

JAERI-M

5 8 4 4

OWL-Oの計算機制御開発

1974年9月

材料試験炉部 照射2課

原子炉工学部 原子炉制御研究室

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）まで、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

OWL-0の計算機制御開発

日本原子力研究所

大洗研究所 材料試験炉部 照射第2課

東海研究所 原子炉工学部 原子炉制御研究室

(1974年8月22日受理)

将来の動力炉プラントの計算機制御開発の基礎として、OWL-0の計算機制御化が試みられた。そこでこのシステムに関する設計基準、動特性と制御パラメータ、運転制御ソフトウェア、異常時処置、オンライン特性計算およびオペレータコンソール機能等について詳述し、さらにシステム信頼度を含めた試験運転の結果とその評価を記し、今後の課題について論じた。

JAERI-M 5844

Technical Development of Computer Control of OWL-0

Irradiation Section II, Division of JMTR Project
Oarai, JAERI

and

Reactor Control Laboratory, Division of Nuclear Engineering
Tokai, JAERI

(Received August 22, 1974)

The computerized operation system of the OWL-0 (Oarai Water Test Loop -0) has been developed for the basic study of computer control of power reactors in future. Design criteria on computerization, dynamic analysis and control parameter survey, hardware and software system design, and treatment of malfunctions are described in detail. The results of the system operation tests are given, and the problems encountered throughout the work are also discussed.

本業務は材料試験炉部照射第2課と原子炉工学部原子炉制御研究室との協力で、下記の様な分担のもとに遂行された。

計画遂行の総括	野村(末)*, 佐藤(雅)**, 青山
システム設計ならびに試験の総括	原, 环
OWL-0改造, シーケンス実験	环, 猿田, 米川, 北島, 藤井
動特性解析と実験	萬金, 野村(靖), 藤井
オンラインデータ収録	藤井, 原
オンライン特性計算	野村(靖), 萬金, 原,
起動停止制御	北島, 猿田
定常制御	北島, 原
モード変更制御	北島, 环, 猿田, 米川
異常時処置	米川, 环, 猿田, 藤井, 原
オペレータコンソール機能	藤井, 米川
ハードウェアシステム設計	藤井
運転試験	环, 藤井, 米川

また本報告書の執筆分担は次の通りである。

1章	原	8章	藤井, 米川
2章	原, 米川	9章	米川, 北島
3章	萬金	10章	藤井, 米川
4章	环, 猿田	11章	藤井, 米川
5章	藤井, 米川	12章	原
6章	藤井		
7章	野村(靖), 原	編集:	原

*) 現在, 燃料工学部長

**) 現在, 材料試験炉部原子炉第1課長

目 次

略語表	1
1. はじめに	2
2. 計算機制御化の設計基準	2
3. 動特性と制御パラメータ	4
4. 計算機制御化のための改造とシーケンスの実験	19
5. 運転制御ソフトウェア	21
6. データ収集・監視ソフトウェア	44
7. オンライン特性計算	56
8. オペレータコンソール機能	66
9. 異常時の処置システム	74
10. ハードウェアシステムの構成	87
11. 試験結果	95
12. おわりに	118
謝 辞	119
参考資料	120
Appendix A. OWL-0 フローシート	123
" B. センサー、制御機器リスト	125
" C. 計算機入出力信号リスト	127
" D. 計算機ハードウェア主要性能	131
" E. オペレータコンソールのキイファンクション	135
" F. オンライン特性計算項目リスト	140
" G. 管理プログラム SMERT の概要	144

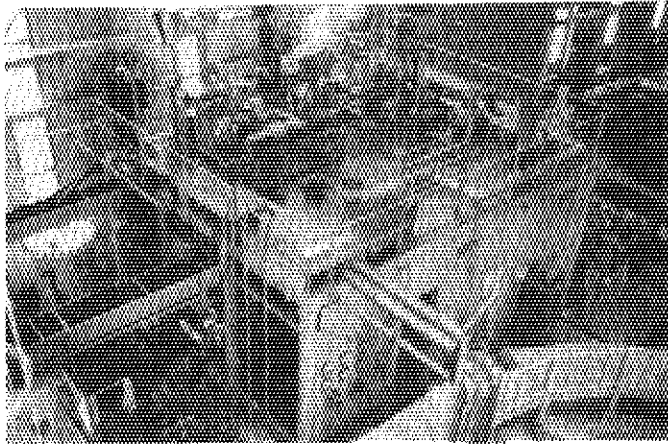


Fig. 1-1 OWL-0

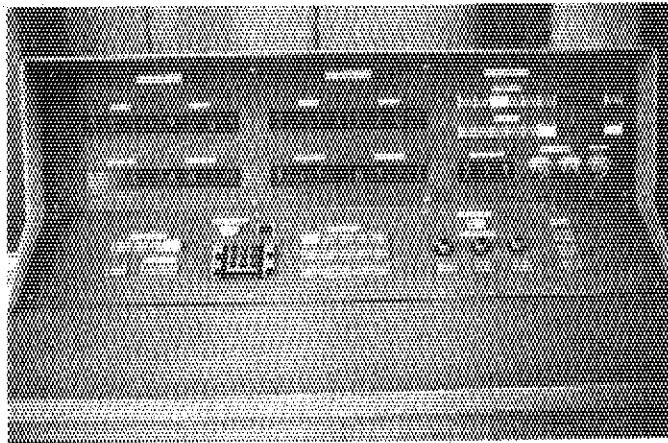


Fig. 1-2 Operator Console

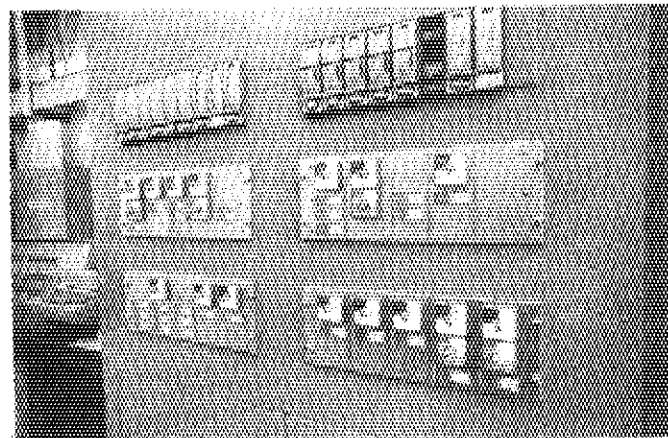


Fig. 1-3 DDC-Backup Station

略語表

A D C	: アナログ→デジタル変換
B モード	: 沸騰水型運転モード
B U	: バックアップ
C A S	: Computer Automatic Station
C I S	: Computer Interface Station
C M R	: Common Mode Rejection
C M S	: Computer Manual Station
C P U	: 中央処理装置
C v 値	: 弁の容量係数
D A C	: デジタル→アナログ変換
D A S	: データ収録システム
D D C	: Direct Digital Control
D M A	: Direct Memory Access
I / O	: Input / Output
J M T R	: 材料試験炉
M G	: Motor Generator
M P X	: マルチプレクサ
M T B F	: 平均故障時間間隔
O C S	: On-off Control Station
O W L - 0	: Oarai Water Loop No. 0 (炉外水ループ)
P C 値	: 特性計算値
P I C	: プロセス入出力装置
P モード	: 加圧水型運転モード
P V 値	: プロセス変量
R B S	: Relay Back up Station
SEQ. No	: シーケンス番号
S M E R T	: Small Multiprogramming Executive for Real Time (使用した管理プログラムの名称)
S P 値	: 設定値
Tag No	: プロセス入出力信号の番号
T L	: Time Limit
T F	: フィルタ時定数
T s	: サンプリング間隔
T / S	: OWL-0 のテストセクション
U C L	: Utility Cooling Line (3次冷却水として使用)
V P 値	: 弁開度

1. はじめに

1960年代のプロセスコンピュータ技術の著しい進展に伴って、それ以前はもっぱらプラントのデータ処理ないし監視的な利用のために採用されていたコンピュータが、次第に運転制御の面にまでとり入れられるようになってきた。

しかし原子力プラントにおける利用は未だ多くが監視面での利用で、コンピュータによる商用動力炉の直接的な制御の実施例は英仏加国の数例で、それも部分的な利用に止まっている。我国においても研究炉での試験的な試みを除くとこの種の例は皆無であり、その計画すら挙げられていない。しかしながら対象となる原子炉プラントの工学的諸問題も漸次解決し、いわゆる"実証済み"なものになるにつれて、当然それらの運転の自動化が広くすすめられることは明らかである。

そこで材料試験炉部においては、JMTRの照射試験ループの構成が商用動力炉のプラント構成に比較的類似している点に着目し、商用動力炉プラントの計算機制御化の前段階として、炉内照射ループの計算機制御化を計画し、さらにその実証段階として炉外ループ(OWL-0)の計算機制御化をとりあげ、全自動化における技術的な問題点の解決と信頼性の実証を試みることになった。

これについて本報告書では、OWL-0の概要と計算機制御化の設計基準、動特性、計算機制御に関するソフトウェア、オンライン特性計算方式、異常対策、オペレータコンソール機能、ハードウェアシステム等の一連のシステム設計の内容とハードウェア構成、試験運転の結果等について逐次述べ、将来の炉内照射ループの計算機制御開発の資料とする。

2. 計算機制御化の設計基準

2.1 OWL-0の概要

OWL-0 (Oarai Water Loop-60)は、JMTRの炉内照射ループOWL-1のモックアップ試験装置として製作された。OWL-1は我が国ではじめて設置されるインパイルの加圧水、沸騰水兼用のループであり、技術的に未知の点が多い。従って本体に先立って、その設計製作上の問題点ならびに運転操作上の技術開発をすすめるべく、この炉外テストループが設置された。

主要構成はAppendix-Aに示す通りで、一次循環ループにおける右のテストセクション(試料試験部)が100kw電気加熱のもとに加圧水または沸騰水状態に保たれる。その除熱はスプレー水系(圧力調節系)と主冷却器で行なわれ、これが2次循環ループを介して3次系に放出される。その主要定格運転条件をTable 2-1に示す。

2.2 制御基準、および計算機制御化の方針

(1) 制御基準

1. はじめに

1960年代のプロセスコンピュータ技術の著しい進展に伴って、それ以前はもっぱらプラントのデータ処理ないし監視的な利用のために採用されていたコンピュータが、次第に運転制御の面にまでとり入れられるようになってきた。

しかし原子力プラントにおける利用は未だ多くが監視面での利用で、コンピュータによる商用動力炉の直接的な制御の実施例は英仏加国の数例で、それも部分的な利用に止まっている。我国においても研究炉での試験的な試みを除くとこの種の例は皆無であり、その計画すら挙げられていない。しかしながら対象となる原子炉プラントの工学的諸問題も漸次解決し、いわゆる「実証済み」なものになるにつれて、当然それらの運転の自動化が広くすすめられることは明らかである。

そこで材料試験炉部においては、JMTRの照射試験ループの構成が商用動力炉のプラント構成に比較的類似している点に着目し、商用動力炉プラントの計算機制御化の前段階として、炉内照射ループの計算機制御化を計画し、さらにその実証段階として炉外ループ(OWL-0)の計算機制御化をとりあげ、全自動化における技術的な問題点の解決と信頼性の実証を試みることになった。

これについて本報告書では、OWL-0の概要と計算機制御化の設計基準、動特性、計算機制御に関するソフトウェア、オンライン特性計算方式、異常対策、オペレータコンソール機能、ハードウェアシステム等の一連のシステム設計の内容とハードウェア構成、試験運転の結果等について逐次述べ、将来の炉内照射ループの計算機制御開発の資料とする。

2. 計算機制御化の設計基準

2.1 OWL-0の概要

OWL-0(Oarai Water Loop-60)は、JMTRの炉内照射ループOWL-1のモックアップ試験装置として製作された。OWL-1は我が国ではじめて設置されるインパイルの加圧水、沸騰水兼用のループであり、技術的に未知の点が多い。従って本体に先立って、その設計製作上の問題点ならびに運転操作上の技術開発をすすめるべく、この炉外テストループが設置された。

主要構成はAppendix-Aに示す通りで、一次循環ループにおける右のテストセクション(試料試験部)が100kw電気加熱のもとに加圧水または沸騰水状態に保たれる。その除熱はスプレー水系(圧力調節系)と主冷却器で行なわれ、これが2次循環ループを介して3次系に放出される。その主要定格運転条件をTable 2-1に示す。

2.2 制御基準、および計算機制御化の方針

(1) 制御基準

OWL-0の制御基準は照射機能の面と安全性確保の面から次のように定められる。

照射機能の面からはテストセクション部の温度、圧力、流量、(Bモードの場合には蒸気の乾き度)をそれぞれ所定の値に保つこと。

安全性の面からは①系の圧力とポンプ・サブクールを確保して配管内の沸騰を防止すること。②圧力の激変を防ぐためサージタンク水位を一定に保つこと。

(2) 計算機制御化の方針

上記の制御基準に即した計算機制御システムの適用に際しては、次の方針を定めた。

- (i) 全自動化の範囲は起動～停止制御の間とし、起動前点検ならびに停止後点検はコンピュータによる指示(点検ならびに機器操作)にとどめた。これは点検ならびに操作頻度が比較的少ないことと、対応する多数のセンサーならびに機器の自動化が高価になるからに他ならない。
- (ii) 制御の形態はいわゆるDDCとするが、当面は従来のアナログ制御サブループをデジタル化する方向ですすめる。これは系の許容温度変化率が小さいため、過渡時の制御においても定常制御ループを目標値変更の形で使用しうると考えられるからである。
- (iii) OWL-0の最終的な安全保護機能はコンピュータシステムから独立した安全系に依存させる。
- (iv) 異常が検出された時の処置にはいくつかのレベルを設けるが、いずれの場合にもオペレータの判断を加えられるようにする。
- (v) コンピュータ異常時の手動運転(バックアップ運転)から、異常修理後の計算機制御への復帰は容易で確実に実施されるような方式構成とする。

Table 2-1 Standard Operating Parameters of OWL-0

運転モード	Pモード	Bモード
圧力 kg/cm ²	150	115
温度 °C	320	
加熱 kw	100	
乾き度 %		20
流量 kg/m	60	24

3. 動特性解析と制御パラメータ

3.1 動特性解析の前提

(1) 考え方

(i) OWL-0についての簡単な集中定数形・線形の動特性モデルを作成し、プロセスを幾度も運転することなしに、プロセスに組み込まれた状態では不明の各部、及び各主要機器の個百特性を把握する。

(ii) 主要な外乱に対して系がどのような応答を示すかを調べると共に、系の安定な運転に適した制御方式を、以前なされていた制御系を考慮しながら決定する。

(iii) 簡単な制御系（PID制御方式）を設定し、その持つべき特性、パラメータを決定する。又、サンプリング制御を行なう場合に、以前のアナログ制御系とどのような特性の相違があるかを把握する。

(iv) 更に、将来適応制御方式、最適制御方式を求めめるために、モデルの簡略化を進めると共に、簡略化されたモデルの妥当性を実験によって確認する。

又、以上の問題解決のためのシミュレーション、及び実験は、ステップ入力に対する応答の形で比較検討した。これは全系が数学モデルで20次以上の多変数で示されるために周波数応答の整理が煩雑になり、各変数の応答性、感度及び相互干渉性の把握をより容易にするためと、設計、実験時には機器の改造が終了しておらず、入力信号としてステップに近い過渡信号以外の正弦波、ランダムパルス、バイナリ信号等の入力ができない上、充分な検出出力信号が得られなかった為である。

(2) 仮定

動特性解析範囲はループの一次系にとどめ、主熱交換器、コンデンサー系熱交換器の二次御冷却系については入口の温度、流量等を一次系への外乱として解析し、二次系自体の動特性は除外した。この場合、OWL-0の構成はFig. 3-1に示すように簡略化して考え、全体を20個の領域に分割し、以下の仮定に基づいて動特性方程式を誘導した。

- ① 各系、機器は全て集中定数系、線形近似モデルとした。
- ② ポンプ、バルブ等の動特性は簡単に遅れなしのゲイン項だけで表わした。
- ③ 配管からの熱損は考慮しなかった。
- ④ 2相流部においては質量収支、エネルギー収支、運動量収支を考え、エネルギー収支は次に示す式の形で表わした。又、内部エネルギーの変化を考える際に、

$$Q - W(h_{out} - h_{in}) = \frac{d}{dt} (\text{全内部エネルギー})$$

Q; 入熱量, W; 流量, h; エンタルピー, t; 時間

次式において右辺第二項の変化を考慮しなかった。

$$\text{内部エネルギー} - u = \text{エンタルピー} - h - \xi p v$$

ξ ; 仕事の熱当量, v ; 比容積, p ; 圧力

運動量収支式については Martinelli の式より圧力損失を計算した。

$$\begin{array}{l} \text{二相流部} \\ \text{圧力損失} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Martinelli 係数} \\ \text{のつった摩擦圧損失} \end{array} + \begin{array}{l} \text{加速損失} \\ \text{+ 静頭圧損失} \end{array}$$

④の加速損失 = 沸騰領域に於ける沸騰による加速損失

+ 非沸騰領域に於ける密度変化による加速損失

⑤ 単相流部においては運動量収支とエネルギー収支を考え、運動量収支は各部について同じ形である。

$$\Delta P = \frac{1}{A} \cdot \frac{dW}{dt} + \frac{2f\ell}{DA^2\rho} W^2 + \rho g y, \quad VA\rho = W$$

ΔP ; 圧損, ρ ; 密度, ℓ ; 長さ, V ; 流速, W ; 流量

f ; friction factor, y ; 垂直方向長さ, A ; 断面積

エネルギー収支については④項で示した式と同様であるが外から加熱されていない部分については一次遅れ近似式を用いた。

⑥ セパレータ, ジェットコンデンサー, サージタンクにおける凝縮についての式は同一で次式で表わした。

$$W_c = HA(h_f - h_e)$$

W_c ; 凝縮流量, H ; 熱伝達係数に基づく定数

A ; 断面積, h_f ; 飽和水エンタルピー, h_e ; 分離器又は

凝縮器のウェル中の水のエンタルピー

又、ウェル中のボイドは考慮せず、 h_e と h_f の関係は $h_e = h_f$ でフラッシング量を考慮し、フラッシングによるエネルギーの収支によって $h_e < h_f$ であるとした。

⑦ ジェットコンデンサーにおけるスプレー水の効率については次の様に定義される効率 η を仮定した。

コンデンサー内で成る量の蒸気を毎秒凝縮させるのに必要な水の質量流量を W とすると、 $\eta \cdot W$ は理想的な混合を行なうのに必要なスプレー流量である。この時、この状態が持続すると仮定すればジェットコンデンサー内の水は飽和である。従ってスプレー水に関する効率式を次式のように定めた。

$$\eta W_{20} h_{20} + W_{cg} h_g = (\eta W_{20} + W_{cg}) \cdot h_f$$

⑧ ループ水に対する電気ヒータからの入熱については、計算機の容量上、遅れ要素なし均一加熱速度の一点近似とした。

⑨ 熱交換器の動特性方程式としては、中間壁の熱容量を考慮しないで、過渡特性補償用の一次遅れを用いた3点近似式を使い、遅れ時間は流速をもとに計算した。又、熱伝達率など全ての伝熱面諸定数は一定であるとし外部への熱損は考慮しなかった。

⑩ 各部のアナログ制御特性のシミュレーションスタディにあたっては、プラントを次の2

つのブロックに分割した。

- (A) セパレータ入口からメインクーラ入口まで
- (B) メインクーラ入口からテストセクション入口まで

この2つのブロック化を行なった理由は各部解析結果，及び過去になされた運転データによるものであり，詳細は資料5)に示した。

(11) アナログ制御系のシミュレーションについては従来から用いられている方式のPID制御方式を考え，検出端，操作端の特性は全て一次遅れで近似した。

(12) デジタル制御系のシミュレーションについては位置形と呼ばれる従来のアナログPID方式をそのままデジタル化した下式を用いた。

$$U_0 = K_p [e_n + 1/I_p \cdot \Delta t \cdot \sum_{n=0}^r e_n + I_D \cdot (e_n - e_{n-1}) / \Delta t]$$

(13) 制御系解析を行なうにあたっては(10)項に示した様に2ブロックでモデルを作成したが，更に各ブロックの出入口の状態が実際の運転にできる限り近いものであるように出入口変数の仮定を設けた。又，解析は定値制御の場合，目標値変更制御の場合について行なったが，前者の場合に考えうる外乱としては固有特性解析結果から被制御量に対して最も感度の大きい変数を選定した。詳細は資料20)に示した。

(14) 以上の仮定を用いて誘導した動特性方程式は全て一次の線形近似を行ない，特に飽和水密度 ρ_f ，飽和蒸気密度 ρ_s ，飽和蒸気エンタルピー h_s ，飽和水エンタルピー h_f は全て圧力の関数と仮定し，定常圧力を中心に線形化を行なった。又計算機式を作成する過程においては大部分の変数は各々の定常値で正規化した。

(15) 各部固有特性解析において他量と比較して変化量の少ないもの，感度の低いパラメータは省略した。例えば単相流部の圧力損失の式についてはバルブ圧損失に比較して，摩擦圧損失，加速圧損失の部分の変化が小さいので充分無視できると考えた。又，水の単相流部での圧力変化に基づく水の密度変化については試算において変化の大きい部分，或いは容積の大きさ部分で考慮した。

3.2 動特性方程式

以上の前提のもとに，以下に示す動特性方程式を導出した。ここでは紙数の都合で主要機器に限定して記載した。導出の過程，簡略化，及び配管部や主熱交と同様に導出しうるコンデンサー系熱交についての詳細は資料20)を参照されたい。又記号についてはTable 3-1を参照されたい。

(i) テストセクション部

質量収支

$$W_1 - W_2 = V_T \frac{d}{dt} [(1-b)\rho_f + b\alpha_T\rho_s + b(1-\alpha_T)\rho_f] \quad (3-1)$$

エネルギー収支

$$Q_N + h_1 W_1 - \{ h_f (1 - \chi_2) W_2 + h_s \chi_2 W_2 \} \quad (3-2)$$

$$= V_T \frac{d}{dt} [(1-b) \rho_f h_1 + b \alpha_T \rho_s h_s + b (1 - \alpha_T) \rho_f h_f]$$

運動量収支から圧力損失

$$\Delta P_{ACC} = \frac{1}{gCA^2 \rho_f} \left[\left(\frac{(1 - \chi_2)^2}{(1 - \alpha_T)} + \frac{\chi_2^2 \rho_f}{\alpha_T \rho_s} \right) W_2^2 - W_1^2 \right] \quad (3-3)$$

$$+ \frac{\rho_f \cdot L \cdot U_T^2 \cdot f}{2gCD} \{ 1 + (R-1)b \}$$

ここで、速度 V_T 及び平均速度 \bar{V}_T は

$$V_T = \frac{W_1}{A \rho_f} \cdot \bar{V}_T = \frac{W_1 + W_2}{2A \bar{\rho}_{12}} \quad (3-4)$$

テストセクション内での平均密度を与える式は

$$\bar{\rho}_{12} = \rho_f + \alpha_T (\rho_s - \rho_f) \quad (3-5)$$

出口蒸気含有率 χ_2 とボイド体積率 α_T の関係は

$$\chi_2 = \frac{2 \rho_s}{\rho_f} \cdot \frac{\alpha_T}{1 - \alpha_T} \quad (3-6)$$

テストセクションヒーターの均一加熱速度を仮定すると、沸騰長 b を与える次式がある

$$Q_N (1 - b) = W_1 (h_f - h_1) \quad (3-7)$$

(iii) セパレータ部

全体の質量収支

$$W_3 - W_4 - W_5 = \frac{d}{dt} [(V_s - L_s A_s) \rho_s + L_s A_s \rho_f] \quad (3-8)$$

フラッシング、凝縮を考慮した水質量収支

$$(1 - \chi_3) W_3 + W_C - W_F - W_5 = \frac{d}{dt} [L_s A_s \rho_f] \quad (3-9)$$

エネルギー収支

$$h_f (1 - \chi_3) W_3 + W_C h_s - W_F h_s - W_5 h_s$$

$$= \frac{d}{dt} [L_s A_s \rho_f h_s] \quad (3-10)$$

凝縮に関して

$$W_C = H_s A_s (h_f - h_s) \quad (3-11)$$

更に条件式として

$$h_s > h_f, h_s < h_f \text{ のとき } W_F = 0, h_s = h_f \text{ のとき } W_C = 0$$

$h_s = h_f$ のとき, (2-3)式に $W_C = 0$ を代入し

$$h_f (1 - \chi_3) \cdot W_3 - W_F h_s - W_5 h_f = \frac{d}{dt} [L_s A_s \rho_f h_f] \quad (3-12)$$

(iii) ジェットコンデンサ, サージタンク部

水蒸気部質量収支

$$W_6 - W_{Cj} - W_{Cg} + W_F - W_C = \frac{d}{dt} [\{V_C + V_{ST} - (L_1 A_C + L_2 A_{ST})\} \rho_s] \quad (3-13)$$

ジェットコンデンサ水部質量収支

$$W_{20} + W_{Cg} + W_{Cj} - W_7 = \frac{d}{dt} (L_1 A_C \rho_f) \quad (3-14)$$

サージタンク水部質量収支

$$W_7 + W_C - W_F - W_9 = \frac{d}{dt} (L_2 A_{ST} \rho_f) \quad (3-15)$$

水蒸気部エネルギー収支

$$\begin{aligned} & W_6 h_6 - W_{Cj} h_7 - W_{Cg} h_7 + W_F h_7 - W_C h_7 \\ & = \frac{d}{dt} [\{V_C + V_{ST} - (L_1 A_C + L_2 A_{ST})\} \rho_s h_7] \end{aligned} \quad (3-16)$$

ジェットコンデンサ水部エネルギー収支

$$W_{20} h_{20} + W_{Cg} \cdot h_7 + W_{Cj} \cdot h_7 + W_{Cj} \cdot h_7 - W_7 h_j = \frac{d}{dt} (L_1 A_C \rho_f h_8) \quad (3-17)$$

サージタンク水部エネルギー収支

$$Q_{ST} + W_7 h_j + W_C h_7 - W_F h_7 - W_9 h_8 = \frac{d}{dt} (L_2 A_{ST} \rho_f h_8) \quad (3-18)$$

ドレン水流量圧損について

$$\frac{g}{gC} \rho_f (L_1 - L_2) = \frac{L_7}{gC A_7} \frac{dW_7}{dt} + \frac{f_7 \cdot L_7 \cdot W_7^2}{2gC D_7 \cdot A_7^2 \cdot \rho_f} \quad (3-19)$$

スプレー効率の式

$$\eta \cdot W_{20} h_{20} + W_{Cg} h_8 = (\eta W_{20} + W_{Cg}) h_f \quad (3-20)$$

ジェットコンデンサ-表面凝縮の式

$$W_{Cj} = H_C A_C (h_f - h_j) \quad (3-21)$$

サージタンク表面凝縮の式

$$W_C = H_T A_{ST} (h_f - h_g) \quad (3-22)$$

サージタンク液相表面フラッシング，コンデンスに関する条件式

$$h_f < h_g$$

$$h_f = h_g \cdot W_C = 0 \quad W_F \text{は } h_f = h_g \text{ とした (3-19) 式} \quad (3-23)$$

$$h_f > h_g \cdot W_F = 0 \quad W_C \text{は (3-22) 式を用いる} \quad (3-24)$$

(iv) 主熱交換器

入口，出口における連続から

$$W_{11} = W_{11A} + W_{11B} = W_{12} \quad (3-25)$$

出口台流点におけるエネルギー収支

$$W_{12} \cdot h_{12} = W_{11A} h_{11A} + W_{11B} h_{11B} \quad (3-26)$$

バイパス部エンタルピー一次遅れ

$$h_{11} = \tau_{11B} \frac{dh_{11B}}{dt} + h_{11B} \quad (3-27)$$

エネルギー収支

$$C_{11} M_{11} \frac{dT_{1C}}{dt} = C_{11} W_I (T_{11} - T_{10}) - U_{11} A_{11} (T_{1C} - T_{2C}) \quad (3-28)$$

$$C_{22} M_{22} \frac{dT_{2C}}{dt} = U_{22} A_{22} (T_{1C} - T_{2C}) - C_{22} W_{11} (T_{20} - T_{21}) \quad (3-29)$$

過渡時温度補償用時間遅れの式

$$T_{1C} = \frac{1}{K_I} (T_{12} + T_{13}), \quad T_{2C} = \frac{1}{K_{11}} (T_{22} + T_{23}) \quad (3-30)$$

$$\tau_{M1} \frac{dT_{12}}{dt} + T_{12} = T_{11}, \quad \tau_{M2} \frac{dT_{10}}{dt} + T_{10} = T_{13} \quad (3-31)$$

$$\tau_{M3} \frac{dT_{22}}{dt} + T_{22} = T_{21}, \quad \tau_{M4} \frac{dT_{20}}{dt} + T_{20} = T_{23} \quad (3-32)$$

クーラー内流路，運動量収支から

$$\Delta P_{MC} = \left(\frac{L_{11A}}{g C A_{11A}} \right) \frac{dW_{11A}}{dt} + \frac{L_{11A} W_{11A}^2}{2 g C \rho_f D_{11A} A_{11A}^2} + \frac{g}{g C} \rho_f y_{11A} + \frac{K W_{11A}^2}{A_{V11A}^2} \quad (3-33)$$

バイパス流路，運動量収支から

$$\Delta P_{11} = \left(\frac{L_{11B}}{g C A_{11B}} \right) \frac{dW_{11B}}{dt} + \frac{L_{11B} W_{11B}^2}{2 g C \rho_f D_{11B} A_{11B}^2} + \frac{g}{g C} \rho_f y_{11B} + \frac{K \cdot W_{11B}^2}{A_{V11B}^2} \quad (3-34)$$

連続の式

$$\Delta P_{MC} = \Delta P_{II} \quad (3-35)$$

その他配管部，コンデンサー冷却系も同様の式を導出した。

3.3 解析結果の例

動特性解析・計算機シミュレーションはPACEアナログ計算機，EAIハイブリッド計算機を用いて行なった。対象となるモデルが線形近似をしているため，主にBモード定常運転時の解析を行ない，定常値は1ケースを除いて他の4ケースは実際の運転時における検出値を用いた。解析結果の詳細ならびに実験結果との対比については資料(28)に詳述してあるので，本章では一例としてテストセクションならびに二相流配管部についての解析例を示すにとどめる。

(例) テストセクション，二相流配管部

- i) $Q_N + 10\%$ 変化 - Q_N 変化と同時に $W_2 + 5.0\%$ 変化，80秒で戻る。 α_T は60秒で1.0%まで増加後整定， x_2 は90秒で4.0%に整定する。
- ii) $W_1 + 10\%$ 変化 - W_2 は50秒で1.0%増加後整定， α_T は70秒で-3.5%， x_2 は90秒で-1.3%に整定する。
- iii) $h_1 + 10\%$ 変化 - W_2 は h_1 変化と同時に約2.0%増加，50秒で初期状態にもどる。 α_T は60秒で7.0%に増加， x_2 は70秒で2.5%に増加する。
- iv) $Q_{PH} + 10\%$ 変化 - W_2 は30秒で0.2%まで増加後，110秒で初期状態にもどる。 α_T は100秒で0.2秒で0.2%増加後，わずかの上昇を続ける。 x_2 は120秒で1.0%増加後上昇を続ける。

[考察] h_1 の+10%階段状変化は外乱入力として実際的でないが，T/S部に流量変化と熱変化とどちらが大きい感度を持つかを見る為のもので，応答結果から熱外乱の方が大きい感度を示している。入熱外乱としては Q_N と Q_{PH} のを比較すると， Q_N 変化が大きい感度をもつ。一方， Q_{PH} 変化は長い応答時間を示し， Q_N 外乱が90秒で整定しているのに対し，120秒で上昇中である。これは補助ヒータからT/Sまでの時間遅れのためにT/S部入力として h_1 がランプ状の変化をする為である。二相流配管部については W_2 一定， P_T 一定のいずれの解析においても大きな変化を与えず，本解析の近似範囲内では P_T 変化 $\approx P_2$ 変化， α_T 変化 $\approx \alpha_{23}$ 変化， x_2 変化 $\approx x_3$ 変化とみなし得る事がわかった。

3.4 制御パラメータ

各部制御系の被制御量，検出端については，現在の計算機制御化の第一段階が従来の制御方式の自動化にある事から，従来のアナログ制御系において採用されていた制御方式を用いた。制御操作端については，少しでも改良される事を目的として各部固有特性解析結果から，被制御量の各操作端に対する感度及び応答時間性を検討し，従来の操作端を考慮して決定した。

(1) アナログ制御特性

アナログ制御シミュレーションから求めた各制御ループ定値制御，追値制御，各場合の比較的良いパラメータについてはTable 3-4にまとめた。又各場合の安定限界はゲイン定数をよりよいパラメータに設定した場合の積分時間として求めており，これらを挙げると，セ

パレータ定値制御の場合4.5秒(9.5秒), 設定制御の場合(9.5秒), ジェットコンデンサー圧力定値制御の場合2.8秒(2.8秒), 設定制御の場合(9.0秒), メインクーラー出口温度定値制御の場合0.2秒, 設定制御の場合0.1秒, テストセクション入口温度定値制御の場合0.3秒(0.25秒), 設定制御の場合0.33秒(0.2秒)である。()は関連個所が制御されている場合。))

セパレータ水位制御系—— 良いパラメータを用いた場合の応答性をみるとオーバーシュートなしで整定時間は約60秒である。積分時間を短くするか, ゲイン定数を多くして少しのオーバーシュートを許しても整定時間は大して短くならない。セパレータ水位系に関する限りジェットコンデンサー圧力制御系との相互干渉を見ると, ジェットコンデンサー圧力制御の影響はセパレータ圧力に関連するものの, 出口流量 W_3 の変化がこれを補償している形である。この為, レベルの整定時間を短くするパラメータを選定した場合には出口流量変化が目標値を階段状に5.0%変化した当初10秒間は流量制御弁開度は-15%~20%変化する事になり, バルブ開度の初期状態が50%と仮定すると, 目標値設定変更範囲は12.5%になる。又, この場合のジェットコンデンサー圧力の乱れは0.75%に達する。このようにジェットコンデンサー圧力制御系の影響で, セパレータ水位の整定時間と制御範囲は関連をもっており, このために整定時間を少し長くして制御範囲を大きく取っておく事が望ましい。

ジェットコンデンサー圧力制御系—— 比較的良いパラメータを用いた場合の5%目標値設定変更応答を見ると, 圧力の整定時間は約60秒, 行き過ぎ量は約0.5%である。この時水位制御が行なわれているセパレータ部では圧力 P_3 は5%上昇し, 水位も0.5秒の変化を経た後, 正常におちつく。一方, 定値制御を行なっている場合, セパレータに W_3 の+5%の外乱が入ると, 圧力 P_3 の整定時間は同様60秒であるが, セパレータ圧力は約0.4%のドリフトを残し, レベルの整定時間は40秒である。

メインクーラー出口温度制御系—— メインクーラー出口合流点における h_{11B} , h_{11A} の混合における時間遅れを考慮していないためバイパス流路の出口流量及びメインの流量変化は時間遅れなしに直ちに応答し, 一方主流路の出口エンタルピー及びバイパス部の流路の出口エンタルピーはそれぞれ時間遅れを持って応答するため, 系は微分要素的な要素と一次遅れを含みもった形をしており, このため積分要素による補償は効果的であるが, 微分要素による補償は効果がない。又, その応答は初期の行き過ぎが多く, 積分補償を効かせた場合には初期における減衰振動が現われている。又, この振動を避けるならば, 整定時間が非常に長いものになっている。比較的良いパラメータとして採用した応答では, 0.5%目標値設定変更の際に整定時間100秒, 行き過ぎ量約0.04%である。

テストセクション入口温度制御系—— この制御系の特徴は関連個所であるメインクーラーの出口温度制御が非常に強い影響を与える事である。例としてより良いパラメータでもって熱交出口温度が制御されている場合, 同じ設定変更, 或いは同じ外乱に対するT/S入口温度の整定時間が約150秒程度であるのに反し, 熱交出口温度制御がなされていない場合は600秒を要した。

(2) サンプリング制御特性

サンプリング制御シミュレーションにおいて行なった各制御系の制御範囲, 制御整定時間

及びその応答はアナログ制御系の場合に比較して少し劣るものの、アナログ制御系の場合のよりよいパラメータ近傍の値を用い、かつ、サンプリング時間を調節した場合、殆んど同程度の応答性が得られた。よりよいサンプリング制御系のP.Iパラメーター、サンプリング時間の一例をTable 3-3に示す。本解析はアナログ制御系の場合と異り、サンプリング頻度が系に与える影響を考察する事も目的としたので、サンプリング時間もパラメータとし、1制御系、0.01秒から100秒の範囲で1つのP.Iパラメータにつき30CASEの計算を行ない、P.Iパラメータをも変化させて1制御系につき平均800CASEの計算を行なった。計算は全てEAI 680.640により構成されているハイブリッド計算システムにおいてシミュレーションを行ない、プロセス部のシミュレーションはアナログ計算機部で、制御計算部はデジタル計算機部で行ない、サンプリング時間はクロックパルスを基に計算した。各制御系応答の詳細、及びデータは資料20)を参照されたい。Table 3-3に示したよりよいパラメータとは別に、各制御系についての考察を示すと、

セパレータ水位制御系——サンプリング時間を長くした場合、水位はかなりの振動をもつが、ジェットコンデンサー圧力 P_0 、ドレン水エンタルピー h_5 、ドレン水流量は大きな変動を示さず、他の変数への影響は小さく、従ってセパレータレベル制御においては10秒程度の長いサンプリング時間を取る事が可能となる。

ジェットコンデンサー圧力制御系——アナログ制御系の場合に比して最初のオーバーシュートが大きい。これは1サンプルをする時間に比して圧力の応答が速いため、より短いサンプリング時間が望ましい。少くとも5秒以内のサンプリング時間を必要とする。

主熱交出口温度制御系——サンプリング時間を長くした場合においては、1サンプル出力ごとにアナログ制御系で見られたのと同じ出口台流点エンタルピー h_{12} の複雑なピークをもつ応答がサンプリングによってより拡大された形になるので適さないと云える。但し、メインクーラーからテストセクション入口までの配管の時間遅れを経た後のテストセクション入口エンタルピー h_1 の変化でみるならば振動は消滅するのでT/S入口温度制御系として用いる限り、長いサンプリング時間で済むようである。

T/S入口温度制御系——サンプリング時間に対する安定範囲が大きいにもかかわらず、サンプリング時間を短くしても整定時間が長いことである。これは他の制御系に比較して、ヒータ入熱量 Q_{PH} 変化に対するテストセクションエンタルピー h_1 の応答が遅いためである。

(3) 各サンプリング制御系の安定限界について

サンプリング制御シミュレーションにおいて行なった考察の主なものの一つに、ゲイン、積分時間等補償要素とサンプリング時間の関連において求めうる制御の安定範囲の問題である。それぞれをパラメータとした安定限界をFig. 3-2に示す。グラフから考察しうる事は一般にサンプリング時間を長くするとゲイン定数、積分時間の余裕が狭くなることである。限界近くのパラメータを用いる事は制御性は悪く、特にサンプリング時間の長い範囲では減衰振動のため安定であるとはいうものの、この状態で積分時間を少し動かすと直ちに「かけの振動」が表われる応答を示す。安定限界にだけ着目するとアナログ制御系で求めたより良いパラメータで安定といえるサンプリング時間の上限は全制御系について6~8秒である。

各制御系について述べると、セパレータ水位制御系については、アナログ制御系でのよりよいパラメータでサンプリング時間16秒までが安定である。積分要素を25秒とした場合にはゲイン定数をいくら変えてもサンプリング時間30秒が限度である。ジェットコンデンサー圧力制御系については、ゲインを小さくした場合、かなりのサンプリング時間迄許容される。又、サンプリング時間を0.5秒以下にすると積分時間を変えてもゲイン定数の安定限界値は各サンプリング時間で一定になる。メインクーラー温度制御系の特徴はサンプリング時間10秒以内では積分時間を変えてもゲイン定数は同じ値を取る事であり、積分要素で補償される効果が大きい事を示している。又、サンプリング時間7秒近傍で安定度が非常に小さくなる反面、10秒以後に各積分要素に対して安定範囲が二、三のピークをもっている。これは前述した様に、メインクーラー出口台流点における混合効果とメインクーラー自体の時間遅れ、バイパス流路の時間遅れ効果が補償要素とサンプリング時間に干渉しているものと思える。テストセクション入口温度制御系については3つの積分時間パラメータに対する安定限界曲線は同様の形をしており、積分要素よりゲイン定数の効果が大きい事を示している。

3.5 検討結果

固有特性については、定常近傍での運転条件の変更（Bモードを維持した状態での圧力、温度、蒸気含有率の変更）等の制御問題に用いる限り、集中定数系線形化モデルでかなり精度良く特性を表現できる事が実験で裏付けされた。更に、モデルもかなりの部分での簡略化が可能である。例えば二相流配管部は考慮しなくても大巾な応答差はなく、配管のエンタルピー輸送遅れはパイプの熱容量を考慮して、更に分布定数系でモデル化する複雑性を考えると、一次遅れ要素でかなりの近似が可能であった。又、配管部の運動量バランスについても摩擦、加速、水頭圧変化は他の変数の応答に対して無視してさしつかえないことがわかった。反面、絶対に簡略化しえないものとして、サージタンクのように圧力サージの目的を持ち、他の部分の体積に比して大きい容積をもつ機器での圧力変化の際の水表面での凝縮、フラッシング過程はモデルにとり入れなければならないし、実測できぬ値であるから、推定法等を用いるか、パラメータを同定しなければならないであろう。又、全系に感度の大きいバルブ（一次流量バルブ、クーラー関係バルブ、スプレバルブ等）の開度変化に対する各流路系の流動特性は流量の圧力、温度に対する感度が大きいだけに、是否ともモデルに精度良く組み入れる必要がある。又、ヒーターからの入熱については温度差に対する熱伝達式を考慮せず、一次遅れ近似で充分であるものの、この時定数については、ヒーター入口温度変化の場合、入口流量変化の場合、各入力変数の関数として同定しなければならないであろう。モード変更時の過特性、DDC中の制御系故障時のアナログ制御系によるバックアップ等の解析は今回は行なえなかった。これはモデルを定常値近傍で正規化、線形化したことに因るが、実験データ、解析データから推定すると、これらの解析には可変パラメータ線形モデルを用い、各パラメータは同定手法を用いて決定する方法が比較的容易であろう。

制御系解析でとり扱った範囲は線形モデルによる従来の制御方式であるPID補償制御であった。又、制御目的がグループ全体の運転を安定に保つ事に第一目的がおかれ、テストセクショ

ン部の温度、圧力、蒸気条件等を直接に制御する検出端、操作端及び制御系については考慮しなかった。これは従来の運転の自動化を第一段階としてこれの設計に主目的を置いた解析であったからである。各制御系のパラメータはPID制御系を仮定したのでシミュレーションによる格子点探索法により、より最適に近いパラメータを求めた (Table 3-3) が、これは長年にわたって従来のアナログ制御系による運転経験で求められたパラメータ (Table 3-4の()で包んだ値) とかなり近いものであった。定常制御については、モデルが実験とかなり一致していることを考慮すると、計算機プログラムに余裕があれば、検出計不備で検出不可能な状態変数をカルマンフィルタ等を用いて推定し、線形二次形式評価関数を設定してリカッチ型微分方程式定常解から求まるフィードバックゲインを用いる準最適レギュレータ問題として制御則を得る事も容易であろう。

今後の課題としては、照射精度を上げる運転を模擬しうる制御方式、蒸気条件の直接的制御に主目的をおいた制御方式の設計を行ない、その時の定常近傍の運転条件の変更、ループ各所に存在するむだ時間遅れに対する最適な制御則の解析を進めなければならない。

これらの最適制御則の決定においては、大前提としてモデルを用いる方法、モデルを用いないで実際のプロセスから直接にオンラインで同定を行ない適応制御を行なう方法等が考えられるが、後者は計算機速度、計算手法の容量から考えて、オンラインでは当分の間、かなり困難なものとなるだろう。前者の場合も、最短時間問題等、評価関数の形及び制約条件の導入の如何によってはかなり計算が困難となり、非線形の影響を考慮すると容易には求まらないと思われる。³⁰⁾ 従ってむしろ前述した様に、各サブグループでガウス過程、線形二次形式評価関数のレギュレータ問題とし、準最適解を求めた後、制御システム構成を多重レベルで階層的なものとして更に制御性を良くして行く事が考えられる。又、その適用範囲も拡張して、起動、停止、大巾な運転条件の変更、バックアップ時をカバーしうるものに改良してゆかねばならない。

Table 3-1. Nomenclature for the Dynamic Model

<u>Symbol</u>	<u>Description</u>
A1,A2,A3,...	Cross-section of pipes 1,2,3,...
As,Ast,...	Cross-section of Separator,Surgetank,...
Av5,Av10a,...	Control valve v5,v10a,...aperture
α t, α 23,...	Voidage in Testsection,Pipe 2 3,...
b	Fractional boiling length in testsection.
β m, β c,...	Main pump,Condenser loop pump H.Q.coefficient.
γ m, γ c,...	Main pump,Condenser loop pump H.Q.coefficient.
D1,D2,D3 ,...	Pipe 1,2,3,...Diameter.
η	Jetcondenser Spray condence efficiency.
f1,f2,f3,...	Testsection,Pipes friction factor.
g	Acceleration due to gravity
gc	transfer coefficient.
h1,h2,h3,...	Enthalpies of water,steam or mixture.
hf1,hf2,hf3,...	Saturated water enthalpy at point 1,2,3,...
hs1,hs2,hs3,...	Saturated steam enthalpy at point 1,2,3,...
Hs,Hc,Hst,...	Equivalent heat transfer coefficient for surface condensation in Separator,Condenser,Surgetank.
l	Pipe length
Lso,Lco,...	Separpator,Jetcondenser,... length
Ls,Lc,...	Water level in Separator,Jetcondenser,...etc.
Mw,Ms,...	Mass of water or steam.
P1,P2,P3,...	Pressure at point 1,2,3,...
Δ P12, Δ P23,...	Pressure at point 1,2,3,...
Δ Pv5, Δ Pv6,...	Pressure drop across valve
Δ Pmp, Δ Pcp,...	Pressure drop across pump.
Qn,Qst,Qn	Total electrical Tesatsection,Surgetank,Pre-heater heat output
R1,R2,...	Martineili TPF friction multiplier
s	Laplace transformation operator
T11,T11c	Main cooler,Condenser cooler first flow inlet temp.
T1c,T1cc	" " center temp.
T1oc,T1o	" " outlet temp.
T21,T21c	" " second frow inlet temp.
T2o,T2oc	" " outlet temp.
Ut,U12	Mean fluid velocities in TPF section
U11,U12	Main cooler,Condenser cooler heat transfer coefficient
A11,A12	" " heat transfer area
V1,Vs,Vc	Volume of pipes,separator,condenser,...
Vcv	Spray control flow valve
Vsj,Vsm	Separator to jetcondenser,maincooler flow control valve
V10a,V10b	Maincooler and bypass flow control valve.
V18a,V18b	Condensercooler and bypass flow control valve.
V16	Condenser loop flow valve
Vm	Main flow control valve
Wfs,Wft	Mass flow rate of water flashing in separator,condenser.
Wcs,Wc,Wct	Mass flow rate of water surface condensation in separator ,testsection,surgetank.
X2,X3	Steam exit qualities of TPF region
Y12,Y23	Vertical displacement of pipe.
ρ w, ρ s	Saturated water,steam density
ρ 1, ρ 2, ρ 3,...	Meandensities of TPF region
τ	Time constant

Table 3-2 Comparison between Simulations and Experiments

全 応 答 比 較 数	43
変化振巾 (ゲイン) の相違の定常値の1%未満	26
1~5%	14
6~10%	3
10%以上のもの	0
変化、応答の形が異なり比較のできないもの	0
変化の時間性、数定時間の相違が10秒未満	26
11~20秒	6
21~40秒	2
40秒以上のもの	9
応答の形の異なるもの、逆応答で比較不能	0

Table 3-3 Controller Parameters determined from the Simulation Study (Sampled Data Control)

制 御 系	ゲイン	積分時間	サンプリング 時 間
セパレーター水位サンプリング制御	10.0	50 秒	5 秒
ジェットコンデンサー圧力 #	20.0	50 秒	2 秒
メインクーラー出口温度 #	0.5	15 秒	8 秒
テストセクション入口温度 #	0.5	5 秒	2 秒

Table 3-4 Better PID Parameters in Analog Control Loop

	related points are not controlled						related points are controlled					
	Const.V.Control			Variabl.V.Control			Const.V.Control			Variabl.V.Control		
	Gain	Int.	Dif.	Gain	Int.	Dif.	Gain	Int.	Dif.	Gain	Int.	Dif.
Separator water level control	6.0 -8.0	40 -60	0.2 -0.5	-	-	-	(50) 8.0 -10	(180) 50 -100	0.2 -0.5	3.0 -4.0	400 -100	1.0 -2.5
Jet condenser pressure control	10 -20	200 -250	0.2 -0.25	-	-	-	(60) 20 -30	(2700) 200 -250	0.2 -0.25	8.0 -10	250 -300	0.1 -0.2
Main cooler outlet temp. control	20 -50	2.0 -4.0	5.0 -10	10 -40	1.0 -2.5	10 -20	(50) -	(60) -	-	-	-	-
Test section inlet temp. control	0.8 -2.0	1.2 -1.5	20 -60	0.8 -2.0	1.5 -2.5	5.0 -10	(50) 1.0 -4.0	(60) 2.0 -5.0	20 -40	0.5 -2.0	1.5 -2.5	8.0 -20

