

動力用原子炉の自動制御系に関する考察

The Analysis of the Automatic Control Systems of the Nuclear Power Plants

小林 栄二* 鈴木 守**
Eiji Kobayashi Mamoru Suzuki

内 容 梗 概

動力用原子炉では中性子束を一定に保つように制御される研究用原子炉と異なり、原子炉から所要の動力を安定に取り出すように原子炉を制御せねばならないのでその制御には種々問題となる点が多い。本文は動力用原子炉として代表的なBWRおよびPWRの制御上の問題点について種々検討した結果を述べてある。

各原子炉の制御上の問題点は、BWRにおいては反応度のボイド効果に基づく自己制御性の欠如であり、PWRにおいては制御プログラム選定に際しての加圧器容積あるいは蒸気圧力変動などである。計画せる原子炉制御系が負荷の変化や反応度の変化に対してどのように応答するかをアナログ計算機によつて解析し、これらの問題点を検討した結果、両原子炉ともそれぞれ計画した制御系によつて安定に制御されることが知られた。

1. 緒 言

動力用原子炉の制御は所要の動力を安定に原子炉より取り出すことがその目標とされるので、研究用原子炉とはその制御系も大分相違したものとなる。すなわち研究用原子炉は科学的な資料を得るためのもので、種々の研究のための道具として用いられ、またそれ自身研究の対象となつており、主として一定中性子束の安定な運転が行われ、制御系もこの目的にそつと計画されている。これに対して動力用原子炉はその目的があくまでも熱エネルギーを取り出して発電に供することにあり、中性子は熱エネルギーを得るための手段であつて目的ではない。さらに熱出力も研究用では数キロワットから数メガワットであるのに対し、動力炉ではプロト・タイプのもを除けば十数メガワット乃至数百メガワットといつた大容量のものが対象とされている。

したがつて動力用原子炉の制御方法は炉の形式によつて多少異なるが、経済上あるいは政策上の特殊な理由によつて定出力運転が望まれたり、あるいは普通の発電所のように変動する負荷に追従して制御することが要求され、制御対象としても炉のみでなく蒸気系統も含めた発電所全体としての系を取り扱わねばならない。そして原子炉の制御手段として制御棒が用いられることは動力炉および研究用炉に共通な点であるが、動力用原子炉では負荷の変動をすべて制御棒によつて調節するのではなく、小さな負荷変動に対しては炉内の温度効果やボイド効果などを利用して系全体としての制御を行つている。

このような動力用原子炉の制御上の問題を解明するために、東京電力原子力発電協同研究会第2部会(TAP)

制御計測分科会において10MW沸騰水型(BWR)および135MW加圧水型(PWR)原子力発電所の制御について種々検討がなされた。両原子炉は上記研究会にて東京電力と日立製作所とが協力して設計計画に関する研究を行つた原子炉である。以下その制御に関する検討結果の一部を要約して紹介することとしたい。

2. 10 MW・BWR 発電所の自動制御

2.1 BWRの性質と制御上の問題点

計画したような単純沸騰水型の原子炉は安全性の高いものであることはBORAX-1⁽¹⁾で行われた一連の実験の結果などでよく知られ、また動力用として十分な程度の動力を取り出しうることも実験⁽²⁾で証明されており、制御方式についても二、三の方法⁽³⁾が考えられている。しかしながらBWRを動力用として用いる場合には制御上種々と複雑な問題がある。

一般に動力用原子炉の制御を考える場合、動力プラント全体としてみた原子炉の自己制御性が大きな問題となる。ここでいう自己制御性とはプラント全体が負荷の変動などに対して自動的にある一定の状態に落ち着く性質のことをいう。BWRは動力プラントの要素としてはPWRのような反応度について負の温度係数を有する原子炉と異なり、自己制御性はよくない。

たとえばプラントの負荷が増加した場合を考えると、負荷の増加に従つて原子炉にはより多くの蒸気が要求され、BWRでは炉内で直接蒸気を発生しているため炉内圧力および温度を低下して蒸発量を増加せしめて必要な蒸気流量を維持しようとする。ところが蒸発量の増加は炉内蒸気含有量(ボイド)を増し反応度が減少して炉出力を減少せしめる方向に働くので、負荷の増加に応じて出力を増加せしめる必要がある場合に逆に働き、炉内圧

* 日立製作所日立研究所 工博

** 日立製作所日立研究所

力および温度はより急速に低下をきたして、プラントは運転を継続することができなくなる。

上述のようにBWRは動力用として用いる場合、自己制御性が悪いので炉から安定に動力を取り出すような制御系を得るには工夫がいる。そして計画された制御系が定常状態のみならず過渡的にも良好にBWRを制御できるか否かが問題であるので10MW・BWR発電所の計画に当つてこの問題点を解決するためにアナログ計算機によつて出力制御系の制御特性を検討した。

2.2 10MW・BWR発電所の構成と制御系の概略

計画せるBWRは軽濃縮ウランを燃料とし、冷却体および減速材として軽水を使用しており、第1図に示すように炉内で冷却水は沸騰して燃料内で発生した熱を奪い、発生した蒸気は冷却水とともに蒸気ドラムに入り、ここで気水分離が行われる。水分を分離した飽和蒸気はタービンに送られて発電機を回転し電力を発生する。ドラムに残つた水は再循環水ポンプによつてふたたび原子炉に送りこまれ強制循環を行わせる。タービンを出た蒸気は復水器で凝縮して給水ポンプにより蒸気ドラム中に送りこまれ冷却水と混合される。

炉出力の制御系はタービン入口弁での蒸気圧力を一定に保つことを制御目標とした方式で、第1図に示すようにタービン入口弁の蒸気圧力を圧力検出器によつて検出し、これとタービン入口弁の開度による負荷信号とを加算して出力指令信号が作成され、これによつて再循環水ポンプの速度を調整するとともに制御棒による出力制御回路を操作するようになってい。再循環水ポンプの速度を調整すれば冷却水（再循環水）の循環流量が変化し炉内のボイドを変化して炉出力を調整できる。また制御棒による制御系は一般によく知られたものと同じである。

2.3 出力制御系のブロック線図

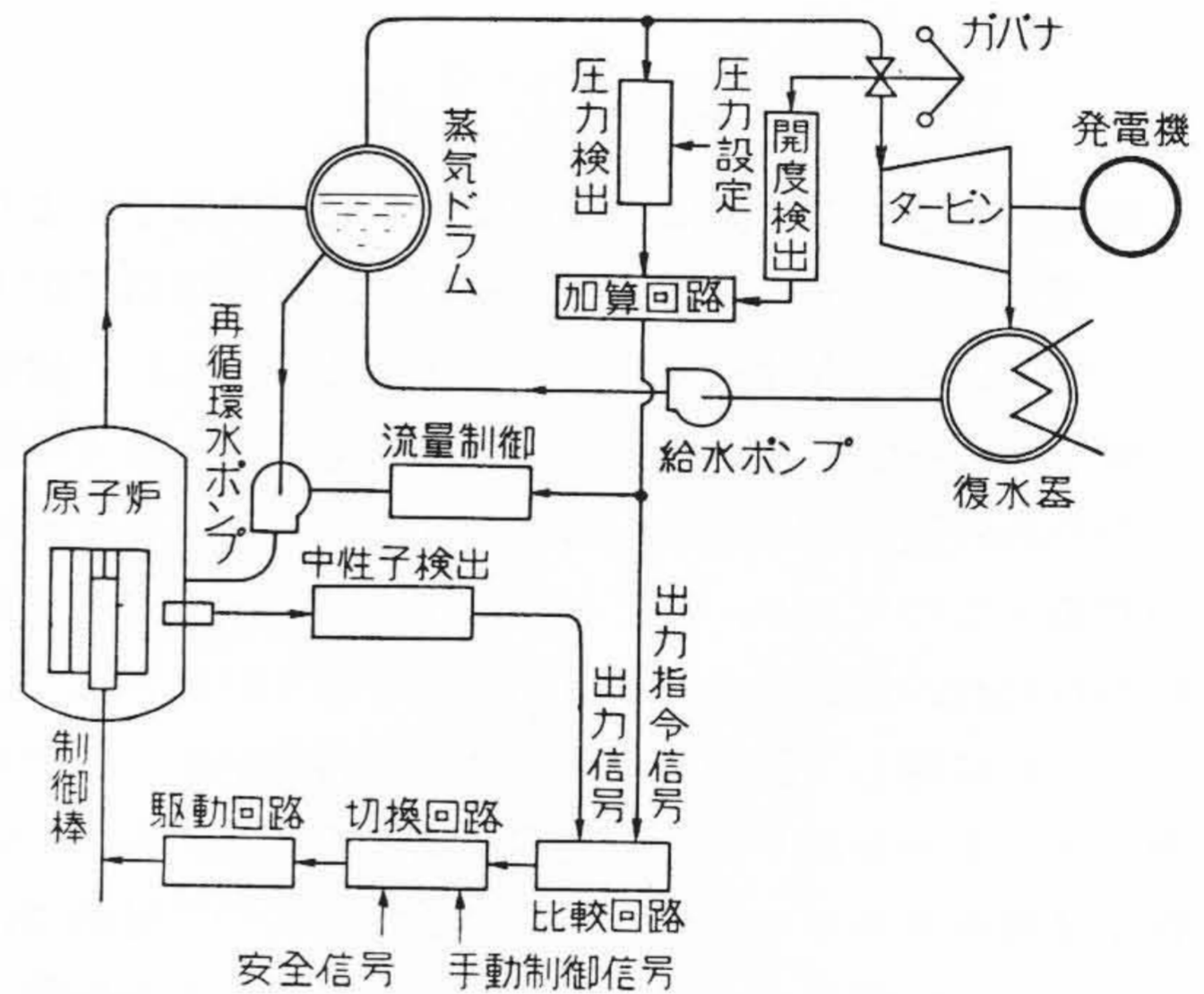
出力制御系の制御特性をアナログ計算機で解析するには、制御の面よりみた各部の動力特性を検討しその伝達関数を求めてブロック線図を作成せねばならない。第1図に示した制御系のブロック線図を作成すれば第2図のようになる。図中原子炉および蒸気ドラムを除いた部分は一般の自動制御系と同様でブロック線図なども周知であると思うので省略して、以下原子炉と蒸気ドラムの部分のブロック線図について簡単に説明することとした。

