

動力炉・核燃料開発事業団用

50MW蒸気発生器試験施設・電子計算機組織

Computer System for 50MW Steam Generator Test Facility (SGF-50), Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

上 出 俊 夫* 木 下 政 利** 島 岡 成 治**
Toshio Uede Masatoshi Kinoshita Seiji Shimaoka

I. ま え が き

動力炉・核燃料開発事業団・大洗工学センタにおいて本年6月末日の引渡しを目標に現在試運転が行なわれている50MW蒸気発生器試験施設(SGF-50)はわが国における液体金属ナトリウム冷却高速増殖炉(以降FBRと略)開発の一環として建設されるもので、FBR開発における一つのキーポイントである「蒸気発生器(SG)の開発」、さらにわが国において未経験の「SGを有した大形Naループの運転実績を得ること」を目的としている。SGF-50における開発試験の成否は今後のFBR開発、とくに高速増殖原形炉“もんじゅ”建設に大きな影響を与えよう。

さて、このような目的をもったSGF-50に設置の電子計算機組織は「試験操作のプログラム制御、データ処理、データ記録」を主たる使用目的として計画されており、計算機の使用により試験の能率化、設定値ミスの防止、データの早期解析、運転員の減員、保守点検の容易、故障原因の早期発見などが期待されている。本計算機組織の特徴は入力点が多い(アナログ入力1,024点、デジタル入力700点)ことと、それらから得られる大量の時刻データを種々の解析に利用しやすいよう管理記憶していることにある。これら多くのデータは今後の蒸気発生器開発に役立ち、わが国におけるFBR開発に貢

献するものと期待されている。

以下にまずプラントの概要を紹介し、ついで電子計算機の構成ならびに機能を述べる。

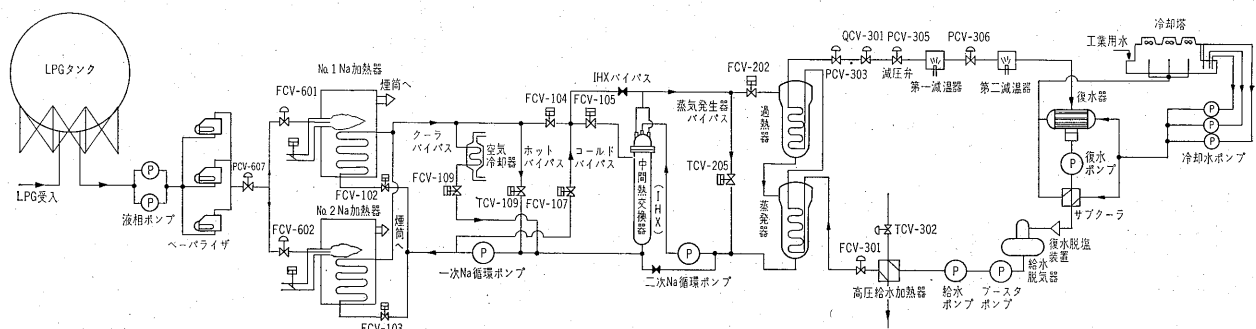
II. プラント概要

本施設の概略フローシートおよび基本諸元をおおのの第1図、第1表に示す。

第1図からわかるように、SGF-50の冷却系統はFBRにおけるそれとほぼ同様の構成である。ただし、つぎのような点異なる。FBRにおける原子炉の替りにLPG(ブタン)を燃料とするNa加熱器が設置されていること、また施設の性質上タービンは設置されておらず、そのかわりにタービンを模擬した減圧弁および減温装置が設置されていること、FBRで事故時に遭遇すると思われる苛酷な試験条件の設定、あるいはその際の被試験体(SG)以外の機器(とくにポンプ)に対する熱衝撃緩和のために下記の付加的ループが設置されていることである。

