

第106研究部会

船舶の高度集中制御方式の研究
報告書

(その3 タービンプラント)

昭和47年3月

社団法人

日本造船研究協会

本報告書に記載されている研究成果は、第106研究部会による「船舶の高度集中制御方式の研究の実施に伴い完成された発明等およびノウ・ハウの取扱いに関する取決め」に基づき取扱われることになっておりますので、本報告書の内容の一部または全部の外部発表・転載等については、本会事務局にご連絡の上、本会の事前の承認が必要です。

は し が き

本報告書は日本船舶振興会の昭和46年度補助事業「船舶の高度集中制御方式の研究」として日本造船研究協会第106研究部会タービンプラント分科会においてとりまとめたものである。

第106研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	山下 勇（三井造船）		
副部会長	八島 信男（三井造船）		
委員	青山 三郎（大阪商船三井船舶）	芥川 輝孝（日本船舶振興会）	
	安積 健次郎（電子航法研究所）	甘利 昂一（日本船舶機器開発協会）	
	井伊 謙三（川崎汽船）	伊吹 秀雄（大阪商船三井船舶）	
	岡田 正三（大阪商船三井船舶）	木下 共武（佐世保重工業）	
	木堂 弘雄（船舶技術研究所）	黒川 正典（日本郵船）	
	佐藤 茂（日立造船）	真田 良（日本船主協会）	
	佐野 桂（航海訓練所）	関矢 元弥（日本海事協会）	
	高田 正夫（日本船長協会）	高橋 百千（日本船舶機関士協会）	
	竹沢 五十衛（三菱重工業）	田坂 鋭一（運輸省）	
	土屋 正雄（電子機械工業会）	土井 正三（住友重機械工業）	
	土井 由之（昭和海運）	中尾 正光（ジャパンライン）	
	名越 肇（日本航海士会）	長谷川 健二（川崎重工業）	
	植田 清勝（日本鋼管）	丸尾 卓志（日本船主協会）	
	宮崎 敬一（山下新日本汽船）	元良 誠三（東京大学）	
	矢野 鎮雄（石川島播磨重工業）	山田 泰造（日本造船工業会）	
	横田 利雄（東京商船大学）	吉識 雅夫（日本学術振興会）	

第106研究部会幹事会委員名簿（敬称略、五十音順）

委員	浅野 修一（日立造船）	佐伯 庄吾（三井造船）
	大川 喜伴（住友重機械工業）	大日方 得二（日本鋼管）
	唐沢 康人（石川島播磨重工業）	佐々田 喜正（大阪商船三井船舶）
	菅沼 清（川崎重工業）	高柳 武男（三井造船）
	堀之北 克朗（運輸省）	丸尾 卓志（日本郵船）
	本戸 幸雄（佐世保重工業）	米原 令敏（三菱重工業）

タービンプラント分科会委員名簿（敬称略、順不同）

分科会長	米原 令敏（三菱重工業）		
委員	安藤 静雄（山下新日本汽船）	石川 欣央（三菱電機）	
	市川 博昭（日立製作所）	井上 宗一（石川島播磨重工業）	
	上木原 義昭（ジャパンライン）	江嶋 陽一郎（住友重機械工業）	
	岡野 幸夫（三菱重工業）	小貫 熙彦（運輸省）	
	菊池 嘉綱（住友重機械工業）	倉沢 二郎（昭和海運）	
	黒須 顕二（船舶技術研究所）	桑子 秀治（北辰電機製作所）	

小西龍郎(日立造船)	小林淳人(日本電気)
小林慎治(富士電機製造)	佐山昭彦(川崎汽船)
白井正人(三井造船)	鈴木正(安立電気)
田中兵衛(昭和海運)	田丸量一(日立造船)
力石昭次(東京計器)	土居政吉(東京商船大学)
音成卓哉(日本鋼管)	野田重昭(佐世保重工業)
原口聡(三菱電機)	浜田績(日本郵船)
葉山真治(東京大学)	樋口勝彦(大阪商船三井船舶)
藤井勝(三菱重工業)	田村隆一(川崎重工業)
古川守(神戸商船大学)	松岡久光(三菱重工業)
村松仁(富士通)	森川卓(日本船主協会)
山崎富雄(太平洋海運)	山下和三(日本海事協会)

第1ワーキンググループ・メンバー(敬称略、五十音順)

井原健策(富士電機製造)	白井清(住友重機械工業)
大槻昭(住友重機械工業)	岡野幸夫(三菱重工業)
音成卓哉(日本鋼管)	金井弥之助(石川島播磨重工業)
川島攻(三井造船)	坂本安三(ジャパンライン)
佐藤光宏(ジャパンライン)	白井正人(三井造船)
鈴木邦治(三井造船)	竹内俊晴(三菱電機)
谷岡明(日立造船)	西岡和正(三井造船)
野崎潔(住友重機械工業)	萩原隆一(住友重機械工業)
山根良夫(石川島播磨重工業)	山下和三(日本海事協会)
山本敏雄(日立造船)	

第2ワーキンググループ・メンバー(敬称略、五十音順)

井藤貞夫(ジャパンライン)	井上和(佐世保重工業)
上野斌(日立造船)	岡野幸夫(三菱重工業)
堀山一如(山下新日本汽船)	金井弥之助(石川島播磨重工業)
倉沢二郎(昭和海運)	小西龍郎(日立造船)
小淵要(日立製作所)	曾我正和(三菱電機)
高田正輝(ジャパンライン)	竹内俊晴(三菱電機)
谷井宏光(三井造船)	富永英俊(佐世保重工業)
豊永康男(ジャパンライン)	浜辺孝平(日立造船)
坂東忠秋(日立製作所)	村松功也(日立製作所)

第3ワーキンググループ・メンバー(敬称略、五十音順)

黒崎泰充(川崎重工業)	佐川隆一(川崎重工業)
杉浦至(富士電機製造)	杉本博(川崎重工業)
田村隆一(川崎重工業)	

第4 ワーキンググループ・メンバー（敬称略、五十音順）

朝 田 俊 男（ジャパンライン）	井 上 和（佐世保重工業）
上 野 斌（日立造船）	大 江 守（日本郵船）
太 田 治 孝（日本鋼管）	岡 野 幸 夫（三菱重工業）
音 成 卓 哉（日本鋼管）	菊 地 嘉 嗣（住友重機械工業）
小 西 龍 郎（日立造船）	高 田 正 輝（ジャパンライン）
富 永 英 俊（佐世保重工業）	野 崎 潔（住友重機械工業）
浜 田 績（日本郵船）	浜 田 幸 男（住友重機械工業）
原 田 弘 道（山下新日本汽船）	星 野 敏（日本鋼管）
吉 田 浩（三菱重工業）	米 山 稔（沖電気工業）

目 次

まえがき	1
1. タービンプラント電算機システム計画法の研究	2
1.1 概 要	2
1.2 計画段階で定める必要のある項目の選定	2
1.3 計画段階で定める必要のある項目の計画手順の検討	4
1.4 システム計画法とりまとめ	7
1.5 乗組員の教育	27
1.5.1 乗組員教育の重要性	27
1.5.2 乗組員教育の方法	27
2. 電算機制御を導入したタービンプラントの信頼性を向上するためのシステム計画の検討	29
2.1 電算機制御システム導入に適したプラント計画	29
2.1.1 基本方針	29
2.1.2 事故調査	29
2.1.3 故障の発生しやすい個所を改善したプラント	35
2.1.4 機器に故障が生じてでも安全運航のできるプラント	39
2.2 電算機システムのマン・マシン・コミュニケーション方式の検討	40
2.2.1 間接測定法	40
2.2.2 間接測定の精度	41
2.2.3 計器の精度	42
2.2.4 間接測定を行なう個所	43
2.3 電算機システムの自己診断、自己修復等の検討	60
2.3.1 電算機の信頼性および保守に関する技術調査	60
2.3.2 電算機システムの自己診断と自己修復(現状の一端)	67
3. 直接制御、スーパーバイザリコンピュータコントロール採用の効果	73
3.1 一般事項	73
3.1.1 基本方針の設定	73
3.1.2 計算機システム考案の前提	74
3.1.3 本報告の内容	74
3.2 各制御方法の解析	75
3.2.1 ボイラ蒸気圧の最適制御	75
3.2.2 ボイラの分割制御	88
3.2.3 ボイラ系の適応制御	112
3.3 計算機システムの検討	129
3.3.1 基底のDDC機能	129
3.3.2 MPCによるボイラ蒸気圧の最適制御システム	129
3.3.3 分割制御による、蒸気圧およびドラムレベルの制御システム	131
3.3.4 適応制御システム	132
3.3.5 ソフトウェアシステムについて	134
3.3.6 計算機システムについて	135

4. タービンプラントの保守整備のための電算機適用の研究	157
4.1 超自動化船の保守整備構想	157
4.1.1 保守整備の展望	157
4.1.2 船内保守整備	157
4.1.3 陸上における保守整備	158
4.1.4 突発事故に対する保船システム	159
4.2 保守点検、診断基準	161
4.2.1 日常実施している保守点検	163
4.2.2 経年変化を考慮して行なう保守整備のための診断	198
4.3 その他の電算機利用法	233
5. タービン・プラント分科会4カ年間の研究成果の総括	239

ま え が き

昭和45年度の研究に引き続き下記の研究作業を行なった。

- (1) タービンプラント電算機制御システム計画法の研究(タービンプラントに電算機制御を導入する場合に船会社, 造船会社, コンピュータ・メーカーがそれぞれどのようなステップで, どのような調査と検討を行なうべきかを明らかにする)
- (2) 電算機制御を導入したタービンプラントの信頼性を向上するためのシステム計画の検討(タービンプラントに電算機制御を導入することによってプラントの運転と監視の信頼性を向上するために, 特に考慮しなければならない事項としてプラント計画上の配慮, 計測データの信頼性向上を目的とした間接測定の可能性, 電算機システムの自己診断と自己修復の実用性などについて明らかにする)
- (3) 直接制御, スーパーバイザリ・コンピュータ・コントロール採用の効果に関する研究(タービンプラントの制御に具体的にDDC, SCCを採用した場合の動的制御特性の改善がどのように期待されるかを明らかにする)
- (4) タービンプラントの保守整備のための電算機適用の研究(タービンプラントの保守整備の合理化のために電算機を活用することにつき, 将来の船会社の保守, 整備体制も考慮しつつ, 将来のタービンプラントの保守・整備の構想を想定し, 電算機の効果的適用を含めた整備ロジックを明らかにする)

これらの研究を効果的に実施するために上記(1)(2)(3)(4)毎にウワーキング・グループを設けて作業を行なった。

分科会およびウワーキング・グループの開催回数は下記の通り。

分科会

第13回分科会(46年度第1回)昭和46年4月20日

第14回分科会(" 第2回)昭和46年10月28日

第15回分科会(" 第3回)昭和47年2月17日

ウワーキング・グループ

No.	1-WG	2-WG	3-WG	4-WG
第1回	46-8-23	46-6-23	46-8-23	46-6-22
第2回	46-10-1	46-9-8	46-10-4	46-9-7
第3回	46-12-9	46-10-20	47-1-12	46-11-30
第4回	47-1-31	47-2-16	——	47-2-1

1. タービンプラント電算機システム計画法の研究

1.1 概要

船用プラントに対する電算機制御システムは、開発が開始されてから日も浅く、我が国に於ても、プラントに対する電算機制御が採用されたもので、既に就航実績のでている例はまだ数少い。なかでもタービンプラントについては、建造途中のものが数例あるのみで、就航実績は皆無なのが現状である。

したがって、その計画法も、いわば試行錯誤の状態にあり、そのため新しく電算機制御と実船に採用する場合には、たとえば計画が相当進んだ状態になって、初めて計画初期にて検討しておくべき問題点が未解決のまま、放置されていることが判明するなどして、工程と乱したり初期の計画と後退せざるを得ない状態に追い込まれたりする危険性をはらんでいる。

そこで本章においては、そうした現状と改善するため電算機制御と船用タービンプラントに採用するというプロジェクトに対し、初期計画から引渡しに到るまでの標準的な計画法を、船会社、造船所、電算機メーカー各社の社内研究開発やディーゼル船での経験などからとりまとめた。

1.2 計画段階で定める必要のある項目の選定

電算機制御システム計画と組織し、完成させる過程に含まれる各種の工程と整理するための有効な方法として、E.S. SAVAS は、図 1.2.1 に示す PERT 的なアローダイヤグラムの利用と推奨している。（*注参照）このアローダイヤグラムは、各仕事そのものを表わすばかりでなく、それらの相互関係、論理的な順序および、およその時間的關係をも示したものである。SAVAS は、そのアローダイヤグラムの中で、初期計画の段階より、プラントの引渡しに到るまでのプロジェクト全体と

予備的検討段階

機器設計段階

適用方法開発段階

設置の段階

運転の段階

の5つに大別している。そこで上記にならって船用タービンプラントという特殊性を考慮し、

基本計画ステージ

ハードウェアステージ

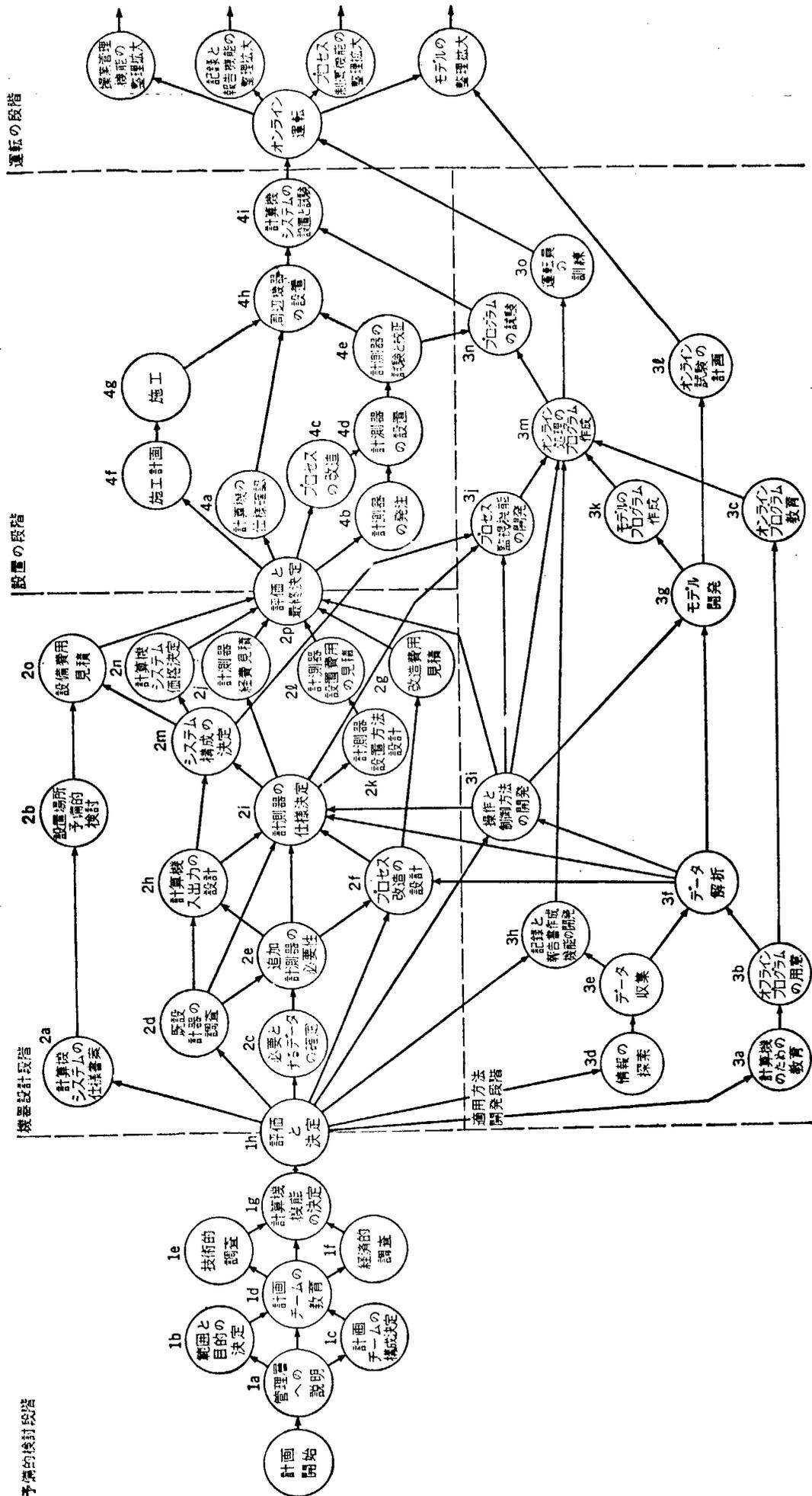


図1.2.1 計算機制御計画のフローダイアグラム

ソフトウェアステージ

機装ステージ

運転ステージ

の5つの大区分に分類することとした。上記の各大区分には、それぞれ多くの作業が含まれているが、それらの作業をできるだけ細分化した単位作業と称するものに分割し、さらにグループメンバー各社の経験に基づく特長を生かしつつ、整理統合を行った。本章の研究を進めるに際しては、対象とする電算機制御システム計画のプロジェクトとして、第一船であって、研究開発的要素も強く持っている場合を想定するものとしたが、第一船用のものを作成しておけば第二船以降、商業ベースに乗ったプロジェクトを進める場合にも、削除、単純化などを主とした、ごく簡単な修正で利用できると思われる。また船舶に電算機制御と適用する場合には、船全体を一つのプロジェクトとして航法関係や荷役関係なども含めてシステムを計画せねばならない場合も多いが、ここでは、タービン分科会のわく内での作業でもあるので、一応電算機制御の適用は、タービンプラント機関部に限定して作業を行った。

注 "COMPUTER CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES" MCGRAWHILL BOOK CO INC,

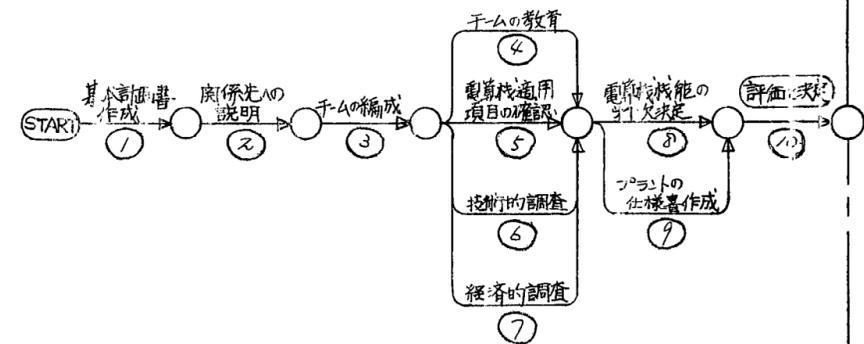
1.3 計画段階で定める必要のある項目の計画手順の検討

1.2にて選定した各単位作業の相互関係および、時間的な順序関係を明らかにし、図1.3.1に示すようなPERT的な線図にまとめあげた。ここで各単位作業に要するおおよその期間を推定し、その長短に従って、線図上の長さも変えて示すことが望ましかったが、不確定要素が多過ぎて不可能であったため、あまり作業に要する期間の長さにとらわれず、作業の前後関係に重点をおいて線図を作成した。

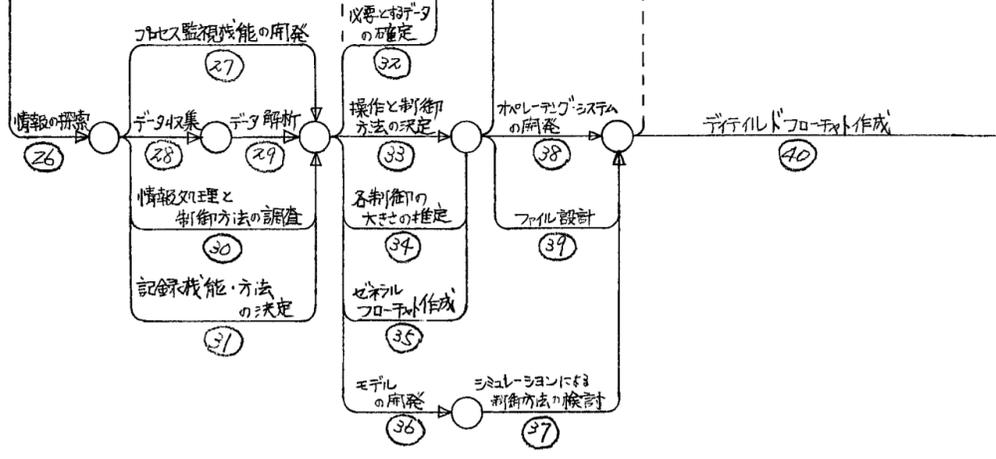
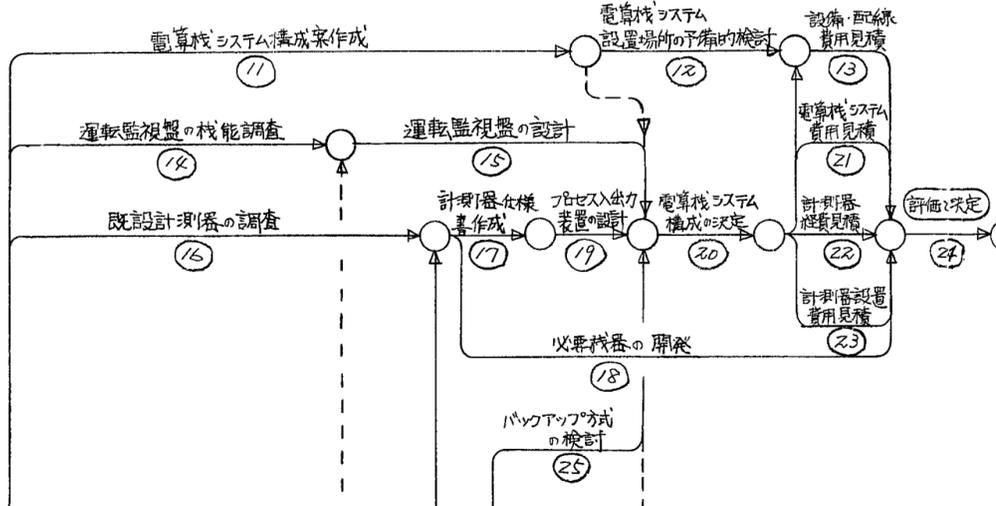
図中実線は各単位作業を、白丸は単位作業の開始及び終了を、点線は特に強い必要情報伝達経路を、また一点鎖線は五つの大区分の境界をそれぞれ示している。線図中で、各単位作業に付した番号は順不同である。

なお「評価と決定」という項目が、基本計画ステージとハードウェアステージの双方にあるが、前者は基本計画段階における、主として電算機適用項目の評価であり、後者はシステムの詳細仕様決定後、ハードウェア発注直前における経済的效果を含めた総合的な評価と決定である。

基本計画

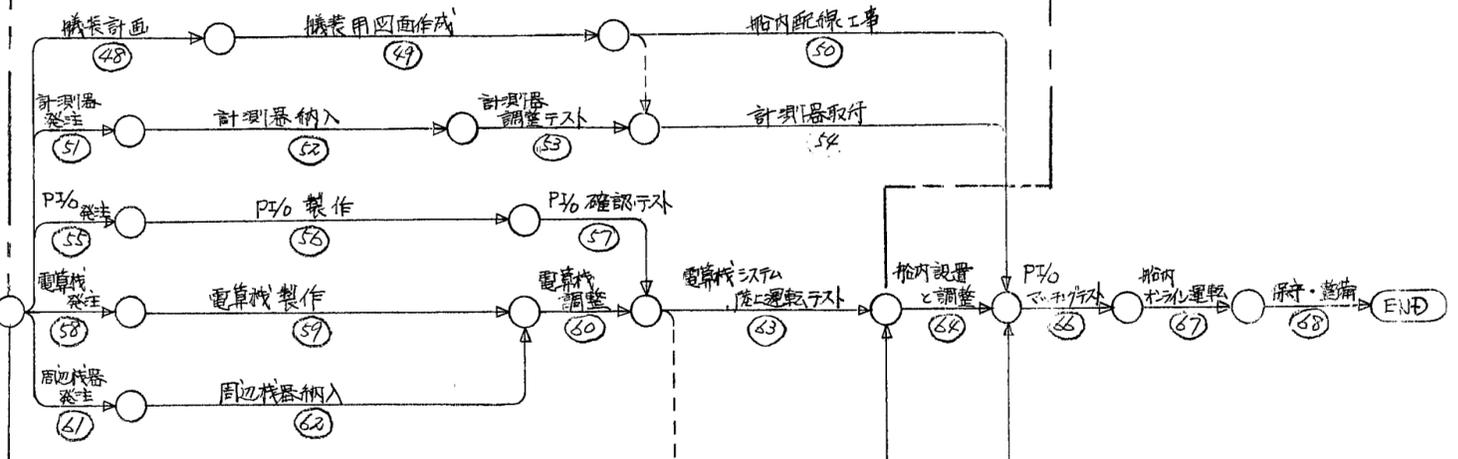


ハードウェア



ソフトウェア

機装



運転

図 1.3.1 船用タービンプラント電算機制御計画のフローチャート

1.4 システム計画法とりまとめ

図 1.3.1 に示した各单位作業それぞれにつき、必要決定項目、注意事項、推奨事項、参考文献などを、今までの電算機制御計画の経験にもとづき網羅したものが、表 1.4.1 である。なお表中の各单位作業に付した番号は、図 1.3.1 に示したものと対応している。

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (2/20)		基本計画書		作業先への説明		チームの編成	
1. 基本計画書の作成		2. 作業先への説明		3.			
1. 開発計画の改良 (1) 電算機をフロントのどの部分と適用し、どのように行なわせるかを想定する。 (2) 開発の効果を想定する。 (A) フロントの制御性の向上 (B) フロントの信頼性の向上 (C) 制御作業環境の改善 (D) 省コスト (E) その他	(5) 予算の大半を想定する。 (6) 開発担当メンバー、人員を想定する。 2. 開発の Needs の元分がある把握 3. 関連メーカーの想定 4. 電算機システムの想定 (1) C.C.S (Centralized Computer System) と L.C.S (Localized Computer System) の11つれのシステムにどの程度の検討を行うか。(2) L.C.S を採用する場合はどの階級制御統括電算機を設けるか。(3) 各システムを完全に分離するかを不検討する。 (2) 電算機システムソフトの制限を想定する。	1. 上層部への理解と協力の要請 2. 開発の意向の聴取 3. 関連メーカーの協力の依頼 4. 現場への協力の依頼 5. 説明事項 (1) 導入の目的と期待される効果 (2) 予想費用と完成時期 (3) 必要技術とレベル (4) 関連部門 (5) 所要人員と能力 6. 検討事項 (1) 開発費用分担の検討 (2) 完成後のシステム、技術、等の維持およびノウハウ	1. チームの下部のメンバーの編成 (1) 選定 (2) 難主 (3) 関連メーカー (2つある) 早期に参加することを望ましい。 2. 編成メンバーは各部門の専門担当者の参加が必要 3. チームのメンバーは基本計画から運転まで一貫して担当する事が望ましい。 4. 作業進行上、便宜上、チームのワーキング・グループ化を検討				

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表(2/20)

基本計画画

4	5	
チームの教育	電算機通用項目の確認	
<p>1. 船を造船所が電算機のハードソフトの勉強をすると同様に周速メカもタービンプラントおよびデジタル全般の知識の取得が必要</p> <p>2. チームに要求される知識</p> <p>(1) 電算機のハード、ソフトの知識および経験</p> <p>(2) タービンの能力およびプラントの知識</p> <p>(3) 制御理論</p> <p>(4) 計測技術</p> <p>(5) システム工学</p> <p>(6) 電気工学</p>	<p>1. 目標達成のためには、電算機を使用してどのような事を行なうべきかおよびその効果難易を技術的・経済的調査と平行して検討</p> <p>2. 通用項目のうち各制御項目にフイルの制御方式の想定</p> <p>(1) 管理制御方式 (Supervisory Computer Control)</p> <p>(2) 直接制御方式 (Direct Digital Control)</p> <p>3. 電算機ハードウェアのレベルとレベルの程度を考慮すべきかを検討</p>	<p>またバックアップは手動操作とするか、従来のアログ制御を採用するか等々を検討</p> <p>4. 直接制御を採用する場合に、二水に通した制御方法や計器の選択を検討、さらには適切に行き入手</p> <p>5. 従来のリネーション制御などの程度電算機制御に移行させるかを検討 (従来の制御方法を単に電算機制御に置きかえるのは意味がない)</p>
		<p>6. 監視、記録および保守の各項目の形式の検討</p> <p>7. 各社所管分組想定</p> <p>8. 法定上の制約の検討</p>

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (3/20)

基本計画スケージ (3/4)

6

7

技術的調査

経済的調査

1. コンピュータに関する技術的調査

(1) タービンプランツの実際の運転方法と問題点について調査する。

(2) 特に優秀なオペレータの運転操作を必要とする項目を調査する。

(3) タービンプランツ運転上の制約条件を調査する。

(4) 自社内外の関連技術

を調査する。(火力発電所の化学プラント等類似プラントの果積調査)

(5) タービンプランツ操作の基準を想定する。

(6) 過去のデータを収集し、事故と計測データとの相関性等を調査する。

(7) タービンプランツの動特性の項目を検討する。

(8) 教式モデル作成の要否を検討する。

(9) 制御方法の案を想定する。

(10) 各制御項目についてオペレーションフローチャートを作成して検討する。

2. ハードウェアに関する技術的調査

(1) ハードウェアの仕様を調査する。

(2) 中央処理装置
語系 読取
判断機能
記憶保護機構
記憶速度
命令数
周辺装置

(3) 読取 穿孔 印字表示等の速度

(4) 検査部、インタフェイスとくに新しく開発したものを用いる場合には、よく注意を要する。

(5) オペレーティングシステムの機能を調査する。

(6) 各機器の環境条件の調査を行う。

(7) 信頼性とバックアップ方式を調査検討する。

a) バックアップコンピュータの準備
b) アナログバックアップの採用
c) 手動操作

(5) 保守の難易性を調査する
(6) 納入実績および経験を調査する。

(7) 価格と納期を調査する。

(8) アフターサービス体制を調査する。

(9) 電算機評価法による評価を行う。

(10) 本システムのシミュレーションの検討を行う。

1. 費用の推算
(1) 推定運行控算の影響をできる限り広範囲に検討する。
(2) 効果を可能な限り金額に換算して評価する。

(3) ソフトウェアの費用を過少に推算し、すなわち underestimate する。

(4) インタフェース部の費用を見落す可能性がある。

(5) 本知見も検討する余裕をとっておく。

(6) 関連用機器を忘れぬようにする。

2. 電算機と使用しているコンピュータと、使用している場合のシステム間の経済的比較

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (4/20)

基本計画 (4/4)		8.	
プリントの様書作成		9	
<p>電算機能力の第一次決定</p> <p>能力の調査 (6) 表示方法の検討 (7) 本館の電算機システムを設置する場所の環境条件の想定</p> <p>3. 上記調査後、採用機種を選定</p>	<p>電算機適用項目、制御方式の確認後、電算機部門の専門家等により電算機能力を決定</p> <p>2. 電算機能力を決定するにため、下記調査の実施。 (1) 電算機システムの決定 (C.C.S. か L.C.S. か) (2) 主記憶装置および補助記憶装置の必要容量の調査 (3) 一読者の選取 (4) 割込処理能力の調査 (5) プロセッサの必要処理</p>	<p>1. 本社様書は電算機項目を各機内部分割部フルスペシフィケーション程度のものを作成</p> <p>2. 電算機使用項目を仕様書の各項目に挿入し、さらに別項として電算機項目の仕様を記述する項目を設置</p> <p>3. 電算機使用のためターゲットプリント各機器の改造する必要がある箇所を明示 (特に、R/C を採用する)</p>	<p>1. 社内評価および客先評価の実施 (1) 電算機を使用した場合のシステムと使用した場合のシステムの比較評価を行う。 (2) 客先の要求に良く合っているかを検討する。 (3) 効果を適度に評価し、い。</p> <p>2. 各社所掌分担の決定</p>
<p>電算機能力の第二次決定</p> <p>4. 入出力データリストおよびセンサの仕様を明確化</p>	<p>10.</p>	<p>評価と決定</p>	<p>1. 社内評価および客先評価の実施 (1) 電算機を使用した場合のシステムと使用した場合のシステムの比較評価を行う。 (2) 客先の要求に良く合っているかを検討する。 (3) 効果を適度に評価し、い。</p> <p>2. 各社所掌分担の決定</p>

