

中国電力株式会社 玉島発電所納
計 算 機 制 御 シ ス テ ム
Thermal Power Plant Computer Control System for
Tamashima P.S. of the Chugoku Electric Power Co.

河 本 博 好* 二 川 原 誠 逸**
Hiroyoshi Kawamoto Seiitsu Nigawara
小 河 内 俊 雄*** 福 島 弘 一 郎****
Toshio Kogoochi Kôichirô Fukushima

要 旨

中国電力株式会社玉島発電所 1 号機用計算機制御システムは、広範囲にわたる運転操作指示、タービンの直接制御、予定予想計算、タービン寿命計算など特色ある機能を種々盛り込んだシステムである。
本稿はシステムのおもな機能および現地試運転の結果について概説したものである。

1. 緒 言

最近、火力発電所の大容量化に伴い、安全性の向上、運転員の労力削減、主要機器のより高度な運転管理などを目的として各電力会社において電子計算機の制御への適用が種々試みられている。
日立製作所においても火力発電所の計算機制御として関西電力株式会社堺港 5, 6 号機用のパフォーマンスモニタ、関西電力株式会社海南 1, 2 号機用のシーケンスモニタ、東北電力株式会社秋田 1 号機用のセットポイント制御による自動起動装置などを手がけて来た。

今回、中国電力と共同で開発した計算制御システムは、計算機制御の範囲および深さの高度化、タービン起動以後の計算機による直接制御の採用、通常の起動停止で取り扱うすべての機器に対する操作指示の実行、中央給電所から指定された併入時刻を守るための主要機器の起動予定時刻計算あるいはタービンの有効利用のための寿命計算など、ほかのプラントにみられない新しい試みがなされている。

2. 計算機制御システムの機能

当発電所はプラント本体一式が日立製で、その諸元は表 1 のようになっている。ここに適用された計算機の処理内容は図 1 に示すとおりであり、これらのうちおもなものにつきその内容を説明する。

2.1 運転操作指示

本操作指示はプラントの運転操作を容易にし、発電所の総合的な安全性を高めることを目的としたもので、操作の順序をチェックすることはもちろんのこと、操作指示コンソール上のランプ表示およびタイプライタ・メッセージにより操作時期および操作内容のガイドに力点を置いている。

操作指示として取り扱う範囲は発電機密封油系統、固定子冷却系統、油清浄機系統、制御および所内空気系統、軸受冷却水系統のような定検時以外には停止せず通常のユニット運転操作に含まれないものおよび日常の保守業務（定期的な弁、ポンプのテストや復水器逆洗操作など）でユニット運転操作とは直接関係のないものを除いたすべての操作にわたっており、これらは表 2、表 3 に示すシステムに区分されている。システム区分は操作指示の性格上操作手順の流れに従ったブレイクポイント的なものと、主要操作の進行にあまり関係のない補助的な操作とに分けられる。後者は特に共通システ

表 1 玉島火力発電所 1 号機プラント諸元

出力	350,000 kW
蒸気条件	169 atg/566℃/538℃
ボイラ	UP ボイラ (強制貫流ボイラ)
タービン	串形 4 流排気形
発電機	固定子直接水冷却形
励磁方式	直結交流励磁方式
給水ポンプ	別置復水タービン駆動形
ボイラ自動制御装置	ベレー 721 システム

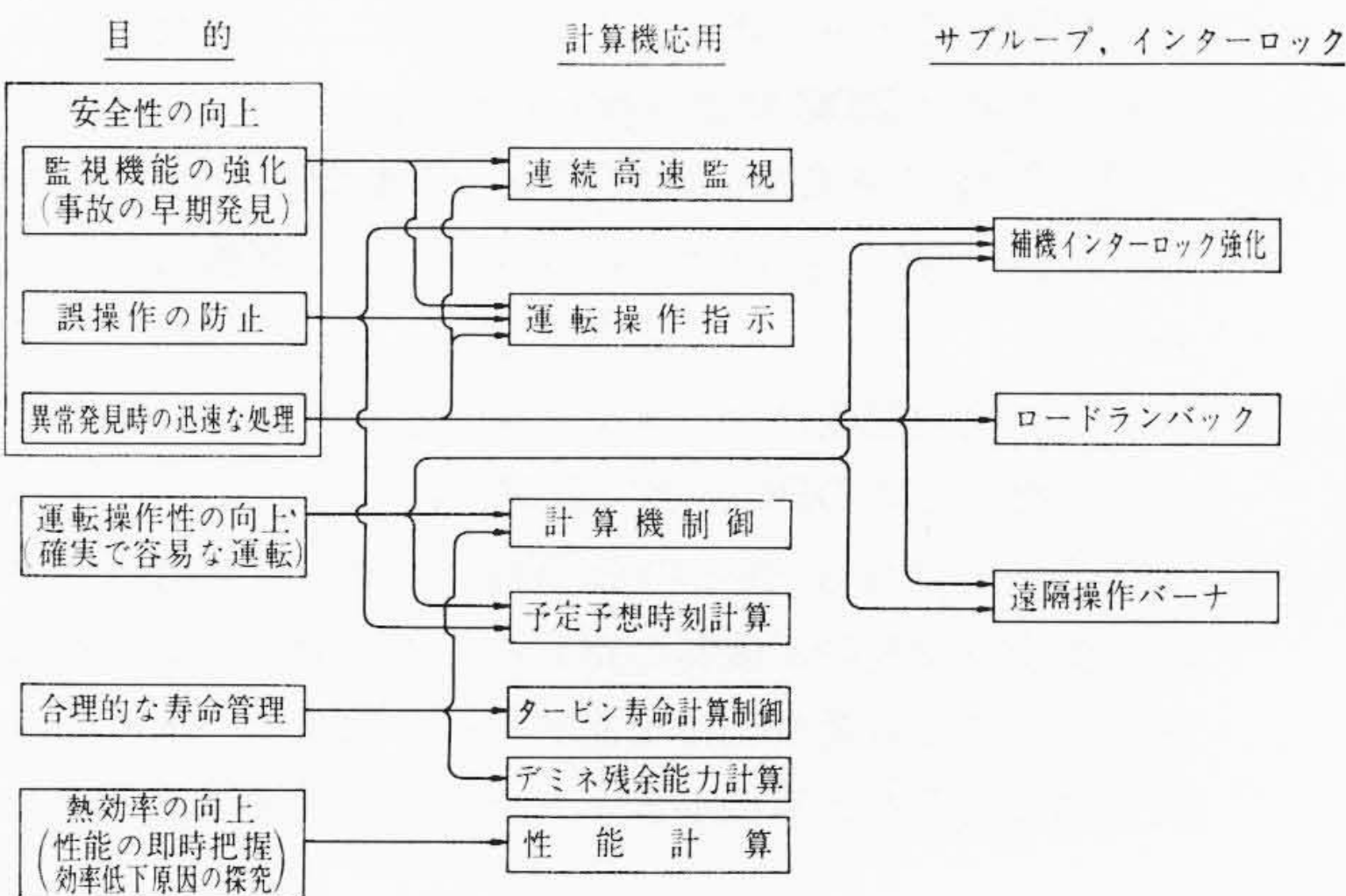


図 1 計算機処理内容

ムとしてプラントの状態が規定された状態になると自動的に動作し (EVENT と称す) 操作指示メッセージのみを出すようになる。

2.2 計算機制御

ボイラ点火後初期燃料量投入から負荷 35% までの主機起動操作およびユニット停止時負荷 20% までの負荷降下を計算機制御で行なう。計算機制御の範囲、内容について以下に述べる。

