伝熱管温度とを使用する方法であって、

前記燃焼ガス温度は、前記時刻以前の前記伝熱管温度推定値と前記時刻以降の蒸気温度の測定値とを少なくとも使用して算出すること

を特徴とする制御方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プロセスの将来の状態を予測し、その予測結果に基づいて操作量を決定してプロセスを制御する制御装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

プロセスの応答特性として、応答時間遅れが大きいものがある。例えば火力発電プラントでは、燃料投入量に変更を加えてから主蒸気温度が変化するまでの時間が長く、その時定数は数分～20分程度である。

【０００３】

従って通常のフィードバック制御では制御偏差（主蒸気温度偏差）が大きくなるという問題があった。

【０００４】

これに対して、将来のプロセス状態を事前に予測し、その予測値に基づいて操作量を決定する予測制御方法がある。予測制御方法には、例えば以下の文献に開示された従来技術がある。

【０００５】

(1)特開平9-274507号公報

(2)特開平6-257702号公報

(3)特開平10-116105号公報

上記従来技術(1)には、物理式に基づく複数の集中定数化モデルとむだ時間モデルによりプロセスモデルを構成して、入力変数を状態観測器により推定し、プロセス量の将来値を計算する方法が述べられている。

【０００６】

上記従来技術(2)には、モデル規範形適応制御方式をプロセスと分散形PID（比例、積分、微分）制御装置とで構成される制御対象に対して並列に付加して適応制御系を構成する方法が記載されている。

【０００７】

上記従来技術(3)には、一般化予測制御系を含む複数の制御系を切り替えながら制御する場合に、制御指令値が大きくずれることなくスムーズに切り替わるようにする方法が述べられている。

【０００８】

これらのような予測制御技術の適用により、将来のプロセスの状態を予測して先行的に操作量を決定するため、制御偏差を小さくすることができる。

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、適用するプロセスの特性や予測するプロセス量の種類、また、それを制御するための操作量の種類によって、望ましい予測時間は異なる。そのため、一つのプロセス量の予測値に基づいて複数の操作量を決定する場合には、予測制御の効果が最大限発揮できない場合があった。

【００１０】

ところが、上記従来技術(1)～(3)には、操作量との関係に応じた予測時間の決定方法に関しては記載されていない。

【００１１】

例えば、火力発電プラントでは、蒸気温度を制御するための操作量として燃料流量と蒸気温度減温器のスプレー水流量などがあるが、燃料に対する蒸気温度の応答時間よりもスプレー水流量に対する応答時間の方が短い。そのため、制御量である蒸気温度の予測時間を例えば燃料に合わせて設定すると、スプレー水流量を効果的に決定できない。

【００１２】

本発明の目的は、予測制御により同一の制御量に対して複数の操作量を有する制御対象を精度良く制御することができるプロセスの制御装置および方法を提供することにある。

【００１３】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明は、制御対象とすべきプロセス量（被制御量）の将来の値を予測する予測手段と、該予測手段から出力される予測値に基づいて前記被制御量を制御するために操作するプロセス量（操作量）を決定する操作量算出手段とを有する制御装置において、１つの被制御量に対して複数の操作量が存在するものであって、前記予測手段は、前記制御対象のプロセスを模擬した制御対象モデルと、前記操作量算出手段を模擬した制御器モデルとを具備し、前記制御器モデルが、前記制御対象モデルから出力された被制御量を用いて操作量を演算すること、及び、前記制御対象モデルが、複数の前記制御器モデルから出力された操作量を用いて被制御量を演算することを、各予測時刻が到来するまで、および、各予測時間間隔が経過するまでのうち少なくとも一方まで繰り返すことで、複数の予測値を演算して出力し、前記操作量算出手段は、前記複数の予測値を用いて前記複数の操作量をそれぞれ決定することを特徴としている。

【００１４】

前記予測手段は、例えば、複数の操作量のうち前記被制御量に対しての時定数が小さい方の操作量を決定する前記操作量算出手段と等価またはその入出力特性を模擬した制御器モデルを少なくとも含んで構成することが好ましい。

【００１５】

また、前記予測手段は、例えば所定のプロセスに関する制御信号または操作量のうち少なくとも一方と被制御量であるプロセス量との関係を模擬したプロセスモデルと、例えば前記操作量算出手段と等価またはその入出力特性を模擬した制御器モデルとを備える構成としてもよい。

【００１６】

また、上述した本発明において、予め定義した制御性能評価値に基づいて対応する操作量に対して複数の予測時間をそれぞれ決定する予測時間決定手段もさらに備える構成としてもよい。

【００１７】

また、上述した本発明において、予め定義した制御性能評価値に基づいて前記制御器モデルや前記プロセスモデルのパラメータ値を設定するパラメータ設定手段をさらに具備すればなお良い。

【００１８】

また、上記目的を達成するために本発明は、火力発電プラントの蒸気温度の将来値を予測する予測手段と、該予測手段の出力値である蒸気温度予測値に基づいて前記火力発電プラントの燃料流量、蒸気温度減温器スプレ流量、再循環ガス流量およびガス分配ダンパ開度のうち少なくとも一つを操作量として決定する、一つまたは複数の操作量算出手段とを有

する火力発電プラントの制御装置または方法において、同一位置における蒸気温度に対して、予測時刻および予測時間間隔のうち少なくとも一方が異なる複数の予測値を演算し出力し、前記出力された複数の予測値を用いて前記燃料流量、前記蒸気温度減温器スプレ流量、前記再循環ガス流量および前記ガス分配ダンパ開度のうち２つ以上の操作量を決定することを特徴とする。

【００１９】

また、上記本発明による火力発電プラントの制御装置または方法においては、燃焼ガス温度の推定値と蒸気温度測定値とを少なくとも用いて、該蒸気温度を測定した時刻以降の蒸気温度と前記熱交換器の伝熱管温度とを推定すると共に、所定時間経過後の蒸気温度を予測する際には、推定した前記蒸気温度と推定した伝熱管温度とを使用するものであって、前記燃焼ガス温度は、前記時刻以前の前記伝熱管温度推定値と前記時刻以降の蒸気温度の測定値とを少なくとも使用して算出する構成としてもよい。

【００２０】

また、上記本発明による制御装置または方法は、廃棄物焼却プロセスに対しても、火力発電プラントと同様に適用することができる。ただしこの場合、前記被制御量は、廃棄物焼却プロセスに係わる排出ガス中のCO（一酸化炭素）濃度、塩化フェノール濃度、窒素酸化物濃度、およびダイオキシン類濃度のうち少なくとも一つであり、前記操作量は、焼却炉への廃棄物の投入量、該焼却炉内の搬送速度、乾燥用空気流量、燃焼用空気流量、空気温度、および燃焼ガス無害化処理用の薬剤投入量のうちいずれかを少なくとも含むものである。

【００２１】

【発明の実施の形態】

本発明の第１の実施の形態について説明する。

【００２２】

本実施の形態では、本発明を火力発電プラントの蒸気温度予測制御に適用した例について述べたものである。以下、図を参照して説明する。

【００２３】

対象とする石炭焚き火力発電プラント１００の基本構成の一例を図２に示す。

【００２４】

本例の石炭焚き火力発電プラント１００においては、ボイラ１５０で燃料と空気をバーナー１６０に供給して燃焼させ、給水ポンプ１４０により循環する供給水を火炉水壁１５２で蒸発させる。さらに過熱器１５４で昇温して過熱状態となった蒸気はタービン加減弁１２１を介して高圧タービン１３０に導かれて高圧タービン１３０を駆動する。高圧タービンを通過した蒸気は再熱器１５６で再び昇温されて低圧タービン１２０に入る。高圧タービン１３０および低圧タービン１２０の回転により発電機１１０で電力を発生させる。

【００２５】

以降、高圧タービン１３０入口の蒸気を主蒸気、低圧タービン１２０入口の蒸気を再熱蒸気と称する。主蒸気及び再熱蒸気の温度を制御する目的で、過熱器１５４と再熱器１５６の入口に過熱器減温器１５４aと再熱器減温器１５６aがある。減温器１５４a，１５６aには給水ポンプ１４０通過後の低温の水が導かれ、減温器スプレ水量調節弁１５４b及び１５６bをそれぞれ介して高温の蒸気中に注入する構造になっている。

【００２６】

再熱器減温器１５６aは非常用であり、再熱蒸気温度が設定値を超えた場合にのみ作動する。

【００２７】

また、ボイラ１５０には燃焼ガスを再循環させるためのガス再循環ファン１４２が設けられており、これも蒸気温度を調整する手段の一つとなっている。

【００２８】

また、プラントによっては過熱器と再熱器との間に隔壁を設けてガスの流路を二分し、それぞれのガス流量の配分を調整するガス分配ダンパが設けられている場合もある。この場

合は、ガス分配ダンパも蒸気温度の調整手段となる。

【００２９】

火力発電プラントには、上記構成機器の他にもタービンを駆動後の蒸気を冷却水１２６により冷却する復水器１２５や燃焼排ガス処理装置１７０などの機器もある。排ガス処理装置１７０を通過したガスは煙突１７５から大気へ放出される。

【００３０】

プラント１００の運転状態は、発電機出力測定器１１１、主蒸気温度（過熱器出口蒸気温度）測定器１２２、過熱器入口蒸気温度測定器１２７、主蒸気圧力測定器１２３、再熱蒸気（再熱器出口蒸気温度）温度測定器１２４、再熱器入口蒸気温度測定器１２４a等のデータ測定装置で計測され、運転制御装置３００へ伝送される。プラントには、この他にも種々のプロセス量を計測するための装置が取り付けられており、それらによる計測値も運転制御装置３００で取込んでいる。ここでは、それらの詳細な説明は省略する。

【００３１】

運転制御装置３００はこれらのプロセスデータを基にして、プラントの運転状態を把握し、プラントが望ましい状態になるように燃料流量調節弁１６２、空気流量調節弁１６１、タービン加減弁１２１、給水ポンプ１４０などの機器を制御している。

