

貫流テストボイラのデジタル計算機 による自動発停と自動運転

黒 須 顕 二* 村 山 雄二郎* 奥 村 幸 輝*
和 田 利 政* 小 林 道 幸*

Auto Start, Stop and Full Power Operation of a Once-through Monotube Test Boiler by Digital Computer

By

**Kengi KUROSU, Yujiro MURAYAMA, Koki OKUMURA, Toshimasa WADA
and Michiyuki KOBAYASHI**

The digital computer system for the automatic start, stop and full power operation of the boiler has been developed and tested using a test boiler.

The test boiler used was a once-through type boiler with a single water-tube and pressurized furnaces.

The developed control program consists of three parts ; Start up program, Monitor program and Stop program.

The start up program transfers the boiler state from the cold state to the full power operation, where the boiler is controlled by usual ACC system.

At the full power operation, the computer monitors the boiler conditions according to the monitor program.

When the power is stopped, the boiler is again operated by the computer system to the cold state in compliance with the stop program. The program also contains a task to reset the all instruments of the boiler system to prepare for the next start-up. It is demonstrated that this computer system is capable to operate the boiler automatically and safely from the cold state to the power operation and vice versa.

We believe that the success of experiments for the test boiler promises the possibility of applying the similar system to larger boiler units and nuclear plant systems as well.

目 次

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1. 緒言 | 3.1.2 点火プログラム |
| 2. 総論 | 3.1.3 ACC自動切換えプログラム |
| 2.1 実験装置 | 3.1.3.1 大気放出弁サーボACC自動切換え |
| 2.2 制御用プログラム | 3.1.3.2 燃料サーボACC自動切換え |
| 3. 各論 | 3.1.3.3 給水サーボACC自動切換えプログラム |
| 3.1 起動プログラム | 3.2 監視プログラム |
| 3.1.1 起動準備プログラム | 3.3 停止プログラム |
| * 原子力船部 | 3.3.1 通常停止プログラム |

3.3.2 緊急停止プログラム

4. 実験

4.1 起動プログラム

4.2 監視プログラム

4.3 停止プログラム

5. 結言

1. 緒言

船用機関としては一般にディーゼル機関と蒸気機関が使用されているが、蒸気機関はディーゼル機関に較べて自動化の立場からみると遅れていることは否定できない事実である。

近年、タービン船の集中制御やデータロガーを備えた船舶、火力発電所等が多くみられるが、蒸気機関の完全自動化の夢からはまだほど遠く、自動発停、自動監視の点ではほとんど実例がみられない。

蒸気機関の完全自動化をばむ大きな理由の一つは他の機関に較べて、その内部が多数系統に分れ、多くの補機類を必要とし、かつその要素の一つ一つが複雑な特性を持っているからである。この完全自動化を達成する一つの方法は制御用電子計算機を蒸気機関と結び、多数の記憶、論理判断、非線型演算を含む制御を行なうことである。

制御用計算機の信頼性向上、価格等の解決されねばならない問題はあるが、早晚、蒸気機関の完全自動化、ひいてはタービン船（原子力船を含む）の機関室無人化が実現するものと期待される。

本研究は「蒸気機関の計算機制御に関する研究」の一環として行なわれたもので、ボイラの計算機による自動発停に関する基礎研究であり、今後引き続いて行なわれる効率制御や直接デジタル制御、あるいは異常時の自動処理等に関する研究と共に蒸気機関の完全自動化への基礎研究となるものである。

2. 総論

2.1 実験装置

2.1.1 ボイラ

本研究では蒸気機関のモデルとして貫流テストボイラ（三鷹分室）を使用した。ボイラ要目を表 2.1 に系統線図を図 2.1 に示す。

ACC（自動燃焼制御装置）は空気式であり、出口蒸気温度制御は燃料流量を調節し、出口圧力制御は給水流量と燃料流量を調節して行なう。（別に大気放出

表 2.1 ボイラ要目

型 式	貫流過給超臨界圧単管ボイラ
圧 力	300kg/cm ²
出 口 温 度	580°C
蒸 発 量	2t/hr
燃 料	重 油
自動制御装置	電気空気式

弁開度を調節して出口蒸気圧力を制御する系がある。）

手動によるボイラ起動はボイラに附属した制御パネルにあるシーケンスボタンを順次おして行なう。このボタンは Fool-Proof になっている。ボイラに附属した点火監視装置は点火に失敗したり、運転中のボイラが何かの原因で失火すると、直ちに噴燃ポンプを止め、30秒後に給水ポンプを止めるようになっている。

今回の自動発停で自動化を見送ったところは燃料タンク元弁、ドレン弁、純水装置である。燃料タンク元弁は安全のために電磁弁に変える事をやめ、その開閉のみを検出するにとどめた。

純水装置の自動化の研究はすでに進んでいる事でもあり、本研究であらためて自動化するには大規模な改造を要するので今回は手動で行ない、その出口水の純度（電導度）と出口水圧力のみを検出している。ドレン弁は安価な高圧の電磁弁が無いという経済的な理由のみで自動化せずその開閉は計算機からの開閉指令により手動で行なう。

今回の計算機制御の対象としては、ボイラ本体とその周りの補機までにとどめ、出口蒸気は偽負荷を通して大気放出しており、コンデンサは自動化の対象からはずし今後の計画に含める事にした。

2.1.2 制御用計算機

制御に使用した計算機要目を表 2.2 に示す。入力点として接点入力と同時に15点読込むことができる。アナログ入力点は100点あってDC 2~10mAの入力はAD変換器(ADC)で2進ビット(0~2,000)に変換される。

他にパルス入力点が2点ありパルスを2進15ビットまで積算できる。

出力点としてアナログ出力点が5点、接点出力点が100点ある。アナログ出力は2進10ビット(0~1000)が2~10mAに変換される。

制御用計算機としてはその他次の機能を備えている。

- i) 割込開始ができる。

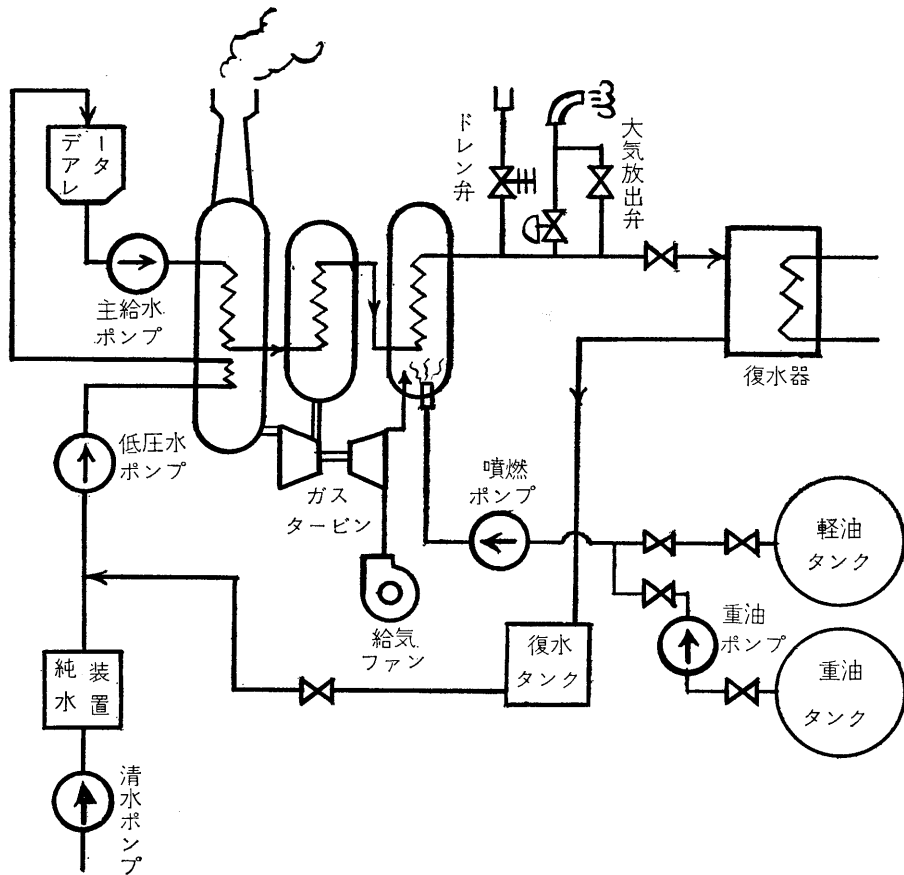


図 2.1 ボイラ系統線図

表 2.2 制御用計算機要目

型 式	HOC-300G (北辰電機)
回路素子	トランジスタ
プログラム	内部記憶式
単 語	固定小数点 2進34ビット
命 令	基本26種 1 + 1 + 1/2アドレス
記憶素子	8,192語 磁気ドラム
演算速度	加減算0.3ms 乗除算11.2ms
入力点	アナログ100点 ON-OFF16点
AD変換器	2~10mA→2進11ビット
出力DA変換器	5台, 2進10ビット→2~10mA
ON-OFF出力	100点
走査速度	5点/秒

ii) 内部時計 (1秒パルス) を持つ。

iii) デジタル標示器を持つ。

ボイラと計算機の間は約20m離れていて、その間をコ

ンジット内を通る信号線ではない。

2.1.3 検出端

検出端はACCの検出端と兼用のものも、新設のものもすべて電気量になおしている。その一覧表を表2.3に示す。

温度用熱電対の出力はすべて直流増巾器を通して計算機に送られる。

出口蒸気圧力の検出はACC用の検出器を兼用している。これはブルドン管の動きを可変抵抗器を通して電気量に変換している。

ACC信号空気圧 (0~1 kg/cm²) の検出はベローズと可変抵抗器を組合せて行なっている。その他、圧力が制限値内にあるかどうかを見るためには圧力スイッチ、または接点付圧力計を使用している。

給水および燃料流量の検出は、ACC用のオリフィスの差圧検出器の他にオーバル流量計からのパルスを

表 2.3 検 出 端 一 覧 表

検 出 端 名	検 出 器	出 力
制御系電源	パワーリレーA接点	接 点
低圧水ポンプ電源	〃	〃
主給水ポンプ電源	〃	〃
重油ポンプ電源	〃	〃
噴燃ポンプ電源	〃	〃
コンプレッサ電源	〃	〃
給気ファン電源	〃	〃
ボイラ用水元弁	電流変成器	電 流
重油電磁弁	〃	〃
軽油電磁弁	〃	〃
脱湿器冷却水	容量型流量計(バケツ、マイクロスイッチ)	接 点
清水ポンプ冷却水	〃	〃
コンプレッサ冷却水	〃	〃
タービン冷却水	〃	〃
大気放出弁開度	バリオーム	電 圧
大気放出弁 2	マイクロスイッチ	接 点
ドレン弁	〃	〃
主制御弁	〃	〃
重油タンク元弁	〃	〃
軽油タンク元弁	〃	〃
手動止弁	〃	〃
給水サーボ 手動/自動 切換弁位置	〃	〃
給水サーボ 計算機/Acc 切換弁位置	電流変成器	電 流
燃料サーボ 手動/自動 切換弁位置	マイクロスイッチ	接 点
燃料サーボ 計算機/Acc 切換弁位置	電流変成器	電 流
圧力系統 手動/自動 切換弁位置	マイクロスイッチ	接 点
制御系統 ①/② 切換 弁位置	〃	〃
大気放出弁サーボ 手動/自動 切換弁位置	〃	〃
大気放出弁サーボ 計算機/Acc 切換弁位置	電流変成器	電 流
清水ポンプ出口圧	接点付圧力計	接 点
純水装置出口圧	圧力リレー	〃
低圧水ポンプ出口圧	〃	〃
重油ポンプ出口圧	〃	〃
噴燃ポンプ出口圧	接点付圧力計	〃
空気源圧力	圧力リレー	〃
給水制御信号 (計算機側)	ポテンシオメータ	電 圧
〃 (ACC側)	〃	〃
燃料制御信号 (計算機側)	〃	〃
〃 (ACC側)	〃	〃
大気放出弁制御信号 (計算機側)	〃	〃

大気放出弁制御信号 (ACC側)	ポテンシオメータ	〃
デアレータ水位	フロートスイッチ	接 点
給水電導度	電導度計	〃
給水流量 (瞬時)	オリフィス, U字管 浮子差圧発信器 (島 津MFT-300)	電 流
〃 (積算)	オーバル	パルス
燃料流量 (瞬時)	〃	電 圧
〃 (積算)	〃	パルス
給気量	オリフィス, 単鏡式 差圧検出器 (島津 KPTベル型)	電 流
タービン冷却水温度	アルメルクロメル熱 電対	電 圧
重油ヒーター出口温度	〃	〃
タービン前ガス温度	〃	〃
第3シリンダ入口温度	〃	〃
第3シリンダ出口温度	〃	〃
第2シリンダ出口温度	〃	〃
蒸発管中間温度 1	〃	〃
〃 2	〃	〃
蒸発管出口温度	〃	〃
出口蒸気温度	〃	〃
出口蒸気流量	オリフィス, U字管 浮子差圧発信器 (島 津MFT-300)	電 流
中間蒸気圧力	接点付圧力計	接 点
出口蒸気圧力	ブルドン管 (島津E-530)	電 流

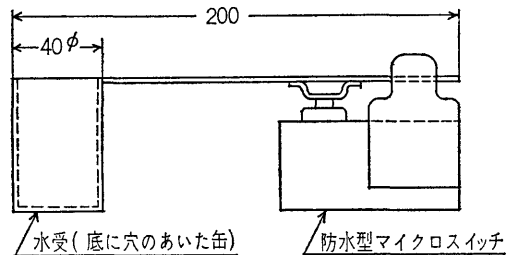


図 2.2 冷却水検出装置

計数している。冷却水流量検出には容量型 (図2.2) を使用している。

大気放出弁開度はその弁に連結した可変抵抗器の動きを検出し、その他の手動の弁類はマイクロスイッチでその位置を検出している。

電磁弁の開閉は励磁電流により判断しているがマイクロスイッチ内臓の電磁弁があれば便利である。

2.1.4 操作端

アナログ量の操作端は4点で、DA変換器出口の電気信号を全て空気圧信号に変換して空気サーボ等に供給している。ON-OFF 電気出力の操作端は100点で、

そのうち24点はパワーリレーを介して操作電源の開閉に用い、残りは異常点標示用、警報用に使用している。

On-line 計算機制御（制御ルート内に直接に計算機の入出力が含まれる制御）では、特にこれらの操作端の作動には安全のために注意を要するのでアナログ出力の操作端はその出力が急に0または全出力になっても安全な範囲を逸脱しないようにサーボにバイアスをかけたり、そのゲインを適当に選んでいる。ON-OFF電氣出力は動作を確実にするために、2個のリレーによりOR回路を構成している。