- (1) ボイラ点火以降プラント自動制御装置 (APC) 自動投入までの初期燃料量制御は計算機が点火前のボイラの状態より最適な燃料量を選択切換えすることにより規定された上昇率で温度上昇を行なう。
- (2) タービン通気よりラブチェックを経て定格速度に至るまでの速度制御は計算機直接制御 (以下 DDC と呼ぶ) により行なわれる。
- (3) 同期併入後の初負荷制御は DDC により行なわれる。
- (4) 初負荷保持完了後、加減弁切換までのボイラ昇圧 (これによって負荷上昇する) は計算機が自動負荷制御装置 (ALR) に負荷上昇率および目標負荷を設定すると、あとはこの目標値に合うように ALR-APC のサブグループ制御系が操作

* 中国電力株式会社玉島発電所
** 日立製作所電力事業本部
*** バブコック日立株式会社呉工場
**** 日立製作所大みか工場

表2 起 動 シ ス テ ム

システム No.	シ ス テ ム 名 称	システム No.	共 通 シ ス テ ム 名 称
1	ユニット起動準備	1	薬 注 開 始
2	所内ボイラ起動	2	脱 気 器 真 空 引 き
3	海・復水系統起動	3	脱気器ベント弁復水器側切換
4	シール蒸気系統ウォーミング	4	起 動 エ ェ ク タ 停 止
5	真 空 上 昇	5	集じん器ダンパ起動
6	低圧クリーンアップ	6	給 水 流 量 確 立
7	M-BFP ウォーミング	7	脱気器ベント弁大気側切換
8	M-BFP 起 動	8	SAH, SCウォーミング
9	高圧クリーンアップ	9	ボ イ ラ 昇 温
10	軽油系統起動	10	脱気器加熱ドレン調整弁操作
11	通風系統起動	11	SAH 起 動
12	ボ イ ラ 点 火	12	(予 備)
13	ボイラ温度保持	13	AOP 停 止
14	重油系統起動	14	タービンドレン弁 (主蒸気回り) 閉
15	タービン起動準備	15	エセクタ主蒸気管ドレン弁開
16	タービン起動	16	(予 備)
17	タービン昇速	17	エセクタグラント蒸気源切換 タービンドレン弁
18	発電機プレウォーミング	18	(再熱蒸気回り) 閉
19	励 磁	19	BFPTドレン弁閉, AOP停止
20	並列初負荷保持	20	抽気開始ドレンポンプ起動
21	BFP ウォーミング	21	所内切換およびAQR使用
22	重油 点 火	22	グラント蒸気源切換
23	昇 圧, 負 荷 上 昇	23	パ ー ナ 本 数 増 減
24	弁 切 替	24	循環ポンプ2台目起動
25	タービン・マスタ自動, 負荷上昇	25	各補機2台目起動
26	BFP 起 動	26	各補機1台停止
		27	循環ポンプ1台停止

注：共通システム No.22～27 は通常運転中に動作するシステムである。
略称 SAH：蒸気予熱器 AOP：タービン補助油ポンプ
SC：蒸 化 器 AQR：自動無効動力制御装置

端を制御するセットポイント制御方式により行なわれる。

- (5) 加減弁切換は DDC により行なわれる。
- (6) 加減弁切換以降負荷 120 MW までの負荷上昇は計算機が ALR に目標値を設定するセットポイント制御により行なわれる。
- (7) タービン給油温度はターニング中と定格回転中ではその設定が異なるため DDC により制御される。
- (8) 通常運転中は中給からの負荷指令によって負荷応動するが、要求負荷変動が機器の寿命を大きく消費するおそれのある場合には負荷変化幅を制限する。これは ALR の負荷変化率設定器を計算機がセットポイント制御する方式で行

表3 停 止 シ ス テ ム

システム No.	シ ス テ ム 名 称	システム No.	共 通 シ ス テ ム 名 称
1	負 荷 降 下	1	所内ボイラ主蒸気止弁開
2	所 内 ボ イ ラ 起 動	2	BFP停止, ドレン弁開
3	給 水 ポ ン プ 切 換	3	給 水 流 量 300 t/h
4	負荷降下バイパス運転	4	M-BFP 停 止
5	タービンマスタ手動, 解列	5	2次SHバイパス弁開
6	解 列 後 処 理	6	
7	ボ イ ラ 冷 却	7	
8	通 風 系 統 停 止	8	
9	真 空 破 壊	9	
10	タービントーニング	10	
11	海, 復水系統停止	11	
12			

なわれる。

- (9) ユニット停止は20% 負荷までの負荷降下目標値が計算機により ALR に設定されるセットポイント制御により行なわれる。

図2は計算機制御の全貌をまとめたものである。

2.3 予定予想時刻計算

発電所を起動あるいは停止する場合には中給より何日の何時何分に併列あるいは解列せよという指令が与えられる。この場合発電所側としてはこの指令を守るために現在のプラント状況を判断しておおよそ何時にタービンを起動すべきであり、そのためには何時にボイラ点火、さらにさかのぼって何時に真空上昇が必要であるかを決定する必要がある。従来これらの予定は運転員によって決められていたが、これを計算機によって行なうものである。今起動を例にとってみると、まず運転員が併列時刻を与えると計算機は現在のプラント状態をみてタービン通気時の蒸気とメタル温度のミスマッチが最良になるようボイラ点火時刻を決定し、かつ併列時刻が予定された値になるよう収れん計算を行なう。このようにして得たボイラ点火時刻ならびにタービン起動時刻をベースに主要な機器の起動時刻を算定するもので次に示す操作時刻を表示する。