- コールドバイパス
- クーラバイパス
- ホットバイパス
- 中間熱交換器バイパス
- 蒸気発生器バイパス

SGF-50の運転フェーズは大別して下記の三つのフ



第1図 50MW蒸気発生器試験施設概略フローシート

Fig. 1. General flow of 50MW steam generator test facility

* 原子力技術部

** 計算制御部

第1表 プラント基本諸元 (定格運転条件)
Table 1. Plant design parameter at full power

項	目	単 位	数 量
一次 ナリ ウム 系	Na 加熱器 入口 温度	℃	390
	" " 出口 温度	℃	540
	" " 流 量	t/h	946.5
	中間熱交換器 入口 温度	℃	540
	" " 出口 温度	℃	390
二次 ナリ ウム 系	中間熱交換器 入口 温度	℃	327.6
	" " 出口 温度	℃	505
	" " 流 量	t/h	794.8
	蒸気発生器 入口 温度	℃	505
	" " 出口 温度	℃	327.6
水 系	" " 流 量	t/h	794.8
	給 水 温 度	℃	240
	給 水 流 量	t/h	79.6
冷 却 系	蒸気発生器 出口 蒸気 温度	℃	487
	蒸気発生器 出口 蒸気 圧力	atg	132
冷 却 系	冷却塔 入口 温度	℃	41.8
	冷却塔 出口 温度	℃	32
	大循環 湿球 温度	℃	26.5
	大循環 水 流 量	m ³ /h	4,500

フェーズに分けられる。計算機組織の機能もまた後述のごとくこれら三つのフェーズに合わせて考えられており、各フェーズそれぞれ異なる機能を有している。

1) 予 熱

配管および配管機器などをNaを配管にチャージする前にあらかじめ予熱しておくフェーズであり、計装装置のプログラム制御により電気ヒータにて加熱する。

2) 通 常

プラントを定格あるいは一定の部分負荷にて運転して

いる状態である。なお、変化率の小さい負荷変更運転(通常出力変更)も本フェーズにて行なうことができる。

3) 試 験

第2表に示すような過渡試験を行ない、SGF-50の目的であるSG開発のための種々の過渡状態データを取るフェーズである。したがって本フェーズはSGF-50の運転フェーズ中もっとも重要なフェーズといえる。つぎに簡単に各試験について述べる。

(1) 出力変更試験

プラントの負荷追従運転を模擬したものである。

(2) コールドショック試験

コールドバイパスからの低温ナトリウムにより中間熱交換器(IHX)の一次側入口Na温度を低下させ、さらに二次系のSG入口Na温度を低下させSGにコールドショックを与える。

(3) 一次Na流量降下試験

なんらかの原因による一次Na系の流量降下を模擬したものであり、一次Na流量をFCV-105(第1図参照)を閉じることにより静止値から降下させる。

(4) 二次Na流量降下試験

なんらかの原因による二次Na系の流量降下を模擬したものであり、二次Na流量をFCV-202を閉じることにより静止値から降下させる。

(5) 給水停止試験

なんらかの原因による給水停止を模擬したものであ

第2表 試験の種類
Table 2. Transient tests

運 転 フ ェ ー ズ	過渡試験名	設定点	制 御 対 象	定 格 値	ステップ 変化	ラ ン プ 変 化		
						範 囲	時 間	変 化 率
過 渡 試 験	出力変更	P-6	1. 蒸気流量 2. 一次, 二次流量 3. Na加熱器出力	50MW 80t/h (給水 流量)	0~±10%	100↔30% 50↔15MW 80↔24t/h	0.1~14~60 min	±0.5 ~ ±5.0%/min ±0.25~ ±2.5 MW/min ±0.4 ~ ±4.0 t/h/min
	コールド・ ショック	P-1-1 P-1-2	1. コールドバイパス 流量 2. ホット側流量	100% 540℃ 9% 390℃ 幅 150℃	—	100→0% 540→390℃	0~15~125 sec	0~-10℃/sec
	一次Na流量 降下	P-2	一次Na流量	948 t/h	—	100→10%	0~15~72 sec	-1.5~ -7.5%/sec -1.5~ -7.5%/sec
	二次Na流量 降下	P-3	二次Na流量	795 t/h	—	100→10%	0~12~67 sec	-1.5~ -7.5%/sec -1.2~ -6.0 t/h/sec
	給水停止	P-4	給水流量	80 t/h	—	100→0%	0~12~67 sec	-1.6~ -8.3%/sec -1.3~ -6.7 t/h/sec
通 常	蒸気流量降下	P-5	蒸気流量	80 t/h	100→75% 50→50% 100→25%	—	—	—
	通常出力変更	—	—	50MW 80 t/h	—	100↔30% 50↔15MW 80↔24t/h	0.2~140min	±0.5 ~ ±2.5%/min ±0.25~ ±1.25 MW/min ±0.4 ~ ±2.0 t/h/min