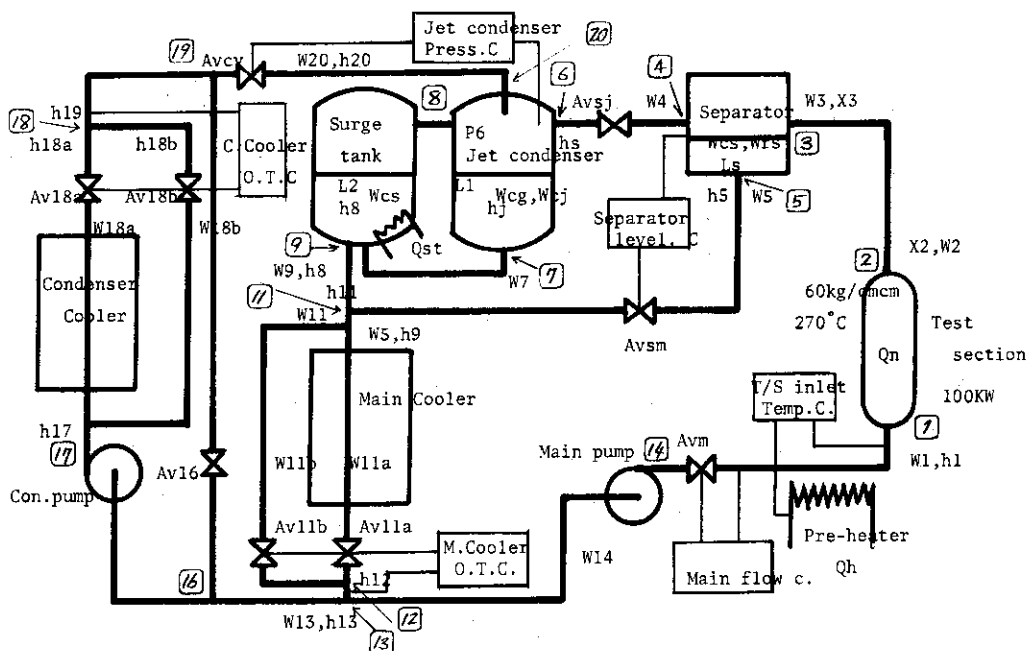
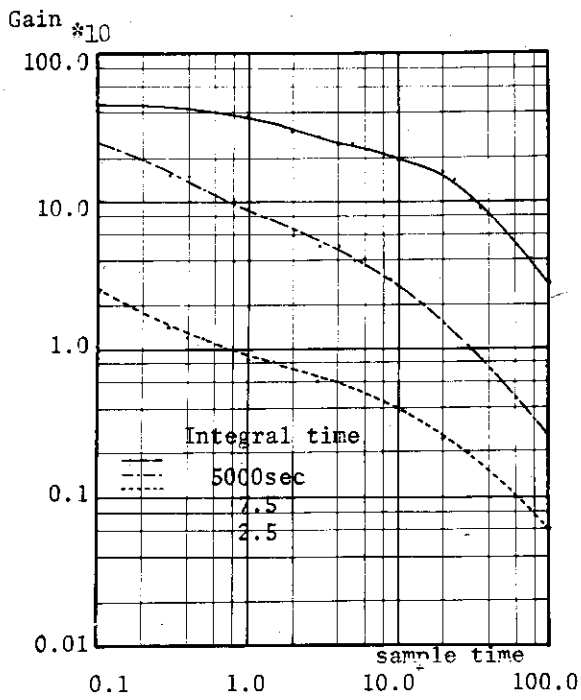
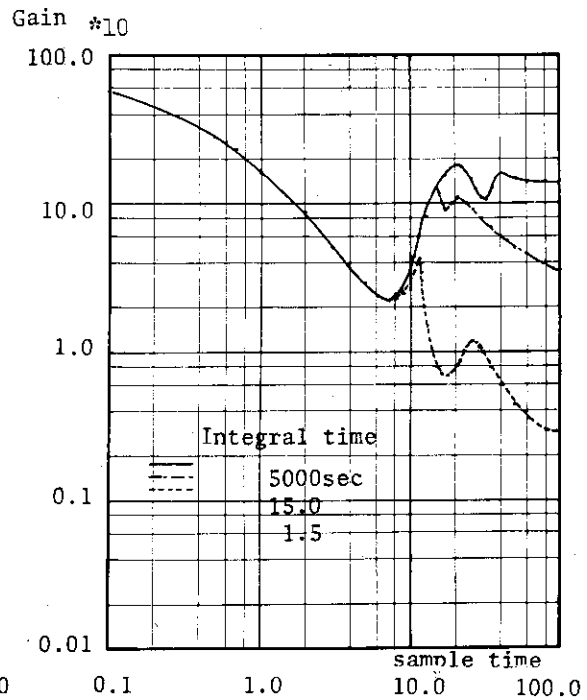


Fig. 3-1 OWL-O Schematic Diagram

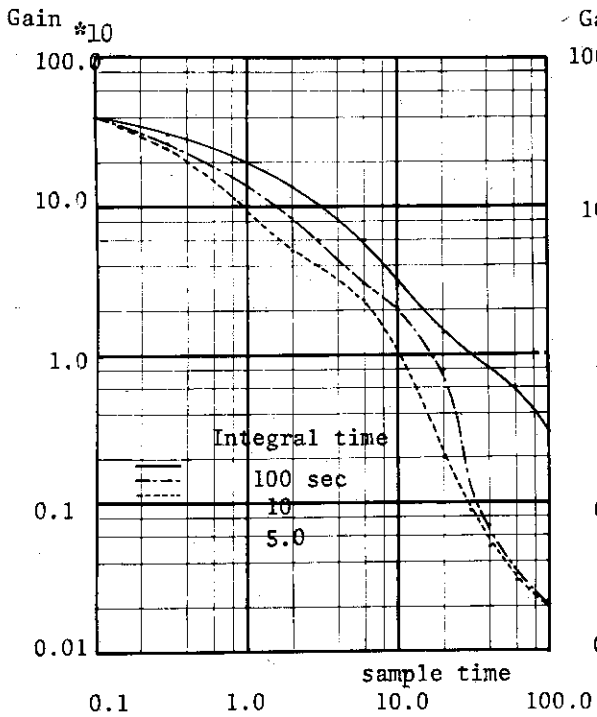
(Numbers in □ indicate divided regions in the math model and are used as subscripts of them)



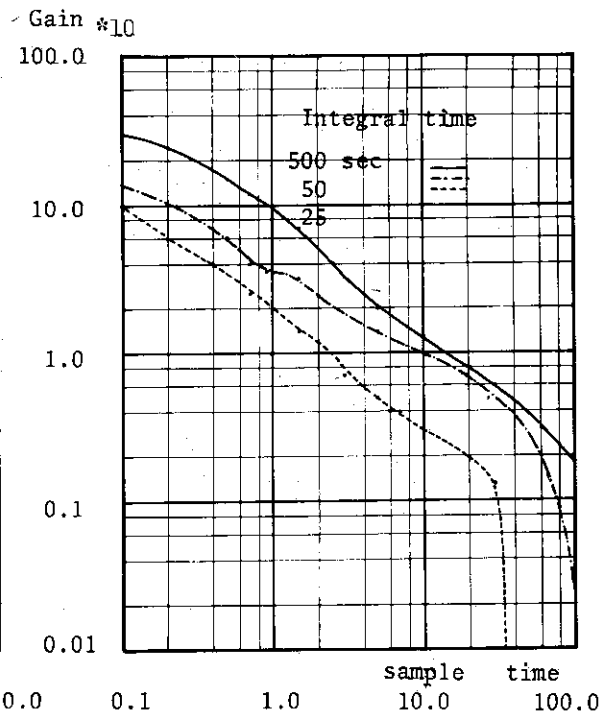
Pre Heater outlet temp. control



Main cooler outlet temp. control



Jet condenser pressure control



Separator water level control

Fig. 3-2 Stable Regions in Sampling Control Sub-systems obtained from Simulation Tests

4. 計算機制御化のための改造および実験

これまでのOWL-0の運転はアナログ系による運転監視および定常制御が行なわれており、定常運転以外はすべてオペレータの運転操作にたよってきた。そこで計算機によるDDC運転の実施にあたりプラントの改造、および定常運転に至るまでの運転制御プログラム作成の資料とするための実験が行なわれた。ここではその概要について述べる。

4.1 OWL-0の改造

計算機制御の実施にあたり、まず最初に考慮しなければならない点は関連するプラント機器の自動化である。ポンプ、ヒータ等は特に問題ないが、バルブは手動弁が多くこれらを空気作動弁、または電動弁に改造する必要があった。OWL-0に使用されているバルブは小型バルブを含めると約150個近くにおよぶ。このため計算機制御化の範囲を定めたいうで、改造を必要とするバルブを選定し、その結果10個の手動弁を空気圧式コントロールバルブと交換し、新たに自動排水弁を追加した。これに伴い一部の配管についても変更がなされた。

さらに計算機への入力信号であるプロセス計測点についても再検討がなされ、温度、圧力、流量などそれぞれ新しく計測点が追加された。特に温度検出端については、検出精度を高めるためこれまで使用されていたクロメル・アルメル熱電対を白金測温抵抗体と交換した。

4.2 特性測定実験

運転制御プログラム、特にシーケンス制御プログラム作成のために、プラント機器の特性、プラント運転法の確立等を主な目的としたプラントの実運転による実験が2回にわたって行なわれた。

第1回目は制御機器単体の特性測定、一次および二次サージタンクの昇温特性など約70項目におよぶ実験が行なわれた。その結果、シーケンス制御プログラムの基礎となるプロセス値の状態変化のデータが得られ、プラントの起動、停止プログラムの詳細が明らかになった。一方、制御機器単体の特性値をもとに、アナログ計算機による動特性解析も、これと並行して進められた。(第3章)

第2回目の実験は、第1回の実験結果をもとに作成された起動、停止シーケンスの確認と、D₁D₂モード変更シーケンスの試験、および定常運転制御の大部分を占める制御サブループの特性を把握すること等を主な目的として、約25項目の実験が行なわれた。その結果、D₁D₂モード変更シーケンスについては、数回の修正を行なった後、プラントによる実運転試験を経て、最終的なプログラムが作成された。制御サブループに関しては、PIDパラメータの評価、制御サブループの応答試験等を行ない貴重な基礎データが得られ、5章に示す運転制御ソフトウェアの基本が定められた。

2回にわたるプラントの実運転試験で行なった実験項目の主なものをTable 4-1に示す。

Table 4-1 Items of Experiments for Control
Sequence Determination

実 験 項 目	実 験 目 的
空気圧式コントロールバルブの動作時間測定	動作チェックに要する時間の測定
空気圧式コントロールバルブの流量特性	バルブ開度，開度変更単位量の決定
一次サージタンクの昇温特性測定	昇温用ヒータ量の決定，シーケンス待ち時間の測定
二次サージタンクの昇温特性測定	昇温用ヒータ量の決定，シーケンス待ち時間の測定
一次系の昇温特性測定	昇温用ヒータ量の決定，昇温方法の確立
二次系の昇温特性測定	二次系の状態確認，昇温方法の確立
一次主冷却器特性測定	制御サブループの応答特性の測定
圧力調節系冷却器特性測定	同 上
二次冷却器特性測定	同 上
一次系の外乱応答特性試験	一次系，二次系の状態確認，制御ループの特性確認
制御サブループの過渡応答試験	同 上
Pモード→Bモード変更試験	モード変更プログラムの妥当性確認
Bモード→Pモード変更試験	同 上

5. 運転制御ソフトウェア

本計画はデジタル計算機による直接的な制御を主目的としており、この見地からソフトウェア全般の設計を行なった。Fig. 5-1にOWL-0計算機制御ソフトウェアの構成を示す。

このソフトウェアはシステム管理プログラムSMERT(Appendix G)を中心に、各種の機能を備えた複数のファンクション・プログラムにより構成されている。これらのファンクション・プログラムは独立にあるいは相互に関連しながら、あらかじめ決められた周期毎に、あるいはプロセスやオペレータからの割込要求などによって実行される。本章においてはこれらのファンクション・プログラムのうちOWL-0運転制御プログラムについて解説する。

運転制御プログラムは起動前点検から停止後点検に至るまでの過渡運転を行なう。いわゆるシーケンス制御プログラムと定常運転を行なう定常制御プログラム(サブループ制御)とに大別される。

5.1 シーケンス制御プログラム

シーケンス制御プログラムは基本的に次の6つの運転区分に分割されている。その運転区分の中にはさらに細かい制御ブロックに分かれており、そのブロックにそれぞれシーケンス番号(SEQ ㉮)が付けられている。OWL-0のシーケンス制御はこのSEQ ㉮を最小単位として、運転区分毎に実行される。

- (a) 起動前点検・操作 (SEQ ㉮ 100~126)
- (b) 起動(昇温) (SEQ ㉮ 200~221)
- (c) P→Bモード変更 (SEQ ㉮ 300~309)
- (d) B→Pモード変更 (SEQ ㉮ 400~403)
- (e) 停止(降温) (SEQ ㉮ 500~509)
- (f) 停止後点検・操作 (SEQ ㉮ 600~609)

各運転区分の終了した時点においては、OWL-0は安定した状態に保持される。即ち起動プログラムの最終はPモード定常に投入され、P→Bモード変更プログラムの最終はBモード定常、B→Pモード変更プログラムの最終はPモード定常状態に投入される。運転区分およびSEQ ㉮の選択やその開始指令はすべてオペレータ・コンソールから行なわれる。

Fig. 5-2~Fig. 5-7に起動前点検から停止後点検に至るまでのシーケンス制御プログラムのブロックダイアグラムを示す。

(I) 起動前点検・操作プログラム

起動前点検区分の完全自動化を図るためには、関連する多くの機器をそれぞれ自動化せねばならず、それに使用頻度も高くないので、本計画では計算機による操作シーケンスの監視、操作を行なうことにとどめている。起動前点検操作のうちで主な項目を次に示す。

- (i) 電源系統, UCL系の点検操作
- (ii) パルプ・チェック
- (iii) ループの張水, 空気抜き

(IV) 水圧試験, 調節弁テスト

これらの起動前点検, 操作は, OWL-0の安全運転を確保する上で欠かすことのできない項目であるが, これらのうちでループの水圧試験は最も重要な項目の一つである。この水圧試験ではループの加圧, 圧力降下率のチェック等をプログラムで自動的に行なっているが, 一部自動化されていないバルブの開閉作業等は計算機からの指令に基づきオペレータが行なう。

点検操作はあらかじめ決められた操作シーケンスに従って, 次に実行すべき操作内容をアラームタイプライタに印字する。オペレータはその指令に従って機器の操作や確認を行ない, "操作完了" (CHECK OK)の信号をオペレータ・コンソールに与える。計算機側で操作や確認のとれるものは, プログラムでその状態をチェックし, 異常がない場合はシーケンスを次に進める。異常のある場合はアラームを発し, 再び"CHECK OK"待ちとなる。このようにして操作シーケンスの監視や指示を行ない, 点検もれの防止や機器動作の良否をチェックしている。起動前点検操作ステップ数は全体で400ステップにおよんでいる。

Fig. 5-8にタイプライタに印字された起動前点検操作指令の一部を示す。

(2) 起動制御プログラム

起動シーケンスで行なっている操作の主なものを次に示す。

- (i) 二次サージタンクの昇温
- (ii) 一次系・二次系バルブの開度設定
- (iii) 一次サージタンクの昇温および水抜き操作
- (iv) 循環ポンプの起動
- (v) 一次系・二次系昇温
- (vi) テストセクションの加熱(原子炉起動の模擬)
- (vii) 全系のPモード定常制御投入

起動シーケンスは二次サージタンクの昇温より開始され, 一次系, 二次系の昇温, 昇圧動作を経てPモード定常運転に至るまでの一連の制御ブロックにより構成されている。

プログラムの実行は, SEQ 版をもった運転ブロック毎に行なわれ, そのSEQ 版がオペレータ・コンソール上に表示されるため, オペレータはシーケンスの進行状況を常時確認することができる。

シーケンス・ブロックの中にはかなりの時間を要するものがあるが, 所定の時間内に系の状態が決められた条件に到達しない場合には, アラームを発しシーケンスの進行を中断するようにしている。またポンプやヒータ等の制御機器が正常に動作しなかった場合にもアラームを発する。

このような場合, 運転員は異常の原因を確認し修復すればオペレータ・コンソールよりシーケンスを進めることができる。異常状態が復帰しなければシーケンスを進めることはできない。

一次系の昇温は一次系の温度制御サブループをオンに投入後, そのサブループの目標値変更を決められた速度(+2°C/102sec)で行ない, 安全でかつ効率の良い昇温特性を保たしめる。

OWL-0起動の途中において, 各部の必要な制御サブループが順次オンに投入され, 最終目標値に到達したところでPモード定常となる。

この起動シーケンスの中で作動される制御サブループは次のとおりである。

(i) 二次サージタンク圧力制御サブグループ	サブグループ №	7
(ii) 一次サージタンク水位制御	"	11
(iii) 一次サージタンク圧力制御	"	6
(iv) 一次系主流量制御	"	8
(v) 圧力調節系冷却器出口温度制御	"	3
(vi) 一次主冷却器出口温度制御	"	2
(vii) 二次主冷却器出口温度制御	"	4
(viii) 二次サージタンク水位制御	"	12
(ix) テストセクション入口温度制御	"	1

(3) P→Bモード変更プログラム

この運転区分は最終運転モードがBモードのときのみ実行されるもので、運転条件設定プログラムによりあらかじめ決められている。

P→Bモード変更シーケンスで行なっている主な項目を次に示す。(X印は並列動作の意)

- (i) テストセクション入口温度の上昇
- (ii) 一次系主流量の逓減
- (iii) 圧力調節系スプレー水の降温 X ジェットコンデンサの降圧 X セパレータの水位制御
- (iv) テストセクションのサブクール確保
- (v) 全系のBモード定常制御投入

P→Bモード変更シーケンスがOWL-0運転シーケンスのうちで最も系が不安定になりやすく、プログラムの設計上苦慮したところである。

即ち、PからBモードに移行する条件としては、いろいろ考えられるが、照射条件や安全上の制約等により、本計画では(i) テストセクション入口温度の上昇 (ii) 一次系主流量の逓減 (iii) 一次系圧力の逓減という3つの操作結果が所定の値に達した時、Bモードに移行するという方法をとっている。

一次系の圧力逓減は、ジェットコンデンサのスプレー水量で行なわれる。上記3つの操作が実行され、ある条件に達したとき、テストセクションにおいて蒸気が発生し始め、セパレータに水位が現われる。このとき蒸気相バルブ(OV13)を開け、セパレータ水位をある範囲内におさめる。蒸気の発生当初は蒸気発生率も少なく不安定であり、セパレータ水位も大幅に変化する。従ってセパレータ水位の変化にバルブの動作が追従できなくなる危険性もあるため、プログラムでは水位の変化率を求め、その変化率に応じたバルブ操作を行なうようにしている。蒸気発生率が安定し、蒸気相バルブがある値以上に開かれた後のセパレータ水位の制御は、液相バルブ(OV12)によって行なわれる。

このようにP→Bモード変更区分は、他の区分にみられない複雑な操作を行なっている。

このP→Bモード変更シーケンスの中でも新たにオンあるいはオフにされる制御サブグループは次のとおりである。

- (a) 一次サージタンク圧力制御サブグループ サブグループ № 6 : OFF
- (b) ジェットコンデンサ圧力制御 " № 5 : ON
- (c) セパレータ水位制御 " №10 : ON

(4) B→Pモード変更プログラム

BモードからPモードへの移行運転は、ほぼP→Bモード変更運転の逆である。

B→Pモード変更シーケンスで行なっている主な項目を次に示す。

(i) 一次系主流量の増大 X ジェットコンデンサの昇圧 X セパレータ水位上昇 (X印：並列動作の意)

(ii) 全系のPモード定常制御投入

この場合もP→Bモード変更運転と同様、3つの独立した運転操作を並列に行なっているが、P→Bモード変更運転よりも比較的容易に、かつ短時間にモードの移行が行なえる。

スプレー水を止めてループの圧力を上昇させ、主流量を順次増加すると、テストセクションでの蒸気発生は停止し、それに伴ってセパレータの水位が上昇するため、蒸気相バルブを閉にする。しかし残留蒸気によって、セパレータの水位が再び現われる可能性があるため、その場合は蒸気相バルブをわずかに開け、残留蒸気をバージするようにしている。

B→Pモード変更シーケンスの中で新たにオンあるいはオフにされる制御サブループはP→Bモード変更シーケンスの場合と同じであり、その方向は全く逆となる。

(5) 停止制御プログラム

停止シーケンスで行なう主な項目は次の通りである。

(i) テストセクションの加熱停止 (原子炉停止の模擬)

(ii) 一次系の降温

(iii) 二次系の降温

(iv) 一次サージタンク降温、降圧

(v) 二次サージタンク降温、降圧

(vi) 機器類停止

停止制御プログラムは各部のヒータを順次オフにし、各系の温度を大気圧で沸騰を生じない温度まで降下させる。特に一次系の温度は昇温時と同様、制御サブループの目標値変更を一定間隔で行ない、規定の降温速度 ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}/102\text{ sec}$) を保つようにしている。系の降温後、各循環ポンプを停止するまでを停止制御プログラムの範囲としており、この間にすべてのサブループ制御が順次オフにされる。

(6) 停止後点検・操作プログラム

停止後点検シーケンスは起動前点検シーケンスと同様の操作指示方式をとっているが、その操作内容は起動前点検にくらべ、かなりステップ数が少なくなっている。この区分で行なっている主な項目を次に示す。

(i) DDCステーションのバックアップモード切換

(ii) 電源系統・U・C・L系の点検・操作

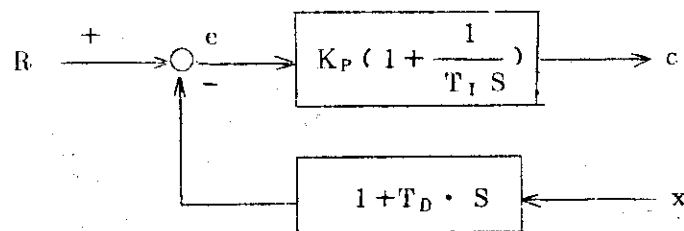
5.2 定常制御プログラム

OWL-0の定常制御はシーケンス制御プログラムの途中で順次オンに投入されたいくつかの制御サブループによって実行される。これらの制御サブループは従来のアナログ運転における制御系をそのままデジタル化したものが殆んどであるが、アナログ制御系にはなかったユ

ニークな機能をも一部備えている。Table 5-1 に O W L - 0 に使用している制御 サブローブの一覧表を示す。表には制御サブローブとアナログ制御系の相違点をも含めて示した。Fig. 5-9 に制御サブローブの制御箇所を示す。Fig. 5-10 にはシーケンス制御プログラムの中で作動される制御サブローブの状態を示した。制御サブローブの制御方式を大別すると次のようになる。

- (a) P I D (+ むだ時間補償) + アナログ出力
- (b) P I D + デジタル出力
- (c) ヒステリシスオン・オフ (2 位置制御)
- (d) ヒステリシスオン・オフ (3 ")
- (e) ヒステリシスオン・オフ (4 ")
- (f) その他の特殊処理

P I D 補償演算は周波数領域での扱いを容易にするため直列型とし、また目標値のステップ変更に対する微分動作の影響を小さくするため、微分先行形を採用している。演算構成は次のようになる。



- ただし R : 目標値
- x : プロセス量
- e : 制御偏差
- c : 操作量
- K_P : 比例定数
- T_I : 積分時間
- T_D : 微分時間

したがって計算式は次のようになる

$$c_n = c_{n-1} + \Delta c_n$$

$$\Delta c_n = K_P (\alpha e_n - e_{n-1})$$

$$e_n = R_n - \beta x_n + \gamma x_{n-1}$$

ただし $\alpha = 1 + \frac{T_D}{T_I}$

$$\beta = 1 + \frac{T_D}{T_S}$$

$$\gamma = \frac{T_D}{T_S}$$

(1) 制御サブループのプログラム構造

各制御サブループはシーケンス制御プログラムの中で順次オン・オフされ、その演算周期はそれぞれのプロセス量検出端のサンプリング周期に対応している。

制御サブループのプログラム構造を Fig. 5-11 に示す。図中の各ブロックはそれぞれサブルーチン化されており、制御サブループはこれらのサブルーチンの集合体である。

まず制御サブループの実行がアナログ・スキャンプログラムで要求されると、オペレータ・コンソールおよび DDC ステーションパネルの該当ステーションが DDC モードになっているかどうか、該当制御サブループがオンになっているかどうかチェックされ、条件がすべて満たされているとき、その制御サブループが実行される。条件が一つでも満たされない場合は、この制御サブループは何も行なわずバイパスされる。実行条件がチェックされ OK であれば目標値のチューニングが行なわれる。次に偏差チェックサブルーチンが実行される。ここでは偏差計算、および偏差アラームのチェックおよび PID 補償演算における先行微分動作の計算を行なっている。次に要求された制御サブループに対応した演算処理を行なうアルゴリズムのサブルーチンが実行され、続いてその演算結果の出力処理が行なわれる。最後に出力のアンサーバック信号をチェックするサブルーチンの実行を要求して制御サブループのプログラムは終了する。

(2) サブループの制御方式

(i) テストセクション入口温度制御 (PID + むだ時間) : サブループ #1

バックアップ運転時は一次主冷却器出口温度 (T10) を検出し、主冷却器の除熱量を調節することにより、一次主冷却器出口温度、いかえればテストセクション入口温度を一定に保つようにしている。

バックアップ時検出端をテストセクション入口温度としない理由は、むだ時間が長いいためアナログ調節計による制御が非常に難しいことによるものである。しかしながら照射実験における重要なパラメータの一つであるテストセクション入口温度 (T01) を制御点とする必要から計算機によるサブループ制御においては PID + むだ時間の制御を行なっている。

Fig. 5-12 に むだ時間補償の演算モデルを示す。

(ii) 一次主冷却器出口温度制御 (PID + むだ時間) : サブループ #2

バックアップ運転時は上記(i)と同一の制御系を構成し、サブループ制御では一次補助ヒータ入口温度 (T11) を検出端とし、主冷却器の除熱量を調節する。サブループ①との違いは、むだ時間および検出端が異なるだけであり、サブループ①と同時に動作することはない。サブループ①は主として定常時の制御を受け持ち、サブループ②が昇温および降温時に一次系の温度を制御する。

(iii) 圧力調節系 (スプレー水) 温度制御 (PID) : サブループ #3

ジェットコンデンサへのスプレー水温度を一定に保つ制御ループで圧力調節系冷却器の出口温度 (T14) を検出し、その冷却器の逆作動バルブを操作し、除熱量を変えている。バックアップ運転時およびサブループ制御共同し構成で PID 制御される。

(iv) 二次主冷却器出口温度制御 (PID) : サブループ #4

二次主冷却出口温度 (T20) を検出し、二次主冷却器の除熱量を調節することにより、二次系の温度を一定に保つ。バックアップ運転、およびサブグループ制御とも同じ構成の PID 制御ループである。

この制御ループは実際の運転状態において使用されないことが多い。その理由は二次系の主冷却器の性能が、現在の運転状態においてほぼその 100% に近いことから事実上制御の意味がないことによる。

なお、この制御サブグループの使用の有無については、運転条件設定プログラムにより選択が可能である。

(V) ジェットコンデンサ圧力制御 (PID) : サブグループ 5

Bモード運転時のみ作動される制御系である。ジェットコンデンサ圧力 (P02) を検出し、スプレー水の流量を調節することにより、コンデンサ内の温度を飽和温度に保って、一次系の圧力を一定値に制御する。この制御ループもバックアップ運転とサブグループ制御の構成は同一である。

(VI) 一次サージタンク圧力制御 (PID+ON・OFF) : サブグループ 6

Pモード運転時のみ実行される制御系で、前述のBモード運転時に実行されるジェットコンデンサ圧力制御系に対応するものである。この制御系はバックアップ運転時は一次サージタンク温度 (T06) を検出し、一次サージタンクヒータ (PSTHC) をオン・オフして一次系の圧力を一定に保つ。

計算機によるサブグループ制御は、一次サージタンク圧力 (P03) を検出し、一次サージタンクヒータをオン・オフする。Fig. 5-13にこの制御サブグループの制御方式を示す。この方法はPID演算を行なった後の演算出力から必要なヒータ投入量を計算し、デジタル出力により5個のサージタンクヒータをオン・オフするものである。

バックアップ・コントローラに対する目標値設定は、その時の圧力に対する飽和温度を基準として上下限值が与えられる。バックアップ運転時のプロセス量として圧力を選ぶことができなかつたのは、圧力変換器の信号がバックアップコントローラに合致しなかつた理由による。

(VII) 二次サージタンク圧力制御 (ヒステリシス オン・オフ) : サブグループ 7

二次サージタンクヒータ (SSTH) 1個をオン・オフすることにより、二次系の圧力を制御するループで、バックアップ運転時はサージタンク温度 (T21) を検出し、サブグループ制御時は二次サージタンク圧力 (P04) を検出して行なう。

制御サブグループではある不感帯 ($\alpha = 2\%$) を設け、その上下でヒータをオン・オフさせる制御方式をとっている。不感帯でのヒータのオン・オフ状態は不感帯に入る直前の状態が維持される。Fig. 5-14にこの制御サブグループの制御方式を示す。

(VIII) 一次系主流量制御 (PID) : サブグループ 8

この制御系はバックアップ運転時は手動操作のみとなるが、サブグループ制御運転では一次系主流量 (F01) を検出し、主流量制御バルブ (CV11) を駆動して流量制御を行なう。

プラントの安全を確保するため、主流量をある値以下に絶対に低下させないよう、即ち

制御バルブの開度をある値以下に駆動させないように、プログラムによるインターロックをかけている。

(ix) セパレータ水位制御 (P I D) : サブルーブ No 1 0

Bモードにおいてのみ使用する制御系である。セパレータの水位を一定に保つことは、Bモードにおける圧力を一定に保つことと関連がある。この制御系はバックアップ運転時およびサブグループ制御時ともセパレータの液相バルブ (O V 1 2) を操作することにより、セパレータ水位を一定に保つ。

(x) 一次サージタンク水位制御 (ヒステリシス オン・オフ) : サブルーブ No 1 1

この制御系はループ運転中における一次系水リークの補給ならびに停止制御時の給水を行なう。制御方式は一次サージタンク水位 (L 0 2) を検出し、一次給水ポンプ (P M L P) をオン・オフ制御して水位を一定に保つ。

バックアップ運転時は On-Off Control Station (O C S) により給水ポンプを 2 位置制御し、サブグループ制御ではある値以上に水位が上昇してしまった場合、オートブリード・バルブ (O V 1 0) を操作して水位を下げる。

Fig. 5-15 にこの制御サブグループの制御方式を示す。図中の a の値は不感帯の幅を決める値である。($a = 5 \%$)

(xi) 二次サージタンク水位制御 (ヒステリシス オン・オフ) : サブルーブ No 1 2

この制御系は二次サージタンク水位 (L 0 3) を検出し、二次給水ポンプ (S M L P) をオン・オフさせて水位を一定に保つものである。バックアップ運転時はアナログ調節計により給水ポンプをオン・オフ制御し、サブグループ制御時はヒステリシス オン・オフ制御を行なう。

Fig. 5-16 にこの制御サブグループの制御方式を示す。図中 a の値は目標値からの偏差を与えるものであり、現在は $a = 0 \%$ にしている。α の値はヒステリシスの幅を決める値であり $\alpha = 5 \%$ を用いている。

(xii) セパレータ水位制御補助 (ゾーン・コントロール) : サブルーブ No 1 0 の付属

この制御サブグループは、セパレータ水位制御サブグループの制御範囲を広げることと、セパレータ水位の制御性を良好に保つために、セパレータ水位制御サブグループに従属して作動する特殊なものである。

この制御サブグループはセパレータ液相バルブ (O V 1 2) の開度がある範囲を越えた時に、蒸気相バルブ (O V 1 3) の開度をステップ状に変化させるもので、水位制御サブグループの出力、即ち O V 1 2 の開度を一定範囲内に保つ。この制御サブグループの動作周期は 2 0 秒のみに限られている。Fig. 5-17 にこの補助制御サブグループの制御方式を示す。

5.3 シーケンス制御プログラムの構造

シーケンス制御プログラムはシーケンス・プログラム管理部によって実行処理される。このシーケンス・プログラム管理部は、オペレータから要求されたシーケンス・プログラムをディスクから転送し実行したり、シーケンス実行中に生ずる " 時間待ち " 処理やアラームチェック等シーケンスに関するあらゆる処理を行なう。

Fig. 5-18 にシーケンス・プログラム管理部の機能的構成を示す。シーケンス・プログラム管理部は割込み処理部、コア常駐部、時間待ち処理部、プログラム・コントロール部、シー

ケンス実行部，機器操作部，DMA転送部から構成される。

オペレータコンソールからシーケンスに関する割込みが生ずると，その割込み源がチェックされ，割込み源に対応するファンクション・プログラムの実行が要求される。そのファンクション・プログラムのコア常駐部がSMERTによって実行され，プログラム・コントロール部をディスク・メモリからコア・メモリへ転送する。このプログラム・コントロール部で要求されたシーケンス・プログラムを転送するためのパラメータを準備し，DMA部を用いてシーケンス実行部をディスクからコアへ転送する。コアに転送されたシーケンス実行部はSMERTの管理のもとに実行され，その中で各種の機器操作，時間待ち処理等が行なわれる。シーケンスの実行が終了するとコントロールは再びコア常駐部に戻り，使用したコア・メモリ・エリアの専用を解除する。

Fig. 5-19にシーケンス・プログラム管理部の機能的な流れを，Fig. 5-20にコア・メモリの配置を示す。

(1) 割込み処理部(プログラム・タイトル ROKS)

オペレータ・コンソールからのシーケンスに関する割込みによって実行される部分であり，まずどのキイが押されたかを判別し，その妥当性をチェックする。キイの操作の条件が満たされていない場合にはそのキイの操作は無視され，コントロールはスケジューラに戻る。妥当である場合はそのキイに対する必要な処置を行なう。

オペレータ・コンソールのシーケンス実行に関する割込みキイは次の3機能である。

i) "READY"

このキイはSEQ 板を設定するときには押されるもので，ランプが点灯しているときのみ有効である。このキイが押されると"DATA LOCK"キイスイッチが"SEQ"になっているときのみSEQ 板設定器の設定値が読み込まれ，新しいSEQ 板に更新される。さらに"Ready Wait Flag"をリセット，"Start Wait Flag"をセット，オペレータ・コンソールの"START"ランプを点灯する。"DATA LOCK"キイスイッチが"LOCK"になっているとき"READY"キイを押すと"MISOPE"ランプを点灯し，コントロールをスケジューラに戻す。

ii) "START"

"READY"操作により"START"キイのランプが点灯しているときのみ有効であり，他は無視され，コントロールはスケジューラに戻る。"START"ランプが点灯しているとき，このキイを押すと"READY" "START"ランプともにオフ，"Start Wait Flag"をリセットし，シーケンス・コントロール部のコア常駐部(ファンクションプログラム"SQ")の実行を要求する。このコア常駐部の実行により，シーケンス・コントロール部(SPOOL)をディスク・メモリからコア・メモリに転送し，設定したシーケンス・プログラムが実行開始される。

割込み処理部ではシーケンス・コントロール部のコア常駐部の実行を要求するところまでを行っており，その後コントロールをスケジューラに戻している。

iii) "CHECK OK"

このキイはシーケンス・プログラムの実行途中，オペレータの操作待ちをしている場合，

あるいはアラームが発生(HZ-C)した場合等、その操作終了の確認として、また復旧作業終了の確認として押される。このキィが押されると"Check ok Wait Flag" がリセットされ"CHECK OK"待ちになっていたシーケンスプログラムがコア常駐部によってディスク・メモリからコア・メモリへ転送されて、実行開始される。割込み処理部で行なっている範囲は"START"処理の場合と同様、コア常駐部の実行を要求するところまでである。

(2) コア常駐部

シーケンスに関連するコア常駐部は大きく分けると3種類あり、その1つは割込み処理部(ROKS)をコア・メモリに転送するコア常駐部(ファンクション・プログラム"RO")と、プログラム・コントロール部(SQCOL)、シーケンス実行部、共用サブルーチン等をコア・メモリに転送するコア常駐部(ファンクション・プログラム"SQ")、および複数のOWL-0シーケンス制御プログラムのコア常駐部とがある。

ファンクション・プログラム"RO"はオペレータ・コンソールからの割込みが発生したとき、CA(Common Alarm)スキャン・プログラムによってオペレータ・コンソールからの割込みであることが判別された後に実行要求される。

ファンクション・プログラム"SQ"は割込み処理部(ROKS)の中で実行要求される。

OWL-0シーケンス制御プログラムはプログラム・コントロール部(SQCOL)により実行要求され、選択されたSEQ流のプログラム・ブロックがコア常駐部によりコア・メモリのシーケンス実行エリアに転送され実行される。

これらのコア常駐部が実行された後は、使用したコア・メモリ・エリアの専用を解除し、コントロールはスケジューラに戻る。

(3) プログラム・コントロール部(SQCOL)

OWL-0シーケンス制御プログラムを実行させていくための一切の制御を行なう。

割込み処理部、コア常駐部の実行後、選択されたSEQ流のディスク・パラメータおよびスタート番地等の情報をプログラム転送サブルーチンに与えたり、時間待ち処理部に対して次に再開する時のためのパラメータの準備を行なったり、コントロールを時間待ち処理部に移したりする。

さらに新しいSEQ流に移るときに必要なディスク転送パラメータの準備や、OWL-0安全系からの割込み(OLDN, SCRM)チェック等も行なう。

(4) DMA転送部

プログラム・コントロール部から与えられたディスク・パラメータをもとに、ファンクション・プログラムをディスク・メモリからコア・メモリに転送する部分である。

(5) 時間待ち処理部(TLMT, STLM, MSON)

OWL-0シーケンス制御プログラムの実行中"時間待ち"処理を必要とするものが数多くある。機器操作を行なった後のアンサーバックをチェックする迄の時間待ち、制御サブループの目標値変更を繰返し行なう場合の時間間隔、あるろは一定間隔の機器作動や、プロセスの状態チェックを行なう場合等あげられる。これらの"時間待ち"処理を要するものに対し、時間のカウント、再開アドレスの指定などを行なう。時間待ちを行なう方式は次の2通りの方法が

あり、それぞれ用途に応じ使い分けている。

i) タイムリミット方式 (T L M T)

いろいろな操作やチェックを周期的に繰返す場合使用されるもので、繰返し周期のデータが入っているアドレス、繰返しの再開アドレス、タイムリミット(秒)等を指定する。タイムリミットを超過した際は一般にアラーム処理が行なわれる。

ii) 100msec周期プログラム方式 (M S C N)

M S C Nはその内部でmsec Wait プログラム "MSSQ" を100msec周期プログラムに接続し、指定された時間が経過すると "MSSQ" プログラムに割込みがかり、"MSSQ" プログラムの中でファンクション・プログラム "SQ" が実行要求される。プログラム実行のコントロールはプログラム・コントロール部を経由して再開アドレスに戻る。S T L M (Simple Time Limit) プログラムは、その中でM S C Nプログラムを用いており、指定した時間が経過するとシーケンス制御プログラムに戻る。

(6) 機器操作部 (K I K A, K I K D, S P S T, S E T I)

ヒータ、ポンプ類のオン・オフ、バルブ操作およびこれらのアンサーバックの確認、アラーム出力、制御サブールプに対する目標値設定等を行なう部分であり、それぞれがサブールプ化されている。バルブ操作(アナログ出力: K I K A)の場合は%データの形に変換された開度、出力形式の指定、D D Cステーションのアドレス指定、アンサーバック・チェック用のアドレス指定、アラーム関係のパラメータ等、必要なパラメータを準備しそのサブールプを実行する。

D A変換器のアナログ出力電流値をチェックのため逆にアナログ入力し、A D変換後出力した値と比較する。(S E T I) ±5%以内であればアンサーバック・チェックはO Kとなるがこの範囲を越えた場合はアラームが発せられる。

ヒータ、ポンプ類のオン・オフ(デジタル出力: K I K D)の場合は、D D Cステーション(R B S)のアドレス指定、出力のビットパターン、アンサーバック・アドレス、アラーム関係のパラメータ等を与え、サブールプを実行する。アンサーバックのチェックは、ポイントレコード・テーブルのオン・オフ状態を記録しておくフラグと、読み込んだデジタル入力のビットパターンとを対比しエラーの有無をチェックする。エラーが検出された際はアラームを発する。

制御サブールプに対する目標値設定(S P S T)は、設定形式即ちPモードあるいはBモードの最終値を与えるか、P V値あるいは指定した値を目標とするか等のパラメータおよびサブールプ $\#$ の指定、操作量等を準備しサブールプを実行する。

(7) シーケンス実行部

O W L - 0シーケンス制御プログラムの部分であり、O W L - 0の運転制御を行なう。プログラムはディスク・メモリに格納されており、必要に応じ数個のS E Q $\#$ プログラムのブロック単位毎にコア・メモリに転送され実行される。

シーケンス実行部はシーケンスの流れを指令する機能を備え、必要な操作や実際の処理は大部分が機器操作部、時間待ち処理部、D M A転送部などで実行処理される。

Table 5-1 List of Control Sub-loops of OWL-0

サブループ No.	DDC モード					バックアップ運転モード				
	検出信号	制御方式	操作機器	DDCステーション に対する目標値設定	検出信号	制御方式	操作機器	DDCステーション		
								TAG NO	方式	
1	テストセクション 入口温度制御	T01	PID+むだ時間	CV14 CV15	/	T10	PID	CV14 CV15	TIC10	CAS (PVTラッキング)
2	一次主冷却器 出口温度制御	T11	PID+むだ時間	CV14 CV15	/	T10	PID	CV14 CV15	TIC10	CAS (PVTラッキング)
3	圧力調整系冷却器 出口温度制御	T14	PID	CV16 CV17	/	T14	PID	CV16 CV17	TIC14	CAS (PVTラッキング)
4	二次冷却器 出口温度制御	T20	PID	CV24 CV25	/	T20	PID	CV24 CV25	TIC20	CAS (PVTラッキング)
5	ジェットコンテナ 圧力制御	P02	PID	CV19	** SPUP02 SPDP02	P02	PID	CV19	PIC02	CAS (SPTラッキング)
6	一次サージタンク 圧力制御	P03	PID+ON-OFF	H15 H19	** SPHT06 SPLT06	T06	ON-OFF	H18 H19	TIC06 + RBS-PSTHC	OCS
7	二次サージタンク 圧力制御	P04	ON-OFF	H23	/	T21	ON-OFF	H22 H23 CV26	TRCA-10 + RBS-SSTH	/
8	一次系主流量 制御	F01	PID	CV11	/	/	MANUAL	CV11	CMS-CV11	CMS (グリセロールポンプ)
10	セパレータ 水位制御	L01	PID	CV12	** SPUL01 SPDL01	L01	PID	CV12	LIC01	CAS (SPTラッキング)
11	一次サージタンク 水位制御	L02	ヒステリシス ON-OFF	CV10 PMLP	** SPL02	L02	ON-OFF	PMLP	LIC02 + RBS-PMLP	OCS
12	二次サージタンク 水位制御	L03	ON-OFF	SMLP	/	L03	ON-OFF	SMLP	LR-1-2 + RBS-SMLP	/
10 の EXT	セパレータ水位 制御補助	CV12 の VP値	γ-コントロール	CV13	/					

* サブループ⑩がONの時にCV12の両度により、CV13の両度を増減する補助サブループ。
 ** プログラムで目標値設定が行われるサブループであり、このうち⑥のみがDDCとバックアップ運転時とで目標値が異なる。