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 5/20

		ハードウェアステージ (1/3)		
11	12	13	14	15
<p>電算機システム構成作業成</p> <p>1. 弊に盛りのべき項目 (SR106 タービコン分料会 44年度報告書P9~10参照) (1) 中央演算処理装置 基本計画ステーションにて 作成済</p> <p>(2) 神形メモリ 種類(裕長ドラム、ディスク) 大きさ ソフトウェア、ポイント教の明確 化に伴い、要修正</p> <p>(3) 周辺装置の種類及び表 (a) 入出力マイコンライダ (b) 磁気テープリーダー (c) 磁気テープパンチヤ (d) ロギングダイアライダ (e) CRTディスプレイ (f) プリンタ (g) トレーサ (h) テキストコーダ (i) スペシャルダイアライダ (j) その他</p> <p>2. 相用化作業を明確にした (SR106 コンピュータ分料会 43年度報告書P73~78に環境条件 付添された5の要求値あり)</p>	<p>電算機システム設置場所の 予備的検査</p> <p>1. 検査していただくべき事項 (1) 制御室、電算機室の有無 後、柜内概略位置。 (2) 電算機室の広振序筆 (3) シェルの空調(百熱、 除湿、防塵その他)</p> <p>2. 環境条件要求値は SR106 コンピュータ分料会 43年度報告書P77~78参照</p> <p>3. 電源に付する答應を充 分考慮</p>	<p>設備・配線 費用見積</p> <p>1. ノイズ対策を考慮して配線費 は充分見込んでおく</p> <p>2. ノイズ対策を考慮したデータ 伝送方式に因しては SR106 コンピュータ分料会 45年度報告書P241~258 参照</p>	<p>運転監視盤の 機能調査</p> <p>1. オペレータコンソールは 非常に有効</p> <p>2. マンマシンコミュニケーション の点を決定しておく (1) 標示、記録、警報の方式 (2) 人間への操作指示方式 (3) 人間の操作手法</p>	<p>運転監視盤の設計</p> <p>1. 人間工学的考慮を十分 払い、使い易いものとする。</p> <p>2. 人間工学的手法を条件に 定めては、SR106 コンピュー タ分料会 43年度報告書 P14~30 参照</p> <p>3. 監視、操作をどのついでの ソフトウェアステージから のニーズも十分盛り込む こと。</p>
<p>3. ソフトウェアステージ との連絡を密にして 家を作成する必要 あり。</p>				

表1.4.1 単位作業の説明と問題点 - 覧長 6/20

ハードウェア (2/3)

16	17	18	19	20
<p>既設許測器の調査</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 既存の許測器の精度、信頼性、検器に付し、精度、信頼性の面で欠損を定量的に整理し、許測器選定の資料とする。 2. ソフトウェアとも関連して新規測定すべき許測項目を決定する。 	<p>許測器仕様書作成</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 信号レベルをノイズの点を考慮して決定する。 2. 電圧式より電流式の方がノイズに耐え安定。 	<p>必要機器の開発</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 納期は色々な異なるが、少なくとも1ヶ月は確保しておく 2. 要機持用の前にモデルあるいは実験船で試験確認する 	<p>プロセス入出力装置の設計</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ソフトウェアマスターズにて測定点数が明確となる。 2. アクチュエータの制御方式を明確にする ON-OFF制御 多段階制御 連続制御 3. 電算機とのマニピュレーションについて検討しておくこと。 4. 制御手段に適したものを採用する。 	<p>電算機システム構成の決定</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 既設の制御装置及び許測器とのインターフェースを考慮する 2. 予備品仕様を明確にする 3. 保守器具も明確にする。

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 7/20

ハードウェア (2/3)		23	24	25
21	22	許判巻設置費用見積	評価と決定	バックアップ方式の検討
<p>電算機システム 費用見積</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 未知のものに存する余裕をとる 2. 関連費用を念める 3. インターフェース等の費用を念ねる 	<p>許判巻経費見積</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 用途費を念める 	<p>許判巻設置費用見積</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 許判巻調整費を念める 	<p>評価と決定</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 社内評価を行うこと 2. 巻名評価を行うこと 3. 効果も過大視しないこと 4. 巻名の要求との適合度 に留意すること 5. 社内評価、巻名評価の 結果をすり合せて決定を 行う際に将来の保守、 移行操作に備える方針を 明確にしておくこと。 	<p>バックアップ方式の 検討</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 考え得る故障も全て 想定し、そのフォーマット に存するデータ、態度を 目的、コスト両面より 明らかにしておく。 2. バックアップ方式 (1) 高操作による (2) 従来の「アログ制御」 システムの使用による (3) 電算機本体の種数化

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (8/20)

ソフトウェアステージ (1/8)

26 情報の探索	27 プロセス監視機能の開発	28 データ収集
<p>1. 基本計画ステージで制御プログラムのオペレーションフローチャートが完成しているものとする。</p> <p>2. 制御プログラムからインプットおよびアウトプットデータをすべてひき出してリストアップする。</p> <p>3. リストアップしたデータについて使用範囲、正常値、異常値、必要精度を明らかにする。</p> <p>4. すべてのインプットおよびアウトプットデータにつき、どのプログラムと関係があるかを明らかにする。</p> <p>5. 必要なデータが簡単に得られない場合は測定方法の開発や関係されるべき数式や関係式の検討を行なう。</p>	<p>1. (26)でリストアップしたすべてのインプットデータについて読み込みの周期を決める。また、周期的にアウトプットするデータについて、アウトプットの周期を決める。</p> <p>2. この周期は実績データを解析してからでないことと決められる場合が多い。</p> <p>3. リストアップしたデータはプロセスの特性が求まらなければ決めることはできない。</p> <p>3. インプットデータについて読み込み周期ごとに集約し、リストアップする。周期はできるだけ種類を少く、かつ早くすることがのぞましいが、プロセスの応答速度、電算機の占有時間を考慮して適切な値を選ぶ。また、各周期ごとの読み込み順序も決定する。</p> <p>4. アナログ入力データについて検出端の種類ごとに分類し、その検出精度をしらべて、必要精度(26)で決定)以内に収まるよう補正方法または補正式を求め、また、工学単位の変換式を求め。</p> <p>5. 適当な検出器が得られないときはその旨明らかにしておき、新規開発を検討する。</p> <p>6. プロセスの安全性な運転の継続や信頼性向上に直接結びつくデータは何であるかを明確にし、そのデータの判定基準を設定する。</p>	<p>1. (26)でリストアップしたすべてのデータについて、実船の実績を集める。</p> <p>とくに、データの時間的変化の状況(静的動的的特性)をできるだけ集める。</p> <p>2. DDCの場合には実船データが是非必要である。</p> <p>3. 実績データが無いときは、新に実船計測する必要がある。</p> <p>4. 実船計測には同一仕様または、できるだけ類似した仕様の船を選ぶ。</p> <p>5. タービンプラントの勤特性を計測する場合、影響する要素が多いので、欲しいデータが入りやすい。事前にじゅうばん計測計画を検討してから行なうべきである。</p> <p>6. 蒸気、給水等の高温あるいは高圧部のデータを計測するときは早期に検出端検出器を取付けておかないと、工船上計測できなくなるので注意のこと。</p>
<p>1. 基本計画ステージで制御プログラムのオペレーションフローチャートが完成しているものとする。</p> <p>2. 制御プログラムからインプットおよびアウトプットデータをすべてひき出してリストアップする。</p> <p>3. リストアップしたデータについて使用範囲、正常値、異常値、必要精度を明らかにする。</p> <p>4. すべてのインプットおよびアウトプットデータにつき、どのプログラムと関係があるかを明らかにする。</p> <p>5. 必要なデータが簡単に得られない場合は測定方法の開発や関係されるべき数式や関係式の検討を行なう。</p>	<p>1. (26)でリストアップしたすべてのデータについて、実船の実績を集める。</p> <p>とくに、データの時間的変化の状況(静的動的的特性)をできるだけ集める。</p> <p>2. DDCの場合には実船データが是非必要である。</p> <p>3. 実績データが無いときは、新に実船計測する必要がある。</p> <p>4. 実船計測には同一仕様または、できるだけ類似した仕様の船を選ぶ。</p> <p>5. タービンプラントの勤特性を計測する場合、影響する要素が多いので、欲しいデータが入りやすい。事前にじゅうばん計測計画を検討してから行なうべきである。</p> <p>6. 蒸気、給水等の高温あるいは高圧部のデータを計測するときは早期に検出端検出器を取付けておかないと、工船上計測できなくなるので注意のこと。</p>	<p>*7. 高圧給水ラインの流量等計測する場合、計器がこめれら簡単に取り換えてきないので、じゅうばん交換し、こめれれないようにすること。できれば予備を装備しておくのがのぞましい。</p> <p>8. データとしては上記のほかにプロセスの運転操作のデータ即ちオペレータの動作、作業手順等も集める必要がある。</p> <p>(※5~7. SR106 9-13. 分科会 45年度報告書 213~225 ページ参照)</p>

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (9/20)

ソフトウェア ステージ (2/8)

29

データ解析

1. (28)で収集したデータを整理・解析して制御のアルゴリズム決定に役だつようにする。
また、プロセスモデルの教式をたてる。

2. プロセスの動特性解析には、そのプロセスの状態を表わす式をたてて、これに実船計測データ(28)で収集)を入れて計算し、結果が実測結果に合えばよい。
実際には実測時の条件が計算式の条件と異なるため両者が合っていないところが出てくる

(SR106 9-7-20 分科会
45年度 報告書
240~265 ページ参照)

3. 異常検知等の単独のデータについては、正常値から異常値への変化の時間的な特性がわかればよい。
これらには上記のような教式

モデルがたて難いものが多い。例えは、重油受の焼付きによる温度変化、空気の吸込による真空の変化など。これらについてはできれば実験で確認するのがのぞましい。

(SR106 9-7-20 分科会
44年度 報告書
145~190 ページ参照)

4. オペレータがどの情報をどのように判断して、どこに置いているか解析する。
ベテランの優秀なオペレータの操作がよい。

30

情報処理と制御方法の調査

1. 異常検知
単独情報として処理するか、複合情報とまとめた結果を表示あるいは指示記録するか、またどうまとめるか調査する。

2. シーケンス制御

(29-4)のデータにもとづき、情報の分析、判断をどのように制御出力に結びつけるか検討する。とくに異常時の処置について、いかによく検討する。

3. 閉ループ制御
PIEかPI+IかPI+DかあるいはFeed Forwardか算検討する。

4. 制御対象が多数あるときは、タイムシェアリングをよく検討する。
5. システム運用上における人間の役割や介入条件などを、いかによく検討しておく。

31

記録機能・方法の決定

1. 記録する項目を決定する。即ち
(1) 運転記録 { 定時
(2) 異常記録 { 任意
(3) 操作指示記録
のおおのについて記録事項をリストアップする。

5. 任意記録
(1) 記録項目
(2) 記録フォーム
6. 異常記録、操作指示記録
(1) 記録項目
(2) 記録フォーム
(3) 記録の表現方法

7. 記録についてはユーザの意見をよく聴取すること。できれば、ユーザに項目、表現等決めさせるとよい。また、何のために記録項目を選んだか、記録の利用方法まで明確にするとよい。

3. 記録装置故障時のバックアップの方法を決める。
4. 定時運転記録
(1) 記録時期
(2) 記録データの項目
(3) 記録フォーム

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (10/20)

ソフトウェアステージ (3/8)

32	33	34	35
<p>必要とするデータの確定</p> <p>1. リストを完成し検出端、操作端の計画のために役立たせる。 (1) I/O 点番号、点数決定 (2) I/O の種類 (a) A/I、測温抵抗体 電流入力 電圧入力 (b) D/I; 接点、レベル (c) A/O; ラダーパルス (d) D/O、ラッチモメンタリレベル (e) 割込み入力 (3) 2重装備する検出端 (4) 信号レベル、レンジ、精度などの決定</p>	<p>操作と制御方法の決定</p> <p>1. 制御のアルゴリズムを決定する。 (1) データのサンプリング周期 (2) プログラムの作動周期 (3) 割込み信号 (4) 情報判断の論理 (5) 判断の基準 (6) 制御、操作項目 (7) 制御、操作出力の周期 (8) 制御、操作出力の周期 (9) 異常時の処置 (10) バックアップの方法 (11) 誤操作のときの処置 例えは、プログラムロードや登録データの変更などの手続きを必要とするシステムにおいて誤操作したときの他のデータやプログラム保護など。 (12) オペレータが条件を無視したときの処置、プログラム保護 (13) 異常時の警報記録式 (14) 自動、手動切換時にかけるプラント状態、制約。</p>	<p>各制御の大きさの推定</p> <p>1. 各制御方式について大きさを推定し、プログラムの容量を推定する。 各ネラルフローチャートのステップ数から推定するのがよい。 1 プログラムが大きいと適当に分割する。 2. デバッグやシミュレーションテスト時に機能チェックが確認しやすいようにプログラムの範囲や分割数を決める。</p>	<p>ゼネラルフローチャート作成</p> <p>1. ⑬で決めたものをゼネラルフローチャートの形式に表わす。 フローチャートは必要な情報をすべて押込む。 2. 操作に関する事項は漏れなく押込むこと。またその目的をばっちりさせること。 3. アプリケーションソフトウェア基本は様として最も重要であり、しかも人がよく検討が必要である。またこの時点でユーザとのシステム仕様の確認を行なっておく必要がある。 4. 技術的問題点が解決しているかまたは近く解決が見通しがたっていること確認する。 5. この時点でプラント要目が確定していることが必要。 6. プログラムで使用している入出力点の整理、データの取り合いを整理しておく。 7. ソフトウェアの管理上正しいは電算機との情報のやりとりにおいて、取扱いはならびに経済性を考慮して言語の選定をこの時点で行っておくこと。</p>

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (11/20)

ソフトウェアステージ (4/8)

36

モデルの開発

1. 制御対象となるプロセスの特性を数式で表わす。数式の中の定数は実船計測データの詳細により得た値を用いる。

2. シミュレーション用のモデルをアナログコンピュータまたは専用のシミュレータで組む。

3. モデルは制御の目的、精度の許す限り単純なものとする。

37

シミュレーションによる制御方法の検討

1. ③で作ったプロセスモデル(アナログコンピュータまたはデジタルコンピュータ)専用のシミュレータで作ったものと制御用コンピュータと組合せて制御動作のシミュレーションを行なう。

2. ここでいうプロセスモデルは制御方式の開発や確認のために用いられることができるだけ簡略化されたモデルのことを指し、例えば、ボイラ負荷特性、タービン軸系、タービン熱応力などを数式化したものである。

3. シミュレーションは実時間で行なう。ただし非常に応答時間が長いもの、例えばタービンの熱応力等については応答速度を上げて行なってもよい。

4. 可能な限りあらゆるケースについて行なう。とくに異常状態におけるシミュレーションをしっかりと行なう。制御の安定性、システムの安全性を確認する。

5. シミュレーション方案を作成する際に確認事項を事前に整理しておく。

6. シミュレーションの目的も動的な特性を確認するためのものおよびアルゴリズムを確定するためのものなどを明確にしておく必要がある。

7. シミュレーション結果の評価はその目的に応じた的確に行なう必要がある。

38

オペレーティングシステムの開発

1. システムのすべてのアプリケーションプログラムを最も円滑に運転管理できるオペレーティングシステムを開発する。

2. 開発はコンピュータが行なうが、造船所側はアプリケーションプログラムの運用上の要求を明確に示して協力する。

3. 開発はコンピュータが行なうが、造船所側はアプリケーションプログラムの運用上の要求を明確に示して協力する。

4. シミュレーションの結果の評価は、その目的に応じた的確に行なう必要がある。

5. システムのすべてのアプリケーションプログラムを最も円滑に運転管理できるオペレーティングシステムを開発する。

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (12/20)

ソフトウェアステージ (5/8)

39	ソフトウェア設計	<p>1. オペレーティングシステムの開発と併行して、コアか補助メモリの選定も含めてファイル設計を行なう。</p> <p>2. つぎのデータは必ず整備する。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) コアメモリマップ (2) ドラムメモリマップ (3) A/I点番号およびマップ (4) A/O (5) D/I (6) E/O (7) 割込み (8) 各種データに対する略号 (9) その他テープ類の整理 <p>3. 補助メモリの割当てと管理方法の決定。システムダウン時の既存データの保存とリトライの場合のデータ回復について具体的な検討をする。</p>
40	ディテイルフローチャート作成	<p>4. ファイルコントロール石いしは、コントロールはオペレーティングシステムの重要なポイントであり、これらがソフトウェアの体系をきめるといって過言ではない。</p> <p>即ち、データマネージメントやオペレーティングシステムスケジューリングの決め手になる。</p> <p>5. データの教にマッチしたファイル構造にしておき、能率のよいアクセスが可能になるようにしておく。</p> <p>6. アプリケーション側で直接なまのデータを読み書きするのではなく、オペレーティングシステムの方で共通に管理する方法をとった方がデータ管理上のぞましい。</p>
40	ディテイルフローチャート作成	<p>1. ⑳のゼネラルフローチャートを充実しておき、また設計思想の明確化が必要である。</p> <p>2. これだけで㉑のプログラム作成ができるのが理想的。しかし、あまり詳細すぎてコード化したり、分解しすぎると何をやっていっているかわからなくなるので、本来の意味がわかる程度の表現にし、ことばで明確になるところはなるべくことばで表現する。</p> <p>3. プログラム作成時にプログラム構成が明確になるようなまどめ方が必要で、サブプログラムの設定を行ない、メインチェーンとサブチェーンの組み合わせをよく考えておく。</p>
40	ディテイルフローチャート作成	<p>4. 全プログラムにおいてデータの読み出し、書き込みのコントロール方式を統一しておく。これはオペレーティングシステムの標準化にも結びつく。ひいては、処理時間の短縮、オペレーティングシステムの高効率化に結びつく。</p>

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (13/20)

ソフトウェアアステージ (6/8)		42	43
ソフトウェアアステージ (6/8)		42	43
<p>41</p> <p>プログラム作成</p>	<p>電算機システムおよび制御機能の整理</p>	<p>乗組員への教育</p>	<p>乗組員への教育</p>
<p>1. アプリケーションプログラムのコーディング・アセンブルを行なう。</p> <p>2. ④⑩の担当者が行なうのが思想が一貫してのぞましいが、④⑩が完全であれば、別人にさせてもよい。しかし互いにしゅうぶん連絡し合って作成する必要があるのである。</p> <p>3. 各種フローチャート・テーブルを完備しておくこと。</p> <p>4. 修正した場合の管理方法を確立しておき、他のプログラムに迷惑をかけるないようにする。</p> <p>5. シンボルテーブルを逐次完備しておく。シンボル定義はとくに工夫し、プログラム改修が簡単にできるよう考慮を払う。</p>	<p>1. システム仕様の内容を明確に記述した仕様書を整備する。</p> <p>2. 制御方式、制御機能の仕様を明確化し、誤りの早期発見に役だてる。またユーザーとの行き違いを無くする。</p> <p>3. プログラム作成、デバッグ、進行とともに、オブジェクト・リスティングなどの整理を確実に行ない、ソフトウェアの信頼性をしゅうぶん管理する。</p> <p>4. プログラム説明書またはソフトウェア解説書を完備する。</p> <p>5. インストラクションブックの整備は、システム構成機器が高度になるほど重要である。</p>	<p>1. 乗組員へつぎの教育を行なう。 (1) システムの操作、取扱い (2) ソフトウェアのメンテナンス (3) ハードウェアのメンテナンス</p> <p>2. ④⑩総合陸上デバッグの期間を利用して、実際の操作を勉強するのがよい。とくに緊急時の応急処置について習熟させるよう留意すること。</p> <p>3. 教育プログラムの作成時には船主の意見をしゅうぶんきいて取り入れておく。</p>	
<p>6. サブルーチンの設定を適切に行なう。とくにアプリケーションプログラムのサブルーチンは、その機能をできるだけ単一にし、はたして汎用性を高めるようにする。このことは、デバッグおよび改修を容易にする。</p> <p>7. プログラムはできるだけシンボルになるように心がける。また予測できない変更や拡張などを将来行なえるような構造とし、余裕をもたせる。</p> <p>8. 机上デバッグは結果的にプログラム完成への近道であるから、確実に実施すること。</p>	<p>6. わかりやすいインストラクションブックの作成は、なるべく早期に行なうこと。</p>		

表 1-4-1 単位作業の説明と問題点一覧表 (14/20)
ソフトウェア ステージ (7/8)

44

単独制御デバッグ

1. 各アプリケーションごとに単体デバッグを行ない、プログラムの論理エラーを除く。
2. 確認すべき事項を事前によく準備しておく。
3. インポートパタンの設定を詳細に行ない、そのパターンについてのアウトプットの出方を事前に予測し、デバッグの際に確認する。
4. なるべくコンピュータの前でそのつど確実にチェックを行なうようにする。
5. デバッグシステムなどを準備し、デバッグの跡が記録に残るようにすること。
6. 改修事項はなるべく早くフォローすること。
ソースカードの改修、オフラインプログラムの改修、リスティングの整備などを常時行ない

た水が見ても最新のものの確認が直ちに行なえるようにしておく。

7. 異常処置のチェックはとくに綿密に行なう。

8. デバッグの対象となつていゝプログラムの領域以外に外乱を絶対に行なうと与えない状態にまでしやうぶんに行なう。
また、自分の世界のガードが有交かあるかも調べる。

9. 取扱つていゝデータの信頼性チェックをしやうぶんに行なう。
即ちデータの出どころ、算出または読み込みの時点などについてチェックする。

45

総合陸上デバッグ

1. (44)が完了し、各プログラムの論理ミスが無くなつたら、各プログラムを並行動作させて相互の干渉をチェックするとともに、オペレーティングシステムの働らきもチェックする。

2. 必ず実機を使つて行なう。また実際に使用するオペレータコンソール、監視盤、制御装置などをとてきただけ使用する。

3. 総合デバッグないしはシミュレーションデバッグの計画を事前に検討しておき、プログラムの相互関連、確認事項、予測データなどの整理をしておく。

- (1) シミュレートする範囲
- (2) データ整理、疑似信号の与え方、出し方
- (3) プログラム組合せパターン
- (4) 開ループ、開ループ・シミュレーション

4. タグミク的な問題点もできるだけ抽出するようにし、また船内テストに期待せず、ここですべての問題点を抽出するようにする。

5. シミュレーションデバッグを行なう場合、プラントのシミュレート精度は高い方がのぞましいが、モデルの設定にこだわりすぎてもむだを招く。
あくまでソフトウェアの妥当性のチェックに重点をおくべきである。

6. 例外条件、異状や危険状態の再現を可能な限り行ない、実際のプラントにおいては実現困難な状態でのプログラム機能のチェックをとくに留意して行なう。

7. シミュレーションに使うコンピュータは実船に適用するものと同一ものが一番のぞましい。
即ち、この場合は、シミュレーション用にプログラムしたものがほとんどそのまま使えるので、手間が省ける。
またシミュレーションの結果についてでも確信がもてる。

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (15/20)

ソフトウェアステージ (8/8)

46

システム仕様最終確認

1. 陸上シミュレーションを終了するとオペレーションフローやセネラルフローの改修が生じ、初実期のシステム仕様に変更訂正が必要になる。これを整理して、この時点でユーザーに再確認する。

47

ファイル設計の確認

1. 単独デバッグないしは総合デバッグ(組み合わせシミュレーションを含む)を実施する段階で、ファイルコントロール、データ管理、処理時間等に関し、問題点が出てくれば、設計変更が生じる。
2. その際に変更を急ぐ余り、全体的な見直し検討をおろそかにすると、システム取まどめに混乱を招くことになるので、ファイル設計の見直しおよび確認は注意を要する。

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覽表 (16/20)

機 装 装 ス ー ジ (1 / 3)		50	51	52
48	49	船内配線工事	計測器発注	計測器納入
<p>機装計画</p> <p>1. パネル・ファン・コンソール等 各室に装備する機器と まとめる。</p> <p>2. 各機器の耐環境性のチェック (温度・湿度・気圧・塩分塵埃・ 振動・動程・電磁波・文庫料) (SR106 コンビニ-9 分科会 43年度報告書P73~P74参照)</p> <p>3. 船内配線機装調整期間中 の空調・電流の確保・蒸気が 得られるか・補機の運転がどの分 界の日程 チェック</p> <p>4. 採搬性・保守の容易さ・故障 作の恐れのないように考慮する</p>	<p>機装用図面作成</p> <p>1. 電路設計 …… パネル対策 結線要領 …… 結線図 搬入・付着要領 …… 揚板の必要性 積込重量・寸法・搬入要具・搬付 経路方法 校出端・操作端の取付要領… 取付上の制限・防振対策 計装配管 …… ドリ対策・防振 対策 十分な配慮して設計する。</p> <p>2. ケーブルの長さに対して特別 な制限はないが全回路抵抗 を考慮しなすべからぬ。</p> <p>3. 計測器設置の給電回路は できるだけ動力回路・電灯回路 より分離しなすべからぬ。</p>	<p>船内配線工事</p> <p>1. 船内では、動力・電灯配線 高温配管の付近に近づくこと ノイズに充分注意して配線する。 (SR106 コンビニ-9 分科会 44年度報告書P45~P51 参照 SR106 フェーゼル分科会 44年度報告書P48~P49 参照 SR106 コンビニ-9 分科会 45年度報告書P341~P358 参照 (各種入力符号の配線要領)</p> <p>2. 全ての接地・連続導体が船体には 有効に接続されていること を確認する。</p> <p>3. 誘導線誘導線の防止とフェッド と十分に行なう。</p> <p>4. 工期短縮のための方法を検討 する。</p>	<p>計測器発注</p> <p>1. 各機器は、詳細な仕様 の信号の連続性・雑音レベル・精度等 の電源電圧の急激な変化に付いて 支障なく動作し、制御回路の保護 (1) 耐向透れ (2) 使用頻度・使用時間 (3) 予備品仕様 (4) 保守器具 (5) 耐用化対策 などを含む。機装日程を考慮 して時期を失しないように発注 する。</p> <p>2. 発注もれがないように注意する</p> <p>3. 周辺機器およびソフトウェアとの マッチングに十分考慮を要する こと。</p>	<p>計測器納入</p> <p>1. 各機器は、耐用化対策の 実施状況と効果をチェックし、 出来れば、長時間の通電テスト と行なう。後納入するに 対して</p> <p>2. 納入時に、取扱説明書と共に 保守修理・故障時の運転方法 などを添付する。</p> <p>3. 出来る限り、MITBF について のデータを添付する。</p> <p>4. 計測器の枝立配線の点検 をする。</p>

表 1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (17/20)

機 装 ス テ ー ジ (2 / 3)			
53	54	55	56
計測器調整テスト	計測器取付	P/I/O 発注	P/I/O 製作
<p>1. 各信号について連続性検査は、精度などチェックしておく必要がある。</p> <p>2. 電算機システムに記憶されている変換表に訂正計測器の校正曲線が正しいものであるか比較検査をする。</p>	<p>1. (50).1 参照</p> <p>2. (50).2 参照</p> <p>3. 各機器の開口部は塵埃湿気の侵入を防止のため、全て船内に積む前に密閉し、積込後必要時再使用開始。</p>	<p>1. (51).1 参照</p> <p>2. (51).2 参照</p> <p>3. (51).3 参照</p> <p>4. A/D コンバータなどはとくによくエラーランプと行なわせる様指示すること。</p>	<p>P/I/O 確認テスト</p> <p>1. 誤結線のチェックを行なう。</p> <p>2. (59)1 参照</p> <p>3. (53)2 参照</p> <p>4. 出来れば長時間のエンジニアを行ない、かつ振動試験を含めるとよい。</p> <p>なお、確認テスト時、操縦者の立会いがあれば、後のトラブル集因探求時に有効である。</p>
			<p>1. 振動搭載所算の対策として、筐体は頑丈に、可動部分のグロの押え、ラック算の振れ止めを考慮して製作する。</p> <p>2. 半導体部品を使用する場合、には、温度、逆相電圧、過電流、サーキット電圧などを考慮し、必要に応じて保護回路を設ける。</p> <p>3. 電子部品、リレー、昇降口扉に動作に十分耐性を持たせる。</p> <p>4. 新規に開発するものについては、船舶化対策、とくに振動面には注意を払うこと。</p>

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (18/20)

58		機 装 ス テ ー ジ (3 / 3)		62	
電算校発注	59	電算校調整	61	周辺機器発注	62
<p>1. ⑤1 参照 (SR106 コンビニ-7 分科会 44年度報告P106~P113参照 (コンビニ-7仕様書例))</p> <p>2. ⑤1.2 参照</p> <p>3. ⑤1.3 参照</p> <p>4. 1-7-7c-1c は 7c-1c に 含めて発注するほうが 正しい。</p>	<p>電算校製作</p> <p>1. ⑤6.1 参照 とくに、磁気コアなど陸上の ものとのまゝ、流用するとは 破損の恐れがあるため、エールド したり、筐体材を入手するなどの 防振対策を十分に講ずる 必要がある。</p>	<p>電算校調整</p> <p>1. ⑤2.1 参照</p> <p>2. ⑤2.2 参照</p> <p>3. ⑤2.3 参照</p>	<p>周辺機器発注</p> <p>1. ⑤1.1 参照</p> <p>2. ⑤1.2 参照</p> <p>3. ⑤1.3 参照</p>	<p>周辺機器納入</p> <p>1. ⑤2.1 参照</p> <p>2. ⑤2.2 参照</p> <p>3. ⑤2.3 参照</p>	

表1.4.1 単位作業の説明と問題点一覧表 (19/20)

運 転		ス テ ー ジ		
63	64	65	66	
<p>電算機システム陸上運転テスト</p> <p>1. 船舶化対策の実施状況と効果をチェックし、出来るだけ長時間試験を行なうこと。</p> <p>2. 電算機独自の基本的機能のチェックをテストプログラムと流して、船主造船協会との共同で十分に行なうこと。検査不足の危険についてはドラム転送</p> <p>(1) 船舶化チェック</p> <p>(2) システムアップタイム</p> <p>(3) 電算機乗来時の保護</p> <p>(4) その他</p> <p>が考えられる。</p>	<p>船内設置と調整</p> <p>(50) 1 参照</p> <p>(50) 2 参照</p> <p>(50) 3 参照</p> <p>4. 運転が出来ず早い時期から行なうこと。船内機装工事仕度者に行なうこと。</p> <p>5. (63) 2 のチェックを繰返し、設定状態の確認と早期に行なうこと。</p>	<p>オンライン運転計画</p> <p>1. 電算機制御系統の調整可能な期間はわかかなければ、綿密な運転計画を立てる。</p> <p>内容は</p> <p>(1) P/I/O チェック</p> <p>(2) CPU インテグレーション</p> <p>(3) 周辺機器チェック</p> <p>(4) 制御ロジック</p> <p>(5) イースキエック</p> <p>(6) その他</p>	<p>P/I/O マatchingテスト</p> <p>1. 電算機システムとしての全機能の試験を疎れなく行なう。</p> <p>2. 試験の結果、必要に応じてソフトウェアの修正、試験を行なうこと。</p> <p>3. 乗組員の取扱、実地訓練を兼ねて試験をするより効果的である。</p>	<p>67</p> <p>船内ホライズン運転</p> <p>1. 海上運転時、出来れば試験は疎れなく行なう。</p> <p>2. 安全対策、バックアップ装置との切替などの確認も行うこと。</p> <p>3. 乗組員の実習教育と併せて行なうこと。</p>