【００３２】

火力プラントでは蒸気温度のように、応答時間が比較的長い制御量があり、この制御は一般に難しいとされている。そこで、主蒸気温度及の制御に、本発明の特徴である予測制御技術を適用する。

【００３３】

予測制御の目的は、時定数が大きく、応答が遅いプロセス値に対して、その将来の挙動を予測し、先行的に操作量を決定することにより、制御精度を向上させることである。

【００３４】

運転制御装置３００の機能構成を説明する。図３に示すように、マスタ制御部３７０とそれに基づくサブループ制御部３９０とで構成されている。マスタ制御部３７０は通常制御コントローラ３７５と、本発明を適用している蒸気温度予測制御コントローラ３８０とに分かれている。マスタ制御部３７０では、負荷指令信号に基づく各種操作量指令信号を作成し、その値に蒸気温度、蒸気圧力、ガス0_2濃度などの測定値に基づく補正を加えて操作量を決定する。

【００３５】

サブループ制御部３９０には、タービン制御コントローラ３９１、給水ポンプコントローラ３９２、燃料流量調節弁コントローラ３９３、押込みファンコントローラ３９４、誘引ファンコントローラ３９５、スプレ流量コントローラ３９６、ガス再循環流量コントローラ３９７がある。

【００３６】

これらのコントローラは互いに信号伝送ネットワーク４００に接続されており、信号の授受が可能である。サブループ制御部３９０の各コントローラからの出力は、プラント１００の各アクチュエータ１０１に送られ、機器を操作する。

【００３７】

また、運転制御装置３００は図４に示すハードウエア構成になっている。外部入力インターフェイス３０１、出力インターフェイス３０２を介して信号伝送ネットワーク４００と接続されている。受信した信号を必要に応じて記憶装置３０３にストアーしながら、演算処理装置３０４にて各種指令信号を演算・生成する。指令信号は出力インターフェイスを介して制御対象へ送られる。

【００３８】

また、外部入力インターフェイス３０１にはキーボード９３０とマウス９４０とから成る外部入力装置９００及びデータ記憶装置５００が接続されている。また出力インターフェイス３０２には画像表示装置９１０と磁気ディスク装置９５０が接続されており、運転員とのインターフェイスとして機能する。

【００３９】
次に、本発明を適用した蒸気温度予測コントローラ３８０について、図１を用いて説明する。蒸気温度予測コントローラ３８０には、予測部３３０とその出力である予測値Ysとプラント出力値（制御量：蒸気温度）Yとのうちいずれか一方を制御器３２０にフィードバックするための切替部３３９とパラメータ調整部３４０とが具備されている。なお、予測制御を行わない場合は、切替部３３９で蒸気温度Yを選択し、燃料流量及びスプレ水流量の両方に対して蒸気温度の現在の測定値を出力する。
【００４０】
主蒸気温度を制御するための操作量としては、燃料流量に対する操作量指令値Uaと減温器スプレ水流量に対する操作量指令値Ubがある。操作量指令値Uaは負荷指令に基づいてユニットマスタ３１５で操作量基準値を生成し、その値と制御量Yの測定値または予測値Ysと目標値Rsとの偏差に基づくPI（比例・積分）制御器３２０aの出力値との和として算出される。
【００４１】
操作量指令値Ubは制御量Yの測定値または予測値Ysと目標値Rsとの偏差に基づいてP（比例）制御器３２０bの出力値として算出される。
【００４２】
本発明の特徴は、予測対象プロセス量は同じであるが、異なる操作量（燃料流量、減温器スプレ水流量）に対して、予測時間の異なる二つの予測値Ys(t+τa), Ys(t+τb)を演算して出力するようにしていることである。
【００４３】
操作量の一つとなる燃料流量は、それを操作してから蒸気温度にその影響が現れる時間は比較的長く数分～20分程度である。これは、燃料の燃焼プロセス、燃焼ガスから蒸気への伝熱プロセス、ガスや蒸気の流動遅れなどの要因が存在することに起因している。これに対して、もう一方の操作量となる減温器スプレ水は過熱器１５４の入口で作用するため、過熱器１５４の出口位置での蒸気温度である主蒸気温度へは、数分の範囲で影響が現れる。
【００４４】
このため、例えば、燃料流量に対して有効な予測時間を選択する場合、減温器スプレ水流量に対しては予測時間が長すぎることになる。その場合、スプレ水流量に対する予測制御の効果が十分発揮されないばかりか、かえって蒸気温度の制御性能を低下させる原因となる。
【００４５】
本発明によれば、決定すべき操作量の時間的特性に応じて予測時間の異なる予測値を出力するので、複数の操作量に対しても予測制御の効果を最大限に発揮することができる。
【００４６】
本例では出力する予測値は２個であるが、本発明において出力する予測値の数に制限はない。
【００４７】
上記図１の予測部３３０の機能を説明する。
【００４８】
まず、目的とする時間（予測時間）先の主蒸気温度の目標値を計算する。主蒸気温度目標値は、一定である場合もあるが、負荷変化に伴って目標値が変化する場合がある。
【００４９】
負荷変化計画が既知の場合には、負荷の関数である蒸気温度目標値Rs（数1）から、その負荷変化計画に基づいて将来の負荷変化を算出する。
【００５０】
【数１】

数1

$$R_s = f(ELD) \qquad \cdots(1)$$

【００５１】
将来の負荷変化が未知の場合には、現在サンプリングステップkでの蒸気温度目標値Rs(k)と１サンプリングステップ前の目標値Rs(k-1)と、サンプリング時間間隔Δt秒から、n秒先の目標値を次式で算出する。
【００５２】
【数２】
数2

$$R_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}\right) = R_s(k) + \frac{R_s(k)-R_s(k-1)}{\Delta t}n \qquad \cdots(2)$$

【００５３】
本例では、目標値の変化を一次式で近似して求めているが、本発明はこの方法に限定されるものではない。また、目標値は現在サンプリングステップkにおける値R(k)を用いても良い。
【００５４】
このようにして求めた将来の蒸気温度目標値に対して、蒸気温度が将来の同時刻に何度Ｃになるかを予測する。
【００５５】
次に、操作量の決定方法を説明する。制御方式はＰＩ（比例・積分）またはP（比例）制御を採用している。その具体的計算方法をPI制御の場合を例に示す。
【００５６】
【数３】
数3

$$\Delta U(k) = K_c\left[\left\{R_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}\right)-Y_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}\right)\right\} - \left\{R_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}-1\right)-Y_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}-1\right)\right\}\right] + \frac{K_c\Delta t}{T_c}\left\{R_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}\right)-Y_s\left(k+\frac{n}{\Delta t}\right)\right\} \qquad \cdots(3)$$

【００５７】
【数４】

数4

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1) \qquad \cdots(4)$$

【００５８】
ここで、Uは前述した操作量指令値、ΔUは操作量指令値の変化分、Ysは蒸気温度予測値、Kcは比例ゲイン、Tcは積分時間である。
【００５９】
数３及び数４により操作量指令値Ua，Ubが決定されると、この値からプラント１００の燃料流量調節弁１６２の開度とスプレ水流量調節弁開度１５４bが操作される。
【００６０】
本例の予測部３３０には、例えば図５に示すように、火炉水壁モデル３３１と、過熱器減温器（スプレ）モデル３３２と、過熱器モデル３３３と、負荷指令（計画）値に基づいて諸プロセス量を設定する関数発生器３３１a～３３１eとから成る制御対象モデルと、上記図１のPI制御器３２０a及びP制御器モデル３２０bの機能と等価な制御器モデル３３４及び３３５とから構成されている。
【００６１】
従って、本実施形態の予測部３３０はプラントの制御系の影響も考慮して予測値を演算するモデルとなっている。
【００６２】
火炉水壁モデル３３１、過熱器減温器モデル３３２、過熱器モデル３３３はエネルギー保存式に基づいてモデル化している。
【００６３】
火炉水壁モデル３３１のモデル式を次に示す。火炉水壁部では、輻射熱伝達と対流熱伝達の和として伝熱量を表す
【００６４】
【数５】
数5

$$V_{s1}\gamma_{s1}\frac{dH_{s1}}{dt} = \left(H_{s1in} - H_{s1o}\right)F_{s1} + A_{ms1}\alpha_{ms1}\left(\theta_{m1} - \theta_{s1o}\right) \qquad \cdots(5)$$

【００６５】
【数６】
数6

$$M_{m1}C_{m1}\frac{d\theta_{m1}}{dt} = \beta_{gm1}\left\{\left(\frac{\theta_{g1in}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\theta_{m1}+273}{100}\right)^4\right\} + A_{gm1}\alpha_{gm1}\left(\theta_{g1in} - \theta_{m1}\right) - A_{ms1}\alpha_{ms1}\left(\theta_{m1} - \theta_{s1o}\right) \qquad \cdots(6)$$

【００６６】

【数７】
数7

$$F_{g1}\frac{dH_{g1}}{dt}=\left(H_{g1in}-H_{g1o}\right)F_{g1}+\beta_{gm1}\left\{\left(\frac{\theta_{g1in}+273}{100}\right)^4-\left(\frac{\theta_{m1}+273}{100}\right)^4\right\}+A_{gm1}\alpha_{gm1}\left(\theta_{g1in}-\theta_{m1}\right)\quad\cdots(7)$$