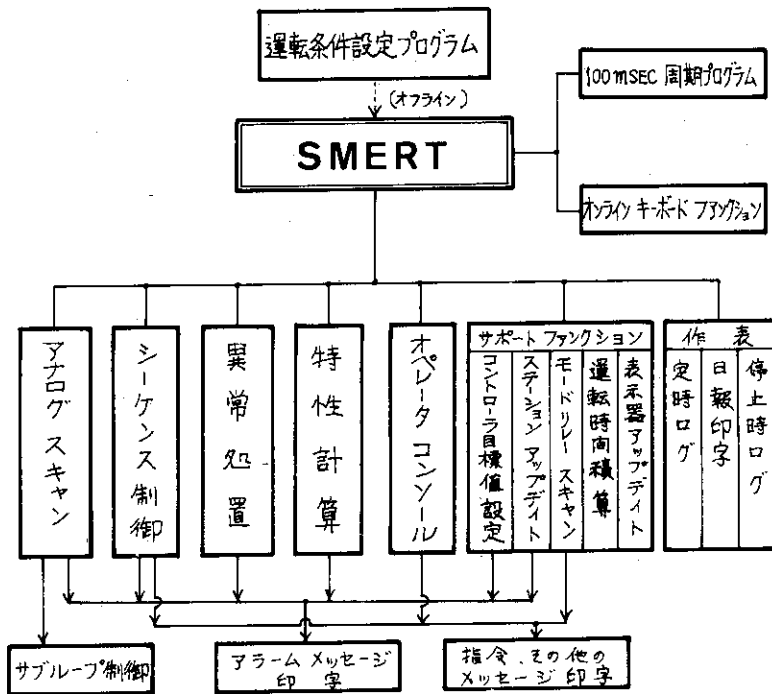


Fig. 5-1 Software Construction of GIL-0 Computer Control System

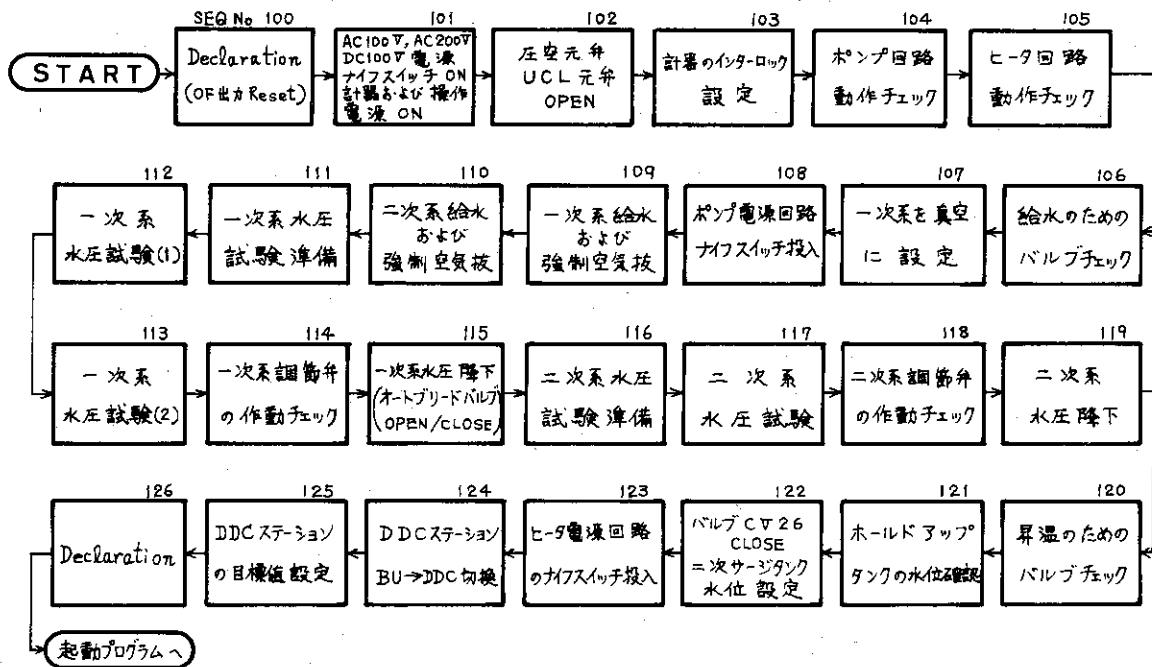


Fig. 5-2 Block Diagram of Check and Operation Indication for Pre-startup

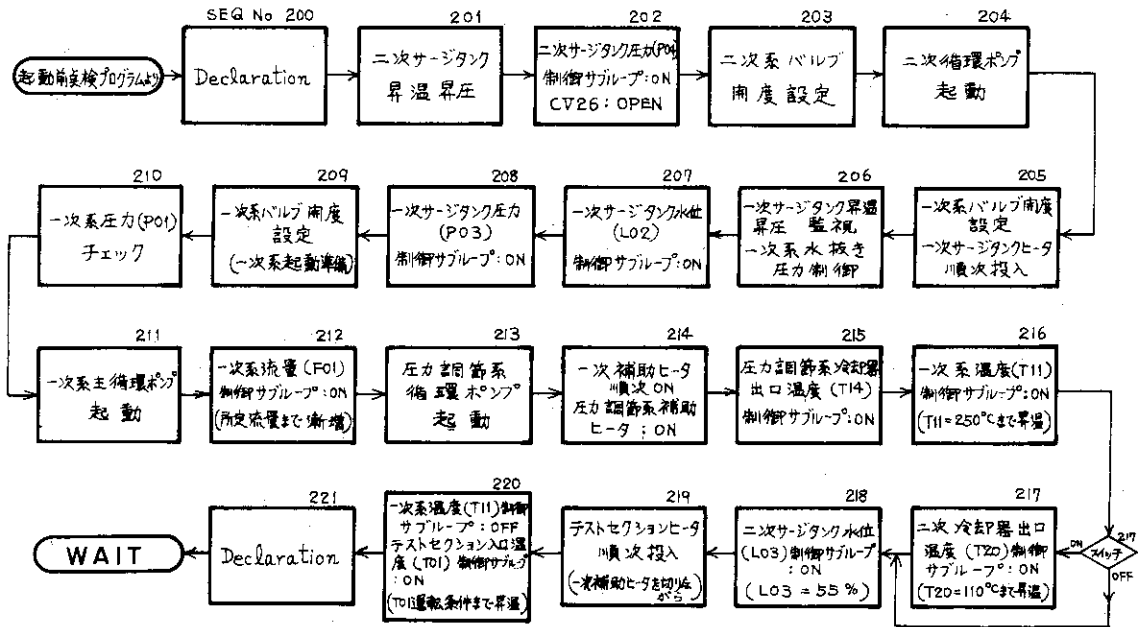


Fig. 5-3 Block Diagram of Startup Control Sequence

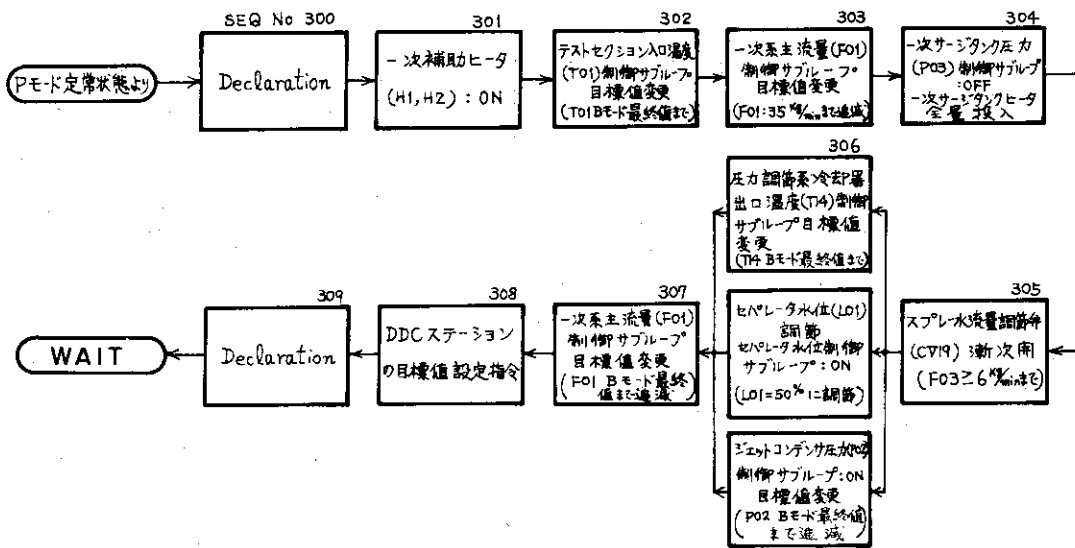


Fig. 5-4 Block diagram of P→B Mode Change Control Sequence

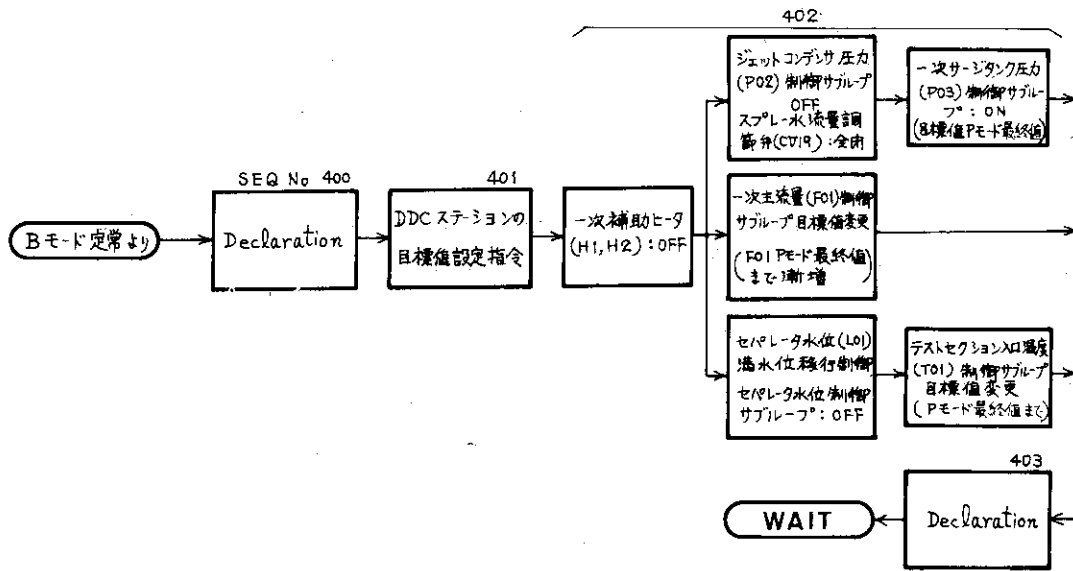


Fig. 5-5 Block Diagram of B→P Mode Change Control Sequence

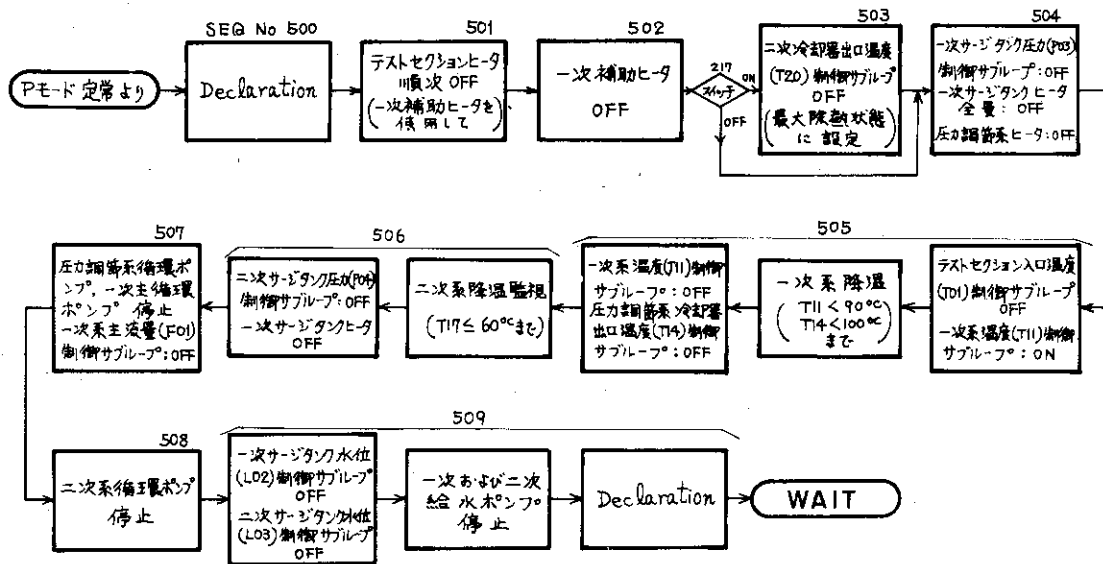


Fig. 5-6 Block Diagram of Cooldown Control Sequence

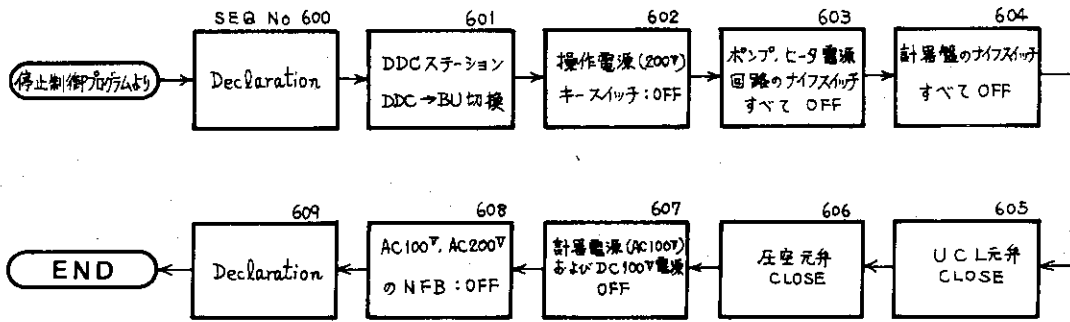


Fig. 5-7 Block Diagram of Check and Operation Indication for Post-Cooldown

```

11:30 SEQ NO 108 * TURN PUMP POWER KNIFE SW ON
(001) KS-M04 ON
(002) KS-M08 ON
(003) KS-M09 ON
(004) KS-M11 ON
(005) KS-M12 ON
(006) KS-M13 ON
(007) KS-M14 ON

10:34 SEC NO 109 * SUPPLY WATER & RELEASE AIR OF PMY LOOP
(001) VENT VALV OPEN
(002) FP ON
(003) PMLP ON
(004) PMP INCHG
(005) PSP INCHG

11:06 SEC NO 110 * SUPPLY WATER & RELEASE AIR OF SDY LOOP
(001) FP ON
(002) SMLP ON
(003) SMF1&2 INCHG

11:45 SEQ NO 111 * PREPARE FOR PMY LOOP PRES TEST
(001) 4M12 CLOSE
(002) 4M11 OPEN
(003) CLDS ALL OF VENT VALVES
  
```

Fig. 5-8 Example of Computer Messages at Pre-startup Check and Operation

1970.5.7
 改①1970.5.28
 改②1971.1.

○ : サブ・ループ No
 ○ : 検出信号 TAG No.

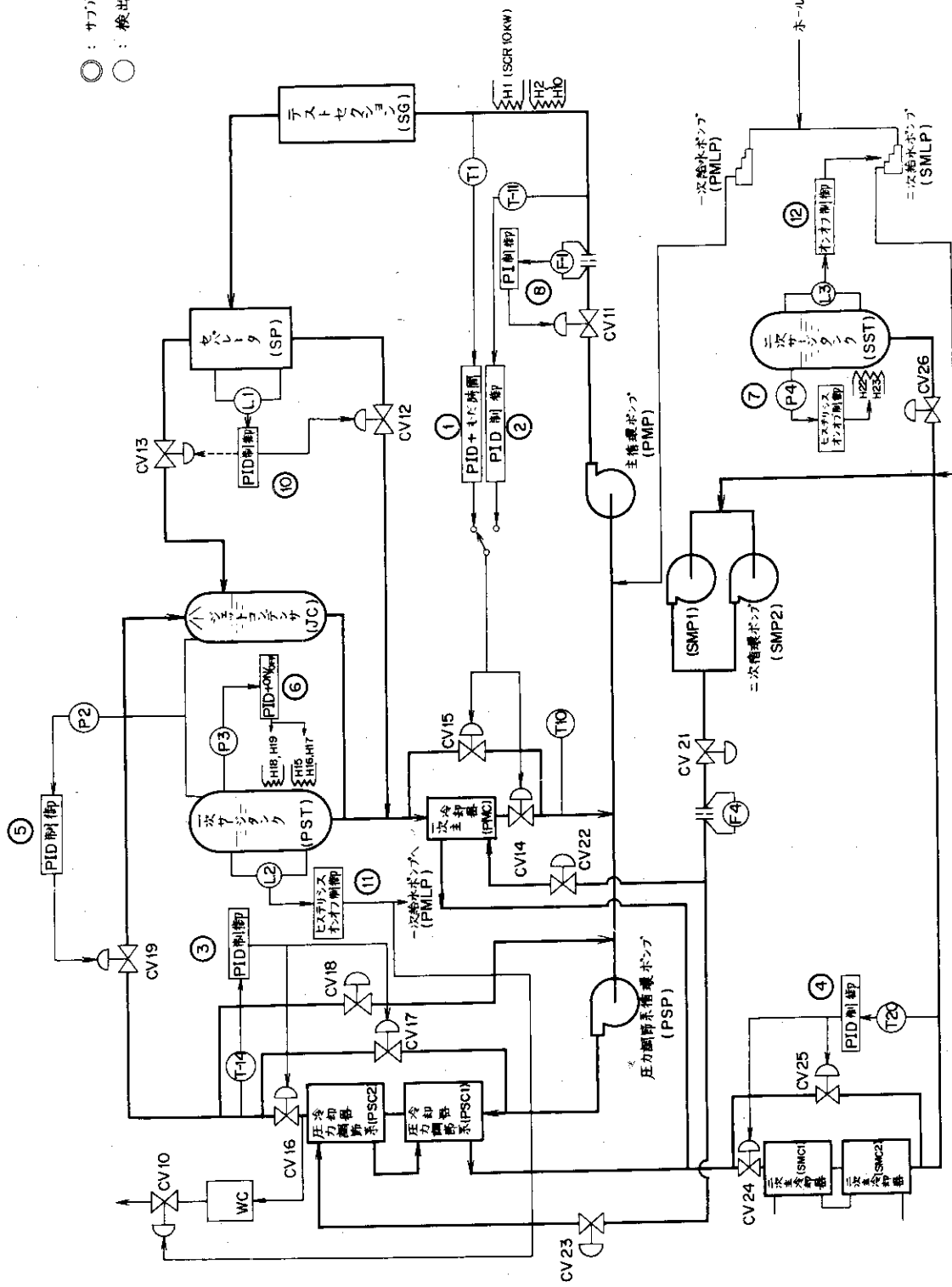


Fig. 5.9 Sub-loop Control System of OWL-0

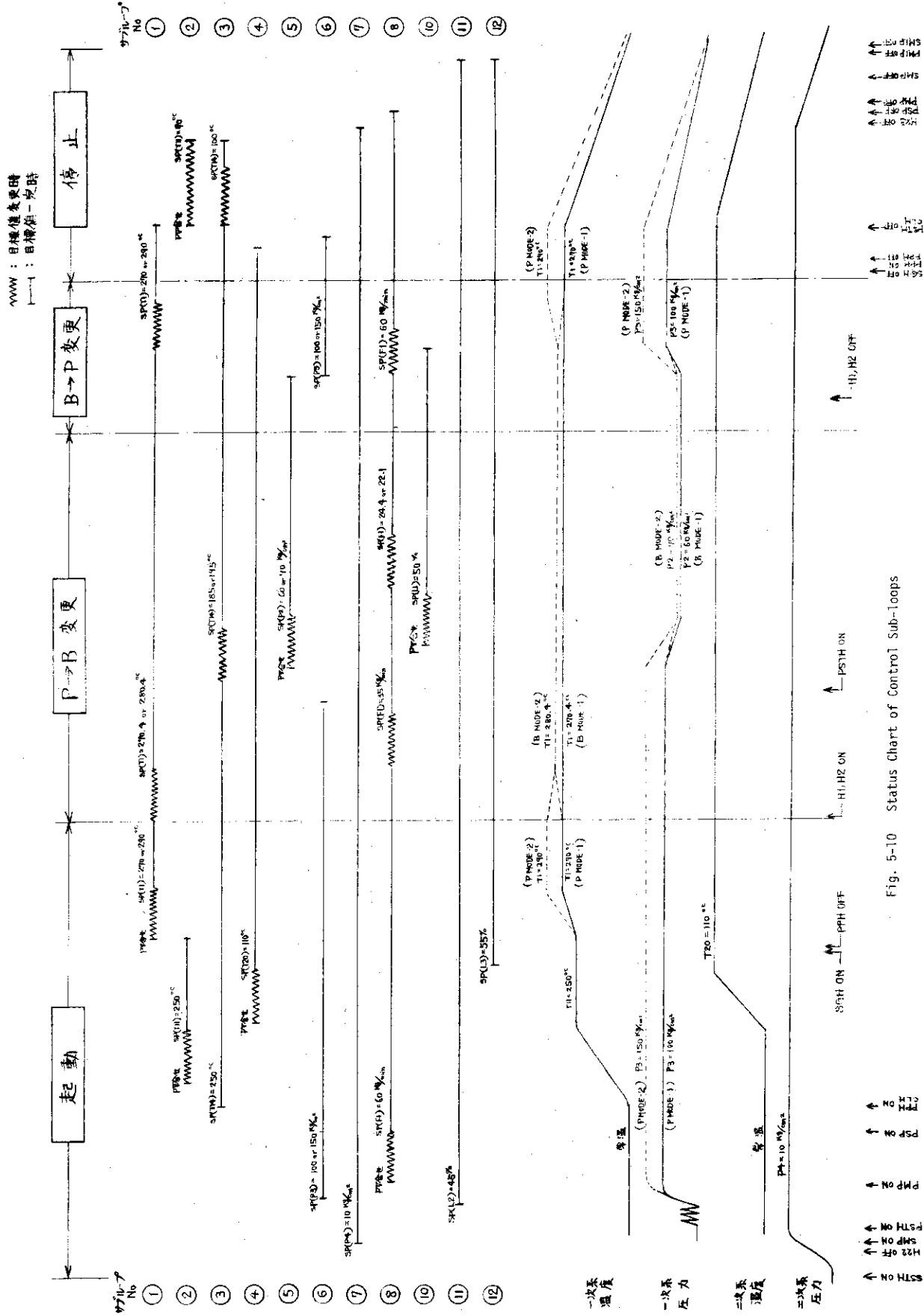
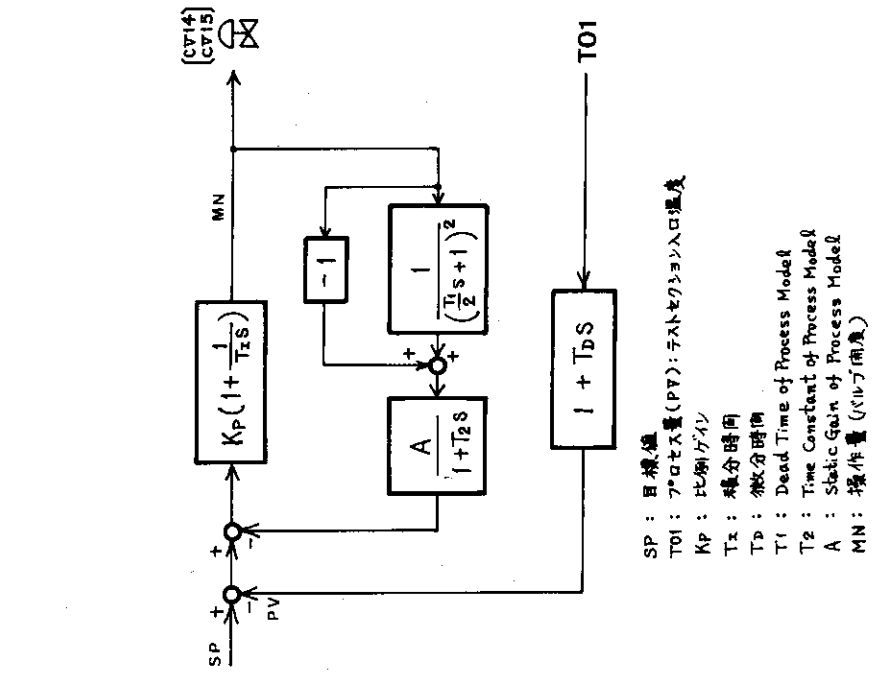


Fig. 5-10 Status Chart of Control Sub-loops



- SP : 目標値
- TO1 : プロセス量 (PV) : 対象プロセスの入口温度
- KP : 比例ゲイン
- TI : 積分時間
- T1 : 微分時間
- TD : Dead Time of Process Model
- T2 : Time Constant of Process Model
- A : Static Gain of Process Model
- MN : 操作量 (バルブ開度)

Fig. 5-12 : Control Block Diagram of Sub-loop (0.1 (1/S Inlet Temp.))

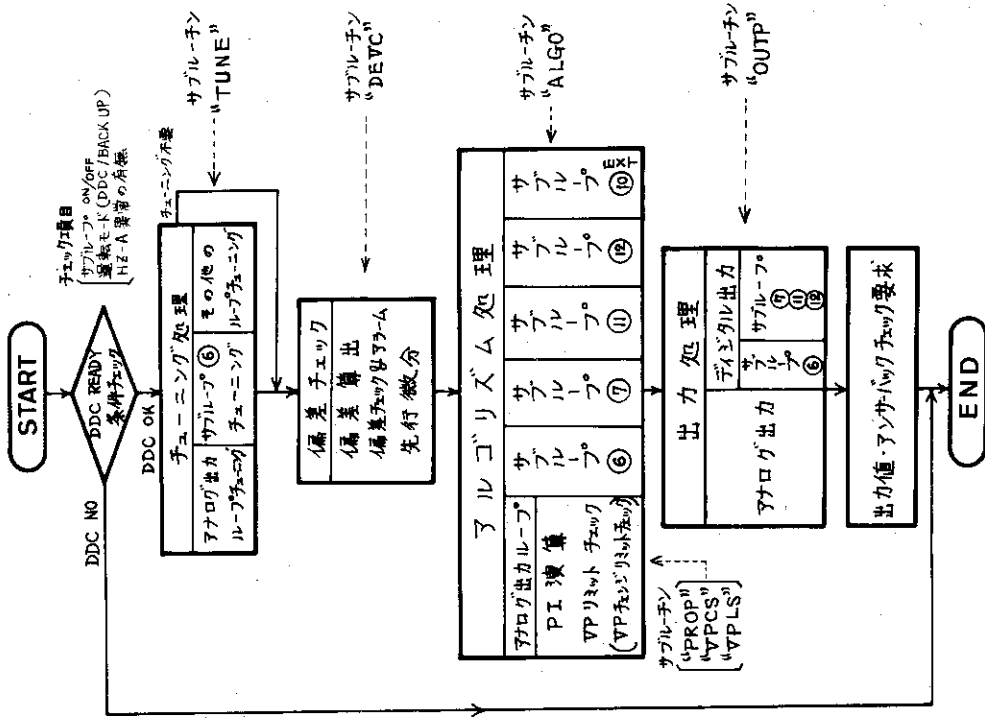


Fig. 5-11 : Construction of Programming Control Sub-Loop

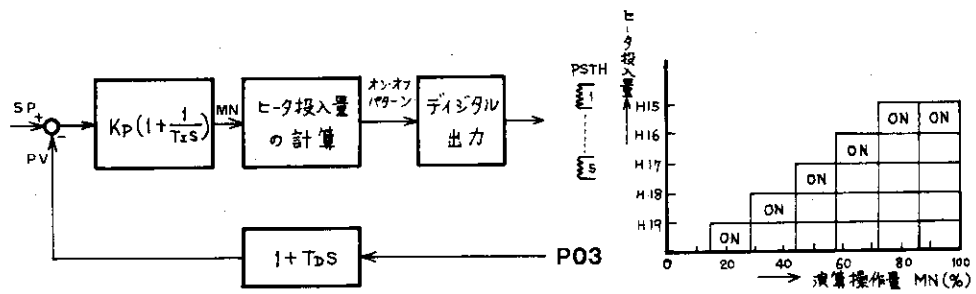


Fig. 5-13 Control Block Diagram of Sub-loop NO.6 (1-ry ST Press.)

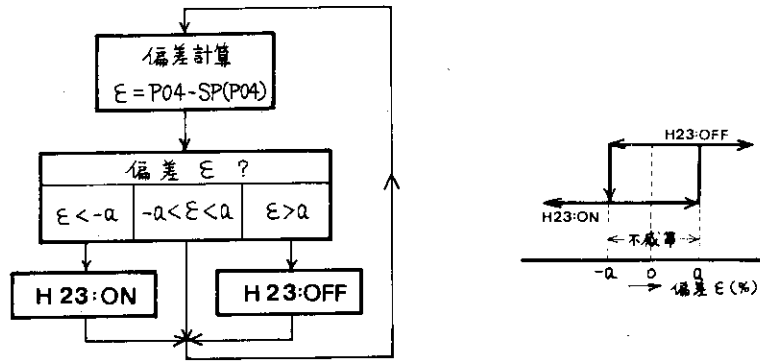


Fig. 5-14 Control Block Diagram of Sub-loop NO.7 (2-ry ST Press.)

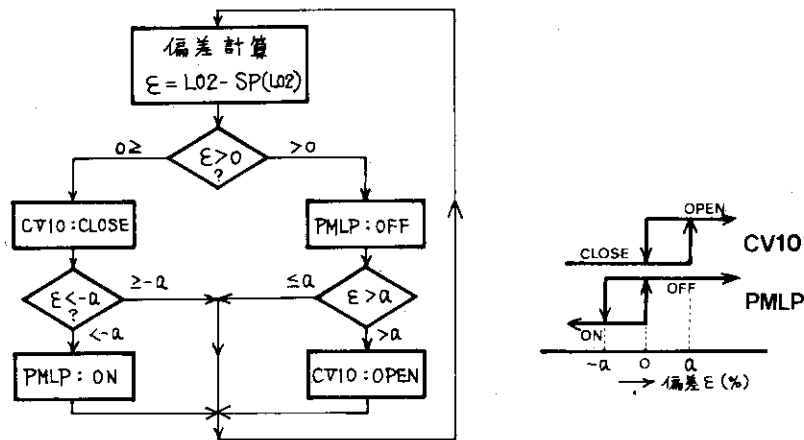


Fig. 5-15 Control Block Diagram of Sub-loop NO.11 (1-ry ST Level)

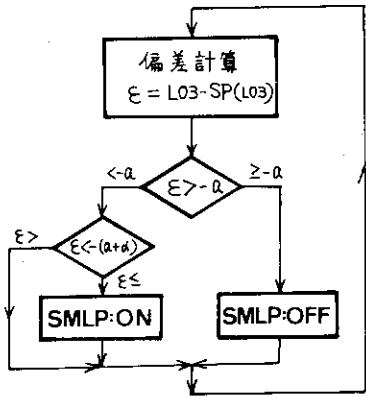


Fig. 5-16 Control Block Diagram of Sub-loop #0.12 (2-ry ST Level)

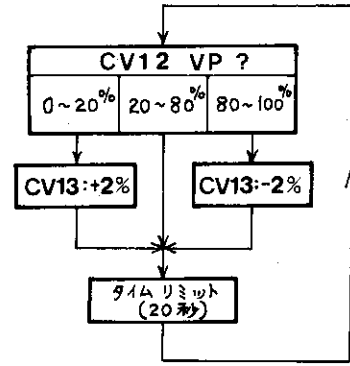
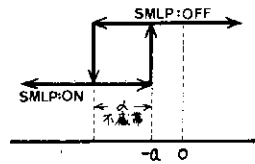


Fig. 5-17 Control Block Diagram of Sub-loop #0.10 (Separator Level)

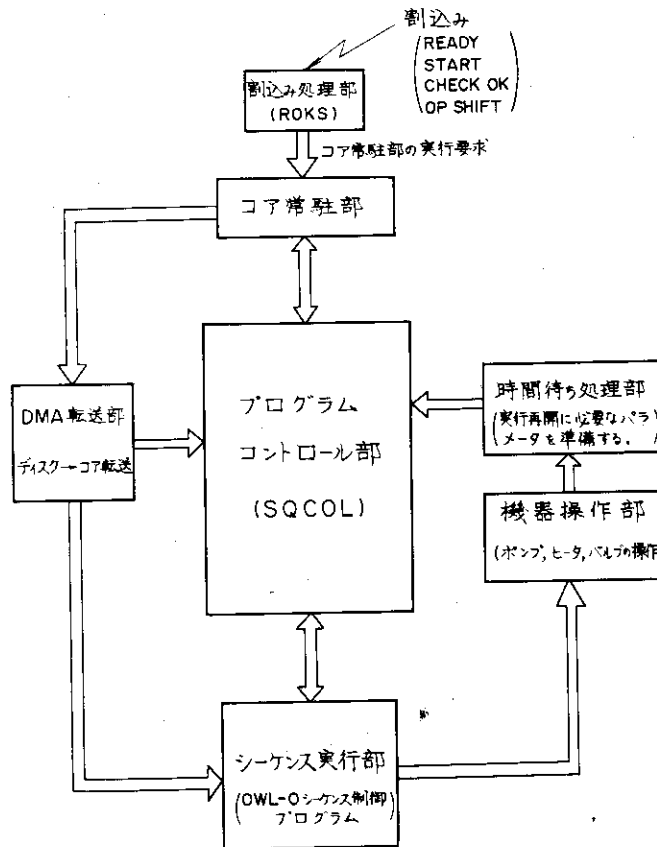


Fig. 5.18 Control of Sequence Control Program

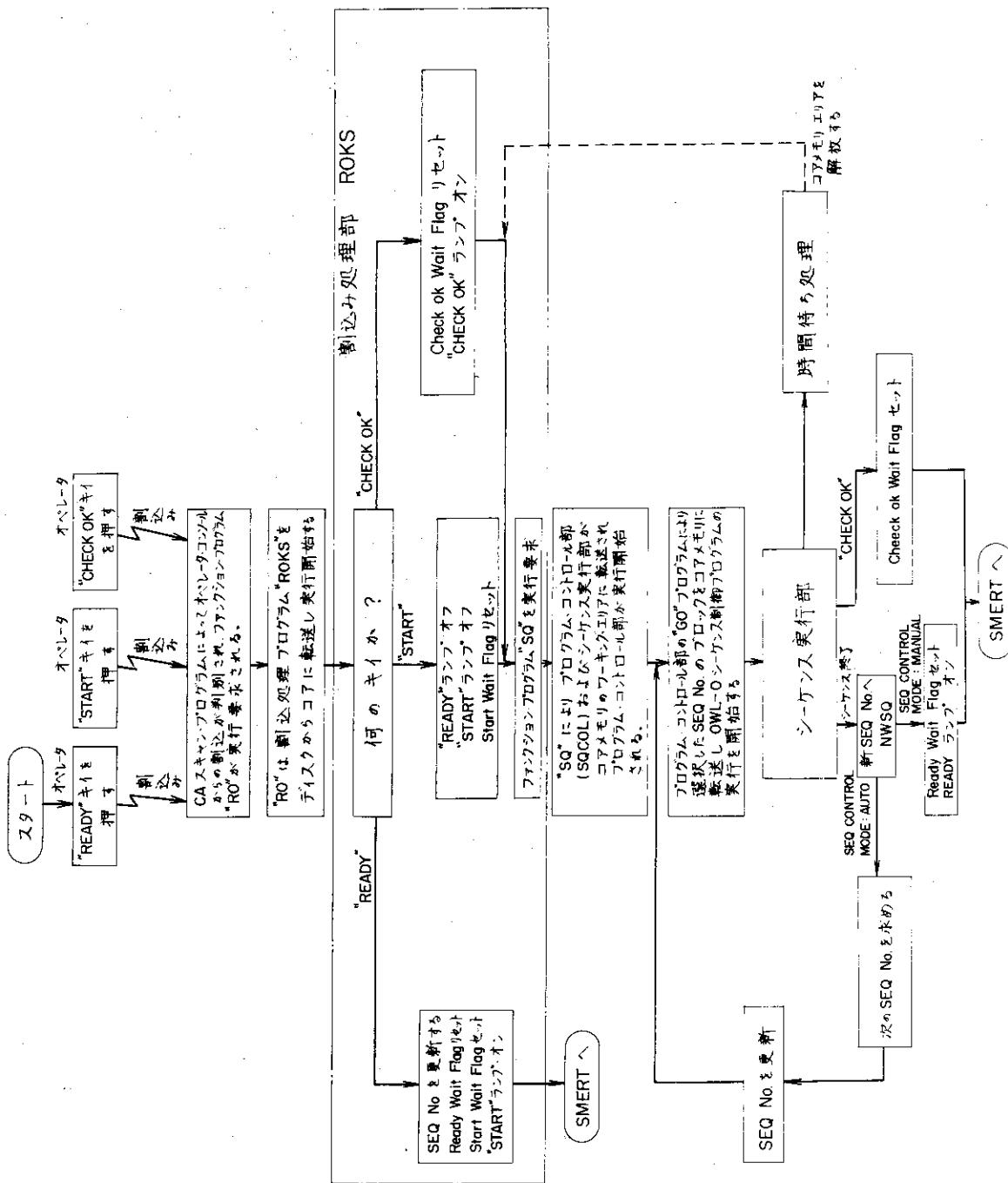


Fig. 5.19 Functional Flow of Control Part of Sequence Program

アドレス	'35000	'36000	'37000	リロケータブル(REL)
'000	SGHD プログラムコントロール部	KIKA 機器操作・目標値設定	* OWL-O シケンス制御 プログラム 実行エリア	割込み処理 ROKS
	SATL NWSG GO	KIKD SPST		NBSG T4BC NOCH EXST SANO テ-プIV
	時間待ち処理 TLMT MSCN SETI	時間待ち処理 STLM CHOK その他		
'777				

* 個々のSEQプログラムはブロック毎にワーキング・エリア'37000～に転送され実行される。
ワーキング・エリア'35000～'37000はファンクション・プログラム"SQ"によって転送されコントロール・プログラムの"GO"から実行開始される。
2桁の数字は8進表示の意。

Fig. 5-20 Core Memory Allocation of Control Part of Sequence Program

6. データ集収・監視ソフトウェア

6.1 概要

OWL-0各部の温度・圧力・流量・水位などのアナログ信号はアナログスキャンプログラムや補正計算プログラムを介して処理された後、ポイントレコードテーブルに格納される。

Fig. 6-1がアナログスキャンプログラムの概要であるが、このプログラムはサンプリングタイマチェック(TC)というファンクションプログラム(Fig. 6-2)によって1秒間隔でチェックされ、各々の所定期間に達した時、スキャンプログラムが実行される。さらに入力点が流量F01またはF03の場合はトランスジューサのオフセット出力の補正を行なう。各信号はAD変換後にスケール変換、フィルタリング、補正計算処理される。また個々の入力信号が制御サブループに使用されるか否かのチェックも行なわれ、使用されるものについては続いて制御サブループのルーチンの実行要求がなされる。次に上下限がチェックされ超過の時には異常処置が行なわれる。(9.4(d)参照)最後にスキャン終了に関するチェックが行なわれ、終了していない場合は次の入力点について同様の処理が進められる。

DDCステーションに対する目標値設定命令に対するアンサーバック信号をはじめとする制御操作関係のアンサーバック信号や、AD変換器テスト用の基準入力信号の読み込みはそれぞれのチェック用ファンクションプログラムで実行される。

6.2 入力信号の種類とサンプリングタイム

プロセス関係の入力点の種類、点数ならびにサンプリングタイムをTable 6-1に示す。

アナログ入力のうち温度・圧力・流量・水位については1, 2, 5, 10, 20秒のサンプリングタイムを運転条件設定プログラムで選択できるが、オペレータコンソールからも変更が出来る。

ADならびにDA変換器の性能チェックとして0および80%の標準信号に対する精度を常時検査する。DDCステーションアナログ信号とは制御バルブに対する操作信号で、そのアンサーバック信号を読み込んでチェックする。ホールド状態のチェックとはバルブ開度保持用のホールドアンプに対するチェックと修正である。また目標値信号はバックアップ運転用のコントローラに与えられるもので、同様に設定のアンサーバックをチェックしている。またOCS型DDCステーションの固定の目標値に対するホールドチェックも同様に行なわれる。ヒータ、ポンプ等のオンオフ入力はいこれらの機器の操作時のみチェックされる。なお、圧空とは計装用の空気圧信号で、定期的にこの供給状態を監視する。

モードリレー信号はバックアップ/DDC切換スイッチの状態信号で、この信号の変化をとらえて運転モードの切換処理を行なう。

6.3 アナログ信号のスケール変換

プロセスからのアナログ信号の種類は0~10mV, 4~20mA, 10~50mAの3種類であるが、電流信号はマルチプレクサの前ですべて4~20mVに変換される。マルチプレクサ出

力は0～5 Vならびに2～10 Vの2種類の信号に増巾され14ビットのA/D変換器に入る。A/D変換された量はさらにそれぞれの検出端の測定スパンに対する比に変換され、その後の処理はすべてこの比の数値で扱われる。(ただしそれらの表示ないし印字は実際の工業単位に改められて行なわれる。)

A/D変換出力はフルスケールを1として扱うので上記のスパン比の数値 y はA/D変換値を x とすると次の様に処理される。

(i) 0～10 mV入力(アンプにより0～5 Vに増巾)

$$y = 2x$$

(ii) 4～20 mA 及び 10～50 mA入力(アンプによりともに2～10 Vに増巾)

$$y = (x - 0.2) \times 1.25$$

6.4 アナログ信号のフィルタリング

プロセスからのアナログ入力信号はFig. 10-3に示した様にP I Cの中で一律に高周波雑音の除去を行なっている(フィルタ周波数は約1 Hz)が、さらに個々の信号の特性に合わせて下記の様な一次おくれフィルタ処理を行なう。

$$y_i = \alpha \cdot x_i + (1 - \alpha) y_{i-1} \quad \text{ただし } \alpha = \frac{1}{1 + T_F/T_S}$$

y, x : それぞれフィルタ出力, 入力

T_F : フィルタ時定数(秒)

T_S : 信号のサンプリング周期(秒)

ここで T_F は T_S と同様に運転条件設定プログラムあるいはオペレータコンソールから与えられる。各信号に対するこれらの値をAppendix C-1に示す。

6.5 アナログ入力の補正

(1) 温度信号の補正

温度の検出端にはすべて100Ωの白金測温抵抗体を用いられており、抵抗値の非直線性は2次式で補正される。すなわち補正前後の値をそれぞれ x, y とすると

$$y = ax^2 + bx + c$$

であり、この補正係数 a, b, c の各レンジに対する値はTable 6-2に示す通りである。

(2) 流量信号の補正

流量の測定はオリフィスによる差圧から求めるので、流体の密度を温度と圧力で補正する必要がある。密度の算出方式はオンライン特性計算の7.2(8)に記載したものをを用いる。流量の補正值 WF は次のように求める。

$$\begin{aligned} WF &= \alpha A \sqrt{2g\rho\Delta P} \\ &= K \sqrt{\rho\Delta P} \end{aligned}$$

ただし WF : 質量流量

- α : 流量係数
- A : 絞り穴断面積
- g : 重力加速度
- ρ : 密度
- ΔP : 差圧
- K : 定数

しかし、実際の演算は差圧レンジの平方根が検出流量レンジに比例しているので、次の式により検出流量レンジに対する比としての流量WFを求めている。

$$WF(\%) = \sqrt{(\rho/\rho_D) \cdot (\Delta P/\Delta P_{range})}$$

- ただし ρ : 密度
- ρ_D : オリフィスの設計密度
- ΔP : 差圧
- ΔP_{range} : オリフィスの差圧レンジ

(3) 水位入力 of 補正

密度の変化によって生じる水位測定値の変動を補正するもので、その時の圧力に対する飽和水密度ならびに飽和蒸気密度を同様に 7.2(9) に述べる方法で求め、これをもとに水位の補正計算を行なう。

$$h = \frac{\rho_{BW} - \rho_{BS}}{\rho_{nW} - \rho_{nS}} \times h' - \frac{\rho_{nS} - \rho_{BS}}{\rho_{nW} - \rho_{nS}}$$

ただし $h' = \frac{(R_a - R_s)H - \Delta P}{(R_F - R_S)H_F}$

- h : 補正後の水位 (満水位に対する比)
- h' : 補正前の水位 (")
- ρ_{BW} : $P = 1 \text{ kg/cm}^2$ における液相密度
- ρ_{BS} : " 気相密度
- ρ_{nW} : $P = n \text{ kg/cm}^2$ における液相密度
- ρ_{nS} : " 気相密度
- R_F : (T · P) における液相密度
- R_S : " 気相密度
- R_a : 基準管の密度
- H_F : 満水位
- H : 上下タップ間距離
- ΔP : 差圧

各水位の補正に使用した圧力を Table 6-4 に示す。

6.6 ポイントレコードテーブル

これはアナログ入力各信号に対して与えられたデータテーブルであり、そのアナログ値の読み込み、変換、チェック、制御サブループの演算ならびに出力などに関するすべての情報が格納されている。そしてこれらは各種のプログラムによって参照され格納される。またオペータコンソールによる内容の確認、変更もできる。

この様に一切の検出端や操作端に関する情報をすべて一箇所で管理することはプログラムの設計あるいはデバッグのいづれについても極めて重要である。Fig. 6-3にポイントレコードテーブルとデータの授受を行なうファンクションプログラムの関係を示した。

ポイントレコードテーブルはDAS、DDC、ならびにVP・DASの3セクションより構成される。(Fig. 6-4) これらはリンク構造で、次の入力点テーブルのアドレスを順次指定している。制御サブループに使用されるアナログ入力点に関してはDAS+DDCセクションの形でテーブルが構成される。操作機器がバルブの場合はさらにVP・DASセクションがDDCセクションよりリンクされる。制御サブループに使用されない入力点についてはDASセクションのみで構成される。

(1) DASセクション (Fig. 6-5)

DASセクションは各アナログ入力点に対して14語のメモリーを割当てており、TAG₆によって識別される。この内容はサンプリングタイムやマルチプレクサアドレス、入力信号変換、補正のためのインデックス、警報用上下限值、PV値の処理に関する各種のデータやフラグ等の情報を備えている。

(2) DDCセクション (Fig. 6-6)

DDCセクションは制御サブループに使用されている検出信号に関してのみ使用されるもので、各々12~18語で構成され、DASセクションに附属して用いられる。これにはPID定数、目標値、出力形式を表わすフラグなど制御サブループの動作に必要なデータが格納されている。

(3) VP・DASセクション (Fig. 6-7)

バルブの開度信号を読み込むためのサンプリングタイムやマルチプレクサアドレス、バルブ開度の上下限警報値、バルブ開度設定値、現在のバルブ開度、その他表示関係のインデックス等、バルブ操作に関する各種のパラメータが格納されている。

Table 6-1 Input Signals and Sampling Times

入力信号の種類		点数	サンプリング周期	サンプリング周期の設定	備考
アナログ入力	温度	24	1, 2, 5, 10, 20秒のうちいずれか	運転条件設定プログラムまたは、オペレータコンソールにより設定	TAG毎に設定
	圧力	4	"	"	"
	流量	6	"	"	"
	水位	3	"	"	"
	電力(SGH)	3	5 秒	固定	
	ADC チェック (0.80%入力)	2	20 秒	"	
	DAC チェック (0.80%入力)	1	20 秒	"	
	DDC ステーション アナログ信号	11	操作時および固定開度バルブのホールド状態チェックは20分周期	"	
	DDC ステーション SP値信号	5	操作時およびOCSのSP値ホールド状態のチェックは20分周期	"	
オン・オフ入力	ヒータ	17	操作時	"	
	ポンプ	6	"	"	
	オン・オフバルブ	2	"	"	
	圧空	1	2 秒	"	
	OWL-O 電源	3	操作時	"	
	モードリレー	28	2 秒	"	

Table 6-2 Corrections for Temperature Signals

インデックス	レンジ(°C)	a	b	c
0.1	200~350	0.0232543	0.976789	- 0.123135
0.2	0~350	0.0545809	0.945205	0.0998823
0.3	100~300	0.0310763	0.968818	- 0.73732
0.4	0~300	0.0505309	0.949319	0.20249
0.5	0~200	0.0305921	0.969316	- 0.000927011
0.6	0~250	0.0386857	0.961314	0.0388377
0.7	0~ 50	0.0	0.998	0.
0.8	0~100	0.0159159	0.983669	0.388355
0.9	0~ 60	0.00719163	0.992490	- 0.141743

Table 6 - 3 Temperature and Pressure Signals
Used for Flowrate Correction

TAG 号	温 度	圧 力
FO 1	一次補助ヒータ入口温度(T 11)	テストセクション出口圧力 (P01)
FO 2	セパレータ液相出口温度(T 03)	" (P01)
FO 3	ジェットコンデンサスプレ水温度 (T 15)	ジェットコンデンサ圧力 (P02)
FO 4	一次主冷却器二次側入口温度 (T 16)	二次サージタンク圧力 (P04)
FO 5	" (T 16)	" (P04)
FO 6	—	—

Table 6 - 4 Pressure Signals used for Level Correction

TAG 号	圧 力
L 01	テストセクション出口圧力 (P01)
L 02	一次サージタンク圧力 (P03)
L 03	二次サージタンク圧力 (P04)

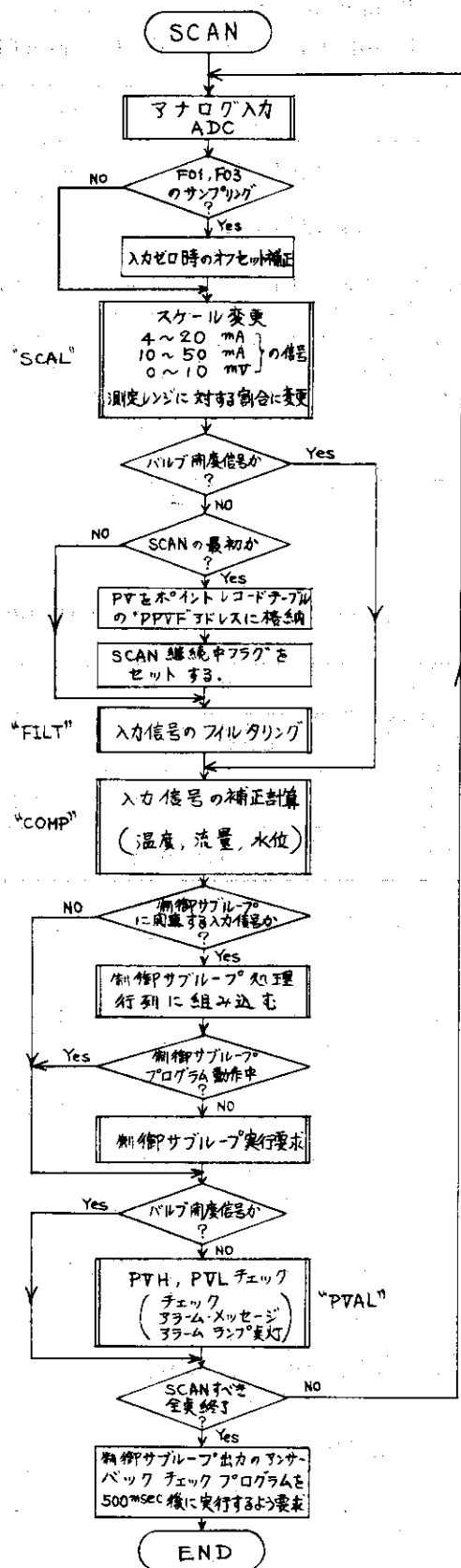


Fig. 6-1 Conceptual Flow Diagram of Analog Scan Program

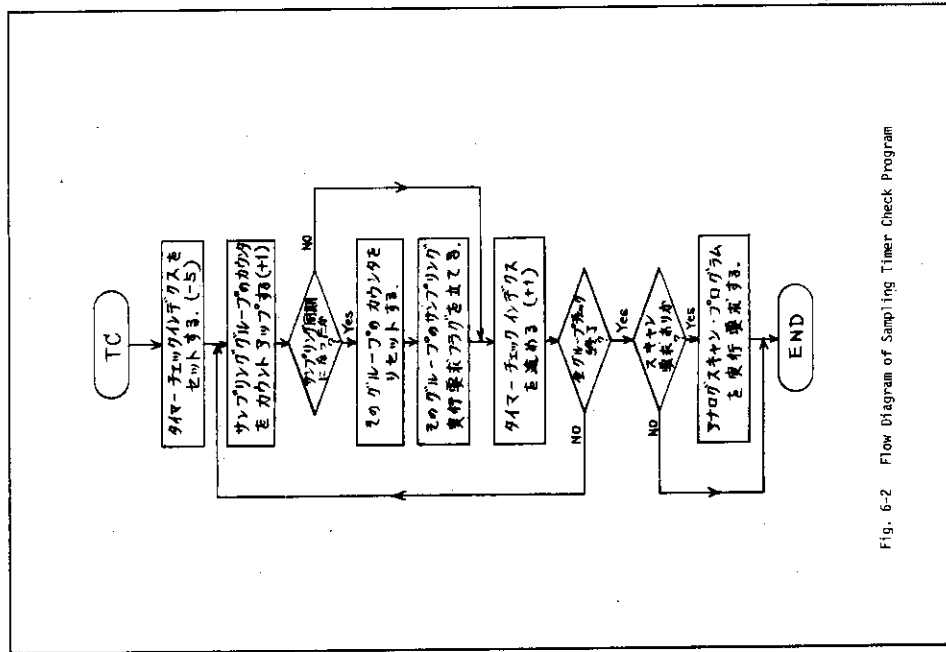


Fig. 6-2 Flow Diagram of Sampling Timer Check Program

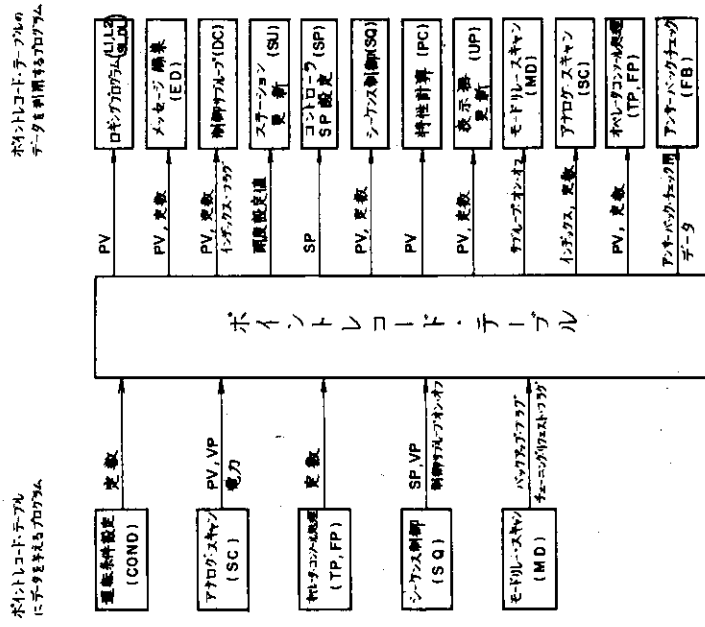
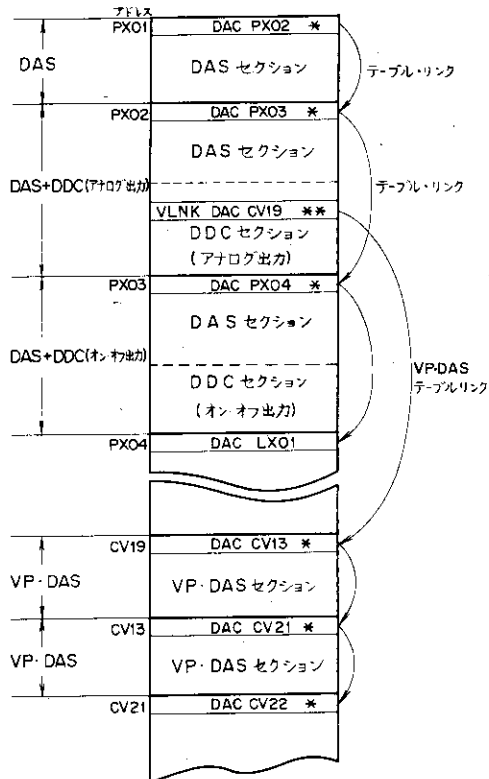