表1.4.1 単位作業の説明と向題点一覧表 (20/20)

運転ステージ (2/2)	
68	
保守	整備
<p>1. 保守整備に関しては、就航後のアフターサービス体制を明確化しておくことが重要である。すなわち</p> <p>(1) 予備品の入手所要期</p> <p>(2) サービスエンジニアの乗船可能時期 など</p> <p>2. トラブルシューティングの方法を確立しておく。</p> <p>3. 予備品の必要度をシラベ、必要性の高いものは船に常時持つようにする。</p> <p>4. 関連メーカーから保守基準を提出せしめ、オペレーターも確認できるようにする。</p> <p>5. 引渡後一定期間内の</p>	<p>ソフトウェア改修のあり方について 電算機メーカー、造船所 船主間で取決めをしておく。</p> <p>6. 解り易いインストールシヨンプックを作成しておく。</p>

1.5 乗組員の教育

1.5.1 乗組員教育の重要性

タービンプラント電算機制御システム計画における手順ならびに、問題点などについてのこれまでの検討の結果、この電算機制御システムの有効な活用をはかるためには、保守整備システムの充実とともに、乗組員教育の重要性が再認識させられた。特にタービン船の場合、非常時の応急処置や原因判断と容易ならしめるシステム構成上の配慮が必要であるが、この面からのみの対策によってプラントの信頼性を確保しようとしても、現時点では経済的になりたくないであろう。したがって電算機制御と行なうタービンプラントにおいては、従来船とは異なった知識や能力を乗組員に期待せざるを得ないのが現状であろう。

その期待される知識、能力が何であるかは、それを見る立場によってさまざまであるが、船主側としてこれを見るとき、一応「オペレーションの実際とその基本理論の習得」とともに、システムに故障不具合が発生した場合にも運航上の応急処置を行ないうるほか、故障不具合の状況の具体的説明と、推定原因と適確に陸上サービスエリアに連絡できる「知識、能力」ともつ必要があると思われる。

ただしその前提としては、製造者、プラント設計者、使用者側それぞれの機能で包括した強力なメンテナンスチームが常に陸上に用意されていることが必要であるが、それについてはここではふれないこととする。

1.5.2 乗組員教育の方法

上記のような乗組員に要求される知識レベルに対する教育として、オフライン的な方法と、オンライン的な方法が考えられる。

すなわちオフライン的なものとしては、特定の機械、船種、システムに関係なく基本的なものの教育であり、これはとりあえずは製造者の教育施設、使用者の訓練センターなどにより行なわれると思われるが、近い将来、学校教育によって、ほとんどカバーされることになるのではなかろうか。

一方、オンライン的な方法としては、各対象船の工程の流れのなかの随所において適宜行なうことになるが、その例を、図 1.3.1 によってまとめてみる。

(1) 単位作業番号

②「関係先への説明」において、船主側として経済性の予備的評価を行なうとともに、オペレーション、メンテナンスとの概要の把握を行ない、それによって本船においてこれに対応すべき体制の案を開始する。(こゝにおいて教育スケジュールは、一応ハードウェアと、ソフトウェアに分かれる。)

(2) ハードウェア側として、②④「評価と決定」が終了し、各種ハードウェアが一斉に発注される時点において——当然この時点においては、ほとんどすべてのハードウェアの詳細仕様が確定したことになるから——これら詳細仕様に対し、船主としての要求事項の実施の確認とともに、乗組員自身および上述メンテナンスグループに対する、これら機器に関する教育が始められることになる。

(3) 一方ソフト面からは、④①「プログラム作成」の開始とともに、これに併行して本船特有のシステムを主とした教育が、フローチャート、プログラム構成を中心として始められるべきであろう。

(4) その後、デバッグ作業もほぼ完了し、システムのシミュレーションが可能となった時点において、陸上に設けるシミュレーション設備による訓練が行なわれることが望ましい。

この訓練用シミュレーションに関しては、当部会コンピュータ分科会45年度報告書に詳述されているので、本章では省略するが、この設備をどのような規模にし、どこに設けるかは今後さらに、その総合的評価を行ないながら検討されるべきものであるが、特にこのシミュレータによる訓練に期待されるものは、本船上では再現の困難な事故の応急処理訓練であろう。

(5) その後、⑥④「船内調整」、⑥⑦「オンライン運転」時に実機訓練が施行されることになると思われる。

(6) 以上のように系統だった教育訓練を行なったのちに、この教育の効果と最大に発揮させる手段は、チェックリストの完備、明解な取扱説明書であろう。第一項に述べた前提、すなわちコンピュータ制御化と採用されることによつて、従来の機械単体、機械的メカニズム主体の取扱説明書の踏襲は見直されるべきであり、たとえば保守点検を主流として書かれる必要もあろうし、グラフィック化されたチェック装置の採用で不十分な所、および文章図解で表現できぬものは、積極的にビデオの利用などが必要になってくると思われる。

なおあえて付言すれば、ここに述べた教育案は(1)、(6)項を除いては一応、機装員および陸上メンテナンス要員を対象としたものであり、本船就航後ある週期をもって交替してくる乗組員に対する教育は別途に考慮されるべきであるが、この際も(4)項のシミュレーション設備が活用されれば、時間的、経済的に有効であろう。

2. 電算機制御を導入したタービンプラントの信頼性を向上するためのシステム計画の検討

2.1. 電算機制御システム導入に適したプラント計画

2.1.1. 基本方針

電算機制御システムを導入する目的として、「省人化」と「運航の信頼性向上」があげられる。この目的を達成するために、43年から45年までに行なった研究は、従来のプラントを対象として、これを操作するのに仮に極めて経験豊かな機長部員がいると想定し、彼が考え、操作する作業を電算機に置き換えるためのソフトウェアを作成してきた。

しかしながら、43年度に当分科会が行なった事故調査を見直した時、ソフトウェアで解決できない事故も多々見受けられる。そこで今回はプラント自体を改善することにより、事故を少なくし、運航の信頼性向上を計るとともに、省人化についても考慮して、電算機制御システム導入に適したプラントのあり方を研究するものである。

そのために考えられるプラントは次の通りである。

- ① 故障の発生しやすい箇所を改善したプラント。
- ② 電算機によって従来より高度な制御が可能になる利点を積極的に利用したプラント。
- ③ 保守、整備を小人数で容易にできるプラント。
- ④ 機器に故障が生しても安全運航のできるプラント。すなわち系統の多重化など適切なバックアップシステムを備えたプラント。

上記のうち、②はオ3章、③はオ4章で述べられている項目となるので、本章では①、④について検討する。

但し、43年度の事故調査以来、約3年を経過し、その間プラントは改善され、自動化も進歩していると思われるので、この際再度事故調査を行なって、故障の発生しやすい機器や部品を把握することにした。

2.1.2. 事故調査

今回の事故調査は、最近のタービン船で故障の発生率が高い箇所について、国内船主3社より資料の提出を求めた。調査結果は前回の集計様式に従い、表3.1.1に示す。表中の「事故のカテゴリー」および「当分科会開発のプログラム名称」は下記の通りである。

(a) 事故のカテゴリー

- ① 保守上解決すべき事故
- ② プラント計画で解決すべき事故

- ③ 設計改善で解決すべき事故
- ④ 工事改善で解決すべき事故
- ⑤ 初期故障として発見し、処置すべき事故
- ⑥ 偶発的事故と考え処置を要するもの

(なお⑥の場合にはさらに次のA~Eに分類する)

- A. 電算機以外の方法で不具合表示。
- B. 電算機で不具合表示(解析、記憶を含む)
- C. 電算機で解析し、処置方法表示。
- D. 電算機で解析し、処置方法自動操作するもの。
- E. 電算機を用い保守整備を指示するもの。

(b) 当分科会席究のプログラム名称

VB: タービン異常振動検知プログラム

BR: 軸受焼損予防プログラム

BO: ブラックアウト予防プログラム

2回の事故調査の結果によると、設計改善、工事改善および点検、保守によって解決すべき事故が多く、その重要性が認識されるが、この種の事故は各部門の努力を期待することとし、今回は事故のカテゴリーによる分類のうち、②の「プラント計画で解決すべき事故」および⑥の「偶発的事故と考え処置を要するもの」を対象とした。前者に対しては「故障の発生しやすい箇所を改善したプラント」として、後者に対しては「機器に故障が生いても安全運航のできるプラント」として、その解決策を検討した。

表211 事故調査(46年度)累計(4)

機 器	事 故 種 類	事 故 の 加 害 部	回 答 内 容	停 船 時 間	考 え る 原 因	当 前 会 社 開 発 の プ ロ グ ラ ム 名 称	プ ロ グ ラ ム で 考 慮 さ れ て い る 理 由	備 考
	タービン異常振動	⑥ D	HPタービンに振動が発生しLP単独運転で帰港		省略(43年度報告書参照)	VB		
主	タービン軸受	⑥ D	HPタービン軸受上側焼損		省略(43年度報告書参照)	BR		
	減速装置	⑥ D ⑤	1. 軸受焼損 2. 歯車ピッチング		軸受型式および車室の構造	BR		
1	タービン羽根	③ ④	切損					
	主復水弁	⑥ A	1. 冷却管の腐蝕・破損(塩分の上昇) 2. 冷却管の汚損・閉塞(復水温度上昇・真空低下)		防蝕板不足			
ン	操縦保安装置(自動化装置を含む)	⑤ C	1. ダイアルコントロール装置作動不良(加圧の作動が重く、タービン電圧も乱調) 2. 前進スバル弁危険トリップ用および後進中間弁用電圧故障		操縦弁差動圧弁戻り位置不良			
	パッキン・蒸気系統	③	後進タービンスリーブ用電圧故障		耐振性・耐熱性・耐久性の不足			
		③	同上			同上		
		③	1. パッキン・蒸気圧力制御器精度不良 2. フランジからの漏洩		同上			

表2.11 事故調査(46年度)集計(24)

機 種	事故種類	事故の 対 応 順 号	回 答 内 容	船 停 時 間	考 え る る 原 因	当 分 料 名 称 の プ ロ テ ム 名 称	プ ロ テ ム 名 称 で 考 え ら れ て い な い 理 由	備 考
主 タ ー ビ ン	ドレン管系統	④	1. 溶接部フラック発生					
	抽 気 管 系 統	④	2. フランジ部からの漏洩					
		③	1. ドレンの逆流			耐振性、耐久性の不足		
		①	1. L.O温度調整器精度不良 回転数の低下(ハンド位置同一で 1段後および抽気点の圧力、温度 上昇)			ノズル羽根へのシリカ附着。 巡航前(建造)の缶給水管理の不 良および巡航後の缶給水管理、 特にSiO ₂ 対策の欠陥。		
主 ボ イ ラ	腐蝕および破孔		1. エイマイザシンの腐蝕および 破孔					
	蒸 気 缶 水 の 漏 洩	②	2. 過熱器ヘッパおよびチェー 腐蝕、破孔					
		⑤	1. 過熱器ヘッパのハンドホールパッキ 部からの漏洩(特に入渠工事 直後発生)					
	ガ ス エ ア ヒ ー タ	④	2. 過熱器ヘッパのドレン管溶接部 に亀裂					
		③	3. 安全弁取付フランジより漏洩					
		③	1. ロダ支持軸受フランジパッキン 漏洩(L.O)					
			③	2. ハバックスパッキン駆動装置用電磁 弁作動不良				

表2-11 事故調査(46年度)集計(3/4)

機巻	事故種類	事故の カテゴリー	回答内容	船舶 停時	考えうる原因	当料会所属の プログラム名称	プログラムで考慮 されている理由	備考
主ボイラ	ガスエアヒーター	④ B	3. ロータ駆動巻線の打線					
	バルブ数制御装置	③	1. 不 작동		サイリスタ不良			
	自動燃焼制御装置	③	2. バルブ操作用電磁弁疲労劣化		耐久性・耐熱性の不足			
		③②	1. 負荷変動に対する追従性不良		制御空気中のドレン(油・水)			
	煤吹巻	③	2. エアモータ回転不能		ゴミドレンおよび工作不良によるものであるが、高温部に設置されることに対する配慮が十分でない。			
その他			外部燃焼流達炉壁・炉管および過熱器・利離りにくい硬質のスケールが附着					
発電機	ターボ発電機		1. 調速器レバーピンのセットボルト脱落			B0		
	ディーゼル発電機		2. タービン船ではないが、調速器の歯車関係にトラブルが多発している。					
		自動電圧調整器		1. 吸気弁吹き抜け		吸気管のドレン・ゴミ		
			1. 不 작동		サイリスタ不良		B0	
給水ポンプ	浦 池	③	1. フラッドシール部からの漏洩					
	圧力自動調整器	③	1. 精度不良					

表2.11 事故調査(46年度)集計(94)

機 器	事 故 種 類	事 故 の 詳 細	回 答 内 容	停 船 時 間	考 え り う る 原 因	当 前 全 船 概 要 の 予 防 策	予 防 策 の 考 慮 理 由	備 考
熱 交 換 器 因 係	給水加熱器		管内面の浸蝕による破孔					
	デアレータ	③	1. 出口管の腐蝕、破孔 2. ベント管Y型パッキン部漏水 3. 水位調整弁レバーピンの切損脱着		パッキン不良 耐振性の不足			
制 御 討 表 関 係	制御用空気管系統	②	ドレン(油水)の発生		脱湿装置のドレン分離性能劣化			
	大気ドレンタンク水位調整弁	③	レバーピンの切損脱落		耐振性の不足	又空気槽の配置(空気槽は枕側壁下部に設ける方がよい)		
	蒸気圧力調整弁	③	指示不良 接点不良または焼損		耐久性の不足			
	排圧調整弁	③	指度不良		作動エヤー減圧弁ダイヤグラム不良			
	電子熱温度監視装置		作動不能		耐振性不足			
そ の 他	F097ン建隔油面計							
	各機器リレー							
そ の 他	シバーストバルブ部		滴水による乳化					
	M.S.式油水分離器		分離器本体表部の腐蝕					

2.1.3 故障の発生しやすい箇所を改善したプラント

23年度および24年度の事故調査によって明らかになった故障箇所のうち「プラント計画で解決すべき事故」のカテゴリーに入れられた項目について具体策を検討し、その結果を表2.1.2に示す。

表2.12 故障の発生しやすい箇所の改善策(1/2)

機 種	事故発生箇所	内 容	事故調 査年度	改 善 策	備 考
主 動 機	L.O管系統 (自動切換油濾器)	切換油濾器で光側を掃除中に自 然に切換り油ポンプに空気を吸 いた。	93	航海中は濾器のエアを吸入システムとする。	
	抽気管系統	1. 1-3段抽気弁(油圧駆動)より満油 発火 2. L.P抽気弁(フランジパッキンより蒸 気満室(給水加熱器の加熱管 破損による器内圧上昇に起因) 3. 1段抽気弁(パッキン)破損 4. ドレンの逆流。	93 96	1. 抽気弁は油圧駆動にせず、電動または空圧駆動とする。 2. 油圧機器を高温蒸気管の上部に置き、かからないようにする。 3. 給水加熱器管よりの漏れ管の振動に對する考慮を慎重におこなひ、 各部の熱変形や加熱管の振動に對する考慮を慎重におこなひ、 設計的に解決する以外にない。 4. ドレン板まは抽気弁の前で進行方向。	
	バーナ故障	FOストレーナのつまりで切換操作 誤操作によりFOカット	93	FOストレーナの自動化により誤操作防止	
	バーナ本数制御装置 自動燃焼制御装置 給水制御装置	1. 予作動(サリスタ子表) 2. バーナ操作用電磁弁疲労表耗 見負変動に對する追従性不良	96	1. バーナ本数制御は廃止し、ターンプテン比の大きいバーナを使用する。これに関連して FDFはインレットベーン制御の場合、ベーンの仕上がり精度を高めるか、または ライニング等を施し、リーク空気を減少させる。 2. ボイラの最低蒸気量を多くする。このために極く低負荷時には一部の蒸気 をあらかじめダンピング弁を通して復水器にダンピングする。 3. 蒸気量の急減を検出してダンピング弁を開き、ボイラの負荷変動速度を小さくする。 4. 水位変動に對しては、蒸気ドラムの径を大きくして許容水位変動を小さくする。 大きくするとともに水面面積を大きくして見かけの水位変動を小さくする。 このようにヘッダのハンドホール(またはガス圧の高い部分に設けるドアー等)は、 極力小さくする。例えは過熱器管は溶接付として、1つのヘッダに1〜2個の 検査孔を設けるよりボイラ構造とする(検査や掃除のためにドアーと ドアーを設ける場合には必要最少限にとどめる)	
主 機	過熱器ヘッダのハンド ホールパッキン部	漏洩	96		

表2.1.2 故障の発生しやすい箇所の改善策 (2/3)

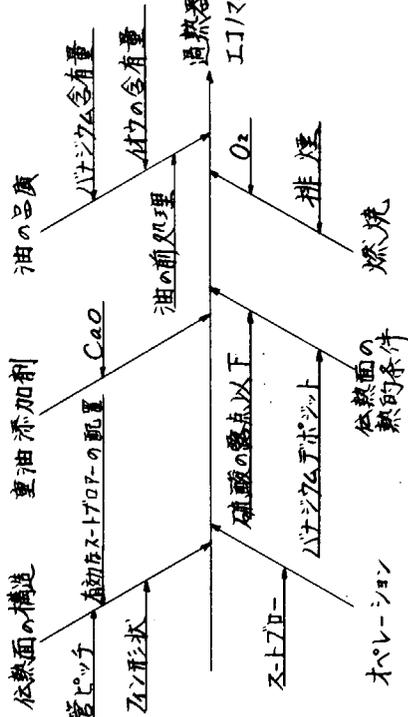
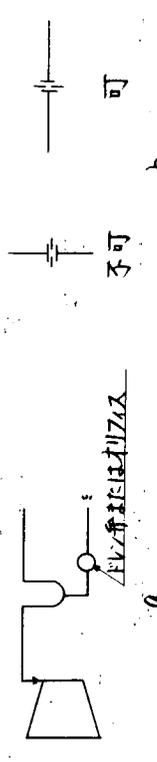
機 器	事故発生箇所	内 容	事故調査年度	改 善 策	備 考
主ボイラ	過熱器およびエコノマイザ 汚損		96	<p>ボイラに対しては低減重油を使用しないという以外には効果的な方法がない。プラントの改善によるコスト削減が期待される。その観点から、実船の報告を受け、要因と特性を定量的に表現する方法を定め、実船の同一形式の報告を受け、解析し効果的な方法を採ることとが考えられる。</p> 	プラントの改善によるコスト削減が期待される。その観点から、実船の報告を受け、解析し効果的な方法を採ることとが考えられる。
熱交換器関係	補助復水器	安全板破損原因 1. 低温脆化 2. 冷却海水管の水圧低下により冷却海水量が不足	93	特殊な例である。補助復水の海水温度上昇と監視することにより予防することができると考えられる。	

表2.1.2 故障の発生しやすい箇所の改善策(2/3)

機器	事故発生箇所	内容	事故調査年度	改善策	備考
その他	制御用空気管系統	制御空気中のドレン(油水)による 機器の誤作動およびパイプ の寿命減少。	96	1. オリスのコンプレッサを使用する。 2. 冷凍式の防湿装置を使用する。 3. 空気を枝園直下部に設け、制御空気管を立ち上げてドレン分離を良くした例がある。 4. 各機器の前において減圧弁の少量連続バコーする。	
補機	クーリング用蒸気配管	ドレンの防架および排除 (抽気駆動補機の切替時など)	96	1. クーリング入口で最終的にドレンを排除するために、蒸気管を下図aのようにU字型に曲げて、その下部にドレン弁またはオリスを設置する。 2. ドレン管中のオリスは垂直管に設けず、できるだけ水平管に設けること。(下図も参照) (垂直管の場合、ゴミにより閉塞する場合は多い)	
高圧蒸気管 給水管	漏洩原因	1. パッキン不良 2. 加工不良 3. 配管寸法精度不良	93	溶接継手を採用してフランジレスの配管とする。 	

2.1.4. 棧器に故障が生じて安全運航のできるプラント

主タービン、主ボイラおよびそれらの関連補機をはじめとして、棧器部の各棧器系統は船舶の安全な運航を確保するための多重化され、切換運転またはバイパス運転ができるよう計画されている。現在のプラントは現在の乗組員の能力を対象として計画されているが、電算機制御システムを導入したプラントは特に次の事を考慮して、少ない乗組員に適したプラントを計画する必要がある。

① 故障の発生した棧器を運転系統から切離すこと。

② 予備を持った棧器が故障した場合は、自動切換装置または電算機によって自動的に切換ること。

③ 予備を持たない棧器が故障した場合にも、安全に帰港できること。

下記に例を示す。

① 主タービン

HPタービンまたはLPタービンの単独運転に対しては、タービン継手の取りはずしが簡単にできる構造で、非常用の配管は予め施工しておき、バルブの開閉またはメガネフランジの取換えなどの操作をするだけで運転が行なえること。

② 主ボイラ

ボイラは2缶装備するが、ACCのマスター・コントローラは常用一系統の他に予備を設ける。

2.2 電算機システムのマン・マシン・コミュニケーション方式の検討

マン・マシン・コミュニケーションのうち基本的に最も重要なものとして、プラントよりのデータの信頼度を向上することが必要である。その一手段としての間接測定法について研究した。

2.2.1 間接測定法

従来、プラントの運転実績をみるとかなりの信頼性を持って運転されているが、これは優秀な運転員に負うところが大きい。従って計算機を導入した場合に従来以上の運転信頼性を向上させるとともに、熟練した運転員の手法も取り入れなければならない。その手法の一つの間接測定である。

運転員は各計器の指示値を全面的に信頼しているのではなく、いろいろな方法でチェックを行った上でプラントの状態量としている。例えばホイラドラム圧力は単にその圧力計で見るだけでなく、過熱器出口圧力に過熱器での圧力損失を加えたものと大体等しくなっているかどうかをチェックすること、などである。このようにある状態量を他の状態量と熱学的又は流体力学的法則等に基づいて推定する方法を間接測定法と呼ぶ。

この間接測定法により、ある検出器が故障した場合でも他の計測値から概略その値を推定することができる。又、ある状態量を検出する適当な検出器がないか、あっても非常に複雑な操作を要するかまたは高価である場合などに間接測定法が用いられる。例えば、給水の脱気状態を知るためにティアレージ出口温度が、器内圧力の飽和温度と等しくなっているかどうかをチェックすることが、これに相当する。

いくつかの主要な検出点について間接測定法をそれぞれ考えたが、その間接測定法は検出器のチェックのみに使い、それをもとに運転操作は行なわれないものとした。即ち、主要検出器により直接得た値をA、間接測定により得た値をB及びCとすると、

$$\begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} A = B \\ A = C \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} A = B \\ A \neq C \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} A \neq B \\ A = C \end{array} \right) \quad \text{の場合に } A: \text{正常} \\ \left(\begin{array}{l} A \neq B \\ A \neq C \end{array} \right) \quad \text{の場合に } A: \text{不良} \end{array}$$

ここでAが使えない場合にB=Cならば、B又はCを使用することはできるが、一般に間接測定は直接測定よりも精度が劣るので、個々の場合について、その使用の可否を考慮すべきである。

なお、各ポイントについて間接測定法を二つ用意するのが原則であるが、一つしかないものについては直接測定の検出器を二重装備して、全部で三個の値を比較するのが普通である。しかし、次のような場合には測定数を減らすこと

ができる。

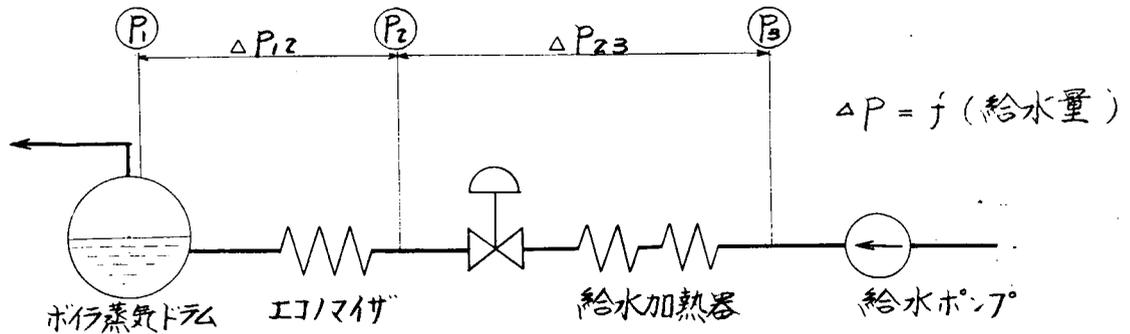


図 2.2.1. ボイラ給水系統

図 2.2.1 のようなボイラ給水系統の圧力の場合で考えると、圧力 P_2 は間接測定値として $P_1 + \Delta P_{12}$ 、及び $P_3 - \Delta P_{23}$ により前記の方法でチェックすることができる。これにより P_2 検出器が正常か不良かわかるが、同時に P_1 、 P_3 の各検出器もチェックしているのである。(ただし、 ΔP_{12} 、 ΔP_{23} を算出するための給水量は別途チェックされているものとする。)

従って、ある一つの系統上にある検出器間で間接測定を行う場合に、すべての検出器について各々二つ以上の間接測定法を作らないで、いくつかの代表点に間接測定値を二つ作り検出器のチェックをすることにより、他の検出器は代表点の検出器との関係からチェックすることができる。しかしこの場合には、一つの検出器が不良になると、それに関連するいくつかの検出器のチェックは出来なくなることになる。

2.2.2 間接測定の精度

データがプラントから計算機へ取り入れられる時には、図 2.2.2 のように検出器、入力線、入力装置を経ている。従って最終的に計算機へ入ったデータは、これらの誤差を累積している。

間接測定値は、このような誤差を含んだ、いくつかの値をもとに算出するために、さらに精度が落ちる。例えば、ドラム圧力の場合、仮に検出器から入力装置までの誤差を $\pm 1.5\%$ として試算したところ間接測定の場合、誤差が常用値と警報点との差以上になって使用に耐えないことがわかった。

この誤差を実用的な値にまで縮めるには、入力線のノイズを 0.1% のオーダに納めることが望ましい。以下に計算した間接測定精度では検出器以後の誤差を $\pm 0.5\%$ としてある。

なお、検出器の計測範囲としては、現用の検出器の範囲を採用したが、これを常用値付近に限定することにより、誤差の絶対値を更に減少させることができる。

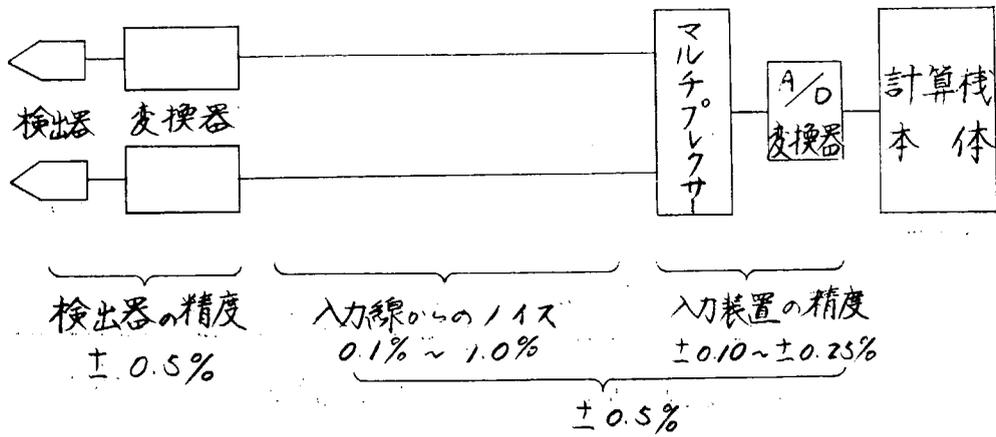


図2.22 データ取込み精度

2.2.3 計器の精度

間接測定法で直接測定 の値をチェックできる精度限界について、各検出器の精度をもとに検討した。検出器の精度については、JIS、日本船用工業会で規格があり、それに基づいている。

(1) SMA 080 (日本船用工業会)

船用データロガー-温度検出器の標準要求仕様

- (a) 船用白金測温抵抗体 (JIS C1604に準ず)
- | | | |
|------|--|---------------------------|
| 0.5級 | $\left\{ \begin{array}{l} -200^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C} \\ 100^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$ | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ |
| | | $\pm 0.5\%$ |
- (b) 船用C-A熱電対 (JIS C1602に準ず)
- | | | |
|-------|---|-------------------------|
| 0.75級 | $\left\{ \begin{array}{l} 0^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C} \\ 200^{\circ}\text{C} \text{ 以上} \end{array} \right.$ | $\pm 3^{\circ}\text{C}$ |
| | | $\pm 0.75\%$ |

(2) SMA 114

船用データロガーの標準仕様

(a) 測定精度

温度 フルスケールの $\pm (1\% + 1\text{ビット})$ 以下 ただし最小 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (熱電対でフルスケール 200°C 以下を測定する場合 $\pm 2^{\circ}\text{C}$)

その他 フルスケールの $\pm (1\% + 1\text{ビット})$ 以下
(検出器および変換器の誤差は含まない)

(b) 制御用計算機の精度 (例H1DIC100の場合)

(a) 標準状態における精度

	$-10 \sim 0 \sim 10\text{mV}$	$-5 \sim 0 \sim 5\text{V}$
入力レベル	$-1 \sim 0 \sim +1\text{V}$	$-10 \sim 0 \sim 10\text{V}$
誤差	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.10\%$

(b) 実運転における精度

標準状態での精度に種々の影響値を加算したものになる。入力線のノイズは精度を低下させる主要原因の一つで通常0.1%のオニタであるが、布線等に予備があると、1%以上になることがある。

2.2.4 間接測定をおこなう箇所

間接測定をする比較的重要な検出点として MO船のロギング項目を参考にして下記のものを選んだ。

タービン関係

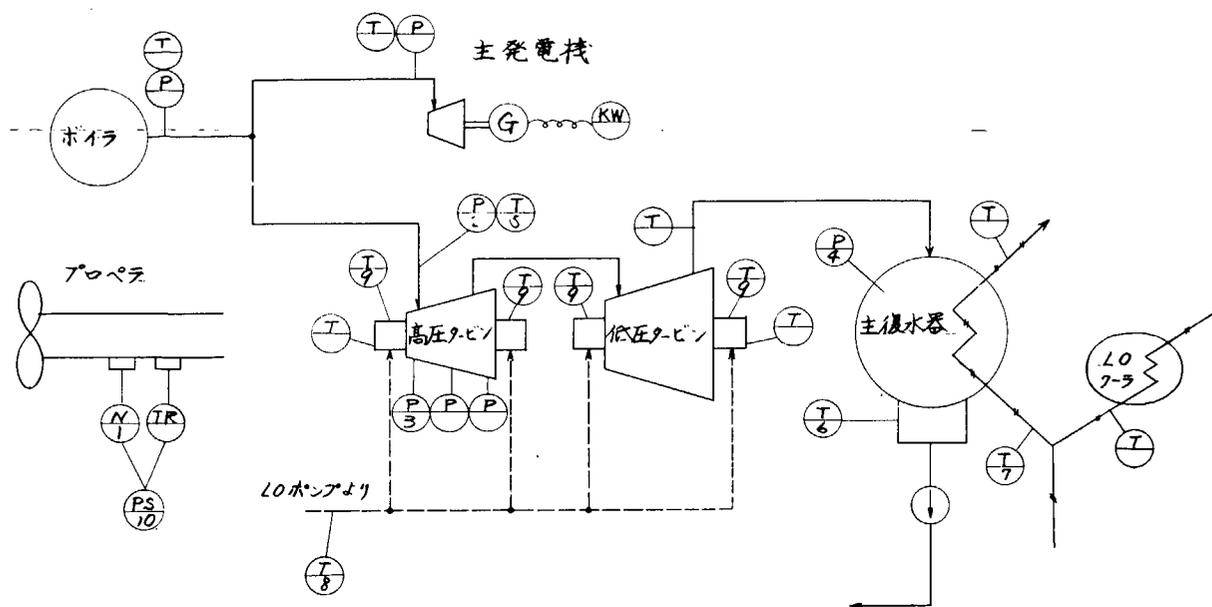
- (1) 主軸回転数
- (2) 主蒸気圧力
- (3) 高圧/段落圧力
- (4) 復水器真空
- (5) 主蒸気温度
- (6) 復水温度
- (7) 海水温度
- (8) L0主機入口温度
- (9) タービン軸受L0温度
- (10) 主機出力