また、リレーの断線、電磁弁の断線時にボイラにとって安全側に作動するよう配慮してある。

2.2 制御用プログラム

制御用プログラムは次の三つに大別される。

- i) 起動プログラム
- ii) 監視プログラム
- iii) 停止プログラム

i) 起動プログラムは停止状態のボイラを定常出力状態まで自動的に運転するプログラムで起動準備プログラム、ACC点火プログラム、自動切換プログラム、の三つの部分よりなっている。

ii) 監視プログラムは各検出点の値を適当な時間間隔で呼びだし、もし異常の場合はその異常の度合いに応じて適当に処理する。

iii) 停止プログラムは任意にオペレータが押ボタンで開始できるもので、定常標準出力状態のボイラを停止状態にまで自動的に運転する通常停止プログラムと直ちにボイラを停止する緊急停止プログラムの二つがある。

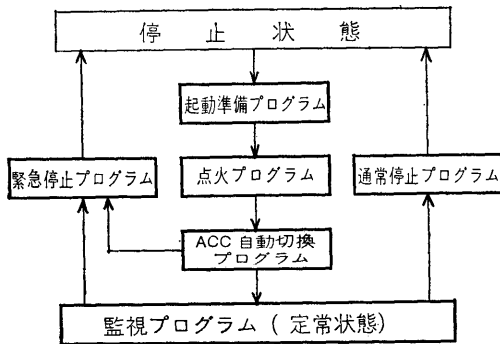


図 2.3 自動発停プログラムの概略

3. 各論

3.1 起動プログラム (図3.1参照)

3.1.1 起動準備プログラム

このプログラムはボイラが計算機制御で運転してもよい状態になっているかどうかを判定する。ボイラの各サーボ入力に計算機運転側にセットされ、各種動力電源操作用の計算機の接点出力はそのON-OFFの位置に異常のないことが確認されたのち、各電源操作用のパワーリレーに駆動用電源が供給される。各サーボの自動手動切換器は手動切換弁のため、これを運転員が自動側に切換えるまで計算機制御卓の警報ランプをつけて切換えをうながす。切換えられると次に純水装置が運転状態にセットされていることが確認され、ボイラ本体および補機の冷却水流量が十分であることが確認される。ただし純水製造装置の各種弁や冷却水用の弁は運転員が運転状態にセットするまで制御卓に警報ランプをつけて待機し、セットされてから制御卓の確認ボタンを押すことによってプログラムが進行する。図3.2は起動準備プログラムである。

3.1.2 点火プログラム

このプログラムは低圧水ポンプの起動に始まり、デアレータ水位と制御用空気源圧力が十分であることを確認する。大気放出弁は全開にされ、負荷弁が全閉に

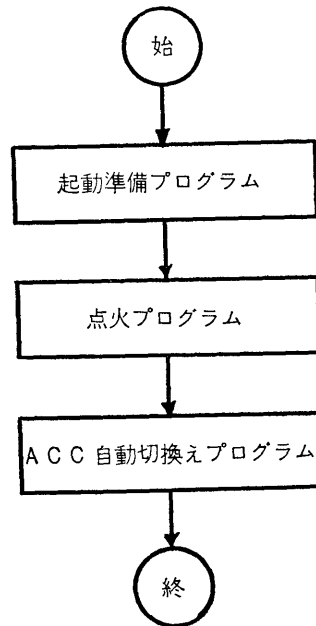


図 3.1 起動プログラムの構成

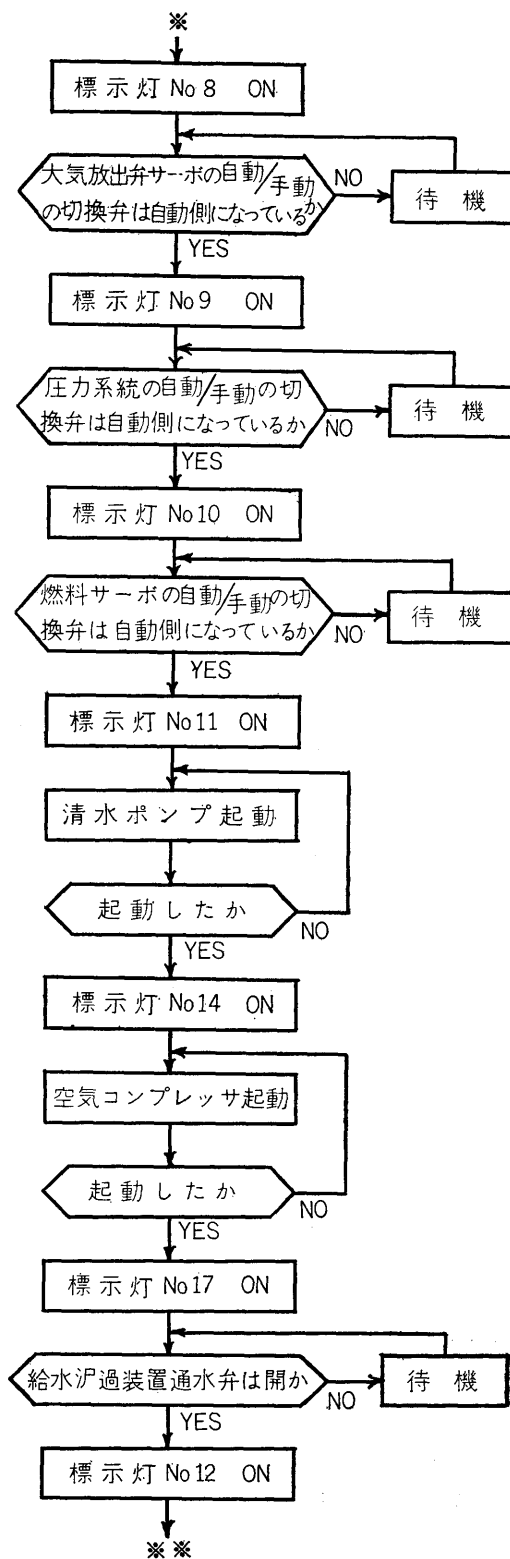
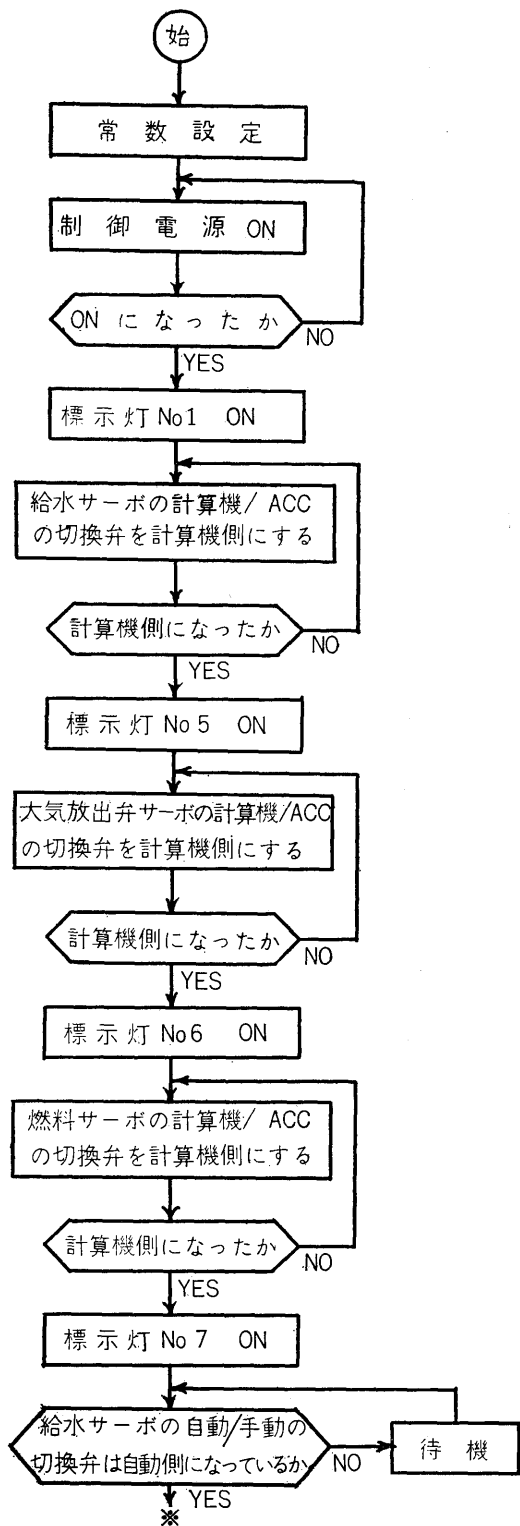
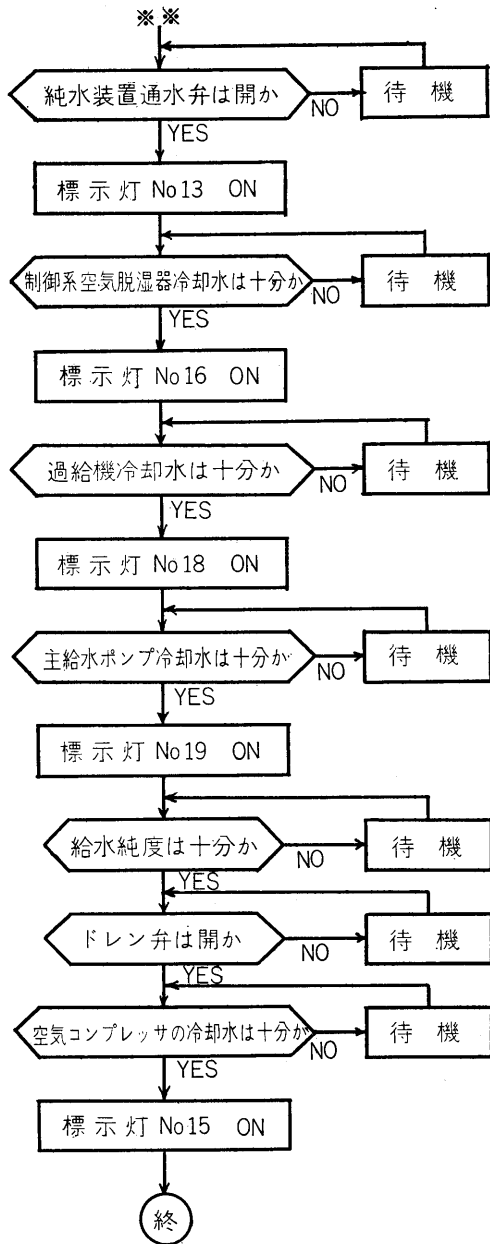


図 3.2 起 動 準 備



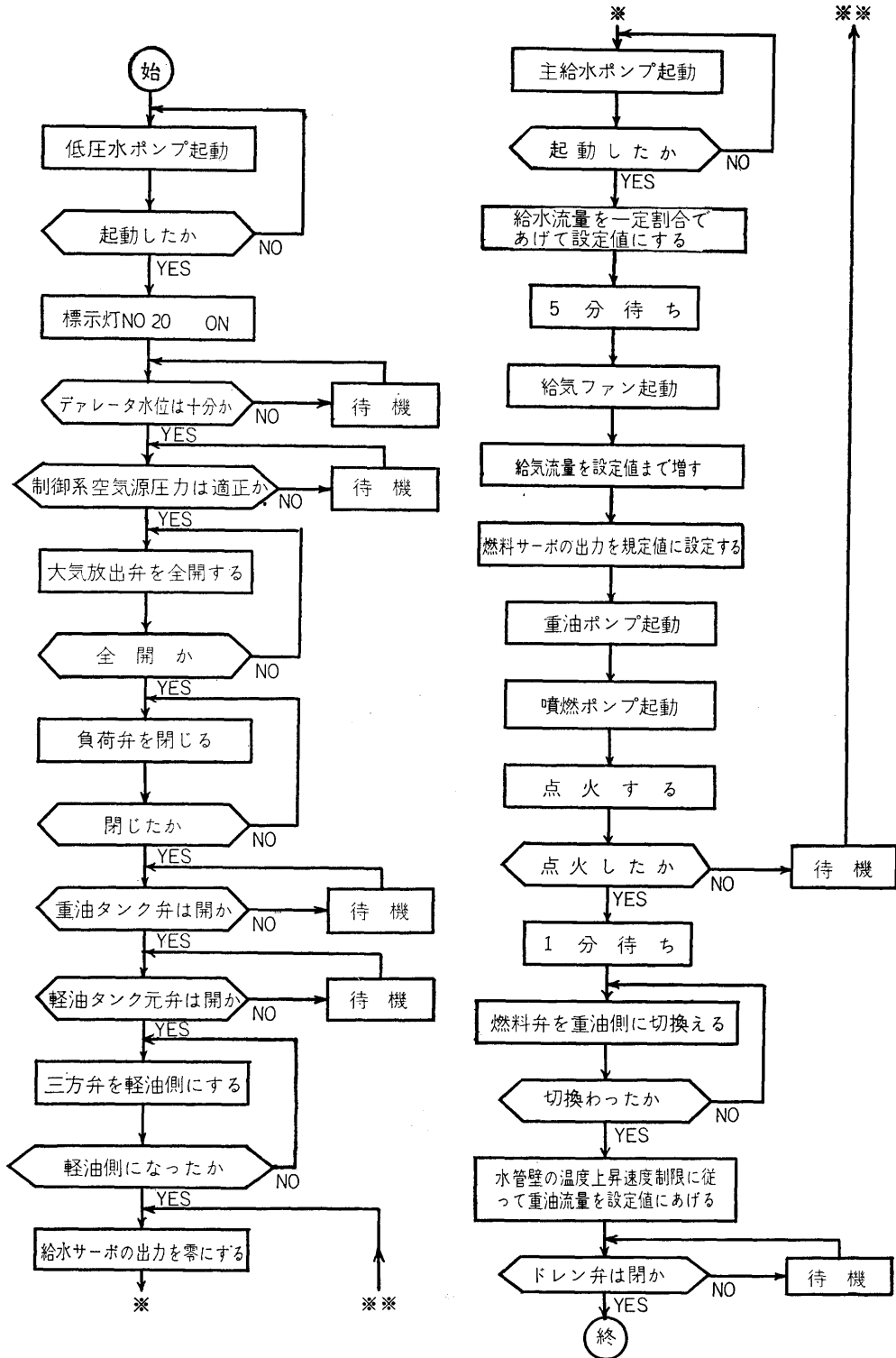


図 3.3 点火プログラム

される。軽油、重油タンクの元弁が開かれ、重油軽油切換弁は軽油側にセットされる。

主給水ポンプは起動時のモータの負荷を軽くするために給水流量零付近で給水流量を一定の割合で増加して設定値に保つ。次に給気ファンが起動され、給気量は設定値に保たれる。ここで水管が出口まで水で満たされるに十分な時間（20分）待って「点火」に進む。

「点火」は安全のために運転員の確認ボタンを押すことによって始められる。点火は噴燃ポンプを起動して電気火花で点火する。点火しなかったときは本ボイラ附属の安全監視回路のはたらきで噴燃ポンプ、給気ファン、主給水ポンプは停止するので再度の点火準備は本プログラムの前に逆のぼって給水流量制御出力を零にするところから繰返される。