Fig. 6.3 Functions of Point-Record Table



* 次のテーブルのアドレスを指定する (リンク構造)
 ** 操作機器がハルファの場合 VP-DASのアドレスを指定する。

Fig.6.4 Construction of Point-Record Table

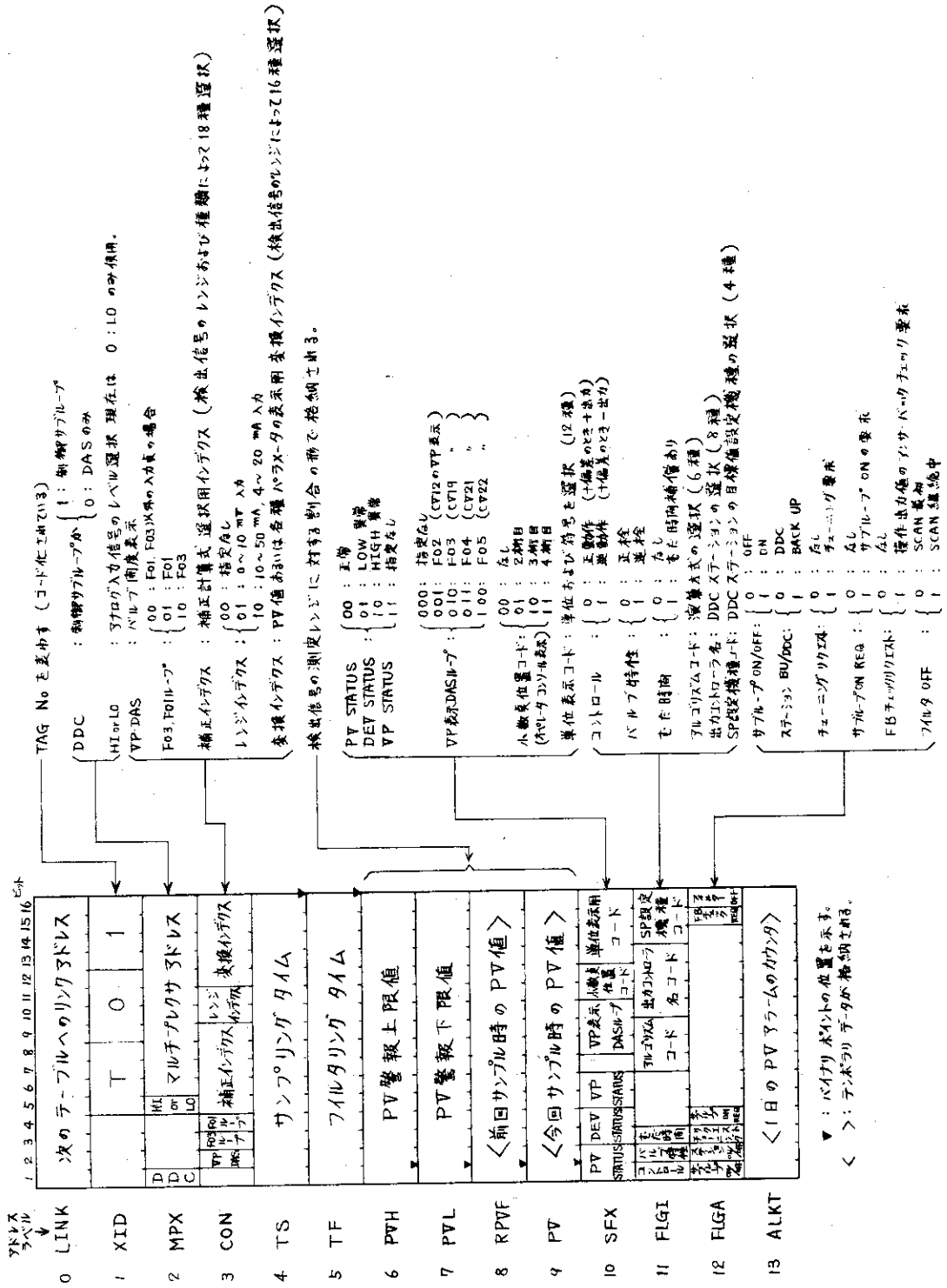


Fig. 6-5 Construction of DAS-Section

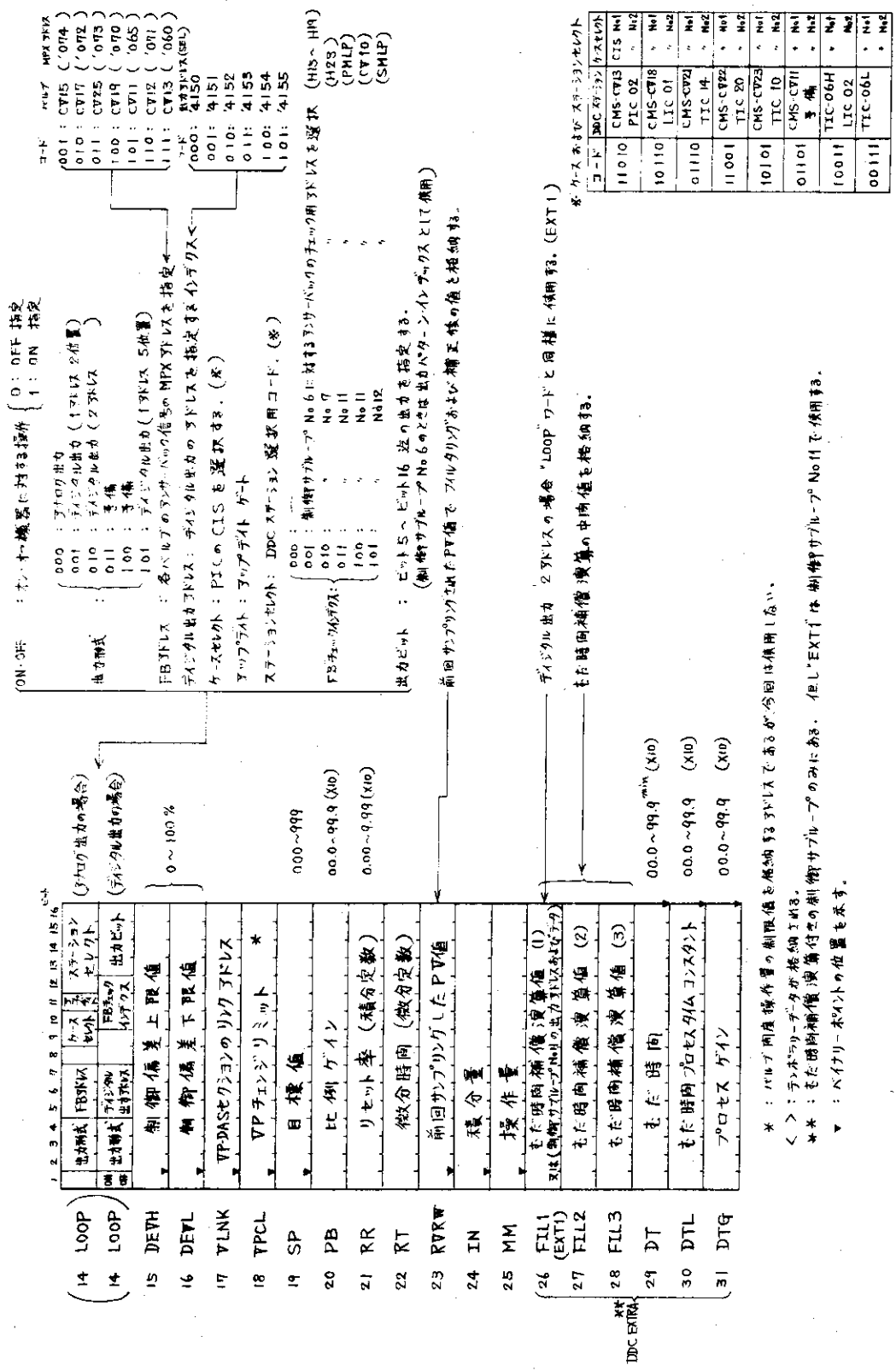


Fig. 6-6 Construction of DDC-Section

* : デジタル出力の制限値を格納するアドレスであるが今回は使用しない。
 < > : アナログ出力の格納アドレス。
 ** : また時間補償演算付与の制御グループ No.6 のみである。但し「EXT」は別制御グループ No.11 で使用可能。
 v : バイナリ形式の位置を示す。

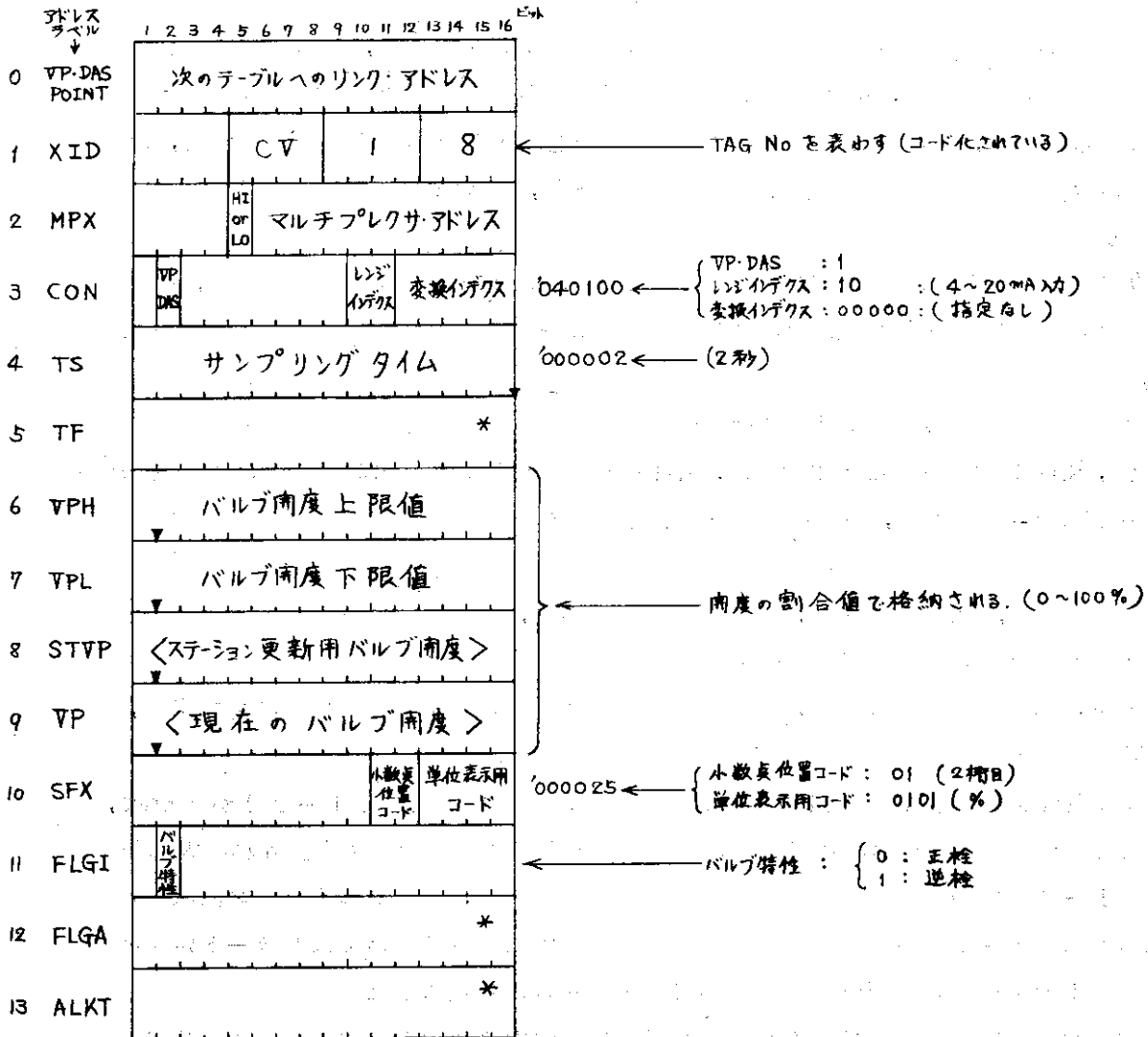


Fig. 6-7 Construction of VP-DAS-Section

7 オンライン特性計算

7.1 一般

一般にプラントの操業状態の制御ならびに監視に必要なプラント情報を、すべて検出器から直接得るのには限界があるので、検出器による直接的な検出が不可能な情報ないし検出は可能でも信頼度に乏しい情報、さらには常時連続的には検出を必要としない情報等に関しては、他の信頼度の高い検出信号に基づく間接的な推定が必要であり、プロセス計算機の利用の主要な一面を担うようになってきた。

OWL-0においても上記の必要性に従って以下に述べる33項目の特性計算を行い、OWL-0の操業特性の把握に役立てた。特性計算項目をこれを求める目的から分類すると以下のようになる。

(i) ループ運転状態を把握し運転制御に役立たせるもの。

各部熱収支, S.G出口蒸気含有率, J.C凝縮効率, S.G平均ボイド体積率, 二相流部蒸気含有率, 気水分離器分離効率, 一次系全ヒータ熱入力, 一次系全除熱量, 圧損計算

(ii) ループ構成機器の性能に関するもの

各部ヒータ熱効率, J.C凝縮効率, 気水分離器分離効率, 熱交換器総括伝熱係数

(iii) 検出素子がないため計算で出した流量

蒸気相流量, 熱交換器一次側流量, 熱交換器バイパス流量, 圧力調節系循環ポンプ流量, 圧力調節系バイパス流量

計算の周期は主要6項目(Appendix F-1)が5秒, 他(Appendix F-2)が20秒で, 定時あるいは必要時ログをそれぞれログタイプライタNo1とNo2に記録させる。計算の大部分の項目はOWL-0の所定の定常運転状態について実行させるが, テストセクション熱収支ならびに蒸気含有率はモード変更制御の時にも実行させる。また後者についてはBモード定常状態におけるテストセクション蒸気含有率についてはアラームの対象にした。

オンライン計算の目的から言って, 計算方法は妥当な精度内で所要計算速度を満足しなければならないので, 計算モデルの開発は利用できる検出器の配置, 精度などによってかなりの困難の伴うものもあったが, 後述の模擬入力試験の検討評価によって一部を除いてはかなり改善された。なお各項目の数式作成の過程については資料19)を参照されたい。

7.2 オンライン特性計算の内容

以下に共通な計算内容ごと一括して, 計算目的, 計算対象, 計算式を記載する。なお本計算に必要な水のエンタルピーらびに密度その他については圧力をパラメータとしてテーブル索引ならびに補間計算により求めたが, これを(8), (9)に併記しておく。また実際の計算式は各項目毎に Appendix Fに示す。

(1) 熱収支

(目的) OWL-0 定常運転時, 各部の入熱, 除熱を求めて, 熱的平衡状態を把握する。

(対象) OWL-0 の熱収支を計算する部分は, 次のとおりである。

- S.Gヒーター部
- サージタンクヒーター部
- 主冷却器一次側
- 主冷却器二次側
- 一次補助ヒーター
- 圧力調節系ヒーター
- 圧調系冷却器一次側
- 圧調系冷却器二次側
- 二次補助ヒーター
- 二次主冷却器二次側

(数式)

$$q = A_c \cdot W \cdot (H_{out} - H_{in})$$

q : ヒーター入熱量又は、冷却器除熱量 kW

A_c : 換算係数 0.06976 kWmin/kg

W : その区分の流量 kg/min

H_{out} : 出口エンタルピ kcal/kg

H_{in} : 入口エンタルピ "

(2) ヒーター効率

(目的) ヒーター供給電流、電圧から電力を計算し、その区分の熱収支からヒーター効率を計算し、供給電力の何%か冷却水温度上昇に寄与したかを知る。ヒーター溶損などの事故がおこるときはヒーター効率が悪くなるので、主要なヒーターについては本項目をアラームの対象とすべきである。

(対象)

- S.Gヒーター
- サージタンクヒーター
- 一次補助ヒーター
- 圧力調節系ヒーター
- 二次補助ヒーター

(数式)

$$\eta = q / Q \quad Q = K V I$$

η : ヒーター効率 -

q : ヒーター入熱量 kW

Q : ヒーター供給電力 kW

V : ヒーター電圧 volt

I : ヒーター電流 amp

K : 比例定数 1.732×10^{-3} (交流3相)

(3) 運動量収支

(目的) OWL-0 定常運転時、ループ各区分の圧力損失を求めて、圧力平衡状態を把

握する。

(対象区分)

模擬テストセクション
 2相流配管部
 セパレータ液相ライン
 一次主冷却器
 主循環ポンプライン
 圧調系循環ポンプライン
 圧調系冷却器

(数式)

摩擦圧損失

$$\Delta P_{fp} \text{ (单相流)} = \frac{L \cdot (4f) \cdot W^2}{2g \cdot D \cdot A^2 \cdot \rho}$$

$$\Delta P_{fB} \text{ (二相流)} = \frac{L \cdot (4f) M \cdot W^2}{2g \cdot D \cdot A^2 \cdot \rho}$$

L : 配管長 m

D : 配管径 m

A : 配管断面積 m²

W : その区分の流量 kg/min

ρ : ループ水密度 kg/m³

M : Martinelli 係数

g : 重力換算係数 9.80 kg·m/kg·sec²

f : 配管摩擦係数

Blasius によれば

$$f = 0.0791 R_e^{-0.25}$$

$$R_e = D \cdot W / \mu \cdot A$$

μ は粘性係数である。

水頭圧損失

$$\Delta P_H = \rho \cdot y$$

ρ : ループ水密度 kg/m³

y : 配管垂直高 m

バルブ圧力損失

$$\Delta P_v = W^2 / C_v^2$$

W : その区分の流量 kg/min

C_v : バルブ C_v 値 kg^{1/2}·m/min

循環ポンプ揚圧

$$-\Delta P_p = -(\beta - \gamma \cdot W) \cdot \rho$$

β, γ はポンプ H-Q 特性曲線より, 作動点の直線近似勾配及び y 軸切片

として求められる。

前に述べた如く、バルブ圧損を計算するのは現在困難であるので、今回のOWL-0特性計算から圧力計算をはずすことにした。

(4) 蒸気含有率，ポイド率，沸騰長

(目的) Bモード定常運転時に模擬テストセクションにおける蒸気発生状態を把握する。

(対象) 模擬テストセクション

(数式)

$$x_1 = \frac{\eta \cdot Q - A_c \cdot W_1 (H_f - H_1)}{A_c \cdot W_1 \cdot \Gamma}$$

$$x_2 = \frac{W_2}{W_1}$$

$$a = \frac{\rho_f \cdot x}{\rho_f \cdot x + 2 \cdot \rho_s - \rho_s \cdot x}$$

$$b = \frac{\Gamma \cdot x}{\Gamma \cdot x + H_f - H_1}$$

x_1 : S・Gヒータ入力Qから求めた蒸気含有率

x_2 : 蒸気流量 W_2 から求めた "

W_1 : 一次主流量 kg/min

W_2 : セパレータ蒸気相流量 kg/min

W_2 は、主流量と液相流量の差から測定する方法と、J・C.のエンタルピ収支から求める方法とがある。6) を参照

Γ : 蒸気潜熱 kcal/kg

ρ_f : 飽和水密度 kg/m³

ρ_s : 飽和蒸気密度 "

H_1 : 模擬テストセクション入口エンタルピ kcal/kg

x : 蒸気含有率 x_1 or x_2

(5) ジェットコンデンサ凝縮効率

(目的) ジェットコンデンサに流入する蒸気の流量 W_2 エンタルピ H_4 とすれば、平衡状態では、J・C.におけるスプレー水のJet噴霧によりすべて凝縮される。このときスプレー水流量 W_3 , エンタルピ H_{15} とすれば、

$$\eta W_3 \cdot H_{15} + W_2 \cdot H_4 = (\eta \cdot W_3 + W_2) \cdot H_f$$

$$\eta = \frac{W_2}{W_3} \cdot \frac{H_f - H_4}{H_{15} - H_f}$$

で定義される η をジェットコンデンサ凝縮効率と称し、スプレー水流量のうちどれだけの割合が有効に蒸気凝縮に役立ったかを示す。

(対象)

ジェットコンデンサ

(数式)

$$\eta = \frac{(H_4 - H_f) \cdot (H_5 - H_{15})}{(H_f - H_{15}) \cdot (H_4 - H_5)}$$

- H_4 : 入口蒸気エンタルピ kcal/kg
- H_5 : ジェットコンデンサ液相出口エンタルピ
- H_{15} : ジェットコンデンサスプレー水エンタルピ
- H_f : 飽和水エンタルピ

(6) セパレータ分離効率

(目的) 次式に示すようにセパレータに流入する蒸気流量 $x \cdot W_1$ と、セパレータから流出する蒸気流量 W_2 との比で定義される量を分離効率とする。

$$\epsilon = \frac{W_2}{x_1 W_1}$$

ここで W_2 は、4節で述べたように2通りの求め方があり、J.O.のエンタルピ収支から求めたものは、

$$W_2 = \frac{(H_5 - H_{15})}{(H_4 - H_5)} \cdot W_3$$

- H_5 : ジェットコンデンサ液相出口エンタルピ kcal/kg
- H_{15} : " スプレー水エンタルピ "
- H_4 : " 入口蒸気エンタルピ "
- W_3 : " スプレー水流量 kg/min

定義から明らかに理想的には定常状態では $\epsilon = 1$ であり、 $\epsilon \geq 1$ に従って、キャリアオーバー、キャリアンダーの状態が検知される。

しかるに、実際には以下に列挙する理由により定常状態においても ϵ は1とはならない。

- 理由(1) 分母と分子で蒸気流量測定方法が異なり流量、温度の検出誤差がある。
- 理由(2) 分母と分子で検出端の位置が異なり配管からの放熱、プロセス状態値の時間的、空間的変動がある。

又、定義式から明らかに、 ϵx_1 は蒸気流量から求めた蒸気含有率であるので、 x 、(テストセクション入熱より求めた蒸気含有率)と、 ϵ を知れば容易に蒸気流量から求めた蒸気含有率を知ることができる。もしくは蒸気流量から求めた蒸気含有率とテストセクション入熱から求めた蒸気含有率の比が分離効率 ϵ である。これを定常時の ϵ_0 とすれば、非定常時において、 $\epsilon \geq \epsilon_0$ か、キャリアオーバー、キャリアンダーの目安を与えるということになる。

(7) 熱交換器総括伝熱係数

(目的) 一次主冷却器、圧調系冷却器に関して総括伝熱係数を求め、定常時の熱交換器の性能を監視し経年的な熱交換器特性の劣化を監視する。

(対象)

一次主冷却器	区分	11
圧調系冷却器	"	18

(数式)

$$K = \frac{q}{2 \pi L \Delta \theta}$$

$$\Delta \theta = \frac{(T_{10} - T_{21}) - (T_{11} - T_{20})}{\log_e (T_{10} - T_{21}) / (T_{11} - T_{20})}$$

- K : 熱交換器総括伝熱係数
- q : 交換熱量
- L : 熱交換器長さ
- $\Delta \theta$: 一次側と二次側の平均温度差
- T_{10} : 一次側入口温度
- T_{11} : " 出口温度
- T_{20} : 二次側入口温度
- T_{21} : " 出口温度

8) 未飽和水のエンタルピ及び密度

未飽和水のエンタルピ又は密度は温度及び圧力の関数であり、圧力一定としたときの温度の関数として3次式近似した。すなわち、

$$H(T, P(N)) = X_0(N) \cdot T^3 + X_1(N) \cdot T^2 + X_2(N) \cdot T + X_3(N)$$

$$V(T, P(N)) = Y_0(N) \cdot T^3 + Y_1(N) \cdot T^2 + Y_2(N) \cdot T + Y_3(N)$$

ここでHはエンタルピ、Vは比容積を表わす。NはOWL-0の運転圧力範囲1~160 kg/cm²の巾で区分し各区分点の圧力を低い方から順にわりふった番号で1から32までの正整数である。

各係数 $X_0(N)$, $X_1(N)$, $X_2(N)$, $X_3(N)$ の値は資料19に示されている。任意の圧力におけるH, Vの値はその圧力の前後のH, Vより内挿で求める。

T^* , P^* で実際のプロセス温度, 圧力を表わせば例えばエンタルピは次の様になる。

$$H(T^*, P^*) = H(T^*, P(N-1)) \cdot \frac{P(N) - P^*}{P(N) - P(N-1)}$$

$$+ H(T^*, P(N)) \cdot \frac{P^* - P(N-1)}{P(N) - P(N-1)}$$

9) 飽和水のエンタルピ及び密度, 蒸発潜熱, 飽和蒸気のエンタルピ及び密度

これらはみな圧力のみ関数であり前節に述べた $P(N)$ に対する関数値を蒸気表から読み込んでおき, 必要なプロセス圧力に対する値は同様に内挿する。

プロセス圧力を P^* として計算式は、

$HF(P^*) = HF(N-1) \cdot \alpha(N) + HF(N) \cdot \beta(N)$	飽和水のエンタルピ
$RF(P^*) = RF(N-1) \cdot \alpha(N) + RF(N) \cdot \beta(N)$	" の密度
$\Gamma(P^*) = \Gamma(N-1) \cdot \alpha(N) + \Gamma(N) \cdot \beta(N)$	蒸発潜熱
$HS(P^*) = HF(P^*) + \Gamma(P^*)$	飽和蒸気のエンタルピ
$RS(P^*) = RS(N-1) \cdot \alpha(N) + RS(N) \cdot \beta(N)$	" の密度

ここで

$$P(N-1) \leq P^* < P(N)$$

$$\alpha(N) = \frac{P(N) - P^*}{P(N) - P(N-1)}$$

$$\beta(N) = \frac{P^* - P(N-1)}{P(N) - P(N-1)}$$

HF(N), RF(N), I'(N), HS(N), RS(N)の数値表は資料19に示される。

なお上記(8), (9)の関数近似による誤差は約0.5%程度である。

7.3 オンライン特性計算の精度

特性計算結果の精度は(イ)数式モデル自体の精度と(ロ)検出信号等の入力変数の精度に依存するが、この場合は(ロ)に比して(イ)は無視できる程度のものであるので、以下(ロ)ならびにそれによる誤差評価について述べる。

(1) 入力変数の誤差

ふつう測定器の精度を表わす場合、その機械の全測定範囲に対して起こりうる最大の誤差を百分率で表わし、フルスケールの±a%というようにすることが多い。これでは測定器の系統的誤差をも含み、特に測定値が小さい場合に過大な誤差を与えることになるので、以下の計算においては、測定器はすべて絶対較正を行っており、問題になる誤差は測定値のバラツキのみを考慮することにした。さらに、厳密には信号の各径路について、誤差を吟味しなければならないところであるけれど、本計算の目的が特性計算精度の大まかな比較及び評価にあるので、以下のように主要径路のみチェックするにとどめた。

$$\begin{aligned} \text{流量} \quad \frac{\Delta W}{W} &= \sqrt{(\text{オリフィス精度})^2 + (\text{D/Pセル精度})^2 + (\text{変換器精度})^2} \\ &= \sqrt{(0.01)^2 + (0.005)^2 + (0.0025)^2} \\ &\approx 0.0114 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{エンタルピ} \quad \frac{\Delta H}{H} &= \frac{\sqrt{(\text{白金測温抵抗体精度})^2 + (\text{変換器精度})^2}}{+ (\text{D/Pセル精度})^2 + (\text{変換器精度})^2 + (\text{変換計算})^2} \\ &= \sqrt{(0.005)^2 + (0.003)^2 + (0.005)^2 + (0.0025)^2 + (0.005)^2} \\ &\approx 0.0095 \end{aligned}$$

$$\text{密度} \quad \left| \frac{\Delta \rho}{\rho} \right| = \left| \frac{\Delta H}{H} \right| \approx 0.0095$$

$$\text{潜熱} \quad \left| \frac{\Delta \Gamma}{\Gamma} \right| = \left| \frac{\Delta H}{H} \right| \approx 0.0095$$

$$\begin{aligned} \text{温度} \quad \left| \frac{\Delta T}{T} \right| &= \sqrt{(\text{白金測温抵抗体精度})^2 + (\text{変換器精度})^2} \\ &\simeq \sqrt{(0.005)^2 + (0.003)^2} \simeq 0.00583 \end{aligned}$$

$$\text{熱量} \quad \left| \frac{\Delta Q}{Q} \right| = \text{電力演算器精度} \simeq 0.01$$

(2) 計算精度評価の式

一般に $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ において入力変数 x_1, x_2, \dots の微小誤差による y の相対誤差は次の様になる。

$$\left| \frac{\delta y}{y} \right|^2 = \left| \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|^2 \cdot |\delta x_1|^2 + \dots + \left| \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_n} \right|^2 \cdot |\delta x_n|^2$$

次に、7.2 で詳説した各項について、簡便計算式を上式に従って求める。

(i) 熱収支

$$\left| \frac{\Delta q}{q} \right|^2 = \left| \frac{\Delta W}{W} \right|^2 + \left| \frac{1}{H_{out} - H_{in}} \right|^2 \cdot (|\Delta H_{out}|^2 + |\Delta H_{in}|^2)$$

(ii) ヒータ効率

$$\left| \frac{\Delta \eta}{\eta} \right|^2 = \left| \frac{\Delta q}{q} \right|^2 + \left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|^2$$

(iii) 蒸気含有率 x_1

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta x_1}{x_1} \right|^2 &= \left| \frac{\Delta Q}{(Q - A_c \cdot W \cdot (H_f - H_1) / \eta)} \right|^2 + \left| \frac{\Delta W}{(W - A_c \cdot W^2 \cdot (H_f - H_1) / \eta \cdot Q)} \right|^2 \\ &= \frac{|\Delta H_f|^2 + |\Delta H_1|^2}{\left| \eta \cdot Q / A_c \cdot W - (H_f - H_1) \right|^2} + \left| \frac{\Delta \Gamma}{\Gamma} \right|^2 \end{aligned}$$

(iv) J.C. エンタルピ収支から求めた蒸気流量

$$\left| \frac{\Delta W_2}{W_2} \right|^2 = \left| \frac{\Delta W_3}{W_3} \right|^2 + \left| \frac{(H_4 - H_{15}) \cdot \Delta H_5}{(H_4 - H_5)(H_5 - H_{15})} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_4}{(H_4 - H_5)} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_{15}}{(H_5 - H_{15})} \right|^2$$

(v) 蒸気含有率 x_2

$$\left| \frac{\Delta x_2}{x_2} \right|^2 = \left| \frac{\Delta W_1}{W_1} \right|^2 + \left| \frac{\Delta W_2}{W_2} \right|^2$$

(vi) ボイド率 a

$$\left| \frac{\Delta a}{a} \right|^2 = \left| \frac{\rho_S (2-x)}{\rho_f \cdot x + \rho_S (2-x)} \right|^2 \cdot \left(\left| \frac{\Delta \rho_S}{\rho_S} \right|^2 + \left| \frac{\Delta \rho_f}{\rho_f} \right|^2 \right) + \left| \frac{2 \cdot \rho_S}{\rho_f \cdot x + \rho_S (2-x)} \right|^2 \left| \frac{\Delta x}{x} \right|^2$$

(VI) 沸騰長 b

$$\left| \frac{\Delta b}{b} \right|^2 = \left| \frac{H_f - H_1}{\Gamma \cdot x + H_f - H_1} \right|^2 \cdot \left(\left| \frac{\Delta \Gamma}{\Gamma} \right|^2 + \left| \frac{\Delta x}{x} \right|^2 \right) + \left| \frac{H_f}{\Gamma \cdot x + H_f - H_1} \right|^2 \cdot \left(\left| \frac{\Delta H_f}{H_f} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_1}{H_1} \right|^2 \right)$$

(VII) J.C. 凝縮効率 η

$$\left| \frac{\Delta \eta}{\eta} \right|^2 = \left| \frac{(H_4 - H_{15}) \Delta H_5}{(H_4 - H_5)(H_5 - H_{15})} \right|^2 + \left| \frac{(H_f - H_5) \Delta H_{15}}{(H_5 - H_{15})(H_f - H_{15})} \right|^2 \\ + \left| \frac{(H_4 - H_{15}) \Delta H_f}{(H_f - H_{15})(H_4 - H_f)} \right|^2 + \left| \frac{(H_f - H_5) \Delta H_4}{(H_4 - H_5)(H_4 - H_f)} \right|^2$$

(VIII) セパレータ分離効率

$$\left| \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right|^2 = \left| \frac{\Delta W_1}{W_1} \right|^2 + \left| \frac{\Delta W_2}{W_2} \right|^2 + \left| \frac{\Delta x}{x} \right|^2$$

(X) 熱交換器総括伝熱係数 K

$$\left| \frac{\Delta K}{K} \right|^2 = \left| \frac{\Delta q}{q} \right|^2 + \left| \frac{\Delta \delta \theta}{\delta \theta} \right|^2$$

$$\left| \frac{\Delta \delta \theta}{\delta \theta} \right|^2 = 4 \left| \frac{T_{10}}{(T_{10} - T_{21} - T_{11} + T_{20})} \right|^2 - \left| \frac{T_{10}}{(T_{10} - T_{21}) \log_e (T_{10} - T_{21}) / (T_{11} - T_{20})} \right|^2 \left| \frac{\Delta T}{T} \right|^2$$

7.4 特性計算精度の評価

前節において OWL=0 運転状態の一例について特性計算及び精度計算を実行した。この結果を参考にして特性計算精度の大きな評価を行う。

(i) 熱収支に関して式中入口エンタルピと出口エンタルピの差が因子として入ってくるためエンタルピの誤差が他の流量因子に比べてはるかに大きく相対誤差で 10~20% を占めこれがそのまま熱収支の相対誤差になっている。沸騰がおこる SG 部の熱収支は全体で約 7% と小さいけれど、この内大部分を占めるのはやはりエンタルピの誤差であって、エンタルピを精度よく検出する必要があることがわかる。本特性計算では温度からエンタルピ変換の誤差はフルレンジで 0.5% におさえである。

(ii) 蒸気含有率は入熱量から求める方式と流量比から計算する方式があり相対誤差は前者が 8.9%、後者が 4.9% となり流量比から計算するのが精度よく行えることがわかる。但しこの結果は流量の絶対較正が確実に行われたと仮定したので実際は困難のため入熱量から計算する方式の方が信頼性があると思われる。

(iii) ジェットコンデンサスプレイ凝縮効率は 5% 程度の誤差で精度よく求められる。さらに誤差を少なくするには精度計算式を見ればわかるように H_5 、 H_{F_2} など水のエンタルピを精度よく検出すればよい。

(iv) セパレータ分離効率は蒸気相流量をジェットコンデンサのエンタルピ収支から求める方

式と主流量から液相流量を差し引いて求める方式があり相対誤差は両方式とも10%程度で大差ない。

(V) P S T熱収支は特性計算式中に多くの因子を含み誤差も50%になり精度わるい。これは式を見てもわかるとおり必要なプロセス変数とその検出端がないため間接的に他のプロセス変数から計算しているため仕方のないことではある。

(VI) 同様なことがP S T表面フラッシング流量についてもいえる。

(VII) 圧調系又は一次主冷却器一次側冷却器流量は熱収支と入口出口エンタルピ差を因子に含むので誤差が大きくなり20%程に達する。

(VIII) 圧調系又は一次主冷却器の総括伝熱係数は入口出口の温度差を含み式自体がやや複雑なため相対誤差は大きくなりそうであるけれども、精度計算式を見ればわかるように熱収支の誤差がほとんど効いているので10%程度どまりである。このことから熱収支を精度よく計算しなければならぬことがわかる。

(IX) 一次系全ヒータ熱入力又は、一次系全除熱量は特性計算式が各熱収支の和となっているので比較的誤差は少く7~8%である。ところが一次系放熱量は熱収支の差で式の中に入ってくるので誤差は大きくなり90%にも達し信頼性はない。これは現在のOWL-0では如何ともし難いものであり、検出器の新設等を言めて改めて検討を要する。

8 オペレータコンソールの機能

オペレータコンソールはいわゆるマン・マシン・コミュニケーションシステムとしてオペレータと計算機ならびにプラントとの間の情報交換の窓口であり、機能はもとより、各種のキー、スイッチ、表示器の配置や操作性までが重要な役目を負う。この設計いかんによって計算機制御システム全体の良否が決定すると言っても過言ではない。特に本システムの様に起動前点検から停止後点検に至るまでの広範囲を運転の監視と制御を行うシステムに対してはオペレータコンソールの設計には一層深い考慮が払われねばならない。

したがってこの設計に当っては、直接運転にたずさわるオペレータとの検討を重ねた結果の第3次設計案に基づいてメーカーと交渉し、長時間の相互検討を経て最終設計を了えた。第1次設計からこれに要した期間は約10ヶ月であった。

8.1 設計方針

この設計に当っては特に次の点を考慮した。

- (1) OWL-0の運転の進行状況を全運転区分を通して監視でき、自動、手動のいずれでも運転プログラムの進行を制御できること。
- (2) オペレータコンソールとタイプライタを有機的に結合することにより情報交換の円滑化をはかる。
- (3) 計算機側あるいはプラント側に異常が発生した時オペレータの判断により、または計算機自身により全システムを一括してバックアップ系に切換えられること。
- (4) 計算機異常その他の原因で定常運転時にバックアップに切換えた後、条件が整えば計算機による運転再開ができること。またその際制御サブグループは個々にDDCに復帰できること。
- (5) オペレータの誤操作に対するチェック機能を持つこと。とくにオペレータコンソールからの計算メモリー内容の変更操作は誤ればプログラムの破壊を招くし、またシーケンス制御プログラムに関するキー操作も誤れば運転に重大な支障を来すので、オペレータコンソールの機能が豊富であればあるほど、誤操作に対する配慮も重要になる。

8.2 構成

オペレータコンソールは(Ⅰ)データ設定・表示部、(Ⅱ)作表指令部、(Ⅲ)シーケンス制御部、(Ⅳ)警報表示部より構成される。このうちデータ表示器は2系統あり、同時に2ヶ所のデータがよみとれる。Fig. 8-1にオペレータコンソールのパネル図を示す。

8.3 機能

オペレータコンソールの各種のキーの機能についてはAppendix Eに示し、ここでは主要機能の概要を述べる。

(1) プロセス変数および特性計算値の表示

各部のプロセス変数、オンライン特性計算結果ならびにバルブ開度などが表示される。こ

これらの選択は、テンキーとそれに併置されたタグインデックスキーで行なう。各変量に対応して定められたTAGを選択するとその変量の値(PV)と目標値(SP)およびバルブ開度(VP)が同時に表示される。ただしこれはその変量が制御サブグループで使用されかつ操作端がバルブの時のみであり、制御グループで使用されていない時はPV値のみ表示され、また制御グループでも操作端がバルブでない場合にはVP値は表示されない。Fig. 8-1に制御サブグループで使用されている変量に関する表示例を、Fig. 8-2にデータ表示設定に関する機能説明を示す。またFig. 8-3にオンライン特性計算結果の表示例を示す。“VP/ENTRY”表示器には特性計算値の仮数部が、“SP”表示器には指数部が表示される。なお特性計算結果があり得ない値になった場合には仮数部に“?”を表示する。

タグインデックスとプロセス量の単位は次の通りである。

T	: 温度	℃
P	: 圧力	kg/cm ²
F	: 流量	kg/min
L	: 水位	% (満水位に対する割合)
PC	: 特性計算	

(2) 制御サブグループおよびプロセス入力点に関する定数の設定と表示

各部のプロセス入力点が選択された時“FUNCTION”キーによって次の種々の定数の表示や必要に応じて設定変更をすることが出来る。

サブグループの制御目標値	(SP)	工業単位
プロセス信号の上下限值	(PVH, PVL)	“
サンプリング周期	(TS)	秒
入力フィルタリング時定数	(TF)	秒
PIDの定数	(K _P , K _I , K _D)	%, r/min, min
制御偏差警報の上下限值	(DEVH, DEVL)	%
バルブ開度の上下限值	(VPH, VPL)	%

表示は前節で示した通りである。設定は一時“VP/ENTRY”表示器に表示された後、“TRANSFER”キーにより書き込みが行なわれ、“SP”表示器に表示される。

(3) 作表指令

(i) 定刻印字周期の選択 (“PERIODIC LOG”)

データログの印字周期は10, 30, 60分の一つを選択できる。定刻印字はログタイパー-2台に特性計算を含めて作表される。

(ii) 任意時印字の指令 (“ON DEMAND”)

“ON DEM”のキーを押すごとにデータログの印字が一回行なわれる。ただしログタイパー#1だけである。

(iii) 任意点印字の指令 (“POINT LOG”)

これはデータ表示器 (“DISPLAY - 1” および 2) に表示されたデータをアラームタイパーに印字する機能で、1回だけ (“SINGLE”) と10秒毎の連続印字 (“CYCLIC”) との選択ができる。

(IV) 日報印字指令 ("DAYLY LOG")

下記の項目をログタイパー#1に印字する

- (a) その時刻と最終定常運転に入ってから積算時間
- (b) PVのアラームの出たTag Noと回数
- (c) 既設安全系からの警報の種類と回数
- (d) 制御機器異常 (NACT, NOGO) を生じた機器名

(4) コアメモリ内容の表示と変更

"DATA LOCK" の "10/8" キスイッチを "8" に切換えテンキでメモリアドレスを指定すると "PV" "SP" 表示器にアドレスが, "TAGNO" "VP/ENTRY" 表示器にメモリー内容が8進表示される。(例: Fig. 8-4)

メモリー内容の更新には "DATA SET" と "TRANSFER" およびテンキを用いる。

(5) シーケンス制御

OWL-0の運転制御はオペレータコンソールのシーケンス制御部で行なわれる。シーケンス制御部はSEQ No設定用のロータリスイッチ, 各種のキイ, ならびにSEQ No表示器で構成される。

(i) シーケンスプログラムの実行

運転開始はオペレータコンソールで "SEQ NO" を設定し "READY" キイにより選んだ SEQ NO の正否がチェックされ, 正しければ "SEQ NO" 表示器にその番号が表示される。あとは "START" キイによりそのシーケンスが実行開始される。誤操作を避けるため, キイロックのスイッチが "SEQ" がかつ "READY" が点灯している時のみSEQ Noの設定が可能にしてある。また一つの運転区分内のシーケンスを自動的にすすめるかまたは一つづつ手動でスタートさせるかは "CONTROL MODE" 上の "AUTO" と "MAN" スイッチで選択する。なお各シーケンスの実行ごとに時刻およびシーケンス番号がアラームタイパーに印字される。

起動ならびに停止制御においてはOWL-0の各部の状態がそれぞれ所定の時間内に所定の条件に達しなければならぬので, このチェックとして "TIME LIMIT" を設けている。これが異常になればアラームが出てシーケンスはそこで保持され "CHECK OK" 待ちとなる。

(ii) 起動前ならびに停止後点検について

この運転区分では計算機からオペレータへ指示が与えられるが, オペレータがその指示を実行して返事をすれば ("CHECK OK") シーケンスが前進する。もちろん自動的に点検できるものは計算機が行ない, 異常があればアラームを出して "CHECK OK" 待ちになる。

(iii) DDC/BACK UP 運転モードの切換

このスイッチを "DDC" から "BACK UP" に切換えることにより, 全ステーションが一度にBACK UPモードになり, 計算機出力はすべて停止する。

DDCに復帰する場合は "DDC" にし, さらに各ステーションのモード切換スイッチを

"DDC"あるいは"COMP"にする。

プログラムによる切換えが可能なりレバックアップステーション(RBS)についてはプログラムによるモード切換が必要である。

オペレータコンソールのモード切換スイッチの状態と各ステーションの同じスイッチおよびOWL-0の運転モードとの関係をTable 8-1に示す。

(6) アラームの表示("ALARM")

計算機側あるいはプラント側に異常が発生した時は表示灯、ブザー、アラームタイプ印字により異常箇所ならびに異常内容を表示する。"ALARM RESET"によりブザーは停止するがランプは異常原因が復帰するまで点灯を継続する。

これらの異常表示項目についてはAppendix Bに示した。

Table 8-1 Relations between Mode Switches and Operation Modes

ステーション	オペレータコンソール DDC/BU切換スイッチ	DDCステーション の切換スイッチ	制御モード	プログラム切換の有無
RBS	DDC	DDC	DDC	有 (DDC⇔BU)
		BU	BU	
	BU	DDC	BU	
		BU	BU	
CAS	DDC	COMP	DDC	無 (但し計算機停止 の時DDC→BU 切換は可能)
		AUTO	BU(AUTO)	
		MAN	BU(MAN)	
	BU	COMP	BU(AUTO)	
		AUTO	BU(AUTO)	
		MAN	BU(MAN)	
CMS	DDC	COMP	DDC	無 (同上)
		MAN	BU	
	BU	COMP	BU	
		MAN	BU	