ボイラ関係

- (1) ドラム圧力
- (2) FOヘッダ圧力
- (3) GAH出口ガス温度
- (4) GAH出口空気温度
- (5) FO温度
- (6) ディアレクタ出口温度
- (7) 給水温度
- (8) ボイラ水の消費量
- (9) FO消費量
- (10) ドラフト損失
- (11) ドラム水位
- (12) 復水塩分
- (13) 煙濃度
- (14) 給水ポンプ吐出圧力

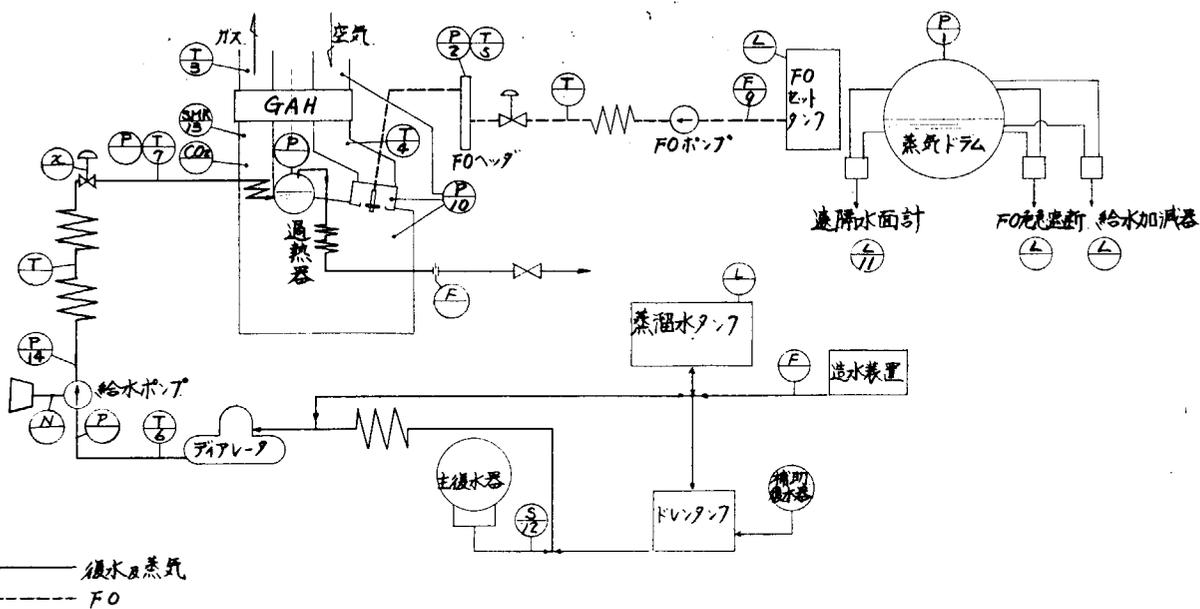
これらの計測点について、間接測定法を考えるに先立ち、まず各検出点の検出目的を考慮して、間接測定項目及び方法を表2.2.1のごとく見直して、夫々の目的に合うような間接測定法を検討した。

検討結果は表の右側に示すごとくになったが、ここで間接測定法が、一個しかないもの、または全くないものについては、直接測定の検出器を夫々二重または三重に装備することを考慮する。



- | | | |
|------------|-----------|----------|
| —— 蒸気及復水 | (N) 回転計 | (KW) 電力計 |
| - - - - LO | (TR) トルク計 | (→) ホンプ |
| (P) 圧力計 | (PS) 馬力計 | (→) 海水 |
| (T) 温度計 | | |

図2.2.2 タービン関係検出器取付箇所



- | | | |
|------------|---------|--|
| —— 復水及蒸気 | (L) 液面計 | (SHR) 検煙計 |
| - - - - FO | (F) 流量計 | (CO ₂) CO ₂ メータ |
| (P) 圧力計 | (N) 回転計 | (X) 変位計 |
| (T) 温度計 | | |
| (S) 検温計 | | |

図2.2.3 ボイラ関係検出器取付箇所

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主軸回転数 (1)	主軸回転数		0~±120 ^{R/M}	(90)		マイコン レベル	±1.5% FS
		主軸トルク	常用値の110%			トルク計	±1% FS
<p>(関係式) 主軸回転数 = $k \times (\text{主軸トルク})^{1/2}$</p> <p>注1) 前進直進静定状態時のみに適用する。</p> <p>2) 出力は常用の90%以上を想定する。</p> <p>3) 船体抵抗、海面状態、積荷状態などに対しては、別に補正を要する。</p> <p>4) トルク計は零点補正その他十分に保守を行うものとする。</p> <p>5) ()内の値は一例として下記精度算出に採用した。</p>							
直接測定精度	主軸回転数		検出器数式の誤差		検出器以後の誤差±0.5%	合計	
	主軸トルク		240 ^{R/M} × $\frac{\pm 1.5}{100} = \pm 3.6\%$		240 ^{R/M} × $\frac{\pm 0.5}{100} = 1.2\%$	±4.8 ^{R/M}	
間接測定精度			110% × (±1%) = ±1.1%		110% × (±0.5%) = ±0.55%	±0.8 ^{R/M}	
			90 ^{R/M} × $\frac{\pm 1.1}{100} \times \frac{1}{2} = \pm 0.5\%$		90 ^{R/M} × $\frac{\pm 0.55}{100} \times \frac{1}{2} = \pm 0.3\%$	±0.8 ^{R/M}	
			±4.8 ± 0.8 = ±5.6% (常用値に対して)				
間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主軸回転数 (2)	主軸回転数		0~±120 ^{R/M}	(90)		マイコン レベル	±1.5% FS
		積算回転数					
<p>(関係式) 主軸回転数 = $\frac{T}{T_0} \times (\text{積算回転計のパルス})$</p> <p>注1) T: 積算時間。電算機によりパルスを積算する。</p> <p>2) 精度は1回転当りのパルス数及び積算時間Tの選択による。</p>							

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主蒸気圧力 (1)	主蒸気圧力		0~100 ^{kg} /cm ²	59.8	Low 59	圧力発信器	±0.5% FS
		過熱器出口圧力	"	61.2	"	"	"
	高圧/段落圧力		0~70 ^{kg} /cm ²	{90}	"	"	"
(関係式) 主蒸気圧力 = 過熱器出口圧力 - C ₁ × (蒸気流量) ² 蒸気流量 = C ₃ × 高圧/段落圧力 (近似式誤差 約±5%と仮定) 注1) 高圧/段落からの抽気はないものとする。 2) { } 内の値は一例として下記精度算出に採用した。							
直接測定精度			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%		合計	
	主蒸気圧力		100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$	100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$		± 1.0 K	
	過熱器出口圧力		100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$	100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$		± 1.0 K	
	圧力損失		1.4 ^K × ($\frac{70K \pm 0.5}{90K} \pm \frac{\pm 0.5}{100}$) = ± 0.1	1.4 ^K × ($\frac{70K} \pm 0.5}{90K} \times \frac{\pm 0.5}{100}$) = 0		± 0.1 K	
間接測定精度			± 2.1 K				
間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主蒸気圧力 (2)	主蒸気圧力		0~100 ^{kg} /cm ²	59.8	Low 59	圧力発信器	±0.5% FS
		主発電機タービン蒸気入口圧力	"	59.8	"	"	"
		電力	{0~1500 ^{KW} }	{1200}	"	電力計	"
高圧/段落圧力		0~70 ^{kg} /cm ²	{90}	"	圧力発信器	"	
(関係式) 主蒸気圧力 = 主発電機タービン蒸気入口圧力 + C ₁ × (主発電機蒸気流量) ² - C ₂ × (主機蒸気流量) ² 主発電機蒸気流量 = C ₃ × 電力 (近似式誤差約±10%と仮定) 主機蒸気流量 = C ₄ × 高圧/段落圧力 (" 約±5%) 注1) 2) 上記注1) 2) と同一。 3) 主発電機は過熱器出口蒸気駆動							
直接測定精度			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%		合計	
	主蒸気圧力		100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$	100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$		± 1.0 K	
	主発電機蒸気入口圧力		100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$	100 ^K × $\frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5 K$		± 1.0 K	
	圧力損失		1.4 ^K × ($\frac{70K} \pm 0.5}{90K} \pm \frac{\pm 0.5}{100}$) + 1.4 ^K × ($\frac{1500KW} \pm 0.5}{1200KW}} \pm \frac{\pm 0.5}{100}$)	1.4 ^K × ($\frac{70K}}{90K}} \times \frac{\pm 0.5}{100}$ + $\frac{1500KW} \pm 0.5}{1200KW}} \times \frac{\pm 0.5}{100}$) = 0		± 0.2 K	
間接測定精度			± 2.2 K				

間接測定点	関係のある検出点		検 出 器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種 類	精 度
高圧1段落圧力	高圧1段落圧力		0~70 $\frac{kg}{cm^2}$	90		圧力発信器	$\pm 0.5\%FS$
		才1抽気点圧力	0~90 "	25		"	"
		才2抽気点圧力	0~15 $\frac{kg}{cm^2}$	6		"	"
(関係式)							
高圧1段落圧力 = $k_1 \times$ 才1抽気点圧力							
高圧1段落圧力 = $k_2 \times$ 才2抽気点圧力							
注1) 前進常用出力付近の正常抽気状態時のみに適用							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差 $\pm 0.5\%$	合 計		
直接測定精度	高圧1段落圧力		$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$\pm 0.7^k$		
	才1抽気点圧力		$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$\pm 0.7^k$		
	才2抽気点圧力		$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$70^k \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.35$	$\pm 0.7^k$		
間接測定精度	$\pm 1.4^k$						
間接測定点	関係のある検出点		検 出 器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種 類	精 度
海水温度	海水温度		0~100 $^{\circ}C$	29		测温抵抗体	$\pm 0.5^{\circ}C$
		L07-ラ入口温度	0~100 $^{\circ}C$	29		"	"
		復水器出口温度	0~100 $^{\circ}C$			"	"
(関係式) ① : 復水器入口海水温度 = L07-ラ 入口海水温度							
② : 復水器入口海水温度 = 復水器出口海水温度							
注 1) ②の関係式は主機起動前で復水器に海水を循環させた時点に用いる。							

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主復水器真空 (1)	主復水器真空		0~760 mmHg _v	722	LOW 650	圧力発信器	±0.5%FS
	復水温度		0~100°C	32.6		測温抵抗体	±0.5°C
<p>(関係式) 主復水器真空 = f(復水温度 + C)</p> <p>注1) f(x): 水の飽和温度と飽和圧力間の関係式。</p> <p>2) Cとして、主復水器内オバクルの運転実績値を使用する。 (計画値 0.5°C. 運転実績値からの誤差を±10%と仮定する)</p> <p>3) 計画点付近では f(x) ≒ 2 mmHg/°C</p>							
			検出器 数式の誤差	検出器以後の誤差0.5%		合計	
直接測定精度	主復水器真空		$760 \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3.8 \text{ mmHg}$	$760 \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3.8 \text{ mmHg}$		±7.6 mmHg	
	復水温度		±0.5°C	$100^\circ\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5^\circ\text{C}$			
	オバクル		$0.5^\circ\text{C} \times \frac{\pm 10}{100} = \pm 0.05^\circ\text{C}$	$0.5^\circ\text{C} \times \frac{\pm 10}{100} = 0$		±2.1 mmHg	
			$2 \frac{\text{mmHg}}{^\circ\text{C}} \times (\pm 0.5^\circ\text{C} \pm 0.05^\circ\text{C}) = \pm 1.1 \text{ mmHg}$	$2 \frac{\text{mmHg}}{^\circ\text{C}} \times (\pm 0.5^\circ\text{C}) = \pm 1 \text{ mmHg}$			
間接測定精度					±9.7 mmHg		
間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
主復水器真空 (2)	主復水器真空		0~760 mmHg	722	LOW 650	圧力発信器	±0.5%FS
		低圧排気室温度	0~300°C	33.1		測温抵抗体	
<p>(関係式) 主復水器真空 = f(低圧排気室温度)</p> <p>注1) f(x): 水の飽和温度と飽和圧力間の関係式</p> <p>2) 計画点付近では f(x) ≒ 2 mmHg/°C</p> <p>3) 前進出刀時のみに有効</p>							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差0.5%		合計	
直接測定精度	主復水器真空		$760 \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3.8 \text{ mmHg}$	$760 \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3.8 \text{ mmHg}$		±7.6 mmHg	
	低圧排気室温度		$300^\circ\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.5^\circ\text{C}$	$300^\circ\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.5^\circ\text{C}$			
			$2 \frac{\text{mmHg}}{^\circ\text{C}} \times (\pm 1.5^\circ\text{C}) = \pm 3 \text{ mmHg}$	$2 \frac{\text{mmHg}}{^\circ\text{C}} \times (\pm 1.5^\circ\text{C}) = \pm 3 \text{ mmHg}$		±6 mmHg	
間接測定精度					±13.6 mmHg		

間接測定点	関係のある検出点		検 出 器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種 類	精 度
主蒸気温度 (1)	主蒸気温度		0~600℃	510		熱電対	±0.75%FS
		過熱器出口温度	"	515		"	"
(関係式) 主蒸気温度 = 過熱器出口温度 - C 注) Cとして温度降下の運転実績値を使用する。 (計画値5℃、運転実績値からの変動誤差を±10%と仮定する)							
			検出器 数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%	合 計		
直接測定精度	主蒸気温度		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.75}{100} = \pm 4.5^{\circ}\text{C}$		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3^{\circ}\text{C}$	±7.5℃	
	過熱器出口温度		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.75}{100} = \pm 4.5^{\circ}\text{C}$		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3^{\circ}\text{C}$		
	温度降下		$5^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 10}{100} = \pm 0.5^{\circ}\text{C}$			±8℃	
間接測定精度						±15.5℃	
間接測定点	関係のある検出点		検 出 器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種 類	精 度
主蒸気温度 (2)	主蒸気温度		0~600℃	510		熱電対	±0.75%FS
		発電機タービン入口蒸気温度	0~600℃	510		"	"
(関係式) 主蒸気温度 = 発電機タービン入口蒸気温度 + C 注) Cは主機入口までの温度降下、発電機入口までの温度降下の差 (運転実績値からの変動誤差を±0.5℃と仮定する)							
			検出器 数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%	合 計		
直接測定精度	主蒸気温度		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.75}{100} = \pm 4.5^{\circ}\text{C}$		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3^{\circ}\text{C}$	±7.5℃	
	発電機入口温度		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.75}{100} = \pm 4.5^{\circ}\text{C}$		$600^{\circ}\text{C} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 3^{\circ}\text{C}$	±7.5℃	
	Cの変動誤差		±0.5℃			±0.5℃	
間接測定精度						±15.5℃	

間接測定点	関係のある検出点		検出点				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ドラム圧力 (1)	ドラム圧力		0~100 $\frac{kg}{cm^2}$	68	LOW 65	圧力発信器	$\pm 0.5\% FS$
		過熱器出口圧力	0~100 $\frac{kg}{cm^2}$	61.5	LOW 58	"	"
		蒸気流量	0~5 $m^3 H_2O$			差圧発信器	"
(関係式) ドラム圧力 = 過熱器出口圧力 + C_1 (蒸気流量) ²							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差 $\pm 0.5\%$	合計		
直接測定精度	ドラム圧力		$100K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5K$	$100K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5K$	$\pm 1.0K$		
	過熱器出口 圧力損失		$5K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.5K$	$5K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.5K$	$\pm 1.0K$		
			$5K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.5K$	$5K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.5K$	$\pm 0.1K$		
間接測定精度	$\pm 2.1K$						
間接測定点	関係のある検出点		検出点				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ドラム圧力 (2)	ドラム圧力		0~100 $\frac{kg}{cm^2}$	68	LOW 65	圧力発信器	$\pm 0.5\% FS$
		給水圧力	0~150 "			"	$\pm 0.5\% FS$
		給水流量 (蒸気流量)	0~5 $m^3 H_2O$			差圧発信器	$\pm 0.5\% FS$
(関係式) ドラム圧力 = 給水圧力 - C_2 (給水流量) ²							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差 $\pm 0.5\%$	合計		
直接測定精度	ドラム圧力		$100K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5K$	$100K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.5K$	$\pm 1.0K$		
	給水圧力		$150K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.75K$	$150K \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 0.75K$	$\pm 1.5K$		
	圧力損失		$1K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.01K$	$1K (\frac{\pm 0.5}{100} + \frac{\pm 0.5}{100}) = \pm 0.01K$	$\pm 0.02K$		
間接測定精度	$\pm 2.52K$						

間接測定点	関係のある検出器		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
FOヘッパ-圧力	FOヘッパ-圧力		0~70 ^{KPa}	8~40	LOW 7	圧力発信器	±0.5%FS
	FO消費量					パルス電機	±0.5%
		バナ本数				リミットスイッチ	
(関係式) FOヘッパ-圧力 = f _N (FO消費量) f _N : バナ噴射曲線							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%		合計	
直接測定精度	FOヘッパ-圧力		70 ^K × $\frac{±0.5}{100} = ±0.35K$	70 ^K × $\frac{±0.5}{100} = ±0.35K$		±0.7 ^K	
	FO消費量		±0.5%	±0.5%		±1.0%	
間接測定精度				$\frac{0.7KK} \sim \frac{0.7KK} = 0.0875 \sim 0.0175$			
			8.8% + 1.0% = 9.8% 1.8% + 1.0% = 2.8%		±2.8% ~ ±9.8%		
間接測定点	関係のある検出器		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
GAH出口 ガス温度	GAH出口 ガス温度		0~200℃	122~134	H 135 L 100		±0.5%FS
	GAH出口 空気温度		0~300℃	255			±0.5%FS
(関係式) GAH出口ガス温度 = GAH出口空気温度 - C Cは試運転時の実績をもとに決める。							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%		合計	
直接測定精度	GAH出口ガス温度		200℃ × $\frac{±0.5}{100} = ±1.0℃$	200℃ × $\frac{±0.5}{100} = ±1.0℃$		±2.0℃	
	、空気、		300℃ × $\frac{±0.5}{100} = ±1.5℃$	300℃ × $\frac{±0.5}{100} = ±1.5℃$		±3.0℃	
間接測定精度						±5.0℃	

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
FO温度 (バナ入口)	FO温度		0~200℃	120	H.133	測温抵抗体	±0.5%FS
		FO温度 (加熱器出口)	0~200℃	125	H.145		"

(関係式)

$$FO\text{温度} - FO\text{温度} - C$$

(バナ入口) (加熱器出口)

C = 5℃ 試運転時の実績により決める。

	検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%	合計
直接測定精度	バナ入口温度 $200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	$200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	±2.0℃
	加熱器出口温度 $200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	$200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	±2.0℃
間接測定精度			±4.0℃

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ティアV-7温度	ティアV-7温度		0~200℃	149.6		測温抵抗体	±0.5%FS
		高压給水加熱器 入口温度	0~200℃	150			"

(関係式)

$$\text{ティアV-7温度} = (\text{高压給水加熱器入口温度}) - C$$

Cは給水ポンプによる給水の温度上昇分

	検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%	合計
直接測定精度	ティアV-7温度 $200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	$200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	±2.0℃
	高压給水加熱器 入口温度 $200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	$200℃ \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 1.0℃$	±2.0℃
間接測定精度			±4.0℃

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
給水温度	給水温度		0~300℃	211	160	測温抵抗体	±0.5%FS
		最終段給水加熱器 入口給水温度	0~300℃	189.5			
(関係式)							
抽気運転中 ① 給水温度 = 最終段給水加熱器入口給水温度 + C ₁ ② 給水温度 = 最終段給水加熱器器内圧力の飽和温度 + C ₂ C ₁ : 給水加熱器による温度上昇 C ₂ : 給水加熱器の計画および運転モードによる温度差							
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%		合計	
直接測定精度 (①の場合)	給水温度 最終段給水加熱器 入口給水温度		300℃ × $\frac{±0.5}{100}$ = ±1.5℃	300℃ × $\frac{±0.5}{100}$ = ±1.5℃		±3.0℃	
			300℃ × $\frac{±0.5}{100}$ = ±1.5℃	300℃ × $\frac{±0.5}{100}$ = ±1.5℃		±3.0℃	
間接測定精度			±6.0℃				
間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ボイラ水の 消費量	ボイラ水の消費量	蒸溜水タンク レベル	3m			差圧検出器	±0.5%FS
		造水量				70-X-7	
(関係式)							
ボイラ水消費量 = 造水量 - 蒸溜水タンク断面積 × レベル変動分 精度は積算の時間のとり方によって異なる。適当な積算時間を実船計測に よって定める必要がある。							

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
FO消費量 (1)	FO消費量		0~999999 ^{x10⁶}			パルス発電機	±0.5%
	FOへの圧力	バナ本数	0~70 ^{kg/cm²}	8~70		圧力発信器	±0.5%FS
<p>(関係式)</p> $FO消費量 = g_N (FOへの圧力)$ <p>g_N: バナ噴射量曲線</p>							
間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
FO消費量 (2)	FO消費量		0~999999 ^{x10⁶}			パルス発電機	±0.5%
		FOへの圧力					
<p>(関係式)</p> $FO消費量 = (L_{n-1} - L_n) \times C_1$ <p>注1) L_{n-1}: 前回読込んだ圧力レベル 2) 積算時間は一日単位とする。 3) 船が定常運転中のみ適用する。</p>							

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ドラム水位 (1)	遠隔水面計		-350 ^{mm} ~+350 ^{mm}		+120	空気式	±0.5%FS
	FO充気遮断用水位		-350 ^{mm} ~+350 ^{mm}		-120		
		遠隔水面計				空電変換器	±0.5%FS
		水位信号	0.2~10 ^{kg/cm²}		+140		
	FO充気遮断用水位						
		水位信号	0.2~10 ^{kg/cm²}		-140		±0.5%FS

(関係式)

$$\text{遠隔水面計水位信号} = \text{FO充気遮断用水位信号}$$

検出器数式の誤差 検出器以後の誤差±0.5% 合計

直接測定精度	遠隔水面計用	700 ^{mm} × (±0.5/100 + ±0.5/100) = ±7 ^{mm}	700 ^{mm} × ±0.5/100 = ±3.5 ^{mm}	±10.5 ^{mm}
	FO充気遮断用	700 ^{mm} × (±0.5/100 + ±0.5/100) = ±7 ^{mm}	700 ^{mm} × ±0.5/100 = ±3.5 ^{mm}	±10.5 ^{mm}

間接測定精度

±21^{mm}

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ドラム水位 (2)	遠隔水面計		-350 ^{mm} ~+350 ^{mm}		+120	空気式	±0.5%FS
	給水加減器用水位		-350 ^{mm} ~+350 ^{mm}		-120		
		遠隔水面計				空電変換器	±0.5%FS
		水位信号	0.2~10 ^{kg/cm²}				
	給水加減器用						
		水位信号	0.2~10 ^{kg/cm²}				±0.5%FS

(関係式)

$$\text{遠隔水面計水位信号} = \text{給水加減器用水位信号}$$

検出器数式の誤差 検出器以後の誤差±0.5% 合計

直接測定精度	遠隔水面計用	700 ^{mm} × (±0.5/100 + ±0.5/100) = ±7 ^{mm}	700 ^{mm} × ±0.5/100 = ±3.5 ^{mm}	±10.5 ^{mm}
	給水加減器用	700 ^{mm} × (±0.5/100 + ±0.5/100) = ±7 ^{mm}	700 ^{mm} × ±0.5/100 = ±3.5 ^{mm}	±10.5 ^{mm}

間接測定精度

±21^{mm}

間接測定点	関係のある検出点		検出器			種類	精度
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点		
煙濃度	煙濃度	CO ₂ 量				電気式	CO ₂ X-9
(関係式)							
CO ₂ (%) = C ± α							
C: 計量 CO ₂ 量							

間接測定点	関係のある検出点		検出器			種類	精度
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点		
給水ポンプ 吐出圧力	給水ポンプ 吐出圧力	給水流量	0~150 kg/min	80	70 ^{LOW}	圧力発信器	±0.5% FS
		(蒸気流量)	0~5 m ³ /h			差圧発信器	"
		給水圧力	0~150 kg/cm ²			圧力発信器	"
		給水加減弁開度				変位発信器	"
(関係式)							
① 給水ポンプ吐出圧 = 給水圧力 + C ₁ (給水流量) ²							
+ f ₁ (給水加減弁開度, (給水流量) ²)							
② 給水ポンプ吐出圧 = f ₂ (給水ポンプの回転数, 給水量) + 給水ポンプ入口圧力							
f ₂ : 給水ポンプのQH特性							
検出器教式の誤差 検出器以後の誤差 ±0.5% 合計							
直接測定精度 (①の場合)	給水ポンプ吐出圧	150 kg × $\frac{\pm 0.5}{100}$ = ±0.75 kg	150 kg × $\frac{\pm 0.5}{100}$ = ±0.75 kg	±1.5 kg			
	圧力損失	5 kg × ($\frac{\pm 0.5}{100}$ + $\frac{\pm 0.5}{100}$) = ±0.05 kg	5 kg × ($\frac{\pm 0.5}{100}$ + $\frac{\pm 0.5}{100}$) = ±0.05 kg	±0.1 kg			
	給水圧力	150 kg × $\frac{\pm 0.5}{100}$ = ±0.75 kg	150 kg × $\frac{\pm 0.5}{100}$ = ±0.75 kg	±1.5 kg			
	加減弁の圧力損失	2 kg × ($\frac{\pm 0.5}{100}$ + $\frac{\pm 0.5}{100}$) = ±0.02 kg	2 kg × ($\frac{\pm 0.5}{100}$ + $\frac{\pm 0.5}{100}$) = ±0.02 kg	±0.04 kg			
間接測定精度							±3.14 kg

間接測定点	関係のある検出点		検出器				
	主要検出点	補助検出点	計測範囲	常用値	警報点	種類	精度
ドラフト損失	ホイラ風箱		0~400 ^{mmAg}			差圧発信器	±0.5%FS
	ホイラ炉内		0~400 ^{mmAg}			"	±0.5%FS
	GAH空気入口		0~1000 ^{mmAg}			"	±0.5%FS
	FO消費量					パルス発信機	±0.5%
(関係式) $\Delta P_1 = (\text{GAH入口空気圧}) - (\text{ホイラ風箱内圧})$ ----- ① $\Delta P_2 = (\text{ホイラ風箱内圧}) - (\text{ホイラ炉内圧})$ ----- ② $\Delta P_1 \approx C_1 \times (\text{FO消費量})^2$ $\Delta P_2 \approx C_2 \times (\text{FO消費量})^2$							C_1, C_2 はバーナ本数によつて異なる。
			検出器数式の誤差	検出器以後の誤差±0.5%	合計		
直接測定精度	ホイラ風箱		$400^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 2^{\text{mmAg}}$		$400^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 2^{\text{mmAg}}$		±4 mmAg
	ホイラ炉内		$400^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 2^{\text{mmAg}}$		$400^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 2^{\text{mmAg}}$		±4 mmAg
	GAH空気入口		$1000^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 5^{\text{mmAg}}$		$1000^{\text{mmAg}} \times \frac{\pm 0.5}{100} = \pm 5^{\text{mmAg}}$		±10 mmAg
間接測定精度	①						±14 mmAg
	②						±8 mmAg

2.3 電算機システムの自己診断、自己修復等の検討

電算機システムの信頼性を向上させるための対策の一つとして、自己診断、自己修復などが、かなりの程度まで研究されつつあり、電算機サイドですでに実行されているものも多い。そこで本ワーキンググループに下記の2氏の御出席を願い、電算機メーカーの立場から「電算機システムの自己診断、自己修復」に関して講演をしていただいた。

(講師) 日立製作所、日立研究所 坂東忠秋氏

(講師) 三菱電機、鎌倉製作所 曾我正和氏

そのあと電算機システムの自己診断、自己修復を含めた信頼性一般についての討議が行われ、電算機制御を採用する場合、プラントメーカー、ユーザー、電算機メーカー共に下記諸点に特に留意する必要があることがわかった。

1. 電算機本体の自己診断を行うには、余分なハードウェアが追加となる場合が多く、特に小型電算機の場合は負担が大きく、船用のような中小型電算機の場合は現実的でない。むしろ分解能を多少犠牲にしてもシンプルなものとし、二重装備などで信頼性を上げる方が効率的である。
2. 故障の場合はその状態の保存および故障データ集収を行ない、故障箇所発見を早めるなどの対策を考慮すべきである。
3. 当初からメンテナンスパネルなどを装備しておくこと、イニシャルコストは高くなるが、電算機システムの保守が完全に行ない易くなり稼働率が向上する。
4. 船用の悪環境を考えると、各素子を選定する場合、素子の特性が少々変化しても差支えな程、十分な余裕をとっておく必要がある。
5. 初期故障を考慮し、素子のエイジングは十分に行ない、しておく必要がある。

2.3.1 電算機の信頼性および保守に関する技術調査

(講師 日製 坂東氏)

一般にプロセス制御などのオンラインシステムにおいて、電算機が故障を起した場合、生産の停止あるいはここまで到らなくても生産の減少をきたすこととなる。またもっと厳しいケースでは、電算機の故障による誤出力やデータの紛失のために、生産設備に悪影響を与えたり、人命に影響を及ぼして会社の信用問題となる場合も生じる。

このようにオンラインシステムにおいて電算機が故障すると大きな影響を

反ほすので、電算機をオンラインシステムに導入する場合、システムの信頼性と故障を起した場合の対策について十分検討しておく必要がある。

一般に電算機システムの信頼性および保守性を向上させるための技術として

- (1) 冗長構成技術
- (2) 診断技術
- (3) 耐環境性技術

の3種があり、これらは電算機の規模、オンラインシステムの性格などによって異なった技術が用いられている。ここでは上記3項目に関する技術を概説する。

(1) 冗長構成技術

オンラインシステムを構成する場合に、重要な部分、故障が起り易い部分等を2重化することによってシステム全体の信頼性向上を図るもので、デュアルシステム、デュプレックスシステム、スタンバイシステム、さらに大形の電算機ではマルチプロセッサシステム等が用いられている。