点火が確認されると燃料は2分後に重油に切換えられ、設定値にセットされる。ドレン弁はドレンが出なくなるに十分な時間（点火後15分）待って閉じられる。

ここでボイラ本体および補機の操作量や状態量が正常であることを確認して次章のACC自動切換プログラムに移る。今回の実験ではドレン弁は手動弁のため運転員が全閉にするまでプログラムは制御卓に警報ランプをつけて待機させることにした。点火プログラム実施中の安全監視は殆んど既設の安全監視装置に受持たした。図3.3に点火プログラムを示す。

3.1.3 ACC自動切換プログラム

本プログラムは「点火プログラム」によってボイラが点火された後、Warming upのため20分間が経過してから開始される。本プログラムの実行に先立ってチェックされるボイラ各点、および本プログラムを開始

表 3.1 ACC自動切換プログラム開始時のボイラの状態

計 測 点	ACC自動切換プログラムを開始してよい状態
〔給水系統〕	
純水装置出口圧	$0.5 \leq P \leq 2 \text{ kg/cm}^2$
低圧水ポンプ出口圧	$2 \leq P \leq 4 \text{ kg/cm}^2$
デアレータ水位	基準水位以上
給水流量	$1 \pm 0.1 \text{ t/hr}$
出口温度	$T \leq 380^\circ\text{C}$
出口圧力	$P \leq 70 \text{ kg/cm}^2$
ドレン弁	閉
大気放出弁	全開
負荷弁	全開

〔冷却水系統〕	
各冷却水流量	基準流量以上
〔燃料系統〕	
燃料切換弁	重油
重油流量	$70 \pm 5 \text{ l/hr}$
噴燃ポンプ出口圧	$P \geq 5 \text{ kg/cm}^2$
着火監視	着火
重油ポンプ出口圧	$P \geq 2 \text{ kg/cm}^2$
〔給気系統〕	
給気量	基準流量
排気タービン入口温度	$T \leq 500^\circ\text{C}$
排気タービン回転数	$N \leq 800\text{rpm}$
〔制御用空気系統〕	
コンプレッサ	ON
空気圧	$P \geq 4.5 \text{ kg/cm}$
〔制御系統〕	
給水サーボ 自動/手動 切換弁	自動
大気放出弁サーボ 自動/手動 切換弁	自動
燃料サーボ 自動/手動 切換弁	自動
給水サーボ 計算機/ACC 切換弁	計算機
大気放出弁サーボ 計算機/ACC 切換弁	計算機
燃料サーボ 計算機/ACC 切換弁	計算機
圧力系統 自動/手動 切換弁	自動

するために必要な各状態を表3.1に示す。

本プログラムはボイラの各サーボ（大気放出弁サーボ、燃料サーボ、給水サーボ）を自動的にACCシステムに切換えるためのプログラムである。

まず計算機の出力でサーボを操作し、各制限に従いながら制御量を設定範囲にもって行き、サーボへの入力となるACCコントローラからの信号値と、計算機からの信号値とが等しくなるようにサーボを調節してACCシステムに切換える。この操作は各サーボについて順次に行なわれる。各サーボをACCに切換える部分は操作量、制御量の性質によって細部が異なるが原理的にはみな同じである。

ACC

本ボイラのACCシステムのうち、本実験に関連のある部分を図3.4に示す。ACCシステムに切換える必要とするサーボは燃料、給水、大気放出弁、の三つである。

出口温度は燃料流量を変えて制御する。圧力制御は二系統あって給水量と燃料流量を変えて制御する「制

ボ イ ラ よ り

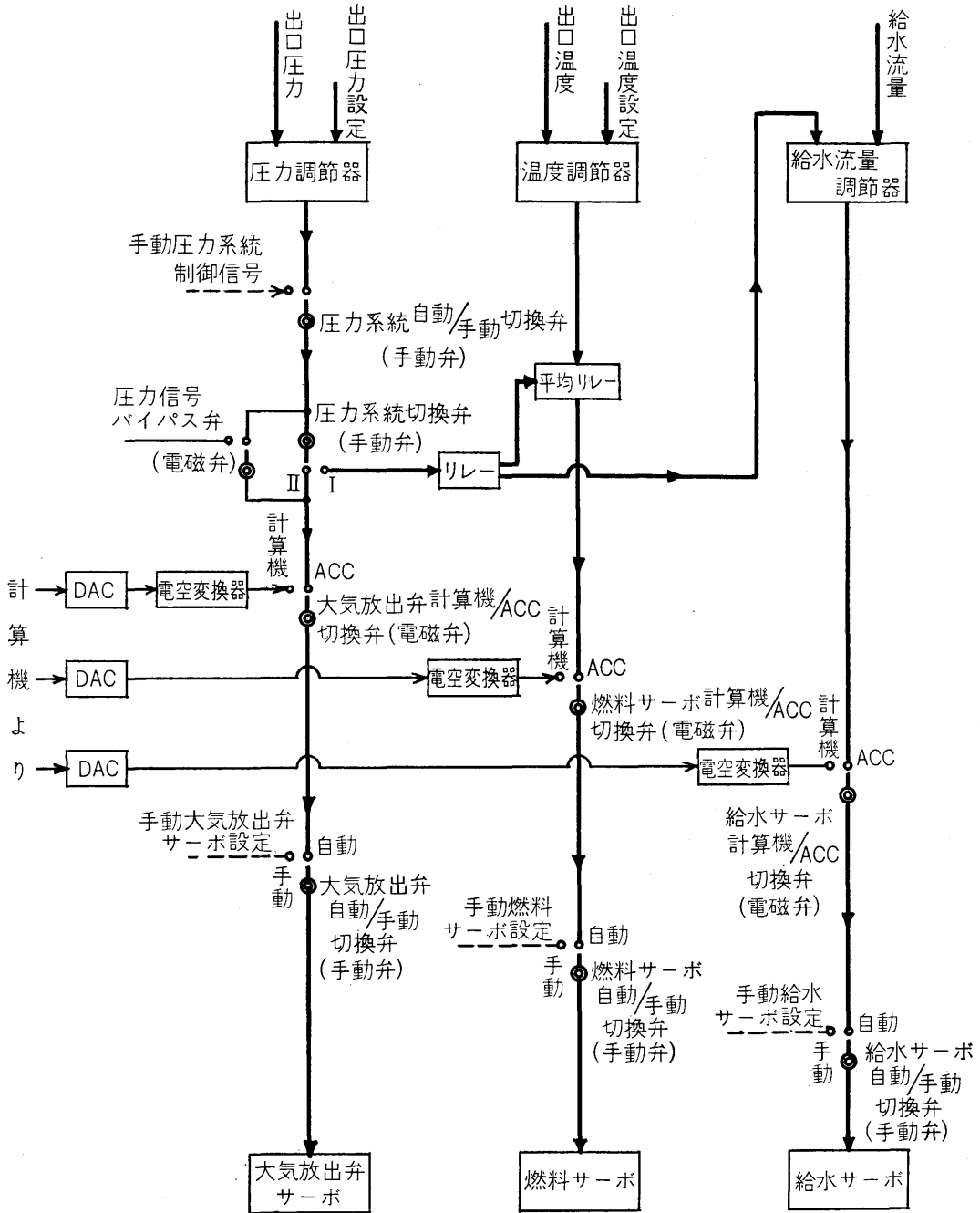


図 3.4 ボイラのACC系

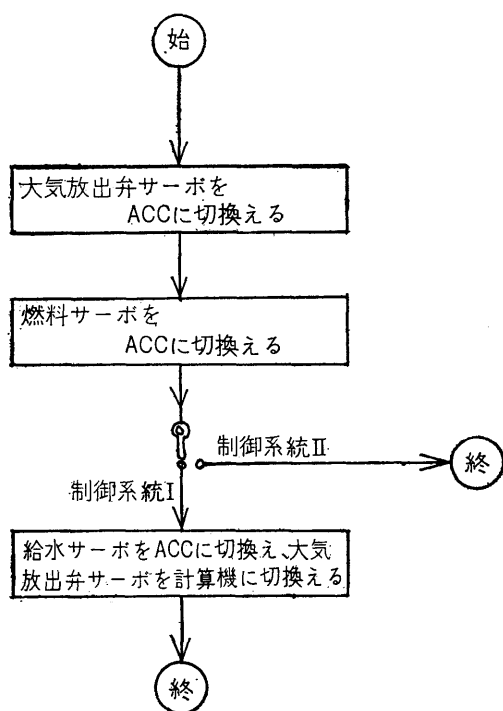


図 3.5 圧力制御系統図

御系統 I」と、大気放出弁で制御する「制御系統 II」とがある。(図3.5参照) 通常大気放出弁で圧力を制御する方法はACCとはいわないが、信号ルートの切替方法が他のサーボと同じであるから、ここでは「制御系統 II」もACCと呼ぶ事にする。

運転員が「制御系統 I」でACCに切替える時は大気放出弁はACCに切替えないで圧力上昇にのみ使用し、燃料、給水の順でACCに切替える。「制御系統 II」の時は大気放出弁、燃料の順でACCに切替える、給水サーボはACCに切替えない。

計算機による自動切替えもほぼこれと同様であるが、「制御系統 I」の時には大気放出弁、燃料、給水の順でACCに切替えてから大気放出弁をACCよりはずす。

ACCシステムへの切替え操作

通常ボイラを手動で起動する時は各サーボの手動/自動切替弁を手動側に倒しておき、ある制限(温度上昇速度制限等)に従いながら手動で徐々にサーボを操作して操作量を変え、制御量を目標値にまでもっていく。

次にACCに切替えた時のサーボへの衝撃が少ない

ように、サーボに入るACCシステムよりの信号と手動のそれとを比較し、その差が小さくなるようにサーボを手動で操作する。

信号差がある範囲より小さくなったらACCに切替える。すなわち、サーボをACCシステムに切替えるためには

- ① 制御量 Y (出口圧力、出口温度等)が設定範囲にある。 $(Y_1 < Y \leq Y_2)$
- ② ACCシステムよりサーボへの信号と、手動(または計算機)でセットするサーボへの信号との差 S がある小さな範囲にある。 $(|S| \leq S_0)$

この二つの条件を満足するようにサーボを操作する。計算機制御の時には以上の操作の手動の部分を計算機で行ない、ACCに切替える。そのプログラムを「ACC自動切替えプログラム」と呼ぶことにする。

ACCへ自動切替えするまでの経路に次のものが考えられる。

- i) 切替条件①および②を同時に満足しながらACCに切替える。(切替方式 I)
- ii) ①を満足した後、②を満足しながら切替える。(切替方式 II)
- iii) ②のみを満足しながら切替える。(切替方式 III)

「切替方式 I」はプラントにとっては最も望ましいが、①②両方を同時に満足するまで1つのサーボで操作することはむずかしく、切替えまでに時間がかかる。またACCコントローラと計算機の両者の制御目標値が一致している必要がある。

「切替方式 III」は②を満足するためにサーボを操作しているうちに、①の条件範囲より逸脱するかもしれないが、コントローラの積分時間が短ければ逸脱距離も大きくはならない。切替えには②のみを満足すればよいのだから切替えが「切替方式 I」よりも容易になる。またACCコントローラと計算機の両者の制御目標値は一致していなくてもコントローラの目標値でACCに切替わる。

「切替方式 III」は「切替方式 II」の極端な場合で、初めからACCと計算機の信号差のみに注目する方法である。切替えへの条件が一つであるからACCへの切替えがすみやかである。しかし目標値からの大ききずれを防ぐためにリミッタをつけておかねばならぬ、また当然のことであるが、目標値はACCコントローラでのみセットすればよいから、任意の目標値に変更する時でもプログラムの数値は変える必要がない。

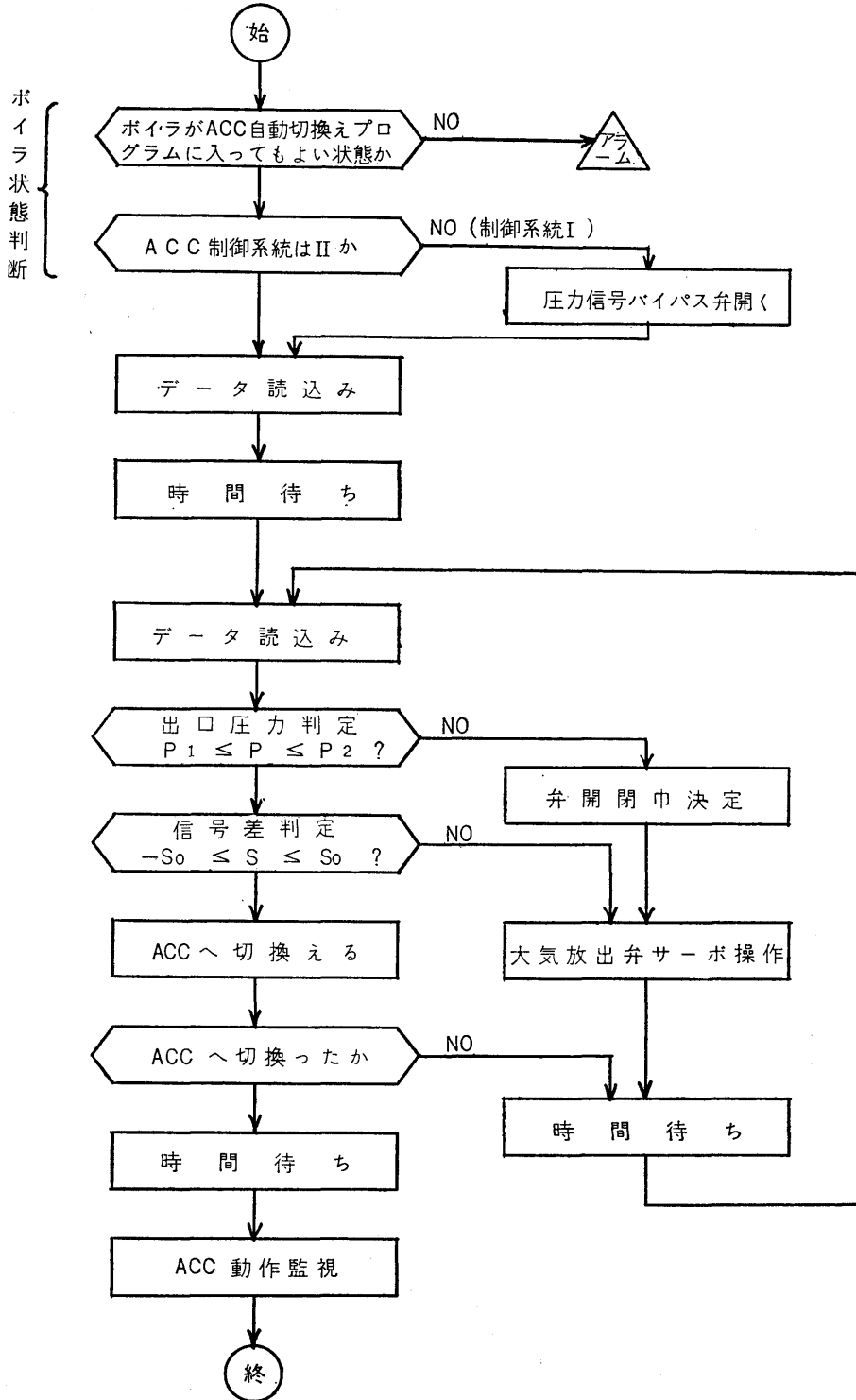


図 3.6 大気放出弁サーボの ACC 自動切換えプログラム

3.1.3.1 大気放出弁サーボACC自動切換え

大気放出弁開度出口蒸気圧力応答は早く積分性を持ち、ゲインも高いので特に注意をした。プログラムは「切換方式I」で書かれている。

プログラムフロー

プログラムフローの概要を図3.6に示す。始めに「ACC ボイラ状態判断」でボイラが「自動切換えプログラム」に入ってよい状態であることを確認し、ACCが「制御系統I」の時は圧力信号バイパス弁を開いて、圧力信号を大気放出弁サーボに通じさせてから本プログラムに入る。まず「データ読み込み」でボイラの現在の状態を読み込み、Print-outし、次に出口圧力が設定範囲内にあるか否かを判定する。NOならば「弁開閉巾決定」で大気放出弁の開閉巾および開閉方向を各制限に合わせて決定し、「大気放出弁サーボ操作」をして、30秒の待時間を経て「データ読み込み」にもどりプログラムを繰り返す。