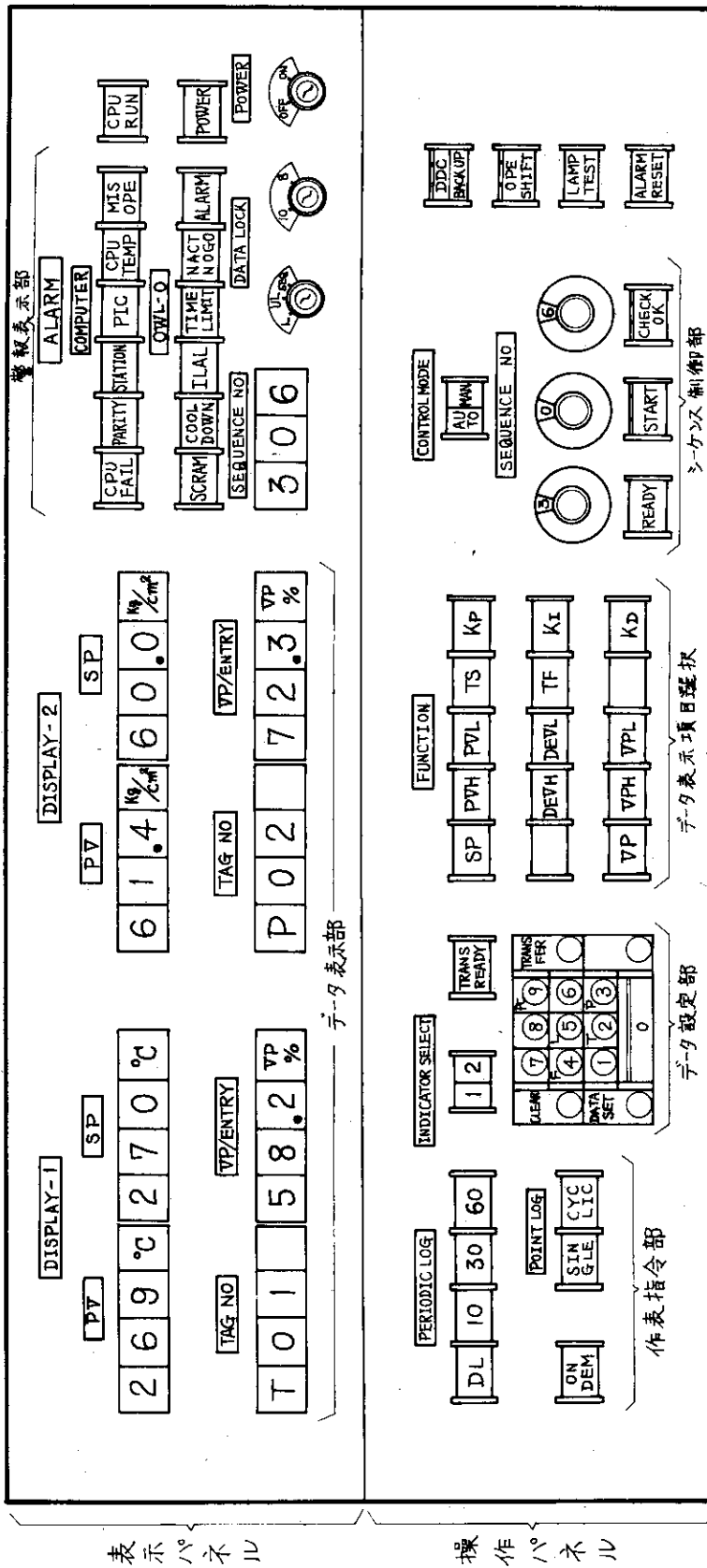


Fig. 8-1 Panel Layout for Manipulation and Indication

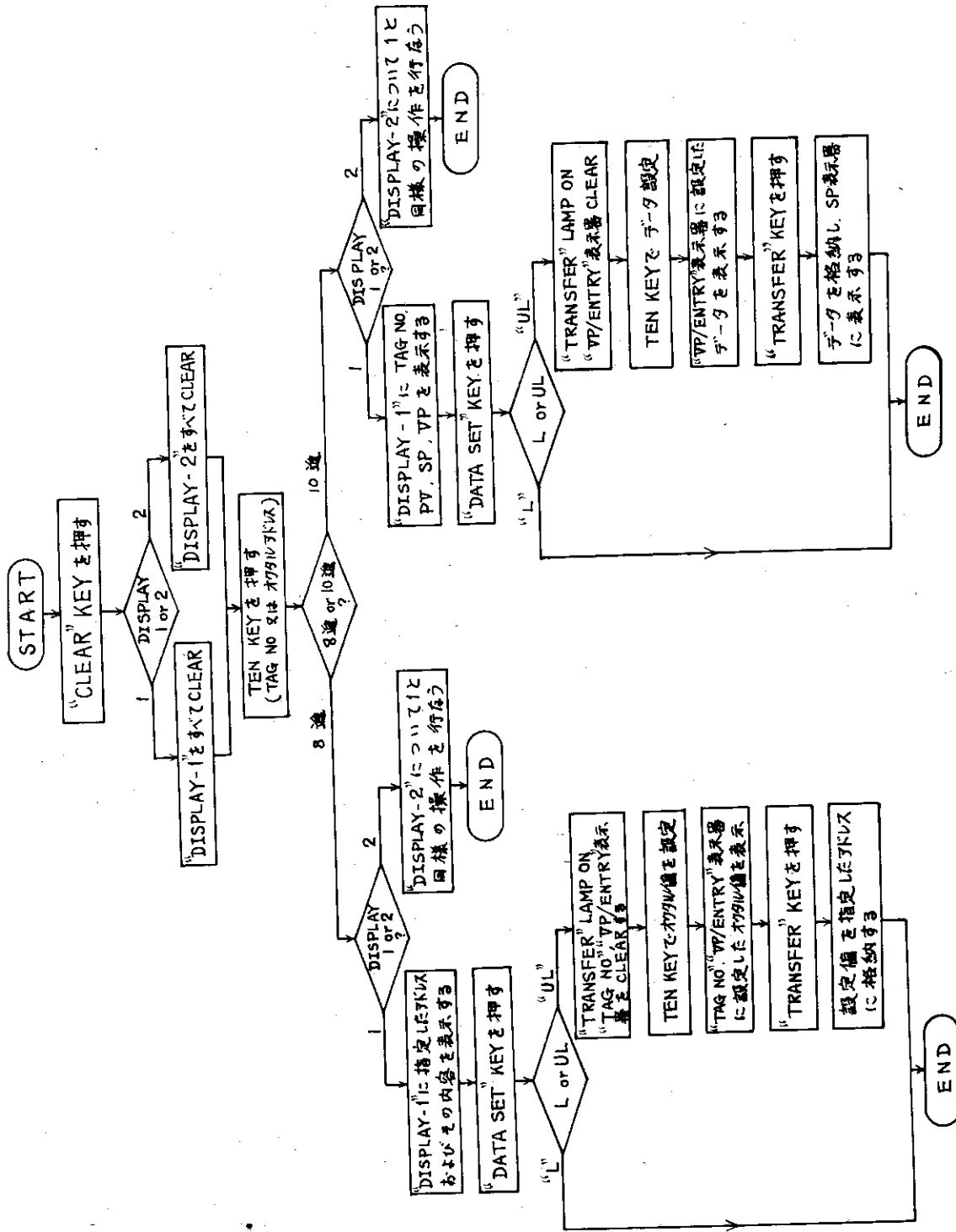


Fig. 8-2 Functional Diagram on Data Presentation and Data Setting

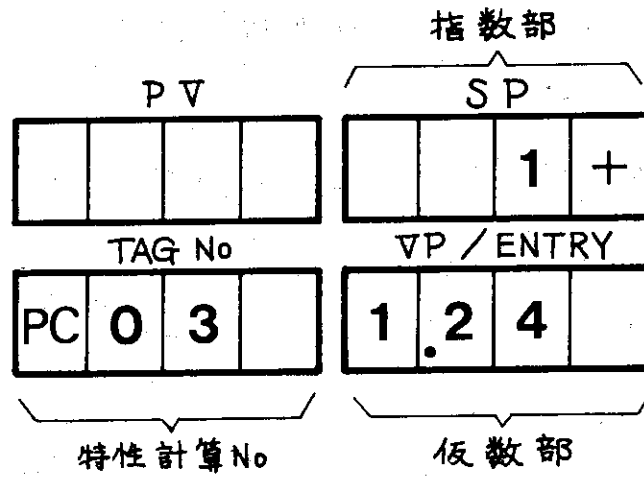


Fig. 8-3 Example of Results of On-line Performance Calculation

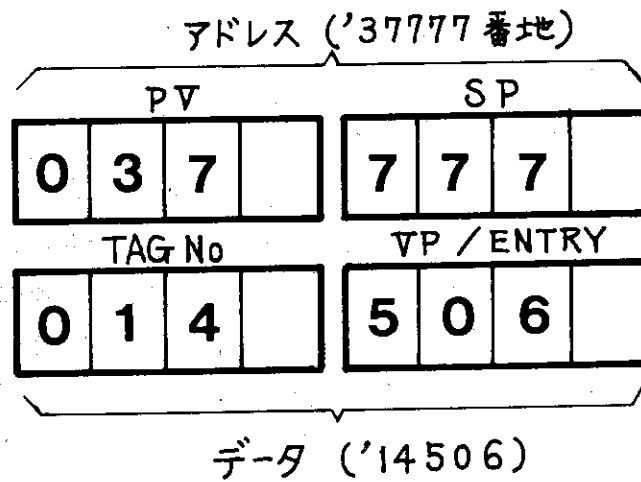


Fig. 8-4 Example of Displays of Core Memory Contents

9 異常時の処置システム

9.1 システム構成

OWL-O 計算機システム運転中発生する異常状態に対して、その監視、通報およびプラントのバックアップ運転への切換等の処置を行うのがこの異常時処置システムである。

このシステムは異常のチェック、通報、システムの運転をバックアップへ切換る等の機能を持つソフトウェア部分と、プラントの安全を確保する既設安全系、およびアナログバックアップパネルを備えたハードウェア部分から成る。異常が発生すると直ちにオペレータコンソール上のアラームランプを点灯し、オペレータに異常状態を知らせると共に、予め定められた異常レベルに対応した処置がとられる。この異常レベルはすべての異常項目に対して決められており、異常時処置システムは、この異常レベルで定められた処置を行った後は、オペレータが必要な復帰作業を行う。

9.2 異常時処置

異常発生時の処置として、このシステムは次の動作を行なう。

- (1) オペレータコンソール上のアラームランプを点灯し、ブザを鳴らす。
- (2) アラームタイプライタにアラーム印字を行う。
- (3) 運転制御プログラムを一時休止または停止させる。
- (4) プラントの運転をバックアップへ切換える。

これらの処置は、9.3 に述べる異常レベルに応じて該当する項目が定められている。異常発生に基づく計算機システムおよびプラントの復帰作業は原則としてオペレータの判断に委ねられている。プラントがバックアップ運転へ切換えられた場合は、異常原因の回復後、DDCへの再投入がオペレータコンソールを介して行なわれるが、これらの操作は計算機の補助動作のもとにオペレータが行なっている。異常が復帰した場合、この異常時処置システムは、オペレータコンソール上のアラームランプを消灯しアラーム復帰の印字を行なう。

9.3 異常の種類・項目

OWL-O 計算機システムの発する異常は、計算機システムの異常と、プラント側の異常の2つに大別される。また異常信号の種類別にみると定周期のスキャンによるチェックから発生するものと、割込信号によるものとに分けられるが、ここでは系統別に異常項目を挙げ、簡単な説明を加えておく。Table.9-1 に異常の種類を示す。

(1) 計算機システムの異常

(i) CPU異常

CPUの異常はWatch Dog Timerで検出される。このタイマーはプログラムの実行時間を常時チェックしており、所定の時間内に演算コントロールが管理プログラムに戻らないと異常と見なす。

(ii) パリティ異常

メモリパリティ不正信号が発生した場合に生ずる異常で奇数パリティチェックを行っ

ている。アラームを発生し、計算機は停止する。

(iii) メモリ温度異常

コアメモリ筐体の温度が上限値を越えた場合に発生する。

(iv) デジタル周辺機器異常

異常検出を一部運転員に委ねており、アラームの通報、印字等の異常時処置が行なわれない種類のものである。デジタル周辺機器異常の対象となっているものは次の通りである。

(a) ディスク異常

ディスク転送エラーを生じた場合、アラームを発生し、計算機は停止する。

(b) アラームタイプライタ異常

アラームタイプライタの動作異常をオペレータが認めた場合の異常である。

(c) ログタイプライタ No.1 および No.2 異常

ログタイプライタ No.1 および No.2 の動作異常を運転員が認めた時の異常である。

(v) PIC 異常

PIC に含まれる AD, DA 変換器の精度を定期的にチェックし、規定値を越えた場合に発生する異常で、項目としては次の 2 つがある。

(a) ADC 異常

MPX および AD 変換器の精度不良の場合発生する異常である。精度チェックの方法は MPX の 2 チャンネルに 0, 80% の基準入力を与え、その誤差範囲が基準値の $\pm 10\%$ を越えていないことを確認する。

(b) DAC 異常

DA 変換器の精度不良の場合発生する異常である。精度チェックは DAC に 0, 80% の出力をさせ、それを AD 変換器で読み込んで行う。

(vi) DDC ステーション異常

プラントのバックアップ運転を行うためのアナログ計器類を総称して DDC ステーションと呼んでいるが、これらの調節計の出力異常、リレー類の動作不良等を、その都度または定期的にチェックし、異常状態を検出している。DDC ステーションに関する異常としては次のものが考えられる。

(a) アナログ信号異常

バックアップ計装のうち、アナログ信号を出力する計器 (CAS, CMS) および CIS のアナログ出力異常の時発生する。異常の検出は、DDC ステーションの出力信号と DAC の出力を比較して行っている。

(b) オン・オフ信号異常

プラントのポンプ、ヒータ等を操作するオン・オフ信号およびリレーの動作不良の場合に発生する異常である。異常検出は計算機の出力と、機器のオンまたはオフのアンサーバックリレーの動作状態の比較によって行なわれる。

(c) モードリレー動作異常

各 DDC ステーションの DDC/Back.up 切換えリレーの動作不良の場合に発

生ずる異常である。異常の検出は計算機の出力と DDCステーションのモード信号を比較して行っている。

(d) SP値異常の検出

バックアップ運転に備えて、アナログコントローラに対して、制御サブループの設定値と同一の設定値を与えておき、そのアンサーバック信号が、計算機から出力された設定値と比較し、規定された誤差範囲を越えた時に発生する異常である。この異常のチェックは一定周期で行なっている。

(2) プラントの異常

(i) PV値異常

プラントのプロセス信号が、上下限値を越えた時発生する異常である。この上下限値は運転条件設定プログラムで与えられるものであるが、オペレータコンソールの機能により、運転員が必要に応じて変更することができる。

(ii) PC値異常

オンライン特性計算項目のうち、Bモード運転時の蒸気含有率については下限値を設け、これを下回った場合は異常としている。この異常項目は、Bモード運転時の制御状態を安定に保つために必要なものである。

(iii) VP値異常

バルブ開度が上下限値を越えた場合に生ずる異常である。このVP値は、VP値異常の場合と同様運転条件設定プログラムで与えられるもので、必要に応じてオペレータコンソールから上下限値を変更することができる。また、PV値、VP値の異常は、一定周期のスキャンによってチェックされ、同一信号に関して異常が連続して発生した場合には第一回目のみ異常時の処置としてのアラームランプの点灯、印字、ブザーを鳴らし、それ以降は行なわない。更に異常復帰については、上下限値の内部にデッドゾーンを設け、上下限のリミットから更にデッドゾーンの内側に復帰した時を正常復帰としている。

(iv) TL異常

運転制御プログラムの中で、プラントの状態待ちをしている時間をタイムリミットと称している。タイムリミット超過の異常は一定時間内にプラントの状態が予想された状態に至らなかった場合に発生する。

(v) 既設安全系による異常

既設安全系は、ここに述べる異常時処置システムとは別の独立した異常処置システムである。既設安全系はDDCステーションを含むバックアップパネルと別個の従来のアナログ系から構成されたインターロックシステムで、異常の程度に応じて、3段階の安全動作から成る。

既設安全系からの異常は割込み信号の形で受取られ、予め定められた異常レベルの内の1つとして、他の異常と同様の処置が行なわれる。既設安全系の異常としては次の3項目が規定されている。

(a) インターロックアラーム

(b) タールダウン

(c) スクラム

これらの異常に対する処置を含めて、既設安全系の詳細については、9.5で述べる。

(vi) 電源オン・オフ異常

CWL-Oプラント側の電源が正常にオン・オフしなかった場合に発生する異常で、リレーの動作状態をチェックしている。

(vii) 圧空停止による異常

プラントの計装用圧縮空気の圧力が下限値を越えた場合に発生する異常である。この圧縮空気はコントロールバルブ、空気式計器等に使用されており、これが停止した場合、プラントの運転は事実上不可能になる。

(3) その他の異常

(i) 停電

計算機システムおよびプラントの停電時の異常である。OWL-O 計算機システムはバックアップ電源を持っていない。

(ii) オペレータコンソールの誤操作

運転員がシーケンス番号の設定を誤った場合に発生する異常である。

9.4 異常レベルと運転区分

(1) 異常レベル

前節で述べた異常項目はいずれかの異常レベルに属している。異常レベルは異常の程度に応じて次の4段階に分けられている。

(i) HZ-A

最も高いレベルの異常で、計算機の停止を要する。従ってプラントはバックアップ運転に切換えられ、以後再びDDCへの復帰はまず考えられない。

(ii) HZ-B

主としてプラント側から発生する異常の中では高いレベルの異常で、バックアップ運転に切換える必要がある。同時に運転制御プログラム、制御サブループの実行は停止され、オペレータによる異常復帰を待つ。この異常レベルにおいては、プラント側の条件が異常発生直前の状態に戻ればDDC運転への復帰は可能である。

(iii) HZ-C

プラントおよび計算機システムの停止には至らない軽微な異常で、計算機システムはそのままの状態を維持する。プラントは、異常が発生した時点でその時の状態を維持し異常の回復を待つ。この異常レベルの対象となるものは、ローカルな異常項目が考えられる。

(iv) HZ-D

最も軽微なレベルに属する異常で、アラームランプの点灯、印字およびブザーを鳴らすだけで、計算機システム、プラントは運転をそのまま続行する。このレベルに属する異常は、定常時におけるプラントのPV異常、VP異常等が代表的である。

これらの異常レベルが行なう処置を Table.9-2 に示す。

(2) 運転区分との関連

すべての異常項目は前記の4つの異常レベルのいずれかに属し、決められた異常処置を行う。この異常項目の或るものについてはプラントの運転区分により異常レベルが異なるものがある。これは主として、HZ-CとHZ-D、に関するものであるが、プラントの運転状態からみると、過度運転時と定常運転時で異常レベルのとり方が異っている。

過度運転時は例えばDDCステーションの異常を例にとると、運転制御シーケンスの進行が不能になる為HZ-Cの取扱いが必要になる。然しながら、定常運転時はシーケンスの進行はなく、サブ룹制御、PV値の監視等を行っているため、同じDDCステーションの異常に対してHZ-Dで充分である。この場合は、オペレータが該当するDDCステーションをBack up に切換え、異常原因を取り除いた後、オペレータコンソールを介して再びDDCに投入すればよい。異常項目の異常レベルと運転区分との関連を Table.9-3 に示す。

9.5 既設安全系

既設安全系は、従来のプラント運転時における異常処置システムであり、現在の計算機システムに対して独立の最終保護系として扱われている。既設安全系の安全動作は、次に述べる3段階のインターロック方式をとっている。

(1) インターロックアラーム

計算機システムの異常項目の中のPV値異常と同様なもので、この設定値を越えた場合は、インターロックアラームランプを点灯し、ブザーを鳴らす。このアラーム値の検出は後で述べるバックアップパネルのアナログ系とは別の既設のアナログ系で行っている。

(2) ループ・クールダウン

プラントのプロセス値がインターロックアラーム値を越え、運転条件を逸脱する恐れのある場合に発生する安全上の動作でプラントの運転条件を十分安全な状態まで低下させる。実際のインターロック動作としては、ヒータ断などが挙げられる。この異常はHZ-Bとして扱われている。

(3) スクラム

プロセス値が更にクールダウンの設定値を越えて、プラントの使用条件を逸脱する恐れのある場合に、発生する異常で、クールダウンと共に、炉内ループの場合は原子炉停止を伴う処置である。OWL-Oにおいては、テストセクションヒータをオフにすることで原子炉停止を模擬している。異常レベルとしてはHZ-B扱いである。

なおインターロックアラームについては、HZ-D扱いとしているがPV値異常をバックアップするものとして、インターロックアラーム値の設定を行っている。既設安全系の異常は、この3段階の異常項目を、それぞれ割込信号の形で計算機システムへ出力している。本来この割込信号はプラントの全運転区間を通して計算機システムによる監視が行なわれることが望ましいが、HZ-Bに相当するループクールダウン、スクラム信号は、運転区分の途中で解除される為、それまでは割込を受けつけない様な処置がとられている。

この割込禁止の解除はハードウェアまたはプログラムによって行なわれている。Table. 9.4に既設安全系の異常項目、安全動作の区分けおよび安全動作項目を示す。

9.6 アラーム印字

異常時処置の1つとして、アラームランプの点灯と共にアラーム印字がある。異常発生時はHZ-Aに相当する一部の異常項目を除いて、アラームタイプライタに赤文字でアラーム印字がなされる。このアラーム印字のフォーマットは以下に示す様なものである。

12:00	PMLP	φN NACT	HZ-C
(時刻)	(異常項目)	(異常内容)	(異常処置)

これらの異常はすべて異常発生時刻の早いものから順にタイプアウトされ、計算機停止に及ぶ異常でない限りは全てアラーム印字が行なわれる。また異常項目の内、PV値異常、VP値異常およびPC値異常については、異常が回復した時、黒文字でアラームタイプライタにアラーム復帰の印字がなされる。復帰の際のフォーマットは発生時と同様次の様なものである。

13:00	T-01	PV HI 250	φK
(時刻)	(異常項目)	(異常内容)	(状態)

復帰の場合も先着順に復帰の印字が行なわれる。

9.7 DDC, バックアップの切換

(1) DDC→バックアップへの切換

HZ-A, HZ-Bの異常が発生した場合は計算機システムを切離し、バックアップ運転に切換えられる。この時に異常処置システムが行うことは次の3つが挙げられる。

(i) モードリレーをバックアップへ切換える。

計算機のデジタル出力により、全ステーションのモードリレーをバックアップに切換える。但し各ステーションのモードスイッチは“DDC”の位置に保持されたままであるが、ランプ表示により実質的にバックアップに切換えられたことを示す。

(ii) オペレータコンソール上のDDC/BU切換スイッチをバックアップに切換える。

(iii) サブグループ制御プログラムの演算出力をすべて停止する。

上記の措置がとられた後は、プラントの運転は、バックアップパネルを用いたオペレータによる従来の手動運転が行なわれる。このDDCからバックアップへの切換えは、後で述べるDDCステーションの機能により、バンプレスに行なわれ、プラントへの外乱とはならない。

(2) バックアップ運転→DDC切換

バックアップからDDCへ切換える場合は、HZ-Bの異常によって、システム全体がバックアップへ切換えられた場合と、単一ループのみの場合の2通りが考えられる。単一ループのバックアップからDDCへの切換えはバックアップモードでできる限り、切換前の状態に戻した後、オペレータコンソールを介してチューニング処理を行い、DDCへ復帰することができる。HZ-Bの異常によるバックアップからDDCへの切換えは、次の様な処理が必要である。

- (i) オペレータコンソール上の DDC/BJ 切換スイッチを DDC へ切換える。
- (ii) サブルーブ制御プログラムの演算，出力を再開させる。HZ-B の処置により，サブ
ルーブ制御プログラム，運転制御プログラムが停止されるため運転制御プログラムをスタ
ートし，それによつて，サブルーブ制御プログラムの演算および出力が再開される。
- (iii) 計算機からの出力が可能になるようモードリレーを DDC へ切換える。
- (iv) 各々の制御ループを再開させるためのチューニング処理を行う。制御ループ以外のもの
については，バックアップへ切換えられる以前の状態にした後 DDC ステーションを
バックアップから DDC へ切換えればよい。チューニングを必要とする制御ループは，
DDC ステーションの Back up/DDC 切換スイッチが DDC へ切換った信号を受けて
その時のプロセスの P.V 値を制御目標値として，切換えによる外乱を生じない様，考慮
している。この操作を行った後サブルーブ制御プログラムが，再開される。DDC に投
入された制御ループはオペレータコンソールの機能を使用して，切換前の制御目標値ま
で変更し，正常な運転に復帰する。

バックアップ運転から DDC への切換えは上記の操作を全ての制御ループについて実
施することにより可能であるが，実際上は定常運転時を除いて DDC への復帰は困難で
ある。過渡的な運転状態においては，その運転状態の維持が困難なばかりでなく，運転
制御プログラムを再開し，切換前の状態まで運転シーケンスを実行することが非常に厄
介である。従つて現状では定常運転時に発生した HZ-B に対してのみ，DDC への復
帰を考えている。

9.8 バックアップ計装

(1) バックアップパネルの構成

OWL-0 計算機システムのバックアップは，従来の運転様式と殆んど変わらない機能
を持つアナログバックアップ方式をとっている。プラント運転操作，監視用の計器類は新設
のバックアップパネルに収納され，バックアップ運転時の異常処置を行う既設安全系，電
源盤等は既設の操作盤に配置されている。バックアップ計装の特徴の 1 つは，DDC からバ
ックアップへの切換時プラントへ与える外乱を最少限度に小さくするため，DDC 運転時
の状態を維持したまま，バックアップへ切換える数々の工夫がされていることである。こ
れらの詳細についてはバックアップ方式のところでも述べる。バックアップパネルの外観を
Fig.1-3 に示す。

(2) バックアップ方式

計算機による DDC 運転から，バックアップ運転へ切換える場合は原則として，切換直前
の状態が維持される。各々の制御ループの制御方式，および操作機器，さらに制御ループ
を構成しないもの等それぞれバックアップ方式が異なる。

(i) PV トラッキング型 CAS

DDC 運転からバックアップへ切換わる時，その制御ループの PV 値を新しい制御目
標値として，DDC ステーションに与える方式を PV トラッキング方式と称している。
PV トラッキング型 CAS とは，この方式を用いたアナログ PID 制御機能を持った指

示調節計である。この調節計は従来のアナログ調節計に、DDC用の入力切換回路、サーボモータ等を附加したもので、その他の機能はこれまでのものと殆んど変わらない。DDC運転時は、バックアップに備えて、CASの目標値はPV値に追従させている。このDDCステーションの概略図をFig.9-1に示す。

(ii) SPトラッキング型CAS

PVトラッキング方式に対して、DDC運転時は計算機からのパルス出力を受けて、その制御サブループの目標値を追従させ、バックアップへ切換える時はその直前の目標値を保持する方式をSPトラッキング方式と呼んでいる。従ってこの方式の制御目標値は常にDDC運転時の値と同じである。その他の点はPVトラッキング型CASと殆んど同一である。Fig.9-2にSPトラッキング型CASの概略を示す。

(iii) CMS (Computer Manual Station)

バックアップ運転時に制御ループを構成しないもののうち、操作端がコントロールバルブのものについてはCMSが用意されている。CMSはホールドアンプを備えた一種の電流発生器で、DDC運転時は計算機の出力を保持し、バックアップに切換わる時、チャージされた電荷をバッファアンプを通してコントロールバルブに出力する。このCMSはCASと同様、バックアップ切換時はDDC運転時の状態が維持される。尚ホールドアンプのホールドエラーを防止するため、定周期でその時の計算機の出力を更新している。Fig.9-3にCMSの概略を示す。

(iv) オン・オフ制御ステーション

これは前記のCMSを用いた二位置および三位置のオン・オフ制御方式のステーションを指す。CMSはその機能の点から、制御目標値は持っていない。然しバックアップ運転時に、二位置または三位置のオン・オフ制御を行うためには上下限の制御値を何らかの方法で与える必要がある。OWL-Oのオン・オフ制御ステーションは、このCMSを複数個用いてそれぞれのCMSに目標値、およびPV値を独立して与え、CMSに附属する偏差モニタスイッチのリレー回路を用いて、操作機器への出力信号をとり出している。二位置制御方式の場合は1台のCMSに制御目標値を、もう一方のCMSにPV値を入力し、その偏差をとって操作機器への出力信号を与える。なおこれらのオン・オフ制御ステーションは次に述べるRBSと組み合わせて、1つの制御ループを構成するものであるが、制御方式の詳細は5章を参照されたい。Fig.9-4, Fig.9-5に二位置、三位置のオン・オフ制御ステーションの概略を示す。

(v) RBS (Relay Back up Station)

ポンプ、ビータの様なオン・オフ信号で動作する操作機器類のステーションをRBSと呼んでいる。このRBSはDDC運転時は計算機からのオン・オフ信号をリレーで中継し、操作機器に出力すると共に操作機器のオン・オフ状態をRBS内で記憶し、計算機へフィードバックする一方、バックアップ運転へ切換わる時は、その時のリレーのオン・オフ状態を維持する。Fig.9-6にRBSの代表的な回路図を示す。

Table 9.1 Specification Anomalous Conditions of the System

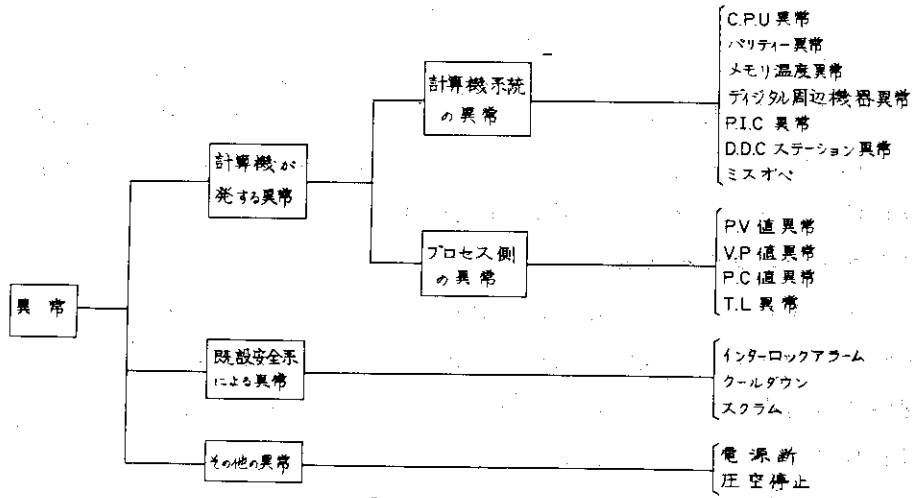


Table 9.2. Malfunction Levels and their Handling.

異常 レベル	計算機システムの処置	プログラムが行う処置	バックアップに切替えた後の D.D.C.復帰
HZ-A	計算機システム切離し 計算機停止 アラームランプ点灯 *2)	全ループD.D.C.→B.U 全てのプログラムの実行停止 アラーム印字 *1)	行なわない。
HZ-B	D.D.C.機能停止 アラームランプ点灯	全ループD.D.C.→B.U 運転制御プログラム サブプログラム以外のプログラムは実行 アラーム印字	定常運転時のみ条件 が整えばD.D.C.復帰は あり得る
HZ-C	計算機システムは そのまま実行 アラームランプ点灯	運転制御プログラムは アラーム発生時で中断 サブプログラムは 実行 アラーム印字	有
HZ-D	計算機システムは そのまま実行 アラームランプ点灯	アラーム印字のみで 他のプログラムは 実行	有

*1) 次の異常項目についてはアラーム印字はされない。

- i) ディスク異常
- ii) C.P.U.異常
- iii) メモリバリティ異常

*2) アラームランプ点灯とブザーは、ハード的に関連しているため、ブザーも含む。

Table 9.4 Conventional Protection Systems of OWL-O

測定箇所 安全動作		I, L, A, L	C, L, D, N						SCRM	備考
			警告報	一次サージタンクヒータ断	二次補助ヒータ断	一次サージタンクヒータ断	主循環ポンプ停止	圧調系循環ポンプ停止		
温	一次サージタンク温度	高	①	②	②				③	
	テストセクション入口温度	高	①		②				②	③
	テストセクション出口温度	高	①		②				②	
	二次サージタンク温度	高	①			①				
	二次系温度	高	①							①
	模擬テストセクションヒータ温度	高	①							
	一次サージタンクヒータ温度	高	①	①						
	一次補助ヒータ温度	高	①		1					
	一次サージタンクヒータ温度	高	①			1				
	二次補助ヒータ温度	高	①							
	主循環ポンプ冷却水温度	高	①							
	圧調系循環ポンプ冷却水温度	高	①							
	主循環ポンプシール液温度	高	①				1			
	圧調系循環ポンプシール液温度	高	①					1		
	二次循環ポンプ No.1 冷却水温度	高	①							
二次循環ポンプ No.2 冷却水温度	高	①								
圧	テストセクション出口圧力	高	①		②				②	③
	一次サージタンク圧力	高低	①	②	②				③	
	二次サージタンク圧力	高低	①			①				
	主循環ポンプ出口圧力	高	①		①					
	二次系圧力	高	①							
	排水タンク圧力	高	①							
	圧空圧力	低	①							
流	テストセクション入口流量	低	①		②					③
	二次系主流量	低	①							
	主循環ポンプ冷却水流量	低	①							
	圧調系循環ポンプ冷却水流量	低	①							
	一次精製系冷却水流量	低	①							
	U.C.L 流量	低	①							
水	一次サージタンク水位	高	①							
		低	①							
	主循環ポンプ水位	低	①							
	二次サージタンク水位	高	①							
	低	①								
ポン	主循環ポンプ	過負荷	①				①			
	圧調系循環ポンプ	過負荷	①					①		
	二次循環ポンプ No.1 or No.2	過負荷	①						①	
電	A.C 100V 電源	停電	①							
	A.C 200V 電源	停電	①							

注) ①印内の数字は異常の作動順序を示す。

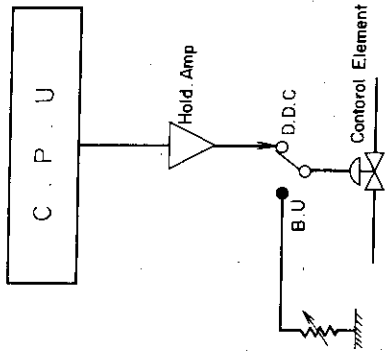


Fig.9.3 Functional Diagram of C.M.S

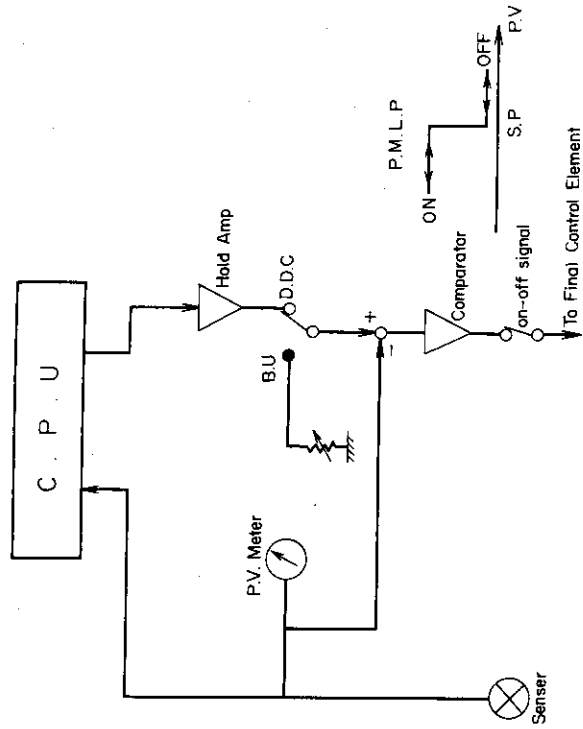


Fig.9.4. Functional Diagram of Two-position O.C.S

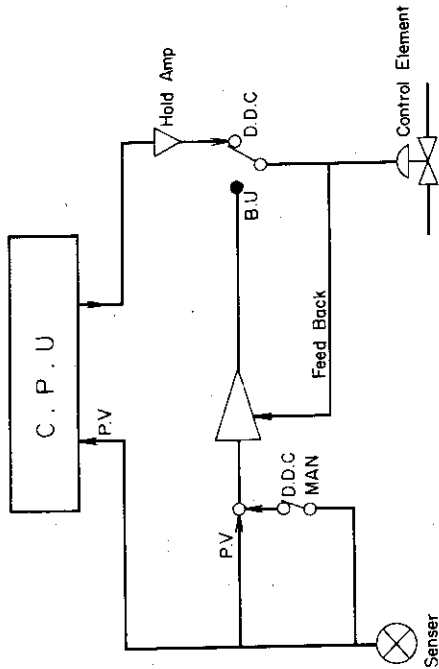


Fig.9.1. Functional Diagram of C.A.S. with P.V. Tracking

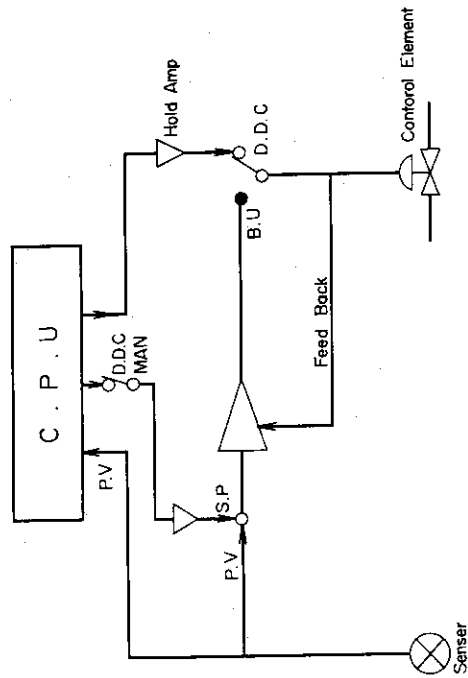


Fig.9.2. Functional Diagram of C.A.S. with SP Tracking

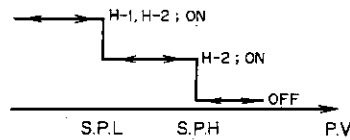
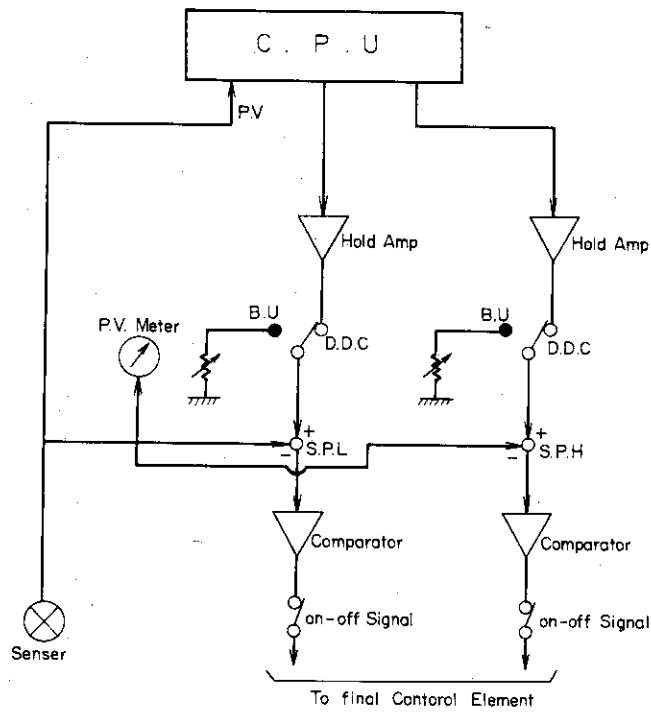


Fig.9.5 Functional diagram of Three-Position O.C.S

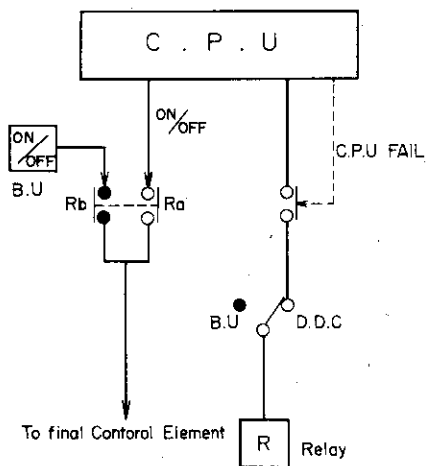


Fig. 9.6 Functional diagram of R.B.S

10 ハードウェアシステムの構成

10.1 システムの設計方針

ハードウェアシステムの設計にあたっては次の点に考慮をはらった。

- (1) OWL-0の運転は直接制御方式とし、計算機による運転制御が円滑、確実に実施できるようにする。
- (2) ハードウェアシステムはOWL-0の照射精度の向上を実現しうる精度や速度等、十分な性能を確保できること。
- (3) OWL-0と計算機とのインターフェースが円滑に行なえること。
- (4) 計算機システム故障時、バックアップ運転に容易に移行できること。
- (5) システム全体の信頼度が高いこと。特にCPUについてはMTBFが4,000時間以上確保できること。
- (6) 計算機システムは保全性にすぐれていること。

10.2 システムの構成

計算機システムの構成をFig.10-1に示す。本システムは山武ハネウェル社製Y-516デジタル電子計算機を中心に構成されている。

周辺機器としては計算機I/O機器の他に、プロセス入出力装置(PIC)、バックアップ計装を含むDDCステーション、OWL-0の集中制御を行なうオペレータ・コンソール等が含まれている。

計算機本体を設置する計算機室とOWL-0の置かれている建屋とは約60m近く離れており、OWL-0の運転はループ近くに設置されたDDCステーションおよびオペレータ・コンソールで行なわれる。またデータロギング・タイプライタ、アラームタイプライタはオペレータ・コンソールのとなりにおかれている。

これらの機器の制御およびOWL-0の運転制御を行なうプログラムはかなり大規模になるため、計算機のコア・メモリ容量16K語の他に、外部メモリとして196K語のディスク・メモリを設置している。

PICはOWL-0とCPUとを結ぶインターフェースであり、マルチプレクサ、ADC、DACなどを含んでいる。さらにオペレータ・コンソール関係およびログタイプライタ、アラームタイプライタの信号もこのPICを介してCPUに結合されている。

OWL-0現場と計算機室との信号の授受は、約80mのダクトを設置し端子盤I・IIを経由して結合している。

OWL-0各部の温度、圧力などのアナログ検出信号は、一部に電圧信号もあるが、電流伝送方式を基本にし、伝送ラインによるノイズの混入や伝送ロスを極力少なくするよう配慮している。

OWL-0の運転を集中監視し制御するオペレータ・コンソールは、通常のデータロギング用各種設定表示器の他に、シーケンスモニターおよび制御用として各種の機能がとり入れられて

いる。

ログタイプライタは2台設置し、 $\#1$ にはプロセス変数および特性計算の一部を、 $\#2$ には特性計算の残りの項目を印字する。さらに $\#1$ には日報あるいは停止時ログをも印字するようにしている。アラームタイプライタは各種のアラーム印字および起動前・停止後点検における操作指示、オペレータ・コンソールによる各種定数の設定変更記録などに使用される。

DDCステーションはDDC計装とバックアップ用のアナログPIDコントローラおよびオン・オフ機器を制御するリレーロジック等で構成されており、計算機制御中はもとより計算機システムの異常時においても安定にアナログ系のバックアップ運転に移行し、DDCステーション側でOWL-0の運転制御および監視ができるように設計されている。さらにいったんバックアップに切替えた後、OWL-0の運転条件が整えばDDCに復帰できるようにオペレータコンソールおよびDDCステーションパネルの設計に考慮を払っている。

各構成機器の主要性能はAppendix Dにかかげた。

10.3 中央処理装置(CPU)

Y-516は全面的にIC素子を採用した並列演算方式のオンラインリアルタイム用デジタル計算機システムである。このシステムの基本時間を決定するリアルタイムクロックは10mSの水晶発振器を使用している。またシステムとしての信頼度を向上させるため、ウォッチ・ドッグ・タイマを設置し、ハードウェアおよびソフトウェアの誤動作を常時監視している。

ウォッチ・ドッグ・タイマは、シングルショット・マルチの一種であり、オンの期間中に再度トリガ信号を受けるとオンの状態を継続する。従ってオン・タイム終了前にトリガ信号を受けるとる限り、このシングル・ショット・マルチはいつまでもオン状態を維持する。

Fig.10-2にウォッチ・ドッグ・タイマの動作を示す。このトリガ信号は管理プログラムSMERT(Appendix G参照)で一定時間内に発生されるが、もしもハードウェアあるいはソフトウェアのトラブルで演算のコントロールが一定時間内に管理プログラムに戻らない場合には、シングルショット・マルチはオフとなり割込信号が発生する。この割込信号はCPUに送られ異常処置が行なわれる。

ウォッチ・ドッグ・タイマは1~10secの範囲で設定できる。またコアメモリ周辺の温度上昇を常時監視しており、温度上昇がある値を越えた場合アラームを発する。

10.4 プロセス入出力信号のインターフェース

OWL-0と計算機とのインターフェースはPICによって行なわれる。このPICは次の機能を備えており、アナログ入出力部、デジタル入出力部、および制御回路から構成されている。Appendix Cに計算機入出力信号の一覧表を示した。

- (a) アナログおよびデジタルの入出力
 - (b) ADおよびDA変換
 - (c) オペレータ・コンソール信号の入出力
 - (d) アラームおよびロギングタイプライタ信号の入出力
- (1) アナログ入力回路(Fig.10-3)

アナログ入力信号はOWL-0のプロセス信号と、一部はDDCステーション関係のアンサーバック信号であり、そのレベルは4~20 mA, 10~50 mA, 0~10 mVの3種類がある。

電流信号はPIC筐体の背面に設置されている入出力端子のところで、組抵抗により4~20 mVの電圧に変換される。

この2種類の電圧信号はアナログ・フィルタを通してマルチプレクサに入る。マルチプレクサでサンプリングされた信号は、ゲイン500倍のDCアンプにより2~10 Vと0~5 Vの電圧に増幅される。DCアンプの出力はさらにアナログ・フィルタを介してAD変換器に入る。

マルチプレクサはキャパシタ・トランスファ方式をとっている。この方式はノイズに対するCMR(Common Mode Rejection)がすぐれている。マルチプレクサのトランスファ・コンデンサ C_2 は常時入力信号側に接続され、入力信号電圧が充電されている。サンプリングされたとき、リレー接点 K_1 , K_2 が同時にDCアンプ側に動作され、コモン・バスに導かれる。このときPICの制御回路で作られた制御信号でDCアンプ入力端子短絡リレー接点 K_3 , K_4 が駆動され、コモン・バス側に接続される。続いてDCアンプで増幅された信号をAD変換器で符号+13ビットのデジタル値に変換し、計算機のAレジスタに格納する。これら一連の制御動作はすべてPICの制御回路で実行される。

(2) アナログ出力回路 (Fig. 10-4)

DA変換器は計算機Aレジスタ内の10ビットのデータを0~20 mAの電流信号に変換して出力する。その出力信号はComputer Interface Station (CIS)と呼ばれるロジック回路を経由して、プログラムで選択されたDDCステーションに接続される。

CISはCISに接続されたDDCステーションのうちから、目指すDDCステーションを選択するためのアドレス・デコーダを備えており、いわゆるアナログ出力信号に対するディストリビュータの働きをする。CISはDDCステーションパネルに設置される。

アナログ出力信号の保持機能は各DDCステーションにおいて行なわれる。アナログ出力信号はOWL-0のバルブ開度制御信号あるいはDDCステーションの目標値設定信号として使用される。

(3) オン・オフ (接点) 入力回路 (Fig. 10-5)

デジタル入力回路は磁氣的結合方式によりOWL-0と計算機側とが電氣的に絶縁されている。デジタル入力はOWL-0のヒータやポンプなどのオン・オフ状態やDDCステーションのモード、オペレータコンソールの各種のキイ情報を入力するものであり接点信号で与えられる。読み込みは12ビット(点)毎、同時に行なわれ、計算機のAレジスタに入力される。Aレジスタには接点が開のとき"1", 閉のときは"0"として入力される。

(4) オン・オフ出力回路 (Fig. 10-6)

デジタル出力回路にも同様に磁氣的結合方式を採用している。デジタル出力信号はOWL-0のヒータやポンプ等の制御、オペレータ・コンソールの表示、DDCステーションのモード切換、さらにアラームタイプライタやロギング・タイプライタの駆動等に使用される。出力は計算機のAレジスタ内の情報を出力するものであり、同時に16ビット(点)の出力が行なえる。出力信号はフリップ・フロップ出力とシングル・ショット出力との2種類がある。

(5) パルス出力回路

パルス出力回路はオン・オフ出力回路のシングル・ショット出力の一種であるが、特別な用途に使用されている部分があるため、別に示した。Fig. 10-7にパルス出力系統図を示す。このパルス出力はSPトラッキング型DDCステーションの目標値設定に使用される。SPトラッキング型DDCステーションの目標値設定はパルス・モータで行なわれ、フルスケール1000パルスの分解能をもつ。設定スピードは100パルス/秒であり、このパルス繰返しの間隔はハードウェア・タイマーで決められている。目標値の設定は現在ステーションが保有している値をアナログ入力し、その値と目標値との偏差を計算する。その偏差の正、負によりパルス・モータの回転方向を、またその絶対値により出力パルスの数を決定する。1台のDDCステーションの目標値設定は2ビット(点)のパルス出力で行なわれる。計算機のAレジスタの内容が並列に出力される。

(6) 割込入力回路

OWL-0安全系からの割込信号、オペレータ・コンソール各種キイからの割込信号を読み込む回路であり、外部接点信号として受けとる。

この外部接点の状態が変化したときに、PICからCPUに対し優先割込信号を出し、同時にその信号の状態をデジタル入力として読み込み、前の状態と比較することにより、どの信号が変化したかが判る。

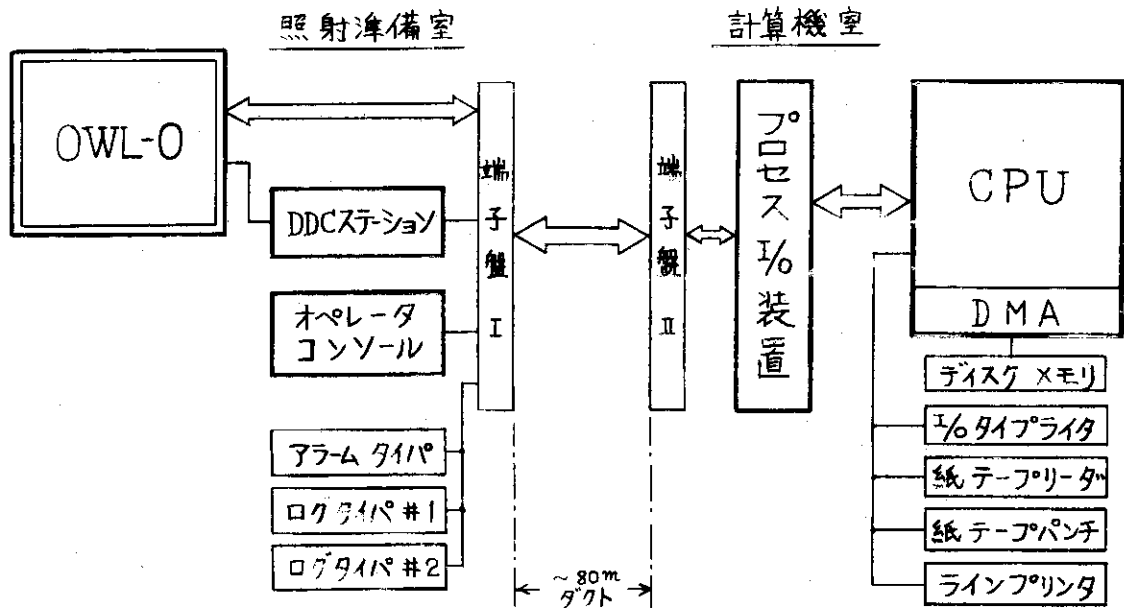


Fig. 10-1 Construction of Computer System

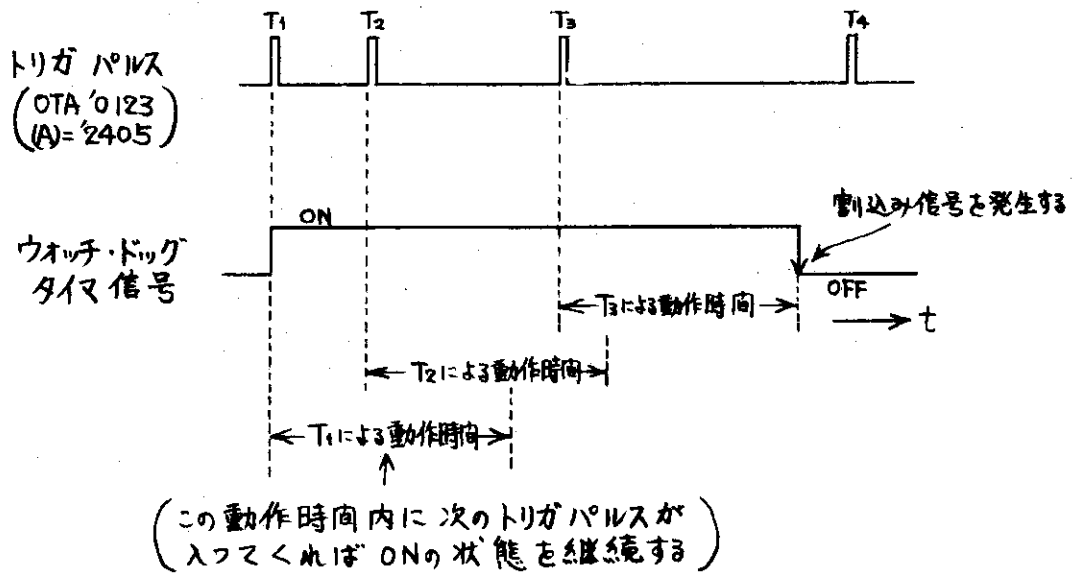


Fig. 10-2 Function of Watch-Dog Timer

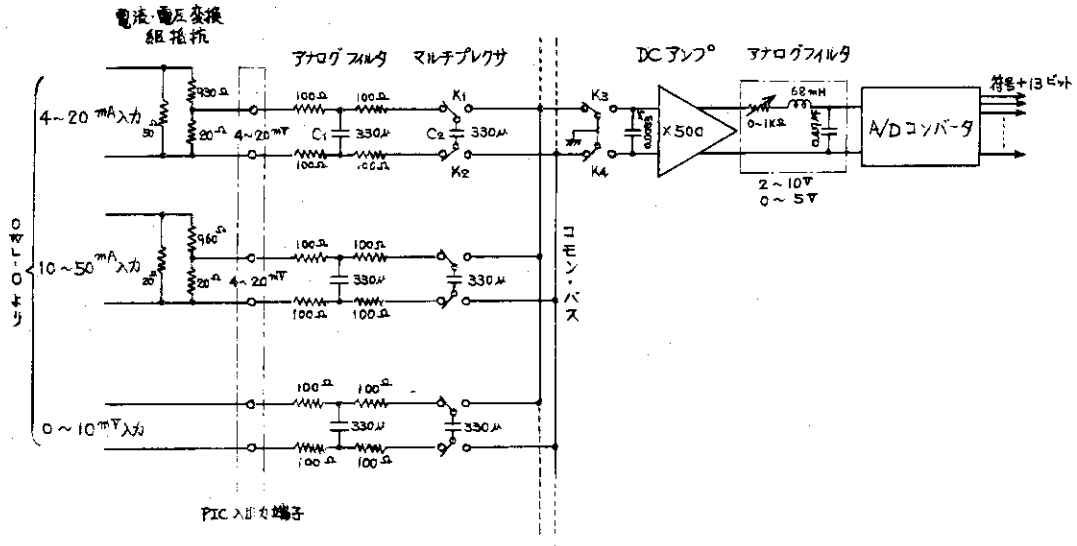


Fig. 10-3 Construction of Analog Input Cct.