2.3.1 原子炉のブロック線図

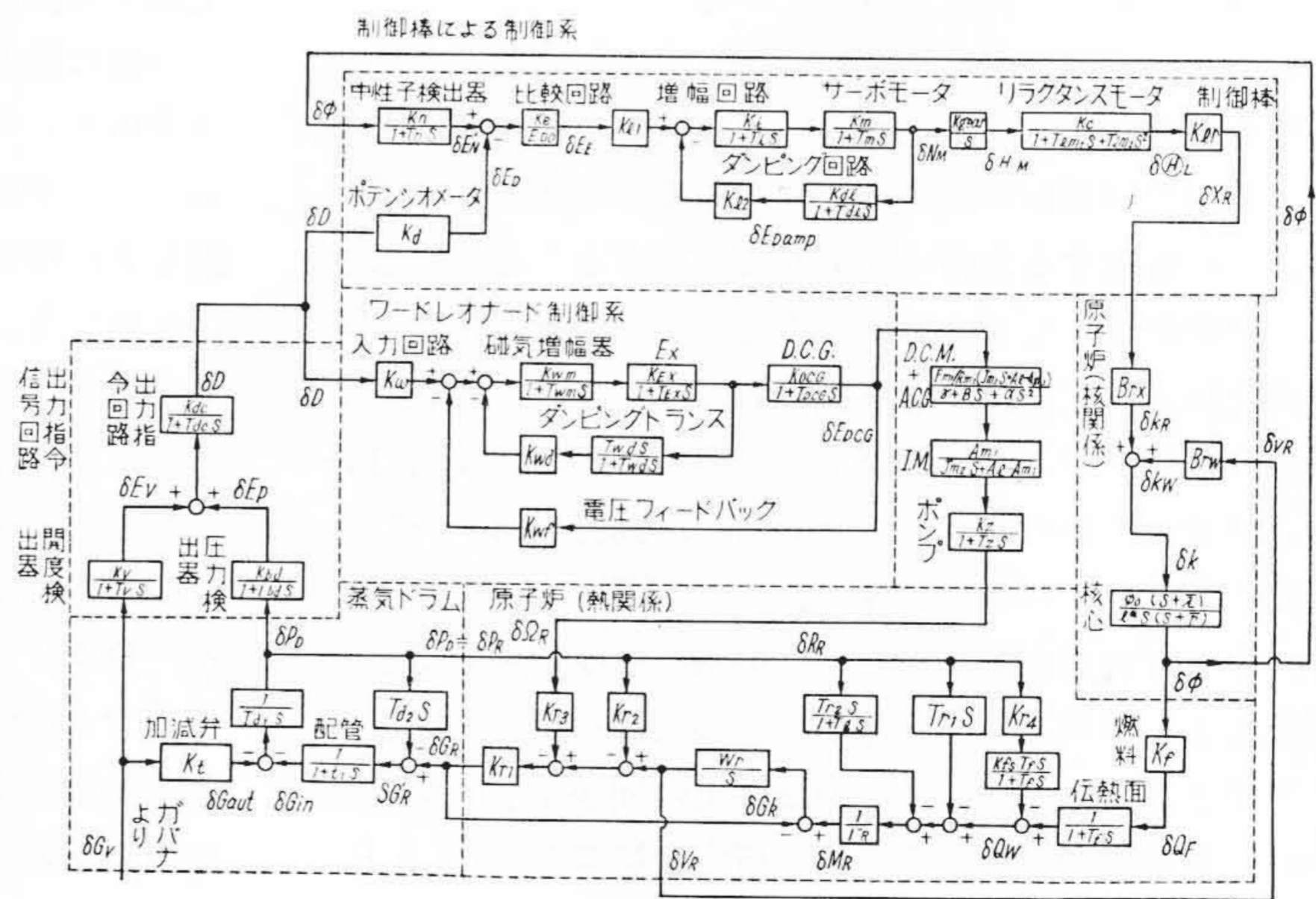
炉内反応度 (δk) の変化に対して原子炉の平均中性子束 (ϕ) すなわち

熱出力 (Q_F) がどのように変化するかを示す伝達関数は一組理論を用いて理論的に求められている⁽⁴⁾⁽⁵⁾が、一般の制御上の問題処理に対してはもつと簡単な第2図中の関係で十分である。また図中の K_f は熱出力と中性子束との換算係数である。燃料棒で発生した熱は冷却水へ伝熱される。 T_f は燃料棒の熱容量による伝熱おくれの時定数である。冷却水の蒸発は燃料棒からの伝熱のほかに冷却水自身および炉構成材の熱容量によつても行われる。 K_{r1}, K_{r2}, T_{r1} および T_{r2} は炉内圧力 (P_R) の時間的変化割合に対してこれらの熱容量が放出する熱量との関係を与える係数であり、 T_{gl} は冷却水の循環のために生ずるおくれの時定数である。

発生した蒸気 (M_R) は大部分炉より蒸気ドラムへ流出するが一部蓄積されてボイド (V_R) を形成する。



第1図 10MW・BWR出力自動制御系の構成



第2図 10MW・BWR出力自動制御系のブロック線図

W_r はボイドと蒸気量との換算係数である。炉内ボイドは蒸気流量 (G_R)、圧力 (P_R)、冷却水再循環流量 (Ω_R) などの複雑な関数であるが微小変化のみを考えて簡単な線型の関係で近似した。 K_{r1} , K_{r2} , K_{r3} は各変数に関する換算係数であり、炉の状態によつて異なつた値をとる。冷却水の再循環速度 (Ω_R) はポンプの回転速度 (N_2) の関数であり、 K_Z は微小変化における両者の関係を与える係数である。 T_Z は冷却水循環の運動エネルギーのために生ずるおくれの時定数であり、 K_Z , T_Z とともにベースにとつた循環流量によつて異なつた値をとらねばならない。

2.3.2 蒸気ドラムの伝達関数

原子炉より冷却水と混合して流出した蒸気は蒸気ドラムに入り、ここで冷却水と分離される。ドラムへ流入する蒸気流量 ($G_{D in}$) はドラムと原子炉間の配管を通過するに要する時間 t_1 のために

$$G_R(t) = G_{D in}(t+t_1) \dots\dots\dots(1)$$

となる。このようなむだ時間を用いて解析することは非常に面倒であり、高速度アナログ計算機では現在のところ不可能である。そこで(1)式を展開して二次微分以降を省略して時定数 t_1 の一次おくれで近似した。