- (1) 所内ボイラ起動時刻
- (2) 海・復水系統起動時刻
- (3) 真空上昇時刻
- (4) 電動給水ポンプ(M-BFP)起動時刻

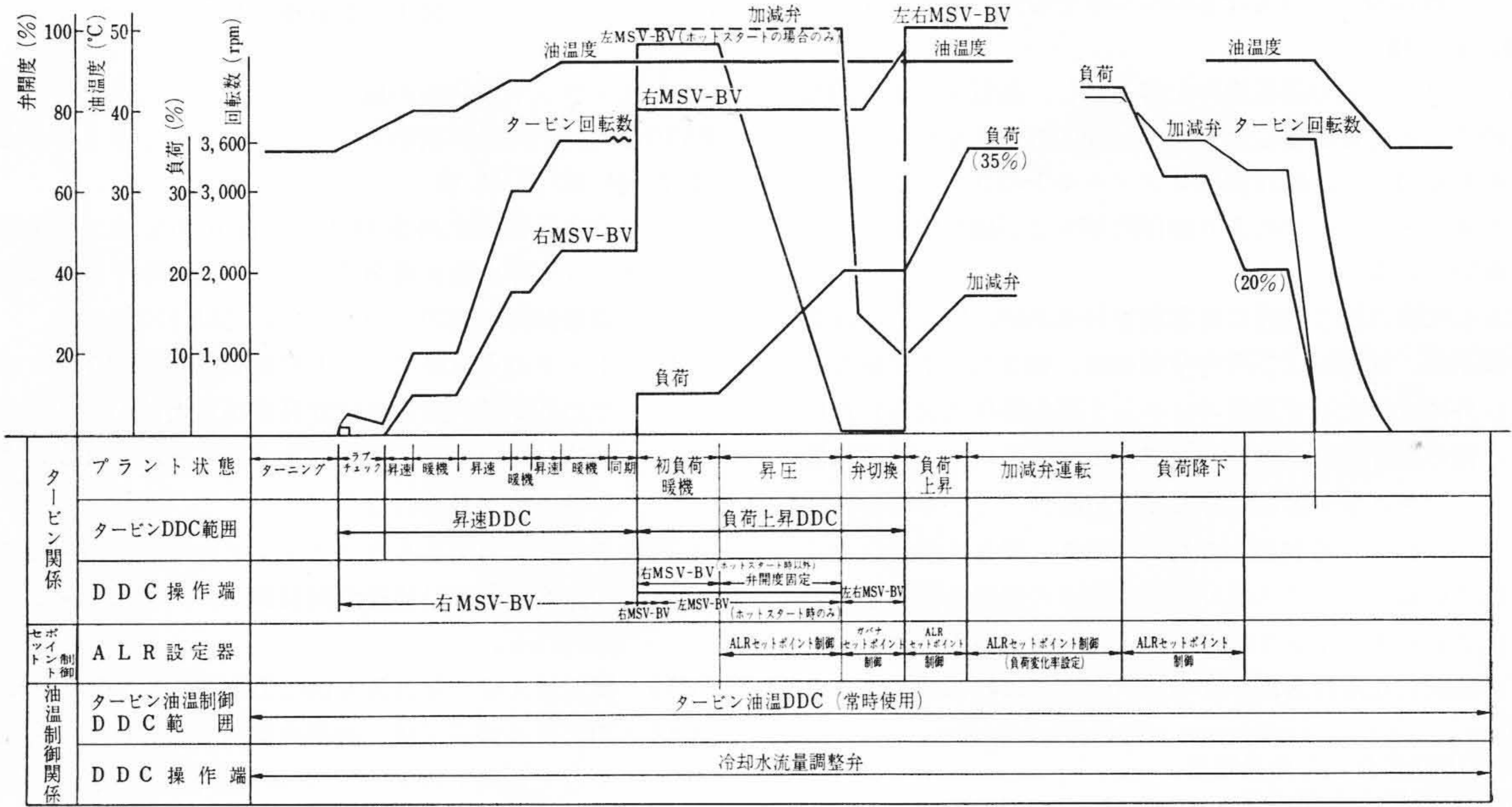


図2 全体制御ブロック図

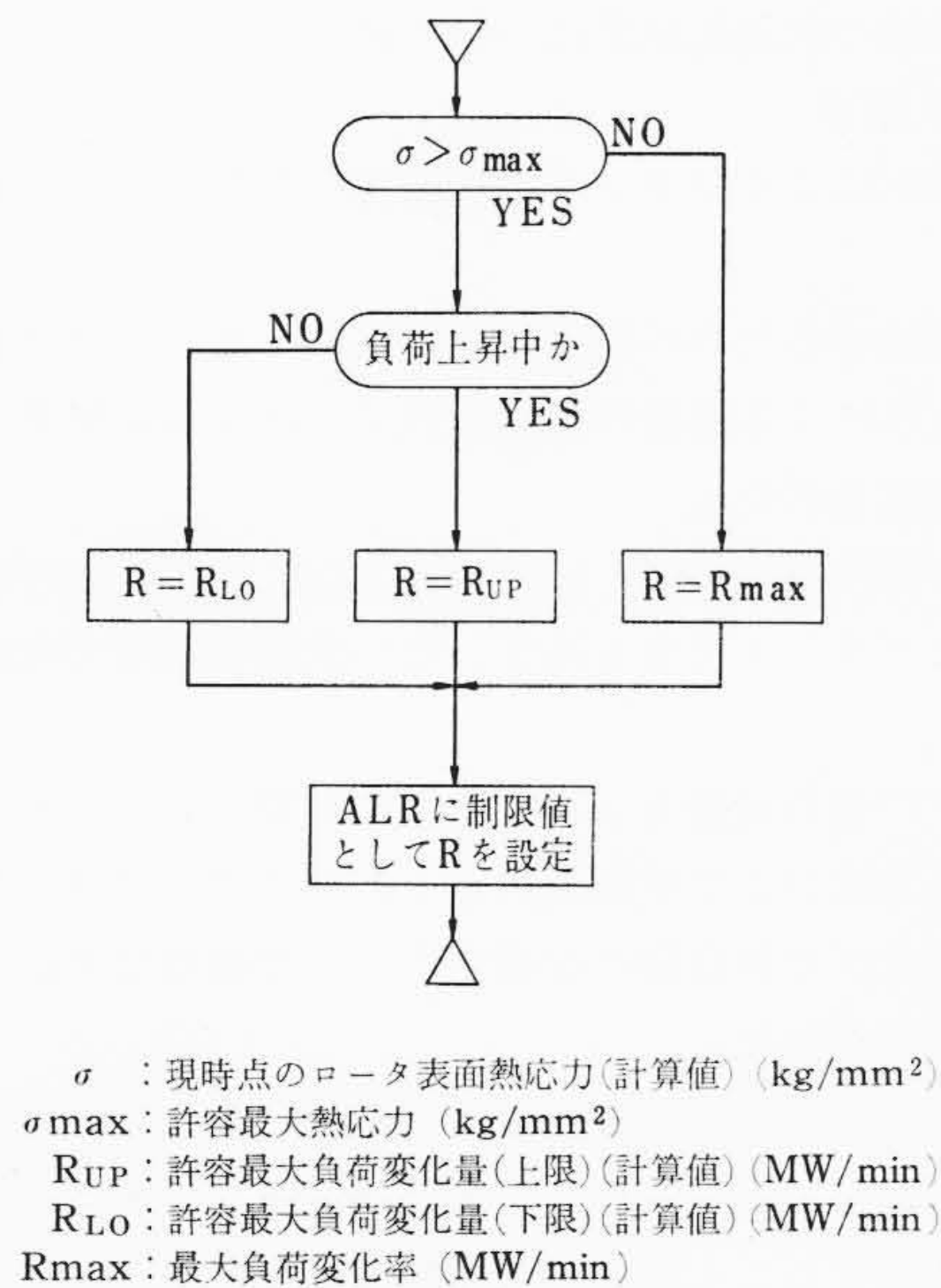


図3 寿命による負荷制御

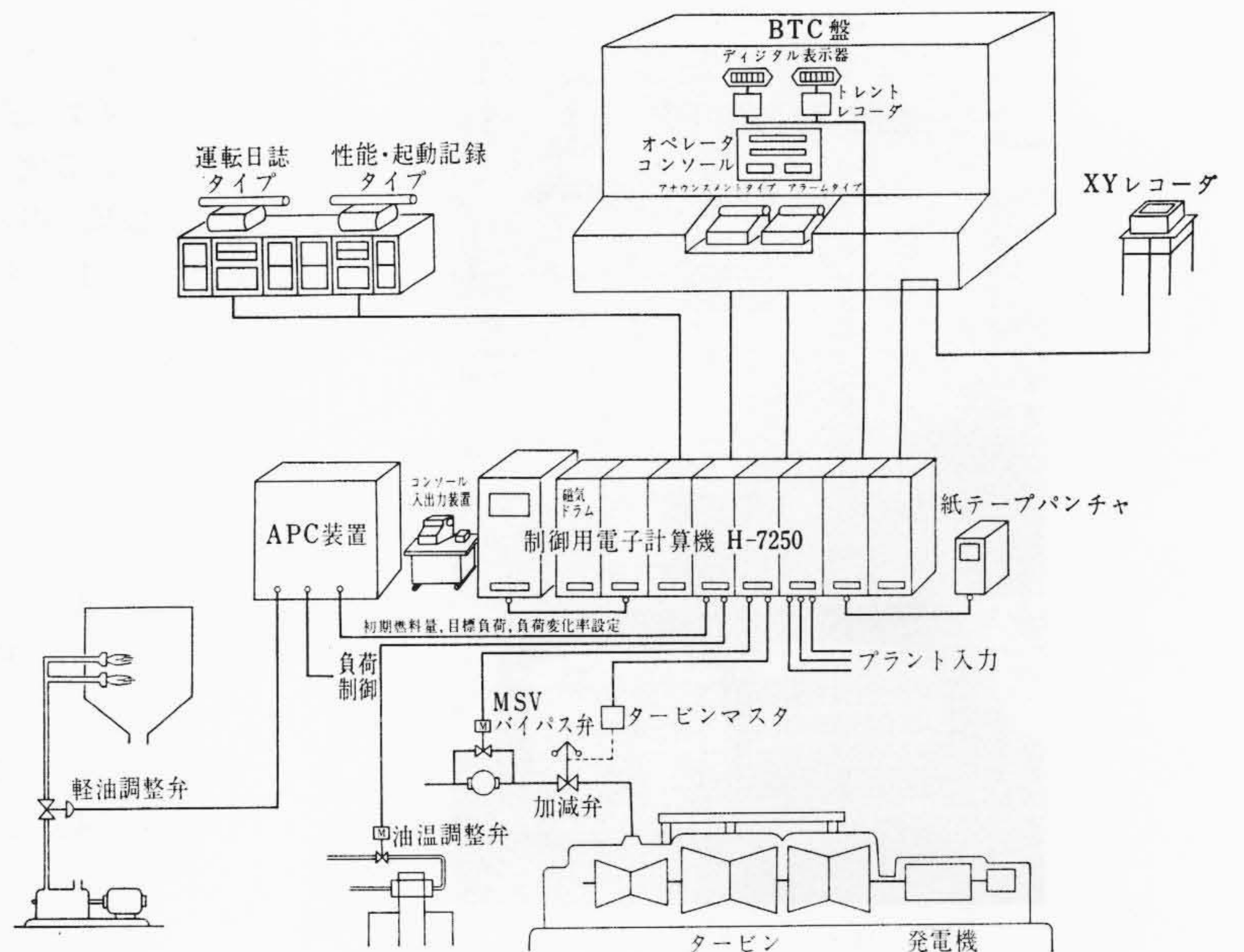


図4 計算機システム構成図

- (5) 軽油系統起動時刻
- (6) ボイラ点火時刻
- (7) ボイラ温度保持開始時刻
- (8) タービン起動時刻
- (9) 併列時刻
- (10) 重油点火時刻
- (11) 加減弁切換後の負荷上昇開始時刻
- (12) タービン駆動給水ポンプ(BFP)起動時刻

また操作が点火やタービン起動の時点に達したとき、そのときの状態から次の主要操作がいつになるかを予想し印字している。

2.4 タービン寿命管理

タービンが内部の熱的状态により最も寿命損耗上問題になるのはロータで、これの加熱または冷却の際生ずる表面と内部の温度による熱応力が繰り返し作用することによって疲労破壊をうける。1回あたりの最大熱応力と許容繰り返し回数の間にはある関係があり、最大熱応力を小さく制限すれば繰り返し回数を大きくすることができる。

タービンの寿命は高圧ロータの熱応力による疲労で代表され、ロータでは表面に最も大きな熱応力を生ずる。この熱応力は(1)式で求めることができる。

$$\sigma = K \cdot (\tau_1 - \tau_2) \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau_2(t) = \left(\frac{0.72}{1+60s} + \frac{0.28}{1+4.5s} \right) \cdot \tau_1(t) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 σ : 熱 応 力

K : 材質、形状によって決まる係数 (=0.4)

τ_1 : ロータ表面温度 (≡高圧第1段後内壁温度) (°C)