【００６７】
【数８】
数8

$$F_{g_1}=F_f+F_a+F_{grf}\quad\cdots(8)$$

【００６８】
【数９】
数9

$$F_{g1}H_{g1in}=F_fH_f+F_aH_a+F_{grf}H_{grf}\quad\cdots(9)$$

【００６９】
ここで、Vは容積[m^3]、γは比重量[kg/m^3]、Hはエンタルピー[J/kg]、Fは流量[kg/s]、Aは伝熱面積[m^2]、αは熱伝達率[$J/(m^2\cdot s\cdot K)$]、βは輻射熱伝達係数及び有効輻射伝熱面積に係わる係数[$J/(s\cdot K^4)$]、θは温度[°Ｃ]、Mは重量[kg]、Cは比熱[J/(kg・K)]である。また、添え字sは蒸気、mは伝熱管（メタル）、fは燃料、aは空気、grfは再循環ガス、msは伝熱管から蒸気、gmは燃焼ガスから伝熱管、inは入口位置、oは出口位置をそれぞれ表す。また、添え字中の数字1は火炉水壁部、2は過熱器減温器部、3は過熱器部を表すものとする。
【００７０】
過熱器減温器モデル３３２のモデル式を次式に示す。
【００７１】
【数１０】
数10

$$F_{s2o}=F_{s1}+F_{s2in}\quad\cdots(10)$$

【００７２】
【数１１】

数11

$$F_{s2o}H_{s2o} = F_{s1o}H_{s1o} + F_{s2in}H_{s2in} \quad \cdots(11)$$

【００７３】
ここで、添え字s2oは減温器出口位置、2inはスプレ水を表す。
【００７４】
過熱器モデル３３３では、熱交換器の特性をエネルギー保存式に基づいてモデル化している。モデル式を示す。
【００７５】
【数１２】
数12

$$H_{s3in} = H_{s2o} \quad \cdots(12)$$

【００７６】
【数１３】
数13

$$F_{s3} = F_{s2o} \quad \cdots(13)$$

【００７７】
【数１４】
数14

$$V_{s3}\gamma_{s3}\frac{dH_{s3}}{dt} = \left(H_{s3in} - H_{s3o}\right)F_{s3} + A_{ms3}\alpha_{ms3}\left(\theta_{m3} - \theta_{s3o}\right) \quad \cdots(14)$$

【００７８】
【数１５】
数15

$$M_{m3}C_{m3}\frac{d\theta_{m3}}{dt} = A_{gm3}\alpha_{gm3}\left(\theta_{g3in} - \theta_{m3}\right) - A_{ms3}\alpha_{ms3}\left(\theta_{m3} - \theta_{s3o}\right) \quad \cdots(15)$$

【００７９】
過熱器モデル３３３は数14及び数15に基づき状態観測器を構成して、これを利用して過熱器入口ガス温度を推定する機能を有している。
【００８０】
このガス温度推定機能について具体的に説明する。
【００８１】

エンタルピと温度は、次式の関係にあり、相互に値を変換することが可能である。数16、17は蒸気についての関係式であるが、ガスに対しても同様の関係が成り立つ。

【００８２】

【数１６】

数16

$$\frac{dH_{s3o}}{dt} \approx \left(\frac{\partial H_{s3o}}{\partial \theta_{s3o}}\right)_P \frac{d\theta_{s3o}}{dt} = C_{Ps3}\frac{d\theta_{s3o}}{dt} \qquad \cdots(16)$$

【００８３】

【数１７】

数17

$$H_{s3o} \approx \left(\frac{\partial H_{s3o}}{\partial \theta_{s3o}}\right)_P \theta_{s3o} + H_{sBo} = C_{Ps3}\theta_{s3o} + H_{sBo} \qquad \cdots(17)$$

【００８４】

ここに、C_{Ps}は定圧比熱[J/(kg・K)]、H_{sBo}は基準エンタルピ[J/kg]である。

【００８５】

数14、15に、数16、17を代入して整理すると次式が得られる。

【００８６】

【数１８】

数18

$$\frac{d\theta_{s3o}}{dt} = -\frac{C_{Ps3}F_{s3} + A_{ms3}\alpha_{ms3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}}\theta_{s3o} + \frac{A_{ms3}\alpha_{ms3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}}\theta_{m3} + \frac{F_{s3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}}\left(H_{s3in} - H_{sB}\right) \qquad \cdots(18)$$

【００８７】

【数１９】

数19

$$\frac{d\theta_{m3}}{dt} = \frac{A_{ms3}\alpha_{ms3}}{M_{m3}C_{m3}}\theta_{s3o} - \frac{A_{gm3}\alpha_{gm3} + A_{ms3}\alpha_{ms3}}{M_{m3}C_{m3}}\theta_{m3} + \frac{A_{gm3}\alpha_{gm3}}{M_{m3}C_{m3}}\theta_{g3in} \quad \cdots(19)$$

【００８８】
ここで、数18、19を整理すると次式となる。
【００８９】
【数２０】
数20

$$\frac{dx_1}{dt} = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_{11}u_1 \quad \cdots(20)$$

【００９０】
【数２１】
数21

$$\frac{dx_2}{dt} = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_{22}u_2 \quad \cdots(21)$$

【００９１】
【数２２】
数22

$$x_1 = \theta_{s3o} \quad \cdots(22)$$

【００９２】
【数２３】
数23

$$x_2 = \theta_{m3} \quad \cdots(23)$$

【００９３】
【数２４】
数24

$$u_1 = H_{s3in} - H_{sBo} \quad \cdots(24)$$

【００９４】
【数２５】
数25

$$u_2 = \theta_{g3in} \qquad \cdots(25)$$

【００９５】
【数２６】
数26

$$A_{11} = -\frac{C_{Ps3}F_{s3} + A_{ms3}\alpha_{ms3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}} \qquad \cdots(26)$$

【００９６】
【数２７】
数27

$$A_{12} = \frac{A_{ms3}\alpha_{ms3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}} \qquad \cdots(27)$$

【００９７】
【数２８】
数28

$$A_{21} = \frac{A_{ms3}\alpha_{ms3}}{M_{m3}C_{m3}} \qquad \cdots(28)$$

【００９８】
【数２９】
数29

$$A_{22} = -\frac{A_{gm3}\alpha_{gm3} + A_{ms3}\alpha_{ms3}}{M_{m3}C_{m3}} \qquad \cdots(29)$$

【００９９】
【数３０】
数30

$$B_{11} = \frac{F_{s3}}{V_{s3}\gamma_{s3}C_{Ps3}} \qquad \cdots(30)$$

【０１００】
【数３１】

数31

$$B_{22} = \frac{A_{gm3}\alpha_{gm3}}{M_{m3}C_{m3}} \qquad \cdots(31)$$

【０１０１】
数20及び数21を時間的に離散化し、マトリクス表現すると次式となる。
【０１０２】
【数３２】
数32

$$X_M(k) = \Phi_M X_M(k-1) + H_M U_M \qquad \cdots(32)$$

【０１０３】
【数３３】
数33

$$X_M(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \qquad \cdots(33)$$

【０１０４】
【数３４】
数34

$$X_M(k-1) = \begin{bmatrix} x_1(k-1) \\ x_2(k-1) \end{bmatrix} \qquad \cdots(34)$$

【０１０５】
【数３５】
数35

$$\Phi_M = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \qquad \cdots(35)$$

【０１０６】
【数３６】

数36

$$H_M = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad \cdots(36)$$

【０１０７】
【数３７】
数37

$$U_M = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad \cdots(37)$$

【０１０８】
数32が状態方程式であり、出力方程式は次式で表される。
【０１０９】
【数３８】
数38

$$Z_M = C_M X_M(k) + V_M \quad \cdots(38)$$

【０１１０】
ここで、Z_Mは観測ベクトル（x1：出口蒸気温度に対応）、C_Mは観測行列、V_Mは観測ノイズベクトルである。
【０１１１】
次に、この物理式モデルに基づいて蒸気温度を予測する。
【０１１２】
状態$X_M(k)$のうち、x_1（過熱器出口蒸気温度）は測定可能であるが、x_2（過熱器伝熱管温度）は測定困難であるため、カルマンフィルタを適用して状態$X_M(k)$を推定する。
【０１１３】
カルマンフィルタを用いた状態観測器３１４のアルゴリズムを説明する。
【０１１４】
現在サンプリングステップをkとすると、（k-1）サンプリングステップにおける諸値を用いて状態方程式（数32）より算出した状態値には上付き添字Ｐを、カルマンフィルタを構成して求める最尤推定値には上付き添字ＳＰをつけて表すことにする。
【０１１５】
$X_M^{SP}(k)$は次式により求められる。
【０１１６】
【数３９】

数39

$$X_M{}^{SP}(k) = X_M{}^{P}(k) + P_M(k)C_M{}^{T}V_M{}^{-1}\left\{Z_M(k) - C_M X_M{}^{P}(k)\right\}$$

・・・(39)

【０１１７】

【数４０】

数40

$$X_M{}^{P}(k) = \Phi_M(k-1)X_M{}^{SP}(k-1) + H_M(k-1)U_M(k-1)$$

・・・(40)

【０１１８】

【数４１】

数41

$$P_M(k) = \left\{M_M{}^{-1}(k) + C_M{}^{T}V_M{}^{-1}C_M\right\}^{-1} \quad \cdots(41)$$

【０１１９】

【数４２】

数42

$$M_M(k) = \Phi_M(k-1)P_M(k-1)\Phi_M{}^{T}(k-1) + H_M(k-1)U_M(k-1)H_M{}^{T}(k-1)$$

・・・(42)

【０１２０】

ここで、上付き添字Ｔは転置行列、上付き添字－1は逆行列を意味する。

【０１２１】

この状態観測器を用いて、過熱器出口蒸気温度を計算することができる。過熱器出口蒸気温度の前回値として、計算の初回のみ測定値を使用するが、２回目以降は計算値を使用して計算する。過熱器出口蒸気温度の計算値と目標値との偏差に基づいて制御器モデル３３４及び３３５で次時間ステップの操作量（燃料流量、スプレ水流量）を算出し、火炉水壁モデル３３１の燃料流量と減温器モデル３３２のスプレ水流量を変更して再び過熱器出口蒸気温度を計算する。この操作を所定の予測時間に相当する回数まで繰り返して蒸気温度の予測値を算出する。