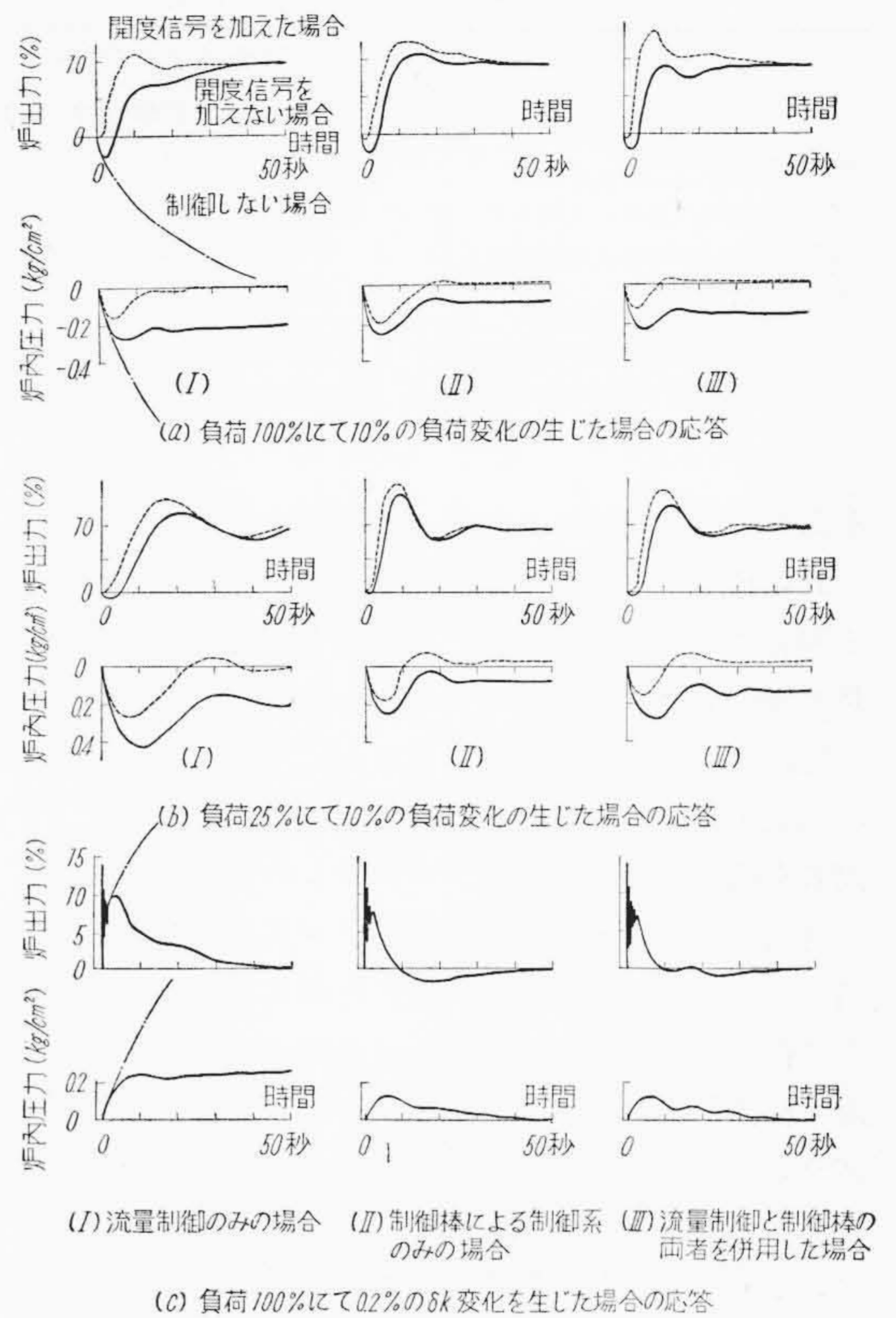
次に圧力変化によつて炉の圧力容器上部と出口配管内の蒸気および冷却水の保有する熱量が変化するので、これによつて蒸気ドラム流入蒸気量が変化する。 T_{a2} は圧力変化割合に対する流入蒸気量変化の係数である。蒸気ドラムに流出入する蒸気量の差はドラム内の圧力を変化する。 T_{a1} はこの関係を与える係数である。ドラム流出蒸気量 ($G_{D out}$) は加減弁開度 (G_v) によつて定まり、 K_l はその係数である。

2.4 10 MW・BWR 発電所のアナログ計算機による解析結果

第2図のブロック線図に諸数値を導入し、適当な省略を行つて実際にアナログ計算機で検討できるブロック線図に整理して、これによつて求めた解析結果を第3図に示す。図中(a)は負荷100%の場合に10%の負荷変化が生じた場合、(b)は負荷25%の場合に10%の負荷変化が生じた場合、(c)は負荷100%の場合に0.2%の δk 変化が生じた場合の炉出力および炉内圧力の変動を求めたものである。いずれも左より再循環水ポンプによる冷却水循環流量制御のみの場合、制御棒による制御のみの場合、両者を併用した場合の順になつてゐる。

2.5 結果の検討

第3図の結果から負荷100%の場合には流量制御、制御棒による制御、および両者併用のいずれでも安定に制御でき、圧力の定常偏差は入口弁の開度などによる負荷信号を出力指令信号に加えることによりほとんどなくすることができ、自己制御性の欠如が本質的に問題にならな



第3図 10MW・BWR出力自動制御系のアナログ計算機による解析結果

いことが確認された。しかしながら流量制御のみの場合は25%負荷となると圧力変動が大となり変動周期も長くなるのがみられ、その上 δk が変化した場合には圧力に定常偏差が生ずるので出力指令と炉の出力とはもはや一致しなくなる。また制御棒による制御系のみでは負荷とともに炉内ボイドが変化することとなり、これは炉の運転上望ましくない。結局BWRの制御としては第1図のような流量制御と制御棒による制御とを併用した方式とすることが望ましいといふことができる。

3. 135 MW・PWR 発電所の自動制御

3.1 PWRの性質と制御上の問題点

PWRは炉内で直接蒸気を発生せず、炉内で発生した熱は加圧された一次冷却水によつて蒸気発生器に運ばれ、ここで間接熱交換によつて蒸気を発生する。蒸気系統と原子炉冷却系統は完全に分離されるのでタービンそのほかの機器も放射能を受ける心配はない。そしてPWRは反応度に十分な負の温度係数を与えることができ、またBWRのようにボイドによる反応度の変化は起らないのでその制御もある程度簡単になるものと考えられる。しかしながら加圧器などPWRであるために必要な機器

第1表 PWR制御プログラムの特長

定平均温度プログラム	定蒸気圧力プログラム
一次冷却水の容積変化が小。加圧器容積は小でよい。	一次冷却水の容積変化が大。加圧器は大となる。
負荷によつて蒸気圧力が大きく変動する。タービンなどを特殊なものとする必要がある。	蒸気圧力はほぼ一定となるのでタービンなどは現用のものがそのまま使用できる。
炉の自己制御性で定平均温度となるように働くので制御は簡単になる。	負荷に対して圧力を一定に保つように制御を行う必要がある。

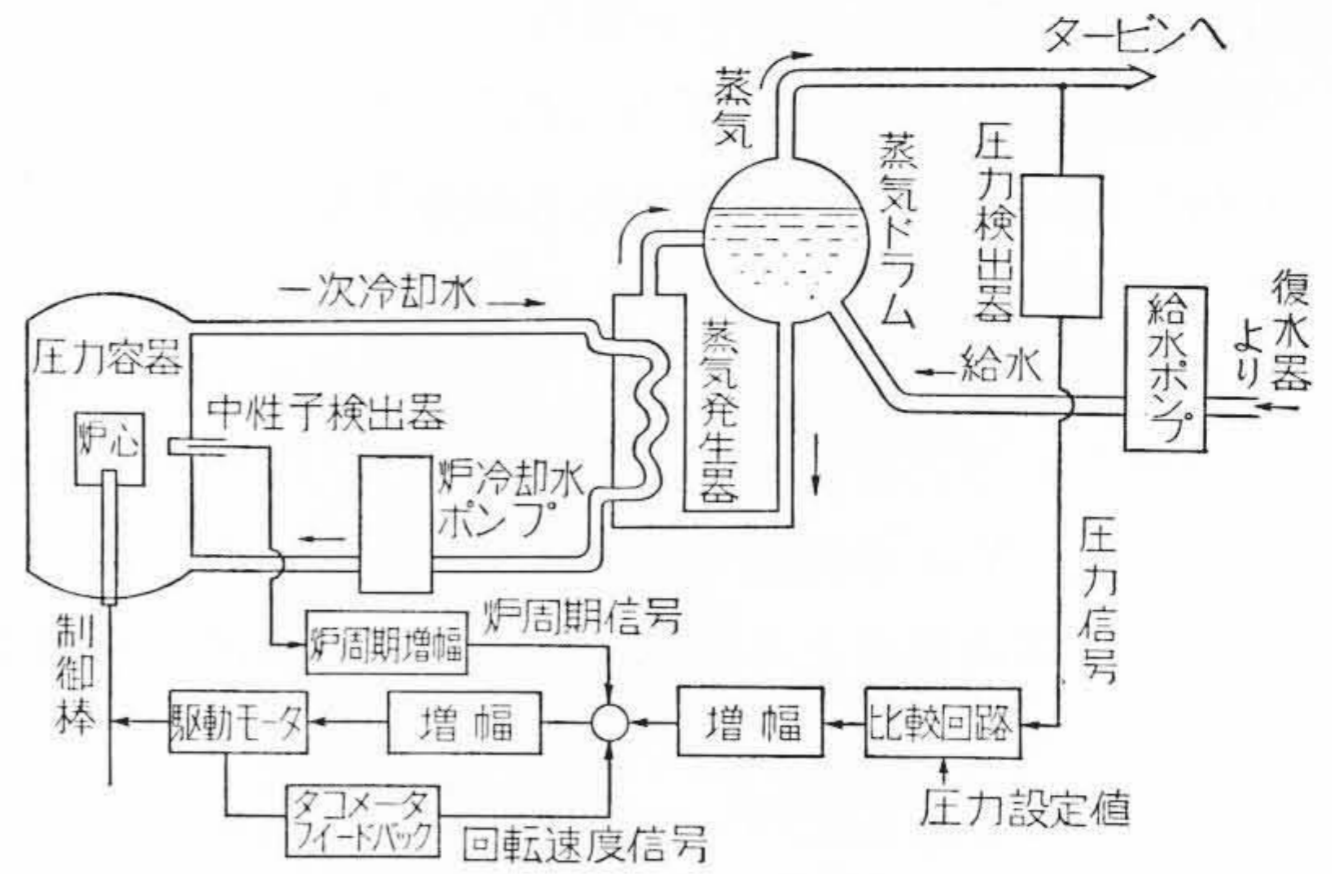
もあり、その制御なども考える必要が生ずる。

PWRの制御を検討するにはまずその定常状態における制御プログラム(目標)を決定する必要がある。PWRの制御プログラムには(a)一次冷却水の平均温度を一定に保つ定平均温度プログラム、(b)タービン入口の蒸気圧力を一定に保つ定蒸気圧力プログラム、(c)両者を適当に妥協させたプログラムの3種⁽⁴⁾がある。