り, F C V-301を閉じることにより静止値から降下させる。

(6) 蒸気流量降下試験

タービントリップを模擬したものであり Q C V-301を急閉し, 蒸気流量を降下させる。

なお, このほか計算機サイドの運転フェーズとしては性能計算というフェーズが考えられている。

III. 電子計算機組織

1. 構 成

本電子計算機組織は第2図に示すような機器により成り立っている。

- (1) 中央演算処理装置 FACOM 270-25 1
- (2) 磁気ドラム装置 FACOM 628W 1
- (3) タイプライタ装置 FACOM 805A 1
- (4) ラインプリンタ装置 FACOM 643S 1
- (5) 紙テープ読取りせん孔装置 FACOM 775A 1
- (6) 磁気テープ装置 FACOM 688 K 2 1
- (7) タイプライタ IBM 735 3
- (8) リアルタイム制御装置 6
- (9) 中継端子盤 5
- (10) 継電器盤 2
- (11) F-MATIC 盤 1
- (12) オペレータコンソール (オペコンと略す) 1

また, リアルタイム制御装置 (以下 R T C と略す) は各ユニットがモジュール構成になっており, その内容は以下のとおりである。過渡試験データ収集を主目的としていることから, アナログ, デジタル入力が多いことが特徴である。

- (1) 割込入力 48点
- (2) アナログ入力 1,024点 (内811点熱電対)
- (3) デジタル入力 直接形224点, 切換形512点
- (4) パルス入力 102点
- (5) アナログ出力 10点
- (6) デジタル出力 直接形128点, 切換形512点
- (7) タイマ出力 2点
- (8) 時計 1点

2. 機 能

S G F-50 の運転フェーズは前述のように三つに大別され, そのおのおののフェーズごとに運転状態, 機能は大きく異なっている。したがって計算機組織に課する機能もまた, この三つの運転フェーズに分けて考えられている。以下に各運転フェーズごとに計算機の機能を述べる。