【０１２２】

さて、数15の右辺には過熱器入口ガス温度θ_{g3in}が必要であるが、高温のガス温度は直接計測することが困難である。ガス温度は火炉水壁モデル３３１で計算できるが、前述の状態観測器を用いてより正確にガス温度を決定できるようにしている。

【０１２３】

現在サンプリングステップをkとすると、ステップ（k-1）での諸値を用いて数36により現在の過熱器出口蒸気温度を推定する。将来の蒸気温度を予測するためには、（k-1）時点で得られる情報から、現在ステップkの蒸気温度が正しく求められていることが前提になる。

【０１２４】

推定しているガス温度θ_{g3in}が適切でないと、$X_M^{SP}(k)$に誤差を生じる原因になる。そこで、本発明では、現在ステップｋにおける過熱器出口蒸気温度$x_1(k)$（$=\theta_{s3o}(k)$）の測定値と、ステップ（k-1）における伝熱管温度の最尤推定値$x_2^{SP}(k-1)$（$=\theta_{m3}^{SP}(k-1)$）を用いて、状態方程式(数32)の関係から次式を導き、ガス温度θ_{g3in}を算出する。

【０１２５】

【数４３】

数43

$$u_2(k)=\theta_{g3in}(k)=\frac{x_1(k)-\phi_{11}x_1(k-1)-\phi_{12}x_2^{SP}(k-1)-h_{11}u_1(k-1)}{h_{12}}$$

$$=\frac{\theta_{s3o}(k)-\phi_{11}\theta_{s3o}(k-1)-\phi_{12}\theta_{m3}^{SP}(k-1)-h_{11}(H_{s3in}(k-1)-H_{sBo})}{h_{12}}$$

・・・(43)

【０１２６】

ここで、θ_{s3o}（ｋ）はステップkにおける出口蒸気温度測定値である。

【０１２７】

現在ステップkにおける過熱器出口蒸気温度の推定値が測定値と一致するように、ガス温度を決定することができる。火炉水壁モデルの出口ガス温度θ_{g1o}と式（43）で計算したガス温度θ_{g3in}との偏差に基づいて、修正部３３６で逐次火炉水壁モデルのβ_{gm1}を修正している。この方法によれば、逐次、適切なガス温度を決定でき、火炉水壁モデル３３１の特性も逐次修正できるので、現在ステップにおけるモデル誤差が小さくなる。また、モデル誤差が小さいため、予測精度が向上する。

【０１２８】

なお、本例では過熱器入口蒸気温度θ_{s3in}はサンプリングステップ(k-1)における値を用いているが、ステップkにおける測定値を用いてもよい。

【０１２９】

以上、予測方法の具体的方法を述べたが、本発明は本実施形態に示した予測方法に限定されるものではない。火炉水壁モデル３３１、過熱器減温器モデル３３２、過熱器モデル３３３はそれぞれ対象機器の特性を模擬しているモデルなら、物理的因果関係を模擬した物理モデル以外であっても良い。例えば、統計的方手法による回帰式モデルでも、ニューラルネットワークによる学習型モデルでも良い。その際、蒸気温度の目標値と測定値との偏差分を出力とする相関モデルとしても良い。

【０１３０】

本発明では、同一の制御対象プロセス量を制御するための異なる操作量に対して予測時間の異なる予測値を演算する。パラメータ調整部３４０は、例えば図６に示すような燃料流量に対する予測時間τaとスプレ流量に対する予測時間τbとを決定すると共に、制御器３２０a、３２０bの比例ゲイン、積分時間も決定する。

【０１３１】

パラメータ調整部３４０は、例えば図７に示すように、プラントモデル３５５と、予測部３３０を模擬した予測機能モデル３５０と、予測機能モデル３５０及びプラントモデル３５５内の制御対象モデルパラメータを調整するモデル調整部３４２と、制御器３２０aの

パラメータ（比例ゲインKc1，積分時間Tc）及び制御器３２０bのパラメータ（比例ゲインKc2）と予測時間間隔τa，τbを算出するパラメータ最適化部３４８とから構成されている。

【０１３２】

プラントモデル３５５は、制御器３２０a及び３２０bと等価な制御器モデル３４６a、３４６bと、制御対象１００のモデル３４４とから構成され、予測機能モデル３５０にも、プラントモデル３５５と同じモデルが含まれている。

【０１３３】

制御器モデル３４６aはPI（比例・積分）制御器を表す次式の伝達関数で定義する。

【０１３４】

【数４４】

数44

$$K_{c1}\left(1+\frac{1}{T_c s}\right) \qquad \cdots(44)$$

【０１３５】

ここで、sはラプラス演算子である。

【０１３６】

同様に、制御器モデル３４６bはP（比例）制御器を表す次式で定義する。

【０１３７】

【数４５】

数45

$$K_{c2} \qquad \cdots(45)$$

【０１３８】

制御対象モデル３４４は燃料流量と蒸気温度との関係を模擬したモデル３４４aと減温器スプレ水流量と蒸気温度との関係を模擬したモデル３４４bとから成る。

【０１３９】

制御対象モデル３４４の二つのモデル３４４aと３４４bはそれぞれ一次遅れと無駄時間で模擬し、次式の伝達関数で定義する。

【０１４０】

【数４６】

数46

$$\frac{K_{p1}e^{-L_{p1}s}}{1+T_{p1}s} \qquad \cdots(46)$$

【０１４１】

【数４７】

数47

$$\frac{K_{p2}e^{-L_{p2}s}}{1+T_{p2}s} \quad \cdots(47)$$

【０１４２】
ここで、Kp1，Kp2はゲイン、Tp1，Tp2は時定数、Lp1，Lp2は無駄時間に相当するモデルパラメータである。

【０１４３】
予測機能モデル３５０では、プラントモデル３５５と全く同じモデルを持っているので、先の時間ステップまでシミュレーション計算することによりプラントモデル３５５の出力値を予測したことになる。この予測値をプラントモデル３５５へ出力し、目標値との偏差を計算して、制御器モデル３４６a及び３４６bを介してプラントモデル３５５の出力を計算する。

【０１４４】
すなわち、実際の制御対象１００に対して、予測制御を実施した場合を模擬している。パラメータ調整部３４０は、この予測制御の模擬計算により、制御対象モデル３４４が最も望ましい状態になるように予測時間τa，τb及び制御器パラメータである比例ゲインKc1，Kc2、積分時間Tcとを決定する。

【０１４５】
予測時間、制御器パラメータなどの具体的決定方法を説明する。
まず、制御対象モデル３４４の応答特性を制御対象１００の特性と合わせる必要がある。火力プラントでは、プラント新設時や定期検査終了時にプラント特性を把握するために試験運転を実施する。

【０１４６】
その一つとして、各種操作量に対してステップ応答試験を実施する。モデル調整部３４２はそのステップ応答試験のデータを取り込み、制御対象モデル３４４及び３４４’のモデルパラメータKp1，Kp2，Tp1，Tp2，Lp1，Lp2を調整する。

【０１４７】
これらの調整には、運転員が介入し、試運転データを用いてオフラインで実施する。図８にモデルパラメータ調整のマンマシンインターフェイスを示す。図８は画像表示装置９１０に表示され、外部入力装置９００を用いて操作やデータ入力ができる。

【０１４８】
例として制御対象モデル３４４aの調整過程について説明する。制御対象モデル３４４bについても同様の手順で調整できる。

【０１４９】
グラフ表示エリア９１１にはプラント試運転時のステップ応答の応答波形９１５がグラフ表示される。この波形からモデルパラメータKp1，Tp1，Lp1を決定するために補助線９１２，９１４，９１６が表示される。補助線９１４はステップ応答試験開始時の定常状態の出力レベルＡを表しており、画面上でマウスポインタカーソル９１８を用いて上下に移動させることができる。出力レベルは定格レベルに対してパーセント表示されている。

【０１５０】
また、数値表示エリア９２０には出力レベルＡの他、各種数値が表示され、その値をキーボード９３０からの入力により直接変更することができる。また、増減ポインタ９２２をマウスでクリックすることにより表示されている値を微小間隔で増加または減少させることができる。補助線９１４と数値表示エリア９２０内の値は連動して変化する。

【０１５１】
これらの方法により、運転員が出力レベルＡの値を決定する。同様にして補助線９１２が

示すステップ応答試験終了時の定常状態における出力レベルＢを決定する。
【０１５２】
さらに応答波形立ち上がり時の変曲点における接線９１６を決定する。接線９１６は出力レベルＡ及びＢと同様の方法で図８に示す点Ｃ及び点Ｄを決定することにより特定する。
【０１５３】
以上から点Ａ～Ｄが決定されると、以下のようにしてモデルパラメータKp1, Tp1, Lp1が決定される。
【０１５４】
ステップ応答試験時の操作量の変化幅K2(%)よりゲインKp1は
【０１５５】
【数４８】
数48

$$K_{p1} = \frac{K1}{K2} \qquad \cdots(48)$$

【０１５６】
【数４９】
数49

$$K1 = B - A \qquad \cdots(49)$$

【０１５７】
とする。
【０１５８】
ステップ応答試験開始（操作量変化開始）時刻Ｑから無駄時間Lp1は
【０１５９】
【数５０】
数50

$$L_{p1} = D - Q \qquad \cdots(50)$$

【０１６０】
とする。
【０１６１】
また、時定数Tp1は接線９１６上で線分ＥＰの長さが0.632K1となる時刻Ｐより、
【０１６２】
【数５１】
数51

$$T_{p1} = P - D \qquad \cdots(51)$$

【０１６３】
とする。
【０１６４】
以上、モデル調整部３４２の処理手順を整理して図９に示す。すなわち、本処理手順では、ステップ応答試験データとして目標値Ｒ、被制御量Y1を読み込み（ステップ５００１）