計画せるPWR発電所の制御プログラムを決定するに当つての問題点は第1表に示した両プログラムの特長の中に存在している。すなわち定蒸気圧力プログラムを採用すれば加圧器の大きさが問題となり、定平均温度プログラムでは蒸気圧力変化のタービンに及ぼす影響が問題となる。実施例よりみれば Shippingport 発電所⁽⁶⁾や ヤンキーアトミック発電所⁽⁷⁾など定平均温度プログラムを採用している例が多い。この場合タービンは軽負荷時の蒸気圧力上昇に耐えるように特殊な設計のタービンが使用されている。これに対してインディアンポイント発電所⁽⁸⁾の計画では負荷需要に対する要求には定蒸気圧力プログラムの方が都合がよく、また安全性も良いとしてこれを採用することにしている。この場合の加圧器がどれくらいの大きさであるか詳細不明である。

両プログラムを妥協したプログラムでは制御系が複雑となり当初に述べたように簡単な制御で安全に運転できるというPWRの特長に反することになる。また定蒸気圧力プログラムにおいて制御系の動作を適当に調整して負荷変化が急激な場合には一時的に定平均温度プログラムを行かせた後、徐々に蒸気圧力を元に恢復させるといった時間的に妥協する方法も考えられるが、この場合も一時的な圧力変化を生ずるのでこれがどの程度まで許されるかが問題であり、また加圧器の制御にも検討すべき点がある。

後で述べるようにアナログ計算機による検討の結果、多少時間的關係による妥協を織りこんだ定蒸気圧力プログラムを採用しても極端に大きな加圧器を必要とせず、蒸気圧力を一定に保つ制御系も簡単な制御系で安定に炉を運転できることが知られたので、これらの各点を考慮してPWRの制御プログラムには定蒸気圧力プログラムを採用することとした。



第4図 135 MW・PWR 自動制御系の構成

3.2 135 MW・PWR 発電所の構成と制御系の概要

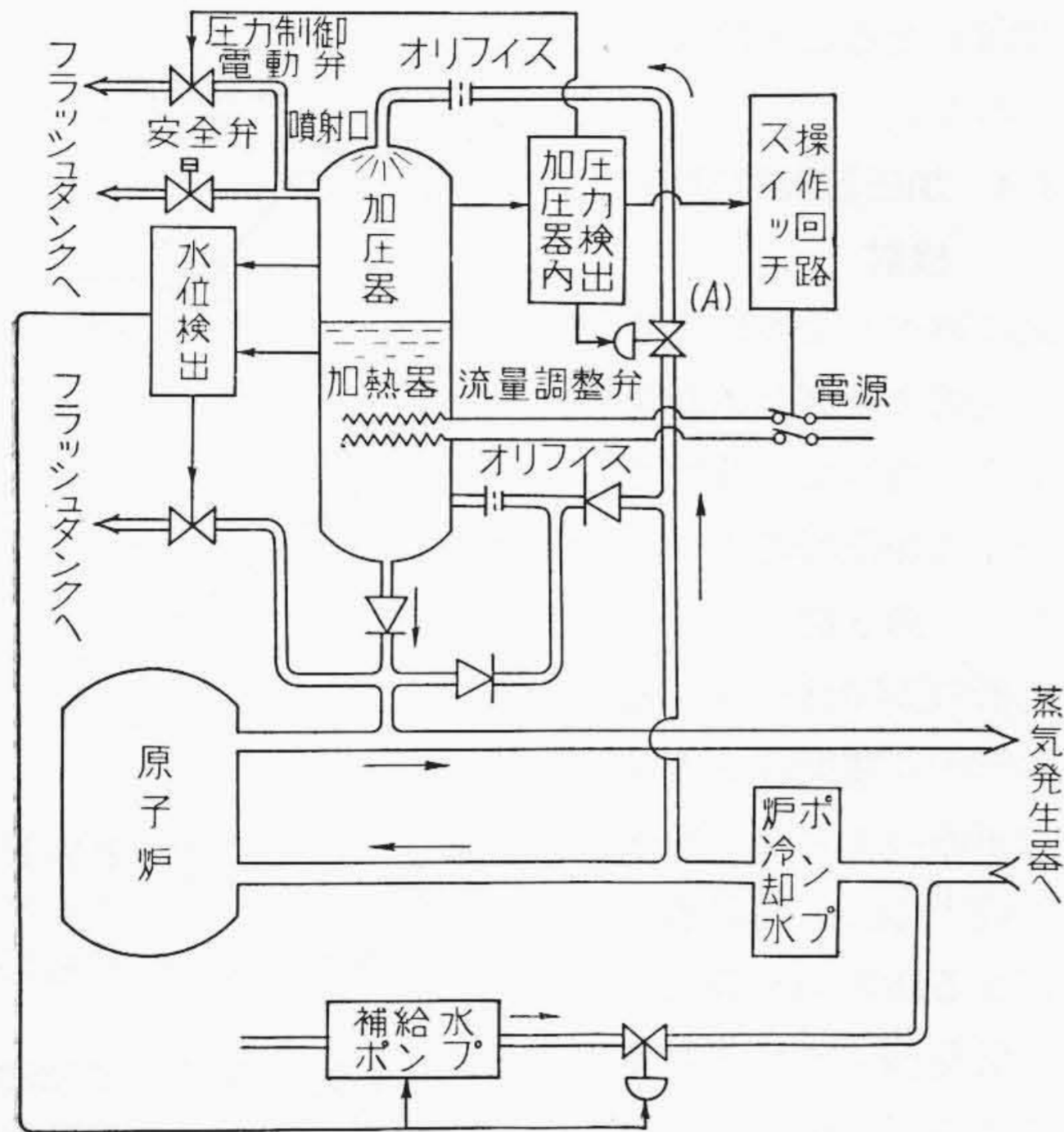
計画せるPWRの制御系の構成を示せば第4図のようになる。この制御系の動作を負荷が増加した場合について簡単に説明すると、負荷増加による蒸気流量の増大が蒸気圧力および温度を低下し、さらに一次冷却水の平均温度を低下する。圧力検出器より送られた蒸気圧力低下信号は制御棒を引き抜く方向に働き、一次冷却水平均温度の低下とともに炉内反応度を増加させるので炉の出力は増加を始める。炉出力の増加に伴つて一次冷却水平均温度は逆に上昇し始め、蒸気圧力の低下は止まる。制御棒は蒸気圧力が設定値になるまで引き抜かれるから、冷却水温度はさらに上昇し蒸気圧力を恢復させ設定値と等しくなつたところで定常状態に落ち着くことになる。制御棒の引き抜きは圧力低下と同時に始められるが、炉の出力が増加を始めれば炉の周期信号によつてその引き抜きは抑制されるので、出力の増加割合はそれほど大ならず安定に最終定常値に落ち着くこととなる。

PWR発電所には以上述べた蒸気圧力による出力制御系のほかに炉内圧力制御系、蒸気ドラム水位制御系、浄化系統やタービン関係の各種制御系などがあり、これらの正常な動作と相まつて発電所が運転される。このうち炉内圧力制御系を除いては特に注目すべきところもないので省略して、PWR特有の炉内圧力制御系、いわゆる加圧器によつて炉内圧力の変動を抑制する制御系について簡単に述べる。

加圧器は一次冷却系の最高部に設けられ、一次冷却水の一部を内部に置かれた電気ヒーターによつて沸騰させて飽和蒸気圧力で一次冷却水を加圧するのである。加圧器内部の沸騰温度は一次冷却水の炉内における最高温度より高くとり炉内で冷却水が沸騰するのを防いでいる。

加圧器の制御系は第5図のようになつており、加圧器内の圧力が上昇する場合には弁(A)を開いて冷たい水を加圧器内に噴射して加圧器内の蒸気を凝縮させる。圧力が低下する場合は噴射をやめ電気ヒーターによつて蒸発を

促進する。急激な圧力上昇に対しては電動弁あるいは安全弁によつてフラッシュ・タンク内へ加圧器内冷却水および蒸気を放出してこれを抑制する。加圧器内の水位も常に一定となるように制御されるが急激な負荷変動に伴う水位の変動は加圧器の容積で吸収される。水位の制御は加圧器よりフラッシュ・タンクを経て廃水処理系へ至る経路の弁と冷却水の補給用ポンプとによつて行うのである。



第5図 135 MW・PWR 加圧器の制御系

3.3 PWR 制御系のアナログ計算機による検討

制御系の動特性をアナログ計算機によつて解析するにはまず制御系のブロック線図を作成しなければならない。ブロック線図作成の手続きはよく知られていると思うので詳細は省略して結果のみを示すと第6図のようなブロック線図になる。