τ_2 : ロータ内部平均温度 (°C)

t : 時 間 (min)

s : ラプラス演算子

計算機は(1)、(2)式によって熱応力を求め、発生した熱応力が回復するまでの半サイクルごとにその間の最大熱応力を寿命に変換しこれを積算する。また通常運転中はALRを介して許容熱応力を越えない負荷制御を行なう。図3はそのフローチャートを示したものである。

2.5 デミネ残余能力計算

デミネ入口復水流量および復水のアニオン、カチオンのイオン量

表4 計算機システム機器仕様一覧

項 目	仕 様
中 央 処 理 装 置	HITAC-7250
コ ー ド	16 K 語
磁 気 ド ラ ム 装 置	256 K 語
コンソール入出力装置	1 式
プロセス入出力装置	
アナログ入力	544 点
デジタル入力	576 点 (オペコン用を含む)
パルス入力	32 点
割り込入力	64 点
アナログ出力	8 点
デジタル出力	214 点 (オペコン用を含む)
オペレータコンソール	1 式
デジタル表示器	6 けた 2 組
トレンド記録計	3 ペン式 2 台
タイプライタ	
アラーム・アナクレスメント用	I BM-731 2 台
日 誌 用	I BM-B-30" 2 台
XYレコーダ	記録幅 380×250 mm 1 台
紙テープパンチャ	100 字/秒 1 台

によって各樹脂の消耗量を求め、デミネ樹脂(アニオン、カチオン)ブレードまでの残り時間を計算して表示する。これをデミネ再生時期の目安とする。

3. 計算機システムの構成

3.1 機器構成

以上の機能をはたす本システムの機器構成は図4に示すとおりであり、その機器仕様は表4に示すとおりである。

またBTC盤に取り付けられたオペレータコンソールなどのマンマシンコミュニケーション機器は図5の写真に示すとおりである。

3.2 プログラム構成

本システムには火力発電所自動化用として開発されたソフトウェアシステムを使用し、プログラム全体の構成は図6に示すとおりである。

操作指示やDDCなどの制御用プログラムは機能別(操作判断、状態決定など)、機器別および操作手順別に数十個のプログラムに小分割され、ユニットシーケンス制御プログラムにより各プログラムの連けいがとられている。(詳細は文献(1)参照)