、該データを用いて出力レベルA、Ｂおよび接戦９１６の形状を特定するための点C、Ｄを決定し（ステップ５００２、５００３）、これら点Ａ～Ｄの値からプラントモデルのパラメータKp1、Tp1、Lp1を決定する（ステップ５００４）。

【０１６５】

次に、予測時間τa，τb及び制御器パラメータKc1，Kc2，Tcの決定方法について説明する。

【０１６６】

パラメータ最適化部３４８では制御性能評価値Jを最小にするパラメータτa，τb，Kc1，Kc2，Tcの組合わせを求める。ここで、制御性能評価値Jは次式で定義する。

【０１６７】

【数５２】

数52

$$J=\int_0^T\left\{\left(Rm(t)-Ym(t)\right)^2+p\left(\frac{dUam(t)}{dt}\right)^2+q\left(\frac{dUbm(t)}{dt}\right)^2\right\}dt \qquad \cdots(52)$$

【０１６８】

ここでRm(t)はモデル目標値、Ym(t)は制御対象モデル３４４の出力値、Uam(t)及びUbm(t)はそれぞれ制御器モデル３４６a及び３４６bの出力値であり制御対象モデル３４４に対する操作量に相当する。p、qは重み係数である。

【０１６９】

Jの値はシミュレーションにより近似的に計算することができる。数52の右辺｛｝内第一項、第二項及び第三項の値を各計算時間ステップにおいて計算し、それらの和を積算することにより求める。すなわち、計算時間間隔をΔtとすると次式で表される。

【０１７０】

【数５３】

数53

$$J\approx\sum_{\substack{k=1\\(t=1)}}^{n(t_e)}\left\{\begin{array}{l}\left(Rm(k\Delta t)-Ym(k\Delta t)\right)^2+p\left(Uam(k\Delta t)-Uam((k-1)\Delta t)\right)^2\\ \qquad +q\left(Ubm(k\Delta t)-Ubm((k-1)\Delta t)\right)^2\end{array}\right\}$$

$$n\Delta t=t_e \qquad \cdots(53)$$

【０１７１】

制御器パラメータKc1，Kc2，Tcは制御器の取り得る値として、それぞれ上・下限値を定め

る。また、予測時間τa，τbはそれぞれ、０からTp1×αaとTp2×αbまでとする。αaとαbは係数であり、任意に設定可能である。

【０１７２】

この範囲内で、パラメータを順次所定の刻み幅で変化させてt=0からTまでシミュレーション計算を行い、その都度評価値Ｊを計算する。最終的に評価値Ｊが最小になるパラメータτa，τb，Kc1，Kc2，Tcの組合わせを最適値とする。

【０１７３】

τa，τb，Kc1，Kc2，Tcの組合わせによっては制御系が安定しない場合があるので、評価値Ｊを計算する前にHurwitzの安定判別法などを用いて安定性を確認することが望ましい。不安定な組合わせに対しては評価値Ｊを計算せずに、パラメータ値を変更して、最適値探索を進める。

【０１７４】

また、最適なパラメータτs，Kc，Tcの組合わせを求める方法は上記方法に限定されるものではなく、山登り法、遺伝アルゴリズムなどの最適化方法を用いても良い。

【０１７５】

モデル目標値Rm(t)が変化する場合も同様にパラメータの最適値が計算できる。

【０１７６】

なお、火力プラントの起動時には、蒸気温度目標値を所定のタイムスケジュールに従って上げていく昇温過程が存在する。昇温過程においては、目標値との偏差を小さくすることのみならず、機器材料に与える影響を考慮すると昇温率を目標値の昇温率と合わせることも大切な要素となる。

【０１７７】

その場合には、評価値J（数52右辺｛｝内）に次の昇温率の項を加えることが望ましい。

【０１７８】

【数５４】

数54

$$r\left(\frac{dRm(t)}{dt}-\frac{dYm(t)}{dt}\right)^2 \qquad \cdots(54)$$

【０１７９】

ここで、rはp，qと同様、重み係数である。

【０１８０】

なお、制御器モデル３４６、制御対象モデル３４４、予測機能モデル３５０はそれぞれ数44、45、46、47で定義したが、これらのモデル化はこの方法に限定されるものではない。例えば、前述した予測部３３０と全く同じモデルで構成してもよい。

【０１８１】

また、評価値Jも数52または数53に限定されるものではなく、任意に設定可能である。また、フィードバックを伴う閉ループ系に対して、評価値を計算する方法が例えば次の文献に示されている。

【０１８２】

「一般化ISEを評価規範としたロバストI-PDコントローラMinimax最適化による設計」、河辺 徹、片山 徹、計測自動制御学会論文集、Vol.32，No.8，pp1226～1233（1996）。

【０１８３】

この方法によりシミュレーションによらずt=0から評価時間∞までの評価値が計算できる場合もある。

【０１８４】

以上で述べた、パラメータ最適化部３４８の処理手順を図１０に示す。

【０１８５】
本処理手順では、図１０のステップ１１０１～１１０４に示すように、パラメータτa, τb, Kc1, Kc2, Tcの値をそれぞれ所定の範囲内を、所定の刻み幅で変化させて、すべての組合わせの評価が終了した時、最適値探索を終了する。
【０１８６】
前述したように、パラメータ最適値の探索には山登り法などの最適化手法を導入してももちろん良い。
【０１８７】
また、本発明で用いる予測時間を決定する方法としては、例えば特開平9-146612号公報に述べられている方法等、他の方法を用いても良い。
【０１８８】
次に、目標値が時間的に変化する場合の、目標値Rm(t)の設定方法を説明する。
【０１８９】
図１１にモデル目標値Rm(t)の設定支援のためのマンマシンインターフェイスを示す。グラフエリア９１１には時間軸（横軸）に対する目標値Rmの値９３０のグラフが表示される。
【０１９０】
グラフ上のRm値９３０の線上の点をマウスでクリックしてドラッグすることにより、グラフ波形形状を変更することができる。その時の折れ線の座標は数値で座標表示エリア９３２に表示される。座標表示エリア９３２には全座標点を一度に表示できない場合、スクロールバー９３４が表示されて、マウス操作により上下にスクロールすることができる。
【０１９１】
また、数47の評価値Jを算出する際に必要となる評価時間Tは評価時間入力欄９３６にキーボードから数値で入力する。目標値Rmと評価時間Tの入力終了後、設定ボタン９３８をマウスでクリックすることにより設定が完了する。
【０１９２】
以上のようにして予測時間間隔τa, τb及び制御器パラメータKc1, Kc2, Tcを決定した場合の制御結果のシミュレーション例を図１２に示す。本例は目標値をステップ変化させた場合の応答である。
【０１９３】
上記構成によれば、予測制御を行わない場合に比べて目標値への追従が早くなり、かつ、オーバーシュート量が減少しており、制御性能が向上していることがわかる。
【０１９４】
さらに、本発明による上記構成によれば、制御性能がもっとも向上する予測時間を操作量に応じて決定できる他、予測制御を実施した場合の制御器パラメータの最適値も決定することができるので、予測制御方式の効果を最大限に発揮させることができる。
【０１９５】
さらに、本発明による上記構成によれば、従来それらの制御器パラメータを試行錯誤的に調整していたのに対して、調整時間が短縮できる効果もある。
【０１９６】
シミュレーションによる効果は、図１３に示すように画面上に表示してユーザが確認可能であるように構成する。
【０１９７】
例えば、グラフエリア９１１にはシミュレーション結果による応答波形を表示する。また、パラメータ表示欄９２４には、その時のパラメータτa, τb, Kc1, Kc2, Tcの値を表示する。また、切替えボタン９２６をマウスでクリックするたびにグラフエリア９１１に表示されるグラフがモデル出力値Ym(t)と操作量Uam(t), Ubm(t)とに順に切り替える。
【０１９８】
また、切替えボタン９２８により、モデル出力値Ｙm(t)または操作量Uam(t), Ubm(t)を単独に表示させるか、各グラフを並べて表示するかを切り替える機能を設けても良い。

【０１９９】
以上、パラメータ調整部３４０により、プラントの試運転時または定期検査時などの機会を利用してオフライン的に調整する方法を説明したが、本発明は以下に述べるようにプラントの運転を制御しながらオンライン的に使用することもできる。
【０２００】
例えば、パラメータ調整部３４０をプラントの運転中に所定の時間間隔で周期的に起動する。例えば5分毎に起動し、パラメータ調整部３４８によって予測時間τa，τb及び制御器パラメータKc1，Kc2，Tcを決定する。パラメータ調整部３４８の処理手順は図１０と同じである。
【０２０１】
このようにすると、プラント１００の運転状態（負荷帯、負荷変化条件）に応じて随時、適正な予測時間間隔τs及び制御器パラメータKc，Tcを決定できるので制御性能をさらに向上させることができる。
【０２０２】
また、予測時間間隔τs及び制御器パラメータKc，Tcを決定する前に、モデル調整部３４２により制御対象モデル３４４の特性が制御対象１００の特性と合うように随時、制御対象モデル３４４を調整することもできる。制御対象モデルを回帰式モデルやニューラルネットワークモデルとすれば、直近（直前）のデータで相関式を作り直したり、ニューラルネットワークで再学習することによりモデル特性を逐次調整する構成としてもよい。
【０２０３】
上記構成によれば、プラントの運転点（運転状態）近傍の特性に制御対象モデル３４４の特性を常に合わせることができるので、予測制御の効果がさらに向上する。また、制御対象モデル３４４はプラントの広範囲な運転状態を模擬する必要がなくなるため、比較的簡単なモデルで近似できるようになり、演算負荷が減少する効果もある。
【０２０４】
次に本発明の第２の実施の形態を説明する。
【０２０５】
本実施形態の制御装置は、上記第１の実施の形態において、図１４に示すような構成を有する蒸気温度予測コントローラ３８０を用いたものである。
【０２０６】
上記第１の実施の形態における蒸気温度予測コントローラ３８０と異なる点は、予測値Ysと目標値Rsとの偏差をPI制御器３２０aとP制御器３２０bにフィードバックするのではなく、プラント出力値（蒸気温度の測定値）をフィードバックして、予測値YsからはP制御器３２０c及び３２０dによって操作量に補正を加える構成にした点である。この場合には、プラントモデル３５５も同じ構成にする。
【０２０７】
さらに、切替部３３９は、予測値に基づく補正値をそのまま出力するか、０を出力して実質的に予測制御を使わないようにするかを切り替える機能を持つものとする。
【０２０８】
本実施形態では、予測値に基づく操作量の補正量算出部としてP制御器３２０c及び３２０dを用いているが、他の方法であってももちろん良い。
【０２０９】
本実施形態の構成によっても、上記第１の実施の形態と同様に、同一の制御量に対し複数の操作量が存在するプロセスにおいて、該複数の操作量のそれぞれに対応して互いに異なる予測時間における予測値を演算し、それぞれの予測値に基づいて操作量を決定することができる。
【０２１０】
次に、本発明の第３の実施の形態について説明する。
【０２１１】
本実施形態では、本発明を廃棄物焼却プラントの運転制御装置に適用している。廃棄物焼