出口圧力が設定範囲に入ったならば、「信号差判定」で弁サーボに入る制御信号差Saが設定範囲におさまるまで弁サーボを一定巾ずつ加減して調節し、設定範囲に入ったら制御信号ルートをACCコントローラへ切換える。切換10秒後に再び「データ読み込み」を行ない、ACCが正常に動作していることを確認してから次の燃料サーボACC切換プログラムに進む。以下に本プログラムの各ブロックを説明する。

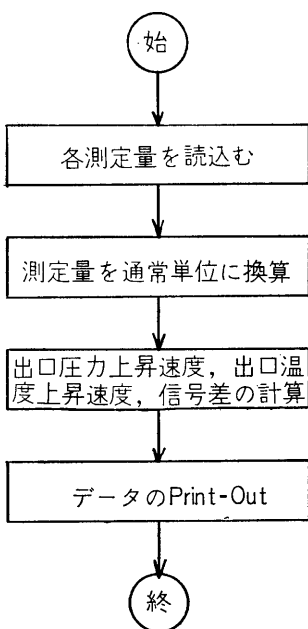


図 3.7 「データ読み込み」

下に本プログラムの各ブロックを説明する。

「データ読み込み」

「データ読み込み」は次の4つの部分より成る。

- i) 各測定量読み込み
- ii) 読み込んだ各測定量を通常単位に換算する
- iii) 上昇速度、信号差等の計算
- vi) データの Print-out

「データ読み込み」で読み込む測定量を表3.2に示す。圧力、温度の上昇速度は前回の測定値との差より計算する。プログラム一周には60秒かかり、それは一定し

表 3.2 読み込む測定量

読 込 む 測 定 量
出口圧力 出口温度 給水量 大気放出弁サーボへのACCからの信号圧力 大気放出弁サーボへの計算機からの信号圧力 燃料サーボへのACCからの信号圧力 燃料サーボへの計算機からの信号圧力 給水サーボへのACCからの信号圧力 給水サーボへの計算機からの信号圧力

(a)

換 算 さ れ 計 算 さ れ る 測 定 量
出口圧力 出口温度 給水量 出口圧力上昇速度 出口温度上昇速度 大気放出弁サーボへの信号差 燃料サーボへの信号差 給水サーボへの信号差

表 3.3 プリントする測定量

プリントされるデータ	単 位
時刻	時 分
出口圧力	kg/cm ²
出口圧力上昇速度	kg/cm ² /min
出口温度	°C
出口温度上昇速度	°C/min
大気放出弁サーボへの信号差 (空気圧)	g/cm ²
大気放出弁サーボへの計算機からの信号	digit
弁開閉巾	digit
プログラムルート番号	digit

表 3.4 プ リ ン ト の 例

01	30	15.0	0.0	195.0	0.0	750.5	30.0	10.0	10.0
01	31	15.2	0.2	195.0	0.0	740.0	40.0	10.0	10.0
01	32	15.3	0.1	195.1	0.1	728.3	50.0	10.0	10.0

ている。故に前回との測定値の差と、平均上昇速度は次の関係がある。

$$\text{平均上昇速度} = \frac{\text{前回との測定値の差}}{\text{測定周期}}$$

Print-out する各データおよび Print の一例を表 3.3 および表 3.4 に示す。Print の順序は表 3.3 の順と同じである。

「出口圧力判定」

出口圧力 P が設定範囲にあれば ($P_1 < P < P_2$) 次のプログラムに進み、もし範囲外ならば、「弁開閉巾決定」に行く。

今回の圧力設定範囲は $P_1 = 35 \text{ kg/cm}^2$, $P_2 = 40 \text{ kg/cm}^2$ 、である。

「弁開閉巾決定」

大気放出弁の次回開閉巾は次の原理により決める。

- (1) 圧力が設定範囲より低い時は放出弁を閉め、圧力が設定範囲より高い時は放出弁を開く。
- (2) 圧力上昇速度制限内で圧力を上げるために次回の開閉巾は次式で決め、ある制限巾以上はリミッタで

制限する。

$$\text{次回開閉巾} = \frac{\text{圧力上昇制限速度} \times \text{前回の開閉巾}}{\text{圧力上昇速度}} \dots\dots(1)$$

(1)式は弁開閉巾と圧力上昇速度が比例すると仮定して立てた式で、次回の圧力上昇速度が上昇制限速度になるような次回開閉巾を与える。但し、圧力上昇速度が零の場合は(1)式を計算しないで次回開閉巾をある適当な値にする。

- (3) 温度上昇速度が制限を越えた時には次式で開閉巾を修正する。

$$\text{温度修正された開閉巾} = \frac{\text{温度上昇制限速度} \times \text{未修正開閉巾}}{\text{温度上昇速度}} \dots\dots(2)$$

- (4) 弁開閉巾は その時の弁開度によって決めるある制限以下でなければいけない。

(弁の全閉防止)

- (5) 圧力が設定範囲より高い時は弁開閉巾は最小一定値とする。

圧力上昇速度制限は、その圧力の飽和温度の上昇速

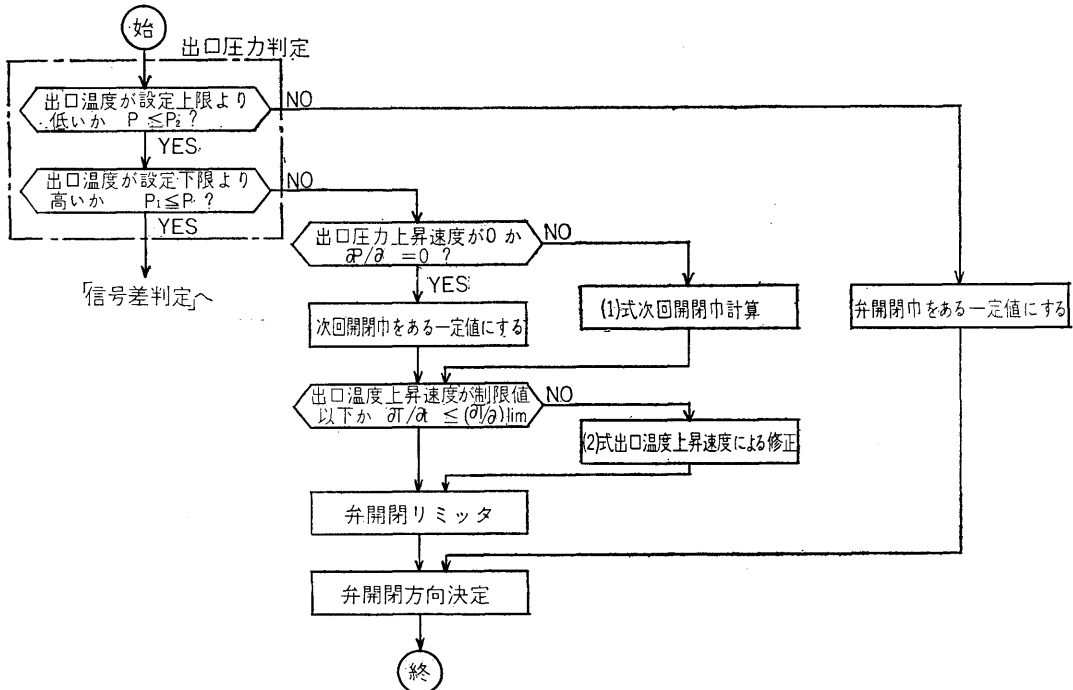


図 3.8 「大気放出弁開閉巾決定」

度が温度上昇速度制限以下になるように決める。すなわち

$$\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)_{\text{lim}} = \frac{1}{\frac{\partial T_{\text{sat}}}{\partial P}} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{lim}} \dots\dots(3)$$

ここで

$\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)_{\text{lim}}$: 圧力上昇制限速度

$\frac{\partial T_{\text{sat}}}{\partial P}$: 飽和温度の圧力勾配

$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{lim}}$: 温度上昇制限速度

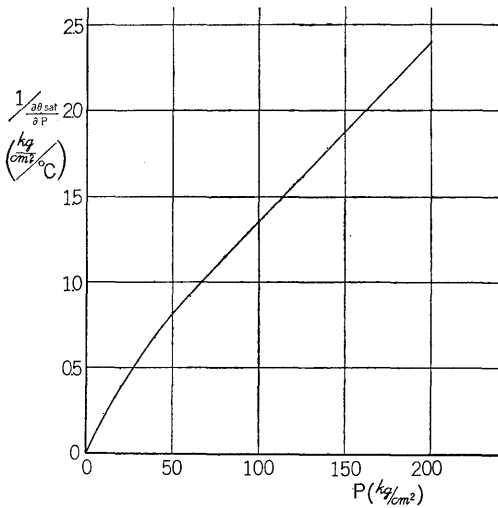


図 3.9 温度の圧力係数

$\frac{1}{\frac{\partial T_{\text{sat}}}{\partial P}}$ の圧力に対する変化を図3.9に示す。この

$$\text{近似式として } \frac{1}{\frac{\partial T_{\text{sat}}}{\partial P}} = 0.1P \dots\dots(4)$$

$(P \leq 200 \text{ kg/cm}^2)$

と表わすことができる。

ボイラの温度上昇制限速度 $\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{lim}}$ はボイラ水管の受ける熱応力等から決まってくる。このボイラ的设计温度上昇制限速度を $10^\circ\text{C}/\text{min}$ とすると圧力上昇制限速度は $\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)_{\text{lim}} = 0.1P \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{lim}} = 1.0P(\text{kg/cm}^2/\text{min}) \dots\dots(5)$

で求められる。

もし現在の圧力が 20kg/cm^2 ならばその時の圧力上昇速度制限は 20kg/cm^2 毎分になる。

最終的な弁開閉中の制限値(リミッタ)は全閉までに数回の操作の余裕が残されるようにして決める。

(表3.5参照)

しかし今回の実験では安全のため開度の如何にかか

表 3.5 大気放出弁開閉中の制限値

現在の開度	0~400	401~600	601~800
開閉中の制限値	100	50	20

わらず制限値を20にした。

「大気放出弁サーボ操作」

ここで述べる事は各サーボの操作に原理的に共通である。各サーボはデジタル出力0~1000でサーボ可動範囲を全開全閉に操作される。

弁サーボ操作は以下の順序で行なわれる。

- (1) 現在、弁サーボに出しているデジタル数 x に開閉巾を表わす数 Δx を加えて新しくサーボに出す数を作る。 $(x_n + \Delta x_n \Rightarrow x_{n+1})$
- (2) サーボに出す数が負数であれば $x = 0$ にし、800を越えていれば800にする。 $(x < 0 \Rightarrow x = 0)$
 $(x > 800 \Rightarrow x = 800)$
- (3) x を弁サーボに出す。

x の上限を800にしたのはサーボ弁の全閉を防止するためである。弁サーボの操作後、その操作が妥当であったかチェックするために弁操作5秒後に出口圧力を読み、圧力上昇または下降速度が $2\text{kg/cm}^2/\text{sec}$ 以上の時には弁サーボ異常と判断してアラームを出し、 $6\text{kg/cm}^2/\text{sec}$ 以上の時には危険な状態であると見做し