1) 予熱フェーズ

II. で述べたように配管に Na をチャージする前に配管などの温度をあらかじめ 200℃ 以上に予熱するフェーズであり, 計算機はつぎのような機能を有している。

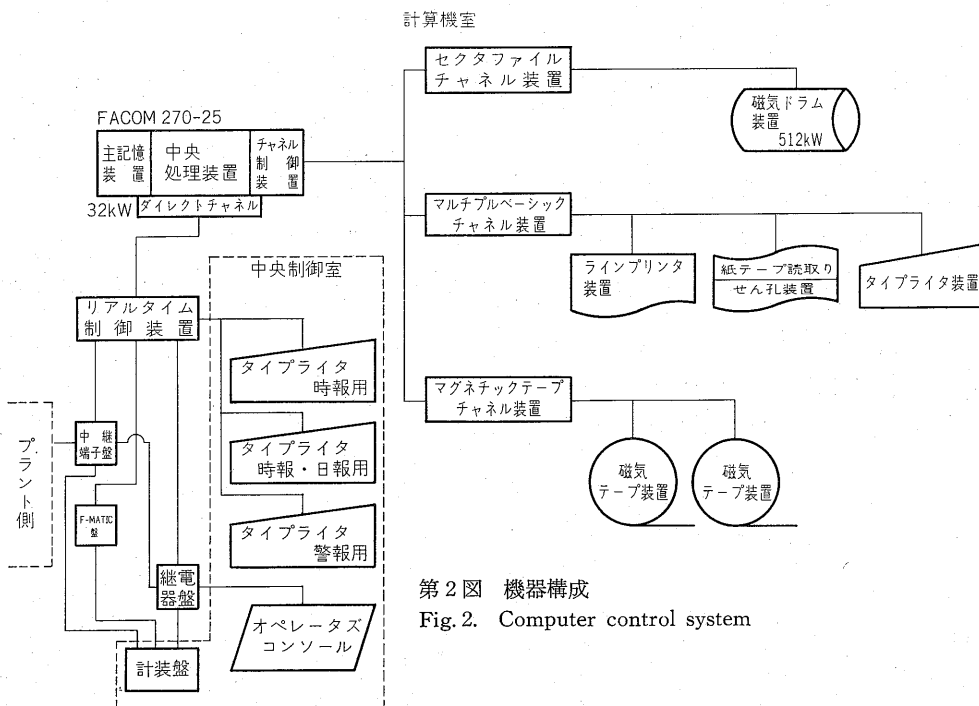
(1) 予熱温度スキャン熱電対断線チェック

1分ごとに予熱温度 (熱電対 490点) をスキャンし各点の冷接点補償を行ないファイルに格納する。また各測定回路に付いているバーンアウト回路により, ソフトウェアにて断線チェックを行ない, 断線警報と正常復帰メッセージを警報 TW に印字する。

(2) 予熱温度下限チェック

昇温が終了し, 定常になった段階で, 各点の温度が下限の 200℃ 以上であることをチェックする。

(3) 予熱温度スキャン表示



第2図 機器構成
Fig. 2. Computer control system

任意の個所の温度を5秒周期でオペコンに表示する。

(4) 予熱温度記録

予熱チェックによりファイリングされたデータを毎正時、または、オペコンからの指令により任意時にラインプリンタに出力する。

2) 通常フェーズ

このフェーズはプラントが通常運転（通常出力変更を含む）を行なっているフェーズであり、計算機はつぎのような機能を有している。

(1) 運用記録

アナログ入力1,024点を毎分スキャンし、物理量に変換する。そして、種々の性能計算を行ない、プラント各部の入力、出力などを計算し、その後、積算、平均を行ない時報、日報用のデータを完成させて、プラント全般的の運転形態、性能、履歴をとる。

(2) 任意表示、記録

任意時にオペコンより処理項目を指定してプラントの任意時の状態を知ることが目的とするもので以下のものが用意されている。

(a) アナログ瞬時値表示

プロセス各測定点のアナログ値を1分ごとにスキャンしているがその任意の項目について、オペコンからの指令により、その値（物理量）をオペコンに表示する。

(b) アナログキャン表示

任意の被測定アナログ量の時間的変化を見るため、その値を一定周期（5秒）で読み、オペコンに表示する。

(c) アナログトレンド記録

アナログ入力に基づく各種計算値、またはアナログ入力自体の時間的挙動を1分周期でアナログトレンドレコーダに描かせる。これらは試験前条件設定確認、試験条件の妥当性の判定の手助けなどに用いられる。

(d) デマンド記録

プラントの下記系統別の運転状態、性能の把握を目的として用いられ、任意時にオペコンから要求することによって出力する。

(i) Na加熱器グループ	35点
(ii) 空気冷却器グループ	15
(iii) 一次Na循環ポンプグループ	15
(iv) Na系機器グループ	20
(v) 中間熱交換器グループ	25
(vi) 二次Na循環ポンプグループ	15
(vii) 蒸気発生器（ループ側）グループ	30
(viii) 蒸気発生器本体グループ	330
(ix) 水蒸気系グループ	20
(x) 運転試験回数グループ	10

(viii)以外のグループはタイプライタに、(viii)のグループはラインプリンタにそれぞれ印字する。

(3) 異常状態の検出

プラントの全般にわたって初期的な異常状態を早期発見するために行なうものであり、異常の検出と回復状態をタイプライタに記録し、オペコン上に警報を発する。これには以下のものが含まれる。

(a) アナログ入力の上下限監視

アナログの読み値、また、項目間演算などの上下限チェックを1分ごとに行ない、さらに、直接上下限警報が接点入力として入ってくるものについても同様に行なう。アナログ入力97点、接点入力11点を対象としている。

(b) 弁、ポンプの状態監視

弁、ポンプなどの全開/全閉、運転/停止の状態をチェックするもので、あらかじめ与えている通常状態のパターンと合っているかどうか1分ごとにチェックする。入力は全498点である。

(4) 過渡データ記録

オペレータによる事故原因調査の資料として役立たせることを目的とするものであり、トリップ信号により、事故発生を計算機に知らせ、前後一定時間の記録をとっている。アナログ入力49点を対象とし、データサンプリング周期は5秒、データ蓄積時間はトリップ前5分、後10分としている。データ収集後オペコンよりの要求によりプリントアウトされる。