却プラントの概要を図１５により説明する。
【０２１２】
図１５はストーカ式焼却炉を持つ廃棄物焼却プラント１０００の構成の一例を示す。
【０２１３】
一般家庭から出される廃棄物（ごみ）は、ごみ収集車７００によって集められる。集められたごみは、ごみピット６１４へ一旦貯蔵される。
【０２１４】
ごみピット６１４のごみは、クレーン６１２で焼却炉ホッパ６１０へ運ばれる。その途中で重量測定器２０１があり、ごみの重量を計測する。ホッパ６１０へ投入後、押し出し機６３０によってストーカ上に運ばれる。ストーカは前段の乾燥ストーカ６２６と後段の燃焼ストーカに分かれている。乾燥ストーカでは、主に投入ごみの水分を蒸発させる。燃焼ストーカでは、乾燥したごみを燃焼させる。燃焼後の灰は、灰ピット６３８に一旦堆積した後で、埋め立て処理される。
【０２１５】
ごみの乾燥状態は、乾燥ストーカの移送速度で、また、燃焼量は燃焼ストーカの移送速度で主に制御している。
【０２１６】
乾燥ストーカ６２６及び燃焼ストーカ６２８には下部から、それぞれ乾燥用空気及び燃焼用空気が吹き込まれるようになっている。空気はファン６２０により送り込まれるが、その途中に、燃焼ガスの一部と熱交換（不図示）して昇温するエアヒータ６２２が設置されている。
【０２１７】
乾燥ストーカ６２６と燃焼ストーカ６２８とへの空気量はファン６２０とそれぞれのストーカへの配分量を調節する空気ダンパ６２４の開度によって制御される。
【０２１８】
燃焼ガスは、排ガス処理装置６３２によってダストや有害物質をある程度除去した後で煙突６３４から排出される。
【０２１９】
燃焼ガスの一部は、煙突より放出される前にガス分析装置１１５へ送られてＣＯ（一酸化炭素）濃度、O_2（酸素）濃度、ＮＯｘ（窒素酸化物）の濃度を随時オンラインで測定している。また、ダイオキシン類濃度はオフラインで定期的に測定している。
【０２２０】
また、ストーカ６２６、６２８上部で２箇所、排ガス処理装置６３２の入口に１個所、煙突６３４の入口に１箇所、ガス温度センサ６４０、６４２、６４４、６４６が設置してあり、燃焼ガス温度を測定している。
【０２２１】
さて、廃棄物を焼却処理する施設では、有害物質の排出を抑制することが重要である。特にダイオキシン類は炉内を高温に保つことによって熱分解する性質が知られている。高温状態を維持することは、基本的に完全燃焼状態を維持することである。しかし、廃棄物の焼却では、焼却炉に投入される廃棄物の組成や含水率が一定ではなく、安定に燃焼させることが難しい。
【０２２２】
そこで、ダイオキシン類の排出量を抑制することを目的に、本発明の予測制御方法を適用する。
【０２２３】
ダイオキシン類の濃度がオンラインで測定できることが望ましいが、できない場合には、ダイオキシン類濃度の指標となるプロセスデータで代用する。その一つとして、ＣＯ濃度や塩化フェノールがあり、これらの値は比較的短時間で測定が可能であり、ダイオキシン類濃度とある程度相関が認められる。
【０２２４】

そこで、予測対象プロセス量を排出ガス中のＣＯ濃度とする。この値はガス分析装置１１５でオンライン測定している。本例では排出ガス中のＣＯ濃度であるが、塩化フェノールなど、ダイオキシン類濃度を推定でき、比較的短時間で測定可能な物質であればそれ以外でも良い。

【０２２５】

また、予測値に基づいて操作するプロセス量（操作量）は燃焼ストーカの移送速度とごみ投入量（速度）である。

【０２２６】

本実施形態の運転制御装置３００は、上記第１の実施の形態で説明した火力プラントの場合と同様に、焼却プラント１０００に配備された各アクチュエータの操作量を決定するための制御系を有し、その制御系には制御の対象となるプロセス量（本例ではＣＯ濃度）の予測コントローラ３８０が備えられている。

【０２２７】

予測コントローラ３８０は、例えば図１６に示すように、制御プロセス量（ＣＯ濃度）を変化させるための操作量を算出する操作量１算出部３２１ａ、操作量２算出部３２１ｂと、各操作量に対応して異なる予測時間の予測値をそれぞれ出力する予測部３３０、予測部３３０に含まれる制御器モデル等の各種モデルのパラメータを調整するパラメータ調整部３４０と、切替部３３２と、Ｐ制御器３２１ｃ、３２１ｄとを備えている。

【０２２８】

本実施形態の予測コントローラ３８０では、重量測定器２０１で計測したごみの重量に基づいて、操作量演算部３２１a及び３２１bで燃焼ストーカ移送速度とごみ投入量（速度）を演算する。さらに、本発明の予測制御方法により将来のＣＯ濃度を予測し、P制御器３２１cと３２１dにより燃焼ストーカの移送速度とごみ投入量に対する操作量に補正を加えるようにしている。

【０２２９】

投入されたごみはまず乾燥ストーカ６２６上で乾燥した後、燃焼ストーカ６２８に移動する。このため、ごみの投入量の変更が燃焼状態に影響するまでの時間は比較的長い。これに対して、燃焼ストーカ移送速度の変更は、すぐに現在の燃焼状態に影響する。そのため、両操作量に対して予測制御を実施する場合には、それぞれに適した予測時間を用いる方法が有効である。

【０２３０】

次に、本実施形態の予測部３３０について説明する。

【０２３１】

排ガス中のＣＯ濃度をごみ供給量（速度）、燃焼ストーカ移送速度、乾燥空気流量、燃焼空気流量、（前回サンプリング分までの）ＣＯ濃度測定値との関数として次式でモデル化している。

【０２３２】

【数５５】

数55

$$CO(k) = a1\cdot CO(k-1)+a2\cdot CO(k-2)+\cdots+an\cdot CO(k-n)+an+1\cdot Fw(k-1)+an+2\cdot CSV(k-1)+an+3\cdot Fda(k-1)+an+4\cdot Fca(k-1) \quad \cdots(55)$$

【０２３３】
ここで、COは排ガス中のＣＯ濃度、Fwはごみ供給量（速度）、CSVは燃焼ストーカ移送速度、Fdaは乾燥空気流量、Fcaは燃焼空気流量であり、kは現在サンプリングステップを表す。
【０２３４】
予測時にはFw, CSV, Fda, Fcaを現在ステップの値で保持された状態で、数55の右辺のCOの値を順次、左辺の計算値に置き換えて将来のＣＯ濃度を計算する。
【０２３５】
予測部３３０の構成を図１７に示した。数55のCO相関モデル３６０と、操作量算出部３２１a及び３２１bのモデル３２２a及び３２２bと、P制御器３２１cと３２１dのモデル３２２c及び３２２dとで構成されている。
【０２３６】
本実施の形態では、上記第１の実施の形態と同様にパラメータ調整部３４０を備えており、燃焼ストーカ移送速度とごみ投入量（速度）に対応する予測時間と、P制御器３２１cと３２１dの比例定数を決定する。
【０２３７】
本実施の形態では、予測制御に対する操作量として燃焼ストーカ移送速度とごみ投入量を選択しているが、乾燥ストーカ移送速度、乾燥空気量、燃焼空気量などでも良く、また、それらの組合わせであっても良い。
【０２３８】
また、ダイオキシン類はCl（塩素）を含む化合物であるため、排ガス中の塩素を別の安定な塩素化合物として固定化して除去することによりダイオキシン類の排出量を抑制する方法がある。この場合例えば、石灰石や消石灰のようなカルシウム化合物をダイオキシン抑制剤として用いることができる。その時、次式のような反応により$CaCl_2$（塩化カルシウム）として塩素分が固定化される。
【０２３９】
【数５６】
数56