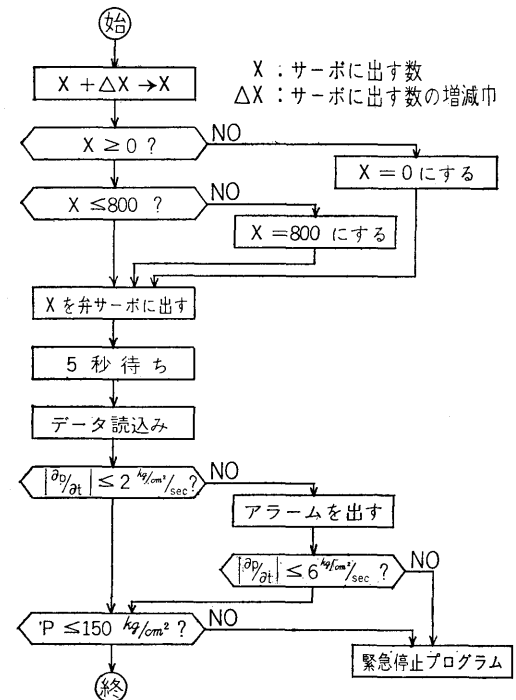


図 3.10 「大気放出弁サーボ操作」

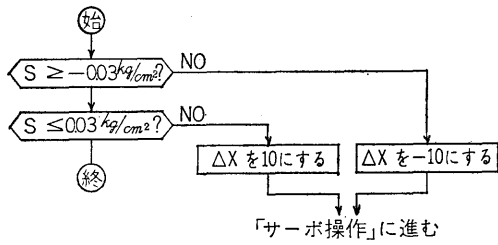


図 3.11 「大気放出弁サーボ信号差判定」

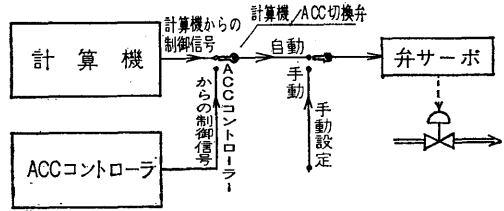


図 3.12 制御方式の切換え

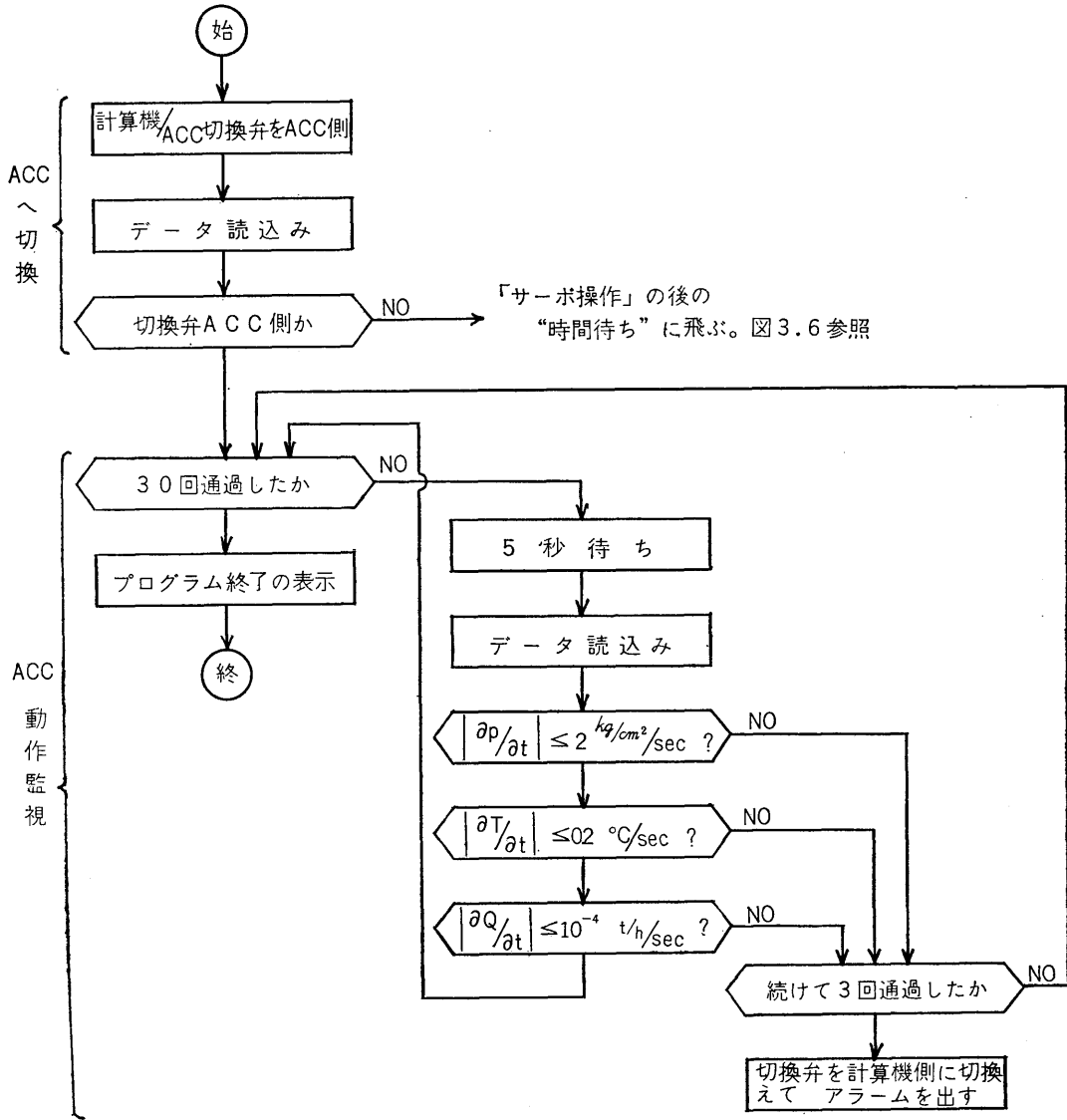


図 3.13 「ACC 動作監視」

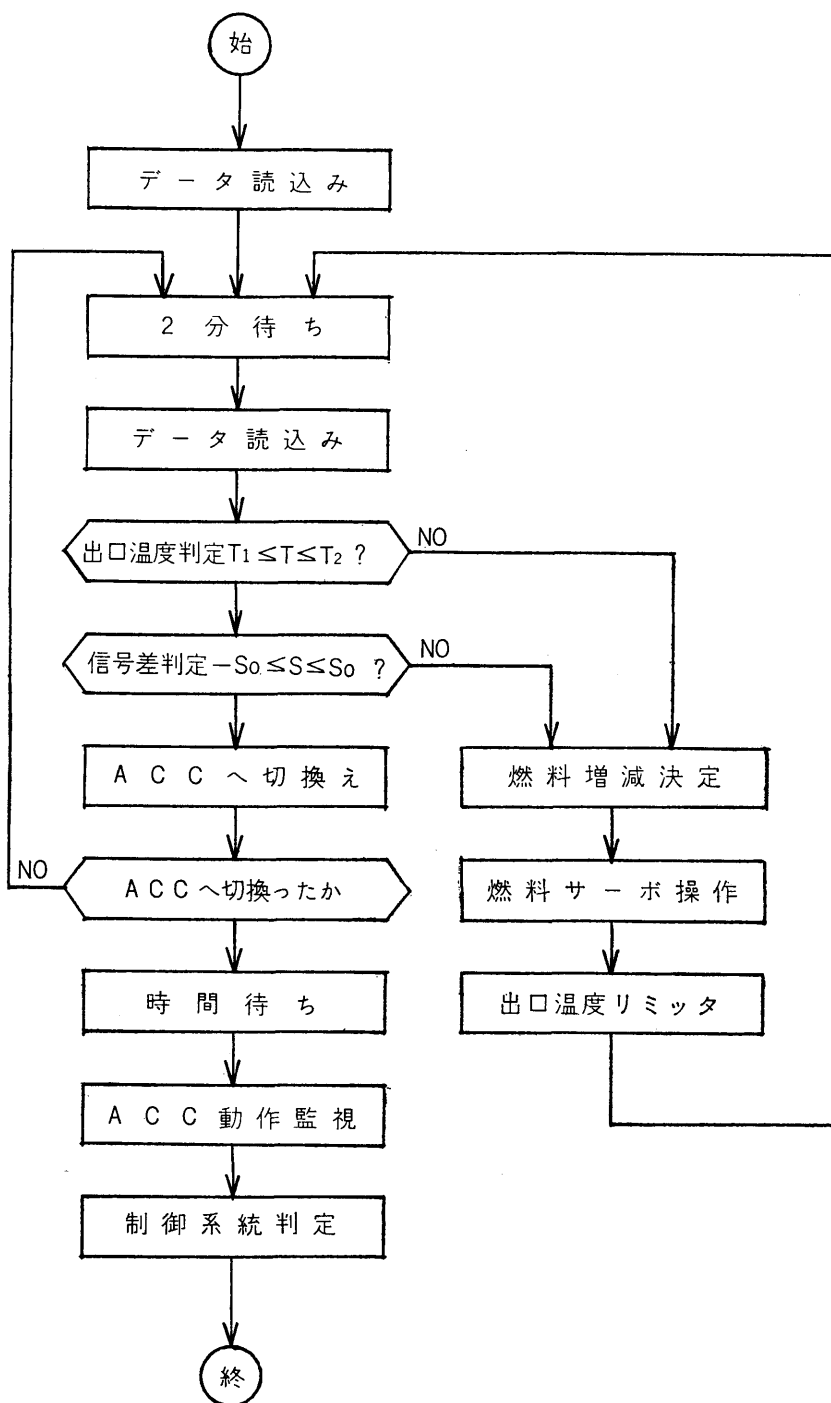


図 3.14 燃料サーボの ACC 自動切換えプログラム

て緊急停止プログラムにとぶ。また出口圧力が 150kg/cm² を越えた時も緊急停止プログラムにとぶ。

「信号差判定」

弁サーボに入る制御信号差Sa((ACCからの信号値) - (計算機からの信号値))

が信号空気圧で $-0.03\text{kg/cm}^2 \leq Sa \leq 0.03\text{kg/cm}^2$ の範囲内であれば、次の「ACC 切換」に進む。信号差が設定範囲内でないとき、 $Sa > 0$ ならば弁開閉巾の数を+10に、また $Sa < 0$ ならば同様に-10をセットして「サーボ操作」をする。

「ACC 切換」

弁サーボへの制御信号ルートを計算機から ACC コントローラに切換える。制御信号は空気圧であるため切換えは電磁三方弁で行なう。切換信号を出したあとで電磁弁の動作を確認するために電磁弁を流れる電流を検出している。できるならば、電磁弁に直結したマイクロスイッチ等で検出する方が確実であるが今回はそれに適した製品がみあたらなかったため電流で弁開閉を判断している。

切換完了が確認されると「ACC動作監視」に進む。切換えが行なわれなかった時にはアラームを出し、再び「サーボ操作」の後の「時間待ち」にもどって以上を繰り返す。

「ACC 動作監視」

ACC への切換えが確認されてから5秒後に「データ読み込み」を行なって ACC が正常に作動していることを確認する。

ACC の作動が正常か否かは、5秒おきにデータを読んで、出口圧力、出口温度、給水量の三者の時間微分の絶対値がそれぞれのある設定値を続けて3回越さなければ正常とする。この監視は切換え後5分間行なわれる。

ACC の作動が異常と判断された時は、直ちに計算機側に制御信号を切換えてアラームを出す。作動が正常の時には、「大気放出 ACC 弁自動切換えプログラム」が終了したサインを出して、次のプログラム「燃料サーボ ACC 自動切換えプログラム」に進む。

3.1.3.2 燃料サーボ ACC 自動切換

プログラムフロー

前述のプログラムで大気放出弁サーボが ACC に切換わった後をうけてこのプログラムは始まる。プログラムフローの概要を図3.14に示す。原理的には、前述の「大気放出弁サーボ ACC 自動切換え」と同じであるが、大気放出弁——出口圧力応答に比べて、燃料

——出口温度応答は遅いことを考慮して、燃料の増減はすべて一定量とし、その増減方向は設定温度を越えているか否かという事と、出口温度が上昇中か下降中かということで決める。

ACC 切換方式は「切換方式Ⅰ」になっているが回路の一部を変える事により「切換方式Ⅱ」あるいは「切換方式Ⅲ」のいずれもできるようになっている。

以下各ブロックごとに説明するが「データ読み込み」「温度判定」「信号差判定」「ACCへの切換え」「ACC監視」は前述の大気放出弁におけるものと同一、または制御量、操作量、設定値が異なるだけである。

「燃料流量増減決定」

出口温度を制御するために燃料サーボへ出すデジタル信号は、○一定量流量を増す、○一定量減らす、○増減しない、の三種類のみである。増減の決定は次の原理に従った。

- 1 出口温度が設定値より低い時には燃料を増す。
- 2 出口温度が設定値より高い時には燃料を減らす。
- 3 設定範囲外でも温度の上昇または下降速度が望ましい方向および大きさの時は燃料の増減をしない。
- 4 3の場合で望ましい方向であっても速度が大き過ぎる時はブレーキを掛ける方向に燃料を増減しアラームを出す。
- 5 出口温度上昇速度が20°C/minを越える時には、緊急停止する。

以上の原理に従って実際には次のように決めた。

出口温度Tが設定値より低い場合 (T<440°C)

- 温度上昇速度が2°C/min以下の時は燃料を増す。
- 温度上昇速度が2°C/min以上10°C/min以下の時は増減しない。
- 温度上昇速度が10°C/min以上20°C/min以下の時は燃料を減らしアラームを出す。
- 温度上昇速度が20°C/min以上の時は緊急停止する。

出口温度が設定値より高い場合 (T>460°C)

- 温度上昇速度が-10°C/min以下の時は燃料を増しアラームを出す。
- 温度上昇速度が-10°C/min以上-2°C/min以下の時は増減しない。
- 温度上昇速度が-2°C/min以上10°C/min以下の時は燃料を下げる。
- 温度上昇速度が10°C/min以上20°C/min以下の時は

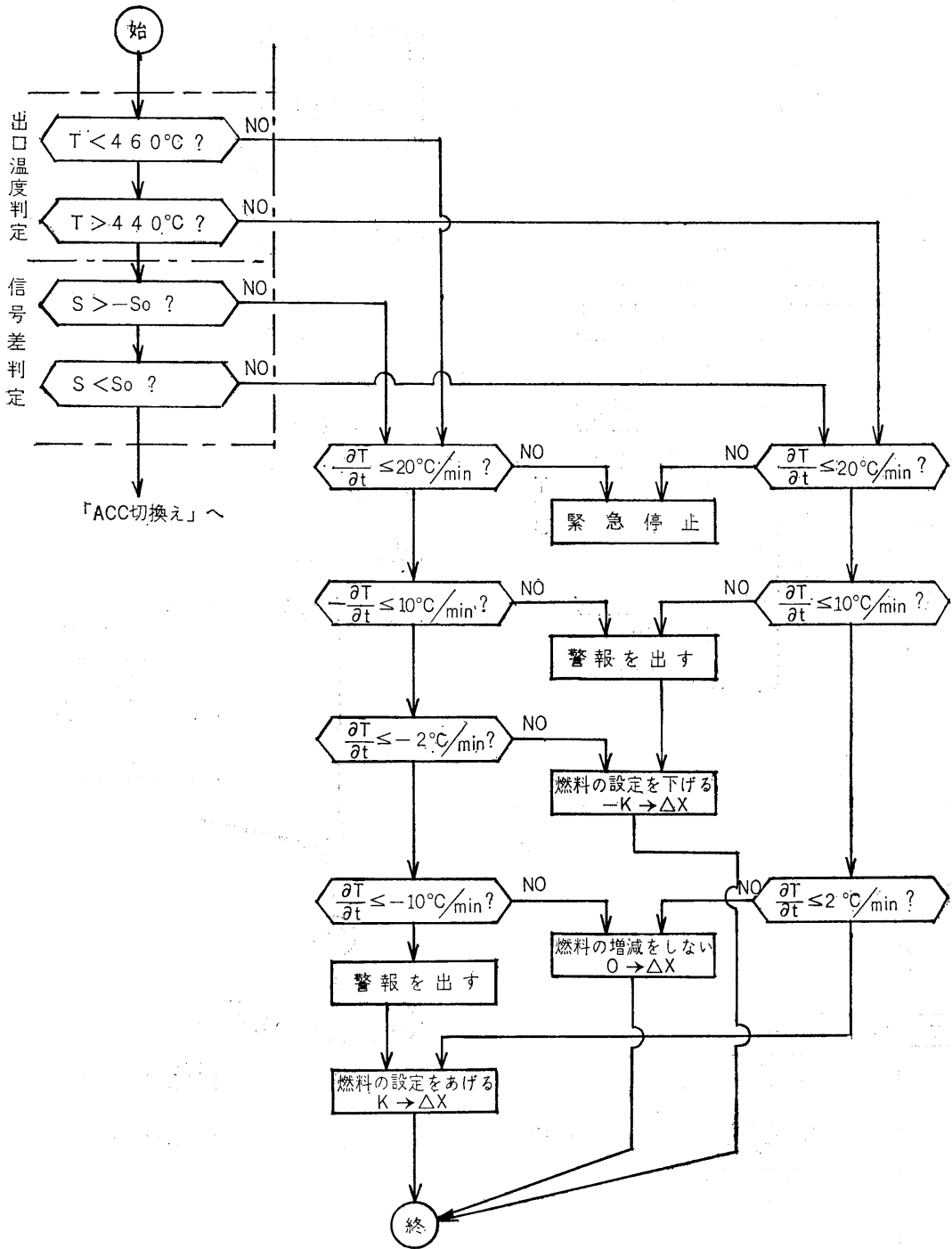


図 3.15 「燃料流量増減決定」

燃料を下げアラームを出す。

○温度上昇速度が 20°C/min 以上の時は緊急停止する。

尚、「信号差判定」の結果、燃料の増減をする時は、信号差 S が正の時は出口温度が設定値より低い場合と同じにし、信号差 S が負の時は出口温度が設定値より高い場合と同じプログラムを使う。