トリップ信号には以下の7種類がある。

- (a) オペコンからの手動スタートボタン
- (b) Na加熱器トリップ信号
- (c) 一次Na循環ポンプ停止信号
- (d) 二次Na循環ポンプ停止信号
- (e) 主給水停止信号
- (f) 動力用電源喪失信号
- (g) SGからのNa-水反応信号

(5) トリップ順序記録

過渡データ記録と同じ目的で事故発生前後の状態の遷移をつかむため、弁、ポンプなどの接点入力を高精度の分解能で読んでおり、

入力 64点
分解時間 1/64秒

データ蓄積時間 事故発生前5分、後10分の計15分間である。データ格納容量は0.5k語でデータが変化した時のみ記録している。トリップ信号は過渡データ記録と同じである。

(6) 出力変更

プラントの通常運転としての出力変更を計算機で行なう。なお、出力変更は試験フェーズでも行なっている

が、ここでは変化率を小さくして行なっている。ただしこの場合試験データ記録は行なっていない。

3) 試験フェーズ

本計算機システムの中核をなすもので、第2表に示す各種試験の際の手助けを行なっている。このフェーズでは以下に述べるような機能があるが、試験操作のプログラム制御(以下プログラム発信と略す)は、いずれの試験においてもセットポイントコントロールである。

(1) 試験前チェック

試験を始める前に試験をしてもよい状態かどうかを調べ、その結果をオペレータに知らせる。

(2) プログラム発信

あらかじめ定められた各種の試験をオペコンからの選択により、スタートさせる。

(3) 試験データ記録

各種試験結果の解析を目的として、試験中のプラント、SGの生データを磁気テープに記録するもので、後ほどこのデータを解析する際に使いやすいよう再編集している。

3. 試験の方法とデータ収集

計算機とプラントは第3図に示すようにつながっており、プラントの末端の調節計をコントロールする3台の設定器 ST₁, ST₂, ST₃, を用途に応じて用意している。つまり、各種試験に応じて使用する設定器の設定値を試験を始める時の開始値(現在値)に合わせておき、オペ

コンに試験の種類、目標値、変化率を設定して、オペコンより試験開始を指令することにより、計算機により、設定器の設定値を変化率に応じて、目標値まで動かしている。このプログラム設定器は、パルス数信号によりモータが駆動されるポテンショメータ方式であり、以下の仕様である。