一般に T_{Cin} および T_{Cout} と T_C との関係⁽⁴⁾は

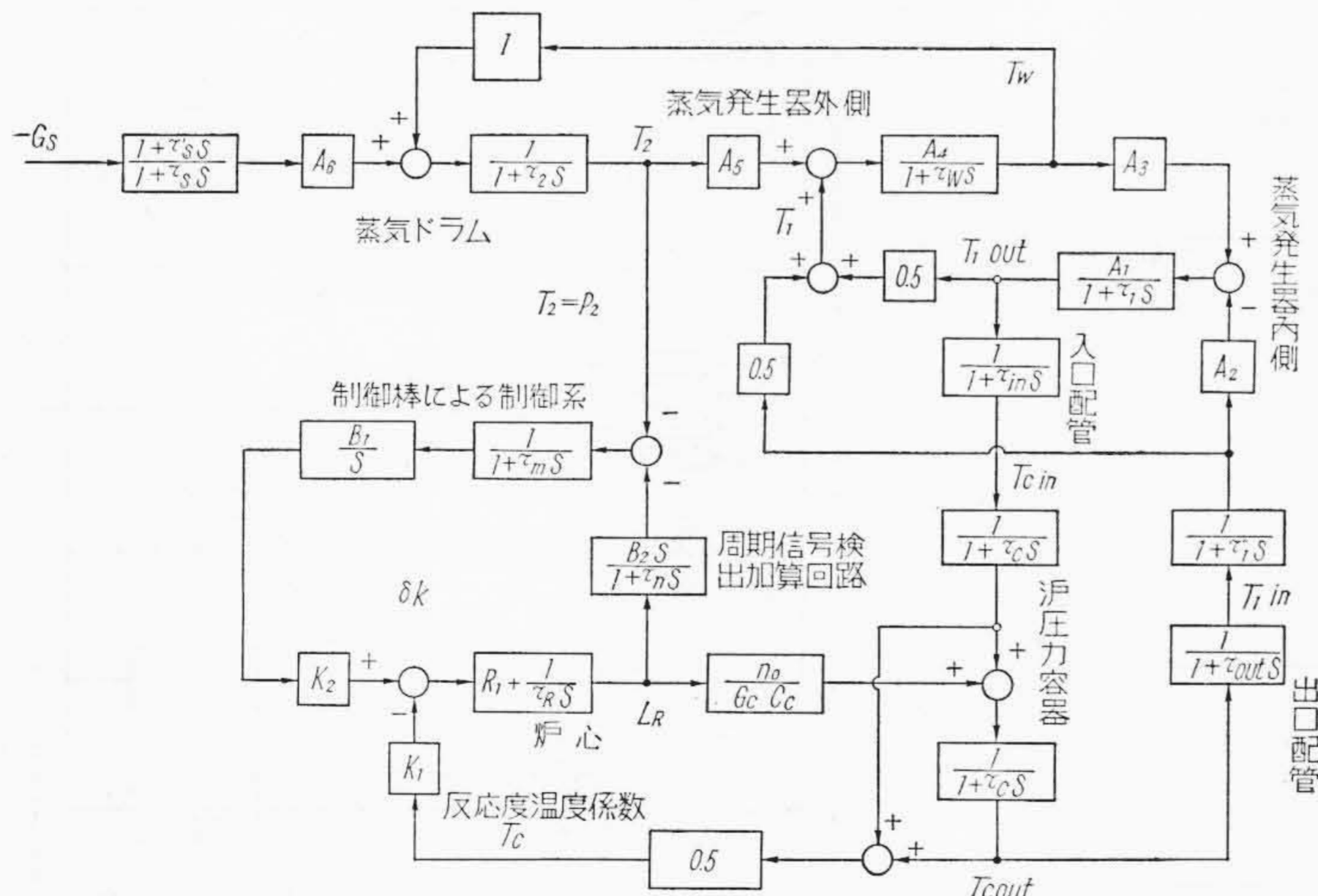
$$T_C = \frac{1}{2}(T_{Cout} + T_{Cin}) \dots\dots\dots(2)$$

で与えられるが、これでは炉の熱出力 (L_R) が変化せずに T_{Cin} のみ階段状に増加した場合を考えると T_{Cout} は最初 T_{Cin} と同量だけ温度が低下し、その後次第に増加して最終的には T_{Cin} と等しくなる。このように最初 T_{Cout} が低下することになるのは (2) 式において T_C が T_{Cin} と T_{Cout} との算術平均に等しいとおいたところに問題がある。すなわち T_{Cin} のみ変化した瞬間を考えると $t = +0$ では $\Delta T_C = 0$ であり、この関係を (2) 式でも満足するために ΔT_{Cout} が最初負の方向に動くことになるのである。そこで (2) 式を訂正して

$$T_C = \frac{1}{2} (T_{Cout} + \frac{1}{1+\tau c'S} T_{Cin}) \dots\dots(3)$$

とおき $\tau c'$ を τc に等しく選べばこの点は解決される。

各機器の設計数値から第6図のブロック線図中の時定数やゲイン定数を求め、その諸定数にしたがつてアナログ計算機で BWR の場合と同様に解析すれば第7~9図の結果が得られる。



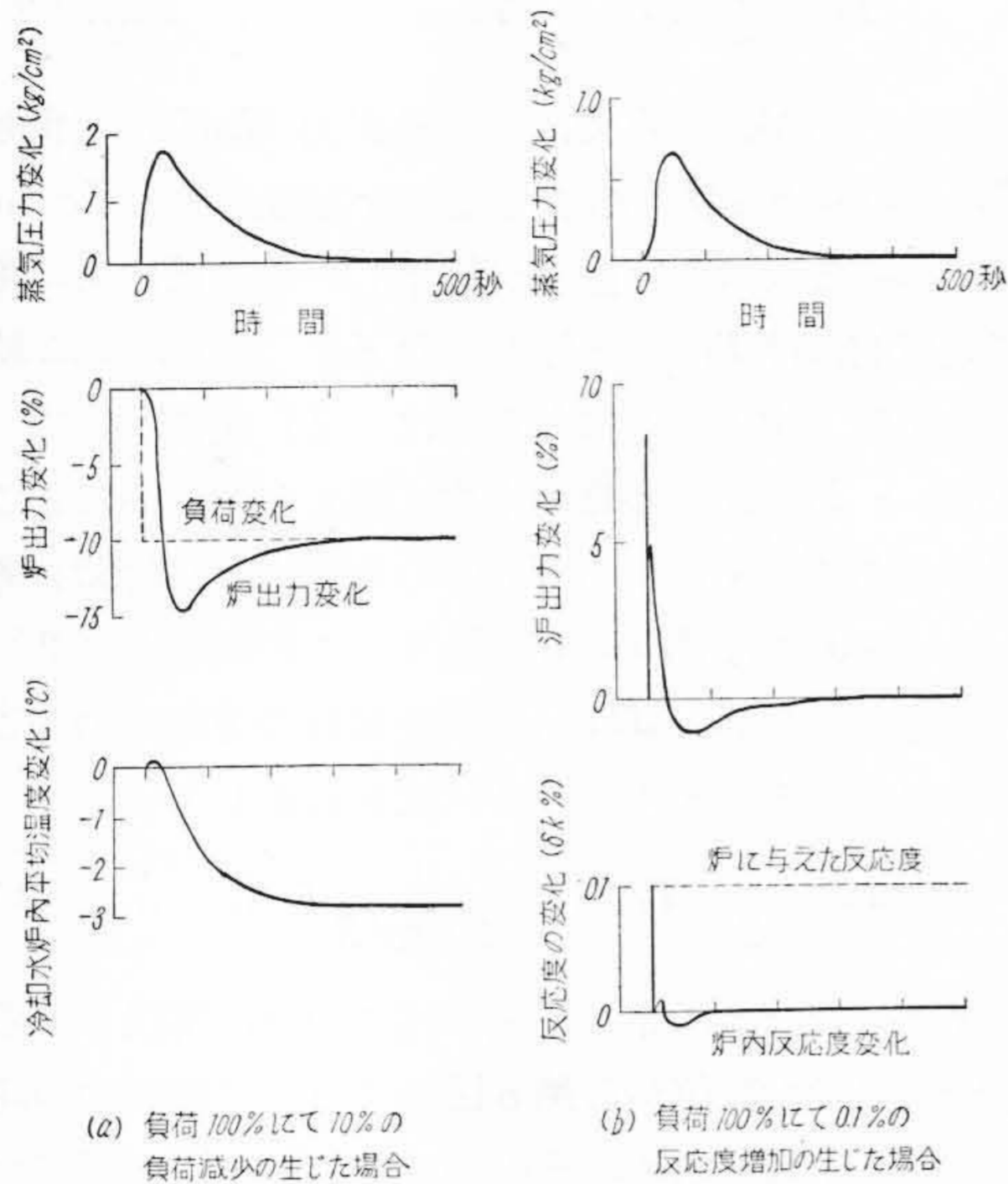
- G_S : タービンへ流れる蒸気量
- T_2 : 熱交換器蒸気温度
- T_W : 熱交換器伝熱管温度
- T_{1out} : 炉冷却水熱交換器出口温度
- T_{1in} : 炉冷却水熱交換器入口温度
- T_1 : 熱交換器内の炉冷却水平均温度
- T_{Cin} : 冷却水炉入口温度
- T_{Cout} : 冷却水炉出口温度
- T_C : 炉内平均温度
- L_R : 炉熱出力 (∞n)
- δk : 炉内反応度