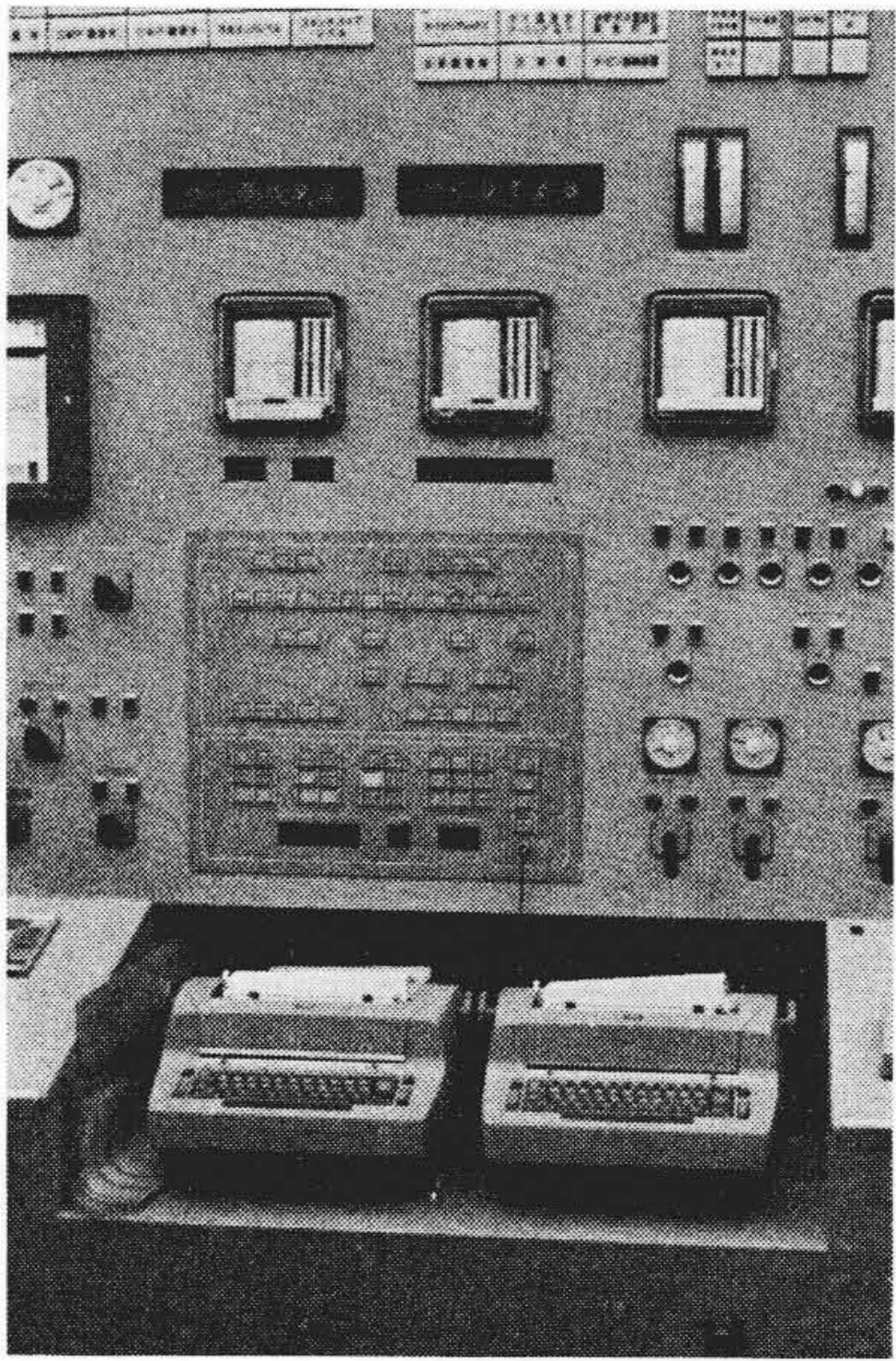


図5 オペレータ・コンソール

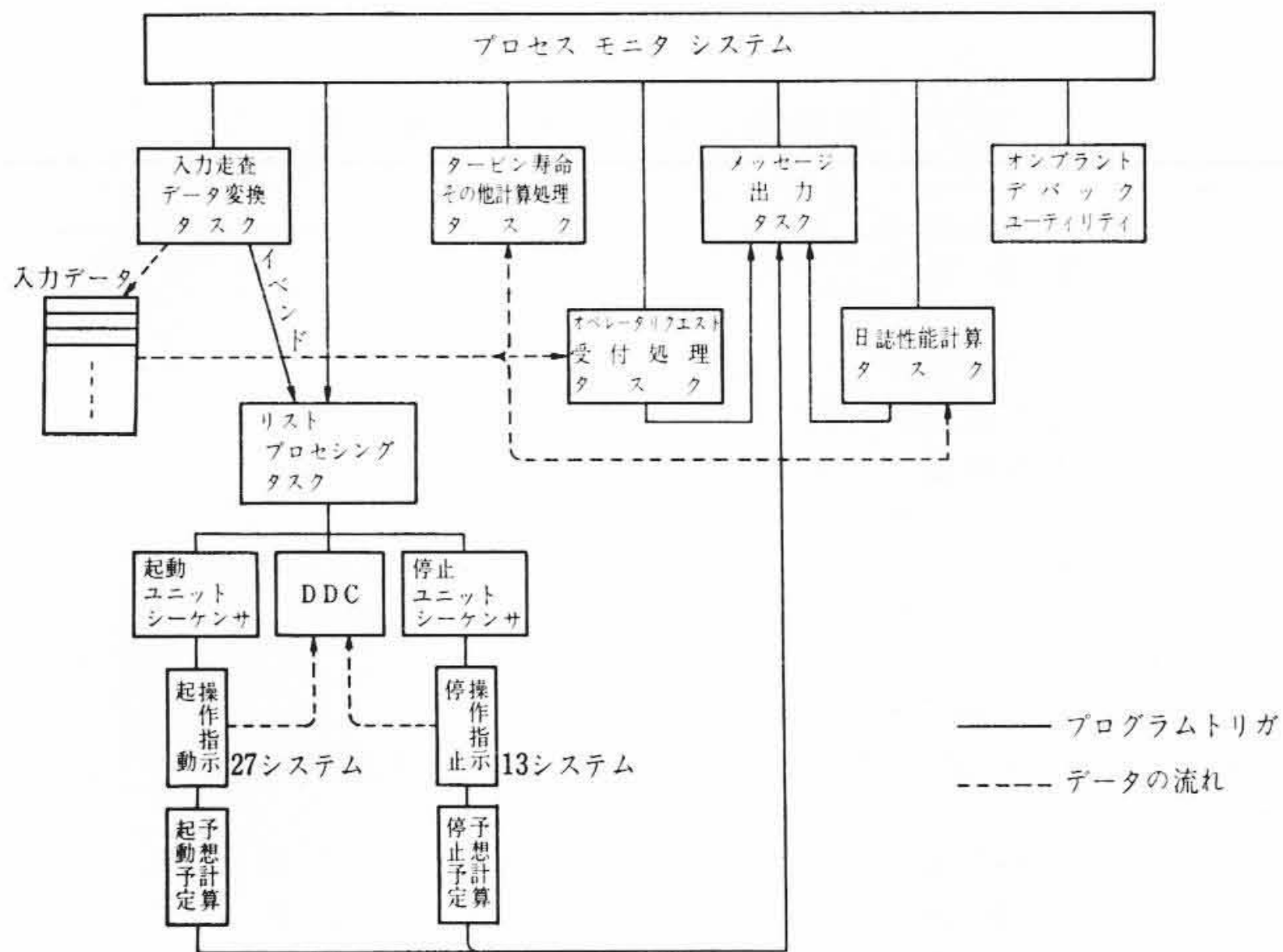


図6 プログラム構成

4. 現地試運転結果

4.1 現地工程

昭和45年8月現地へ搬入し、昭和46年3月末の営業運転開始までにすべての調整を完了した。

現地試運転において特に考慮した点は計算機の調整工程をプラントの試運転工程とじゅうぶんにマッチさせたことで、そのおもな点は

- (1) 入力関係の調整確認は主機が運転開始するまでに完全に完了させ計算機を計器の一部として使用可能にした。
- (2) 運転操作指示、DDCに関しては事前にシミュレーションを行ない主機の運転開始時より計算機による制御を可能にした。

などである。

この結果タービン昇速 DDC については最初のタービン・ストレッチアウトを除き、タービン無負荷テスト中の起動はすべて DDC を用い合計 12 回のテストを行なうことができた。

操作指示についてはプラント火入れ以降部分的ではあるが、機会あるたびに使用した。そのほかの DDC 機能および運転操作全体を通しての計算機制御のテストはプラント本体の調整のほぼ終了した 46 年 1 月以降の総合調整期間に起動停止を繰り返すことにより行なわれた。この期間に行なった計算機制御による起動停止の回数は

合計 11 回で各起動モードについて完全に調整することができた。

以下におもな機能の試運転結果について述べる。

4.2 運転操作指示

計算機の操作指示によりプラントの起動操作を行なった結果次の成果が得られた。

- (1) 操作を開始するための前条件を計算機がチェックすることは確認もれによる誤操作防止の点でじゅうぶん効果があることが確認された。
- (2) 計算機の操作指示に従えば熟練者でなくても運転可能であり、特にプラントになじんでいない試運転段階で有効であった。
- (3) プラントの進行状態とプログラムの同期はよくとれており EVENT 方式および制御システムごとにプログラムを小分割する構成が今後自動化を進めるうえで有効な方法であることが確認された。
- (4) 操作手順は現地試運転の結果、計画時点より幾つか追加変更があったが、オンプラント・デバッキング・ユーティリティを使用することにより試運転工程を乱すことなく応ずることができその効果が確認された。

一方、現地調整において考慮した点としては次のとおりである。

- (1) 試運転中における機器の未調整や特殊操作による不成立条件のバイパスに手間がかからないよう、「条件無視」のボタンを設け操作の簡約化を図った。
- (2) ベリーホット・スタート時には短時間に多数の印字要求が生ずるが、タイプライタの印字速度の限度のため、操作指示のメッセージ印字が遅れることのないよう、操作指示印字の優先度を高くし、接点動作記録の印字項目数を最小限にした。