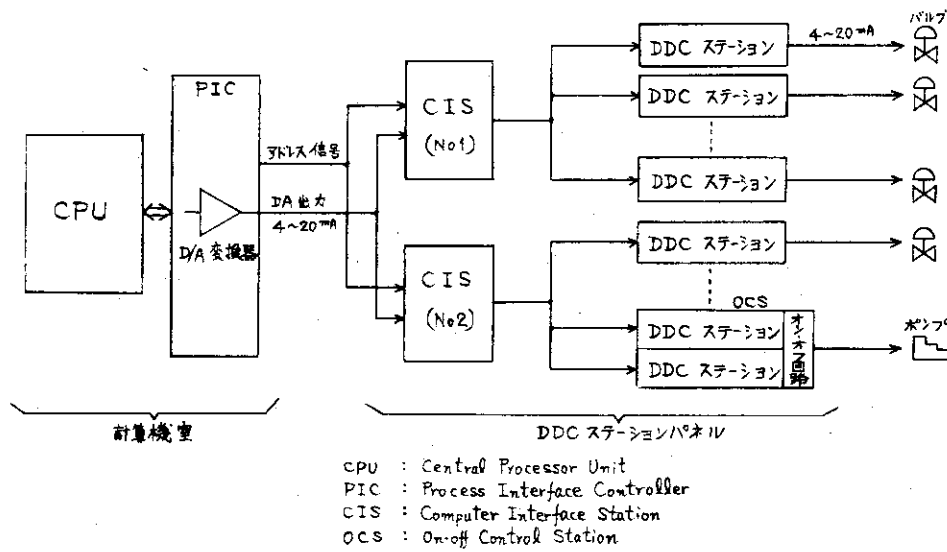


Fig. 10-4 Construction of Analog Output Cct.

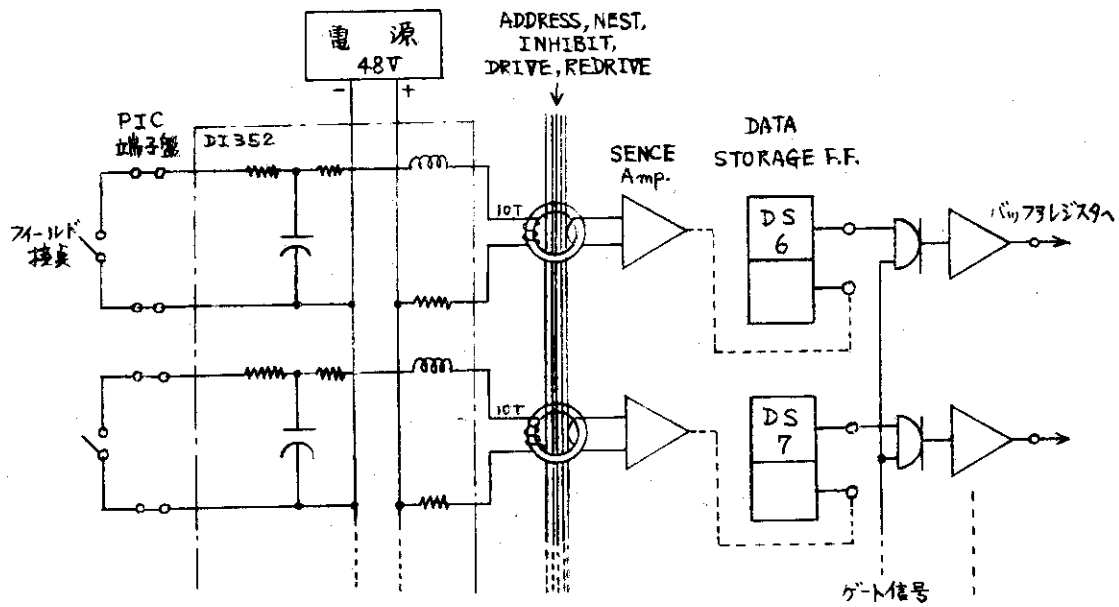


Fig. 10-5 Construction of Digital Input Cct.

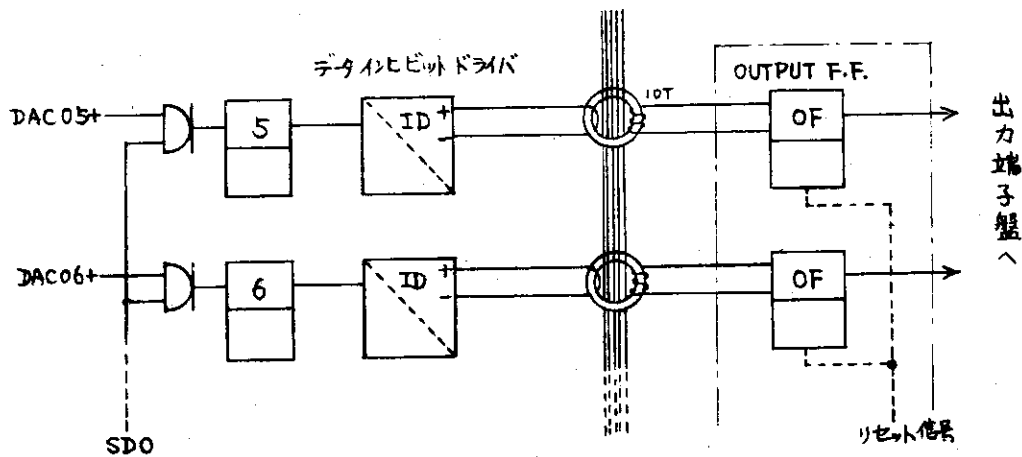


Fig. 10-6 Construction of Digital Output Cct.

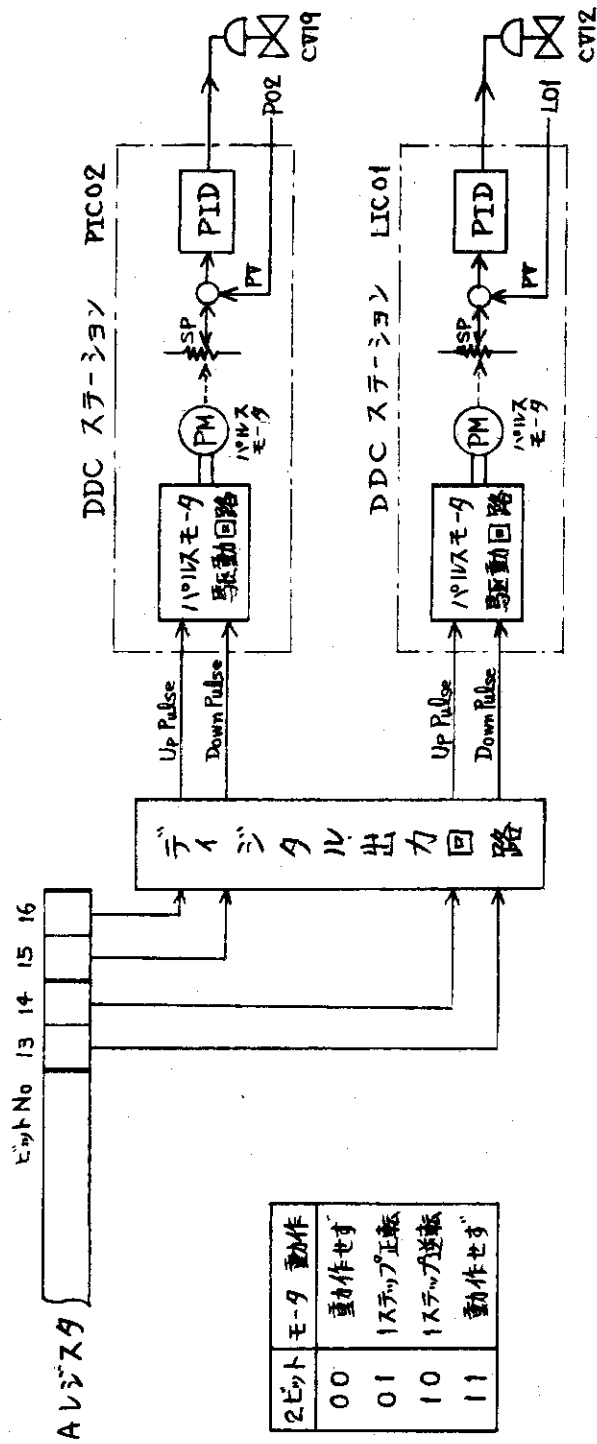


Fig. 10-7 Construction of Pulse Output Cct.

11 試験結果

11.1 計算機システムの信頼度試験

(1) 信頼度試験の目標および範囲

計算機システムの現地据付後、ハードウェア・システムの連続500時間にわたる信頼度試験を行なった。このハードウェア・システムの信頼度に関してはループの運転サイクルである500時間でシステムの稼働率99.5%、システム全体の故障回数1回以下を目標とした。ただしこれにはI/Oタイプライタや紙テープリーダー、紙テープパンチは除いている。

(2) 信頼度試験の方法

OWL-0は運転を行わず計算機システムのみを稼働させる。試験にはハードウェア・システムテストプログラムを用い、一定の周期で各種の試験を行なった。試験の結果はアラームタイプライタに印字するが一部の試験は直接オペレータの目で確認する方法をとった。

(3) システムテスト・プログラムの機能

一定周期でアナログI/O、デジタルI/O、コア・メモリとディスク・メモリ間のデータ転送などを行なう。またオペレータ・コンソールの各種キイからの割込処理を行なう。

Fig. 11-1ならびにTable 11-1にシステムテスト・プログラムの機能の構成と内容を示す。

(i) アナログ入力テスト

プロセス入力装置(PIC)の入力端子、あるいは端子盤1からの模擬入力信号(DC)を30秒毎に全点サンプリングを行ない、AD変換後コア・メモリに格納する。タイプライタへの印字は1時間毎に行なうが、ゼロおよび80%の基準入力の異常はサンプリング毎にエラー印字を行なう。

(ii) DDCステーション(CMS, CAS)の出力テスト

10分毎にDDCステーション15台に20%きざみの信号を順次DA出力し、エラーの有無をチェックする。Table 11-1に示した印字フォーマットにOKまたはERとあるのはDA変換器出力を再びアナログ入力し、出力値と比較した結果、OKかErrorかの判別を示したものである。

(iii) DDCステーション(CAS)の目標値設定テスト

10分毎にCAS2台に10%ステップで目標値を増減し、その目標値のアンサーバック信号を読み込んで正しく設定されたか否かチェックする。

(iv) リレーバックアップ・ステーション(RBS)の動作テスト。

15分毎にDDCステーションのバックアップ/DDCモードを読み込む。RBSをバックアップからDDCに切替える信号を出し、そのモードを読み込む。ヒータ、ポンプ、オン・オフバルブにオン・オフ信号を出しその状態を読み込む。それぞれの状態はアラーム・タイプライタに印字される。

(v) ディスク転送テスト

5分毎にコア・メモリ ⇄ ディスク間のデータ転送を行ない転送エラーの有無をチェック。

する。テストはテストプログラムの格納用に使用されているディスク・トラック160～'17を除き'20～'177の全トラックについて行なっている。エラーが生じたときはエラー印字を行なう。またディスク→コア・メモリ間の転送においてはハードウェアでパリティ・チェックを行ない、パリティ・エラーが検出されたときは割込みを発生しプログラムを停止させる。パリティ・エラーが生じたときはエラー印字は行なわない。

(VI) オペレータ・コンソール表示テスト

"DISPLAY-1", "-2", "ALARM" "FUNCTION" の表示内容を10秒周期で変化させ、オペレータが読み取り確認を行なう。

(VII) オペレータ・コンソール各種キイのテスト

割込みがかかるキイを操作したときに、各種のキイやロータリ・スイッチ等のオン・オフ状態を全て読み取り印字する。

(VIII) 割込入力テスト

割込信号としてはOWL-0既設定安全系からのアラーム(ILAL), クールダウン(CLDN), スクラム(SCRM)の3点と, OWL-0 Power Stop(停電), CPUのメモリ温度異常の計5点がテストの対象である。割込みが生じたとき, これらのビット状態を読み取り印字する。

(IX) オンデマンド・テスト

オペレータ・コンソールの"ONDEMAND"キイを押したとき, アラーム・タイプライタ, ログタイプライタ2台に全文字印字させる。

(4) 信頼度試験の経過および結果

信頼度試験開始後約126時間で計算機が停止するというトラブルが発生した。このトラブルはディスクからのデータ転送エラーによるものであった。エラーは転送されるはずがないエリアのデータ転送において生じている。

従って何らかの原因によってディスク転送パラメータのビット落ちがあり, そのパラメータによって転送されたデータの中にパリティ・エラーを起したデータがあったものと思われる。

原因は当初I/Oタイプライタ(ASR-33)のコントロール・スイッチを"CTRL"から"RUN"に切替えた際発生するノイズの影響ではないかと考えられていたが, 調査の結果これには関係ないことが判った。しかし原因追索のデータ不足から直接的原因は不明のままに終わっている。

計算機は49分間停止し, その間にテスト・プログラムを初期状態に戻し再スタートを行なった。

次に再スタート後約185時間でオペレータ・コンソールの表示やタイプライタの印字が異常になるトラブルが発生した。原因はプロセス入出力装置のデジタル出力回路のコイルが断線寸前で抵抗値が異常に高くなり, 特定のビット出力が行なわれなくなったためと判明した。その不良モジュールカードを交換し試験を継続した。

さらに再スタート後483時間(試験開始後609時間)に1回目のトラブルと同様, ディスク転送エラーを生じ計算機は停止した。2度も同じトラブルを起したため信頼度試験はこの時点で中止し, ディスク転送について詳しく原因究明を行なうこととした。

結局609時間における稼働率は99.6%であった。信頼度試験終了後、アナログ入力回路の動作および精度試験を行なったが、その際温度入力回路のマルチプレクサ用水銀リレーが接触不良を起しているのを発見し、水銀リレーを交換した。

その他のテスト項目についてはすべて順調に動作しトラブルは無かった。また連続運転による精度の劣化や変動等は特にみられなかった。Table 11-2に信頼度試験における故障発生生のリストを示した。

(5) ディスク転送トラブルの原因究明

信頼度試験で発生した2回の転送エラーは計算機停止後再スタートすれば再び正常に動作することから判断すれば、ディスク転送に関係する回路が外部から混入するノイズ等によって誤動作するか、あるいはコントロール、パルス等のタイミングのずれや波形の歪等によるものであるのか、いずれにせよ不安定な状態にあることが考えられる。

システムテスト・プログラムで行なっているディスク転送は2分に1回の割合であり、500時間の連続運転では15,000回の転送回数になる。1回の転送で転送に関係する回路が実際に動作する時間は準備等を含めても8秒程度である。従って500時間運転を行なった場合でも転送に関連する回路の動作時間は約33時間程度になる。転送エラーが転送中に起こる可能性が高いものと考えれば、転送回数を多くしてチェックすれば短時間にディスクの信頼度の目安がある程度つくものと考えられる。そこでディスク転送のみをチェックするプログラムを作成し、短時間でチェックできるようにした。

システムテスト・プログラムでは転送エラーが同一のデータについて3回連続して生じた場合、プログラムで計算機を停止させているが、新しく作成した転送チェックプログラムは、エラーが発生するとその回数をカウントするようにしている。

システムテスト・プログラムのディスク転送と新しい転送チェックプログラムとの相違点をTable 11-3に示す。

この転送チェック・プログラムを使用して行なったトラブルの調査項目およびその結果は次の如くであった。

(i) エラーの発生状況とデータのビット・パターンとの関連性。

エラーの発生頻度は 10^{-9} 程度であり、そのエラーはRead Phaseにおいてあるビットが"0"から"1"に変化する"Bit Pickup Error"である。

(ii) ACラインあるいは空間から混入するノイズの影響

ACラインからのノイズの混入に対し多少不安定であった。交流定電圧電源装置の励磁回路および出力回路にマイカコンデンサ(0.05 μ F)を入れた。これによりACラインにのっているノイズはほとんど無くなったが、エラー発生頻度についてはあまり改善されなかった。

計算機の筐体は接合ボルトで接続されていたが、さらに導線で筐体間を接続し、接地系統を確実にした。これにより計算機附近における電源オン・オフ・ノイズの影響は改善された。

(iii) ディスク・コントローラのDC電源電圧変動の影響

ディスク・コントローラの電源電圧を約3%低下させるとエラーが生ずる。DC電源を交換したが効果はなかった。

(iv) ディスク本体の温度試験

ディスクの周辺温度を38℃迄上昇させテストしたが、周囲温度に対する影響はなかった。

(V) ディスク・ハードウェアの動作

ディスク転送のブロック図をFig. 11-2に示す。ディスク・インターフェースおよびコントローラ、リードアンプ、ヘッドさらにケーブルを調べたが、これらについては特に問題はなかった。しかしディスク・ヘッドの出力信号波形をシンクロスコープで観測した結果、データパルスの間にパルス状のノイズが発生することが確認された。この観測を全ディスク・ヘッドについて行なった結果をFig. 11-3に示した。図において横軸が時間軸でありオリジン・パルスから次のオリジン・パルスまでがディスク1回転の時間を表わしている。パルス状のノイズが現われる位置を各トラックについて調べてみると、ディスクの軸方向に並んでいることが判った。さらにこれは転送チェックプログラムでエラーが発生するトラックと一致する傾向にあることが判った。

(6) 処置および結論

ディスク転送エラーの原因究明作業は信頼度試験終了後、長期にわたり進められ、ディスク本体を中心に各種の試験が繰返し行なわれた。そして(5)-(V)に示した如くデータパルスの間に発生するヒゲ状のノイズ信号を確認した。このノイズ信号が発生される原因の究明に的がしぼられ、ディスク・ドラム内が徹底的に調べられた。その結果転送エラーの原因はディスク板上についた肉眼では確認できない微細な傷によるものと推定された。

一般にディスク・メモリのエラー発生率は 10^{-10} (ビット)程度といわれているが、本システムのディスクは 10^{-9} (ビット)とわずかに悪くなっている。特にオンラインでプロセスを制御する場合、制御プログラムやそれに必要なデータを格納しておくディスク・メモリは他の周辺機器と異なり、システムとしての信頼度を左右する可能性があるため、結局このディスクは交換することになった。

その後新しく設置されたディスクについて500時間の信頼度試験に相当する転送エラーチェックが行なわれた。その結果は総転送数 10^{11} (ビット)でエラー発生ゼロという好結果が出ている。

今回の信頼度試験である程度計算機ハードウェア・システムの信頼度の目安を得ることができた。しかしあくまでもシステムとしての信頼度は最終的にはプロセス制御機器や計算機ソフトウェアを含めた全システムで評価すべきであることは言うまでもない。

1.1.2 運転試験

OWL-0のプラントを使用しての実運転試験は、PモードおよびBモード運転の各々について実施された。尚プラント実運転に入る前に実運転を模擬した運転制御プログラムのテストランを行ない、万全を期した。

(1) Pモード運転

(i) 運転の概要

この運転では運転制御プログラムのうち起動プログラムおよび停止プログラムのテストを主目的に、その他関連するサブグループ制御プログラム、作表などの諸プログラムのテストも兼ねて行なわれた。運転は前もって起動前点検が行なわれ、一次系は満水状態、二次系は循環系と

二次サージタンクはバルブで仕切られ、二次サージタンクは所定の水位に保たれている。この状態から計算機システムによるDDC運転を開始し、起動プログラムのシーケンスに従って、プラントの昇温、昇圧がスタートした。運転は大きなトラブルもなく、ほぼ予定通り8時間後にPモード定常運転に到達することができた。約1時間の定常運転を経過した後、停止プログラムによりプラントの降温、降圧を行ない3時間半後、プラントを完全に停止した。この間、起動定常運転および停止を通じて、運転員が行なった操作はオペレータコンソール上で、シーケンスを設定しただけで文字通り計算機による自動運転が行なわれた。制御サブループのP、I、Dパラメータおよび作業、印字なども充分満足な結果が得られた。

(ii) 運転条件

OWL-0の運転条件は、運転条件設定プログラムを作成する都合上、Pモード、Bモード共各々2ケースずつ計4ケースの運転条件が定められている。今回のPモード運転ではその中のP-Iのケースが選ばれた。運転条件のおもなものは次の通りである。

一次系圧力	:	100 kg/cm ² G
テストセクション入口温度	:	270 °C
一次系主流量	:	60 kg/min
テストセクションヒータ	:	80 KW

尚、運転条件の項目としては、この他に各プロセスの上・下限値、サンプリング時間、制御ループを構成するものにあつては、P、I、Dパラメータ、制御目標値等が挙げられる。これらの値はすべて運転条件設定プログラムによって与えられる。

(iii) 運転結果

Pモード試験運転時のアナログ記録計によるデータを、Fig. 11-4およびFig. 11-5に示す。Fig. 11-4は一次サージタンク温度、一次系温度を表わし、Fig. 11-5は一次系および二次系圧力の変化を示している。またDDC運転との比較のために、従来のアナログ系による運転のデータの一部をFig. 11-6に示す。

DDC運転と、アナログ系による運転との間に大きな差異は見られないが、昇温曲線、一次サージタンクの圧力制御に若干の相違がある。DDC運転時の昇温法は、制御サブループの目標値設定変更によつては、この方法は比較的良好な結果を示しており、十分適用できることが確認された。定常状態に於ける制御サブループの特性については、圧力制御を除いて、良好な結果が得られた。二次サージタンクの圧力制御は、オン・オフ制御のデッドゾーンの中を狭くすることにより制御性の改善をすることができたが、一次サージタンクの圧力制御に関しては、サージタンクの時定数が大きいこと、制御ヒータの応答時間が非常に長いこと等の理由から良好な結果を得るに至らなかった。

Fig. 11-7およびFig. 11-8にアラームタイプライタに印字された。運転制御プログラムの実行記録および各種のアラーム印字の一例を示す。さらにプラントの運転データのロギングをFig. 11-9に、オン・ライン特性計算の結果をFig. 11-10に示す。これらのデータは作表プログラムにより定期的に得られたデータを編集して、ロギングタイプライタに印字したものである。

(2) Bモード運転

(i) 運転の概要

Pモード試験運転に引続き、P→Bモード変更プログラム、B→Pモード変更プログラムのテストが実施された。Bモード運転は、まず起動プログラムによる昇温、昇圧を経てPモード定常に到達した後、P→Bモード変更プログラムを実行することによりBモード定常運転が実現される。P→Bモード変更プログラムの実行の過程で最も重要な事は、沸騰開始からセパレータの水位制御を定常に行なうまでのシーケンスの実行である。今回の運転試験においては、最初このセパレータの水位制御がうまくいかなかったため、P→Bモード変更プログラムの途中で、バックアップ運転に切換え、Pモード定常に戻した後、(2)-(iii)に述べる部分的なプログラム修正を行なってから、再度試験した結果Bモード定常運転へ安定な移行ができた。Bモード定常運転を約30分保持した後、B→Pモード変更プログラムの実行に移った。B→Pモード変更プログラムは殆んど問題なく実行され、約40分でPモード定常に到達した。その後停止プログラムをシーケンス" AUTO "で実行し、プラントを停止した。

(ii) 運転条件

Bモード運転の条件はB-IIのケースが選ばれ、その主な条件は次の通りである。

一次系圧力	: 70 kg/cm ² G
テストセクション入口サブクール温度	: 5 °C
一次系主流量	: 18.5 kg/min
テストセクションヒータ	: 80 KW
蒸気含有率	: 15 %

(iii) 結果

Pモード運転試験時と同様、アナログ記録計による一次系温度および一次系、二次系の圧力のデータをFig.11-11およびFig.11-12に示す。またP→Bモード変更プログラム実行時の運転記録の一部をFig.11-13に示す。

P→Bモード変更プログラムの内容については5.1.(3)に詳しく述べられているのでここでは、ごく簡単に触れておく。

Pモード定常を確認した後、一次系の温度を上げ一次サージタンクの圧力を下げることにより、テストセクション内で蒸気を発生させる。テストセクションで発生した蒸気は、二相流となってセパレータに入るため、ここで気相、液相の二相に分離する。この時蒸気の発生量に応じて、気相、液相それぞれのコントロールバルブの開度を調整し、セパレータで安定した分離を行なう様、水位を一定に保持する必要がある。第1回目のP→Bモード変更においては、圧力降下速度を支配するスプレー水流量が、やや多いため圧力の降下が早かったこと、セパレータの水位のサンプリングをして、シーケンス制御を行なうインターバルが長過ぎたこと等いくつかの要因が重なり、その結果としてバックアップ運転へ移行せざるを得なかった。2回目は、これらの点を修正し、さらにセパレータ蒸気相のコントロールバルブの操作周期を短かくした。これはセパレータの水位の変化速度が早いため措置である。その結果、Fig.11-11、Fig.11-12のように多少の問題点はあるが、Bモード定常への移行が行なわれた。

Fig.11-14にB→P変更プログラム実行時の運転記録を示す。このB→P変更プログラムにおいては、先のセパレータ蒸気相のコントロールバルブの操作周期を、2秒から5秒に変

更しただけで殆んど問題は生じなかった。Fig. 11-15, 11-16にBモード運転試験時のロギングデータをFig. 11-17, 11-18に同じく特性計算結果を示す。またFig. 11-16の一部に、プラントの運転終了時の記録である停止時ログが含まれている。

(3) 考察

PモードおよびBモード運転試験を通じて、主として運転制御プログラムの中で2.3の問題点が明らかになった。これらの問題点を列記すると次の通りである。

(i) 起動プログラムの中の一次系の昇温速度を決めている目標値設定変更のインターバルは、固定されたものではなく、運転条件設定プログラムで変更可能な取扱いにする方が得策である。これは停止プログラム実行の際の場合も同様である。

(ii) P→Bモード変更プログラムについて

a. スプレー水温度はできる限り、早く安定させた方が、圧力制御の点から好ましい。従って現在の降温速度を早める必要がある。

b. セパレータ蒸気相のコントロールバルブを最初に操作した時、一次系の圧力が急激に低下する。これは蒸気相配管に留った低温の水がコンデンサへ流入するためである。従って、蒸気発生初期には、この点の考慮をする必要がある。

c. セパレータの液相、蒸気相のコントロールバルブの操作については、バルブ開度制限を設け、最低水位を確保すると共に、沸騰が十分安定したところで制御サブグループによる定常制御に入るよう考慮する。

(iii) 一次サジタンクの圧力制御性を改善するため、従来のアナログ系において行なわれていた方法を参考に、自然放熱量の補償用のヒータが常時オンになるよう改良する。

今回の運転試験を通じて、この他にもいくつかの問題点が挙げられたが、これらの問題点について、試験終了後詳細な検討を加え、プログラムの修正および追加を行なった。これにより運転制御プログラムをより完全なものとすることができた。(資料27)

Table 11-1 Contents of Computer System Test Program

TEST No	SENSE SW	試験項目	試験内容	試験回期	停機(延)回期	印字フォーマット (例)
#1		アナログ入力 (AI)	アナログ入力全量を定期試験でSCANしADCし、値をメモリに格納する。 SCANのときは、試験開始後3回行ない、データの正確性を調べる。 同時に、20%入力のアナログを行ない、エラーが検出されれば、試験開始後3回行ない、連続してエラーで検出されたら、テストは(000.000)と、そのエラーが即座に印字する。	60 sec	2 hr (0.0.00.00) (異常発生時)	時刻 12:00 #1 0001 177774 ← 異常時は1桁のみ印字 12:00 #1 0000 077630 0001 067740 ← 正常時 0100 004324 フォーマット 17 ← 異常時 23 ← 正常時
#2		CAS, CMS (CI)	印字値を出力する前に、DACのアナログを行ない、DA出力のFB値を測定し、HLIのメモリーを行ない(1%/20%)。結果がOKであれば、15台のCAS, CMSに決り出さず、CAS, CMSに20, 40, 60, 80%の出力を4台のバターンで出力する。	20 min	20 min	12:00 #2 P1 OK (ER) 26 ↑ UAC異常の場合 ERと印字
#3		CASのSP設定 (SP)	LIC01, PIC02の2台に決り出さず。 LIC01: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 50, 40, 30% PIC02: 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 20, 30, 40, 50, 60 出力が0.50 sec後にFB値を測定し、出力が安定と比較し、差が出力比、その差をメモリーに格納し、出力比と測定50 sec後にアナログを行ない、結果が検出され、とす。	20 min	20 min	12:00 #3 SPL01 072354 ← 出力値 127 OK: 072364 ← FB値 SP02 064120 ER 065764
#4		RBS (DD)	(1) CAS, CMS 15台のMODEを調べ、 (2) RBSのBU → DDC 切り替えを行ない、 (3) RBSのMODEを調べ、出力(2000.300ms)を、 (4) バルブ、セーフ、ボルトにON/OFFのバターンを出力。 P1 1010101010101010 P2 0101010101010101 (5) バルブ、セーフ、ボルトのON/FF状態を調べ、	20 min	20 min	12:00 #4 PT 101010101010 ← 35 4115 110100110110 ← 出力バターン 4116 101000000000 ← CMS, CASのモード (↑: DDC, ↓: BACK UP) 4117 111111110111 RBSのモード 4120 111000000000 4121 000000000000 4122 000000000000 4123 000000000000 ← 入力バターのFB (↑: あり, ↓: 無し)
#5		DISC (FH)	CORE ← DISC 搬送 コア 20000 ~ 21000にFHBIの内容 (Test 番に+1248)を格納し、そのデータをコアの20 ~ 100トラックに搬送する。その後1トラック分をコア 22000 ~ 23000に搬送し、FHBIの内容と比較する。 トランスファエラー発生時: 3553番地でHLT コア入、エラー: 3556 上記以外のエラー: ER印字とエラーを起したトラックNOを印字する。	2 min	10 min	12:00 #5 OK (EK) 000 (125) 21 ↑ 異常 ↑ 正常
#6		オペレーティング表示 (φ2)	複写式表示器、ALARM, FUNCTION等の表示内容を定期試験で変化させる。	10 sec	10 sec	(印字なし)

Table 11-1 Contents of Computer System Test Program (continue)

テスト No	SENSE SW	試験項目	試験内容	試験周期	印刷(時刻)印刷	印字フォーマット(例)
#7		ホールドコンソール キー入力 (φ1) (フタき)		任意時	任意時	時刻 7:11.2 テスト回数 001000000011 ← SEQ No 7 000100000000 ↑ 60 ↑ 30 ↑ 10 DL } PERIODIC LOG 7:11.4 001111110000 ↑ No1 ↑ No2 ↑ No3 ↑ No4 ↑ No5 ↑ No6 ↑ No7 ↑ No8 ↑ No9 ↑ No10 } SENSE SW.
#8		FIELD CA (F1)	ILAL, CLDN, SCRNM, OWL-O POWER OFF, CPU TEMP の5項目の異常が発生した時点で FIELD CA のイベント 状態を読み込み印字する。	常に発生時	常に発生時	12:00 #8 7:10.0 1000000000000 16 ↑ CPU TEMP ↑ ILAL ↑ CLDN ↑ SCRNM ↑ OWL-O POWER OFF
#10		ON DEMAND (OD)	ホールドコンソール上の "ON DEMAND" 押しボタン3台の いずれか1台 (LOG #1, LOG #2, ALARM) に 全文字印字する。	任意時	任意時	(全文字印字)

Table 11-1 Contents of Computer System Test Program (continue)

テスト No	試験項目	試験内容	試験周期	稼働時間	印刷(経)周期	印刷フォーマット(例)
#7	オペレータコンソールのキー入力(Φ1)	割込みがかかるキーを押したときオペレータコンソール関係の CA-DI の ON/OFF 状態をすべて読み込み印刷する。	任意時	任意時	任意時	<p>時刻 12:00 時刻 #7 時刻 #7</p> <p>データ 000000000000</p> <p>テスト回数 23</p> <p>PRINT LOG ONREMAND LOG PERIODIC LOG START, READY, CHECK OK FUNCTION IO-Key DDC/BACK UP</p> <p>4-107</p> <p>10000100000 ← SP 10000010000 ← AT 10000010000 ← VP 10000001000 ← PTH 10000000010 ← PVL 10000000001 ← VPCL 01000010000 ← DEVL 01000010000 ← DEVL 01000001000 ← VPH 01000000100 ← VPL 01000000010 ← TS 01000000001 ← TF 00100010000 ← KP 00100001000 ← KI 00100000100 ← KD</p> <p>押した時に応じて印刷される。</p> <p>INDICATOR SELECT 0:2</p> <p>4-110</p> <p>00000000000 00001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1101 1110</p> <p>↑ IO-Key</p> <p>1000001010000 ↑ OP POWER OFF ↑ OP POWER ON MAN ↑ AUTO ↑ OPE SHIFT ↑ CHECK OK START ↑ READY ↑ DDC ↑ BACK UP</p>

Table 11-2 Errors observed during System Reliability Test

故障箇所	故障内容	回数	原因
ディスク	転送エラー	2回	ディスク板上のキズ(?)
プロセス I/O	マルチプレクサ	1回(1点)	水銀リレーの接触不良
	デジタル出力	1回(1点)	デジタル出力回路のコイル断線

Table 11-3 Error Check Programs for Disk Transfer

テストプログラム	テスト回数	転送方式	エラーチェック方式
システムテストプログラム	30回/hr	1トラックを8分割して転送(20~177トラック)	分割毎にエラーチェックを行ない3回連続してエラーが発生した場合に計算機を停止させる。
転送チェックプログラム	209回/hr	* 1トラック単位転送(0~177トラック)	1トラック毎にエラーチェックを行なうが、0~177トラック全体についてエラーがあればカウント+1にする。

* : 1回の転送ビット数 : $1536 \frac{\text{語}}{\text{トラック}} \times 128 \frac{\text{トラック}}{\text{語}} \times 16 \frac{\text{ビット}}{\text{語}} = 3,145,728 \text{ ビット}$

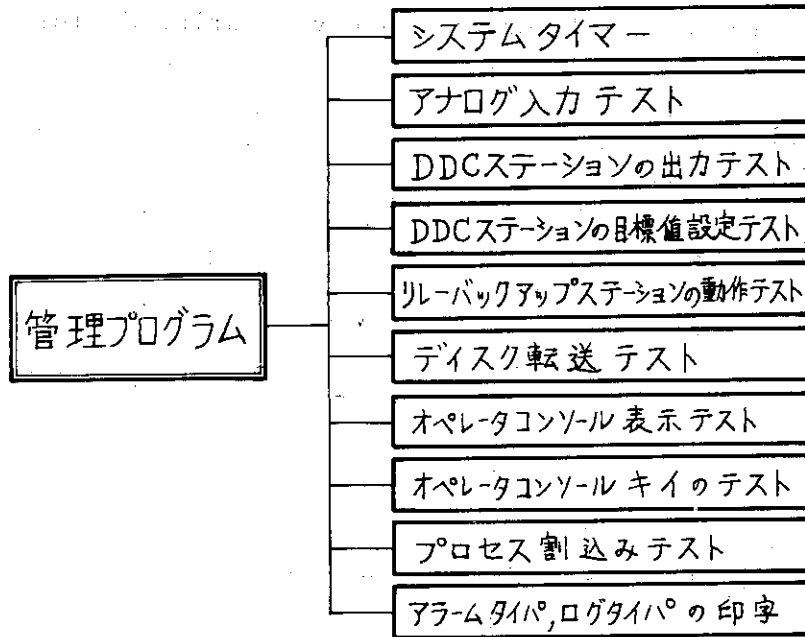


Fig. 11-1 Construction of System Test Program

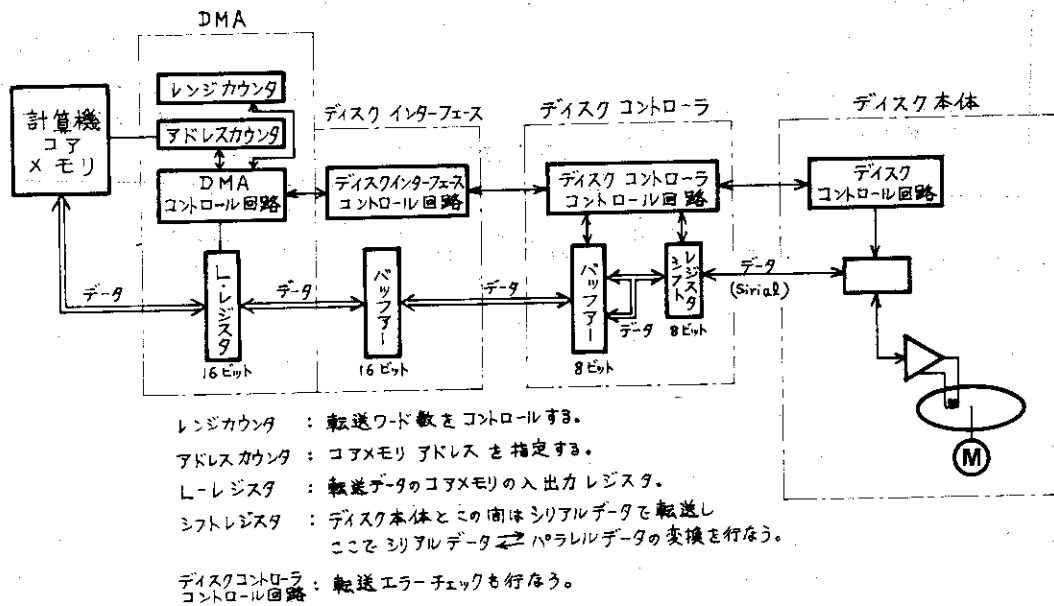


Fig. 11-2 Disk Transfer System

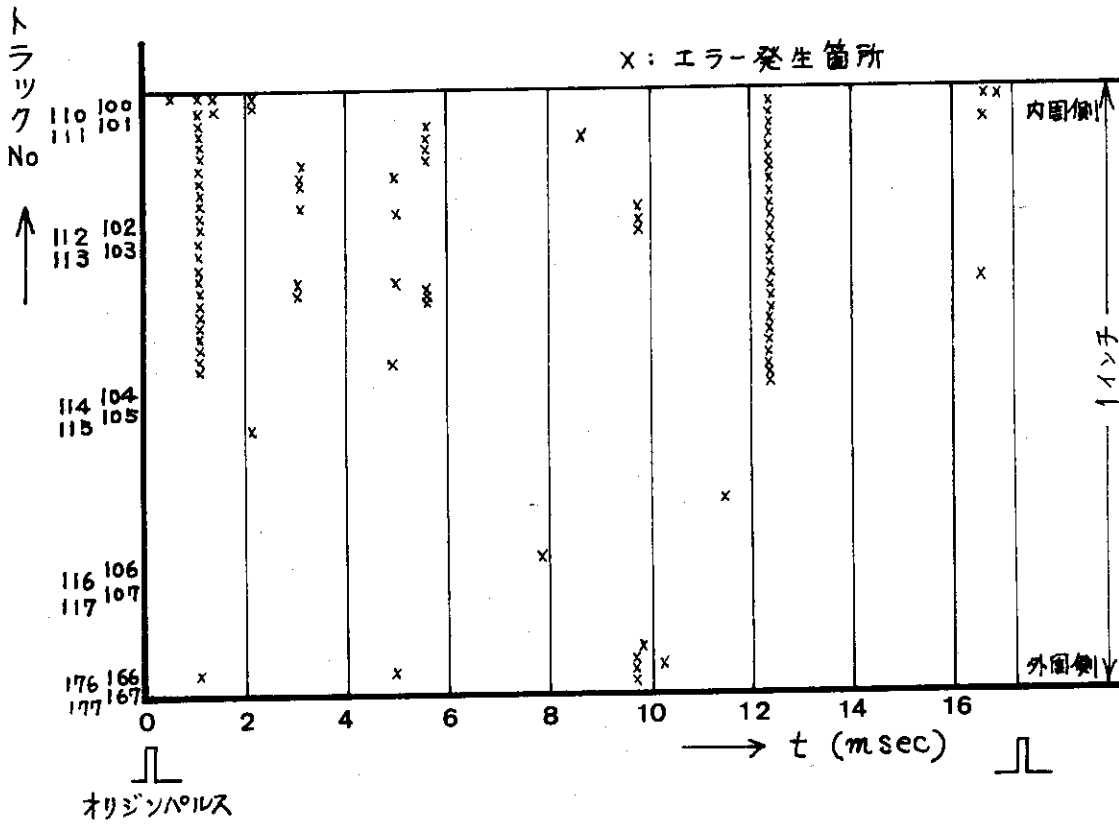


Fig. 11-3 Error Locations found in Disk

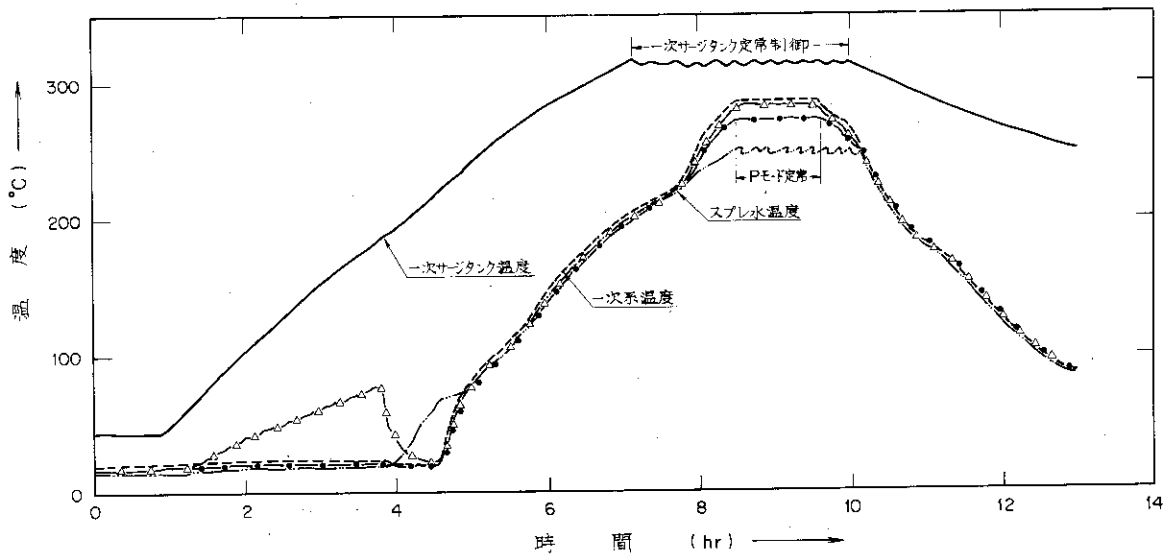


Fig. 11-4 Operating Characteristics in P-mode (1) under DDC

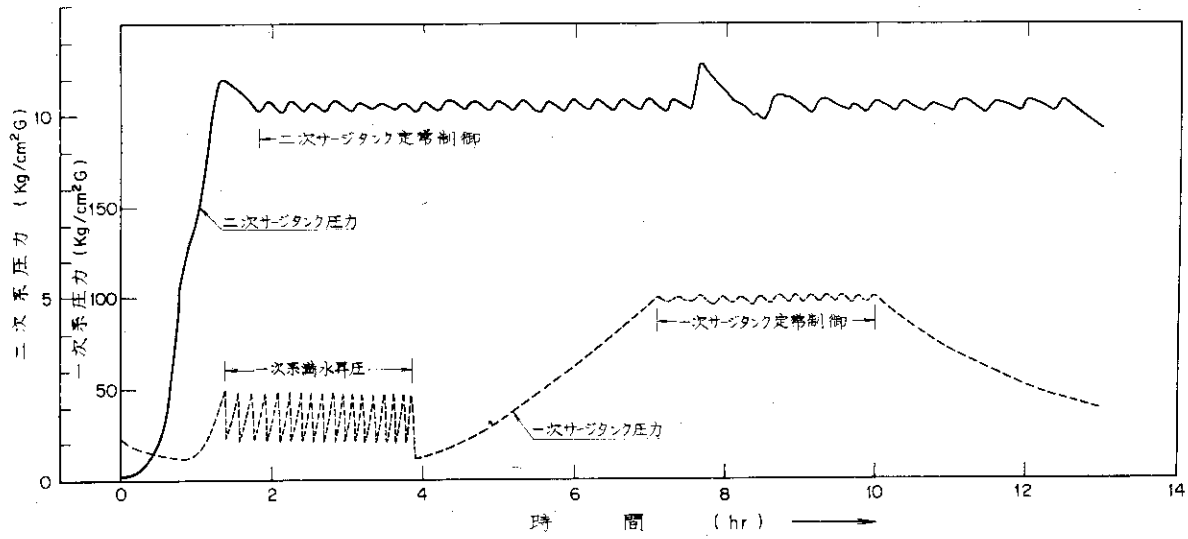


Fig. 11-5 Operating Characteristics in P-mode (2) under DDC

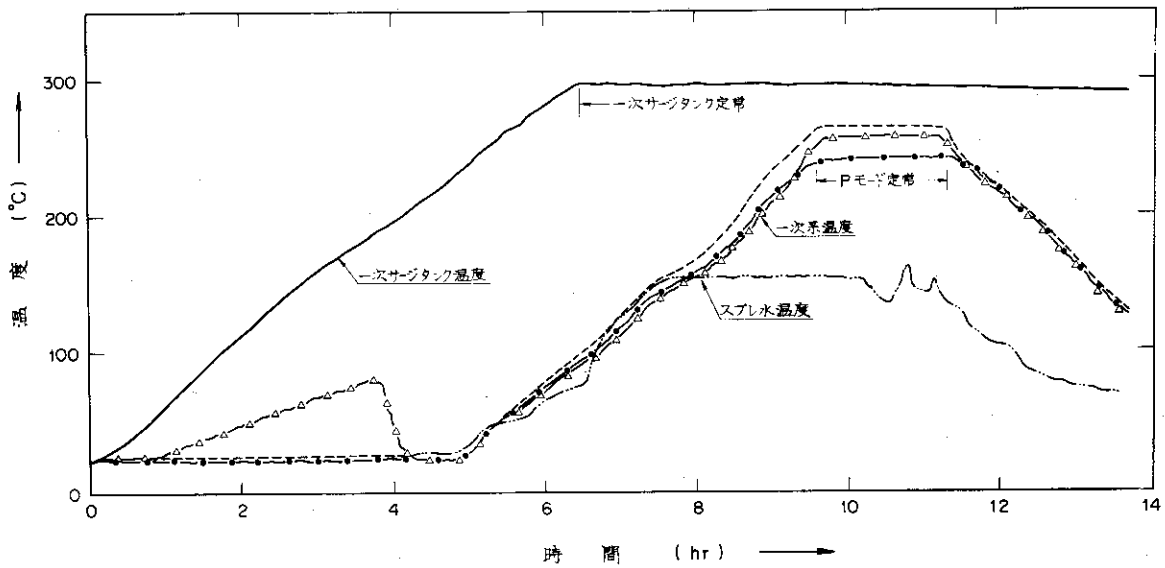


Fig. 11-6 Operating Characteristics in P-mode under Manual Control

19:38 SEQ NO 500 SHUTDOWN OPERATION ; START

* TURN LBKS NORMAL TO BYPAS
 19:38 SEQ NO 501 START
 19:38 PTLG T-01 270.0 T-02 284.2
 19:43 PTLG T-01 268.5 T-02 277.4
 19:48 PTLG T-01 269.3 T-02 275.0
 19:53 PTLG T-01 269.5 T-02 271.8
 19:59 PTLG T-01 267.5 T-02 267.3
 19:59 SEQ NO 502 START
 20:02 PTLG T-01 263.9 T-02 264.4
 20:02 SEQ NO 503 START
 20:02 SEQ NO 504 START
 20:02 PTLG P-03 101.6 T-06 311.2
 20:04 SEQ NO 505 START
 20:04 PTLG T-11 254.9 T-06 310.3
 20:05 PTLG T-11 254.3 T-14 248.3
 20:33 PTLG T-11 206.2 T-14 218.0
 20:34 PTLG T-11 204.8 T-14 210.8
 21:05 PTLG T-11 176.7 T-14 177.5
 21:35 PTLG T-11 148.8 T-14 143.3
 22:05 PTLG T-11 118.5 T-14 106.9
 22:14 PTLG T-11 110.5 T-14 100.0
 22:26 T-11 SP 254.9 TO 89.1
 22:26 T-14 SP 250.0 TO 100.0
 22:26 PTLG T-11 101.9 T-17 64.2
 22:27 SEQ NO 506 START
 22:42 PTLG T-17 59.9
 22:52 PTLG P-01 60.3 T-17 56.7
 22:53 SEQ NO 507 START

22:53 SEQ NO 509 SHUTDOWN OPERATION ; END

Fig. 11-8 Example of Record printed on Alarm Typer at Cooldown Control

DATE :
 OPERATING CONDITIONS
 FINAL MODE : B
 P-01 : 70. KG/CM**
 T-01 : 280. DEG.C
 P-01 : 18.5 KG/MIN
 SQH : 80. KW
 SQ : 15.0 %
 T-20 : FREE

10:00 SEQ NO 200 STARTUP OPERATION ; START

10:01 PTLG T-21 16.7 P-04 0.0
 10:01 SEQ NO 201 START
 10:05 TIC10 FB ERROR HZ-D
 10:06 CV13 BU TO DDC
 10:48 PTLG T-21 144.5 P-04 5.0
 10:49 SEQ NO 201 START
 10:49 SEQ NO 202 START
 10:50 SEQ NO 203 START
 10:50 SEQ NO 204 START
 10:52 PTLG P-04 140.8 P-05 59.8
 10:52 SEQ NO 205 START
 10:54 PTLG P-03 11.6 T-06 42.5
 10:54 SEQ NO 206 START
 11:22 PTLG P-03 49.4 T-06 66.1
 11:22 PTLG P-03 49.8 T-06 66.1
 11:22 PTLG P-03 48.0 T-06 66.3
 11:23 PTLG P-03 22.8 T-06 66.1
 11:23 PTLG P-03 18.8 T-06 65.9

Fig. 11-7 Example of Record printed on Alarm Typer at Startup Control

OWL-0 LOG SHEET NO.1

SHEET NO. 3

OPERATING CONDITIONS MODE B P-0170 DEG/CM* DETECTOR 3 ORG C P-01-10/100/100 000-1.05

Table with columns for Time, Total Counts, and various detector channels (T-01 to T-24, PC-1 to PC-6). Includes a summary section at the bottom with parameters like PUMP, RMR, and STED TIME.