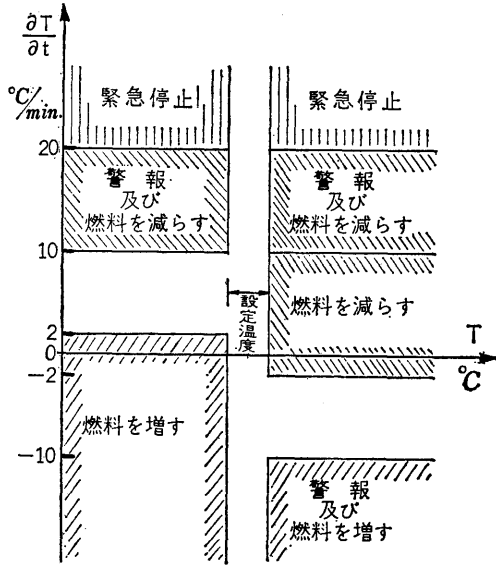


図 3.16 出口温度の監視と燃料操作

燃料増減率は次のようにして決めた。

このボイラは出口圧力 50kg/cm²、出口温度 450°C、給水量 1 t/h 近傍の燃料流量——出口温度応答のゲインは約 10°C/l/h である。故に出口温度の上昇制限速度を 10°C/min とするとそれを与える燃料増加率は $\frac{10^\circ\text{C}/\text{min}}{10^\circ\text{C}/\text{l/h}} = 1.0\text{l}/\text{min}$ である。

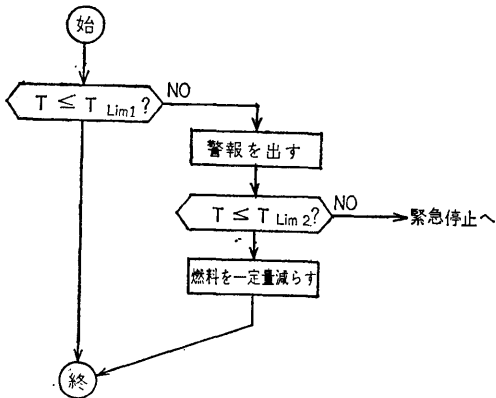


図 3.17 「出口温度リミッタ」

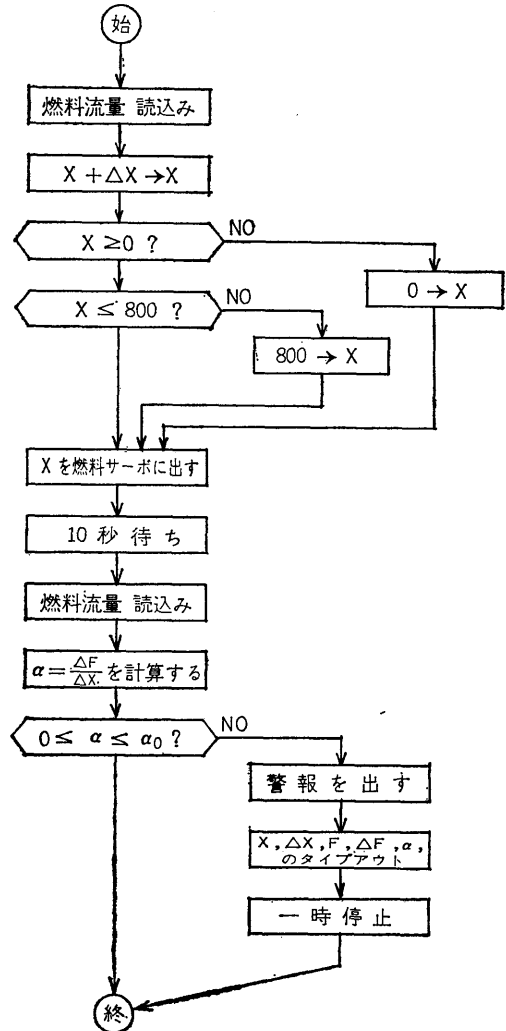


図 3.18 燃料サーボ操作プログラム

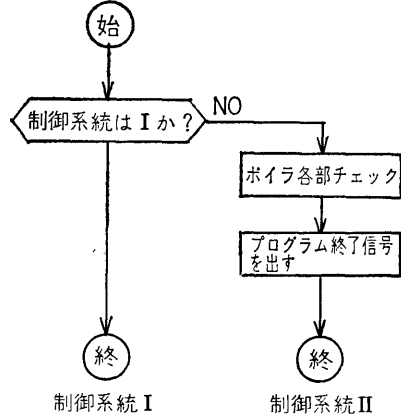


図 3.19 「制御系統判定」

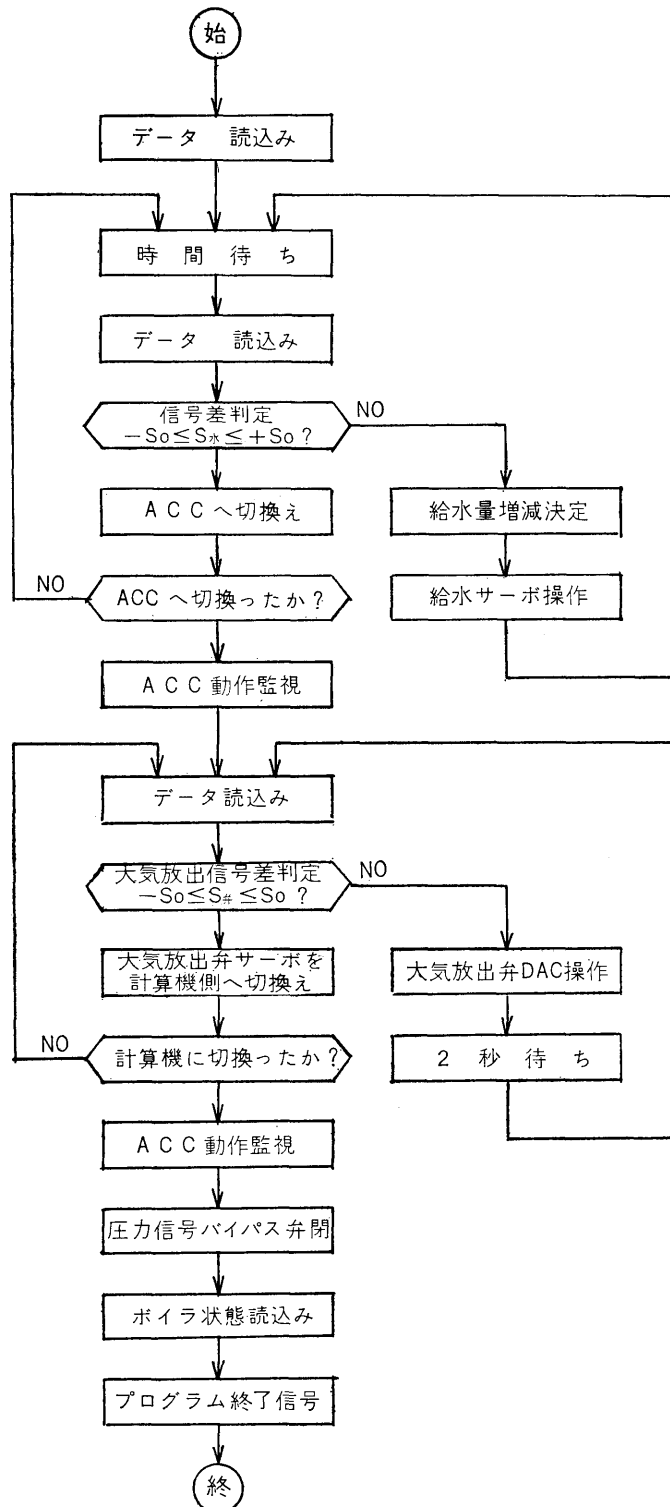


図 3.20 給水サーボACC自動切換えプログラム

これを一つの目安にして、安全のためそれを下回る0.5l/h/minを増減巾に決めた。つまり周期2分で燃料サーボを操作する時は1l/hを燃料の増減単位巾とする。

「出口温度リミッタ」

「切換方式ⅡおよびⅢ」を使用する時は「温度判定」を通らないので出口温度が設定値より大きく逸脱する恐れがある。それを防ぐために「出口温度リミッタ」において、出口温度が第1温度上限480°Cを越えると単位量だけ燃量を減らし、アラームを出す。また、第2温度上昇550°Cを越すとただちに緊急停止する。

「燃料サーボ操作」

操作は他のサーボと同じ手順で行なわれ、セットするデジタル数Dを $0 \leq D \leq 800$ に制限するリミッタがついている。

サーボ操作後のチェックは燃料の増減を測定して行なう。サーボにセットしたデジタル数の増加量 Δx と燃料の増加量 ΔF の比 $\alpha = \frac{\Delta F}{\Delta x}$ を求め、ある正の範囲に α があることを確認してチェックしている。

「制御系統判定」

「ACC動作監視」プログラムを通して「燃料サーボACC自動切換え」が終了すると「制御系統判定」で制御系統がⅠかⅡかを判定する。Ⅱならばここで「ACC自動切換えプログラム」は終りであるのでボ

イラ各部が本プログラム終了状態にあるかをチェックしてから終了信号を出して終る。

制御系統がⅠの時は次の「給水サーボACC自動切換えプログラム」に進む。

3.1.3.3 給水サーボACC自動切換えプログラム

このプログラムも前述の大気放出弁、燃料サーボのACC切換えと原理的には同じであるが、圧力信号バイパス弁の操作、大気放出弁を再び計算機の出力で操作するルートに切換える等の操作が付随する。

プログラムフロー

すでに大気放出弁サーボがACCシステムに切換わっているため出口圧力は設定圧力に保たれている。そのため本プログラムは始めから信号差を零にするように給水サーボを操作する。給水—出口圧力応答は比較的遅いから給水サーボ操作は単位巾ずつ増減することにし、操作周期も長く2分にする。

プログラムを構成している各ブロック中

「データ読み込み」「信号差判定」「給水サーボ操作」「ACCへ切換え」「ACC監視」は前述の大気放出弁、燃料サーボにおけるものと同一、または制御量、操作量、設定値が異なるだけである。