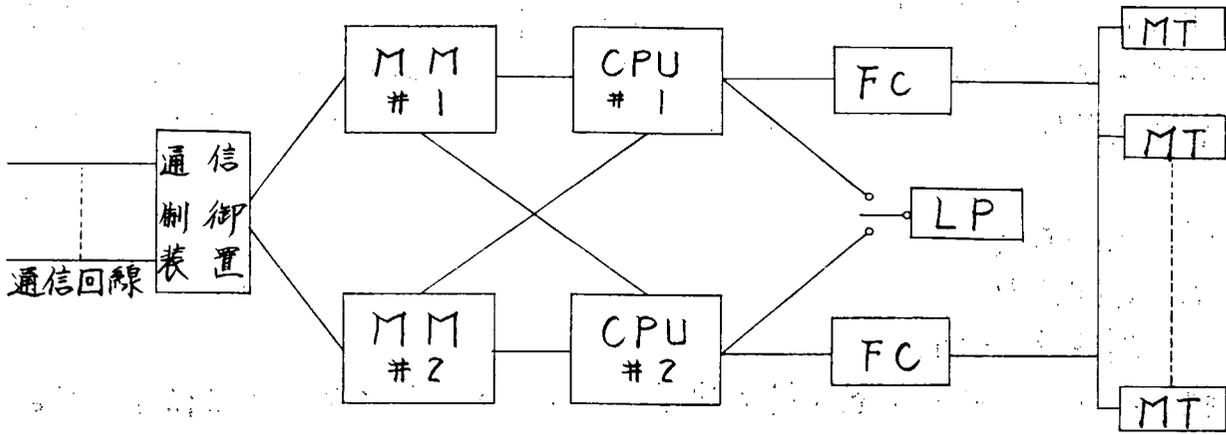
(a) デュアルシステム

デュアルシステムとは2台の電算機で同一処理を実行し、結果を比較して一致している時に出力するシステムである。デュアルシステムの例としては、国内においても国鉄の「MARS」、COMTRAC、NHKの「TOPICS」、横河の「YODIC-600」等の例があり、特に結果を比較することによって達成できる「データの信頼性」を要求されるシステムに適用されている。

図2.3.1に「MARS」の構成図を示す。これは処理装置、周辺機器とも2重になっている例であり、ファイルデータの信頼性を重視しているものである。

プロセス制御においては、プロセス入出力装置まで含めて二重化する場合と、処理装置のみ二重化する場合と二通りのケースがあるが、これらは故障した時の影響度と、経済性のトレードオフで決定される。

このようなデュアルシステムでは、MTBFが単一系の場合の10倍以上、出力している方の系が故障した場合の切換時間数秒以下となっている。



MM: メインメモリ
 CPU: 中央処理装置
 FC: ファイル制御装置
 LP: ラインプリンタ
 MT: 磁気テープ

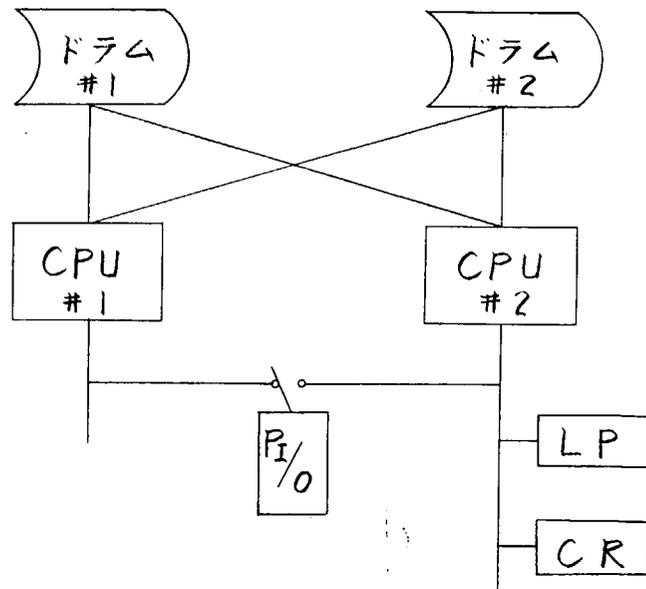
図 2.3.1. デュアルシステム「MARS」の構成

(b) デュプレックスシステム

デュアルシステムの場合は、二台の電算機で同一処理を実行させるため処理能力という観点で見れば二台の電算機で二台分の処理しか実行できない（実際には比較照合を行ったりするためにさらに処理能力が低下する）ので、パフォーマンス/コストが悪く、信頼性、特にデータの信頼性や切替時の処理の連続性を重視するシステム以外では余り使われていない。これに対してデュプレックスシステムでは、一方の電算機でオンラインの業務を行ない、他方の電算機でプログラムの作成や給与計算等オフラインの業務を実行する。

図 2.3.2 はプロセス制御におけるデュプレックスシステムの構成例である。ここで両電算機共正常の場合は #1 でオンライン業務を実行し、PI/O を介してプラントと入出力を実行している。一方 #2 は CR, L/P などを用いてプログラム作成などのオフライン業務を実行している。ここで #1 が故障を起した場合 #2 がトランムデータを用いてリスタート処理を実行し #1 の処理をひきつぐ。

このデュプレックスシステムは、データの信頼性、処理の連続性などに厳しい要求のない分野で、電算機の空時間を有効に利用したシステムで一般に広く用いられている。



CPU: 処理装置

LP: ラインプリンタ

P/I/O: プロセス入出力装置

CR: カードリーダー

図2.3.2. デュプレックスシステム構成例

(c) スタンバイシステム

これは待機予備システムであり、一方の電算機がオンライン業務を行っているのに対し、他方の電算機は何もしないで主系に故障が起きた時に始めて利用されるものである。これは一見電算機一台が完全に遊んでいることで無駄のように思われるが、次のような理由で採用されるものである。

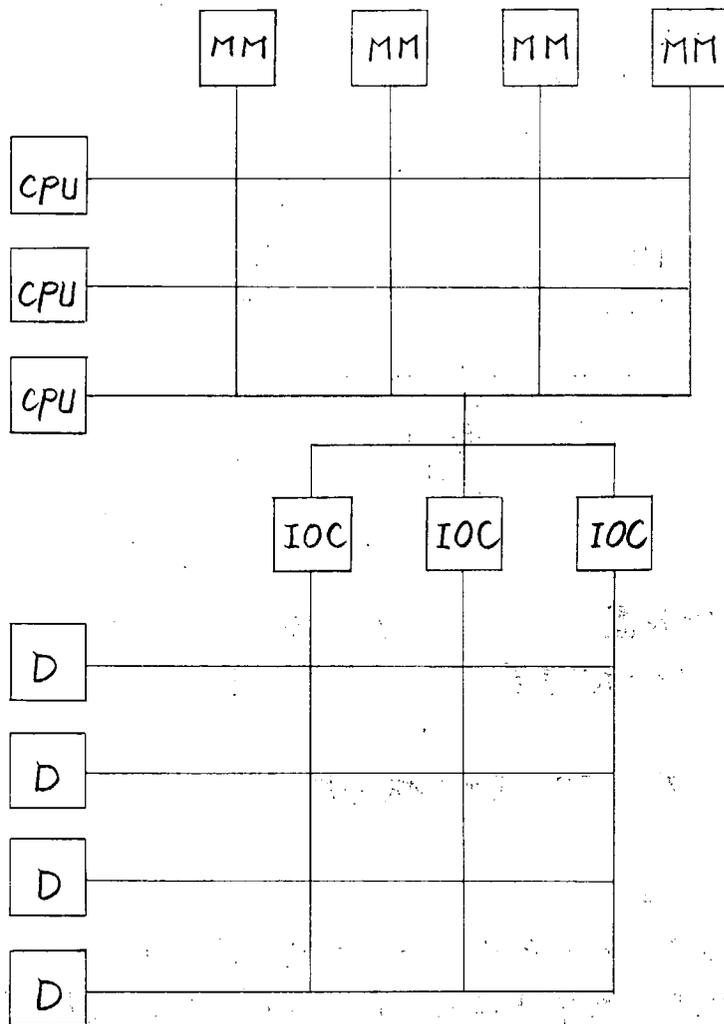
(i) 制御用電算機は比較的小形のものが多く二台設置しても大きな負担とならないようになってきている。

(ii) デュプレックスシステムにするには高価な入出力装置(LP、CRなど)が必要である。

(iii) デュアルシステムはソフトウェア構成が複雑になる。

(d) マルチプロセッサシステム

比較的大形の電算機では、信頼性を向上させるためにマルチプロセッサシステムが構成される。このシステムは図2.3.3のように処理装置、メインメモリ、入出力制御装置、入出力装置などがそれぞれ複数用意されていて、これらが多角的に構成されており、各装置の接続は全て単独に切り替えられるようになっている。このために障害が起きた時には故障部分を切離し、残りの部分を有機的に結合することによって、フォールバックモード(システムの機能を多少下げた状態での運転)の運転が可能である。



CPU : 処理装置 IOC : 入出力制御装置
 MM : メインメモリ D : 入出力装置

図 2.3.3 Burroughs D 825 マルチプロセッサシステム

以上、デュアル、デュプレックス、スタンドバイ、マルチプロセッサと程度の差はあるが冗長構成における共通な技術として、

- (a) 構成要素のエラー検出 (パリティエラー、プロテクトエラー、インバリッドエラー等)。
- (b) 故障部分の切離し。
- (c) 切替、代替の指定、データの経路変更など。
- (d) 切替中のデータ紛失、重複処理をなくするための制御。
- (e) 修理が終了した時にもとの状態にもどすための制御。

などがある。

- (e) 入出力装置の二重化

電算機と周辺装置（磁気テープ、ディスク、タイプライタ、紙テープリーダ、カードリーダ等）を比較すると後者の故障する確率の方がずっと高い。しかも磁気テープ、ディスク等には重要なデータが蓄積されていることが多い。これらが故障した時には復旧に長時間を要することになる。このためにこれらの装置は二重化し、データを書込む時には必ず両方を書換えるようにする手段や、一定時間毎にデータをダンプしておき、故障の際はこのダンプされたデータをもとに回復処理を行う手段などが用いられている。またタイプライタ、紙テープ、カードリーダ等は代替機を予備としておいておく手段や、カードリーダの代用としてテープリーダを使うなどのデバイスの切替手段が用いられる。

(2) 診断技術

診断プログラムには、オンラインで業務を実施中にランさせるオンライン診断プログラムと、故障が起った時に故障箇所を追求するためのオフライン診断プログラムがある。前者は各装置の機能をチェックするためのもので、ハードウェアのみではチェックできない機能のチェックを行うものである。また後者は保守時間を短縮するため故障箇所をローカライズするのに用いられている。ここでは上記オンライン診断プログラムとオフライン診断プログラムとしてどんなものが使われているか、また制御用の比較的小形の電算機についてどんな手段が用意されているかの説明する。

(a) オンライン診断プログラム

通常のオンライン業務を実施中にランさせるため優先度の低いタスクとして、処理装置や入出力装置の診断を行なう。処理装置、メインメモリにはパリティエラー検出回路等が用意されているが、オンライン診断プログラムではこれらのハードウェアエラー検出回路でチェックできない故障を検出する目的で使われる。特に二台以上の処理装置を含む冗長構成システムでは、処理装置間で互いに一定周期毎に割込をかけて応答を受取り、他系が正常に動作しているか否かの監視（レスポンスチェック）や、デュアルシステムでは比較照合結果が不一致の時には両系で四則演算を含む診断を実行している。

オンライン診断プログラムは故障箇所を細かくローカライズする機能はなく、処理装置、メインメモリ、入出力装置のどれかという程度の精度で故障の分離をおこなう。またハードウェアエラー検出回路でも、処理装置、メインメモリ、入出力装置、ソフトウェアエラー等の分離をする手段が用意されており、これらのデータを用いて保守時間の短縮が可能である。

(b) オフライン診断プログラム

電算機が大形化すると故障が起った場合に故障箇所を追求することが非

常に困難なことになる。従ってオフライン診断プログラムを使用して故障箇所をパッケージ単位までつきとめる。このような診断プログラムの代表的な例としてはIBM-360の「FLT」、電子交換器「DEX-2」の障害診断プログラムなどがある。

診断プログラムの構成法には、幾つかの方法があるが、要約すればテストプログラムをランさせた結果と診断辞書との比較を行ない、比較パターンと故障箇所の対応づけを行うものである。これらの診断プログラムをランさせるためには診断辞書を入れるための大容量ファイルが必要なため大形電算機にしか使われていない。

オフライン診断プログラムは、故障箇所をローカライズすることによって保守時間の短縮を図るものであるが、制御用小形電算機には上記の理由のため使用されていない。小形電算機はプリント板の枚数も少ないため、ハードウェアエラー検出回路やオンライン診断プログラムで大まかな分割ができていればプリント板を交換する方が修理時間が短くなる。この時に、故障がとり除かれたことを確認するためにテスト・アンド・メンテナンスプログラム (Test and Maintenance) が使われる。これはオンライン診断プログラムの性格に近いものであるが、もう少し詳細に各部の機能をチェックするのである。

(3) 耐環境性技術

現在電算機の環境条件は大別して三種類に分割される。これらは事務用、制御用、航空宇宙用でありそれぞれの環境条件は、温度をとってみれば凡そ $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、 $-50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ となっている。航空宇宙用は現在国内においては例が少いが米国では軍需のために多く見受けられる。これらは事務用あるいは制御用のものに実装上の工夫を施し、温度、湿度、振動に対して耐久性を増しMIL規格を満足するようにしたものである(例、DEC社「PDP-11R」、DATA GENERAL社「NOVA」)。これらのMTBFは一般のミニコンが3000~4000 hourであるのに対して1万hour程度を達成している。船舶に対しては、現在では航空宇宙用電算機はそのまま用いられているものが多い。

2.3.2 電算機システムの自己診断と自己修復(現状の一端)

(講師 三電 曾我氏)

まえがき

電算機システムはその規模にもよるが、一般に数千~数十万箇に及ぶ非常に多数の電子部品を内蔵しており、その周辺装置には同様に多数の小さな電磁機械部品が詰め込まれている。更に又、システムが扱う情報の形は、非常に高速のデジタル信号が主であり、音声信号や画像信号と異なって一瞬の乱れがあってもデータ誤りとなってしまう。この故に、電算機にはその誕生以来常に信頼性の問題が付きまわってきた。しかしここ数年、主として集積回路の発達と診断技術冗長構成技術の発達とによって、宇宙船に搭載される電算機も出現するに至った。ここでは後者(診断、冗長構成関係)についての現状の一端をのべる。

(1) 電算機で発生する障害

(a) 時期別分類

電算機が実用される期間は図2.3.4のⅡの期間内である。

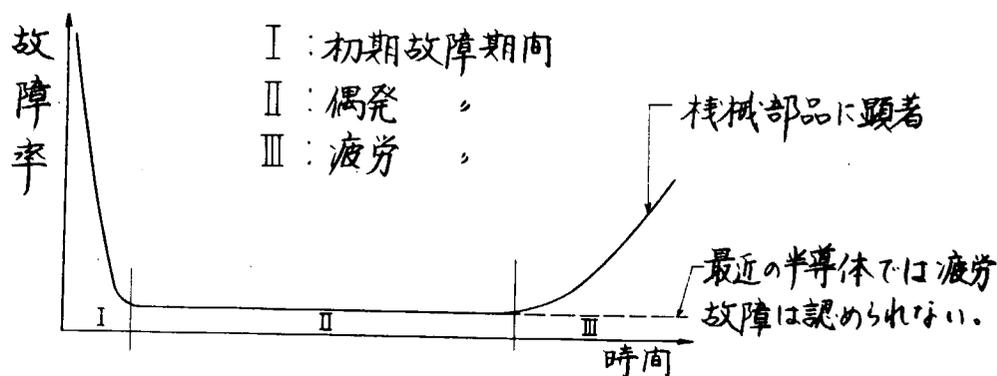


図2.3.4 部品の故障率の時間推移

(b) 現象別分類

(i) 固定故障 (Solid Failure)

一旦発生した故障がそのまま持続する場合を云う。

(ii) 一時故障 (Intermittent Failure)

一旦発生した故障がごく短時間のうちに自然復旧する場合を云う。

一般に故障と云うと前者の形を連想しがちであるが、特に微少信号を起高速で扱う電算機の場合、後者の実例が大まかに占めて半分以上を占める。一時故障の原因には、古くからは外来ノイズが考えられていたが、ノイズを完全に遮断しても、内部の部品障害からこれが発生する。一例をあげると集積回路内部のボンディングのはずれのみの場合、何かの偶然によって

非常に短時間、「断」となるが、すぐ自然復旧する。周囲環境の振動や熱サイクル、等に加って数度同様の障害をひき起した後、前者の固定故障となる。

(c) 原因別分類

(i) ハードウェア障害

(ii) 予想外の外乱

(iii) ソフトウェア障害

非常に特異なケースにおけるプログラムの誤りがデバグされずに内蔵されている場合に起る。プログラムの辿りうるあらゆるケースを尽してデバグする事は複雑巨大なシステムになると非常に困難となり、シミュレータによるデバグが不可欠となる。

(iv) 誤操作

特にシステムの運転初期に多いが、慣れれば完全に「零」になると考えるのは早計である。(人間は誤りを起し易い)

この意味で制御用システムには、可能な限りの誤操作防止機構が必要である。

(d) MTBF (Mean Time Between Failures) と MTTTR (Mean Time To Repair) から見た分類

• CPU、チャネル、メモリ等の本体関係はMTBFが長い、一回障害を起すとMTTTRに時間をとられる傾向がある。自己診断が要求される理由もここにある。

• 入出力機械類の障害は、全障害件数の大部分を占め、従ってMTBFも本体より短い、MTTTRも又比較的短い。

(2) 障害の検知

電算機の故障診断/修理システムにおいて最も重要なポイントは、運転中に発生した障害の検知とその表示である。極端な例を考えると、

• 障害検知能力が全く備っていない電算機では、システム運転上致命的な誤り出力を与え、人間の気付いて後やっと停止することとなり、診断能力を云々する以前の問題である。

• 障害検知能力が非常にきめ細かく完備して、プリント板パッケージの一枚単位で障害検知及び表示を行なったとすると、それ以上の診断機能は実用上なくても差しつかえない。(スペアパーツの単位がパッケージである場合)

という具合になり、検知と診断とは切離せない密接な関係にある。

一般には、上記の後者の例ほどきめ細かく検知回路を装備することは、非常に大きなコストアップを招くので、ややゆるやかな検知回路網と、これを

補う診断ルーチンとの組合せで実施している。

検知回路のきめ細かさを云々する場合、「分解能」と云う言葉が使われる。すなわち、検知回路がきめ細かい程分解能が高いという。分解能を云う場合、

- 時間的分解能
- 場所的分解能

とに分け、前者は故障がいっ起ったか、後者はどこで起ったかに関する分解能を云う。

最近の電算機では、これらの分解能を更に向上せしめ診断をやり易くするため『障害を検知した時点より過去に遡ったヒストリカルデータ』を表示できる。

障害の検知が診断ルーチンの充実以前に（それ以上に）重要な理由がもう一つある。それは(1)項(b)に記述した一時故障の存在の爲である。何故ならば診断プログラムは、それが走行するとき、目的とする故障が存続していてくれないと役をなさない。この場合一時故障を起した元凶を摘出し、次回の一時的故障を未然に防ぐには、検知回路の分解能に頼るしかない。

(3) 障害検知後の処理

障害を検知したあとのシステムのふるまいは、個々のシステムの使命の重要度、規模、保守方針によってそれぞれ異なるが、ごく一般的な中規模の一重システムの本体部で障害が検知された場合は図2.3.5のようになるであろう。

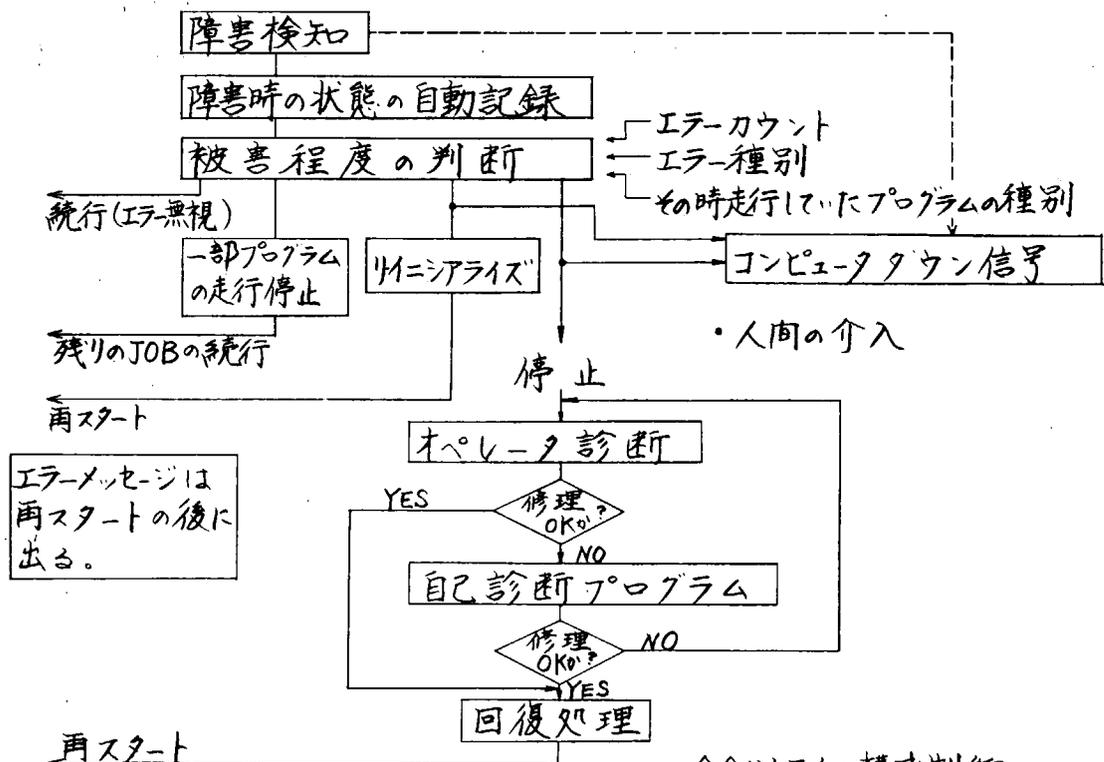


図2.3.5. 障害処理フローの一例 (命令リタイア構成制御) (は含まないシステムの例)

(a) 障害時の状態の自動記録

前述の検知分解能を落さない為にも、自動記録は、まずハードウェアにより障害検知時点の電算機の内部状態を凍結し、これを所定のメモリエリアへ記録する必要がある。このあとプログラムで更に捕らうこともある。

(b) 被害程度の判断

一般に制御用計算機システムでは、内部障害が発生してもその被害をできるだけ一部分に限定し、システムの運行を続行する方が望しい。この要求に沿うために、スーパーバイザプログラムは上述の記録データをもとにどのべき処置を判断することを試みる。判断の基準はその電算機の構造やそのシステムの運用形態による。

電算機をダウンすることなくJOBの続行に成功した場合でも、障害の原因は依然存在（又は一時故障の場合はみかけ上無くなっているが内在している）しており、これを取り除くことは次の保守時間に実施せねばならない。これを『後廻し保守』という。

(c) 一部の機能の削除 (Fall-Back) (Fail-Soft)

障害が発見されたときに走っていたプログラムの追出しや、障害を起したメモリバンクとか入出力機器の切り離しがこの例である。

切り離されたハードウェアはシステムの運行に支障を与えずに、故障修理ができ、再びシステムに投入しうることを望ましい。

(d) 診断プログラム

一般には、図2.3.5に示すように、電算機が走行不可能な固定障害を起してダウンしたときに使用される。（これとは別にオンライン状態で健康診断的に使うものもある。ペリオディカル・ヘルス・チェックと呼ばれる）

診断プログラムは障害部位を指摘し、MTTRを短縮するのに大きな効果があるが現状では次のような限界がある。

(i) 図2.3.5にも示すように、まず人間（オペレータ）が診断する必要がある。すなわち完全な無人診断システムはまだ現実的でない。ここで人間が行う診断は簡単なアラーム点検（環境異常、電源異常、フロップ異常等）の程度である。

(ii) 上記(i)の障害の他にも、診断プログラム自体を電算機内へロードしえない障害が多い。これの対策としては、診断プログラム用の専用ロードチャンネルをハードウェアで用意したり、診断プログラム用の小さな独立CPUを内蔵したりすることがある。（大型機）

(iii) 故障点指摘をきめ細かくやろうとすると、テストデータを内部フリップフロップに直接与えてやった後動作テストする必要がある。この為一般の遡算動作には不要なハードウェアを予じめ組込んでおく必要がある。

(IV) 診断プログラム(含テストデータ)はやはり膨大なステップとなり小規模なシステムでは、そのプログラムの記憶媒体に困る。(磁気テープ、磁気ディスクパック、等が必要)

(V) 一時故障の原因追及には役立たぬ。

以上の問題を避ける為、小型~中型機では次のような手続を講じている。

(i) 実装単位でありかつスペアパーツの単位となっているプリント板パッケージを大型化し、故障点指摘の負担をうんと軽くする。

(ii) 故障検知の分解能を上げる。

(iii) ROM (Read Only Memory) のコントロールによって診断しにくいコントロールロジックを簡素化すると共に、ROMの中に診断用のルーチンを装備する。

(4) 自己修復について(その現状と適用上の制約)

自己修復と云う言葉を顔面通りにとって、電算機が自動的に障害原因を修理し回復することだとすると、ここまでは現在まだ達していない。

現状では、予じめ何らかの冗長構成を準備しておき、それで障害を外見上カバーするか、もしくは障害が自然回復することを期待して再試行する方式である。

(a) エラーコレクションコード

大容量コアメモリ(マスメモリ)や最近使われはじめたICメモリに多い。情報ビットに加えて幾らかの冗長ビットを予め装備しておき、この冗長ビットにシングルエラー、コレクト可能な特殊コード(ハミングコード)を記憶させる。殆どの制御用電算機は16ビット中のメインメモリを持っているが、この場合、6ビットの冗長ビットを要するので、コストアップの問題が大きい。

(b) 再構成(或いは構成制御)

(i) 障害部分を切り離し、使用しない方式。(片時飛行的な逃げ方)

この方式を真に有効ならしめる為には、システムの構成要素をなるべく小型多数のちたちにしておく必要がある。(一箇の大きなCPUよりも数箇の小さなCPUがload shareする方式)

(ii) 障害部分を予め用意しておいた待機系に切り替える方式。

待機系の有効利用(例えばバッチ処理)をやらないとコストアップが問題となる。

(c) 再試行

磁気テープや磁気ドラムのような非破壊読出し型の装置でのデータエラーの場合は、再試行が簡単にソフトウェアで行えるので古くから実施されており大いに効果をあげている。

これに対し、コアメモリは破壊読出しのため再試行ができない。

又CPUの演算回路に関しては、演算結果がそれを導き出した古いデータに置換される形態が多く、この意味で破壊読出し的であり再試行が必ずしい。これを可能ならしめるには古いデータの待避レジスタを用意する必要があり、小～中型機ではコスト上の困難がある。

3. 直接制御、スーパーバイザリコンピュータコントロール採用の効果

3.1 一般事項

3.1.1 基本方針の設定

船用タービンプラントの制御に具体的にDDC, SCCなどを採用した場合、動的制御特性の改善がどのように期待されるか、を前年度に行なった探索的研究を基礎として具体的に検討するのが本研究の目的である。

前年度においてタービンプラントの動的制御特性の改善に対する目標探索結果を集約すると下記の項目に帰着すると考えられた。

- a. 船用ボイラ蒸気圧応答就中オーバシユートの減少
 - b. 船用ボイラシステムでの入出力信号間の干渉除去
 - c. 負荷レベル又はプラントパラメータ変化に対し良好な動特性の維持
- 同等の目標に対し、具体的な検討のための制御方式として夫々次の3者を取りあげることとした。

a. 最大原理による最適制御

b. 分割制御

c. モデル規範プラントパラメータ固定による適応制御

この検討に際して附言しておくべき事項は次の通りである。

- i. 経済性などの評価は除き、動的制御特性の改善を技術面より検討する。
- ii. a項については、将来のトータルシステムに展開する際へのテストケースとして意義づけする。
- iii. 検討する対象がボイラ主体であることは、ボイラ外のサブシステムには動特性改善の要求が少なく、且トータルシステム動特性への影響度が小さいことによる。尚ここで言うトータルシステムとは本作業の対象である船用タービンプラントを含む主推進システムである。

上記のことは、たとへば船体のもつ動特性はこのシステムとは十分に離れた帯域をもつこと、タービンはガバナを有するものであろうと仮定すると動作の干渉の仕方はタービン側よりボイラ側への一方的と思われ、ボイラから考えれば外乱として取扱うのみで十分であり、制御的に問題のあるのはボイラであることが前年作業結果からも認められるので、本作業にて先づとりあげるべきはボイラプラントであると考へた。

ii. 計算機制御を用いた時の約滑ゲドバンストドコントロールの分類は一意的ではないが、たとへばセイバス著「プロセスにおける計算機制御」においても上記の3つのテーマがその代表的なものとしてあげられている。

iii. 各制御目標に対する制御方式の対応は必ずしも一意的ではないが、前年

度の作業の結果に基づき船用ターゼンプラント向きと想定してとりあげた。むしろ本作業はこの想定が正当か否かと具体的に検討するにある。

3.1.2 計算機システム考察の前提

3.1.1に採用された制御方式と計算機システムにおいて展開する際、計算機システムとして具体的に考察するためには次の前提を設ける。

1. ミッドで考へるDDC, SCCのために別置の計算機システムを設けるのではなく、他の目的に設置された計算機と併存すると考へる。

2. オペレータコンソールは設けない。

3.1.3 本報告の内容

3.2項では3.1.1に示した3つの制御方式を、適切な例によって定量的に検討し、且つ在来の制御アルゴリズムと比較することにより具体的にこれら制御方式の動特性改善効果と考察しうる様なデータを提出し、且つ見解を付す。

但し、在来の制御アルゴリズムと雖も、アナログコントローラに依らずとも計算機制御によって実施可能である。本検討作業は制御アルゴリズムが、在来のものと3.1.1に示したものとでどう効果が異なるかにある。在来のアルゴリズムを純アナログコントローラで実現する場合と、離散系として計算機制御で行う場合とに起る差異は前年作業に述べたが、本作業では上記懸念に基づきこの差異が入り込まないように配慮してある。具体的には解析の際在来のものと新しい方式の比較に際しては同一の系(連続又は離散)を用いている。

3.3項ではこれら3つの制御方式と計算機システムに展開し検討し、3.2項の解析面には表れないシステムの具体的内容に関する資料を提示する。

3.2 各制御方法の解析

3.2.1. ボイラ蒸気圧の最適制御

最適制御方法として、Dynamic Programming (D.P) による方法また Pontryagin's maximum principle (M.P) 等がある。ここでは M.P を用いた最適制御について解析及び検討を行なう。

(1) 対象プラント

ボイラ蒸気圧応答の動特性を伝達関数即ち S 領域で表わすと式 (3.2.1) で表わされる。

$$P(s) = \frac{1}{T_B s (T_f s + 1)} Q_f(s) - \frac{1}{T_S s} G_s(s) \quad (3.2.1)$$

$P(s)$; 蒸気圧
 T_B ; ボイラ時定数
 $Q_f(s)$; 燃料流量
 T_f ; (燃焼おくれ + 炉内時定数) の一次おくれに近似した時定数
 $G_s(s)$; 蒸気流量
 T_S ; 蒸気流量外乱に対する積分時定数

式 (3.2.1) を状態ベクトル微分方程式で表わすと式 (3.2.2) となる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & b_{22} \\ b_{11} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (3.2.2)$$

式 (3.2.2) をシグナルフロー線図で示すと図 (3.2.1) である。なお各定数及び各変数は式 (3.2.3) に示す。

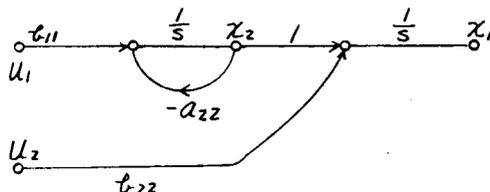


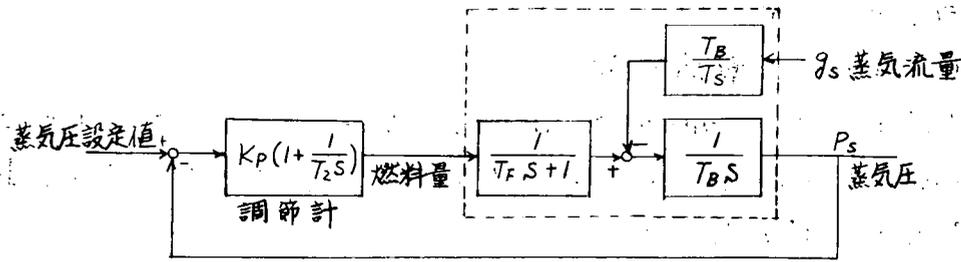
図 3.2.1 「シグナルフロー線図」

$$a_{22} = \frac{1}{T_f}, \quad b_{11} = \frac{1}{T_f T_B}, \quad b_{22} = -\frac{1}{T_S} \quad (3.2.3)$$