第6図 135 MW・PWR 自動制御系のブロック線図

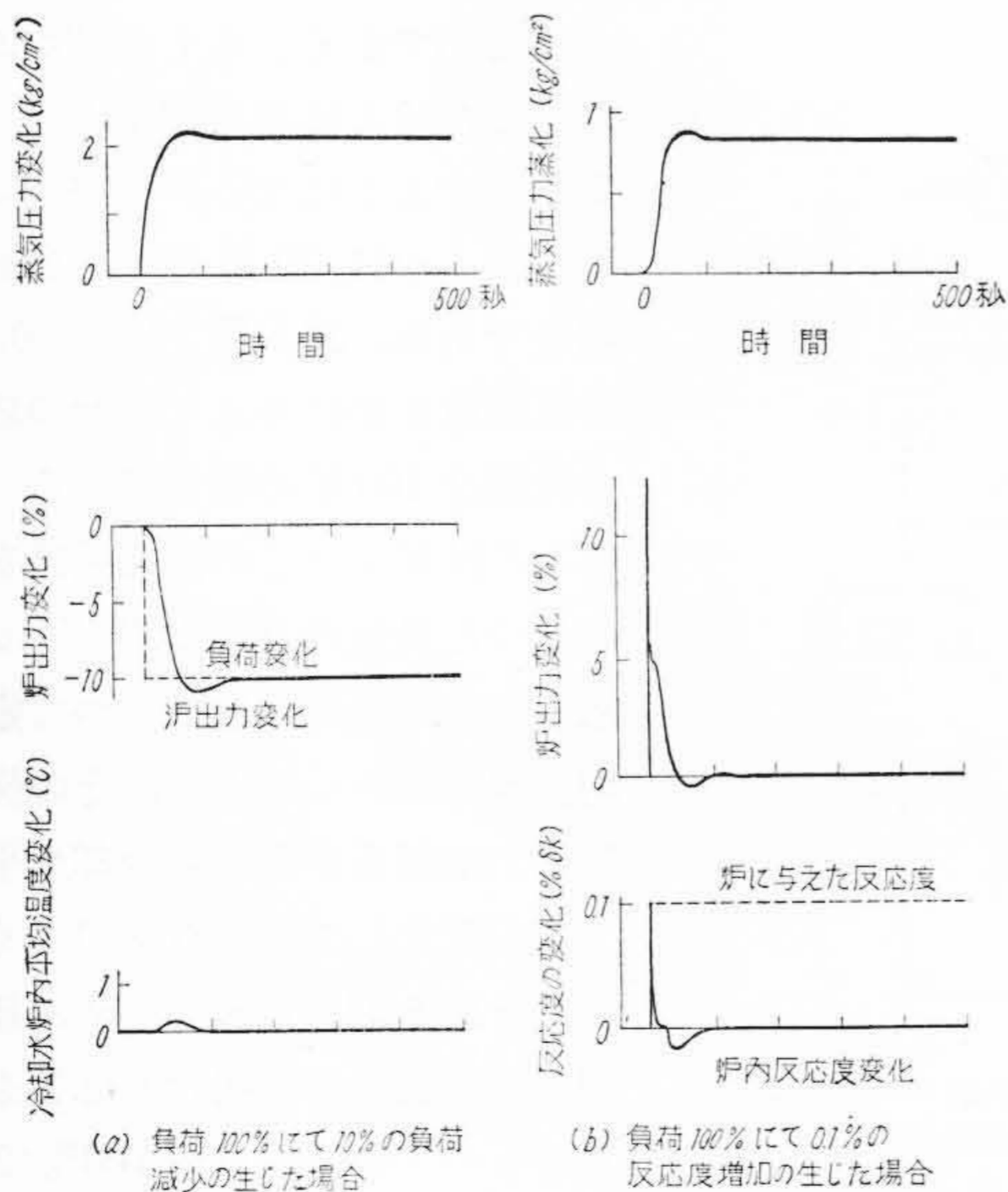
第7図 (a) は負荷 100% の場合に 10% の階段状負荷変化に対する応答である。もし負荷が 25% 以下となると応答が周期の長い振動を起すようになるので安定に制御されるのは 30% 以上の負荷の場合である。第7図 (b) は 0.1% の反応度を炉に与えた場合の応答で負荷は 100% の場合である。これらの結果よりこの制御系は変化の起つた最初の 20~30 秒間は反応度の負の温度係数によつて定平均温度制御として働き、その後蒸気圧力制御系が働いて冷却水平均温度が変化してゆく有様がよくわかる。第8図は比較のために圧力制御系の働かない場合の応答を示したもので (a) は負荷 100% で 10% の負荷変化のあつた場合 (b) は 0.1% の δk 変化のあつた場合である。これから蒸気圧力変化は過渡