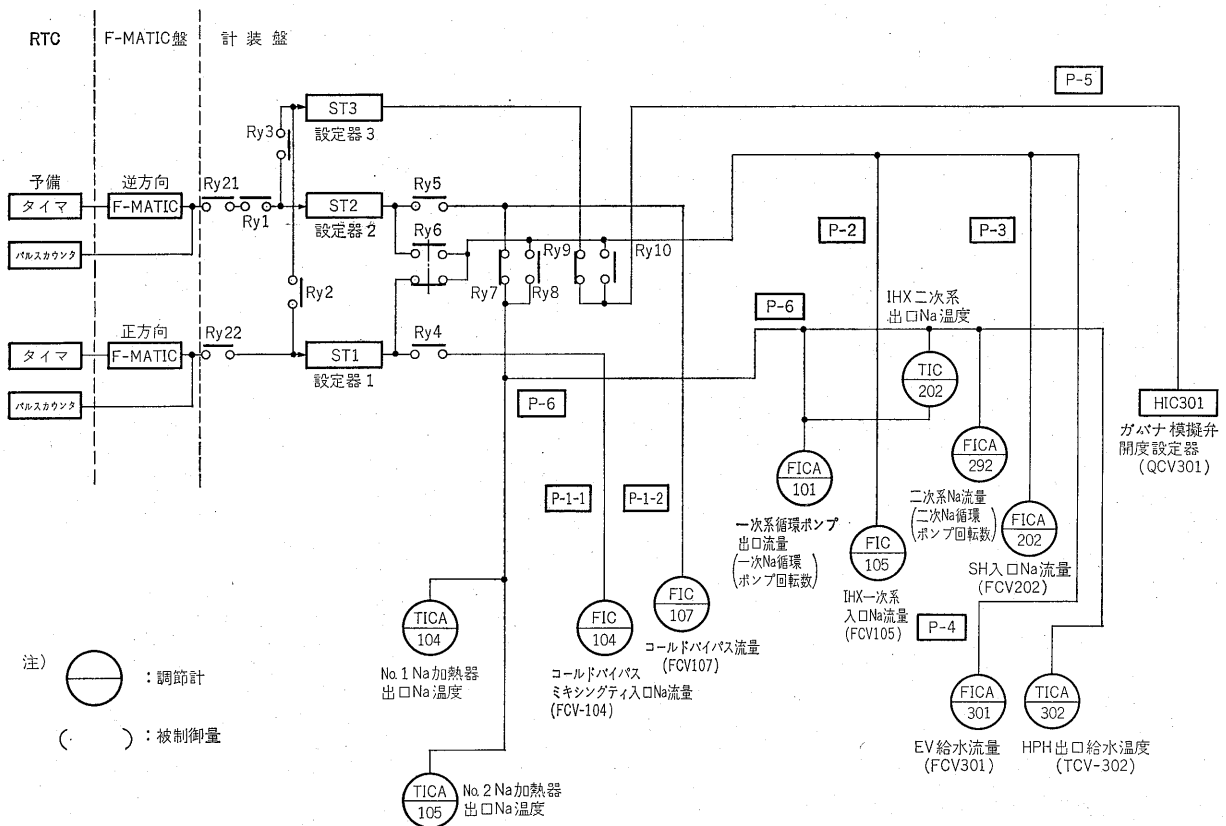
- 入力パルス最大周波数 200パルス/秒
- 所要パルス数 2,000パルス/フルスケール
- 入力パルス保持時間 5msec 以上
- 設定範囲 0~100%

また、このとき、同時にプラント状態を磁気テープに記録している。計算機はこのように設定器までの制御を行ない、RTCのタイマ出力により設定値を変えている。以下に試験の機能を四つに分けて述べる。

1) 試験前チェック

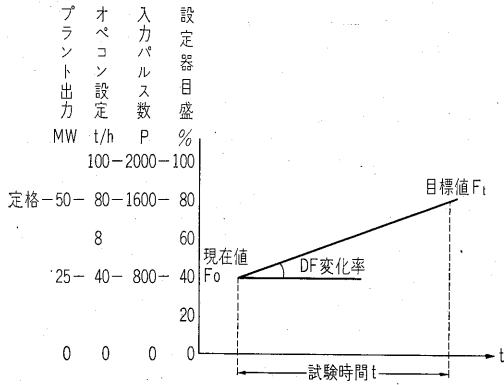
- (1) プラントが定められたパターンであるか
- (2) パルス出力、アナログ制御ループが試験可能状態に切り換えられているか
- (3) 試験フェーズの選択、試験モードの選択などの試験手順は正しいか
- (4) 目標値、変化率、現在値から、試験条件があらかじめ定められた範囲に入っているか
- (5) F-MATIC 盤までテストパルスが出るか

以上のチェックを行なっており、異常時には警報タイプライタにその内容を印字している。



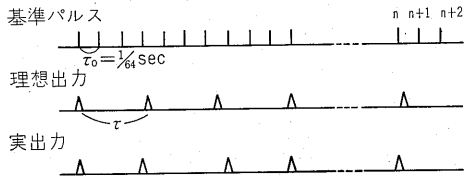
第3図 計算機プログラム制御入出力系統図

Fig. 3. Schematic diagram of computer control circuit at transient test



第4図 出力変更時における設定

Fig. 4. Demand signal setting at power change test



第5図 計算機によるパルス出力

Fig. 5. Pulse output of computer at transient tests

2) プログラム発信

プログラム発信系統図を第3図に示す。計算機はパルス出力発信と、計算機と設定器をつなぐリレー21, 22, ステップ試験時に使うリレー6のオンオフ制御を行なっている。試験の試験時間, 変化率は第2表のように決っており, これを満足するように設定器を目標値まで動かしてやらなければならない。計算機では, 1/64秒割込1回で設定器に2パルス出力するよう, ソフト, ハードを構成した。基準パルスとして, 第5図のようにRTCの1/64秒割込みを利用した1/64秒間隔のパルス (RTCの1 kHz タイムベースパルスを用いて保持時間を8 m秒にした) を用いており, 実出力パルスは, 理想出力パルスが基準パルス列の n と, n+1 のどちらに近いかみて近い方の基準パルスで代用している。また第4図より,