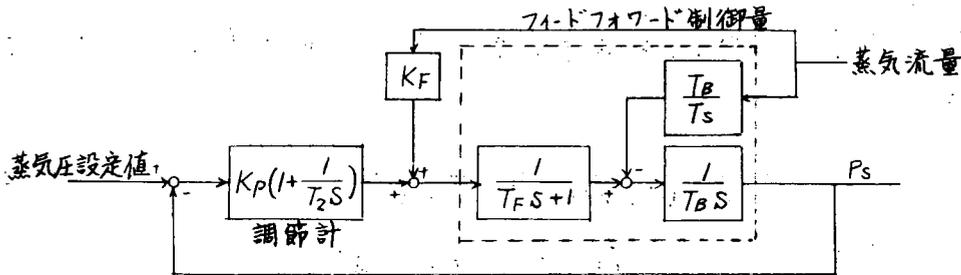
$x_1 = P$ ----- 蒸気圧
 $x_2 =$ 燃料変化による蒸気圧の変化
 $u_1 =$ 燃料流量 ----- 操作変数
 $u_2 =$ 蒸気流量 ----- 外乱変数

(2) 従来の制御方式

従来使用されているアナログ型のボイラ蒸気圧の制御系即ち ACC 系をブロック線図で示すと図 3.2.2 (a)(b) に示されるもので、PI 制御器で構成された制御系である。(b) の方はフィードフォワード制御器を用いて蒸気流量 (外乱) の補償を行なっているため、(a) で示される系より外乱による応答はよいのは明らかである。なお制御例の計算結果は後述する。



(a)



(b)

図 3.2.2 従来のPI制御系

(3) 新しい制御方式 — 最適制御

(a) 最適制御条件

(表 3.2.1 に示す制御条件のもとでの最適制御を式(3.2.2)で表わされる制御対象に適用させる。

評価関数 J	$J = \int_0^T \{ C_x (\chi_d - \chi_1)^2 + C_u (u_1 - u_s)^2 \} dt \quad \text{--- (3.2.4)}$	
	χ_d ; 圧力設定値	χ_1 ; 蒸気圧
	u_s ; 燃料流量最終整定値	u_1 ; 燃料流量
	C_x, C_u 評価の重み係数	
初期条件	固定端 $\chi_1(0) = \chi_{10}, \chi_2(0) = \chi_{20} \quad \text{(3.2.5)}$	
終端条件	固定端 $\chi_1(T) = \chi_{1N}, \chi_2(T) = \chi_{2N} \quad \text{(3.2.6)}$	
終端時間	固定 $T \quad \text{(3.2.7)}$	
外乱(蒸気流量)条件	指定 $u_2(t) \quad \text{(3.2.8)}$	

表 3.2.1. 最適制御条件

式(3.2.4)に示すように評価関数は、2次形式をとることにした。この物理的意味は蒸気圧変化と蒸気圧の設定値との誤差の自乗の積分をできるだけ小さくすることによって蒸気圧設定値からの誤差を小さくし、かつ、その際に、操作変数、即ち燃料流量も最終整定値からあまり変化しないように抑制を加えるために、燃料流量変化と燃料流量の整定値との誤差の自乗の積分をとり、これもできるだけ小さくすることである。これら2種の誤差の自乗の積分に重み係数 C_x, C_u を掛けて加えたものを評価関数とした。なお C_x, C_u の値は設計者によって決定されるもので対象プロセスに

じて決定されるものである。

蒸気圧誤差の自乗の積分のみを評価関数としなかつた理由はもう一つある。それは蒸気圧誤差のみの評価関数での最適制御であると、操作変数、即ち燃料流量の拘束条件下でのバタバタ動作を行なうことになるからである。

一方、操作変数の偏差の自乗を加えると、2点境界値問題が簡単になり、解析解が求まり、かつ制御も連続制御となる。ゆえに式(3.2.4)のような評価関数をとった。

最終整定値 U_s は式(3.2.2)と $\dot{x}_1 = 0, \dot{x}_2 = 0$ より式(3.2.9)とした。

$$U_s = U_1 = -\frac{a_{22} b_{22}}{b_{11}} U_2 = \frac{T_B}{T_S} g_S \quad (3.2.9)$$

終端条件は、 x_{1N} は圧力設定値 x_d とし、 x_{2N} は圧力の変化速度即ち \dot{x} が零になる点として式(3.2.10)とする。

$$\dot{x}_2 = -b_{22} \cdot U_2 = \frac{1}{T_S} g_S \quad (3.2.10)$$

外乱(蒸気流量)の条件は、指定されており今回の解析の場合はエマゲンシイストツフの場合とし、蒸気流量のステップ変化と考える。

(b) Pontryaginの最大原理(M.P)による最適制御の解析解(1)

M.Pを用いて、式(3.2.2)を対象とし表(3.2.1)の条件下での最適制御を求める場合のハミルトニアンは式(3.2.11)となる。

$$H = C_x(x_d - x_1)^2 + C_u(u_1 - U_s)^2 + P_1(x_2 + b_{22}u_2) + P_2(-a_{22}x_2 + b_{11}u_1) \quad (3.2.11)$$

P_1, P_2, \dots 補助変数

補助変数 P_n は、M.Pより式(3.2.12)を満足しなければならない。

$$\dot{P}_n = -\frac{\partial H}{\partial x_n} \quad (3.2.12)$$

操作変数については、式(3.2.13)を満足しなければならない。

$$\frac{\partial H}{\partial u_i} = 0 \quad (3.2.13)$$

すなわち

$$U_1 = U_s - \frac{b_{11}}{2C_u} P_2 \quad (3.2.14) \quad \text{である。}$$

以上の諸条件より x_1, x_2, x_d, u_2, U_s の関係は式(3.2.15)となる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{P}_1 \\ \dot{P}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -a_{22} & 0 & -\frac{b_{11}^2}{2C_u} \\ -2C_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & b_{22} & 0 \\ 0 & 0 & b_{11} \\ 2C_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ u_2 \\ U_s \end{bmatrix} \quad (3.2.15)$$

(1) Athans, Falb 「Optimal Control」 Mc Graw-Hill

式(3.2.15)と式(3.2.5)~(3.2.8)の条件下で式(3.2.15)を解き、 P_2 を求め、その P_2 を式(3.2.14)に代入して最適制御入力 u_1 を決定する。式(3.2.15)をベクトル式式(3.2.16)で表わす。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{IP} \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} x \\ IP \end{bmatrix} + C \begin{bmatrix} x_d \\ u_2 \\ u_s \end{bmatrix} \quad (3.2.16)$$

e^{Dt} を式(3.2.17)のマトリックス式で表わす。

$$e^{Dt} = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(t) & \Phi_{12}(t) \\ \Phi_{21}(t) & \Phi_{22}(t) \end{bmatrix} \quad (3.2.17)$$

式(3.2.16)の解ベクトルは式(3.2.18)となる。

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ IP(t) \end{bmatrix} = e^{Dt} \begin{bmatrix} x(0) \\ IP(0) \end{bmatrix} + \int_0^t e^{D(t-\tau)} C \begin{bmatrix} x_d(\tau) \\ u_2(\tau) \\ u_s \end{bmatrix} d\tau \quad (3.2.18)$$

式(3.2.18)を式(3.2.17)と(3.2.19)で表わすと式(3.2.20)となる。

$$e^{Dt} C = \begin{bmatrix} S_{11}(t) & S_{12}(t) & S_{13}(t) \\ S_{21}(t) & S_{22}(t) & S_{23}(t) \end{bmatrix} \quad (3.2.19)$$

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ IP(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(t) & \Phi_{12}(t) \\ \Phi_{21}(t) & \Phi_{22}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ IP(0) \end{bmatrix} + \int_0^t \begin{bmatrix} S_{11}(t-\tau) & S_{12}(t-\tau) & S_{13}(t-\tau) \\ S_{21}(t-\tau) & S_{22}(t-\tau) & S_{23}(t-\tau) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d(\tau) \\ u_2(\tau) \\ u_s \end{bmatrix} d\tau \quad (3.2.20)$$

初期条件及び終端条件との関係は式(3.2.21)となる。

$$\begin{bmatrix} x(T) \\ IP(T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(T) & \Phi_{12}(T) \\ \Phi_{21}(T) & \Phi_{22}(T) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ IP(0) \end{bmatrix} + \int_0^T \begin{bmatrix} S_{11}(t-\tau) & S_{12}(t-\tau) & S_{13}(t-\tau) \\ S_{21}(t-\tau) & S_{22}(t-\tau) & S_{23}(t-\tau) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d(\tau) \\ u_2(\tau) \\ u_s \end{bmatrix} d\tau \quad (3.2.21)$$

x の初期条件、終端条件は式(3.2.5)、(3.2.6)で与えられているので、式(3.2.21)より IP の初期条件 $IP(0)$ を求めると式(3.2.22)となる。

$$IP(0) = \Phi_{12}^{-1}(T) \left\{ x(T) - \Phi_{11}(T)x(0) - \int_0^T S_{11}(t-\tau)x_d(\tau)d\tau - \int_0^T S_{12}(t-\tau)u_2(\tau)d\tau - \int_0^T S_{13}(t-\tau)u_s d\tau \right\} \quad (3.2.22)$$

ただし $\det \Phi_{12}(T) \neq 0$ とする。

また $IP(0)$ を求めないで最適制御を行なう方法がある。それは式(3.2.24) (3.2.22)より $IP(0)$ を消去して、 $IP(t)$ を $x(t)$ と $x(0)$ 、 $x_d(t)$ 、 $u_2(t)$ 、 u_s の関係のみによって表わした式(3.2.23)と(3.2.14)を用いて最適操作入力を求める方法である。

$$\begin{aligned}
P(t) &= \left[\Phi_{21}(t) - \Phi_{22}(t) \Phi_{12}^{-1}(T) \Phi_{11}(T) \right] \left[\Phi_{11}(t) - \Phi_{12}(t) \Phi_{12}^{-1}(T) \Phi_{11}(T) \right]^{-1} \\
&\quad \left[\chi(t) - \int_0^t \{ S_{11}(t-\tau) \chi_d(\tau) + S_{12}(t-\tau) u_2(\tau) + S_{13}(t-\tau) u_s \} d\tau \right. \\
&\quad + \Phi_{12}^{-1}(T) \chi(T) - \Phi_{12}^{-1}(T) \int_0^T \{ S_{11}(t-\tau) \chi_d(\tau) + S_{12}(t-\tau) u_2 + S_{13}(t-\tau) u_s \} d\tau \\
&\quad + \Phi_{22}(t) \Phi_{12}^{-1}(T) \left[\chi(T) - \int_0^T \{ S_{11}(t-\tau) \chi_d(\tau) + S_{12}(t-\tau) u_2(\tau) + S_{13}(t-\tau) u_s \} d\tau \right] \\
&\quad \left. + \int_0^t \{ S_{21}(t-\tau) \chi_d(\tau) + S_{22}(t-\tau) u_2(\tau) + S_{23}(t-\tau) u_s \} d\tau \right] \\
&= F_{11}(t) \chi(t) + F_{12}(t, \chi_d, u_2(t), u_s) \tag{3.2.23}
\end{aligned}$$

(C) 最適制御システム

これまでの解析でわかるように、Pontryagin の最適制御は本質的にはプログラム制御であり、制御システムの構成としては次の(i), (ii)の2種の型が考えられる。

(i) 閉ループ型制御システム

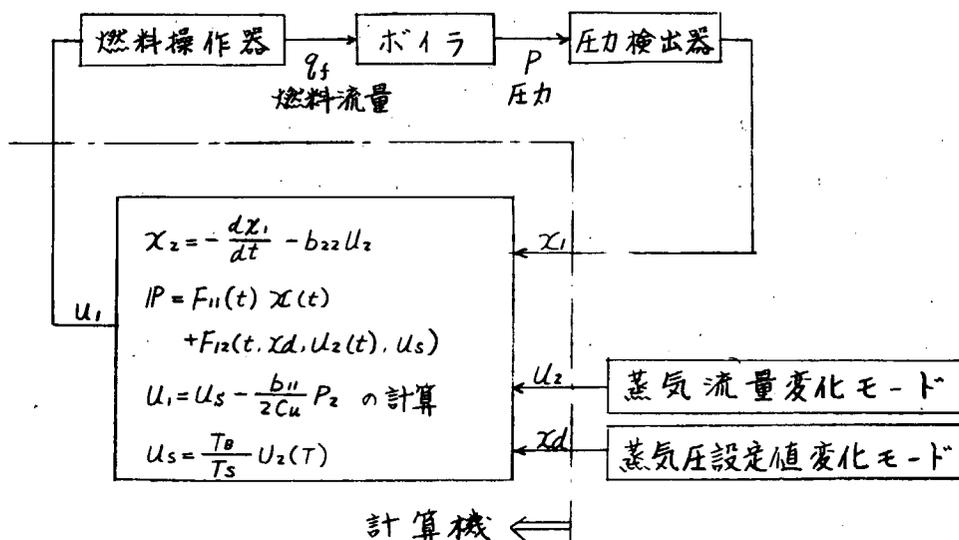


図 3.2.3 閉ループ型制御システム

(ii) 開ループ型制御システム

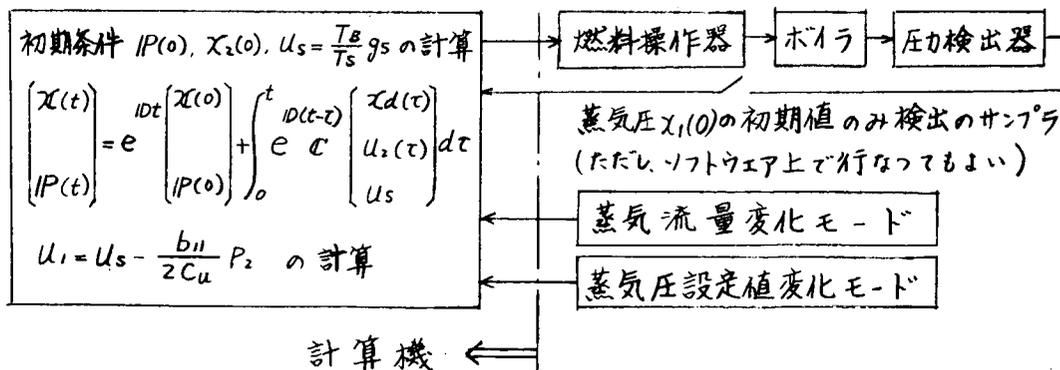


図 3.2.4 開ループ型制御システム

制御システム (i), (ii) を比較すると表 3.2.2 となる。

	システム(i)	システム(ii)
プロセス定数 T_B, T_F, T_S	一定	左同
蒸気流量の変化モード	あらかじめ決定されていなければならない	左同
蒸気圧設定値の変化モード	あらかじめ決定されていなければならない	左同
圧力検出	連続検出	初期値のみ
初期値 $IP(0)$ の計算	必要なし	必要
$\int_0^T e^{-\rho(t-\tau)} \begin{bmatrix} X_d(\tau) \\ U_2(\tau) \\ U_s \end{bmatrix} d\tau$ の計算	必要	左同
最適制御入力を計算したモデルの X_1, X_2 の計算結果	なし	あり

表 3.2.2 閉ループ型と開ループ型の比較表

システム (i), (ii) の違いとしては、初期値 $IP(0)$ を求めるか、求めないかの違いで本質的には、あまり異ならないが、実際ソフトウェア上においてシステム (i) の方が複雑な点が2点ある。1点は X_2 の計算をいかにするか、またもう1点は式 (3.2.23) が複雑であるということである。一方、システム (ii) は後述するが、簡単なマトリックス計算で計算できるという利点がある。また数学的モデルの計算結果 X_1, X_2 があるために、実際のプロセスの応答の X_1, X_2 と比較することによって数学的モデル式 (3.2.2) が適切かどうかチェックできる。将来適応制御を使えば、さらに *advanced control* ができるという将来性を持っている。

以上の理由のもとにシステム (ii) を採用した最適制御を行なう。

(d) 最適制御の数値計算アルゴリズム(2)

式 (3.2.20), (3.2.22) を数値計算法によって解き、最適制御入力 U_1 を求める。サンプル周期を Δt とする。 $X_d(t), U_2(t)$ を Δt ごとにサンプルしてのちその値にホールドしたように近似して計算する。即ち $X_d(t), U_2(t)$ を式 (3.2.24) のように近似する。

$k\Delta t < t \leq (k+1)\Delta t$ のとき

$$X_{dk} = X_d(k\Delta t)$$

$$U_{2k} = U_2(k\Delta t)$$

$$(3.2.24)$$

Δt は、 U_2, X_d のなめらかさによって決定されるものである。

U_2, X_d がステップ変化の場合は、 Δt はいかにとらうが原理的に計算誤差

は生じない。

詳細は省略するが最適制御入力（燃料流量）の計算フローチャートは、
図 3.2.5 となる。

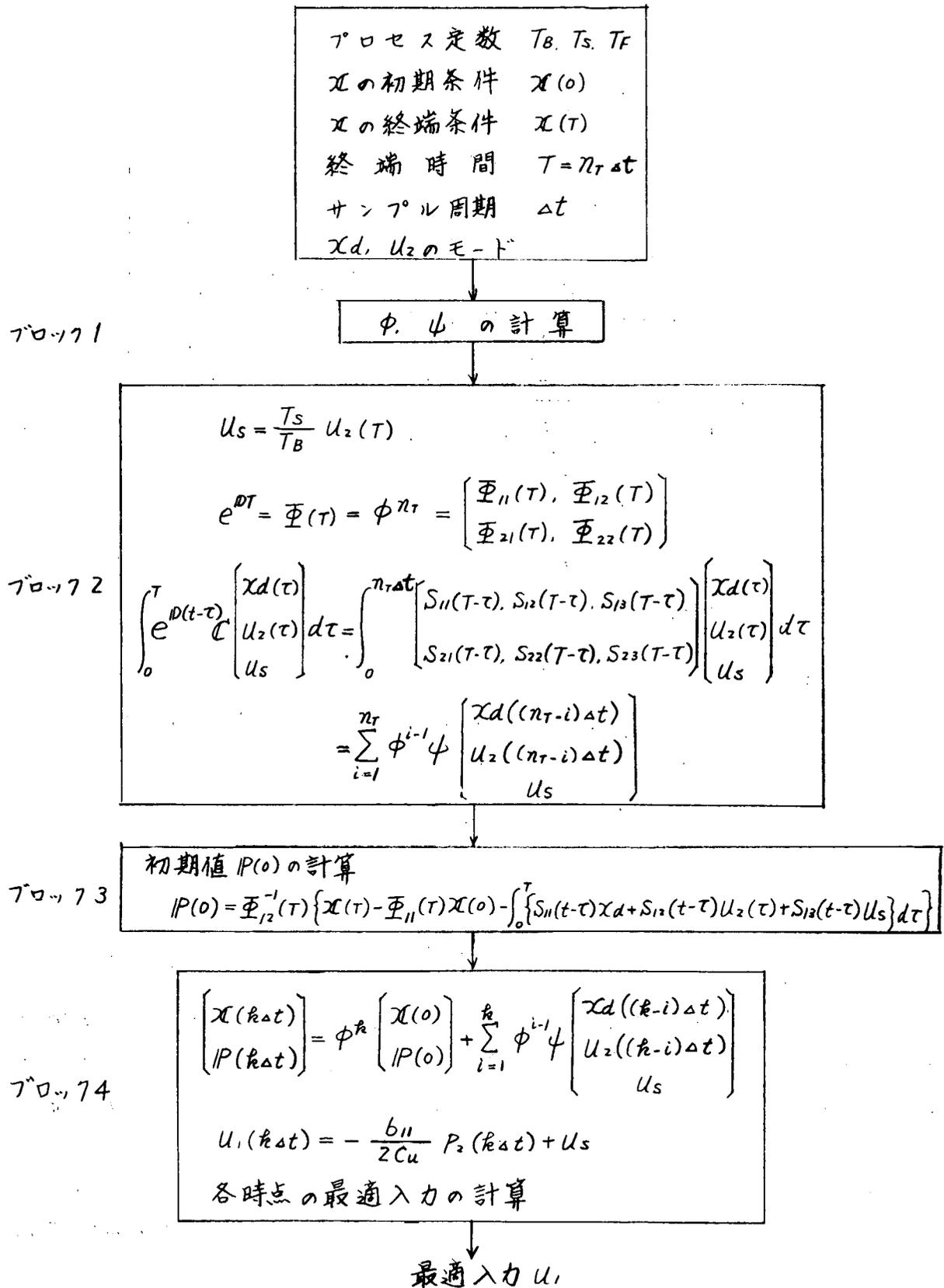


図 3.2.5 最適制御入力の計算フローチャート

ブロック4の計算を少し詳しく表わすと図 3.2.6 である。

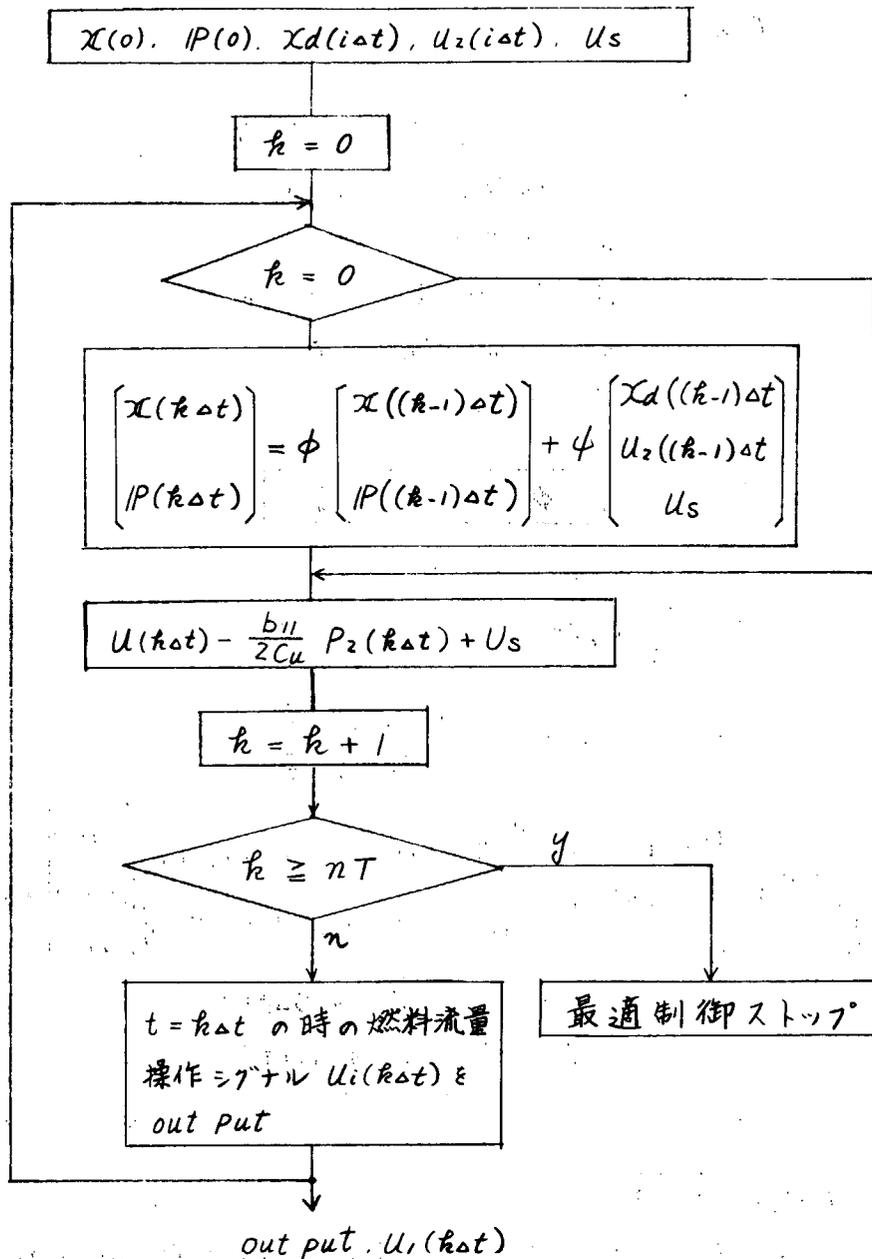


図 3.2.6 ブロック4の部分の計算フローチャート

以上の計算で求めた結果は、サンプル値系でなく連続系としての解である。実際においては、計算結果の最適入力 $u_1(i\Delta t)$ をサンプル値系としてプロセスに、0次ホールドで燃料流量を与えることになる。ゆえにサンプル周期 Δt に応じて、 x_1, x_2 が最適制御状態よりずれてくる。ゆえにサンプル周期 Δt もどの程度とつたらよいかのシミュレーションに関しては図 3.2.6 のフローチャートの $u_1(i\Delta t)$ の output の後にプロセスの数学的モデルを入れれば良い。即ち図 3.2.7 の如くである。

$$\begin{array}{c}
 \downarrow U((k-1)\Delta t) \\
 \boxed{X(i\Delta t) = \phi_A X((k-1)\Delta t) + \psi_B U(k\Delta t)} \\
 \downarrow
 \end{array}$$

図 3.27 モデルフローチャート

(e) シミュレーション計算条件

計算条件をまとめると表 3.2.3 である。なお各変数は、初期状態で規格化したもので無次元である。

プロセス定数	$T_B = 150 \text{ sec.}$ $T_F = 10 \text{ sec.}$ $T_S = 150 \text{ sec.}$
蒸気流量 u_2	エマゼンシイストップ時 $u_2 \begin{cases} 0 & t < 0 \\ -1 & t \geq 0 \end{cases}$
蒸気圧設定値 x_d	$x_d = 0$ (-定)
初期条件 $x_1(0), x_2(0)$	$x_1 = 0, x_2 = 0$
終端条件 $x_1(\tau), x_2(\tau)$	$x_1(\tau) = x_d = 0$ $x_2(\tau) = \frac{1}{T_S} g_s = \frac{1}{150} 6.667 \times 10^{-3}$
終端時間 T	100 sec.

表 3.2.3 シミュレーションの計算条件

(f) シミュレーション計算結果

(i) 最適制御の場合

エマゼンシイストップの応答の計算結果が図 3.2.8 であり、また評価関数の重み係数と応答特性の関係を図 3.2.9 に示す。

シミュレーション結果よりわかるように、 C_2 の重みを大とするれば、圧力変動を小さくすることができるが、一方、操作入力(燃料流量)の操作が非常に大きくなる欠点がある。

最適制御の場合、圧力に振動モードが生じないという点がある。

(ii) PI制御の場合の計算結果

図 3.2.2 (b) に示すPI制御の場合のシミュレーションの計算結果が図 3.2.10 であり、PI制御器の調整値と動特性の関係を図 3.2.11 に示す。PI制御の場合、圧力変動のピーク値を+4%以下にしようとする、圧力に振動モードが生じ、圧力が設定値より下がる現象を生ずることがわかる。ゲイン $K_p = 20$ の方が、 $K_p = 10$ の場合より圧力のピーク値は、小さくて良いが、燃料流量の操作が大きいことがわかる。

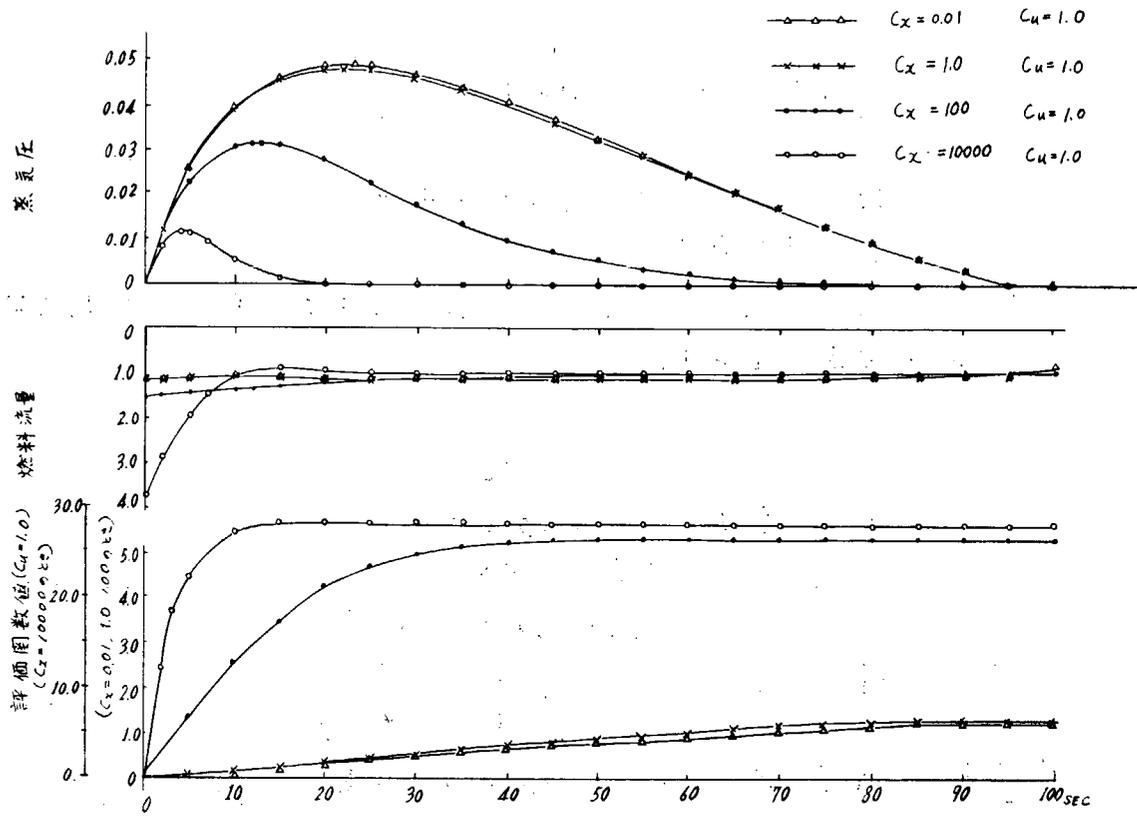


図 3.28 最適制御の応答

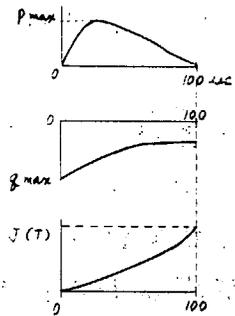
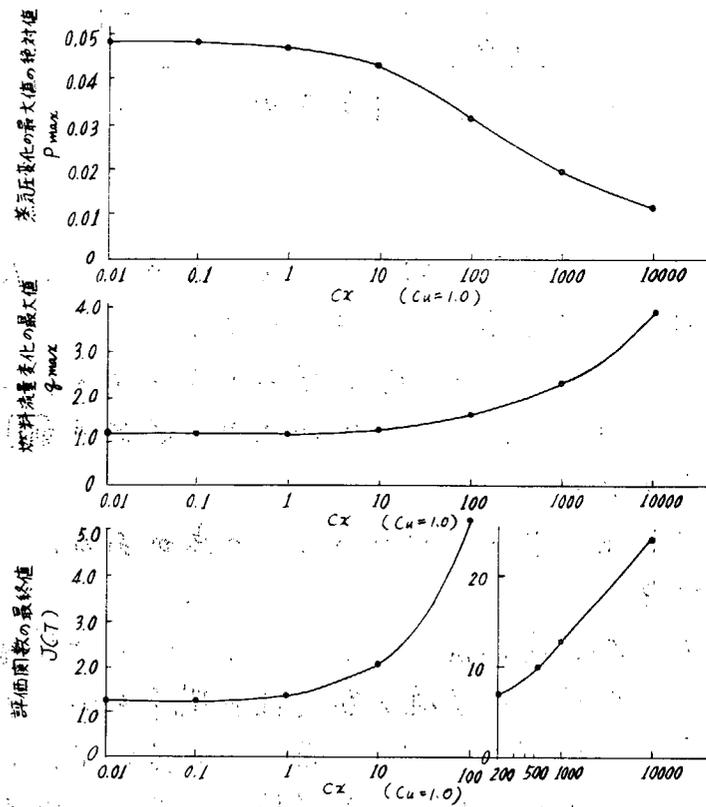