信号差が0になったら給水サーボがACCに切換えられ、ACC動作が正常であることを確認してから大気放出弁サーボをACCからはずし、再びACC動作

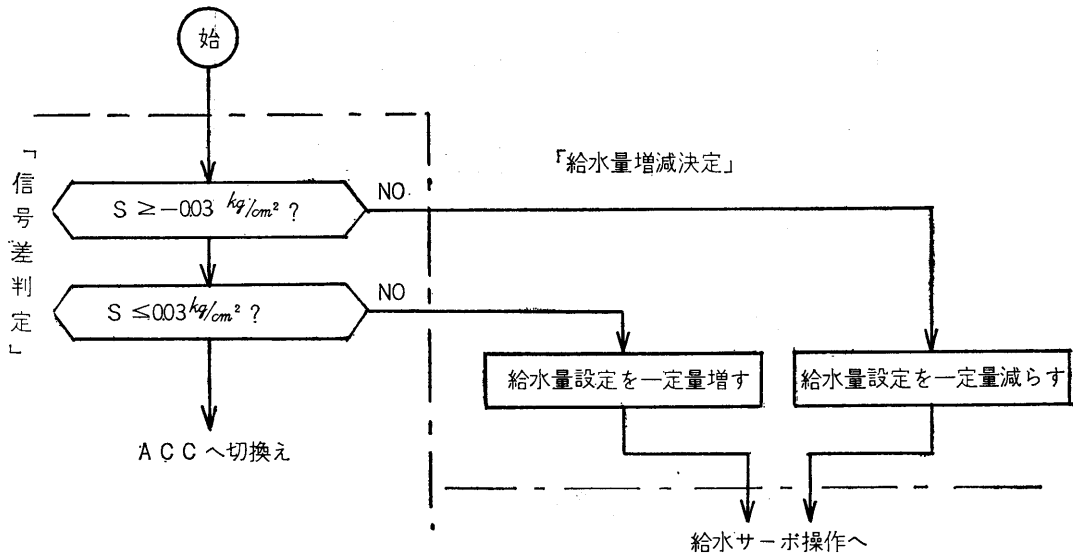


図 3.21 「給水量増減決定」

の正常であることを確認してから圧力信号バイパス弁を閉じ本プログラムの終了を確認する。

「給水量増減決定」

「信号差判定」の後を受けて信号差を零にする方向

に給水量増減を決める。

信号差 S_f が正の時は給水量を一定量増す。

信号差 S_f が負の時は給水量を一定量減らす。

増減の単位量は給水—出口温度応答のゲインと温度

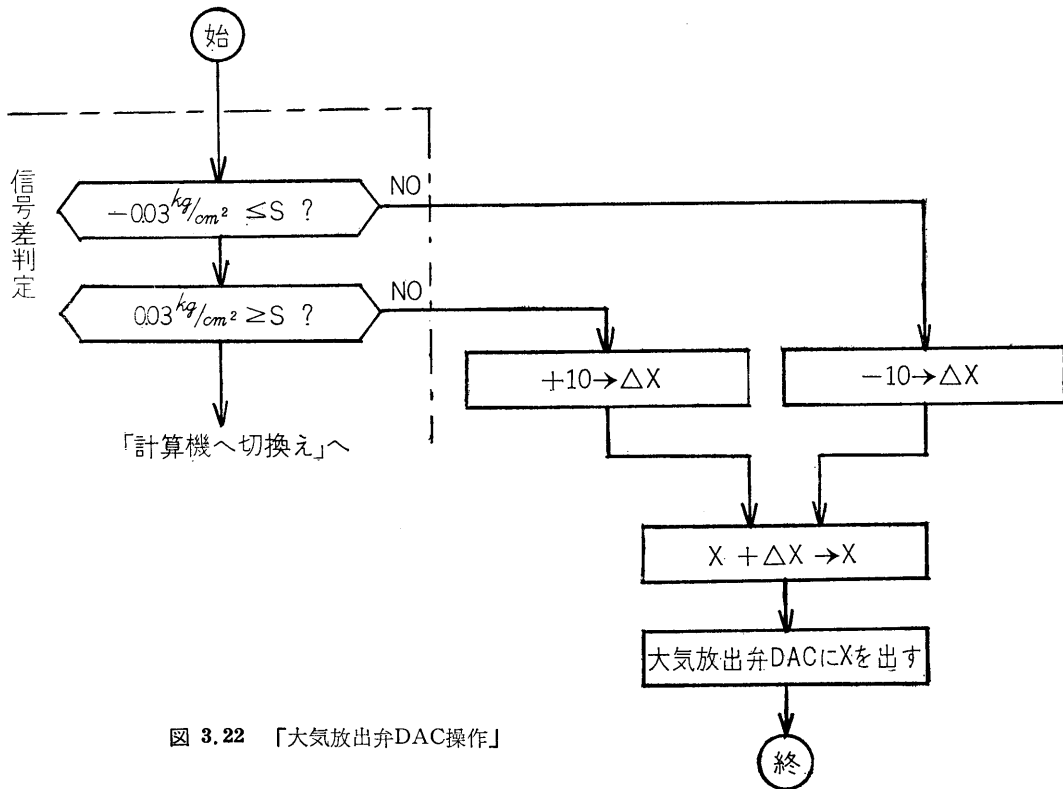


図 3.22 「大気放出弁DAC操作」

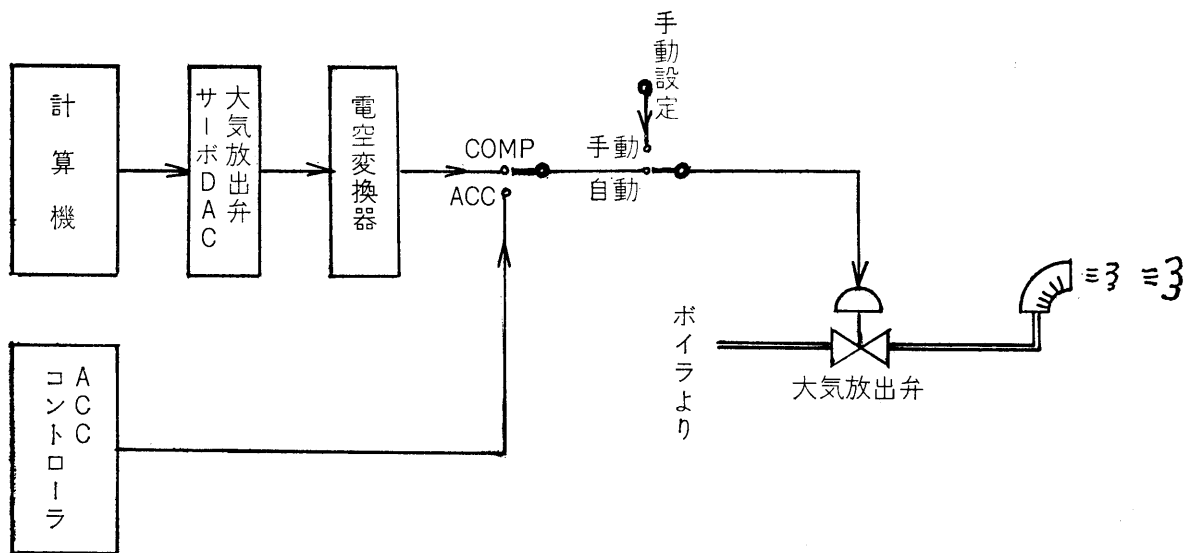


図 3.23

上昇速度制限とから決める。このボイラは出口圧力 50kg/cm²、出口温度450°C、給水量 1 t/h 近傍における給水出口温度応答のゲインは約 -1.3°C/kg/hr である。出口温度上昇速度制限は10°C/min であるから給水流量増減の早さは 7.7kg/hr/min 以下でなければならぬ。今回の実験では約 5 kg/hr/min になるようにした。

「大気放出DAC操作」

大気放出弁サーボの信号差 S_a を零にするために計算機のDAC(デジタル-アナログ変換器)出力をACCコントローラ出力に合わせる操作をする。大気放出弁サーボはすでにACCシステムに切換わっているためDAC操作には速度制限がない。故に操作周期は電空変換器の応答の早さのみで決める事ができる。今回は操作周期を2秒にした。操作は増減を単位巾にして行った。増減巾は「信号差判定」の設定値巾を飛び越さない程度に粗く(本実験では約 0.02kg/cm²)した。

「計算機へ切換え」

これは「ACCへ切換え」と操作は同じで、ただ、計算機切換弁の切換え方向と、切換え判定が逆になるだけである。

「圧力信号バイパス弁閉」

大気放出弁サーボが、ACCより計算機出力側に切換わった後、「監視」を行ない、大気放出弁によらないで給水、燃料を通しての圧力制御が安定に行なわれていることを確認した後、圧力信号バイパス弁を閉じる。

これで制御系統の場合のACC切換えがすべて終了したから再び「ACCボイラ状態読み込み」を行ない、ボイラ各部が「自動切換えプログラム」が終了した状態になっていることをたしかめ、プログラム終了信号を出して終る。

3.2 監視プログラム

監視プログラムは定常運転中のボイラが安全限界を超えないように監視することを目的とする。

ボイラに対する入力量と出力量は殆どどの点が電流に変換されたアナログ量で検出され、その他のものはマイクロスイッチの接点により検出される。ボイラにおける異常状態は大別して、①機器類(ポンプ、バルブ等)異常、②入力量異常、③出力量異常の3つに分けられ、ボイラの異常は①から②、③と波及して行く。各異常間には時間遅れがあるから、①の異常が直ちにボイラの緊急事態をひきおこすとは限らないが、③の異常はそのものが直接にボイラの緊急事態を表現して

いる。従って、前記の状態によってボイラに対する危険度が異なる。アナログ量により検出する入力量、出力量の重要なものには、警報を出して注意をうながす程度でよい制限値(これを第1制限値という)とボイラにとってこれを逸脱したら重大事故が発生すると考えられ、直ちにボイラを停止しなければならない制限値(これを第2制限値という)を設けてある。従って、監視プログラムにおいて何等かの処置を必要とする異常状態は次の5種類となる。

- i) 機器類(ポンプ、バルブ等)の異常
- ii) 入力量が第1制限値を逸脱した状態
- iii) 入力量が第2制限値を逸脱した状態
- iv) 出力量が第1制限値を逸脱した状態
- v) 出力量が第2制限値を逸脱した状態

ボイラ事故発生に対して、時間遅れの短い順に監視点を監視すると、これも、出力量、入力量、機器類の順に3つに分類できる。監視頻度もこの順に順位をつけ、出力量を最も頻度の高い短周期、入力量を中周期、機器類を長周期とした。

各点が正常の時は以上の順序に従って監視を続ける。異常時には各監視とも警報を出し、異常点表示灯を点灯する。

その他アナログ量により検出している点は次のような処置をとる。

- a) 出力量が第2制限値を逸脱した場合には同一点を3回繰返して走査し、誤判断でないことを確認した上でその時刻、異常点、異常値を記憶して直ちに緊急停止させた後、記憶している内容をタイプアウトする。
- b) 出力量が第1制限値を逸脱しても第2制限値内にある場合には、その時刻、異常点、異常値をタイプアウトし中周期ループに飛ぶ。
- c) 入力量が第2制限値を逸脱した場合には同一点を3回繰返して走査し異常を確認して、時刻、異常点、異常値を記憶した後、短周期ループにもどり出力量を監視する。
- d) 入力量が第1制限値を逸脱したが、第2制限値内にある場合には、その時刻、異常点、異常値をタイプアウトし、長周期ループに飛ぶ。

監視点の種類、正常状態、制限値等を表3.6にプログラムを図3.24に示す。

表 3.6 監視点一覧表

	監視点名称	スイッチによる検出		第1制限値		第2制限値	
		正常状態	正常時のスイッチの状態	下限	上限	下限	上限
短 周 期 (x_n)	出口蒸気圧力		OFF	300 l/h	100 kg/cm ²	200 l/h	150 kg/cm ²
	出口蒸気温度				550°C		600°C
	出口蒸気流量				"		"
	中間蒸気圧力				"		"
	第3シリンダ入口温度				"		"
	第3シリンダ出口温度				"		"
	第2シリンダ出口温度				"		"
	第1シリンダ中間温度 ¹				"		"
	第1シリンダ中間温度 ²				"		"
	第1シリンダ出口温度				"		"
中 周 期 (y_n)	給水流量			300 l/h			
	重油流量			30 l/h		20 l/h	
	給気量			8m ³ /min		5m ³ /min	
	タービン入口ガス温度				550°C		600°C
長 周 期 (z_n)	重油ヒーター出口温度				60°C		
	タービン冷却水温度				50°C		
	制御系電源	入	ON				
	ボイラ用水元弁	入	ON				
	清水ポンプ電源	入	ON				
	清水ポンプ出口圧		ON				
	コンプレッサ冷却水		ON				
	脱湿器冷却水		ON				
	タービン冷却水		ON				
	主給水ポンプ冷却水		ON				
	給水電導度		OFF				
	純水装置出口圧		ON				
	低圧水ポンプ電源	入	ON				
	低圧水ポンプ出口圧		ON				
	デアレータ水位		OFF				
	主給水ポンプ電源	入	ON				
	ドレン弁	入	ON				
	主制御弁	入	ON				
	大気放出弁(手動)	入	ON				
	大気放出弁(自動)	入	OFF				
	重油タンク元弁	入	OFF				
	軽油タンク元弁	入	OFF				
	重油ポンプ電源	入	ON				
	重油ポンプ出口圧		ON				
	重油電磁弁	入	ON				
	軽油電磁弁	入	OFF				
	手動止弁	入	ON				
	噴燃ポンプ電源	入	ON				
	噴燃ポンプ出口圧		ON				
	給気ファン電源	入	ON				
コンプレッサ電源	入	ON					
脱湿器電源	入	ON					
空気源圧力		ON					
給水サーボ手動/自動 切換弁	自 動	ON					
給水サーボ 計算機/ACC 切換弁	ACC	OFF					
圧力系統 手動/自動 切換弁	自 動	ON					
制御系統 ①/② 切換弁	②	ON					
大気放出弁サーボ 手動/自動 切換弁	自 動	ON					
大気放出弁サーボ 計算機/ACC 切換弁	ACC	OFF					
燃料サーボ 手動/自動 切換弁	自 動	ON					
燃料サーボ 計算機/ACC 切換弁	ACC	OFF					

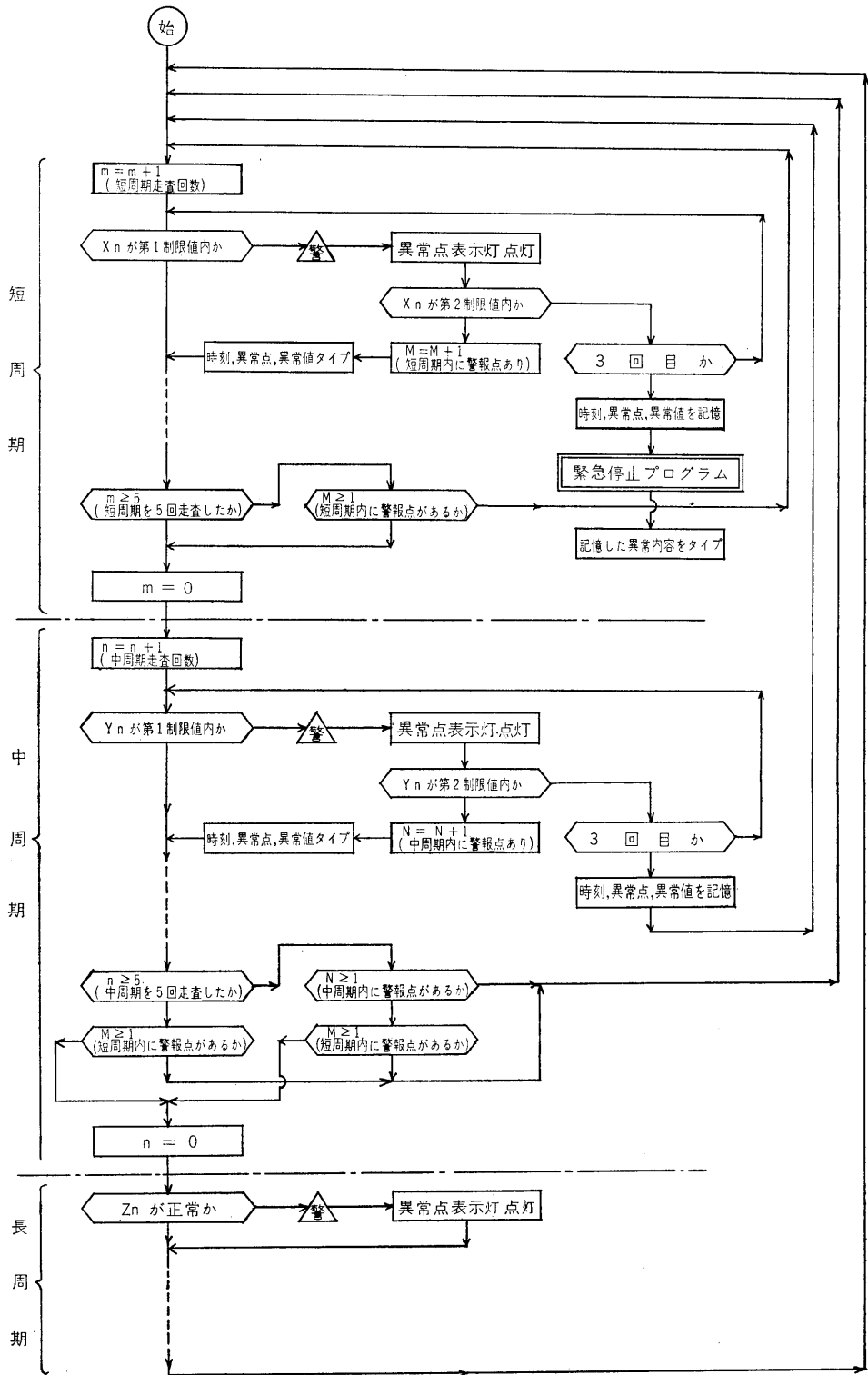


図 3.24 監視プログラム

3.3 停止プログラム

3.3.1 通常停止プログラム

通常停止プログラムに入ると、まず、ACCで制御されていた各サーボへの信号ルートを計算機側に切替える。切替は図3.25に示すように計算機からの制御信号空気圧をACC制御信号空気圧に一致させてから行なう。この方法は「給水サーボACC自動切替えプログラム」のところで述べたのと同様である。