$$\text{パルス出力数 } n = \frac{F_t - F_0}{F_s} \times \frac{2000}{2} \quad F_s: \text{フルスケール}$$

$$\text{出力時間 } T = \left| \frac{F_t - F_0}{D_F} \right|$$

$$\text{平均出力周期 } \tau = \frac{T}{n-1}$$

となり, よって第5図の場合

$$\text{ばらつきは } < n \times \left(\frac{\tau_0}{2} \right)^2$$

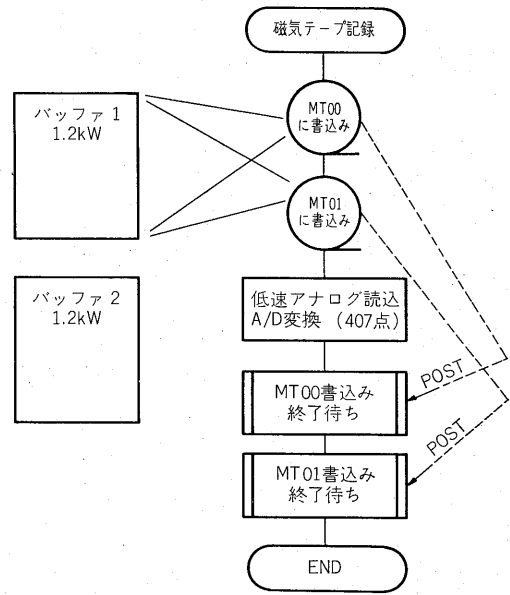
$$\text{分解能は } 100 \times 2 / 2,000 = 0.1\%$$