Fig.11.9 Example of OWL-0 Log Sheet NO.1

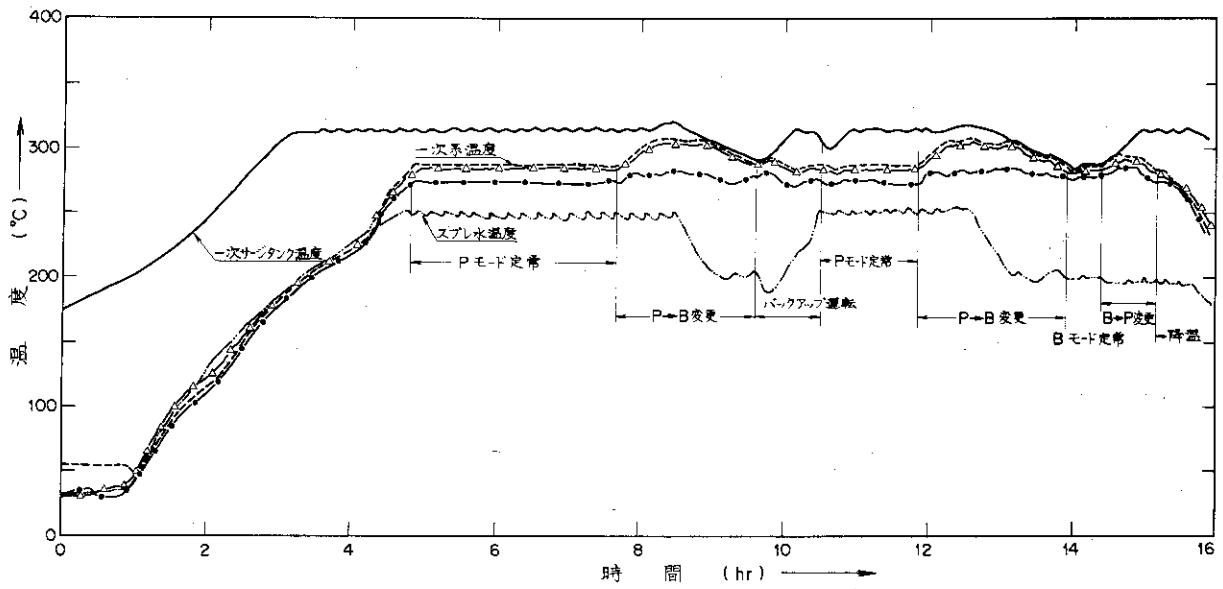


Fig. 11-11 Operating Characteristics in B-mode under DDC

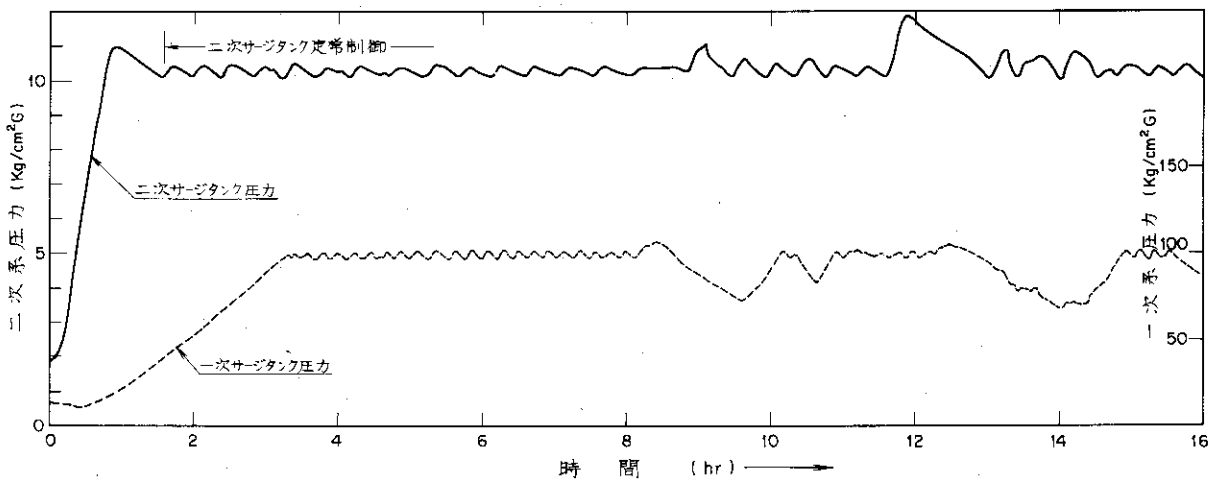


Fig. 11-12 Operating Characteristics in B-mode under DDC

17:48 SEQ NO 350 F-B MODE CHANGE ; START

17:49 P-01 VPL 25.0 TO 9.9
 17:50 P-01 PVL 54.9 TO 15.9
 17:50 T-01 PVH 272.9 TO 282.9
 17:51 T-06 PVL 306.9 TO 279.9
 17:51 T-10 PVH 275.9 TO 279.9
 17:52 T-14 PVL 238.9 TO 190.9
 17:53 P-01 PVL 92.9 TO 68.9
 17:53 P-01 PVL 68.9 TO 67.9
 17:54 P-02 PVL 94.9 TO 67.9
 17:54 P-03 PVL 94.9 TO 67.9
 17:55 SEQ NO 301 START
 17:55 PTLG T-01 271.2 T-02 284.6
 17:57 PTLG T-01 272.0 T-02 285.1
 17:57 SEQ NO 302 START
 17:57 PTLG T-01 271.9 T-02 285.3
 18:02 PTLG T-01 274.9 T-02 287.9
 18:07 T-01 SP 270.2 TO 280.2
 18:07 PTLG T-01 279.9 T-02 292.1
 18:08 SEQ NO 303 START
 18:08 PTLG T-01 280.3 P-01 59.6
 18:20 P-01 SP 60.1 TO 35.0
 18:20 PTLG T-02 301.2 P-01 36.8
 18:20 PTLG T-01 280.8 P-01 36.7
 18:21 P-01 VPH 39.9 TO 26.9
 18:21 SEQ NO 304 * CHANGE MAN TO DDC ; PICO2
 18:23 PTLG P-03 0.2 P-02 98.7
 18:23 SEQ NO 305 START
 18:23 PTLG P-03 0.2 P-02 99.0
 18:37 PTLG P-03 6.5 P-02 99.9

00:38 SEQ NO 400 B-P MODE CHANGE ; START
 00:39 SEQ NO 401 * SET * CHANGE STATION'S SET POINT
 (001) CV11 684
 (002) CV11 07
 (003) CHANGE DDC TO MAN ; PICO2
 (004) PICO2 MAN OUTPUT -02
 * 00:40 PICO2 BU NORO HZ-C
 00:40 PICO2 DDC TO BU
 00:40 SEQ NO 402 START
 * 00:40 PICO2 FB ERROR HZ-C
 00:41 PTLG P-03 74.1 L-01 57.8
 00:42 PTLG P-01 37.5 L-01 47.0
 * 00:48 CV12 VPHI 85.3 HZ-D
 00:49 CV12 VPHI 84.4 OK
 00:50 ADC TS 2 TO 5
 * 00:51 CV12 VPHI 86.1 HZ-D
 00:52 P-01 SP 34.9 TO 59.9
 * 00:52 SQ02 PCLO 19.9 OK
 * 00:52 PTLG HI ER 85.1 L-01 99.9
 01:10 PTLG T-01 280.0 L-01 99.9
 01:11 L-01 PVH 64.9 TO 99.8
 01:14 T-02 PVH 287.9 TO 289.9
 01:15 P-01 VPL 9.9 TO 25.0
 01:15 P-01 VPH 39.9 TO 44.9
 01:19 T-01 SP 280.4 TO 270.4
 01:19 PTLG T-01 271.1 P-01 60.2
 01:20 SEQ NO 403 B-P MODE CHANGE ; END , P-MODE STEADY

Fig. 11-13 Example of Record Printed on Alarm Typewriter at P→B Mode Change Control

Fig. 11-14 Example of Record Printed on Alarm Typewriter at B→P Mode Change Control

SHEET NO

OWL-O LOG SHEET NO1

OPERATING CONDITIONS MDX B P=0.670,HDG/CMB DELTAY=5.8582, P=0.0344,SGRAPHN SGR=12.08

Table with columns for TIME (min), LOG, and various detector channels (T-01 through T-50) with sub-columns for V and C. Includes a legend for channel definitions and a section for SHUT DOWN LOG TIME.

Fig. 11.16 Example of OWL-O Log Sheet NO.1 - 2

12 おわりに

OWL-0の計算機制御化について、システム設計から試験結果までを詳しく述べたが、以下、これらを評価検討して今後の開発の一助としたい。

12.1 全般的な評価

制御特性としては過渡状態の制御が手動時に比べて著しくなめらかで、かつ短時間でこなわれており、ことにP→Bモード変更制御においては、手動時にはかなりの経験と熟練を要した温度、圧力、水位の並列制御操作が、殆んどプログラムの修正なしに安定かつ迅速に遂行された。その意味で後述する個々の問題は別として、この程度の沸騰水ループの計算機制御化に関する実証は十分に果されたものとする。

1で述べたように、この計算機制御化は将来の照射ループあるいは原子炉の計算機制御化への feasibility study であるが、上述のように照射精度を高めかつ省力化をはかるという観点から、これらのDDCにかかわる基礎的な問題点を拾いあげて解決するという目的の第一段階は十分に達成したといえよう。

12.2 個々の問題点

しかしながら我々の経験が不充分であったため、あるいは経済的な制約が少なからずあったために、誤った手順を踏んだり、ソフトウェアの設計上無駄な時間を費やした点もいくつかあるので、それらの主なものをあげて反省の資とする。

(i) 設計手順

我々はハードウェアシステム設計—オペレータコンソール設計—制御ソフトウェア設計の順に進めてきた。これは在米のデータ処理装置的なものからすれば“applicationはいろいろ変ってもハードウェアは共通なもの”という考え方が内在してはいるが、今回の作業を進めてみてから、これが誤りであることを知った。active functionであるDDCを行なう場合、passive functionもより多く要求され、さらに異常時処置も充分にとり入れられなければならないが、それにはそれに応じた管理プログラムの機能が必要であり、かつオペレータコンソール機能との密接な関連が要求される。従って正しい手順としてはDDCを中心としたシステム機能をまず明確にし、かつこれに関わるオペレータコンソール機能を充分吟味することから着手して、その結果管理プログラムの機能が定められ、これを満足するシステムハードウェアの構成を決定するやりかたが必要である。つまりソフトウェア設計から入るやり方であり、乏しい単年度予算制の下では困難な面もあるが、逆に少ない予算を有効に生かし時間的な効率を高める上にも是非考えねばならぬ手順である。

(ii) ハードウェア機能

(A) 上記(i)に起因することであるが、CPUのメモリー容量を16KWに決めてしまったため、容量不足をディスクで補うことにした。勿論ディスクの容量は充分であるが、本来CPUに常駐させるべきプログラムもディスクに収納せざるを得なくなったため、ページ

ングのプログラムが複雑になった。当然ディスク転送の頻度は極めて高くなり潜在的に信頼度の低下を招くことになったといえる。

(B) CRTディスプレイを設けなかったため、記録の必要のない起動前ないし停止後点検のメッセージをいちいちアラームタイプライタに印字させることになった。タイプ時間も少なくなく、その間のオペレータの疲労も増す。むしろアラームタイプライタはCRTディスプレイに置きかえ、アラームの記録は付属のハードコピーに残すようにすべきである。

(III) 異常時処置

定常運転状態では計算機制御バックアップ運転の相互移行は可能にしたが、過渡運転時の異常発生に対しては異常状態が復帰してもバックアップ運転から計算機制御への復帰が不可能である。これはプラントの状態を、バックアップ運転に切換えた時点の状態にまで戻す(プログラムはその時点でホールドされているので)ことが困難なためであるが、無用の停止を避け稼働率を高めるためには是非これを可能ならしめなければならず、今回果し得なかった重要な機能的な課題である。

(IV) オンライン特性計算

約30項目に及ぶプラント特性計算は単独の数式モデルとしては良く検討されたものであるが、入力となるべき検出器の欠除ないし配置の不適切さからくる計算結果の誤差は少なくない。ことに熱精算のうちの5~6項目は著しく精度が悪くなっている。これは大きさの近いプロセス信号間の減算に起因するもので、検出器の精度以前の問題であり、検出器の新設で解決する項目はともかく、それ以外は全く別のモデルを検討しなければならない。

また、これら熱収支に関連する計算項目のいくつかは本来アラームの対象にとりあげるべきものであるが、上述のように算出結果の信頼度が不十分なので、今回はテストセクション部蒸気含有率のみをアラームの対象とした。またアラームのみならず、たとえばこの蒸気含有率など、照射ループとして制御対象にとり上げるべき量であり、直接検出し得る量と同程度の信頼性を与えるべく今後の検討が要求される。

謝 辞

この仕事を進めるに当っては表記した各担当者以外に材料試験炉部銅谷栄昭、高橋邦裕ならびに(故)酒井正男の3氏の多大な協力を仰いだ。

またオペレータコンソール機能設計を中心としてハードウェア、ソフトウェア全般にわたって山武ハネウェル(株)、明神忠氏をはじめ、田中可一氏、山井孝充氏など同社計算機制御事業部の各位から幾多の有用な提言をいただいた。

本報告を作成するに当り、上記の方々に厚く感謝する。

ングのプログラムが複雑になった。当然ディスク転送の頻度は極めて高くなり潜在的に信頼度の低下を招くことになったといえる。

(B) CRTディスプレイを設けなかったため、記録の必要のない起動前ないし停止後点検のメッセージをいちいちアラームタイプライタに印字させることになった。タイプ時間も少なくなき、その間のオペレータの疲労も増す。むしろアラームタイプライタはCRTディスプレイに置きかえ、アラームの記録は付属のハードコピーに残すようにすべきである。

(III) 異常時処置

定常運転状態では計算機制御バックアップ運転の相互移行は可能にしたが、過渡運転時の異常発生に対しては異常状態が復帰してもバックアップ運転から計算機制御への復帰が不可能である。これはプラントの状態を、バックアップ運転に切換えた時点の状態にまで戻す(プログラムはその時点でホールドされているので)ことが困難なためであるが、無用の停止を避け稼働率を高めるためには是非これを可能ならしめなければならず、今回果し得なかった重要な機能的な課題である。

(IV) オンライン特性計算

約30項目に及ぶプラント特性計算は単独の数式モデルとしては良く検討されたものであるが、入力となるべき検出器の欠除ないし配置の不適切さからくる計算結果の誤差は少なくない。ことに熱精算のうちの5~6項目は著しく精度が悪くなっている。これは大きさの近いプロセス信号間の減算に起因するもので、検出器の精度以前の問題であり、検出器の新設で解決する項目はともかく、それ以外は全く別のモデルを検討しなければならない。

また、これら熱収支に関連する計算項目のいくつかは本来アラームの対象にとりあげるべきものであるが、上述のように算出結果の信頼度が不十分なので、今回はテストセクション部蒸気含有率のみをアラームの対象とした。またアラームのみならず、たとえばこの蒸気含有率など、照射ループとして制御対象にとり上げるべき量であり、直接検出し得る量と同程度の信頼性を与えるべく今後の検討が要求される。

謝 辞

この仕事を進めるに当っては表記した各担当者以外に材料試験炉部鍋谷栄昭、高橋邦裕ならびに(故)酒井正男の3氏の多大な協力を仰いだ。

またオペレータコンソール機能設計を中心としてハードウェア、ソフトウェア全般にわたって山武ハネウェル(株)、明神忠氏をはじめ、田中可一氏、山井孝充氏など同社計算機制御事業部の各位から幾多の有用な提言をいただいた。

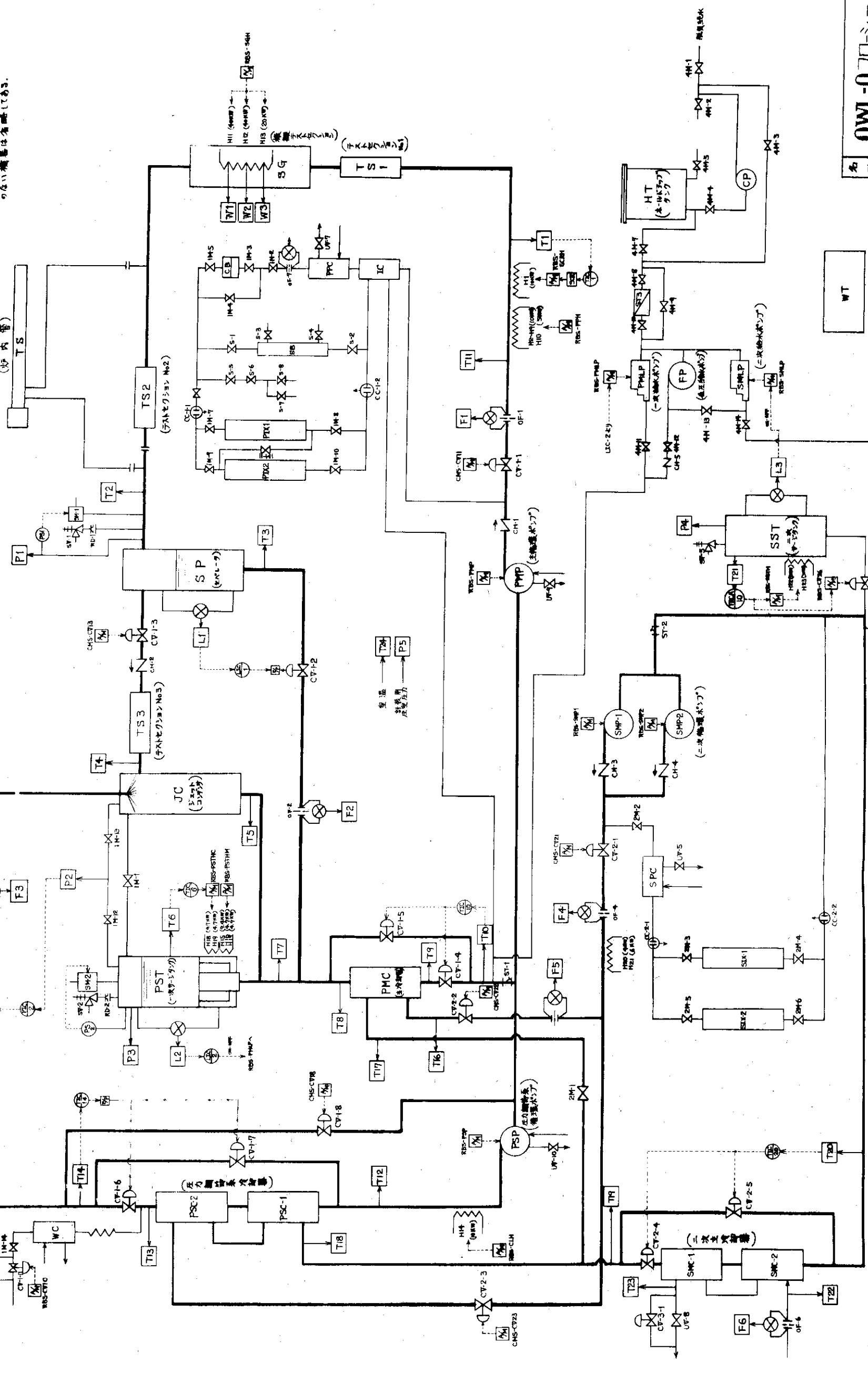
本報告を作成するに当り、上記の方々に厚く感謝する。

〔参考資料〕

- (1) 材料試験炉建設準備室：OWL-0仕様書，JMTR資料（1964）
- (2) 照射2課，原子炉制御研究室：計算機システム仕様書，JMTR資料-133（1969）
- (3) 藤井義雄：計算機制御のためのOWL-0の改造，OWL-0CCメモ21（1969）
- (4) 萬金修一：OWL-0計算機制御定常運転機能の設計，OWL-0CCメモ16（1969）
- (5) 萬金修一，野村靖：JMTR OWL-0計算機制御化のための動特性および制御特性の解析 - PART 1.モデルの組立と各部固有動特性，原子炉制御研究資料69-4（1969）
- (6) 藤井義雄：DDC方式におけるOWL-0バックアップの考え方，OWL-0CCメモ27（1969）
- (7) （他に）照射2課，原子炉制御研究室：OWL-0CCメモ№1（1968）～№36（1969）
- (8) 山武ハネウェル（株）：SMERTリアルタイム管理プログラムシステム説明書（1969）
- (9) 藤井義雄：Y-516電子計算機システムの概要，原子炉制御研究室資料69-11（1970）
- (10) 藤井義雄，米川 出：JMTR OWL-0計算機制御プログラムの開発
原子炉制御研究室資料70-2（1970）
- (11) 照射2課，原子炉制御研究室：TOM資料№1～5（1970）
- (12) 照射2課：JM資料№1～4（1970）
- (13) 日本原子力研究所，山武ハネウェル（株）：TBY資料№1（1970）～№38（1971）
- (14) 野村末雄，原 昌雄，他：OWL-0の計算機制御設計 - (A)総括，日本原子力学会年会D-66（1971）
- (15) 环 長，猿田 徹，他：同上 - (B)運転制御プログラム
と異常処置，同年会D-67
- (16) 藤井義雄，环 長，他：同上 - (C)オペレータコンソール，同年会D-68
- (17) 野村靖：同上 - (D)オンライン特性計算
同年会D-69
- (18) 萬金修一：同上 - (E)動特性解析
同年会D-70
- (19) 野村靖：JMTR OWL-0計算機制御におけるオンライン特性計算，JMTR資料（1971）
- (20) 萬金修一：JMTR OWL-0計算機制御化のための動特性および制御特性の解析 - PART 2各部制御特性，原子炉制御研究室資料72-16（1972）
- (21) 藤井義雄，米川 出，他：OWL-0オペレータコンソールの設計，原子炉制御研究室

- 資料72-5(1972)
- (22) 照射2課,原子炉制御研究室:OWL-0計算機制御コード仕様書(1972)
 - (23) 藤井義雄:OWL-0計算機システム現地立合試験報告書,原子炉制御研究室資料72-6(1972)
 - (24) 原昌雄,他:OWL-0の運転の自動化,第2回原子炉計算機制御短期研究会報告 KURRI-TR-109, p.123(1972)
 - (25) 原昌雄,佐藤雅幸,他:OWL-0の計算機制御化試験,日本原子力学会炉工分科会, D40(1972)
 - (26) 坪長,藤井義雄:OWL-0計算機システムの信頼度試験 日本原子力学会炉工分科会, D41(1972)
 - (27) 藤井義雄:OWL-0 DDCプログラムの修正,原子炉制御研究室資料72-12(1972)
 - (28) 萬金修一:OWL-0計算機制御化に際しての動特性解析と実験,JAERI-M 4336(1973)
 - (29) 原昌雄:OWL-0の計算機制御化,原動研引装制御グループ定例研究会資料(1973)
 - (30) 萬金修一,篠原慶邦:原子炉負荷追従制御の問題点とシンセシス,原子炉制御研究室資料73-8(1973)

① 本フローシートは計算機制御に適用される機器のみを示し、変換器や伝送器等は省略してある。
 (注) 本フローシートは計算機制御に適用される機器のみを示し、変換器や伝送器等は省略してある。



名称	OWL-0 フローシート		
日付	昭和45.5.19	図番	TOF-001
製図	原野野村 隆夫	検査	

Appendix A
 OWL-0 Flow sheet

Appendix B List of Sensors and Control Devices

	主 要 性 能	備 考
温 度	検出素子 白金測温抵抗体 抵抗値 100Ω(0℃) 階 級 0.3 級 シース外径 4.8 m/m φ シース材質 SUS 27	
圧 力	型 式 TSP型圧力指示伝送器 圧力素子 ブルドン管 測定範囲 0~25Kg/cm ² G, 0~250Kg/cm ² G ^{*1)} 出力信号 0~10mV D.C	^{*1)} 二次系圧力の場合
流 量	流量検出器 オリフィス 差圧発信器 力平衡式差圧伝送器 材 質 SUS 32 出力信号 0.2~1.0Kg/cm ² G air 測定範囲 0~5200 mm H ₂ O 許 容 差 ±0.5% (スパン) 感 度 0.05%	
水 位	検出方式 差圧方式 差圧発信器 力平衡式差圧伝送器 材 質 SUS 32 出力信号 0.2~1.0Kg/cm ² G, air 測定範囲 約0~1000mm H ₂ O 許 容 差 ±0.5% (スパン) 感 度 0.05%	
給水ポンプ	型 式 ブランジャー型ポンプ 吐 出 量 0.5 l/min 吐 出 圧 12Kg/cm ² G, 160Kg/cm ² G ^{*1)} 電 動 機 0.4 KW, 1.5 KW ^{*1)}	^{*1)} 二次系給水ポンプの場合
循環ポンプ	型 式 キャンドモータポンプ型 流 量 140 l/min, 260 l/min ^{*1)} 吐 出 圧 3 Kg/cm ² G, 6.7 Kg/cm ² G ^{*1)} 電 動 機 4.5 KW, 9.2 KW ^{*1)}	^{*1)} 二次系循環ポンプの場合

空気圧式コン トロールバルブ	弁口径 1 1/2 Bが主体 弁座型式 単座 フラグ型式 リニヤ特 材質 SCS 14 ポジショナー 入力信号 4~20mA D.C 出力信号 0.2~1.0Kg/cm ² air	
オートブリー ドバルブ	弁口径 3/8 B 作動空気圧 5.6 Kg/cm ² G 材質 17.4 PH	
鋳込ヒータ	形式 アルミ鋳込みヒータ 形状 円筒型二ツ割 発熱密度 ≈ 4 W/cm ² 使用電圧 AC 200V, Y結線	
浸漬ヒータ	形式 U型シーズヒータ 絶縁 MgO 粉末 電熱線 ニクロムV.(Ni 80%, Cr 20%) 発熱密度 ≈ 7 W/cm ² 使用電圧 A.C 200V, Δ結線	

Table C-1 Analog Input Signals of CML-0 Computer Control System

項目	TAG No	検出端	レンジ	変換器	計算機入力信号	マルチアドレス	制御グループ No	制御方式	操作機器	ポイントレコードアドレス	サンプリングタイム(秒)	数値フルタイム数(秒)
温度 (24)	T01	白金測温抵抗体	200 ~ 350 °C	MV/V	4 ~ 20 mA DC	006	①	PID+PI	[CV14, CV15]	14305	2	10
	T02	"	200 ~ 350	"	"	007	"	"	"	14671	2	10
	T03	"	0 ~ 350	"	"	010	"	"	"	14707	10	50
	T04	"	200 ~ 350	"	"	011	"	"	"	14725	10	50
	T05	"	200 ~ 350	"	"	012	"	"	"	14743	5	25
	T06	"	0 ~ 350	"	"	013	"	"	"	14761	5	25
	T07	"	200 ~ 350	"	"	014	"	"	"	14777	5	25
	T08	"	100 ~ 300	"	"	015	"	"	"	15015	5	25
	T09	"	100 ~ 300	"	"	016	"	"	"	14345	5	25
	T10	"	100 ~ 300	"	"	017	"	"	"	14405	5	25
	T11	"	0 ~ 350	"	"	020	"	"	"	15051	2	10
	T12	"	0 ~ 300	"	"	021	"	"	"	15067	5	25
	T13	"	0 ~ 300	"	"	022	"	"	"	14445	5	25
	T14	"	100 ~ 300	"	"	023	"	"	"	15105	2	10
	T15	"	100 ~ 300	"	"	024	"	"	"	15123	5	25
	T16	"	0 ~ 200	"	"	025	"	"	"	15141	5	25
	T17	"	0 ~ 200	"	"	026	"	"	"	15157	5	25
	T18	"	0 ~ 200	"	"	027	"	"	"	15175	5	25
	T19	"	0 ~ 200	"	"	030	"	"	"	15213	10	20
	T20	"	0 ~ 200	"	"	031	"	"	"	15231	10	20
	T21	"	0 ~ 250	"	"	032	"	"	"	15247	10	20
	T22	"	0 ~ 50	"	"	033	"	"	"	15265	20	60
	T23	"	0 ~ 100	"	"	034	"	"	"	15265	20	60
	T24	"	0 ~ 60	"	"	035	"	"	"	15265	20	60
圧力 (4)	P01	アルミ管	0 ~ 200 % 50 ~ 100	P/E	0 ~ 10 mA DC	036	⑤	PID	CV19	14000	1	2
	P02	"	0 ~ 200	P/I	4 ~ 20 mA	037	⑥	PID+PI	CV19 H15 ~ H16	14016	1	2
	P03	"	0 ~ 200	P/I	10 ~ 50 mA	040	⑦	ヒステリシス	H23	14050	1	2
	P04	"	0 ~ 15	P/E	0 ~ 10 mA	041	⑧	ヒステリシス	H23	14102	1	2
流量 (6)	F01	オリフィス	0 ~ 70 % 0 ~ 30	P/E	4 ~ 20 mA	044	"	PID	CV11	14253	1	2
	F02	"	0 ~ 70	P/E	4 ~ 20 mA	045	"	"	"	14563	1	2
	F03	"	0 ~ 300	P/I	4 ~ 20 mA	046	"	"	"	14601	1	2
	F04	"	0 ~ 200	P/E	0 ~ 10 mA	047	"	"	"	14617	1	2
	F05	"	0 ~ 200	P/E	0 ~ 10 mA	050	"	"	"	14635	1	2
	F06	"	0 ~ 150	P/A	4 ~ 20 mA	051	"	"	"	14653	1	2
水位 (3)	L01	d/Pセル	0 ~ 100 %	P/E	4 ~ 20 mA	052	⑩	PID	CV12 (CV13)	14134	1	2
	L02	"	0 ~ 100	P/E	10 ~ 50 mA	053	⑪	ヒステリシス	CV10, PMLP	14166	1	2
	L03	"	0 ~ 100	P/E	0 ~ 10 mA	054	⑫	ヒステリシス	SMLF	14221	2	4
電力 (3)	W01	"	0 ~ 25 kW	WTC	0 ~ 10 mA	055	"	"	"	15535	2	0
	W02	"	0 ~ 50	WTC	"	056	"	"	"	15553	2	0
	W03	"	0 ~ 50	WTC	"	057	"	"	"	15571	2	0
弁開度 (1)	CV11	"	0 ~ 100 %	"	4 ~ 20 mA	065	"	"	"	"	"	"
	CV12	"	0 ~ 100	"	"	070	"	"	"	"	"	"
	CV13	"	0 ~ 100	"	"	061	"	"	"	"	"	"
	(CV14, CV15)	"	0 ~ 100	"	"	074	"	"	"	"	"	"
	(CV16, CV17)	"	0 ~ 100	"	"	072	"	"	"	"	"	"
	CV18	"	0 ~ 100	"	"	061	"	"	"	"	"	"
	CV19	"	0 ~ 100	"	"	070	"	"	"	"	"	"
	CV21	"	0 ~ 100	"	"	062	"	"	"	"	"	"
	CV22	"	0 ~ 100	"	"	063	"	"	"	"	"	"
	CV23	"	0 ~ 100	"	"	064	"	"	"	"	"	"
(CV24, CV25)	"	0 ~ 100	"	"	073	"	"	"	"	"	"	
目次機能 (5)	TIC 06H	"	0 ~ 100 %	"	4 ~ 20 mA	066	"	"	"	"	"	"
	TIC 06L	"	0 ~ 100	"	"	067	"	"	"	"	"	"
	PIC 02	"	0 ~ 100	"	"	077	"	"	"	"	"	"
	LIC 01	"	0 ~ 100	"	"	100	"	"	"	"	"	"
シフト機能 (3)	LIC 02	"	0 ~ 100	"	"	076	"	"	"	"	"	"
	0 % 入力	"	"	"	0	000	"	"	"	"	"	"
シフト機能 (3)	80 % 入力	"	"	"	16 mA	001	"	"	"	"	"	"
	DAC 出力のセンサーバック信号	"	"	"	4 ~ 20 mA	002	"	"	"	"	"	"

() 内の数値は入力或数値を示す。

Table C-2 Digital Input Signals of OWL-0 Computer Control System

		項目	TAG No	計測機入力信号	入力パネル下以 (SEL)	備考			
デジタル入力 (10)	ステータス (20)	ヒータ (17)	一次補助ヒータ (6)	H01~H05 H10	接点入力	4122			
			テストセクションヒータ (3)	H11~H13	接点入力	4121			
			圧力調節系ヒータ (1)	H14	接点入力	4122			
			一次サージタンクヒータ (5)	H15~H19	接点入力	4121			
			二次サージタンクヒータ (2)	H22, H23	接点入力	4121			
		ポンプ (6)	一次主循環ポンプ	PMP	接点入力	4122			
			圧力調節系循環ポンプ	PSP	"	4123			
			二次主循環ポンプ #1	SMP1	"	"			
			二次主循環ポンプ #2	SMP2	"	"			
			一次給水ポンプ	PMLP	"	"			
			二次給水ポンプ	SMLP	"	"			
		バルブ (2)	オートフリッドバルブ	CV10	接点入力	4121			
			二次サージタンク接続バルブ	CV26	"	"			
		電源 (3)	計器電源	AC100	接点入力	4123			
			操作電源	AC200	"	"			
				DC100	"	"			
		DDCステーションモード (28)	圧空 (1)	計装用圧空	PO5	接点入力	4123		
	CAS (5)			一次主冷却器出口温度調節計 圧力調節系冷却器出口温度調節計 二次冷却器出口温度調節計 ジェットコンデンサ圧力調節計 セパレータレベル調節計	TIC10 TIC14 TIC20 PIC02 LIC01	0, 12V DC " " " "	4116 4115 " " "		
	OCS (2)		一次サージタンクレベル調節計 二次サージタンク温度調節計 (HIGH) (LOW)	LIC02 TIC06H TIC06L	0, 12V DC " "	4116 4115 "			
			CMS (6)	一次主流量制御バルブステーション セパレータ無相流量制御バルブステーション 圧力調節系バイパスバルブステーション 二次主流量制御バルブステーション 一次主冷却器二次側流量制御バルブステーション 圧力調節系二次側流量制御バルブステーション	CMS-CV11 CMS-CV13 CMS-CV18 CMS-CV21 CMS-CV22 CMS-CV23	0, 12V DC " " " " "	4115 " " " " "		
	RBS (14)			オートフリッドバルブステーション 二次サージタンク接続バルブステーション テストセクションヒータ制御ステーション 二次サージタンクヒータ制御ステーション 一次サージタンクヒータ制御ステーション (MAN) (COMP)	RBS-CV10 RBS-CV26 RBS-SGH RBS-SSTH RBS-PSTHM RBS-PSTHC	接点入力 " " " " "	4117 " " " " "		
				圧力調節系ヒータ制御ステーション 一次補助ヒータ制御ステーション 一次主循環ポンプ制御ステーション 圧力調節系循環ポンプ制御ステーション 二次循環ポンプ #1 制御ステーション 二次循環ポンプ #2 制御ステーション 一次給水ポンプ制御ステーション 二次給水ポンプ制御ステーション	RBS-CLH RBS-PPH RBS-PMP RBS-PSP RBS-SMP1 RBS-SMP2 RBS-PMLP RBS-SMLP	" " " " " " " "	" " " 4120 " " " "		
				オシロスコプ (53)	"FUNCTION" キーボックス (6) 各種切換スイッチ (25) SEθ No 設定器 (12) センススイッチ (10)		接点入力 " " "	4107 4110, 4111, 4113 4114 4112	
				割込み入力 (12)	CPU (1)	コアメモリ温度高 (1)	CPU TEMP	接点入力	4100
						安全系 イタロック (3)	イタロックアラーム (1)	ILAL	接点入力
			クルダウ (1)		CLDN		"	"	
			スクラム (1)		SCRM		"	"	
		オペレータコンソール (7)	安全系 イタロック (3)	OWL-0 停電 (1)		接点入力	4100		
割込みキー入力				DDC/BU IO-KEY FUNCTION START, READY PERIODIC LOG ON DEMAND POINT LOG	接点入力 " " " " " "	4101 " " " " "			

() 内の数値は入力変数を示す。

Table C-3 Computer Output Signals for OWL-0 Control

	項目	DDCステーション TAG No	操作機器	計算機出力信号	出力チャンネルアドレス (SEL)	
アナログ出力	バルブ開度制御 (14)	一次主冷却器流量制御バルブ	TIC 10	[CV14, CV15]	4 ~ 20 mA DC	ステーションセレクトマトリックス信号を選択される。
		圧力調節系冷却器流量制御バルブ	TIC 14	[CV16, CV17]	"	
		二次主冷却器流量制御バルブ	TIC 20	[CV24, CV25]	"	
		スプレッド水流量制御バルブ	PIC 02	CV19	"	
		セパレータ液相流量制御バルブ	LIC 01	CV12	"	
		一次主流量制御バルブ	CMS-CV11	CV11	4 ~ 20 mA DC	
		セパレータ蒸気相流量制御バルブ	CMS-CV13	CV13	"	
		圧力調節系バイパスバルブ	CMS-CV18	CV18	"	
		二次主流量制御バルブ	CMS-CV21	CV21	"	
		一次主冷却器二次側流量制御バルブ	CMS-CV22	CV22	"	
温度調節	圧力調節系冷却器二次側流量制御バルブ	CMS-CV23	CV23	"		
	一次サージタンクレベル調節計	LIC 02	PMLP	4 ~ 20 mA DC		
	一次サージタンク湿度調節計 (HIGH)	LIC 06H	H15 ~ H19	"		
	一次サージタンク湿度調節計 (LOW)	LIC 06L	"	"		
デジタル出力	ヒータオンオフ (34)	一次補助ヒータ (6x2)	RBS-PPH	H01 ~ H05 H10	シングルショットパルス	4152 4153
		テストセクションヒータ (3x2)	RBS-SGH	H11 ~ H13	"	4150
		圧力調節系ヒータ (1x2)	RBS-CLH	H14	"	4152
		一次サージタンクヒータ (5x2)	RBS-PSTHM RBS-PSTHC	H15 ~ H17 H18, H19	"	4151 "
		二次サージタンクヒータ (2x2)	RBS-SSTH	H22, H23	"	4150, 4151
	ポンプオンオフ (12)	一次主循環ポンプ	RBS-PMP	PMP	シングルショットパルス	4153
		圧力調節系循環ポンプ	RBS-PSP	PSP	"	4154
	バルブ開度 (4)	二次循環ポンプ #1	RBS-SMP1	SMP1	"	"
		二次循環ポンプ #2	RBS-SMP2	SMP2	"	"
		一次給水ポンプ	RBS-PMLP	PMLP	"	"
二次給水ポンプ		RBS-SMLP	SMLP	"	"	
ステーションモード切替 (14)	オートブリードバルブ (1x2)	RBS-CV10	CV10	シングルショットパルス	4150	
	二次サージタンク接続バルブ (1x2)	RBS-CV26	CV26	"	"	
	二次サージタンク接続バルブステーション	RBS-CV26		フリップフロップ出力	4146	
	オートブリードバルブステーション	RBS-CV10		"	"	
	テストセクションヒータ制御ステーション	RBS-SGH		"	"	
	二次サージタンクヒータ制御ステーション	RBS-SSTH		"	"	
	一次サージタンクヒータ制御ステーション (MAN)	RBS-PSTHM		"	"	
	一次サージタンクヒータ制御ステーション (COMP)	RBS-PSTHC		"	"	
	圧力調節系ヒータ制御ステーション	RBS-CLH		"	"	
	一次補助ヒータ制御ステーション	RBS-PPH		"	"	
ステーション (14)	一次主循環ポンプ制御ステーション	RBS-PMP		"	"	
	圧力調節系循環ポンプ制御ステーション	RBS-PSP		"	"	
	二次循環ポンプ #1 制御ステーション	RBS-SMP1		"	"	
	二次循環ポンプ #2 制御ステーション	RBS-SMP2		"	4147	
	一次給水ポンプ制御ステーション	RBS-PMLP		"	"	
	二次給水ポンプ制御ステーション	RBS-SMLP		"	"	
	CIS No1 セレクト (1)			シングルショットパルス	4156	
	CIS No2 セレクト (1)			"	"	
UP DATE GATE (1)			"	"		
ステーションセレクトマトリックス (5)			"	"		
ダイオード	ジエレクトコンデンサ圧力調節計 (1x2)	PIC 02		パルス信号	4157	
	セパレータレベル調節計 (1x2)	LIC 01		"	"	
アラーム表示 (52)	アラーム表示 (11)			フリップフロップ出力	4140	
	各種キイランプ (10)			フリップフロップ出力 シングルショットパルス	4141 4143	
	DDC → BACK UP 切替 (1)			フリップフロップ出力	4141	
	表示器関係 (30)			フリップフロップ出力 シングルショットパルス	4142, 4145 4144	
タイプライタ	アラームタイプライタ制御 (10)			シングルショットパルス	4160	
	ログタイプライタ (8)			"	4162	

* : 1つの機器に対し2つの出力信号(オンオフ)が必要なもの。
 ** : アナログ出力信号はPICより1実出力であるが、各ステーションへの接続はDDCステーションパネル内で、ステーションセレクト信号により行われる。従って表には全配されるステーションを1実と考え、その出力実数を示した。
 () 内の数値は出力実数を示す。

Appendix D 計算機制御システムハードウェア主要性能

(1) CPU (山武ハネウエル Y-516型)

語長	: 16ビット	命令数	: 72 (基本)
コアメモリー	: 16 KW	アドレス方式	: 1アドレスインデクシング 及びマルチレベル間接アドレス
サイクルタイム	: 0.96 μ s	メモリー保護機能	: 停電時保護
パリティチェック	: 奇数	入出力ライン	: 16ビットI/Oバス, 10 ビットアドレスバス, 外部制御 およびセンスライン
演算速度 (加減)	: 1.92 μ s	DMAチャンネル	: 3チャンネル
〃 (乗/除)	: 5.28/10.56 μ s		

(2) ディスク (山武ハネウエル DDC-7300型)

方式	: 固定ヘッド	平均アクセス時間	: 10.5ms
容量	: 196 KW	転送方式	: DMAチャンネル
転送速度	: 7.3KC/s	記憶保護	: 書き禁止スイッチ

(3) プロセス入出力装置 (山武ハネウエル PIC)

(a) 入出力点数 (オペレータコンソール, タイプライタ関係を含む)

アナログ入力	: 59点	オンオフ入力	: 110点 (接点および 電圧)
アナログ出力	: 14点	オンオフ出力	: 146点
パルス出力	: 4点	割込信号	: 12点

(b) アナログ入力回路

信号レベル	: 0~10mV 4~20mA 10~50mA	マルチプレクサ	
		走査方式	: 水銀リレー
		走査速度	: 200点/s
DCアンプ		AD変換器	
ゲイン	: 500	入力レベル	: ± 10 V
ゲイン精度	: 0.1%	精度	: 8+13ビット
ゲイン安定度	: 0.01% (200hr)	コンモンモードノイズ除去	: 120 ^{db} (60Hz)
直線性	: 0.01% (0~2kHz)		
出力	: ± 10 V		

(c) アナログ出力回路

DA変換器			
出力レベル	: 0~20mADC	変換速度	: 200 μ s
語長	: 10ビット	負荷	: 0~800 Ω
精度	: 0.25%		

(d) オン・オフ (接点) 入力回路

入力形式	: 並列12ビット	外部接点容量	: 48VDC, 25mA
入力速度	: 600Kビット/s	入力回路耐圧	: 300VAC/p.p または 100VDC

(e) オン・オフ出力回路

出力形式	: 並列12ビット	出力の種類	: シングルショット, フリップ フロップ
出力レベル	: 48VDC, 250mA		

(f) パルス出力回路

出力形式	: 並列12ビット*	出力信号	: シングルショット
出力レベル	: 48VDC, 250mA	*: パルスモータ駆動には2ビット使用	

(g) 割込信号回路

信号の種類	: 接点	入力回路耐圧	: 70VAC/p.p または 70VDC
外部接点容量	: 48VDC, 5mA	割込検出	: CPUに共通割込がかかり, プログラム で各接点を走査する。

(4) I/Oタイプライタ (NEAC 108-20E ASR)

コード	: ASCII	テープ読取速度	: 10 字/s
印字速度	: 10 字/s	テープさん孔速度	: 10 字/s
印字数	: 72 字/行		

(5) 紙テープリーダー (Digitronix-2500型)

読取速度	: 300 字/s
------	-----------

(6) 紙テープパンチ (Teletype-BRPE-II型)