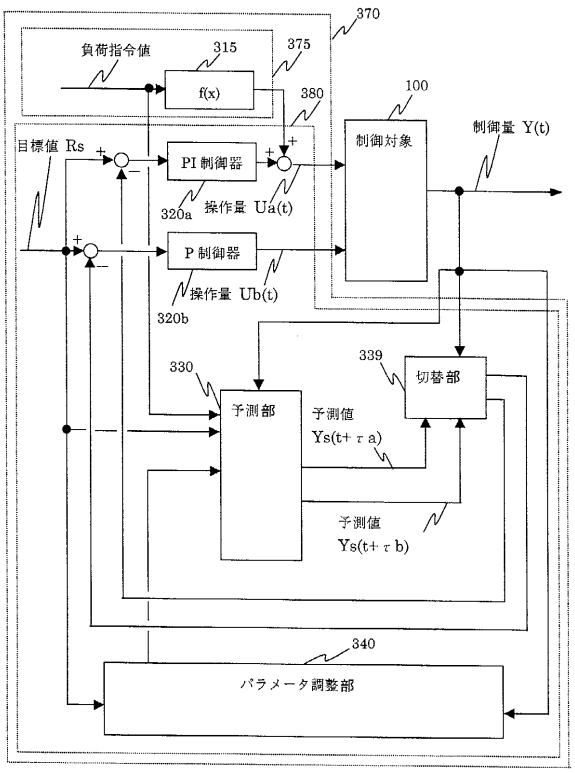
$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$$
$$CaO + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O \quad \cdots(56)$$

【０２４０】
従って、操作量としてカルシウム化合物などのダイオキシン抑制剤の投入量を用いても良い。また、制御量としてダイオキシン類の濃度のみならず、（窒素酸化物）濃度でも良く、NOx濃度を予測しても良い。
【０２４１】
【発明の効果】
本発明によれば、単一の制御量に対して複数の操作量が存在するプロセスに対して、各操作量に対応して異なる予測時間における予測値を演算し、それぞれの予測値に基づいて操作量を決定するので制御精度が高い制御装置を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】第一の実施の形態における予測コントローラの構成を表すブロック線図。
【図２】火力発電プラントの構成を示す説明図。
【図３】制御装置の構成とプラントとの関係を表す説明図。
【図４】制御装置のハード構成を示すブロック図。

【図５】予測部の構成を表すブロック線図。
【図６】予測時間間隔の説明図。
【図７】パラメータ調整部の構成を表すブロック線図。
【図８】制御対象モデルのパラメータ調整支援画面を表す説明図。
【図９】モデル調整部の処理手順を表すフローチャート。
【図１０】パラメータ最適化部の処理手順を表すフローチャート。
【図１１】目標値の設定画面を表す説明図。
【図１２】予測制御の効果を示す説明図。
【図１３】調整効果確認画面を表す説明図。
【図１４】第二の実施の形態における予測コントローラの構成を表すブロック線図。
【図１５】廃棄物焼却プラントの構成を表すブロック線図。
【図１６】第三の実施の形態における予測コントローラの構成を表すブロック線図。
【図１７】第三の実施の形態における予測部の構成を表すブロック線図。
【符号の説明】
１００…火力発電プラント、１１０…発電機、１１１…発電機出力計測装置、１２０…低・中圧タービン、１２１…タービン加減弁、１２２…過熱器出口蒸気温度測定器、１２３…主蒸気圧力測定器、１２４…再熱蒸気温度測定器、１２５…復水器、１２６…冷却水、１３０…高圧タービン、１４０…給水ポンプ、１５０…ボイラ、１５２…火炉水壁、１５４…過熱器、１５６…再熱器、１６０…バーナー、１６１…空気流量調節弁、１６２…燃料流量調節弁、１７０…排ガス処理装置、１７５…煙突、３００…運転制御装置、３２０a，b…制御器、３３０…予測部、３３１a…火炉水壁モデル、３３１b…スプレモデル、３３１c…過熱器モデル、３３９…切替部、３４０…パラメータ調整部、３４２…モデル調整部、３４４…制御対象モデル、３４６…制御器モデル、３４８…パラメータ最適化部、３５０…予測機能モデル。