的には定平均温度制御の場合の80%にも達することが知られるが、10%程度の負荷変化では約2kg/cm²程度の圧力変動で実用上差しつかえないであろう。

10%以上負荷が階段状に近く変動する場合は圧力の過渡的变化が大となるので注意を要するが、負荷増加の場合は重要な問題とならない。また負荷減少の場合には二



第7図 135MW・PWR自動制御系のアナログ計算機による解析結果(I) 蒸気圧力による制御を行つた場合

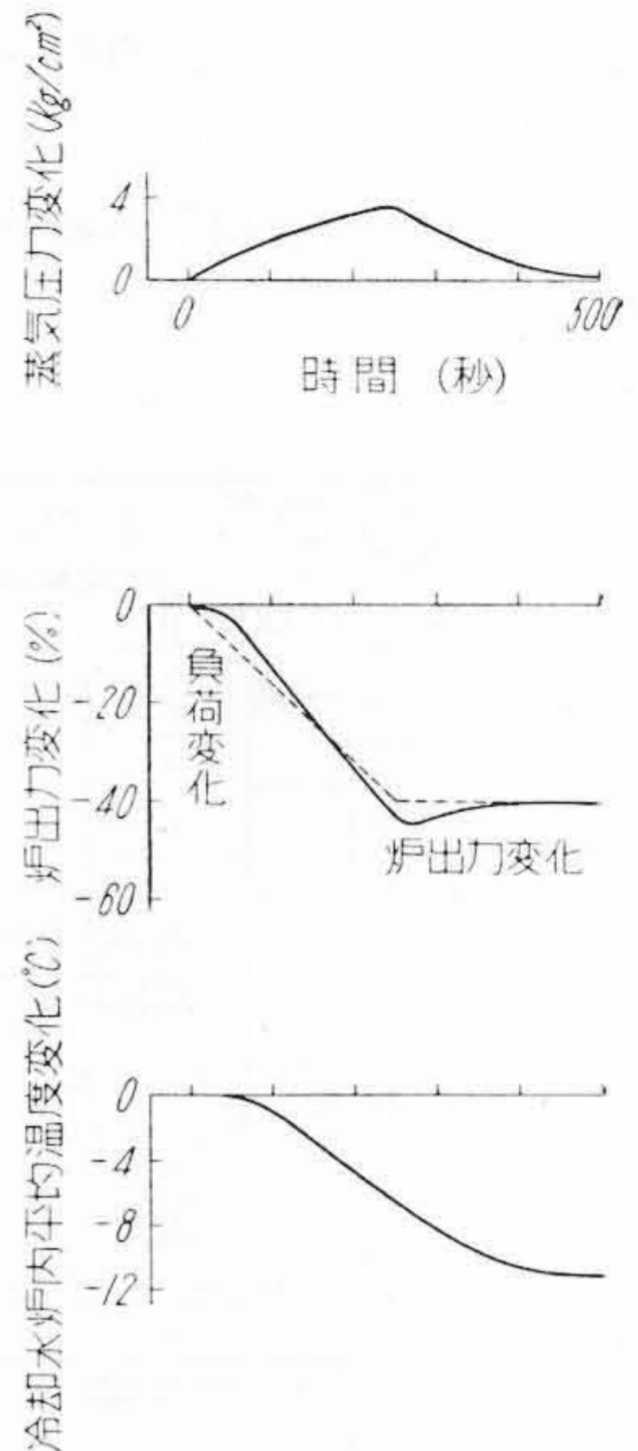


第8図 135MW・PWR自動制御系のアナログ計算機による解析結果(II) 蒸気圧力による制御を行わない場合

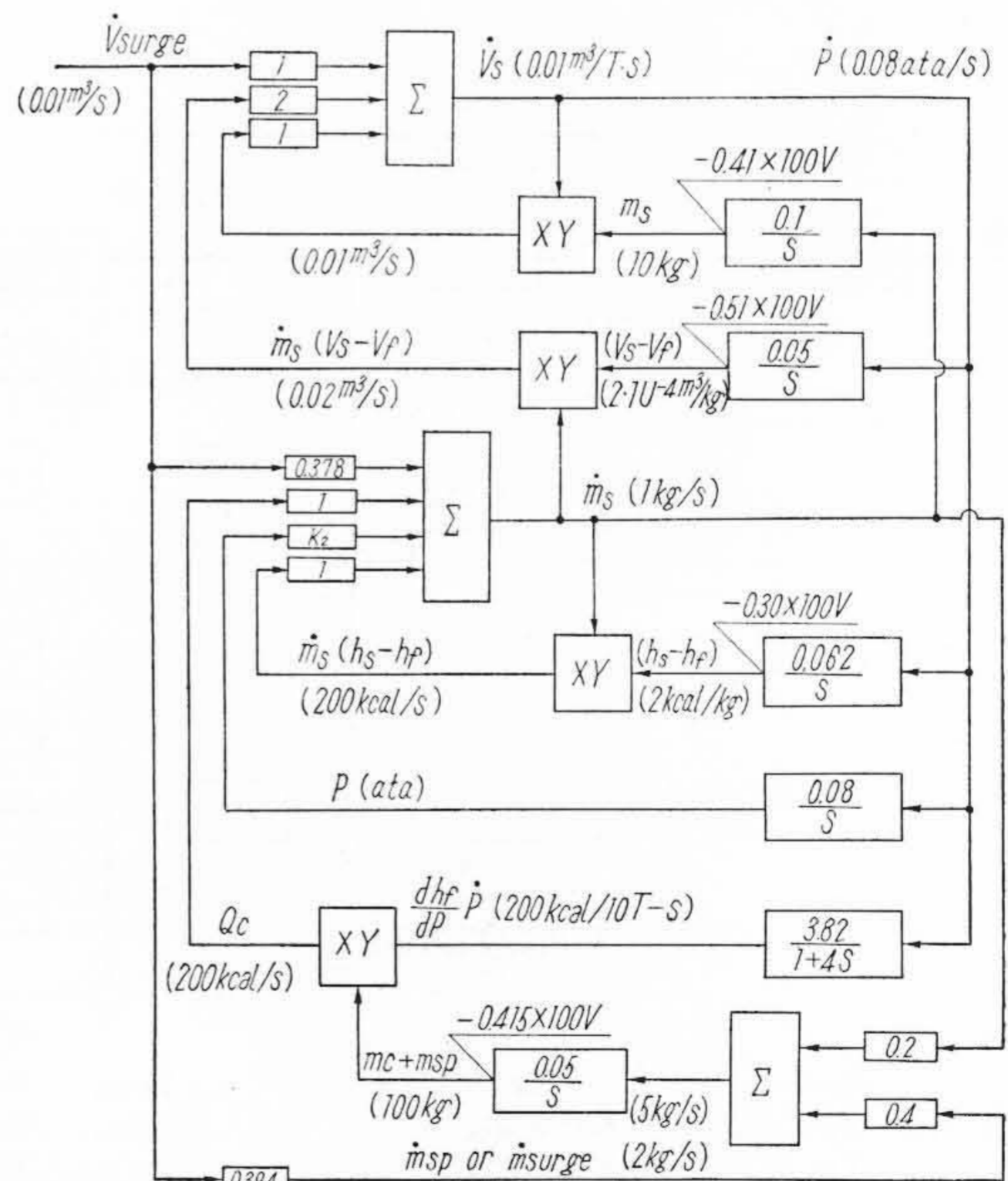
次蒸気を放出することにより蒸気圧力の上昇を抑制すればよい。時間とともに直線的に負荷の増加する場合の応答を参考までに求めてみれば第9図に示すように約250秒間に40%の負荷変化があつたとしても、約4kg/cm²程度の圧力の過渡的变化が生ずるにすぎないので通常は運転上問題となることはないであろう。

3.4 加圧器動特性の検討

先に述べたようにPWRの制御プログラムを決定するに当つての問題点の一つは加圧器の大きさである。第5図に示した加圧器の動特性を与える熱力学的な諸関係式⁽⁹⁾から加圧器のブロック線図を作成⁽¹⁰⁾し、設計値から定まる諸数値を導入して、低速型アナログ計算機によつて加圧器の動特性を解析してみた。その

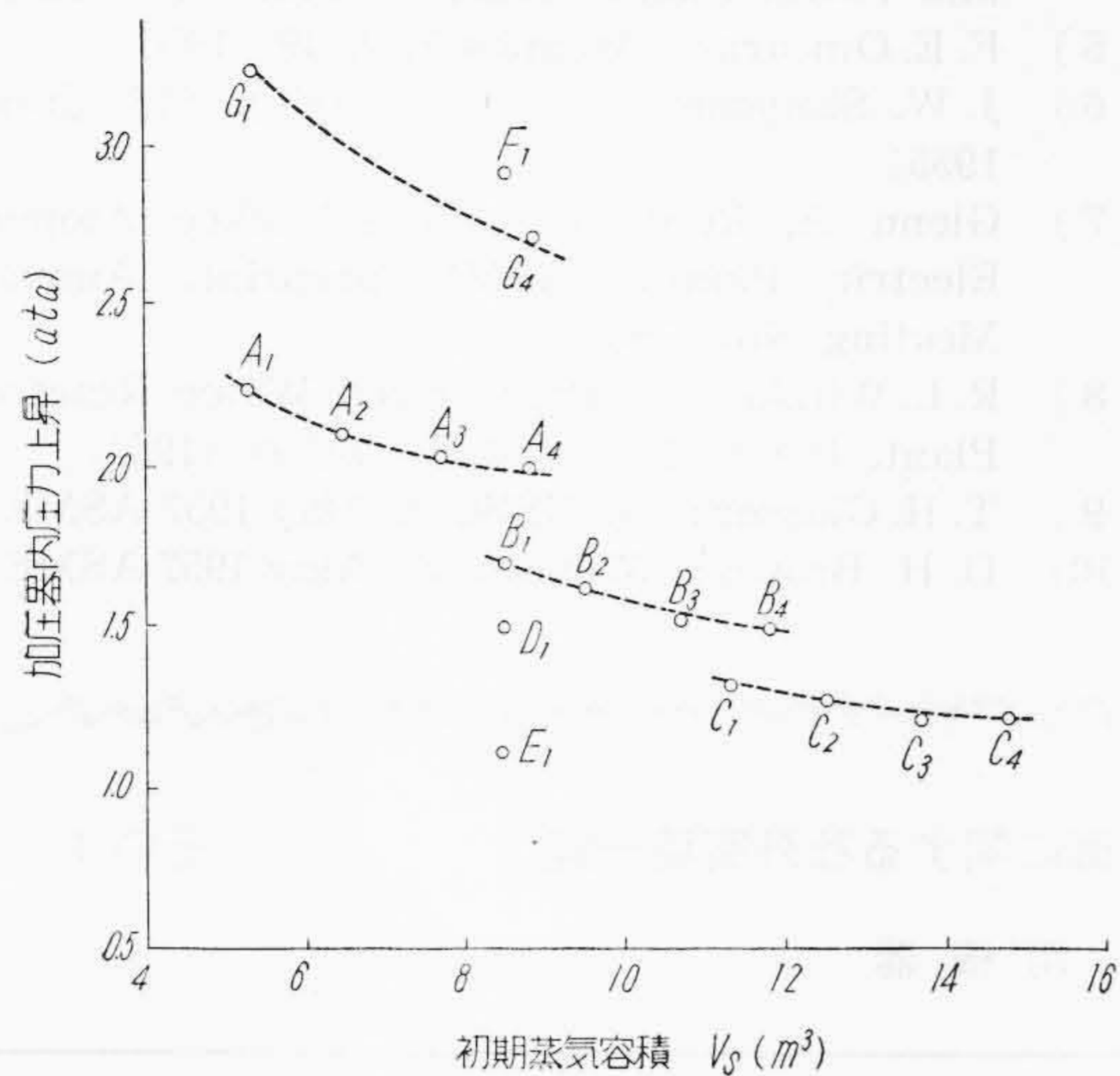


第9図 135MW・PWR自動制御系のアナログ計算機による解析結果(III) 100%の負荷にて250秒間に40%の負荷減少の生じた場合



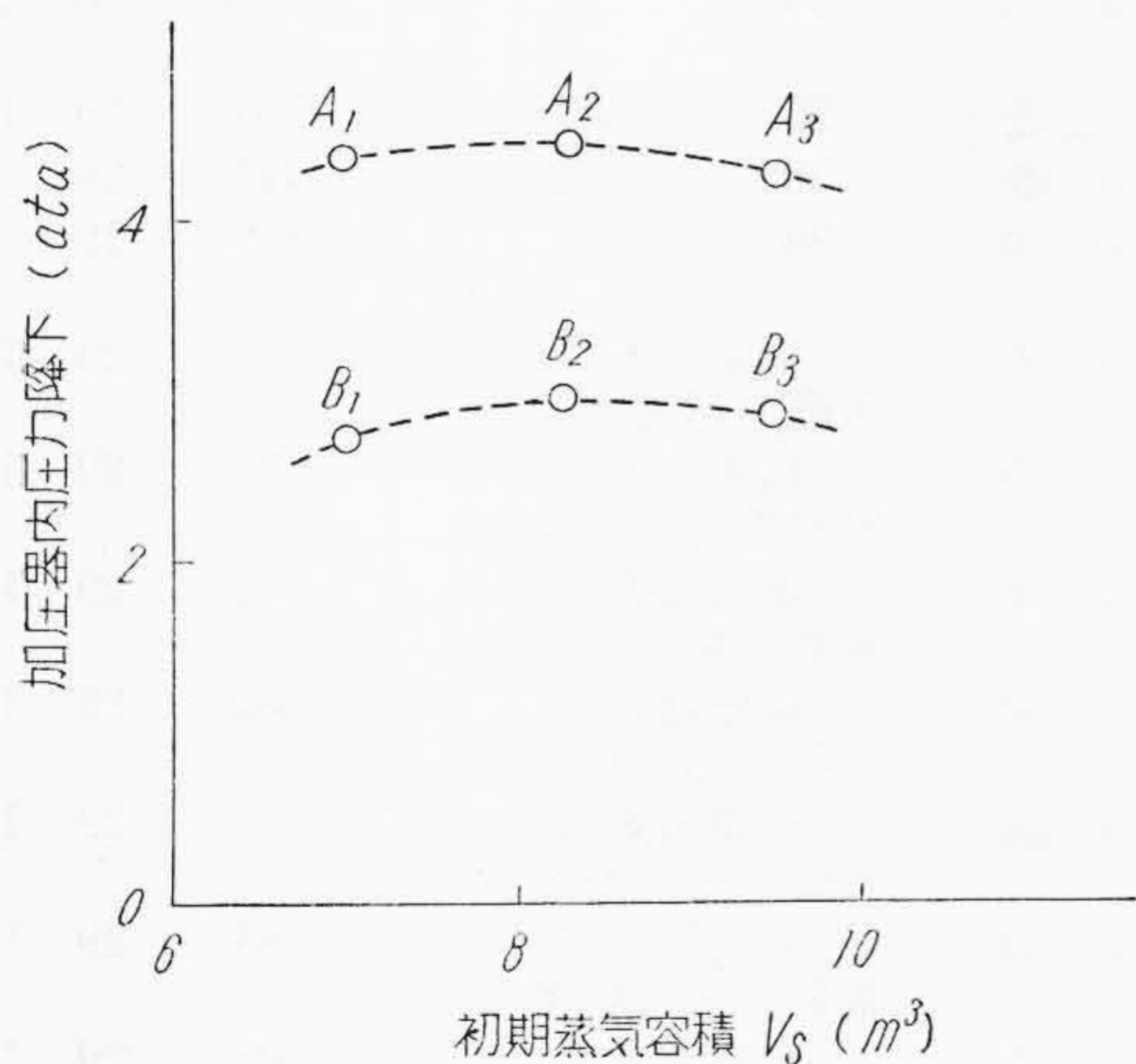
- $K_2=0.03$ (流出サージ, ヒータ 25kW/ata) $K_2=0.71$ (流入サージ)
- $[XY]$ は掛算器を示す。掛算器は係数-0.01を含む。
- 括弧内は1V当りの各変数の単位を示す。