さん孔速度	: 110 字/s
-------	-----------

(7) ラインプリンタ

印字速度	: 300 行/分	印字数	: 120 字/行
------	-----------	-----	-----------

(8) アラームタイパー (IBM-731型)

字の種類	: 88	印字速度	: 15.5 字/s 平均
コントロール機能	: 10種類	印字紙巾	: 11インチ

(9) ログタイパー (IBM-B型)

字の種類	: 43	印字速度	: 10 字/s
コントロール機能	: 9種類	印字紙巾	: 29インチ

(10) DDC ステーションパネル

(a) 構成要素

CAS 6台, CMS 9台, RBS 16台

(b) CAS

DDC時にはホールド機能によりDA変換器出力を操作端に送り、バックアップ時には内蔵のPIDコントローラによるアナログ制御に切換えられ、さらに必要に応じては全くの手動制御にも使用できる様になっている。

なお、DDC→バックアップの切換に際してはバンプレス切換ができる様になっている。

CASの中には、PIDコントローラの目標値の設定が計算機で行なえるものと、PV値に自動的に追従するものがある。前者をSPトラッキング方式、後者をPVトラッキング方式と呼んでいる。

モード	C (computer)	: DDC モード
	A (analog auto)	: PIDコントローラモード
	M (manual)	: 手動制御モード
入力信号	: 4~20mA	
出力信号	: 4~20mA	
出力アンサバック	: 1~5VDC	
ホールド特性	: 1%/hr	
モード変更	: MAN→COMP	: バランスレスバンプレス
	COMP→MAN	: 手動ノブによるバランス
	計算機故障時	: バンプレス移行 (SPトラッキング方式ではジャンプ)
モード信号	: DDC時閉接点	

(c) CMS

CASからPIDコントローラを除いたもので、DDC時にはCASと同じであるがバックアップ時には手動制御のみとなる。これに2種類あって、あらかじめ決められた出力値に移行する(プリセットジャンプ方式)ものと、その時点での出力値を保持するものがある。

モード	: C (computer)	: DDCモード
	M (manual)	: 手動制御モード
入力信号	: 4~20mA	
出力信号	: 4~20mA	
出力アンサバック	: 1~5VDC	
ホールド特性	: 1%/hr	
モード変更	: MAN→COMP	: バランスレスバンプレス
	COMP→MAN	: 手動ノブによるバランス
	計算機故障時	: バンプレス自動移行 (プリセット方式ではジャンプ)
モード信号	: DDC時閉接点	

(d) RBS

ヒータやポンプなどのオンオフ機器を動作させるリレー回路と、手動操作のキ、オンオフ表示灯、DDC \leftrightarrow BU切換スイッチなどで構成される。RBSはオンオフ機器に供給されている200VACの動力線による誘導雑音を防ぐために中間に24VDCリレーを挿入している。

(ii) 定電圧電源

方 式	: モータゼネレータ	出 力	: AC115V, 60Hz, 1 ϕ
容 量	: 1.5 KVA	回 転 速 度	: 1800 rpm
入 力	: AC200V, 50Hz, 3 ϕ		

Appendix E. オペレータ・コンソール・ファンクション一覧表

名 称	機器の種類	機 能
[DISPLAY-1][-2] [TAG NO] [PV] [SP] [VP/ENTRY]	投影式表示器	プロセス変数、特性計算値、制御サブループの各種パラメータ、コアメモリ内容等を表示する。2系統ある。TAG NO を表示するもので、TEN KEYによって設定される。 (コアメモリの内容表示にも使用される。) 選択されたTAG NO のPV値および単位を表示する。 (コアメモリのアドレス表示にも使用される。) TAG NOに対応するSP値および単位を表示する。また[FUNCTION]キーによって制御サブループやプロセス入力点に関する各種のパラメータが表示される。 (コアメモリのアドレス表示にも使用される。) 選択されたTAG NO が制御サブループに使用されかつ、その制御サブループの制御機器がバルブである場合にその開度(VP)を表示する。また各種データの設定変更時には、新しい設定値の書き込み用表示器[ENTRY]として使用される。 (コアメモリの内容表示にも使用される。)
[INDICATOR SELECT] [1] [2]	ランプ付 オルタネイト スイッチ	[DISPLAY-1] および[DISPLAY-2]の選択を行なう。選択された表示器に対しTENKEYおよび[FUNCTION]キーが有効となる。
[CLEAR]	キー	[INDICATOR SELECT]により選択されている表示器の表示をすべて消去する。
TAG INDEX [T][P][F][L][PC]	キー	TAG NO の項目を選択するキーであり、それぞれ温度、圧力、流量、水位、特性計算値を表わす。この項の後に2桁の番号がTEN KEYによってキー・インされる。 TAG NO の選択はこのTAG INDEXが先行し、他のキーを押した場合は無視される。
TEN KEY [0]~[9]	キー	TAG NO の選択や、データの設定等に使用される。
[DATA SFT]	キー	[DATA LOCK] キースイッチが[10]のとき、このキーを押すと[VP/ENTRY]表示器の表示が消去される。 [DATA LOCK] キースイッチが[8]のときは[TAG NO] および[VP/ENTRY]表示器の表示が消去される。

名 称	機器の種類	機 能
[TRANSFER]	キイ	<p>データ変更のとき使用するキイであり[VP/ENTRY]表示器に設定されたデータを計算機コアメモリ内に書き込む。書き込まれたデータは"SP"表示器に表示される。</p> <p>[DATA LOCK] キー・スイッチが[8]のときは[TAG NO]および[VP/ENTRY]表示器のオクタル値が指定されたコアメモリ・アドレスに書き込まれる。書き込みの機能は[L/UL/SEQ]キー・スイッチが[UL](UN LOCK)の位置にあるときのみ可能となる。</p>
[TRANS READY]	ランプ	<p>[L/UL/SEQ] キー・スイッチが[UL]の位置にあるときのみ点灯し、データの変更が可能であることを示す。</p>
<p>[FUNCTION]</p> <p>[SP]</p> <p>[PVH],[PVL]</p> <p>[KP]</p> <p>[KI]</p> <p>[KD]</p> <p>[DEVH],[DEVL]</p> <p>[VP]</p> <p>[VPH],[VPL]</p> <p>[TS]</p> <p>[TF]</p>	<p>ランプ付 モーメンタリ・ スイッチ</p>	<p>データが表示されているときに、この[FUNCTION]キイを押すと、選択されているTAG NOについて、各種のパラメータおよび単位が[SP]表示器に表示され、押した[FUNCTION]キーのランプが点灯する。</p> <p>目標値を表示する。</p> <p>プロセス変数上下限警報値を表示する。</p> <p>P動作比例帯を表示する。</p> <p>I動作リセットレートを表示する。</p> <p>D動作微分時間を表示する。</p> <p>制御偏差上下限警報値を表示する。</p> <p>バルブ開度を表示する。</p> <p>バルブ開度上下限警報値を表示する。</p> <p>サンプリングタイムを表示する。</p> <p>入力フィルタ時定数を表示する。</p>
<p>[DATA LOCK]</p> <p>[L/UL/SEQ]</p> <p>[10/8]</p>	<p>キー・スイッチ</p> <p>キー・スイッチ</p>	<p>誤設定を極力防止するためのインターロックであり、2 個のキー・スイッチから成る。</p> <p>[L](LOCK) : データ設定変更、コアメモリ内容の変更、SEQ NO の設定が禁止される。</p> <p>[UL](UN LOCK) : データ設定変更、コアメモリ内容の変更が可能となる。この位置で[TRANSFER]ランプが点灯する。</p> <p>[SEQ](SEQUENCE) : SEQ NO の設定が可能となる。</p> <p>[10](DECIMAL) : 10 進数でのデータ表示が行われる。</p> <p>[8](OCTAL) : コアメモリの内容を8進数で表示する。</p>

名 称	機器の種類	機 能
[PERIODIC LOG] [10],[30],[60]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	定刻いん字の周期を決めるスイッチであり、10分、30分、60分の3種類が選択できる。
[DL]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	日報(DAYLY LOG)をいん字させる。
[POINT LOG] [SINGLE]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	[DISPLAY-1]および[DISPLAY-2]に表示されているPV値とともに1回アラーム・タイプライタにいん字する。いずれか一方しか表示されていない場合は、表示されているデータのみいん字する。
[CYCLIC]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	[SINGLE]の機能を10秒毎にくり返す。いん字を停止させるには、このスイッチを再度押すか[SINGLE]に切換えればよい。
[ON DEM]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	必要時にデータログ作表を行わせるスイッチである。
[SEQUENCE NO]	投影式表示器	SEQ NO の表示器で、実行している或はこれから実行するSEQ NO を3桁で表示する。
[SEQUENCE NO]	ロータリ・スイッチ	SEQ NO の設定器である。(3桁)
[CONTROL MODE] [AUTO/MAN]	ランプ付 オルタネイト・スイッチ	下記のように、シーケンス・プログラムを実行するモードを決める。 [AUTO] : 決められたSEQ NO の順序に従ってシーケンス制御プログラムが運転区分の終りまで自動的に進行する。 [MAN] : シーケンス制御プログラムを各SEQ NO 毎に区切って実行するモードであり、1つのSEQ NO が終了した時、シーケンス制御プログラムは"WAIT"の状態となる。このとき[READY]ランプが点灯し、次のSEQ NO の設定が可能となる。
[READY]	ランプ付 モメンタリ・スイッチ	シーケンス制御プログラムが次のSEQ NO を設定しても良い状態になったときランプが点灯する。 新しいSEQ NO を設定し、このキイを押すとそのNOが計算機に読み込まれ、登録されているSEQ NO かどうか、あるいは運転区分の変り目においては、前のSEQ NO と正しい関係にあるか否かがチェックされる。 正しいものであればそのSEQ NO を表示器に表示し、[START]ランプを点灯する。

名 称	機器の種類	機 能
		設定に間違いがあつた場合は[MIS OPE]のアラームを発する。
[START]	ランプおよびガード付 モーメンタリ・スイッチ	このランプ点灯は、シーケンス操作の開始OKを表わす。 キイを押すと、そのSEQ NOのシーケンスプログラムが実行開始され、[READY]および[START]ランプは消灯する。
[CHECK OK]	ランプおよびガード付 モーメンタリ・スイッチ	シーケンス・プログラムで、CHECK OK 待ちになつたとき点灯する。そのときシーケンス・プログラムは"WAIT"状態になる。 このキイを押すと、プログラムで確認のとれるものはチェックし、異常がない場合は、シーケンスを先に進める。
[DDC/BACKUP]	ランプおよびガード付 モーメンタリ・スイッチ	DDCステーションのモードを一括して[RACK UP]に切換えるスイッチである。 DDC運転に投入する場合は、このスイッチを[DDC]に切換えた後、各ステーションを個々にDDCモードに投入する。
[OPE SHIFT]	ランプおよびガード付 モーメンタリ・スイッチ	オペレータ交替時に押すキイであり、引継ぎをタイプライタに印字する。
[LAMP TEST]	モーメンタリ・スイッチ	オペレータ・コンソールのランプをチェックするキイで、押している間すべてのランプが点灯する。
[ALARM RESET]	モーメンタリ・スイッチ	警報ブザーおよび[ALARM]表示灯の点滅を停止させる。
[ALARM]		計算機システムあるいはOWL-Oに異常が生じた場合ランプが点滅する。[ALARM RESET]キイによりランプの点滅およびブザーは停止するが、異常原因が復帰するまでランプの点灯は継続する。
[COMPUTER]		
[CPU FAIL]	ランプ	プログラムの停止を表わす。
[PARITY]	ランプ	メモリ・パリティ発生を示す。
[STATION]	ランプ	DDCステーション(CAS、CMS)の出力信号あるいは目標値設定機能の不良を示す。
[PIO]	ランプ	ADC、DACの動作不良を示す。
[CPU TEMP]	ランプ	CPUのコアメモリ筐体温度が上限値をこえた事を示す。
[MIS OPE]	ランプ	SEQ NOの誤設定を示す。

名 称	機器の種類	機 能
[OWL-O]		
[SCRAM]	ランプ	OWL-O安全系のスクラム発生を示す。
[COOL DOWN]	ランプ	OWL-O安全系のクールダウン発生を示す。
[ULAL]	ランプ	OWL-O安全系のアラーム発生を示す。
[TIME LIMIT]	ランプ	シーケンス・プログラムの中でタイムリミットを越えたことを示す。
[NACT NOGO]	ランプ	制御機器の動作不良、またはDDCステーションのDDC/BACK UP モード切換不良を示す。
[ALARM]	ランプ	PV値異常、VP値異常、特性計算値異常、圧空停止停電等を示す。

Appendix - F オンライン特性計算項目と内容

Table F-1 Contents of On-line Performance Calculation
(Items typed into Log Typer #1)

№	表示記号	内 容	計 算 式	
1	HB01 (1)	SG部熱収支	$a \times F1 \times [H(P1, T2) - H(P1, T1)]$	P
1	HB01 (2)	SG部熱収支	$a \times F1 \times [E(P1) \times SQ03 + HF(P1) - H(P1, T1)]$	B
2	PE01	SG部電気入力	$W1 + W2 + W3$	
3	SQ02	SG出口蒸気含有率	$PE01 \times EH01 + a + F1 + F(P1) - [HF(P1) - H(P1, T1)] + F(P1)$	*1 B
4	HB23	一次主冷却器 二次側熱収支	$a \times F5 \times [H(P4, T17) - H(P4, T16)]$	
5	HB32	二次主冷却器 二次側熱収支	$a \times F6 \times [H(P0, T22) - H(P0, T23)]$	*2
6	EC06	Jet C. 凝縮効率	$[HS(P2) - HF(P2)] \times [H(P2, T5) - H(P2, T15)] + [HF(P2) - H(P2, T15)] + [HS(P2) - H(P2, T5)]$	B

*1 EH01は、Pモード運転時計算結果を記憶しておくものとする。

*2 P0 = 1.0 Kg/cm²である。

Table F-2 Contents of On-line Performance Calculation
(Items typed into Log Typer #2)

7	EH01	SGヒータ効率	$HB01 + PE01$	P
8	VF01	SG平均 ボイド体積率	$RF(P1) \times SQ02 + [RF(P1) \times SQ02 + 20 \times RS(P1) - RS(P1) \times SQ02]$	B
9	FG04	蒸気相流量	$F3 \times [H(P2, T5) - H(P2, T15)] + [H(P2, T4) - H(P2, T5)]$	B
10	SQ03	二相流部 蒸気含有率	$FG04 + F1$	B
11	SP04	気水分離器 分離効率1	$(F1 - F2) + F1 + SQ02$	B
12	SP05	気水分離器 分離効率2	$FG04 + F1 + SQ02$	B

№	表示記号	内 容	計 算 式
13	HB09	S.T. 熱収支	$a \times (F1 + F3 - F2) \times [H(P2, T7) - H(P2, T5)]$
14	FC09	ST水表面 凝縮流量	$b \times [HF(P2) - H(P2, T7)]$
15	FF09	S.T.表面 フラッシング流量	$[(F1 + F3 - F2) \times (H(P2, T5) - HF(P2)) + \frac{1}{a} HB09] + [HS(P2) - H(P2, T5)]$
16	EH09	S.Tヒータ効率	$HB09 + PE09$ *2
17	HB11	一次主冷却器 一次側熱収支	$a \times (F1 + F3) \times [H(P2, T10) - H(P2, T10 - T8)]$
18	FM11	一次主冷却器 一次側冷却器流量	$HB11 \div a + [H(P2, T10 - T8) - H(P2, T9)]$
19	FB11	一次主冷却器 一次側バイパス流量	$F1 + F3 - FM11$
20	KH11	一次主冷却器 総括伝熱係数	$HB23 + [c \times (T10 + T16 - T8 - T17 - T9)] \log_e [(T10 - T8 - T17) + (T9 - T16)]$
21	HB14	一次補助ヒータ 部熱収支	$a \times F1 \times [H(P1, T1) - H(P1, T11)]$
22	EH14	一次補助ヒータ 効 率	$HB14 \div PE14$
23	HB24	圧力調節系冷却器 二次側熱収支	$a \times (F4 - F5) \times [H(P4, T16) - H(P4, T18)]$
24	FP16	圧力調節系循環 ポンプ流量	$HB24 \div a + [H(P2, T12) - H(P2, T14)]$
25	FB16	圧力調節系 バイパス流量	$FP16 - F3$
26	HB16	圧力調節系ヒータ 部熱収支	$a \times [FP16 \times (H(P2, T12) - H(P2, T14)) + F3 \times (H(P2, T14) - H(P2, T10))]$
27	FM18	圧力調節系冷却 器一次側流量	$HB24 \div a + [H(P2, T12) - H(P2, T13)]$
28	FB18	圧力調節系冷却 器バイパス流量	$FP16 - FM18$

№	表示記号	内 容	計 算 式
29	KH18	圧力調節系冷却器総括伝熱係数	$HB24 + [d \times (T12 - T18 + T16 - T13)] \times \log_e [(T12 - T18) + (T13 - T16)]$
30	ALLI	一次系全ヒータ熱入力	$HB01 + HB09 + HB14 + HB16$
31	ALLO	一次系全除熱量	$HB23 + HB24$
32	HONE	一次系放熱量	$ALLI - ALLO$
33	KH25	二次主冷却器総括伝熱係数	$HB32 + [e \times (T19 - T23 + T22 - T20)] \times \log_e [(T19 - T23) + (T20 - T22)]$

*3 PE14の公称値とする。

Table F-3 Constants used in Calculation

定数名	関係する項目	数 値	単 位
a	HB01 etc	0.06976	$KW \cdot \text{min} / Kg$
b	FC09	0.08404	$Kg^2 / \text{min} \cdot \text{Keal}$
c	KH11	15.46	\bar{m}^{-1}
d	KH18	33.41	\bar{m}^{-1}
e	KH25	29.50	\bar{m}^{-1}

Table F-4 Units of Input Variables and Functions

変数又は関数	意 味	単 位
P1 etc	圧 力	Kg / m^2
T1 etc	温 度	$^{\circ}C$
F1 etc	流 量	Kg / min
H(P1, T1)	圧力P1, 温度T1のエンタルピ	Keal / Kg
HF (P1)	圧力P1の飽和水エンタルピ	"
HS (P1)	" 飽和蒸気エンタルピ	"
RF (P1)	" 飽和水密度	Kg / m^3
RS (P1)	" 飽和蒸気密度	"

Table F-5 Examples of Units of Calculation

表示記号	意 味	単 位
HB01	熱 収 支	KW
PE01	電 気 入 力	KW
SQ02	蒸気含有率	-
EC06	凝縮効率	-
EH01	ヒータ効率	-
VF01	ボイド体積率	-
FG09	蒸気流量	Kg/min
FC09	凝縮流量	Kg/min
FF09	フラッシング流量	Kg/min
FB11	冷却器バイパス流量	Kg/min
FM11	冷却器流量	Kg/min
FP16	ポンプ流量	Kg/min
KH11	総括伝達係数	KW/m ² ℃

Appendix G 管理プログラム SMERT の概要 (詳細は資料 8), 9) 参照)

SMERT (Small Multiprogramming Executive for Real Time) は Y-516 計算機システム専用のプログラムであり、山武ハネウエル (株) によって開発されたプロセス制御用のリアルタイム管理プログラムである。

SMERT は OWL-O 計算機制御ソフトウェア全体の管理を行ない、各種の機能をもつファンクション・プログラムの実行を統括管理する。使用言語はすべてアセンブラ言語であり、コアおよびディスク・メモリ構成をとっている。コア・メモリ容量は 16 K 語であり、SMERT および常時使用されるファンクション・プログラムあるいは各種のパラメータやデータ等はコア・メモリに常駐されている。ディスク・メモリにはシーケンス・プログラムをはじめ、多くのファンクション・プログラムが格納され、それらが必要時コアメモリに転送され実行されるので、両者間のオンライン転送に関する処理がひんばんで、SMERT によるそれらの管理はかなり複雑になっている。

Fig.G-1 に OWL-O 計算機制御プログラムのコア・メモリ配置を、Fig.G-2 にディスク・メモリ配置を示す。

G.1 SMERT の機能

SMERT は次の機能を備えている。

- (1) 種々のファンクション・プログラムの管理 (Scheduling)
- (2) 割込処理
- (3) 実時間時計の処理
- (4) プログラム監視時計の処理 (Watch Dog Timer)
- (5) 各プログラム間の協調
- (6) 共通で使用する機器の協調
- (7) システム・サブルーチンの活用
- (8) オンライン・キーボード機能
- (9) ディスク常駐プログラムの処理
- (10) データのコアとディスク間転送

G.2 SMERT の構成

SMERT システムの構成および動作の概略フロー図を Fig.G-3 に示す。

SMERT を構成している各要素の概要を次に示す。

(1) エグゼクティブ (Executive)

SMERT システムの管理を行なう中枢部で次の部分から成っている。

(i) スケジューラ

各種のファンクション・プログラムの実行を管理する部分であり、決められた周期により又は他のプログラムにより、実行要求されたプログラムの実行順序を決定する。各ファンクション・プログラムはプログラム管理表によりシステムに登録され、スケジューラは一定の順序に従ってこれらの状態をチェックし実行の順序を決める。

(ii) インターラプト・ハンドラー

計算機システムの周辺機器あるいはプラントから発生する各種の割込みに対して、直ちに応答する部分で実行中のプログラムの中断およびその状態の退避、割込み源のチェック、割込みに対応する割込み処理プログラムの実行開始、割込み処理プログラム終了後、割込み状態の復帰等を行なう。

SMERTシステムの割込み信号源を調べるSKSチェックの種類とその順位をTable G-1に示す。

(2) リンキング・サブルーチン

エグゼクティブと各プログラムとの結合を行なうリエントラント形式のサブルーチンであり、次のような機能を備えている。

- (i) 各プログラムの実行要求。(Request Program)
- (ii) プログラムを指定したロケーションから実行開始させる。(Schedule Label)
- (iii) プログラムを"TIMER"に接続する。(Connect Timer)
- (iv) プログラムを"CLOCK"に接続する。(Connect Clock)
- (v) "TIMER"または"CLOCK"を切りはなす。(Disconnect Timer or Clock)
- (vi) ADCやタイプライタ等の機器使用を登録する。(Attach Device)
- (vii) 機器使用の登録を解除する。(Detach Device)
- (viii) プログラムを"終了"または"待ち"状態にする。(Test Pending)
- (ix) プログラムの実行開始点を指定し、コントロールをスケジューラに戻す。(Schedule Label)
- (x) 指定した機器の使用状態を調べる。(Device Status)

(3) システム・サブルーチン

それぞれのファンクションプログラムの中で共通に使用されるリエントラント形式のサブルーチンであり次のような特長を備えている。

- (i) システム・サブルーチンの中で使用するワーキング・エリアはインターラプト・ハンドラーにより退避されるのでシステム・サブルーチンの多重割込みが許される。
- (ii) メッセージ要求あるいはアラームランプ点灯要求等、多重に要求されるものについては発生順の行列(リンク構造)を形成し、その順序に従って処理を行なう。
- (iii) ディスク転送、アナログ入力読み込み等、外部装置の動作時間による時間待ちをサブルーチンの中で行なっているため、ファンクション・プログラムの中では、その時間遅れを考慮する必要がない。

システムサブルーチンはデジタル入出力およびアナログ入力処理、各種データの変換さらにディスクコア・メモリ間のデータ転送処理など15種類の機能を備え、SMERTシステム内でひんばんに使用される。

(4) プログラム管理表

各ファンクション・プログラムをSMERTに登録するためのテーブルであり、1つのプログラムにつき3語を必要とする。第1語はファンクション・プログラム名でありASCIIコード2文字で表わされる。

番2語はそのプログラムのコア・メモリ上のスタート番地を指定する。第3語はプログラムの状態を表わす語で"休止", "要求中", "割込まれ", "待ち"などの状態を示す(Status bit)と同時にプログラム相互の協調をはかる(Coordinate bit)ためにグループ指定を行なっている。グループ指定というのは一連の仕事を行なうために複数のファンクション・プログラムを1つのグループとして登録することにより、プログラム相互間の混乱を防止することができる。すなわち同一グループに指定されたプログラムはそのグループの他のプログラムが実行中であるときは、要求が出されても実行中のプログラムが終了するまで待たされる。グループ指定はそのプログラムの属するグループ・ビットを"1"にセットすればよく、最大7グループまで指定できる。

さらに第3語にはSMERTのリンキング・サブルーチン用のカウンタ(Pending Counter)やフラグ(Request bit, Schedule bit)等が配置されており、プログラム実行の制御用に使用される。

Fig. G-4 にプログラム管理表の構成を示す。

管理表には配列による優先順位があり、スケジューラはその順位に従って各ファンクション・プログラムの状態を調べ、実行要求になっっているプログラムを実行開始させる。従って管理表を作るときはそのシステムに最適な配列を充分考慮する必要がある。

Table G-2にOWL-O SMERTシステムのファンクション・プログラム一覧表を示す。

(5) ディスク・パラメータ・テーブル

ファンクション・プログラムのうちディスクに格納されているプログラムに対しては、それぞれディスク・プログラム番号が与えられており、そのプログラムが実行要求されると、ファンクション・プログラムのコア常駐部によってディスクからコア・メモリのワーキング・エリアにプログラムが転送され実行される。

(6) ファンクション・プログラムのコア常駐部

ファンクション・プログラムのほとんどはディスクメモリに格納されており、必要時コア・メモリに転送され実行される。それらのファンクション・プログラムはディスクメモリ格納部分とコア・メモリに常駐している部分とから構成されている。コア常駐部は自身自身のプログラムのディスク格納部をコア・メモリに転送し実行する機能を備えている。さらに転送したプログラムの実行が終了したときは専用したコア・メモリのエリアを解放する働きも行なう。

(7) リンク・バッファ

SMERTシステム内で発生した各種の処理要求に対し処理行列("待ち行列")を形成する。リンク・バッファはその処理のために必要なパラメータを順次格納していくバッファ・エリアであり、用途および構成語数による5種類に分類される。

G.3 SMERTの動作

(1) プログラム・スケジューリング

スケジューラがプログラム管理表をもとに各ファンクション・プログラムの状態を調べ順次実行すべきプログラムを決める。各ファンクション・プログラムはオペレータ・コン

ソールからの割込信号やアナログ・スキャン・プログラムのように、クロックやタイマ機能を結合することにより一定の周期で実行要求されたり、他のファンクション・プログラムによって実行要求されたりする。

一つのファンクション・プログラムの実行が終了した時は、必ずその演算のコントロールは、スケジューラに戻り次のファンクション・プログラムの状態がチェックされる。またプログラムの実行に時間がかかる場合は、一旦コントロールをスケジューラに戻し他の優先度の高いプログラムを実行した後、前のプログラムの実行を再開する。従って巨視的にはいくつかのファンクションが並列に実行されているように見える。

複数個のファンクション・プログラムが互いに関連し合っただけで実行されるような場合は、それらのプログラムを1つのグループとして管理表に登録し、プログラム相互間の混乱を防止する。この例はオペレータ・コンソールの割込処理プログラム等にある。

(2) 周期プログラムの実行

周期的に実行したいプログラムは必要に応じてリンク・サブルーチンのクロックまたはタイマに接続し周期プログラムにすることができる。

エグゼクティブは指定間隔毎にタイマをカウントし、指定の時間が経過したときタイマをリセットし、タイマに接続されたファンクション・プログラムを実行する。

"Connect Timer" 機能は 100msec, 1sec, 1min のいずれかを選択する事ができ
"Connect Clock" 機能は 1min のみ使用できる。

(3) 割込み処理

割込みが発生すると重要なシステムロケーションや各レジスタの退避および割込み源の調査が行われ、その割込処理プログラムが実行される。この実行が完了すると退避されたレジスタ等の復帰を行ない。コントロールは多重割込み状態の場合は割込まれたプログラムを再開し、1回割込みの場合はスケジューラの最初にもどる。

割込み発生時のプログラム実行過程の1例を Fig.G-5 に示す。

(4) クロック割込み

本システムの実時間の基本となるものは 10msec のクロックパルス発生器の出力信号であり、このパルス信号を RTC Break としてハードウェアが受け 100msec カウント毎に RTC Interrupt を発生する。

(5) 機器の使用管理

あるプログラムが例えばアラームタイマーを使用する場合等、その機器が他のどのプログラムでも使用されていない状態の時にのみ使用可能となる。すなわち各種の機器を使用する場合、自分のプログラムにその機器を "Attach" 機能により要求する。エグゼクティブはその機器が空いていれば要求したプログラムに機器を専用させプログラムを続行させる。もしも機器が "使用中" であれば要求は "待ち行列" に入れられ、要求したプログラムは、そこで中断し使用可能になったときのみ中断していたところから実行再開される。

ファンクション・プログラムでその機器の使用が終ったときは、"Detach" 機能によりその機器の専用を解除する。

(6) ディスク・プログラムの転送

ディスク・プログラム転送ルーチンは、転送すべきプログラムについてコア番地が指定されている場合 (ABS) には、その指定のエリアが空いているかどうかを調べる。コア番地が指定されていない場合 (REL) には、あらかじめシステムとして決められているワーキング・エリアをすべて調べ、空いているエリアを探す。空きエリアがあれば、そのエリアにプログラムを転送する。転送が終ると転送されたプログラムにコントロールが移り、そのプログラムが実行される。もしもコア・エリアを調べた時に、エリアが空いていなかった場合は、転送要求を行なったプログラムは中断されコントロールはスケジューラに戻される。この転送要求は "待ち行列" に登録されエリアが空くまで待機される。

ディスクは1トラックあたり256語と64語の2種類のレコードがあり、それぞれ4レコード、計8レコードに分割されている。256語はプログラムおよびデータ格納用、64語はデータ用として使用される。

ディスク転送の最小単位は1トラック、1レコードであり、転送に際してはトラック $\#$ レコード $\#$ および転送レコード数等がディスク・パラメータ・テーブルで与えられる。

(7) オンライン・キーボード・ファンクション

オンラインでI/Oタイプライタによりオペレータと計算機との通信を行なうことができる。その機能を次に示す。

- i) コア・メモリ内容の印字および書込み。 (DC, EC)
- ii) ディスク・メモリ内容の印字および書込み。 (DD, ED)
- iii) システム内部時刻の印字および変更。 (DT, ET)
- iv) ファンクション・プログラムの実行要求。 (RP)
- v) コア・メモリ内容のパンチアウト。 (PT)
- vi) 紙テープデータのコア・メモリ読込み。 (LV)

オンライン・キーボード・ファンクションの起動は、Y-516計算機のプログラマ・コンソール上のセンス・スイッチ $\#$ 4をオンにすることによる行われる。

Table G-1 Priority Levels of Interrupts

順 位	項 目
1	Memory Parity
2	Real Time Clock
3	Timer TC-A (Display)
4	DISC
5	PTR
6	PTP
7	Timer TC-B (DAC)
8	ADC
9	Common Alarm (CA#1)
10	Timer TC-C (SP-TRACK)
11	Common Alarm (CA#2):予備
12	LOG TYPER
13	I/O TYPER (ASR-33)
14	Watch Dog Timer

Table G-2 List of System Function Program in SMERT

No	プログラム名	プログラムの実行	格納場所	REL/ABS	ディスク プログラム No	プログラム 協調 グループ	プログラム内容
1	IT	SENCE SW-4	ディスク	ABS/REL	24, 25		キイボード ファンクション
2	MS	RTC 100 Msec	コア	ABS			100 MSEC 周期プログラム
3	IL	インターロック割込み	ディスク	REL	21		インターロック割込み処理
4	TC	RTC 1 sec	コア	ABS			サンプリング タイム チェック SCAN-REQ
5	SC	TC-REQ	コア	ABS			アナログ入力 サンプリング DDC-REQ
6	DC	SC-REQ	コア	ABS			制御サブグループ演算, 出力
7	FB	SC-REQ	コア/ディスク	ABS/REL			制御サブグループ出力アンサーバックチェック
8	UP	RTC-1 sec	ディスク	REL	2		オペレータコンソール表示更新
9	SQ	オペレータコンソール 割込み	ディスク	ABS	5		シーケンス コントロール
10	RO	オペレータコンソール CA 割込み	ディスク	REL	26		シーケンス オペレータコンソール応答
11	A1	SQ-REQ	ディスク	REL	17		シーケンス・コントロール 1
12	A2	SQ-REQ	ディスク	REL	18		" 2
13	A3	SQ-REQ	ディスク	REL	19		" 3
14	A4	SQ-REQ	ディスク	REL	20		" 4
15	ED	S\$SB(4) REQ	ディスク	ABS	1		指令アラームメッセージ編集
16	AN	S\$SB(10) REQ	ディスク	REL	6		アラームランプ オン・オフ
17	SU	RTC-20 sec	ディスク	REL	7		DDCステーション操作出力更新
18	MD	RTC-2 sec	ディスク	REL	10		モードリレーのスキヤン
19	SM	RTC-2 sec	ディスク	REL	11		運転時間積算
20	PC	RTC-5 sec	ディスク	ABS	9		特性計算
21	SP	SETP REQ	ディスク	REL	8		バックアップコントローラ SP設定
22	TP	オペレータコンソール割込み	ディスク	ABS	3	'400	オペレータコンソール TEN KEY 処理
23	FP	オペレータコンソール割込み	ディスク	ABS	4	'400	オペレータコンソール "FUNCTION" 処理
24	LG	ED, L1, L2, SL DL, PL, REQ	コア	ABS			ロギングドライバー
25	AD	RTC-20 sec	ディスク	REL	23		ADC, DAC チェック
26	L1	RTC-10, 20, 60分 オペレータコンソール割込み	ディスク	ABS	12	'1000	定時ログ #1 編集
27	L2	RTC-10, 20, 60分	ディスク	ABS	13	'1000	定時ログ #2 編集
28	DL	オペレータコンソール割込み	ディスク	ABS	15	'1000	日報編集
29	CL		ディスク	ABS	22		カレンダー処理
30	PL	RTC-10 sec オペレータコンソール割込み	ディスク	REL	14		ポイントログ要求
31	SL	SQ-REQ	ディスク	REL	16	'1000	停止時ログ編集

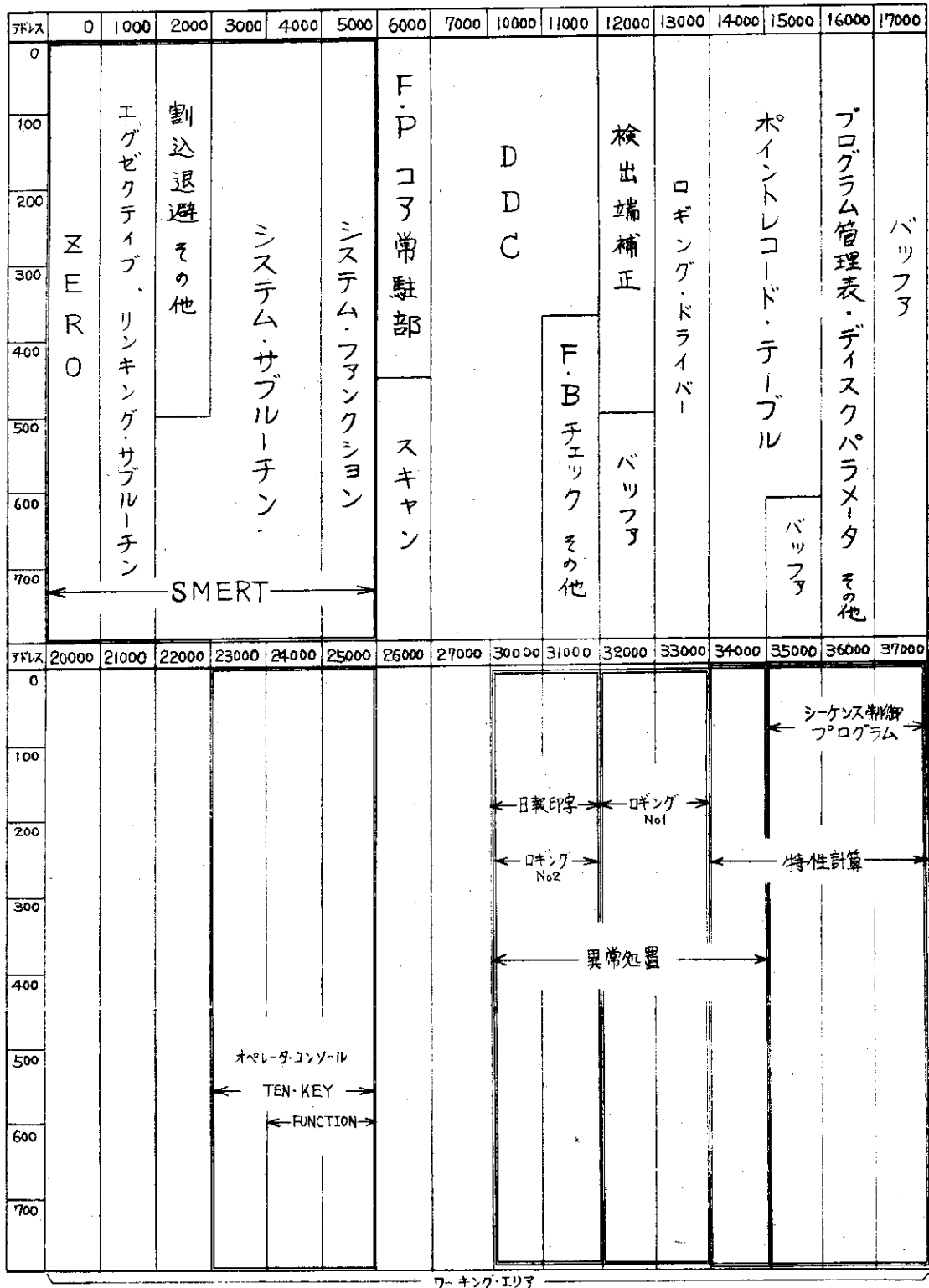


Fig. G-1 Core Memory Allocation of Computer Control Program of OWL-0

メモ No.	0	1	2	3	4	5	6	7
100	編集プログラム							
101								
102								
103	印字用キャラクタ・テーブル							
104								
105								
106	キーボード・フロンクシオン							
107								
110	オペレータ・コンソール							
111								
112								
113	ロギング							
114								
115								
116								
117	特性計算							
120								
121								
122								
123								
124								
125								
126								
127								
130								
131								
132								
133								
134								
135								
136								
137	DDC ステーション関係							
140	0	1	2	3	4	5	6	7
141	ランダム ON/OFF 状態	シークス・コントロール						
142	ADC, DAC フェック	インク・ロギング プラマ						
143	F・B フェック							
144								
145								
146								
147								
150	コ了常駐部							
151								
152								
153								
154								
155								
156								
157								
160	運転条件設定							
161								
162	運転条件データ・テーブル							
163								
164								
165								
166								
167								
170								
171								
172								
173								
174								
175								
176								
177	ネットセージおよび ロギング用 データ・エリア							

Fig. G-2 Disk Memory Allocation of Computer Control Program of OML-0

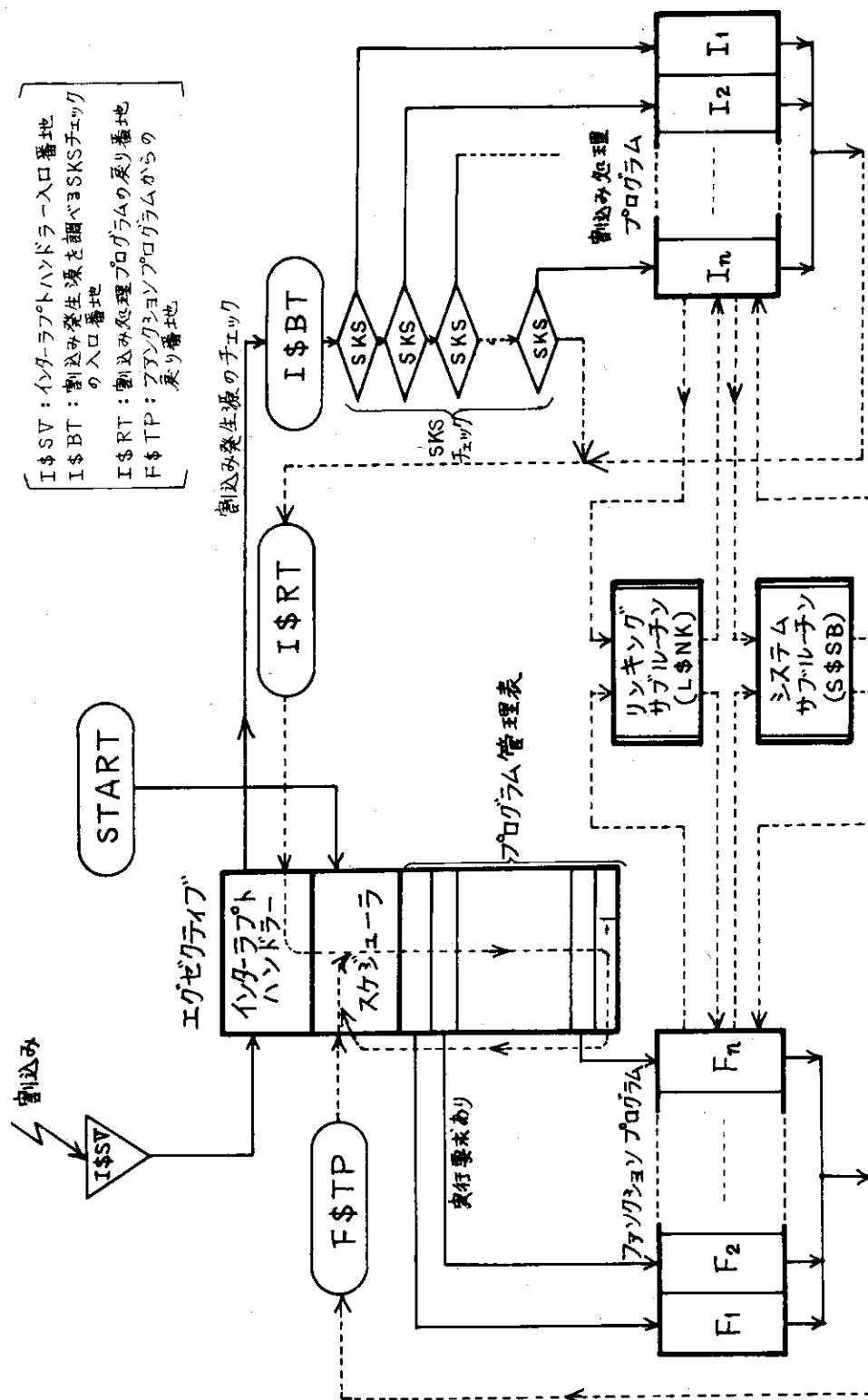


Fig. G-3 Functions of SHIRT Operation System

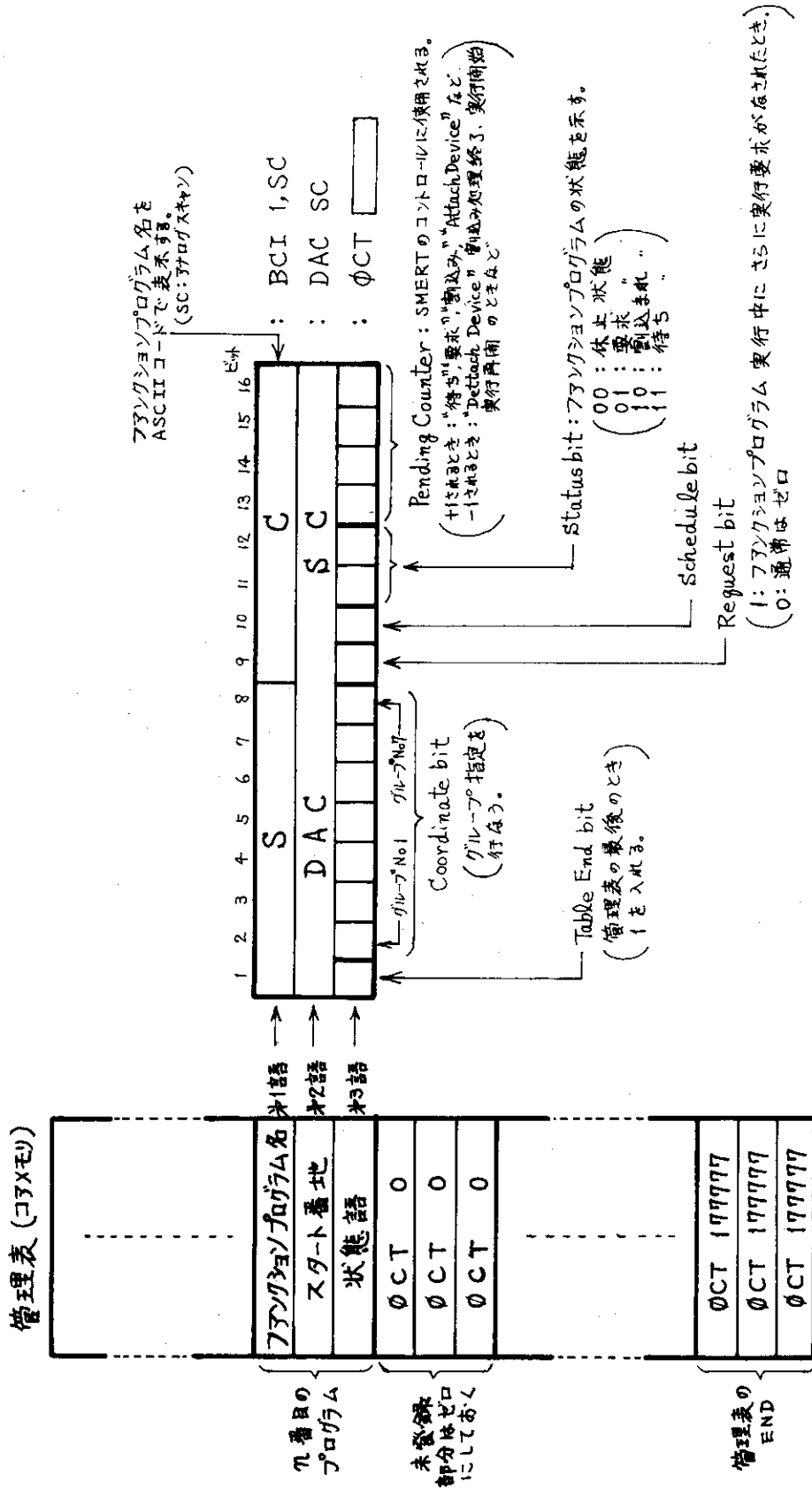


Fig. G-4 Contents of Program Registration Table

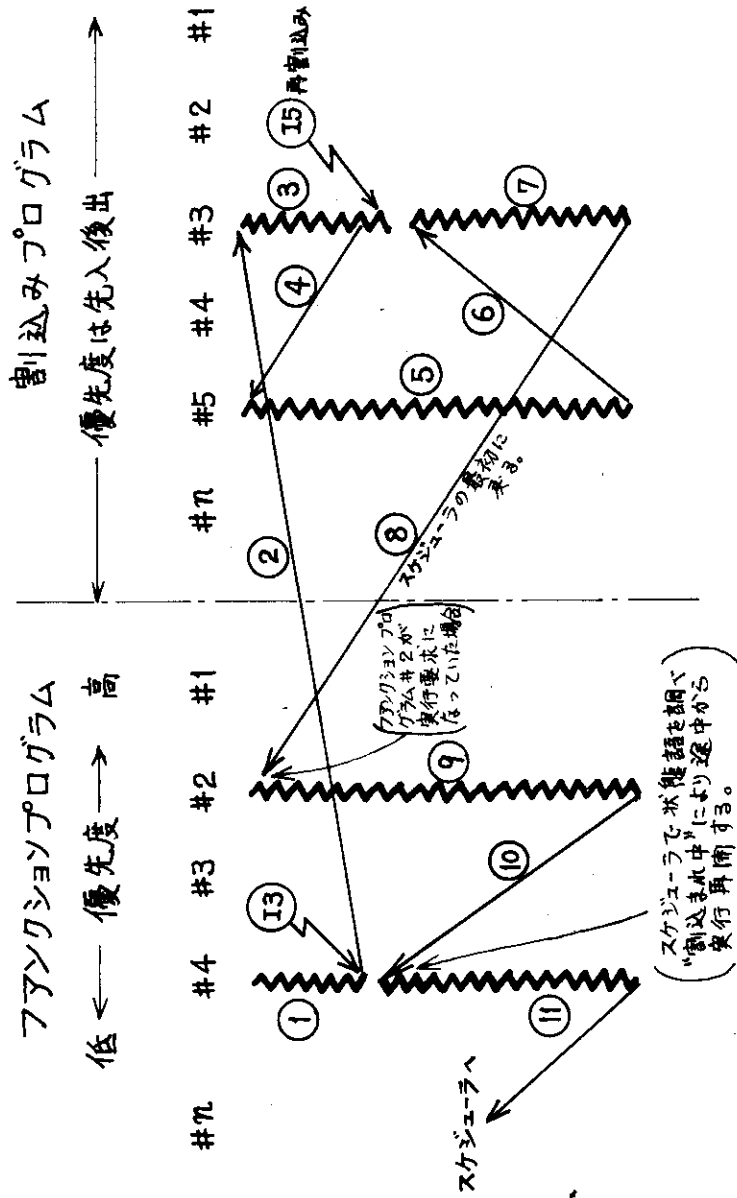


Fig. G-5 Example of Time-Sequence of Interrupt Handling