各サーボを計算機側に切替えた直後に、出口圧力、温度等が異常な場合には直ちに「緊急停止」する。

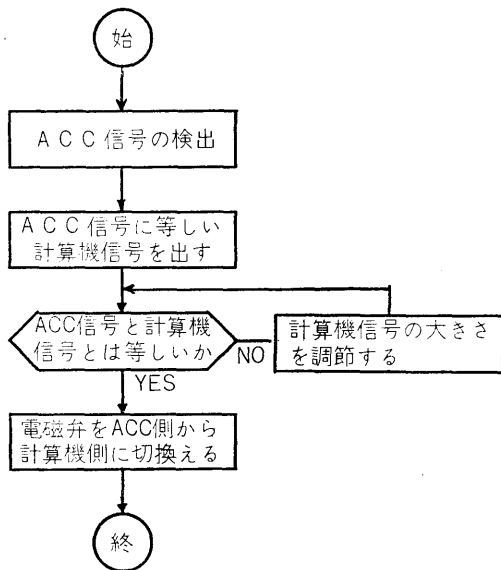


図 3.25 計算機制御自動切替えプログラム

計算機側に切替え後、ボイラが安定ならば、出口温度が $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ より早く下らないようにしながら燃料流量を減らして出口温度を 300°C まで下げ、燃料を重油から軽油に切替えたのち2分間待ってから燃料を停止して消火する。

給水ポンプはボイラの附属回路によって消火後30秒間はそのまま給水を行い、その後自動的に停止する。

給水ポンプ停止後に各補機の動力電源を順次停止してプログラムを終る。通常停止プログラム、緊急停止プログラムの両方とも直ちに再起動できるように各操作端はリセットされる。通常停止プログラムは図3.26に示してある。

3.3.2 緊急停止プログラム

緊急停止の場合には、直ちに燃料、給水を停止してから各サーボをACCから計算機側に切替える。但し、大気放出弁サーボはACCのままにして圧力保持を行なう。その後は各動力電源を順次に停止する。

制御系統Iの時に緊急停止する場合に、燃料を停止すると出口蒸気圧力が急激に下るので出口蒸気圧力を一定に保つACCによって給水流量は急激に増加するが、燃料停止後直ちに給水も停止すれば危険はない。このプログラムは図3.26に示してある。

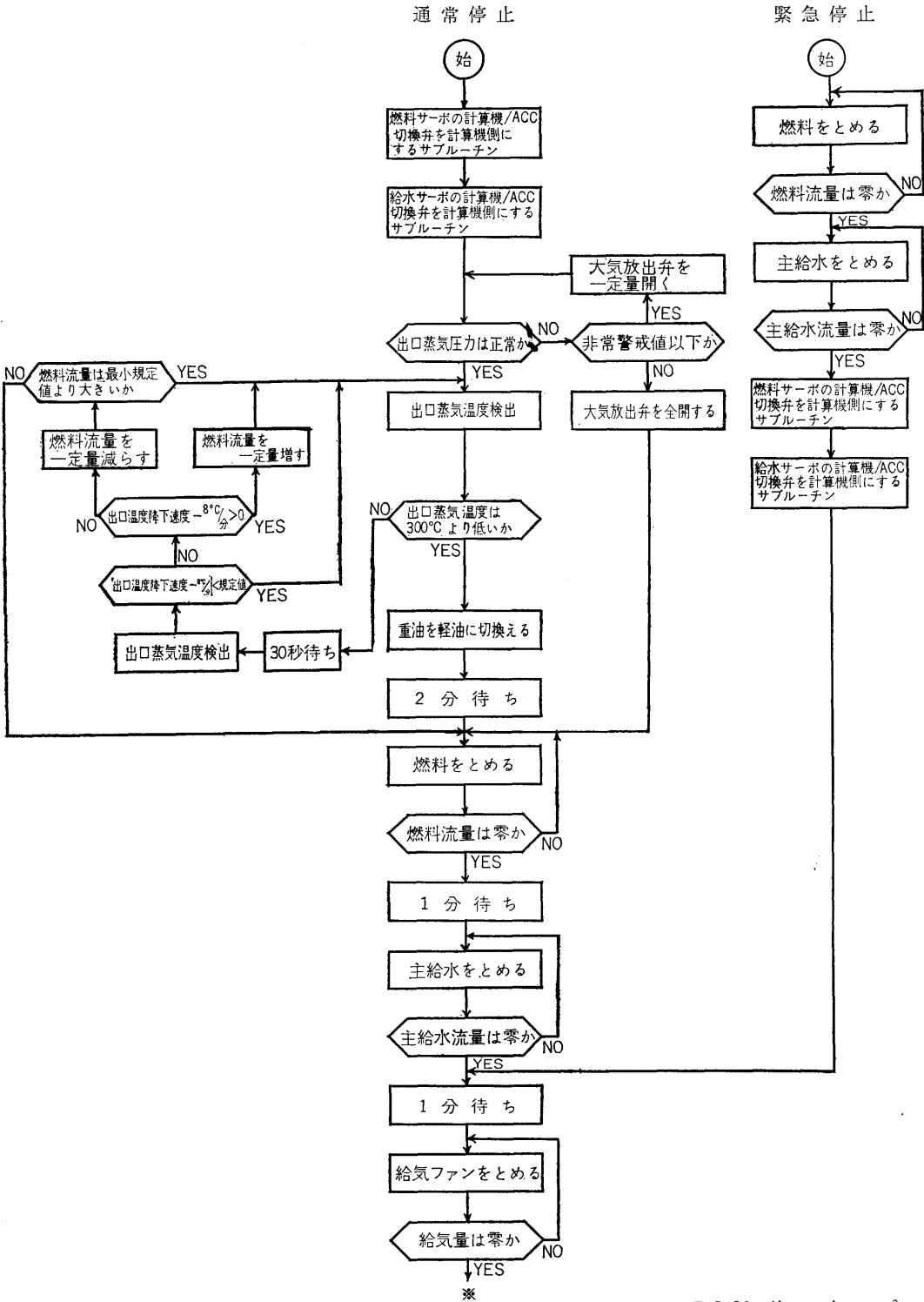
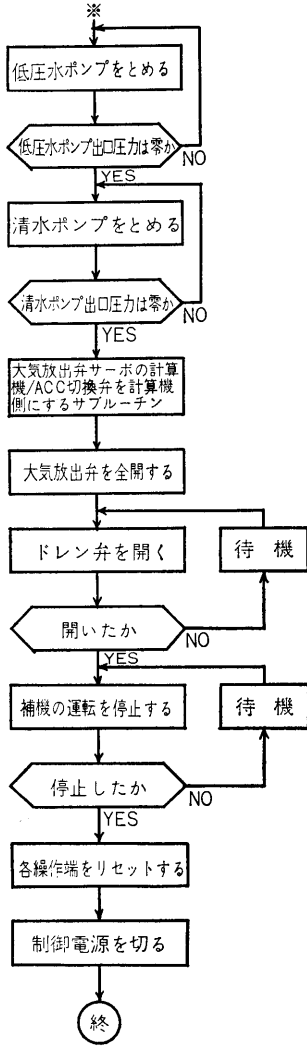


図 3.26 停 止 プ



ロ グ ラ ム

4. 実 験

4.1 起動プログラム

点火前のシーケンシャルなプログラムの部分は、計算機の入出力ともに ON-OFF のものが大部分であるため問題も少なく満足な結果を得た。

給水流量を零から規定値まで上げてゆく部分は手動よりも滑らかに上げてゆくことができた。(図4.1参照) 零

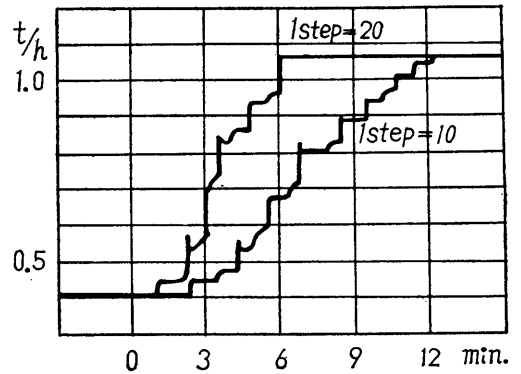


図4.1 起動プログラムにおける給水上昇の例
ステップ間の待ち時間を5秒まで短くして規定値に達するまでの時間を1分程度まで短くできる。

点火後各サーボを ACC に切替える部分は ACC の設定値を出口圧力 40kg/cm²、出口温度450°Cで行なった。大気放出弁サーボを ACC に切替える実験例を図4.2、図4.3に示す。図4.2は切換え方式 I の場合、図4.3は切換え方式 III の場合である。

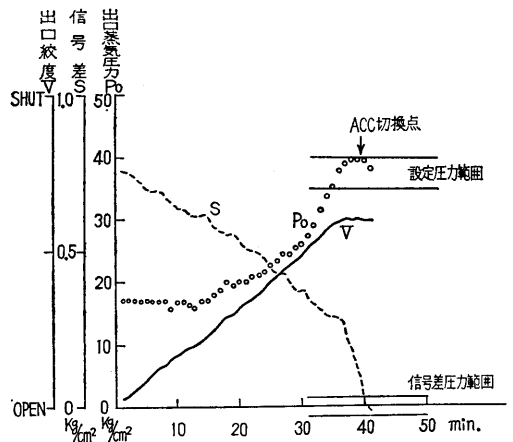


図 4.2 大気放出弁サーボ自動切換え実験例(1)

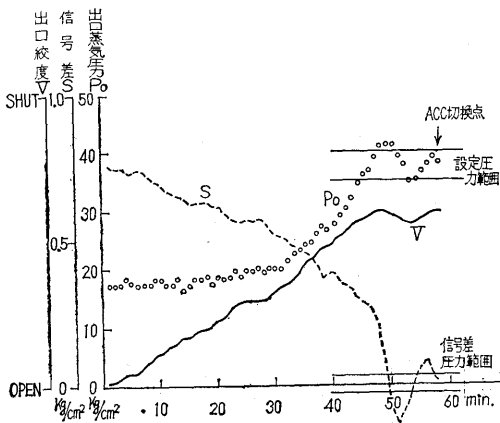


図 4.3 大気放出弁サーボ自動切替え実験例(2)

切替え方式 I は切替え条件が 2 つあるために図 4.3 の如く切替えまでにハンチングを起しやすい。これを防ぐには圧力設定範囲を適当に広くし、操作周期を短くすればよい。

切替え方式 III はハンチングを起さずに滑らかに ACC に切替える事ができた。

なお、これらの実験は安全のためサーボの開閉リミッタを小さくして（デジタル量で 20）行なった。

4.2 監視プログラム

このプログラムは、ACC によって定常運転中のボイラが危険状態に陥らないように監視するものであるから、定常状態における諸量は ACC に付属しているアナログ型記録計に記録させ、プログラム自体はデータロガーの機能はもたない。

実行に当って問題は少なかったが、ボイラ運転中もとても長い時間たずさわっているプログラムであり、異常時には確実に警報または緊急停止プログラムに飛ばなければならないのでできるだけ単純なプログラムが望ましい。監視をするということに限るならば、監視点の数は今回の実験で設けたほほ多くを必要としない。プログラムの簡略化という点からも必要最小限にすべきだった。また、異常点の処理という問題では相互影響があるから独立した事故処理プログラムを作らなければならないが、単独操作の可能な点の異常に対する復旧操作は監視プログラムに含めるべきであった。

4.3 停止プログラム

通常停止プログラム中、各サーボを計算機に切替え

る条件は、計算機からの信号を ACC のそれと同じにするだけでよく、信号差を縮める操作の部分も操作周期に制限がないため、早く滑らかに切替える事ができ、全体にスムーズに停止することができた。

緊急停止の場合は、敏速、確実な動作を要求されるが、燃料系統を停止してバーナを消火さえすれば後は既設のボイラ安全回路がプログラムと並行に働いて給水、給気等を止めてしまうので信頼度は高い。

計算機の on-line 制御実験は小数回の実験成功の結果だけでは多くの結論を出すことはできぬが、現在の装置でも on-line の計算機によるボイラの自動発停をスムーズに行なうことができた。将来、長時間使用に耐える信頼度の高い制御用計算機、機器、測定器の開発に伴って、制御プログラムはより単純化する事ができると考えられる。

5. 結 言

以上、蒸気機関のデジタル計算機による完全自動化のうち、貫流テストボイラのデジタル計算機による自動発停と自動全負荷運転について述べた。

制御用計算機により、貫流テストボイラを次のように運転する制御プログラムが作られ、実験により安全に発停、運転および監視ができることが確かめられた。

- 1) ボイラを停止状態から点火準備完了状態にまで各補機類をチェックしながら運転する。
 - 2) 点火後、出口温度上昇速度を監視制御しながら定常出力状態にまで運転する。
 - 3) 大気放出弁、燃料、給水の各サーボをもっとも衝撃の少ない方法で ACC ルートに切替える。
 - 4) 定常運転中のボイラ各部の状態を重要度に応じた周期で常に監視し、異常があれば異常の程度によって警報を出すか、または、直ちにボイラを緊急停止する。
 - 5) 各サーボを ACC ルートからはずし、定常出力状態から出口温度下降速度を監視制御しながら、出力を下げ消火、停止状態まで運転する。
- 終りに今回のプログラム作製、実験を通じて気付いた点を述べる。

(制御用計算機について)

制御用計算機の信頼性が、この種の制御の成否、実用化難易の鍵である。もちろん、実用段階では制御プログラムを固定して組込んだ単能計算機の型になると

思うが、外部雑音、電源不安定、周囲の温度変化、等の原因により記憶や制御プログラムの乱されないものが望ましい。その他計算機に望むことは、

1) 計算機の出力であるデジタルアナログ変換器、ON-OFF 出力のリレーは動作の確認を計算機内部が行なえるようになっていること。

2) リレー出力は同一動作をする複数個を一組にして作動の確度が高まっていること。

3) タイプライタ等の周辺装置は長時間連続使用（連続100時間以上）にたえること。

4) 制御用にのみ使用するならば1語の長さは16ビット程度で十分であるが、演算速度は乗除1ms、入力信号走査読込時間は1print/ms位早くないと規模の大きなプラントは制御しきれない。

（検出器、操作器について）

計算機制御には多数の検出器、操作器が人手を離れて使用されるため各機器の故障出現率は極めて低くなければならない。特に長時間連続使用にたえること、調節、保守が不要のものが望まれる。また計算機に便利な機器、例えば、弁位置を示すマイクロスイッチを内臓型の電磁弁、弁開度を電気量で示す装置のついた操作弁、特にデジタル検出器、デジタル操作器の開発が望ましい。

（制御プログラムについて）

今回のプログラムには含まれていなかったが、ボイラのスタート前に各検出器、操作器、増巾器等のチェックをするプログラム、制御プログラムをチェックするプログラムを入れるべきであった。またできれば各制御プログラムを3重に作り、各命令実行前に3者比較をするプログラムも考えられる。しかし、制御プログラムはできうるならば単純な方がのぞましいのであって、そのためにボイラのACCシステムも初めから計算機制御に便利のように設計すれば簡単になる余地がある。

今後、蒸気機関の計算機制御は自動起動、停止、監視のみでなく、更に効率制御、ACCシステムに代る直接デジタル制御、各機器異常時の自動処理等と併用して初めてその真価が現われ、また経済性の面からも成り立つものと思われる。

終りに、終始御指導下さった寺野寿郎氏（東京工業大学教授）一色尚次氏（東京工業大学教授）に対して、深く感謝の意を表す。