第10図 135MW・PWR加圧器のブロック線図



- A : $V_{S100} = 4m^3$ 噴射量 10%
- B : $V_{S100} = 7m^3$ 噴射量 10%
- C : $V_{S100} = 10m^3$ 噴射量 10%
- D : $V_{S100} = 7m^3$ 噴射量 10%
- 加圧器直径 2.0m D 以外は 1.5m
- E : $V_{S100} = 7m^3$ 噴射量 20%
- F : $V_{S100} = 7m^3$ 噴射量 0%
- G : $V_{S100} = 4m^3$ 噴射量 5%
- 1 : 負荷 75%→100%
- 2 : 50 → 75%
- 3 : 25 → 50%
- 4 : 0 → 25%

第11図 加圧器動特性の解析結果 (I)
各負荷より段階的に負荷を25%増加した
場合の加圧器内圧力上昇最高値



- A : ヒーター 25 kW/kg/cm²
- B : ヒーター 100 kW/kg/cm²
- 1 : 100% 負荷より
- 2 : 75% 負荷より
- 3 : 50% 負荷より

第12図 加圧器動特性の解析結果 (II)
各負荷より段階的に負荷を25%減少
した場合の加圧器内圧力降下最大値

ブロック線図は第10図のようになる。解析した結果をまとめてみると第11図および第12図の結果が得られる。これより25%程度の負荷変化では流入サージの場合約1.7 kg/cm²の圧力上昇であり、流出サージの場合約5 kg/cm²の圧力低下となることが知られる。

この場合サージの形が問題となり、加圧器へのサージの形は炉冷却水平均温度の変化によつて定まるが、第11, 12図の結果を求める際に用いたサージの形が第7図(a)で得られた炉冷却水平均温度変化から定まるサージの形と相違していたため、流出サージに伴う圧力低下は大差ないが、流入サージに伴う圧力上昇は第11図の結果の約2倍に達する可能性があることになる。しかしながら、それでも25%の負荷増加の場合で約4 kg/cm²の圧力上昇にすぎない。

全負荷を遮断したような場合は加圧器内の圧力低下も相当大きくなるが、この場合炉冷却水平均温度の急速な低下は冷却水炉出口温度のより急速な低下によつてもたらされるものと考えられるので、炉内最高温度も急速に低下しているため炉内で沸騰の起る可能性はきわめて小さい。またたとえ沸騰を生じたとしてもきわめて短時間に消滅してしまうと考えられるので大した悪影響は起らないであろう。

以上の検討より加圧器の大きさはそれほど大きくしなくとも二次蒸気圧力を一定に保つ制御方法を採用して差しつかえないものと考えられる。

4. 結 言

本論文においてBWRあるいはPWRを動力用として利用する場合に、制御上問題となる諸点をあげ、次にそれらの問題点を解明する一つ的手段として、アナログ計算機によつて各原子炉の出力制御系の動特性を検討した結果について述べた。

アナログ計算機による解析の過程においては種々不明の点があり、また省略や仮定を行つたところも少なくないが、検討の結果BWRを安定に制御する方式をみいだすことができ、またPWRも安定に運転できるとの結論を得た。PWRの場合従来いわれていたPWRが反応度に関して負の温度係数を有しているため本質的に安定、安全であることを確認したような形となつた。

またPWRでは制御系は安定に動作するけれども蒸気圧力の上昇、加圧器内の圧力変動などは相当厳しい条件下におかれることになるので注意を要することが知られた。

将来わが国にも動力用原子炉が建設され、疑問の諸点が明らかにされる際には本報告の結果にさらに詳細な検討を加える必要があるものと考えている。

最後に本研究に当つて種々と御援助、御協力をいただ

いた東京電力株式会社および日立製作所の関係者諸氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) J. R. Dietrich: ジュネーブ資料 p. 481 (July 1955)
- (2) J. R. Dietrich ほか: ジュネーブ資料 p. 851 (July 1955)
- (3) John Macphee: Nucleonics 13, 12, 42 (Dec. 1955)
- (4) M. A. Schultz: Control of Nuclear Reactor and Power Plants (1955. N. Y. Mc Graw Hill)
- (5) F. E. Omeara: Atomics 7, 2, 49 (1956)
- (6) J. W. Simpson: ジュネーブ資料 p. 815 (June 1955)
- (7) Glenn A. Reed ほか: The Yankee Atomic Electric Plants (ASME preprint, Annual Meeting Nov. 1956)
- (8) R. L. Witzke: A Pressurized Water Reactor Plant, 日米共同原子力産業会議資料 (1957)
- (9) T. H. Glasser: 57-NESC-95 (May 1957 ASME)
- (10) D. H. Brown: 57-NESC-81 (May 1957 ASME)

最近の日立製作所社員の自動制御に関する社外寄稿一覧

(その 4)

(4) 電 動 力 応 用 機 器

(第 30 頁より続く)

題 目	氏 名	誌 名	卷 号	頁	年 月
電動油圧ブレーキによる巻上用誘導電動機 の速度制御	森 泉	日 立 評 論	26 7	390	18—7
鉱山における電動力応用 二重逆転式分塊圧延機用 4,000 kW イルグナー式電気設備	山 本, 平 川 田 附, 木 田 山本, 泉, 平川	オ ー ム 日 立 評 論	38 1 33 12	1,009	26 26—12
磁気増幅器による過電流制限装置	泉 , 藤 木	日 立 評 論	34 3	473	27—3
液圧押上機による巻上機の速度制御	秋 田	日 立 評 論	34 4	563	27—4
最近の堅坑巻上機用電気設備について	吉 岡, 中 山	日 立 評 論	34 6	769	27—6
電 弧 炉 の 自 動 制 御 可飽和リアクトルにより制御される 誘導電動機 の特性	泉 , 吉 岡 桜 井	日 立 評 論 日 立 評 論	34 10 34 11	1,183 1,297	27—10 27—11
最近のケーブル起重機制御装置について	西 , 高 根	日 立 評 論	34 12	1,441	27—12
抄紙機用電気設備	井 上, 西, 西	日 立 評 論	35 4	671	28—4
紙再巻取機の電気運転	西 , 岩 城	日 立 評 論	35 7	1,065	28—7
高炉捲上機について	平 川, 田 附 渋谷	日 立 評 論	35 10	1,419	28—10
抄紙機における自動制御運転	山 本	機 械 学 会 誌	56 417	785	28—10
分塊剪断機用電気設備	田 附, 西, 西	日 立 評 論	36 2	477	29—2
回転増幅器を用いた最近のケーブル クレーン用電気設備	西 , 角 村	日 立 評 論	36 7	1,109	29—7
最近の圧延機用電気設備	山 本, 泉 平 川	日 立 評 論	別冊第 8 号	17	29—10
冷間鋼帯圧延機用電気設備	田 附, 西	日 立 評 論	別冊第 8 号	35	29—10
抄紙機用電気設備	西 , 岩 城	日 立 評 論	別冊第 8 号	51	29—10
最近の巻上機用電気設備	中 山, 木 田	日 立 評 論	別冊第 8 号	69	29—10
水銀アーク変換装置の電動力応用	浅 野, 吉 岡 白 木	日 立 評 論	別冊第 8 号	77	29—10
荷役機械用電気設備について	高 根, 立 石	日 立 評 論	別冊第 8 号	85	29—10
最近の交流電動機とその応用	高 木, 桜 井	日 立 評 論	別冊第 8 号	95	29—10
磁気増幅器とその応用	泉 , 藤 木	日 立 評 論	別冊第 8 号	117	29—10
最近の HTD と その 応 用	西	日 立 評 論	別冊第 8 号	127	29—10
アナログ電気演算器による電動機自 動制御装置の解析	前 川, 三 浦 西 , 藤 木	日 立 評 論	別冊第 8 号	137	29—10

(第 48 頁へ続く)