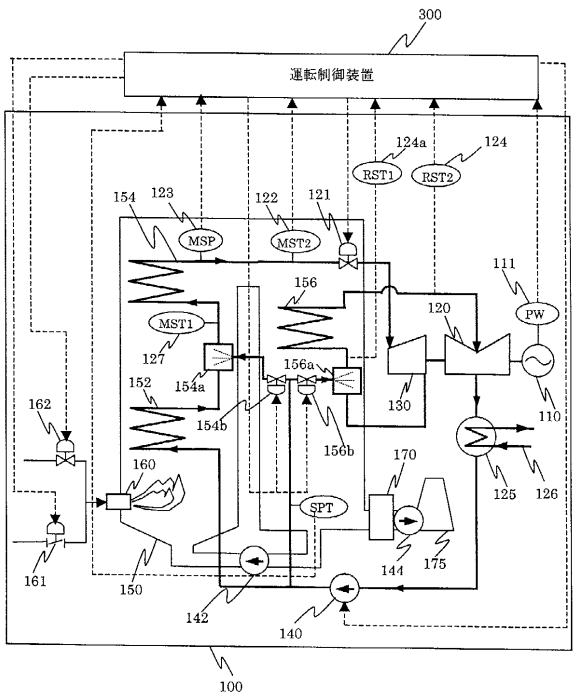
【図１】

図1



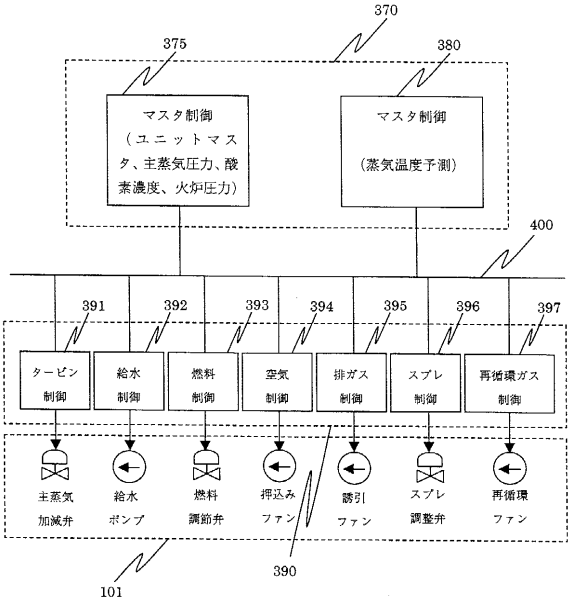
【図２】

図2



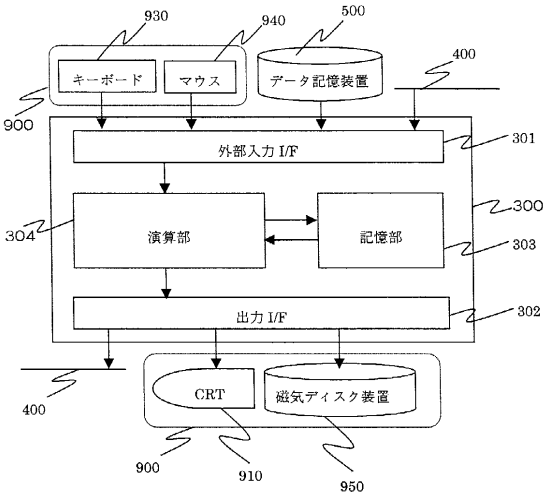
【図３】

図3



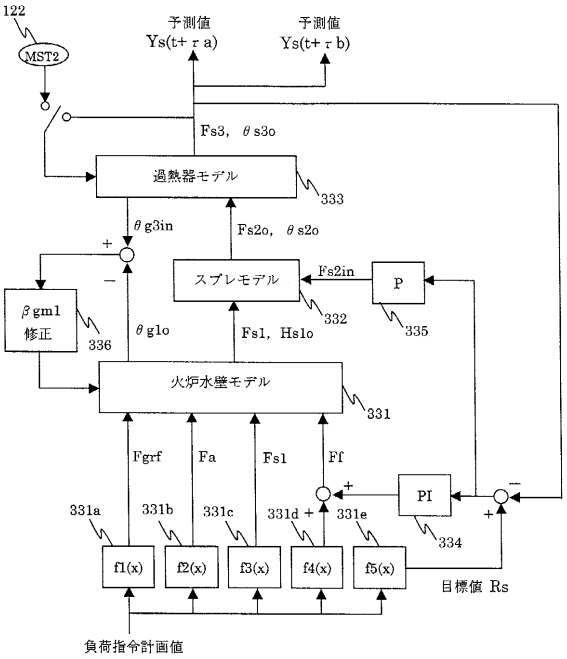
【図４】

図4



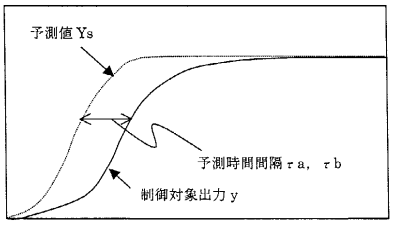
【図５】

図5



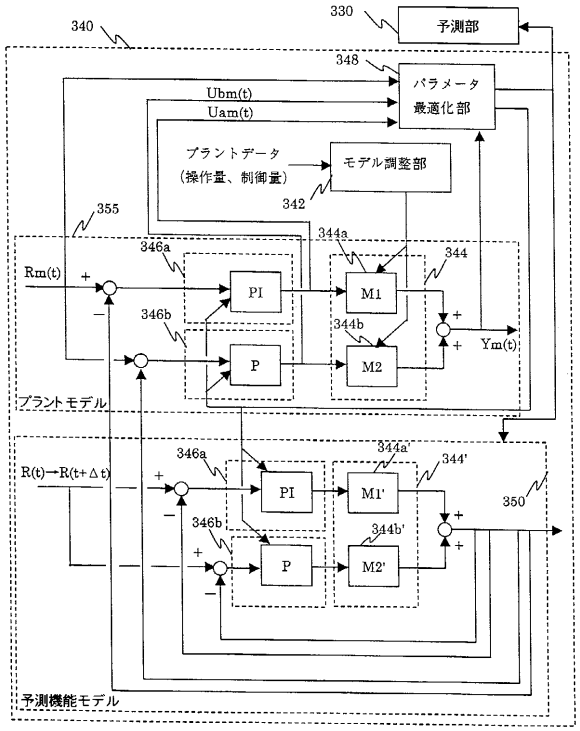
【図６】

図6



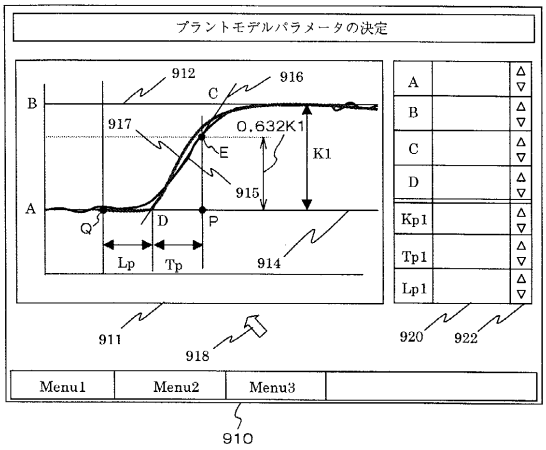
【図７】

図7



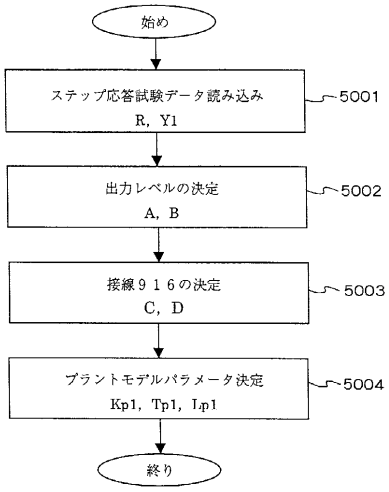
【図８】

図8



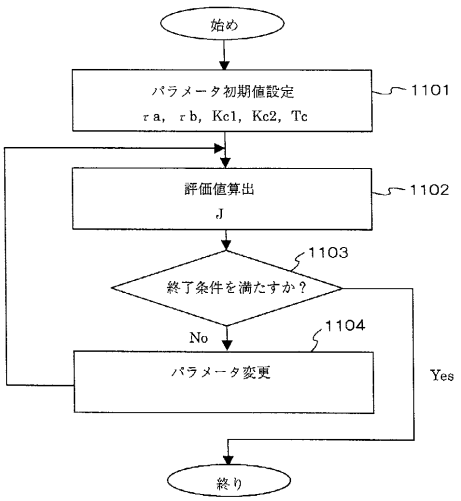
【図９】

図9



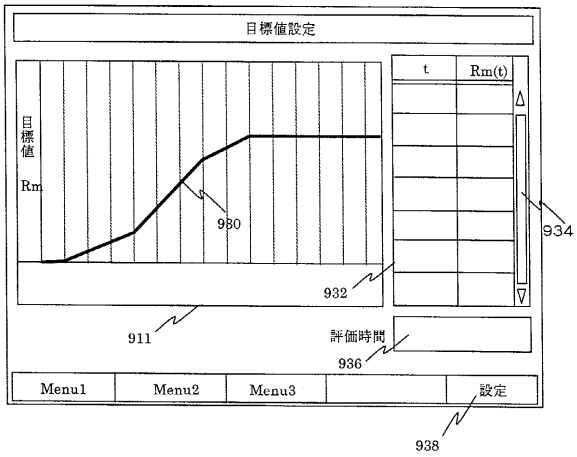
【図１０】

図10



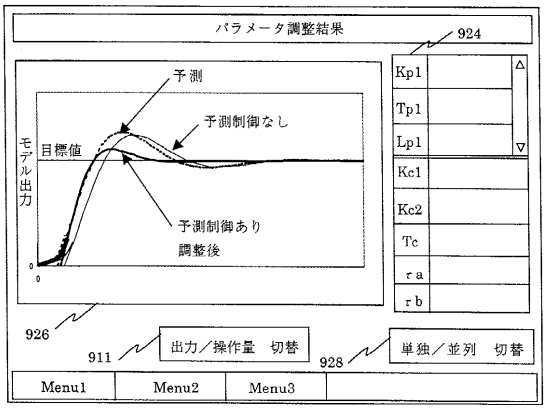
【図１１】

図11



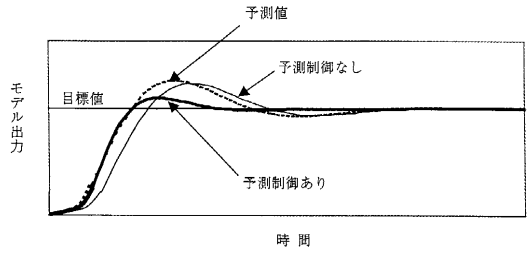
【図１３】

図13



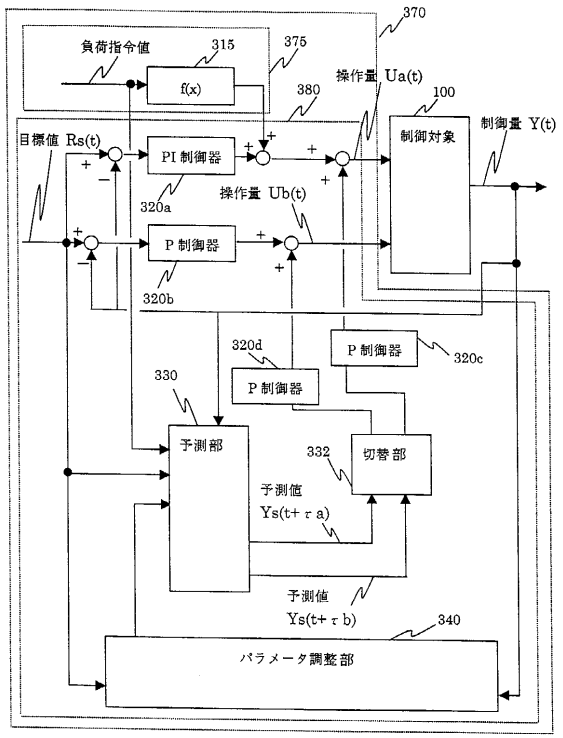
【図１２】

図12



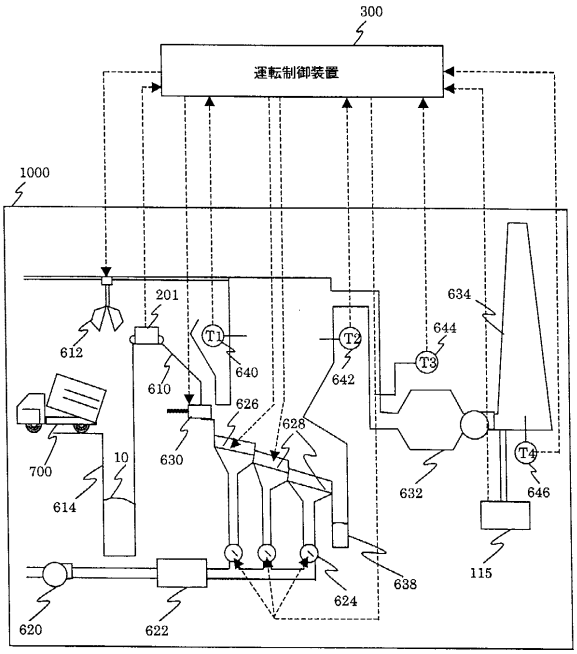
【図１４】

図14



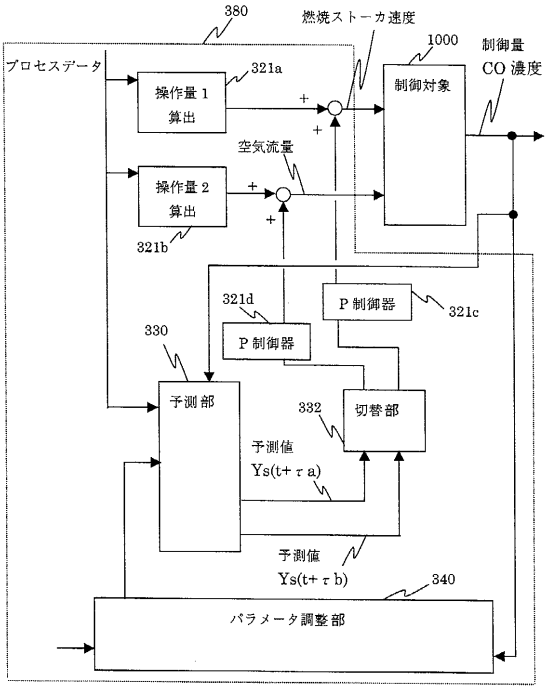
【図１５】

図15



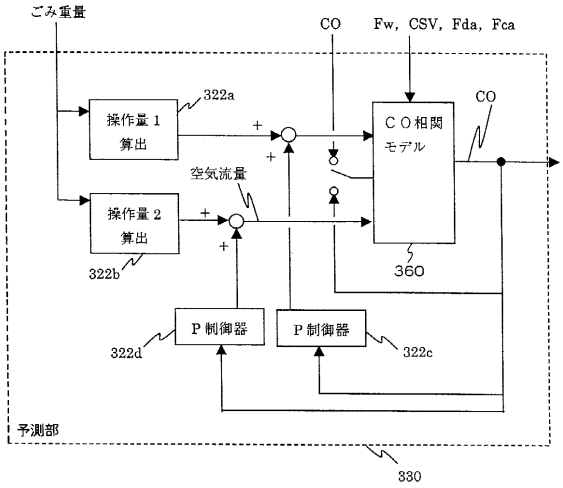
【図１６】

図16



【図１７】

図17



フロントページの続き

(72)発明者　原嶋　敏彦
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
(72)発明者　木村　亨
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
(72)発明者　菊池　信也
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

審査官　佐々木　一浩

(56)参考文献　特開平０２－２４５８０５（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０８４６０８（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－１２８４０１（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－３３０１０３（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２９１２８５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G05B 13/04
F22B 35/00
G05B 13/02