図 3.29 評価係数 C_x, C_u と最適制御との関係

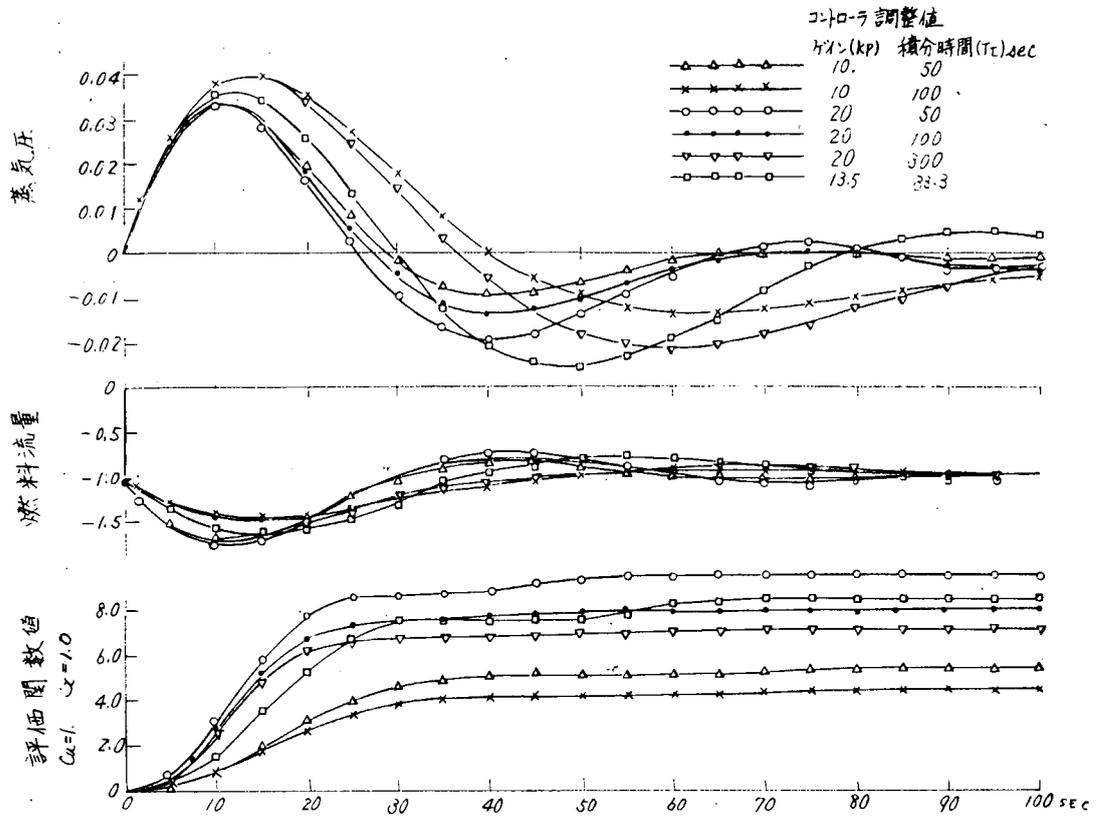


図 3.2.10 P.I 制御の場合の応答

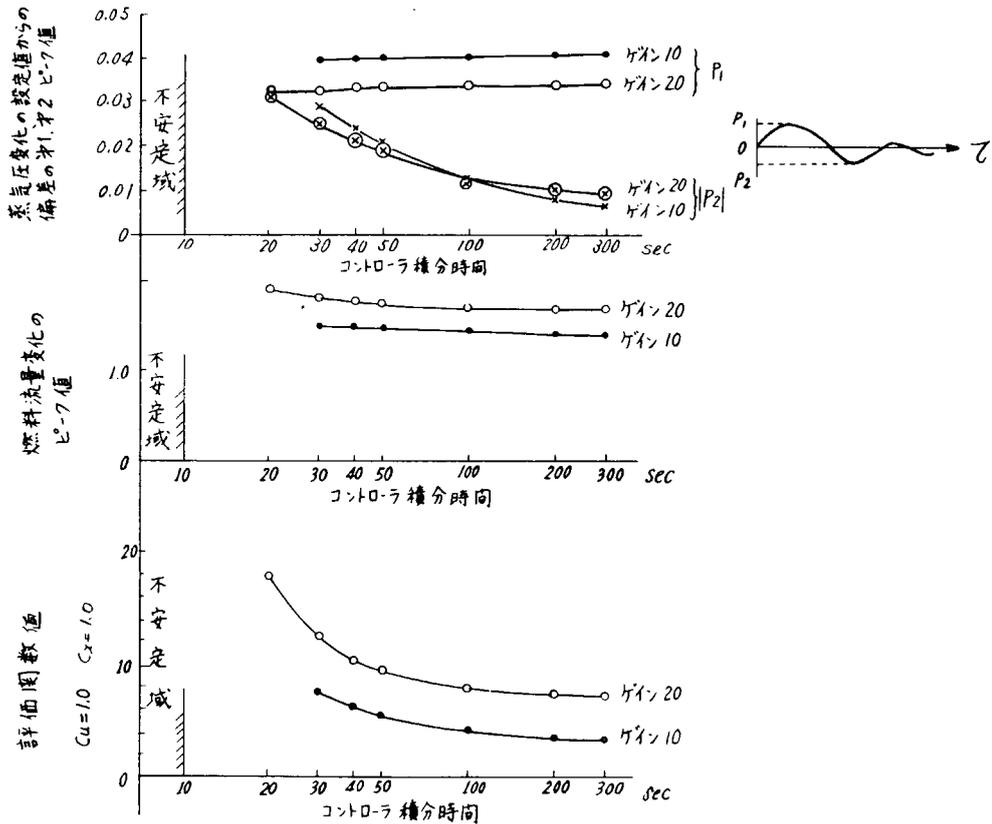
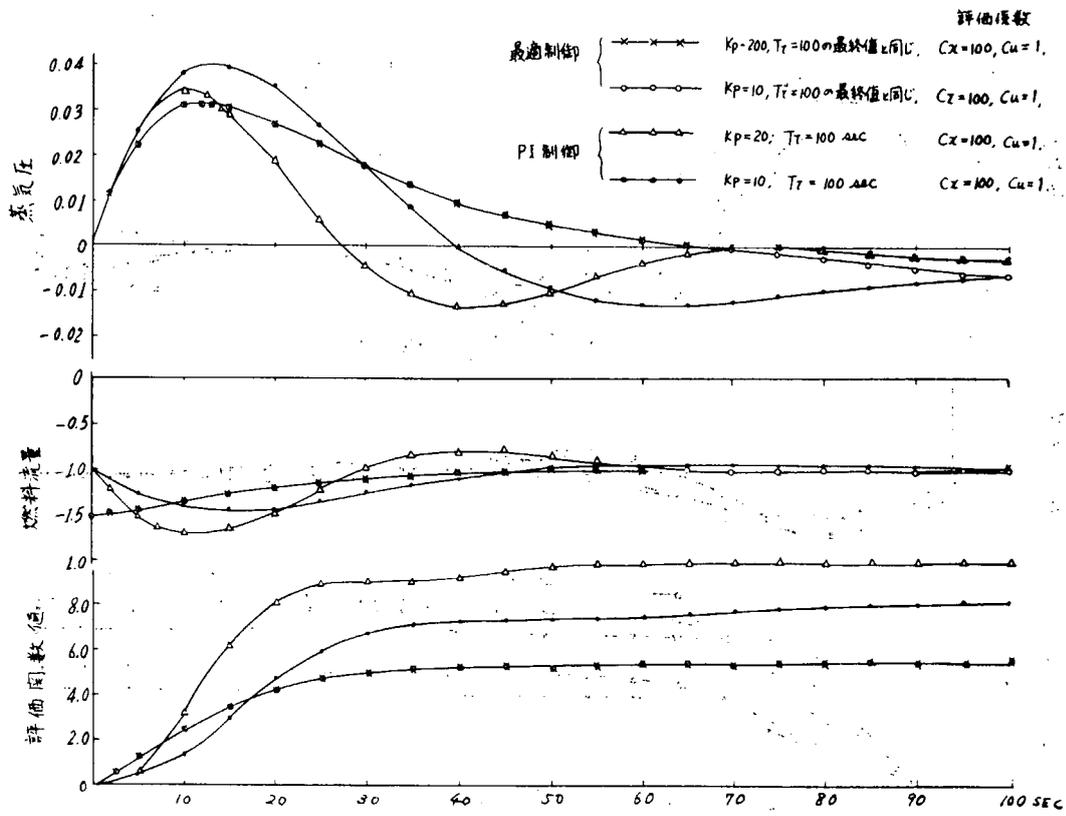


図 3.2.11 PI 制御におけるゲインと積分時間の特性



3.2.12 PI制御と最適制御の応答の比較

圧力がかもり最低点 P_2 の値は、 $K_P=20$ 、 $K_P=10$ であまり大差がなく、積分時定数を上げて行くと小さくなることがわかるが、実際の通常のコントローラで正常な働きをするのは、積分時定数 300 sec. 程度と考えられるので 300 sec. までについて検討した。

(iii) PI 制御と最適制御の比較

PI 制御と最適制御の比較を行なうため、初期条件および終端条件を同じにしてシミュレーション計算した計算結果が図 3.2.12 である。

$K_P=20$ 、 $T=100$ と $K_P=10$ 、 $T=100$ の場合の最終値は少し異なるが、この程度の最終値の違いでは最適制御応答はほとんど同じである。

(ii) に述べたと同様に PI コントロールのときは振動モードが生じるが最適制御では振動モードがないこと、また最適制御の方がピーク値も小であること、また評価関数は最適制御がやはり小さいことがわかった。

(4) まとめ

以上の検討結果より次のようなことがいえる。

(i) 最適制御と PI 制御の比較を評価関数 PI によつて数値的評価をすれば、やはり最適制御が良好である。

(ii) 最適制御では振動モードが生じないが、PI 制御では振動モードを生じる。

(iii) 評価係数は、シミュレーション結果により工学的見地により決定しなければならぬが、圧力変動を 3% 程度にしたい場合には、 $C_x=1$ 、 $C_u=100$ とすれば良い。

なお以上の検討においては、燃料流量の制限条件等の非線形性は考慮しないで検討した。

3.2.2 ボイラの分割制御

(1) まえがき

本項ではボイラの給水制御系と圧力制御系をとりあげ、それぞれの入力非干渉を考へる。ボイラの制御としては他に温度制御系が存在するが、ここでは取上げない。理由は3.2.3に述べる。

入力非干渉の取めの手法としては伝達関数マトリクスにより行うものと、状態ベクトルを用いて行うものがあるが前者はその手法が現状未確定で特にコンベンションの設計等に種々の議論がある。更に非干渉(又は分割)の実現を出力ベクトルで行うか状態ベクトルで行うかであるが前者は後者の一変型であり、後者の亦に一般性があるが一般のプラントにおいて状態量がすべて計測可能とは限らず、その真出力ベクトルを用いる亦が計測信号が一般に存在することから実際の適用が容易となる。

以上より本項においては出力ベクトルフィードバックによる分割制御(入力非干渉)を伝達関数マトリクスを用いて実施する場合についての検討を行う。

(2) 対象プラントの設定

3.2.3に示すものと同じのボイラをモデルに取上げる。使用するモデルは状態量9ヶのものも4ヶに縮減したものである。

(状態マトリクス)

$$A = \begin{bmatrix} -9.61 \times 10^{-3} & 3.98 \times 10^{-6} & 3.16 \times 10^{-1} & 0 \\ 7.08 \times 10^2 & -8.25 \times 10^3 & -1.61 & 0 \\ 3.08 \times 10^{-4} & 2.04 \times 10^{-9} & -9.77 \times 10^{-2} & 0 \\ 1.66 \times 10^{-2} & 2.33 \times 10^{-6} & -3.41 & 0 \end{bmatrix}$$

(駆動マトリクス)

$$B = \begin{bmatrix} -2.34 \times 10^{-4} & -1.30 \times 10^{-5} & 6.36 \times 10^3 \\ -7.57 \times 10^{-2} & 2.81 \times 10^{-4} & 1.36 \\ 3.71 \times 10^{-5} & -2.51 \times 10^{-5} & -9.76 \times 10^{-4} \\ 1.24 \times 10^{-3} & -4.89 \times 10^{-4} & -2.71 \times 10^{-2} \end{bmatrix}$$

(出力マトリクス)

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(状態ベクトル)

$$x^T = [p_s \quad T_s \quad x \quad y]$$

(出力ベクトル)

$$y^T = [y \quad p_s]$$

(入力ベクトル)

$$u^T = [w_s \quad w_e \quad w_f]$$

(記号の説明)

p_s : 過熱器出口蒸気比体積 $16/ft^3$
 T_s : " 温度 $^{\circ}F$
 x : ライプ-蒸気乾度 $\%$
 y : ドラム水位 ft
 w_s : 取吐蒸気量 $16/s$
 w_f : 燃料量 $16/s$
 w_e : 給水量 $16/s$

入力ベクトルの内 w_s は外乱であり入力非干渉には用いないが外乱量として状態量の計算のために残しておく。

(3) 開ループ, 閉ループ(左手横)応答の導出

分割制御を実施するとき $u^T = [w_e \quad w_f]$ を用いるが、このとき対象プラントの可制御性, 可観測性をまず検討しておく。

可制御性, 可観測性は下の M_{lc} , M_{lo} の $\lambda = \gamma$ が 4 であれば成立する。

$$M_{lc} = [B \ A|B \ A^2|B \ A^3|B]$$

$$M_{lo} = [C^T \ A^T C^T \ A^2 C^T \ A^3 C^T]$$

$$M_{lc} = \begin{bmatrix} -1.30 \times 10^{-5} & 6.36 \times 10^3 & -7.81 \times 10^6 & -3.64 \times 10^4 & 8.44 \times 10^7 & 3.40 \times 10^5 & -8.35 \times 10^8 & -3.36 \times 10^{-6} \\ 2.81 \times 10^{-4} & 1.36 & 3.72 \times 10^5 & -9.20 \times 10^3 & -4.78 \times 10^6 & -1.06 \times 10^4 & 4.38 \times 10^7 & 1.86 \times 10^{-5} \\ -2.51 \times 10^{-5} & -9.76 \times 10^{-4} & 2.43 \times 10^6 & 9.68 \times 10^5 & -2.39 \times 10^7 & -9.51 \times 10^6 & 2.34 \times 10^8 & 9.34 \times 10^7 \\ -4.89 \times 10^{-4} & -3.71 \times 10^2 & 8.54 \times 10^5 & 344 \times 10^3 & -8.43 \times 10^6 & -3.36 \times 10^4 & 8.28 \times 10^7 & 2.30 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

$$M_{lo} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1.66 \times 10^2 & 9.61 \times 10^3 & -1.21 \times 10^3 & 1.90 \times 10^4 & 1.15 \times 10^{-4} & -1.22 \times 10^{-5} \\ 0 & 0 & 2.33 \times 10^{-6} & 3.98 \times 10^6 & -2.27 \times 10^{-8} & -6.49 \times 10^8 & 2.23 \times 10^{-4} & 6.01 \times 10^0 \\ 0 & 0 & -3.41 \times 10^{-2} & 3.16 \times 10^1 & 3.36 \times 10^{-1} & -3.37 \times 10^{-2} & -3.36 \times 10^{-2} & 3.34 \times 10^3 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

例之は M_{lc} , M_{lo} の左側 4 列をとりこの行列式を計算すると

$$\det [M_{lc}^4] = 3.14 \times 10^{-4} \neq 0 \quad \det [M_{lo}^4] = -1.43 \times 10^5 \neq 0 \quad (3.2.2.1)$$

となり対象プラントの可制御, 可観測は成立する。いづれが 2 次の計算を続行する。

$$\dot{x} = A|x + B|u \quad y = C|x \quad (3.2.2.2)$$

$$x = \frac{[adj(sI - A)] B}{\det [sI - A]} u, \quad y = \frac{C \cdot [adj(sI - A)] B}{\det [sI - A]} u \quad (3.2.2.3)$$

式(3.2.2.3)において分子をそれぞれ E , P で表す。又式(3.2.2.2)の分母の計算結果は次の通りである。

$$\det [sI - A] = \det \begin{bmatrix} s + 9.61 \times 10^{-3} & -3.98 \times 10^6 & -3.16 \times 10^1 & 0 \\ -7.08 \times 10^2 & s + 8.25 \times 10^3 & 1.61 & 0 \\ -3.08 \times 10^4 & -2.04 \times 10^8 & s + 9.71 \times 10^2 & 0 \\ -1.66 \times 10^2 & -2.33 \times 10^6 & 3.41 & s \end{bmatrix} = s(s^3 + 1.15 \times 10^4 s^2 + 1.92 \times 10^3 s + 6.87 \times 10^{-6}) \quad (3.2.2.4)$$

式(3.2.2.4)を 0 とおいた本プラントの固有値を $p\lambda_i$ で表すと下記となる。

$$p\lambda_1 = 0 \quad p\lambda_2 = -9.61 \times 10^3 \quad p\lambda_3 = -9.20 \times 10^3 \quad p\lambda_4 = -9.82 \times 10^2 \quad (3.2.2.5)$$

次に $adj(sI - A)$ の i 行 j 列の計算結果を示しておく。又 E , P 共にそれぞれ i 行 j 列の要素を E_{ij} , P_{ij} で表す。

又 $\det [sI - A] = S \cdot Q(s)$ と表す。

$$\text{adj}(SII - A) = \begin{pmatrix} S(S^2 + 1.05 \times 10^5 S + 8.04 \times 10^4) & S(3.98 \times 10^6 S + 3.92 \times 10^7) & S(3.16 \times 10^5 S + 2.61 \times 10^3) & \dots & 0 \\ S(7.08 \times 10^2 S + 6.28 \times 10^3) & S(S^2 + 1.07 \times 10^5 S + 8.36 \times 10^4) & S(-1.4 S + 8.90 \times 10^3) & \dots & 0 \\ S(3.08 \times 10^4 S + 2.54 \times 10^6) & S(2.04 \times 10^8 S + 1.43 \times 10^9) & S(S^2 + 1.79 \times 10^3 S + 7.90 \times 10^5) & \dots & 0 \\ 1.66 \times 10^7 (S^2 + 4.16 \times 10^2 S + 2.79 \times 10^4) & 2.33 \times 10^6 (S^2 + 1.04 \times 10^5 S + 1.55 \times 10^3) & -3.41 (S^2 + 1.63 \times 10^2 S + 6.45 \times 10^5) & S^2 + 1.15 \times 10^5 S^2 + 1.72 \times 10^3 S + 6.8 \times 10^4 & \dots \end{pmatrix} \quad (3.2.2.6)$$

$$E = \begin{pmatrix} -2.24 \times 10^4 S(S^2 + 1.05 \times 10^5 S + 6.18 \times 10^4) & -1.30 \times 10^5 S(S^2 + 7.51 \times 10^4 S + 5.84 \times 10^3) & 6.36 \times 10^3 S(S^2 + 8.74 \times 10^2 S + 4.83 \times 10^4) & \dots & 0 \\ -7.57 \times 10^2 S(S^2 - 1.08 \times 10^5 S - 8.51 \times 10^4) & 2.81 \times 10^4 S(S^2 + 2.48 \times 10^5 S - 2.48 \times 10^4) & 1.36 S(S^2 + 1.09 \times 10^4 S + 8.68 \times 10^4) & \dots & 0 \\ 3.71 \times 10^3 S(S^2 + 1.59 \times 10^2 S + 6.01 \times 10^8) & -2.51 \times 10^5 S(S^2 + 1.73 \times 10^2 S + 2.77 \times 10^5) & -9.74 \times 10^4 (S^2 + 1.53 \times 10^2 S + 6.04 \times 10^5) & \dots & 0 \\ -1.21 \times 10^3 (-S^3 - 6.56 \times 10^3 S^2 + 1.40 \times 10^4 S + 2 \times 10^8) & 4.89 \times 10^4 (-S^3 + 3.79 \times 10^2 S^2 + 1.22 \times 10^3 S + 4.70 \times 10^8) & -3.71 \times 10^3 S(S^2 + 2.24 \times 10^2 S + 1.28 \times 10^4) & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (3.2.2.7)$$

式(3.2.2.2)の左側のものから式(3.2.2.6)を用いて入力 \$U_k\$ に対する右非状態 \$x_i\$ の周波数特性として応答が求まり、更に従来の給水制御、圧力制御も付加して応答が求まる。このブロック図も図 3.2.2.1 に示す。

(4) 入力非干渉の右条件の検討

前述の如く入力非干渉として \$U^T = [w_e, w_f]\$ を用いるが、このとき式(3.2.2.7)を用いて次式が成立する。

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{42} & E_{43} \\ E_{12} & E_{13} \end{bmatrix} \quad (3.2.2.8)$$

この \$P\$ に対して右ラングを求めると

$$\det P = 3.59 \times 10^6 S (-S^5 - 9.69 \times 10^2 S^4 + 6.88 \times 10^4 S^3 + 6.02 \times 10^5 S^2 + 6.43 \times 10^7 S + 1.97 \times 10^9) \quad (3.2.2.9)$$

となり明らかく \$\text{rank } P(S) = 2\$ である。又式(3.2.2.8)を 0 とした根を \$\lambda_i\$ と表せば下記となる。

$$\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 2.89 \times 10^{-2}, \lambda_3 = -6.19 \times 10^3, \lambda_4 = -9.83 \times 10^2, \lambda_5 = 9.84 \times 10^3, \lambda_6 = -1.14 \times 10^2 \quad (3.2.2.10)$$

以上 \$P\$ マトリクスが \$\text{rank} = 2\$ を確認した上で右ラングを \$y_0 = G_P U\$ と表現するとき、この下コントローラ \$G_C\$ を導入して入力非干渉を行う事が出来る。この関係もブロック図として図 3.2.2.2 に示す。

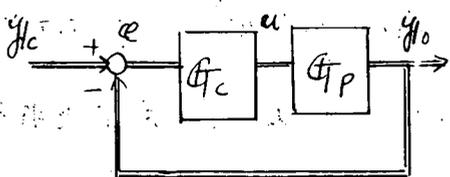


図 3.2.2.2

このとき目標値 (\$y_0\$) と出力 (\$y_0\$) の間のラングの伝達関数マトリクスは次式となる。

$$G_0 = (I + G_P G_C)^{-1} G_P G_C \quad (3.2.2.11)$$

式(3.2.2.11)において \$G_P G_C\$ が対角マトリクスとなるように \$U\$ を入力すれば、この特性 \$G_C\$ を

求めることが以下の計算となる。途中を省略するが入出力の分割を行うには
 G_c を次の様にまとめれば良い。

$$G_c(s) \text{ の分子列} = d_i(s) \times \text{adj } P(s) \text{ の分子列} \quad (3.2.2.12)$$

又 $d_i(s)$ は任意に選ぶものであるが G_c の可制御性より

i) $d_i(s)$ の極は G_p の零極に一致しない。

ii) $d_i(s)$ の零極は G_p の極に一致しない。

又コントローラの各要素が安定でありかつ実現可能なものとして

iii) $d_i(s)$ の極は複素平面の左半面内にとる。

iv) G_c の各要素が分母の次数 > 分子の次数となる様に $d_i(s)$ を定める。

以上が $d_i(s)$ を選択する上で G_c の可制御性を示すべき条件で、又 G_p は式(3.2.2.1)より可制御であり又 $\text{rank } P(s) = 2$ は成り立っているから、結局結合系 $G_p \cdot G_c$ の可制御性、可観測性が成立しては良い。この充分条件は下記となる。

これは式(3.2.2.11)の G_c に対して次式が成立すればよいがこれを多少変換して結局式(3.2.2.13)が成立しては良い。

$$\det G_c(p\lambda_i) \neq 0 \quad i=1 \dots m$$

$$\det G_c(s) = \prod_{i=1}^m d_i(s) \times \det [\text{adj } P(s)] = \prod_{i=1}^m d_i(s) \times [\det P(s)]^{m-1}$$

$$\therefore \det P(p\lambda_i) \neq 0 \quad i=1 \dots m \quad (3.2.2.13)$$

本レポートにおいては式(3.2.2.9)及び式(3.2.2.5)より

$$\det P(p\lambda) = 0 \quad \text{及び} \quad \det P(p\lambda_4) = 0 \quad \text{である。}$$

この場合は更に次式が成立する様に G_c を選択すれば可制御、可観測性が成立する。

$$G_c(s) = \frac{1}{\prod_{i=1}^m (s-p_i)^{m-p_i}} [\text{adj } P(s)] \cdot d(s) \quad (3.2.2.14)$$

ここで p_i は $\text{rank } P(p\lambda_j)$ で、また $\text{rank } P(s) = m$ のとき $m > p_j$ となる p_j の箇数を μ とする。又 $d(s) = \text{diag}\{d_1(s) \dots d_m(s)\}$ である。

更に式(3.2.2.14)にて G_c が決定出来るが次式の条件が前提である。

$$\left. \begin{aligned} \text{rank } P(s) &= m \\ \frac{d^{m-p_i}}{ds^{m-p_i}} \Big|_{s=p_i} \det P(s) &\neq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.2.2.15)$$

本レポートにおいては式(3.2.2.9)及び式(3.2.2.5)より

$$\text{rank } P(p\lambda_1) = 1 = p_1 \quad \text{rank } P(p\lambda_2) = 1 = p_2 \quad \text{rank } P(p\lambda_3) = 2 = p_3$$

$$\text{rank } P(p\lambda_4) = 2 = p_4$$

である。

故に $m=2$ $p_1=1, p_2=1$ 及び $m-p_i=1$ $i=1, 2$ とする。
式(3.2.2.15)を求めると下記となる。

$$\frac{d}{ds}(\det P(s)) = 2.15 \times 10^5 (s - 2.26 \times 10^2)(s + 2.14 \times 10^3)(s + 7.76 \times 10^3)(s + 1.17 \times 10^2)$$

$$\left. \frac{d}{ds}(\det P(s)) \right|_{s=p_1} \neq 0 \quad \text{及び} \quad \left. \frac{d}{ds}(\det P(s)) \right|_{s=p_2} \neq 0 \quad (3.2.2.16)$$

式(3.2.2.15)の条件は充分であるため式(3.2.2.14)を求め G_c の設計が可能である。

(5) コントローラマトリクス G_c の決定

式(3.2.2.14)を計算すると

(3.2.2.17)

$$G_c(s) = \frac{1}{(s-p_1)(s-p_2)} \text{adj } P(s) K(s) = \frac{1}{s(s+9.82 \times 10^2)} \begin{bmatrix} \beta_{22} & -\beta_{12} \\ -\beta_{21} & \beta_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1(s) & 0 \\ 0 & \alpha_2(s) \end{bmatrix}$$

ゆえに γ° 伝達関数 $G_0 = G_p \cdot G_c$ は

$$G_0 = \frac{1}{s^2(s+9.82 \times 10^2)Q} \begin{bmatrix} \alpha_1(s) \det P(s) & 0 \\ 0 & \alpha_2(s) \det P(s) \end{bmatrix} \quad (3.2.2.18)$$

となりそれぞれの入出力は分割して入力非干渉が実現出来る。

G_c の各要素は下記の通りである。(G_{cij})

$$\left. \begin{aligned} G_{c11} &= \alpha_1(s) \frac{6.36 \times 10^3 (s^2 + 5.74 \times 10^2 s + 4.83 \times 10^3)}{(s + 9.82 \times 10^2)} & G_{c12} &= \alpha_2(s) \frac{3.71 \times 10^2 (s^2 + 2.24 \times 10^2 s + 1.08 \times 10^4)}{(s + 9.82 \times 10^2)} \\ G_{c21} &= \alpha_1(s) \frac{1.30 \times 10^5 (s^2 + 7.15 \times 10^1 s + 5.84 \times 10^3)}{(s + 9.82 \times 10^2)} & G_{c22} &= \alpha_2(s) \frac{4.89 \times 10^4 (-s^3 + 5.97 \times 10^2 s^2 + 1.22 \times 10^3 s + 4.76 \times 10^6)}{s(s + 9.82 \times 10^2)} \end{aligned} \right\} (3.2.2.19)$$

式(3.2.2.18)により γ° 伝達関数は $\alpha_1(s), \alpha_2(s)$ をそれぞれ G_c が制御できるための条件も満足しつつかつそれぞれの単一 γ° の応答を希望する様々な値で最優次級表示としては次式となる。

$$\alpha_1(s) = \frac{K_1}{s + \gamma_1}, \quad \alpha_2(s) = \frac{K_2}{s + \gamma_2} \quad \alpha_1 \alpha_2 \neq p_i \gamma_i \quad (3.2.2.20)$$

圧力系を例にとると次式となる。

$$\frac{\beta_{50}(s)}{\beta_{SC}(s)} = \frac{K_1 \cdot 3.59 \times 10^6 (s - \beta_{12})(s - \beta_{13})(s - \beta_{15})(s - \beta_{16})}{K_1 \cdot 3.59 \times 10^6 (s - \beta_{12})(s - \beta_{13})(s - \beta_{15})(s - \beta_{16}) + (s + \beta_2) \cdot s \cdot (s - p_{12})(s - p_{13})(s - p_{14})}$$

明らかに、 $\lim_{s \rightarrow 0} \beta_{50}(s) \cdot s \cdot \frac{\beta_{SC}}{s} = \beta_{SC}$ となり設定値に等しく圧力可変化できる。

給水制御系も基本的に同一であり、そのブロック線図を図3.2.2.3に示す。

(6) シミュレーションの結果と検討

シミュレーションは図3.2.2.1に基づいて w_s, w_f, w_b に対する開ループの特性、次に P_s, y に対するそれぞれの単独ループとしての開ループの特性、次に P_s, y が共に開ループとしての特性を求めた。

次に図3.2.2.3に基づいて分割制御を行った時の P_s, y の開ループ特性を求めた。図3.2.2.1に基づく従来の制御の場合と図3.2.2.3に基づく分割制御の比較は分割制御の項で行う。

シミュレーションはアナログ計算機を用いた各式を近似させずにそのまま用いた。計算状況を図3.2.2.4に示しておく。

(a) 従来の制御方式

開ループに対する入力状態量との静的ゲイン又は時定数は式(3.2.2.7)及び式(3.2.2.9)より求めるが改めて下記に示しておく。尚各物理量の次元は10項に示した通りであり有る。

$$\left. \begin{aligned}
 P_s/w_s &= -2.11 \times 10^{-2} & T_s/w_s &= 9.38 & T_s/w_b &= 3.25 \times 10^{-4} & y/w_s &= 4.58 \times 10^3 \\
 P_s/w_e &= -1.11 \times 10^{-2} & T_s/w_e &= -1.01 \times 10^{-2} & T_s/w_c &= -2.84 \times 10^{-4} & y/w_e &= 2.98 \times 10^3 \\
 P_s/w_f &= 4.47 \times 10^1 & T_s/w_f &= 1.72 \times 10^2 & T_s/w_j &= -8.56 \times 10^{-3} & y/w_f &= -6.91 \times 10^1
 \end{aligned} \right\} (3.2.2.21)$$