$$\text{最大変化率は } 0.1 / 1/64 = 6.4\% / \text{秒}$$

となる。

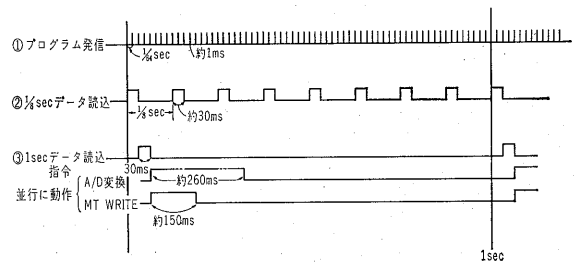
3) 過渡試験データの記録

各種試験を行なった後, 被試験体であるSGの性能や



第6図 磁気テープ記録概略図

Fig. 6. Magnetic tape record



第7図 プログラム発信時のタイムチャート

Fig. 7. Time chart at transient test

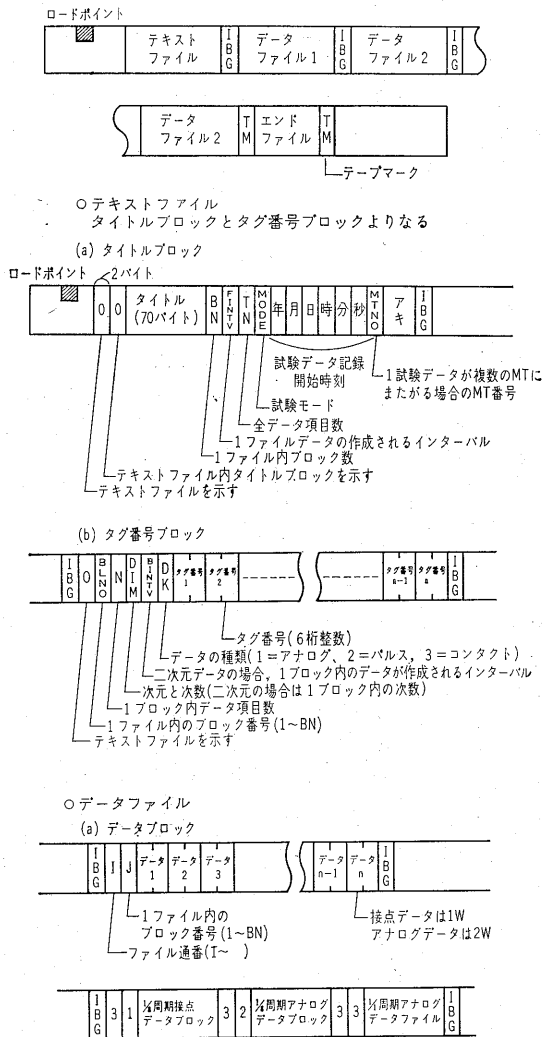


第8図 原データフォーマット

Fig. 8. Source data format on MT

プラントの動特性などを解析するために試験期間中のデータを集めるものであり, 期間中は常時走査, 更新を行ないながら磁気テープに記録している。収集データは1秒間隔でアナログ407点, 1/8秒周期でアナログ58点, 接点93点を対象としている。記録データはスピード, 記憶容量の関係で生データ (電気信号を物理量に変換していないデータ) のまま記録し, バックアップ用を考慮して2本の磁気テープに同時に書き出している。また, データ書き込み用コアバッファを2個持っており, 片方にデータを納めながら, 前回納めたもう一方のバッファの内容を磁気テープに記録している。

また, 少しでも計算機の空き時間を利用するため, 第6図に示すように, 磁気テープチャンネルがコア上のデー



第 9 図 編集データフォーマット

Fig. 9. Compiled data format on MT

データをサイクルスチールして磁気テープにデータを書き込んでいる間、407点のアナログ入力の読込みを行ない、計算機を有効に利用している。この時のタイムチャートを示すと第7図のようになりCPU占有率を約60%程度に押えている。

試験フェーズでも時報、日報作成のためのデータ処理は通常フェーズと変わらず行なっている。

なお、この時の原データ磁気テープのフォーマットは第8図に示すブロックで構成されており、テキストブロックには試験タイトル、日付け、データ点数などを納めている。1秒間のデータ量は1.5K語で、ハーフリール(1,200フィート)の磁気テープで約60分間のデータを記録できる。

4) 過渡試験データの編集

3)で述べたように、生データを物理量に変換しながら

記録することは、記録スピード、容量の点で無理なため、生データのまま磁気テープに記録している。しかし、このままでは各種性能計算や解析に使用しにくいことや、ほかの計算機においてもデータ解析を可能にする必要があることより、本計算機システムとは独立の磁気テープを作る必要がある。そこで性能計算フェーズ、またはシステムのアキ時間を利用して、生データを物理量に変換し、タグ番号を付加して、新しく当システムに独立な編集データを納めた磁気テープを作成している。

編集データフォーマットは第9図に示すように、テキストファイル、データファイルからなりたっており、それぞれ、タイトルブロック、タグ番号ブロックと、各データの種別、読込み周期によって、1/1周期アナログ、1/8周期アナログ、1/8周期コンタクトの3データブロックによって構成されている。

また、それぞれのブロックの先頭には、ファイル番号、ブロック番号を付けてデータの時間的、項目別区別を行ないデータ解析に役立たせている。そして、編集データが2本以上にまたがる場合にも編集可能なように、データエンドブロック、テープエンドブロックを設けている。

IV. む す び

本電子計算機組織製作に当たってはまず対象とするプラントが非常に特殊でしかも世界的にもほとんど運転経験がない(したがって運転経験を得ることも一つの目的としている)ことより仕様の決定までに長期間を要した。さらに一応の仕様決定後も訂正、変更などが相次ぎこの種プラント向計算機組織製作の困難さを感じさせられた。またシステム製作に当たっては、本計算機組織に対する入力が多量であり、かつデータの高速処理を要求されたため、データのチェック、データ処理に特に苦心を要した。

SGF-50は現在本年6月末の顧客引渡しを目差し試運転を続けている。その中であって計算機組織も当初幾つかのトラブルを生じたが、その後順調に稼動している。

今後さらに、プラントの運転が行なわれる中で、計算機組織が当初の目的を十分に果し、今後の蒸気発生器開発に貢献するものと期待している。最後に、本電子計算機組織製作に当たり種々のご協力、ご尽力をいただいた動力炉・核燃料開発事業団50MW蒸気発生器試験室の関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。