4.3 計算機直接制御 (DDC)

DDC による現地試運転結果の一例として 2 月 15 日のウォーム・スタート時の昇速、初負荷および加減弁切換の制御結果を示すと図 7～図 9 のようになる。

タービン昇速において留意すべき点はラブチェック終了後昇速指令が出てからできるだけ早く指定の上昇率で速度上昇することおよび、3,600 rpm におけるオーバーシュートを最小にすることにある。

昇速開始を迅速に行なうためには、速度の上昇が始まるまでは瞬時目標値を大きくして速度偏差を大きくするとともに、強制的に一定幅のパルスバイアス値として加え初期加速を行なう方法がとられている。

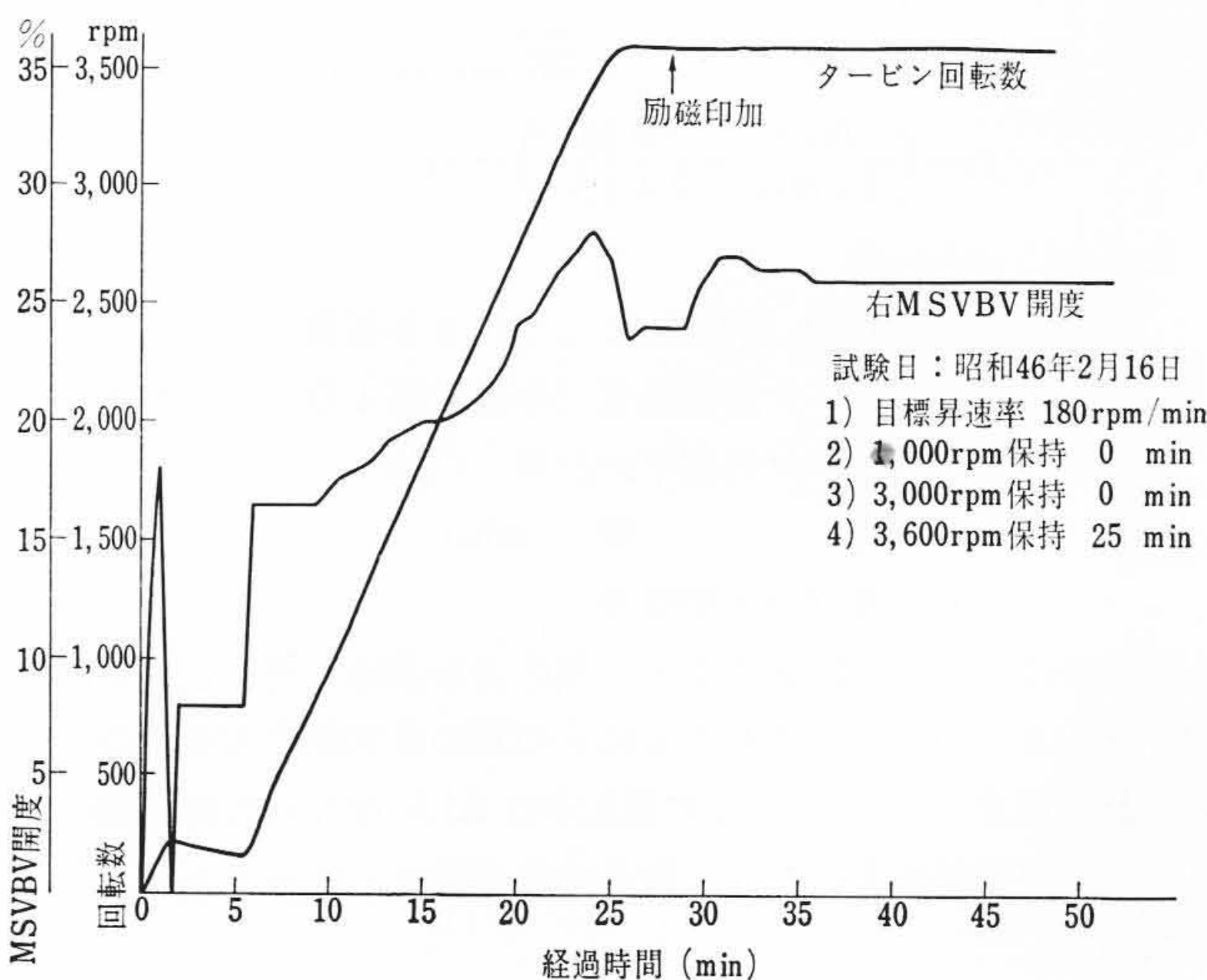


図7 タービン昇速 DDC

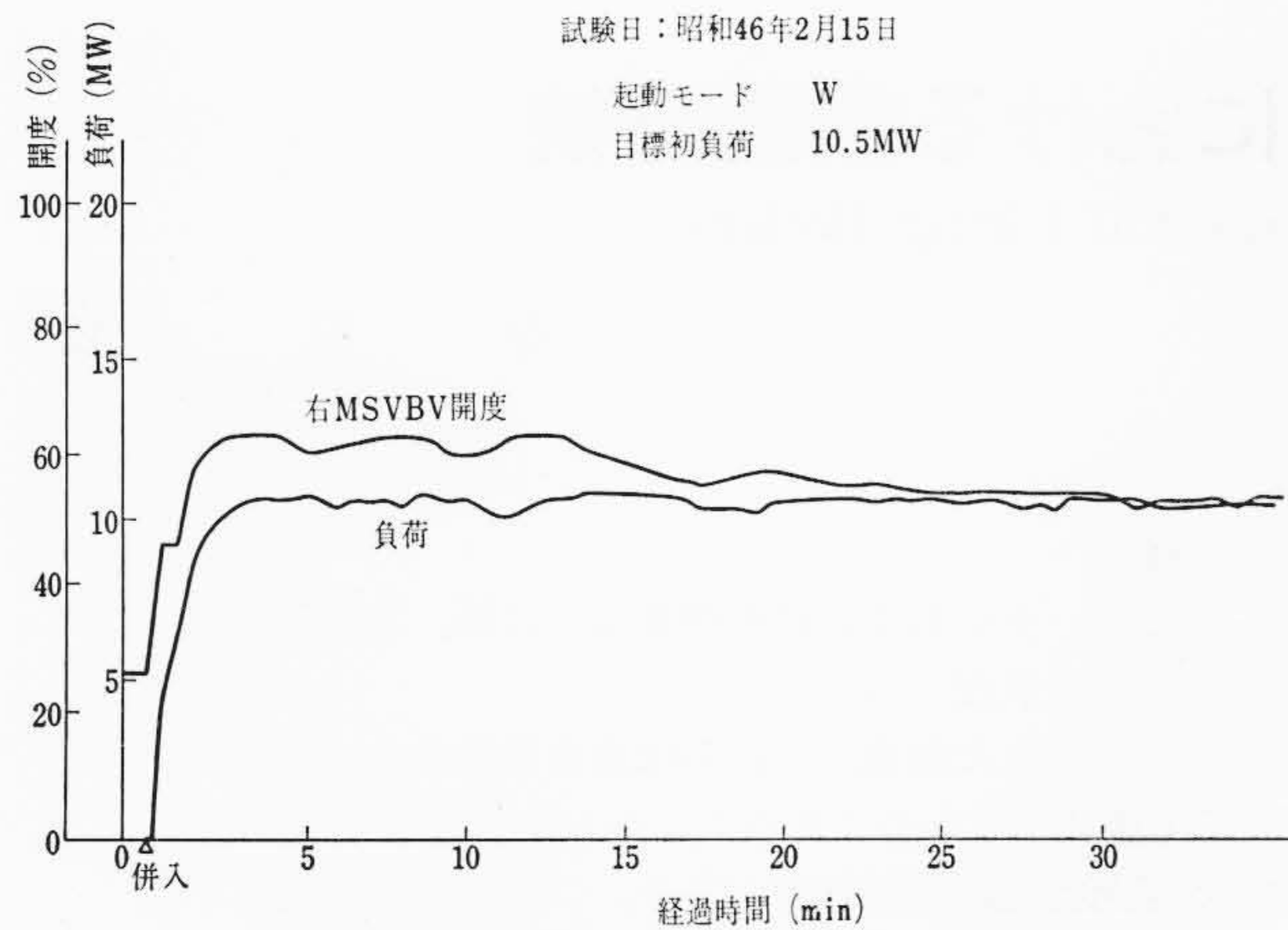


図 8 初負荷制御 DDC

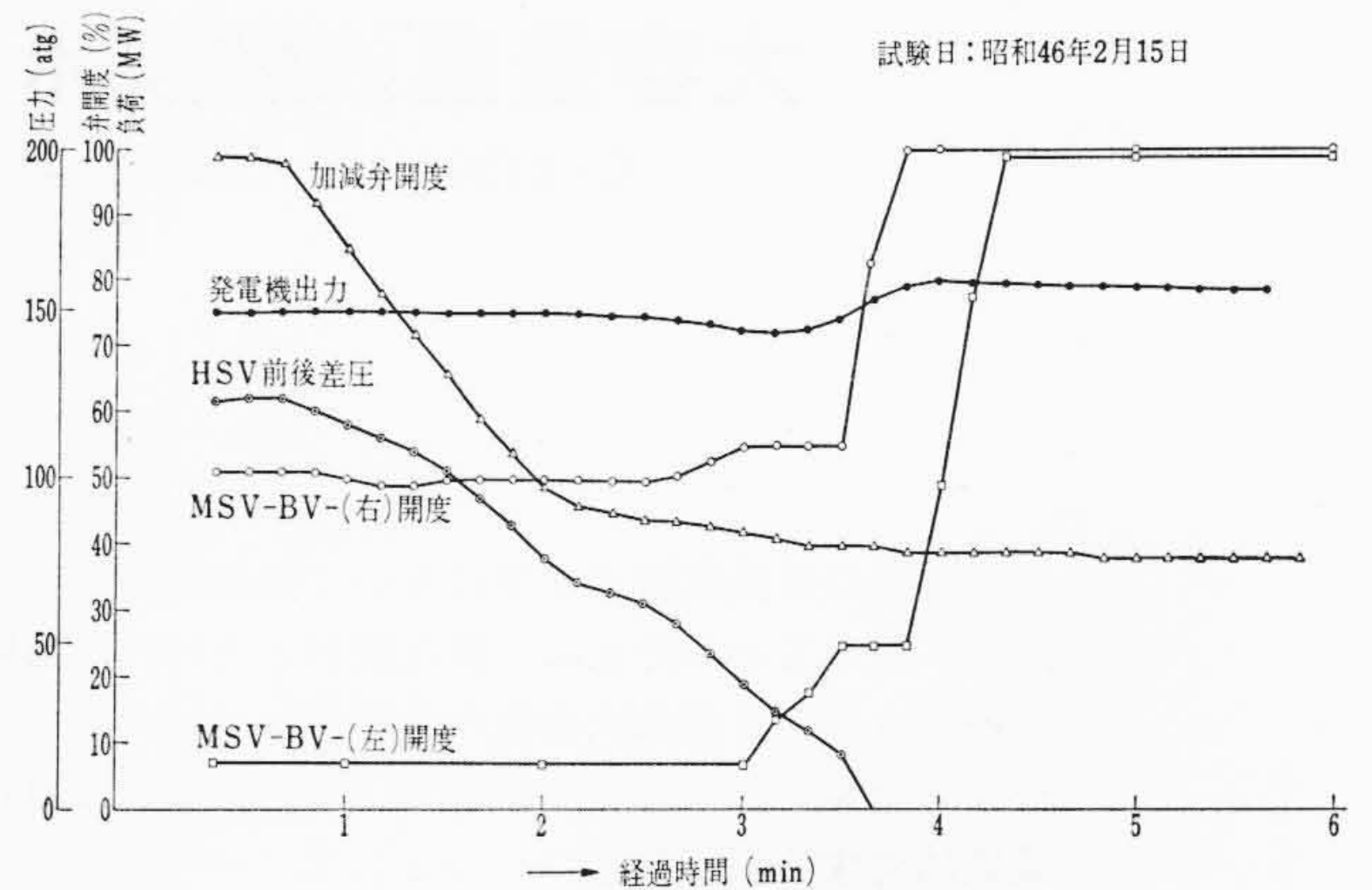


図 9 加減弁切換 DDC

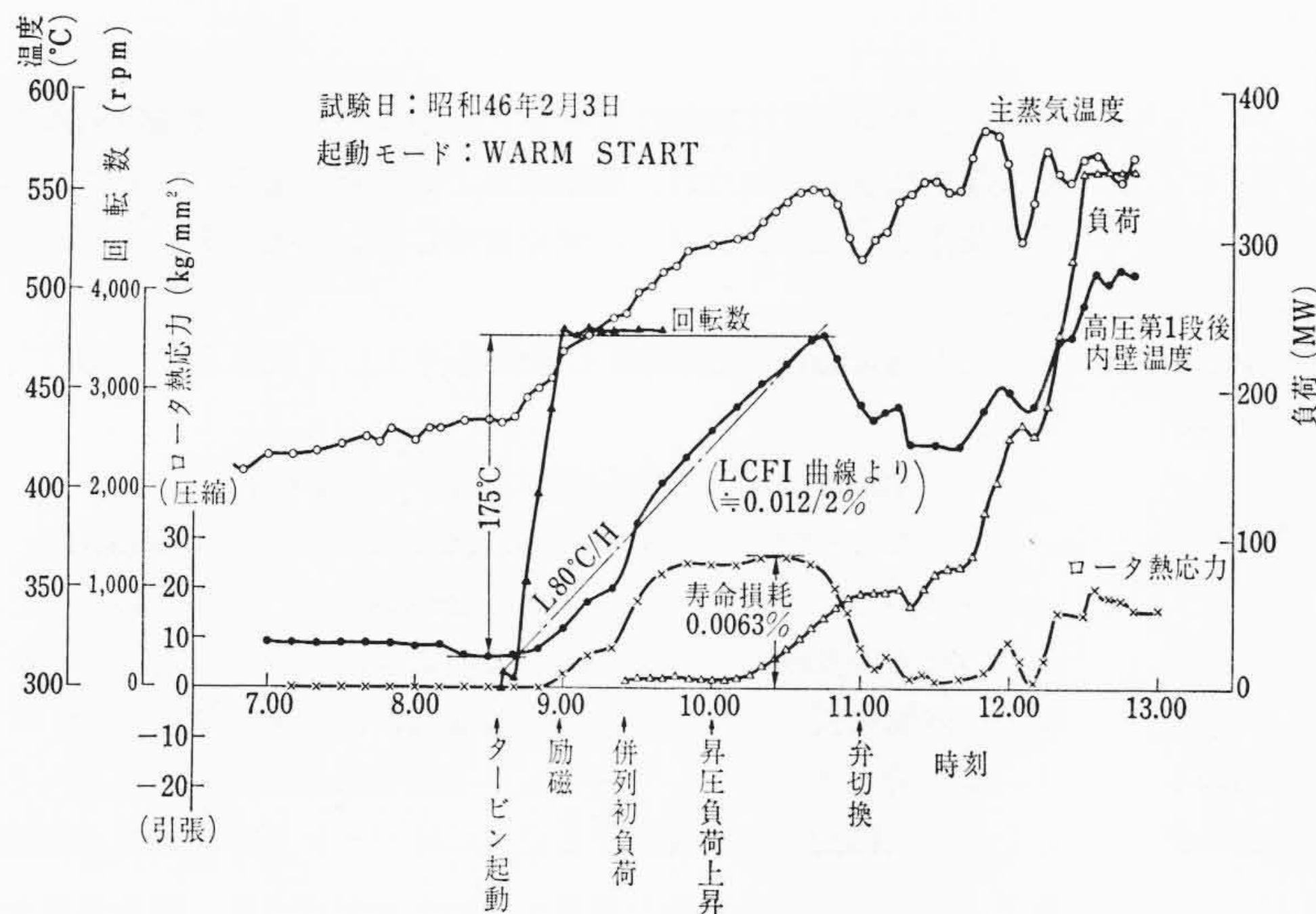


図 10 タービン熱応力

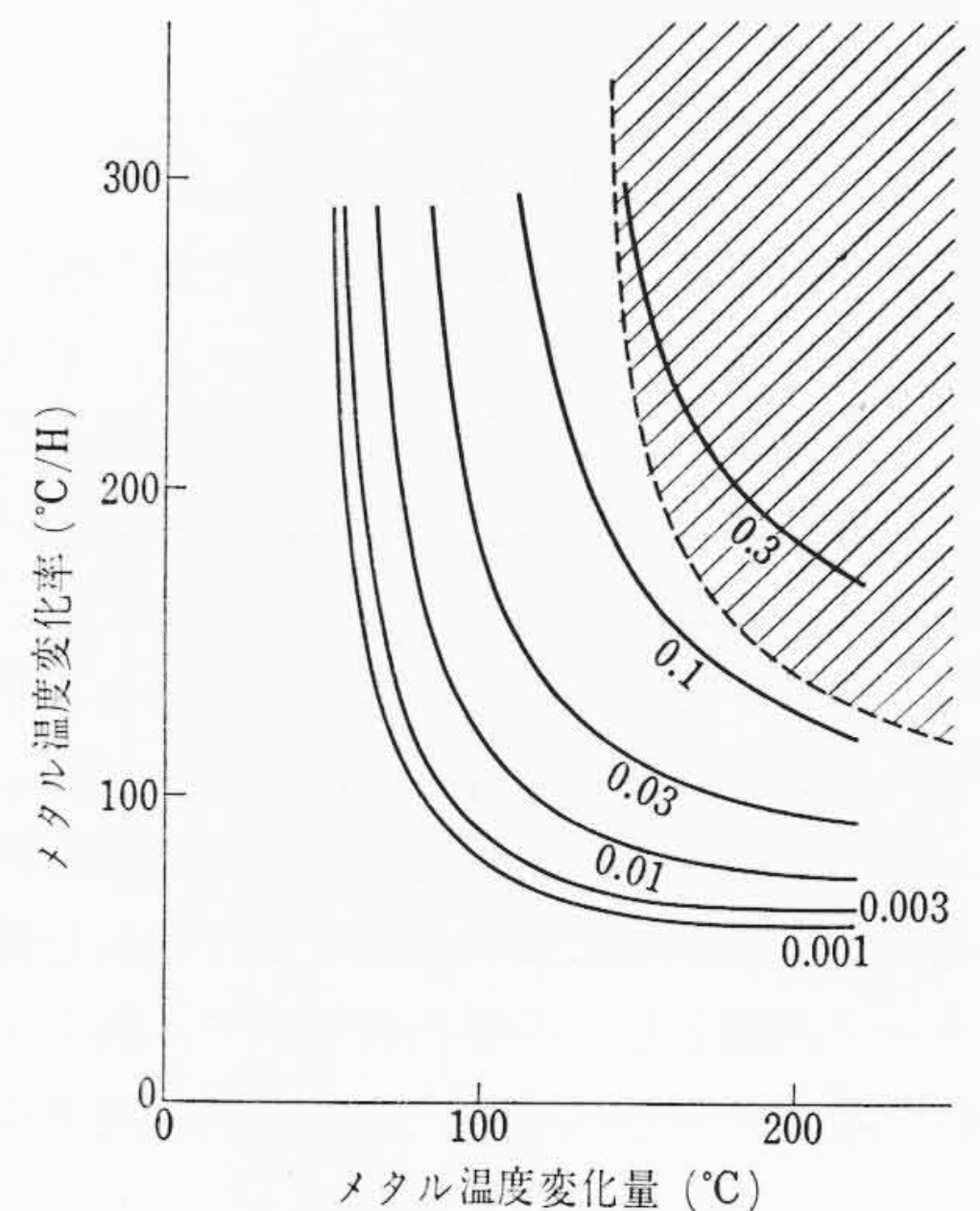


図 11 LCFI 曲線

また 3,600 rpm におけるオーバーシュートを最小にするためには目標速度の手前で目標値の上昇率を下げ、さらに減速パルスを 1 回加えるようにしてあるため、図 7 の結果のようにオーバーシュートを 1 rpm に押えることができた。

初負荷制御は起動モードにより行なわれ、コールドおよびウォーム・スタート時は右主さい止弁バイパス弁 (MSVBV) により制御、ホット・スタート時は右 MSVBV を一定量開けた後左 MSVBV により制御、ベリ・ホット・スタート時は右 MSVBV により弁切換負荷まで負荷上昇するというように制御対象の切換えが複雑であるが計算機制御の場合、これらすべてのケースに容易に対処できることが実証された。また制御特性も図 8 に示した例のように各ケースについて良好な結果を得た。

加減弁切換では弁切換中の負荷変化を少なくするため MSVBV により負荷制御をする一方、弁切換時間を関数としたバイパス値を負荷制御信号に加えるなどの考慮をばらうことにより図 9 に示すように切換時の負荷変動は少なく、良好な結果が得られた。

4.4 予定時刻計算

試運転当初は設定併入時刻と計算された併入時刻が合わず、時には大きな差を生じたが、これは収れん計算のうち切り回数が少なかったため、これを大きくすることによって解決した。なお試運転期間中はほとんどが設計データをもとに計算したため実情と相違する点が若干あったが、この期間中に実機運転におけるデータを収集することができた。今後この新しいデータによる計算の確認を行なう予定である。

4.5 タービン熱応力

ウォーム・スタート時発生したタービン熱応力の一例は図 10 に示すとおりである。この起動では最大 27 kg/mm² の熱応力を発生し、この半サイクルで 0.0063% の寿命を損耗している。一方、高圧第 1 段後内壁温度は温度差 175°C を 80°C/h で変化している。図 11 は LCFI (Low Cycle Fatigue Index) 曲線で、この曲線から寿命消費指数を求めると 1 サイクルあたり約 0.012% であり、半サイクルでは 0.006% となって計算機の結果と LCFI 曲線の結果がよく合致し、じゅうぶん実用できることがわかった。

5. 結 言

中国電力玉島発電所の計算制御システムにつきその機能や現地試運転結果につきその概要を説明した。このシステムでは、広範囲の運転操作指示を行なっていることや初めてタービン関係に DDC を採用したことやタービンの寿命計算を実施していることなど特色ある機能が多く盛り込まれている。これらはすべて良好に動作し、期待どおりの成果を得、予定どおり 3 月末より正式に営業運転にはいった。

今後ここで得られた経験を基にし、火力発電所の完全自動化を進めるためいっそうの努力をする所存である。

終わりに本システムを完成するにあたりご協力をいただいた中国電力株式会社の関係者各位に対し厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 桑原： オーム Vol. 57, No. 9, 33 (昭 45-9)
- (2) 丸山, 桑原, 松村： 日立評論 51, 404 (昭 44-5)