まず表3.2.2.1の w_f, w_e に対するそれぞれの応答を示す。以下右表共オシロ左側の $(\times \alpha)$ は計測のための増幅係数で α^{mm}/v を示す。又電圧1vがそれぞれの物理量の1に相当している。オシロ中の記入の数字は変化量を mm で読み取ったものである。例へば表3.2.2.1の左側において w_f は読み取り 5^{mm} 、計測の係数は $\times 1$ 、このとき y は読み取り -3.5^{mm} 、計測係数 $\times 10$ であるからその変化率は $y/w_f = -\frac{3.5}{1} \times \frac{1}{5} = -0.7$ となり式3.2.2.21の $y/w_f = -6.91 \times 10^1$ と一致する。以下同様である。

表3.2.2.1右側に於いては w_e の変化に対して y が逆応答を示している。又表3.2.2.2においては w_s の変化に対して y が逆応答を示す。その量は $w_f = 3^{1/3}$ ($= 4.8^{1/3}$) のときは $\frac{3}{40} \times \frac{1}{5} \times 3 = 0.03^{1/3}$ (9.0^{mm}) 程度である。

表3.2.2.3は P_s の開ループとしての設定値変化であり、 $K_{P2} = 10 \sim 15$, $T_{i2} = 100 \sim 120^{sec}$ が適当である。又表3.2.2.4は y の開ループとしての同一変化で $K_{P1} = 30 \sim 40$, $T_{i1} = 600 \sim 1000^s$ が適当である。

表3.2.2.5は P_s, y 共開ループとしての P_s の設定値変化である。 P_s, y もそれぞれ単独で開ループとしての K_{P1}, T_{i1} に対して K_{P1} はやや小さく、又 T_{i1} はやや長くなる。 P_s の応答は $K_{P2} = 10$, $T_{i2} = 120^{sec}$ としての時定数は 60^{sec} である。 P_s から P_s (圧力) への換算は $P_s = 81.5 T_s + 1.01 \times 10^5 P_s$ が本装置の換算式であるが T_s の変化は無視出来るので表3.2.2.5において、 P_s の設定値変化

$0.8/40^{16}/t^3$ は $P_5 = 0.8/40 \times 10^5^{16}/t^2 = 2 \times 10^3^{16}/t^2 (= 0.96^{16}/\text{cm}^2)$ の変化に対応する。
 この時水面は $0.7 \sim 0.75/10 = 0.07^{tt} \sim 0.075^{tt} (= 2.1^{cm} \sim 2.3^{cm})$ が変化している。表3.2.2.6, 3.2.2.7はyの設定値変化に対する応答で表3.2.2.6ではyの $0.5/10 = 0.05^{tt} (= 1.5^{cm})$ の変化に対して P_5 は $0.24/40^{16}/t^3$, P_5 として $0.24/40 \times 10^5^{16}/t^2 = 6 \times 10^2^{16}/t^2 (= 0.85^{16}/\text{cm}^2)$ である。又給水系の時定数は約 170^{sec} である。

表3.2.2.8は用ル-70時の外乱(W_s) 応答で、外乱量は $0.5^{16}/s (= 0.8^{16}/t)$ であり P_5 の変化は $0.3/10^{16}/t^3$, P_5 としては $0.3/10^2 \times 10^5^{16}/t^2 (= 0.14^{16}/\text{cm}^2)$ である。又このときyは $0.58/40^{tt} (= 4.4^{mm})$ 変化している。

尚、これらの応答は線形近似しているので比率として変化することを示す。
 以上が本ラットの用ル-70応答、及び在来制御での用ル-70応答の状態である。

(b) 分割制御及び比較

表3.2.2.9 ~ 3.2.2.12 に分割制御を実施した応答を示す。分割制御は式(3.2.2.20)において

$$\left. \begin{aligned}
 \gamma_1 &= 0.5 \times 10^{-2} & \gamma_2 &= 2 \times 10^{-2} \\
 K_1 &= 3.2 \times 10^3, 4.8 \times 10^3 & K_2 &= 1.05 \times 10^2, 1.4 \times 10^2
 \end{aligned} \right\} (3.2.2.22)$$

によって行った。又図3.2.2.3に示す給水系の T_i は 600^{sec} としている。
 表3.2.2.9左側において P_5 としての設定値変化、 $0.8/40^{16}/t^3$ に対して、時定数は約 170^{sec} 、又水面(y)の最大変化は $0.3/10^{tt}$ である。これと同一条件で、右の 1200^{sec} とした表3.2.2.10の分割制御のものは $0.3/10^{tt} \sim 0.35^{tt}/10$ となっている。一方在来制御のものは表3.2.2.5に示す如く同一の P_5 の設定値変化量であるが、 $0.8/40^{16}/t^3$ に対して水面変動は $0.7/40^{tt} \sim 0.75/40^{tt}$ となっており、分割制御の結果は約60%程 P_5 変化の際の水面変動を抑へている。又この時在来制御の時定数は分割制御で約 90^{sec} 、在来制御で約 60^{sec} である。

表3.2.2.11において y として設定値変化、 $0.5/10^{tt}$ に対して P_5 の変動は概して、約 $0.3/40 \sim 0.5/40^{16}/t^3$ である。一方これに対応する在来制御は表3.2.2.7の右側、又は表3.2.2.6において、 P_5 の変動は $2.4/40 \sim 3/40^{16}/t^3$ であり、分割制御は在来制御の変動の約80%を抑へこんでいることを示す。又この時給水系の時定数は分割制御で 220^{sec} 、在来制御で 170^{sec} 程度となっている。

次に表3.2.2.12において W_s が $0.5^{16}/s$ 変化した場合の P_5 の変化は $0.3/10^2^{16}/t^3$, yの変化は $0.15/10^{tt}$ である。一方在来制御の場合は、表3.2.2.8に示す如く、同様に W_s が $0.5^{16}/s$ 変化した場合、 P_5 は $0.3/10^2^{16}/t^3$, yは $0.58/40^{tt}$ 変化している。すなわち、 P_5 の変化は在来制御が約50%少く、yの変化はほぼ同じである。

(c) 考察と結果判定

以上簡単な両者の応答結果を示したが、在来系の設定値変化に対しては、分

分割制御は従来の制御の約20%程度に、水面変動を減少させ、又給水系の設定値変更に対しては、分割制御は従来の約40%程度に圧力変動を減少させている。又非乱応答に対しては分割制御は従来の約50%多くなっている。

ここで非乱応答に対する圧力変化が大きくなる、原因を簡単に考えると、給水系において従来の主たるコントローラである式(3.2.2.19)の G_{c11} の静的ゲイン(g_y)は、式(3.2.2.20)の様か $\alpha_1(s)$ の型を止め、かつ式(3.2.2.21)の様か K_1 、 β_1 を止めると、

$$g_y = \frac{K_1 \cdot 6.36 \times 10^{-3} \cdot 4.83 \times 10^{-4}}{\beta_1 \cdot 9.82 \times 10^{-2}} = \frac{3.2 \times 10^3 \cdot 6.36 \times 10^{-3} \cdot 4.83 \times 10^{-4}}{0.5 \times 10^{-2} \cdot 9.82 \times 10^{-2}} \approx 2.0 \times 10$$

となり従来の K_{p1} とほぼ等しくなっている。一方 G_{c11} は

$$G_{c11} = g_y \cdot \frac{(2.07 \times 10^3 s^2 + 1.07 \times 10^3 s + 1)}{(2.04 \times 10^3 s^2 + 2.1 \times 10^3 s + 1)}$$

でややラゲドとなっているが静的ゲインは全く逃さない。したがって分割制御後の給水系は分割されつつ、従来の制御と大差がないと予想される。

一方圧力系においては、元来 A マトリクスが非正則であることに起因して、分割制御における圧力系の主たるコントローラ、すなわち式(3.2.2.19)の G_{c22} は1型の系となる。このため、分割制御の給水系に用いた $P+I$ が不要になるので制御の定常性には効果があるが、速応性、安定性を悪化させる。又この1型であることも $\alpha_2(s)$ の選定で0型にすることは不可能である。したがって非乱のフィードバック補償も加算点を考慮しつつ併用すれば、非乱応答の圧力系の改善は容易と思はれる。

以上をまとめると入力非干渉のための分割制御はその効果は大きく、又ボイラタービンプラントにおいて対象システムの次報はながびか10内外であり、又入力ベクトルも4~5程度であるので計算機を用いてそのコントローラマトリクスを構成するのは容易であり今後大いに発展すると思はれる。

(7) あとがき

以上分割制御も出力ベクトルフィードバックにより実施する場合も、伝達関数マトリクスを用いて考察したが、実際にあるときは A 、 B マトリクスを正確に求めないと分割の効果が半減する。したがってシステム同定の手法と大いに関連がある。

又特にボイラタービンプラントを時変型として扱えるとユキはある時間間隔毎にシステム同定の実施、かつコントローラマトリクスの一部修正を行う事が必要となり、計算機の使用とは不可分となる。

又かなり急変を伴う場合の変圧運転や自動発停を用いるボイラタービン

このラポートに於いても今後必要とするうし、又他のアドバンスト・システム・10-11
巻行う時、分割制御も実施し、長らく単一ループ系として実施すれば容易であり
大抵の新事も大抵のものと思はれる。

尚、本ラポートに於いては長らく p 上に重根がある $k=0$ が存在すると
前記の計算法はやや複雑になる。

(参考文献)

- 出力ベクトルフィードバックによる多変数系の分散制御; 須田
システムと制御 vol. 15, NO. 3 PP. 231~
- 伝達関数行列の対角化と分散制御; 須田
システムと制御 vol. 15, NO. 9 PP. 819~
- The Decoupling of Multivariable System by State Feedback; GILBERT, E. G
SIAM J. Control vol. 7, NO. 1 Feb '69 PP. 50~
- A Computer Program for the Synthesis of Decoupled Multivariable Feedback System, GILBERT, et al.
IEEE Trans. on AC, Dec. '69 PP. 652~

$\therefore \det [SI - A] = SQ$

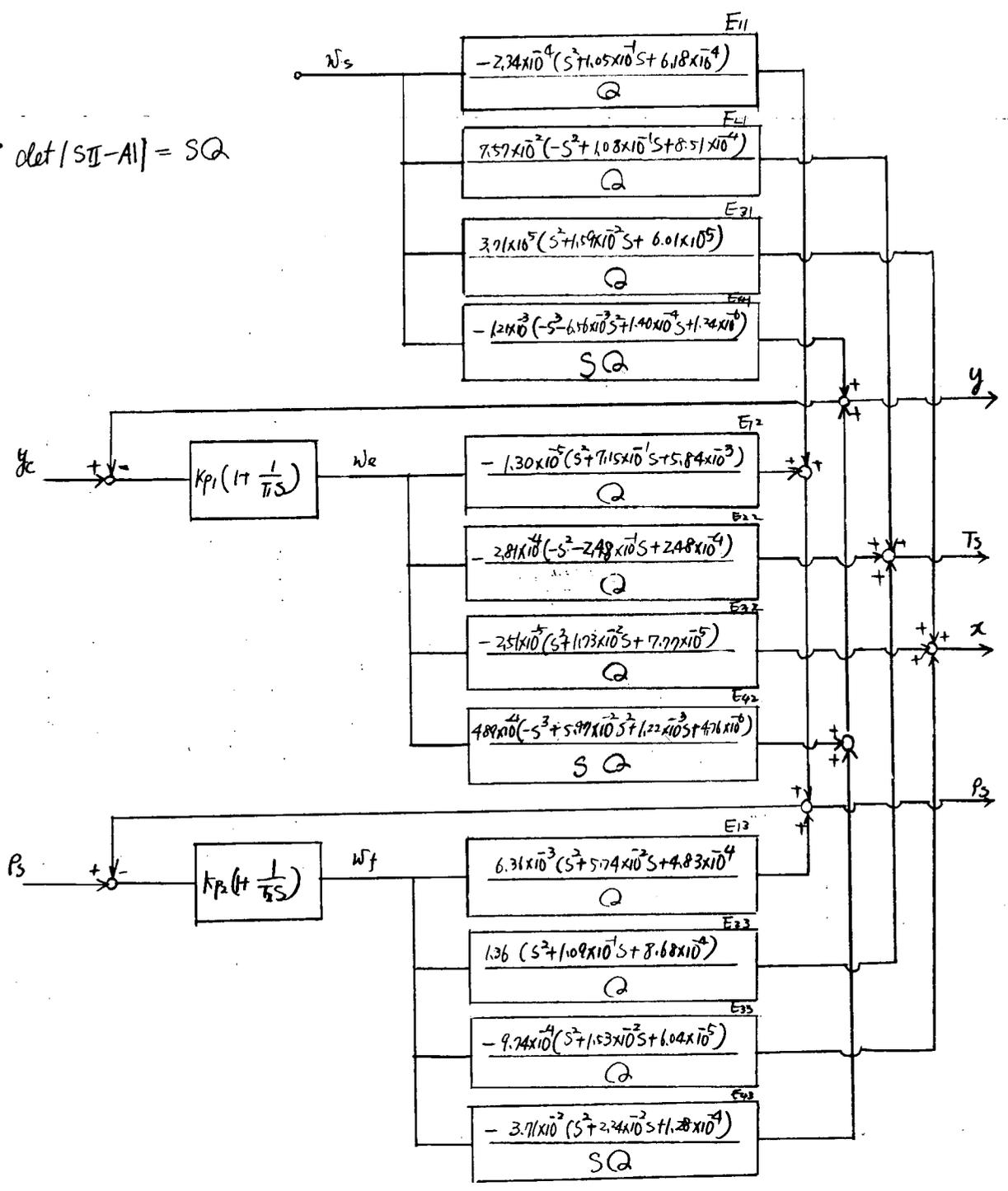


図 3.2.2.1 在平方式の新解ブロック図

$$\bar{E}_j = \frac{E_j}{S Q}$$

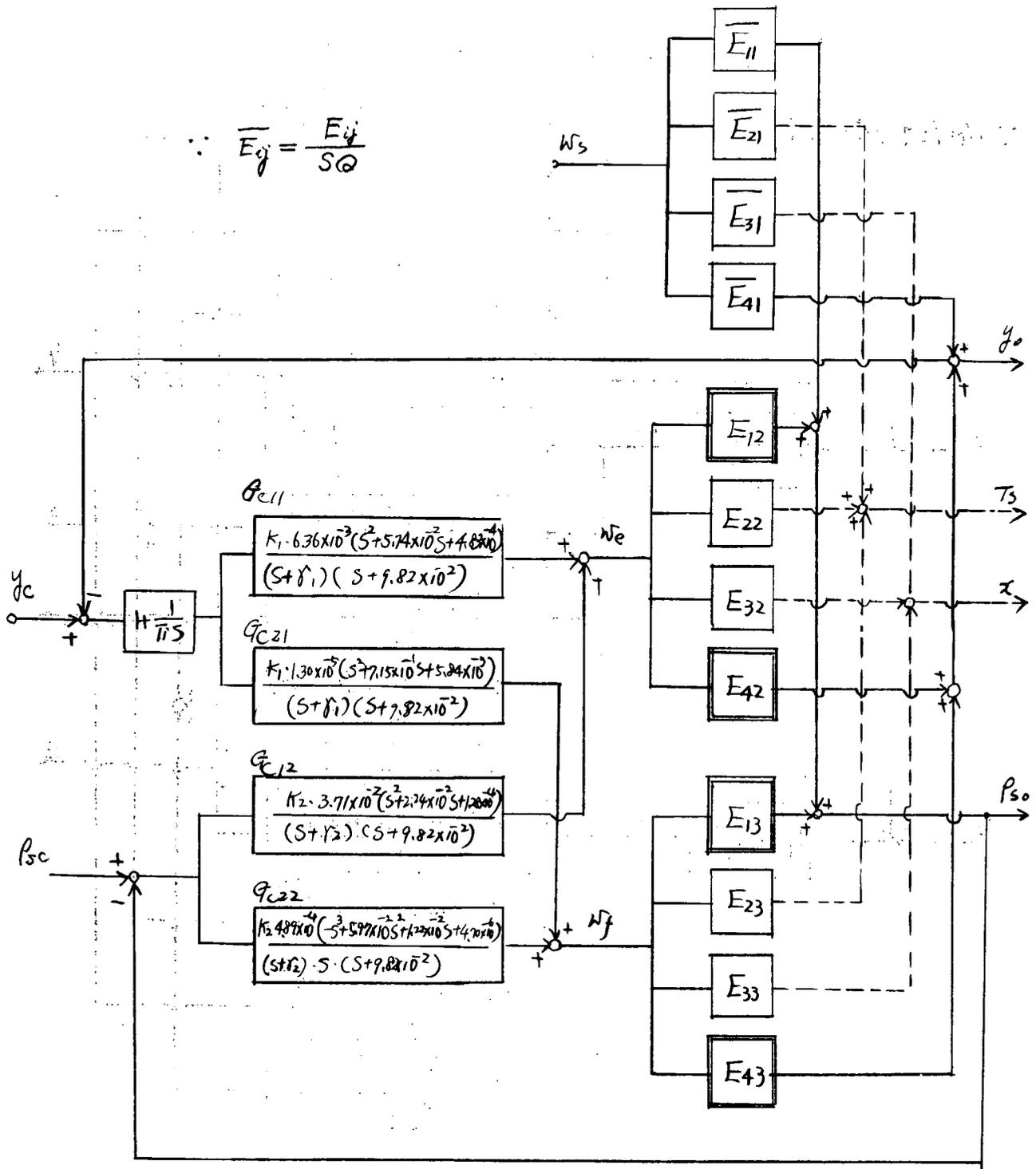


图 3.2.2.3 分割制御ブロック図

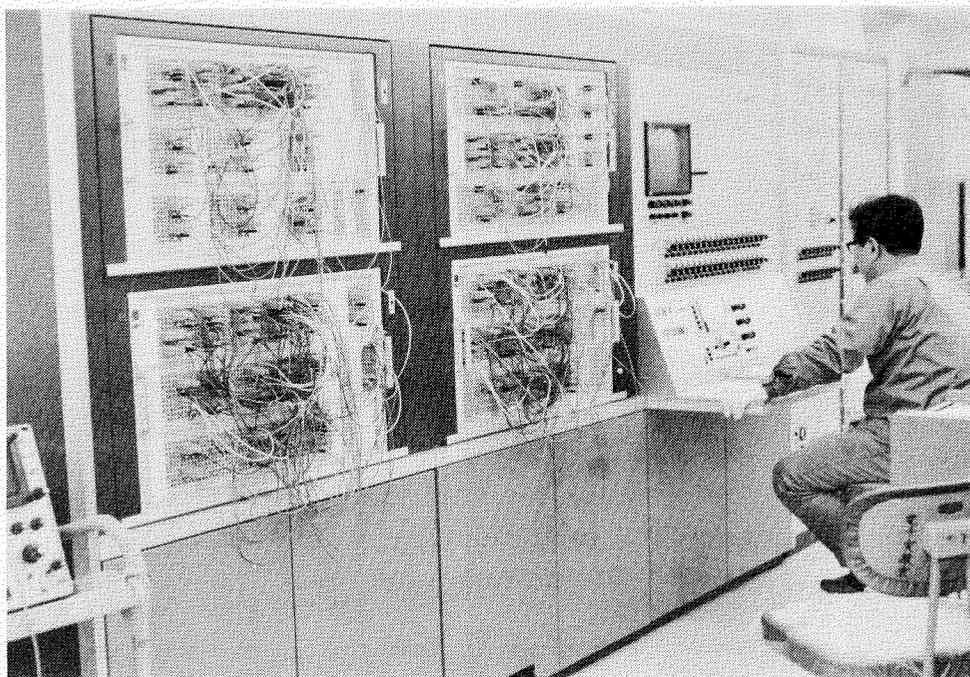


図 3.2.2.4 シミュレーション風景

表 3.2.2.1 貯. 貯. の開ル一ノ忘答

CHART No. OP-406

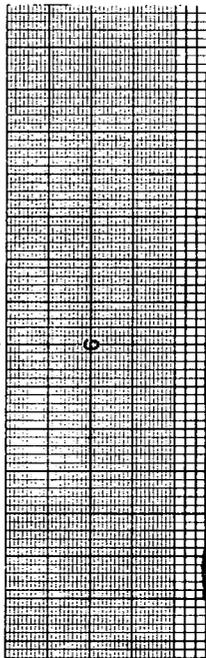
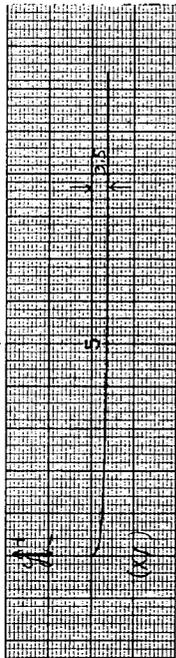
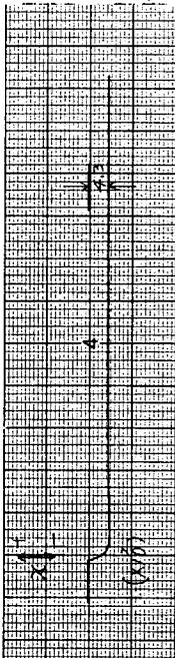
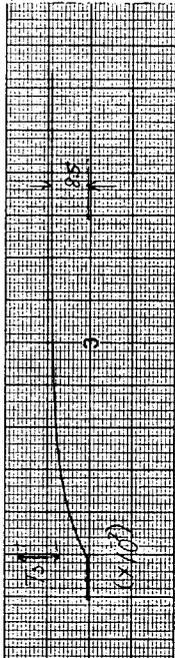
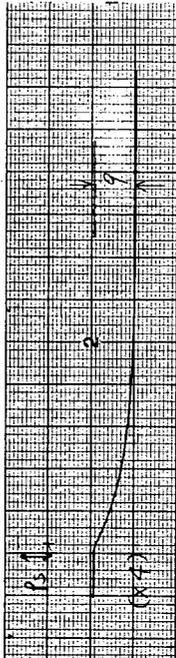
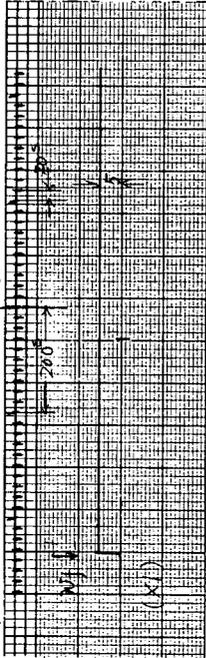


CHART No. OP-406

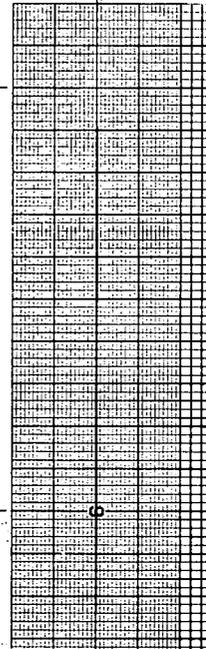
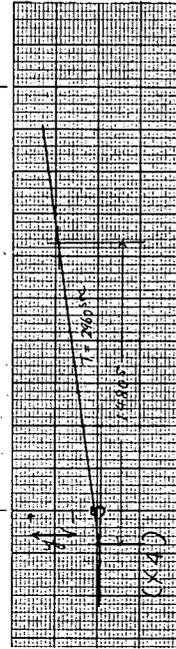
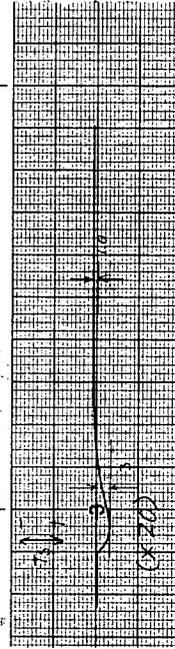
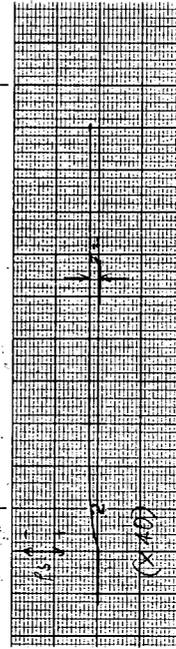
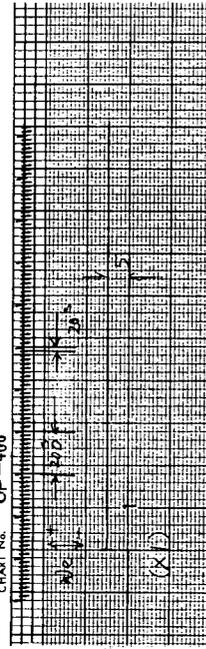


表 3.2.2.2 W_0 の外乱応答 (全開ループ)

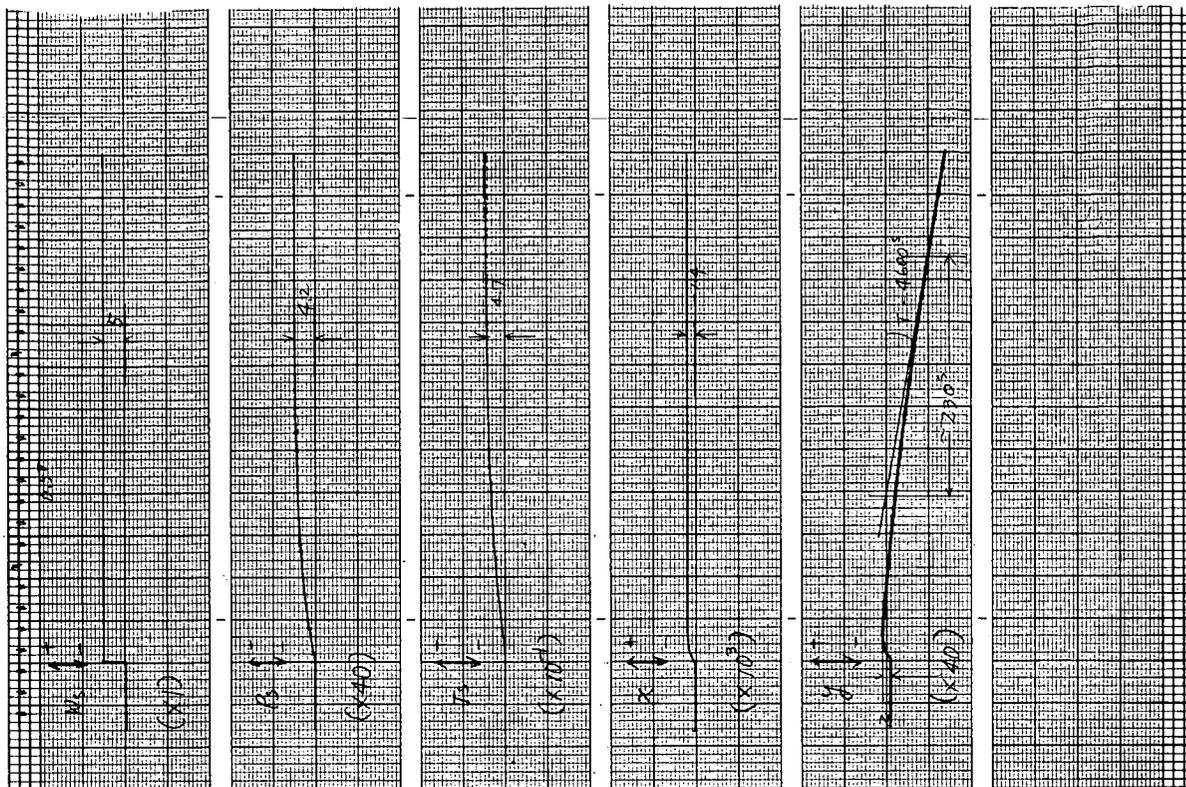


表 3.2.2.3 β の開ル - 丁 応答 (女性開のみ)

CHART No. OP-406

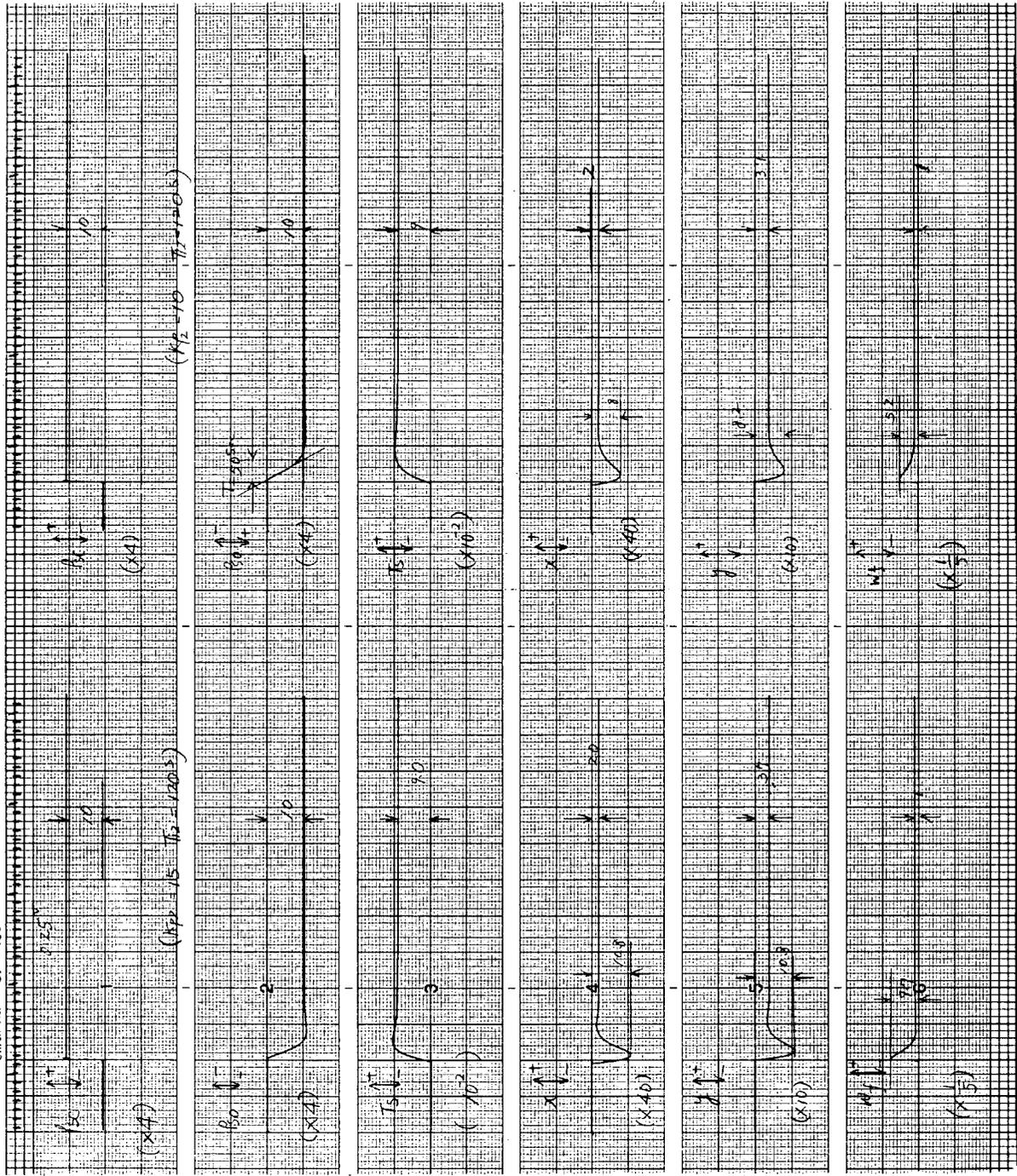


表 3.2.2.4 女の閉ル-ア応答(片は開のまじ)

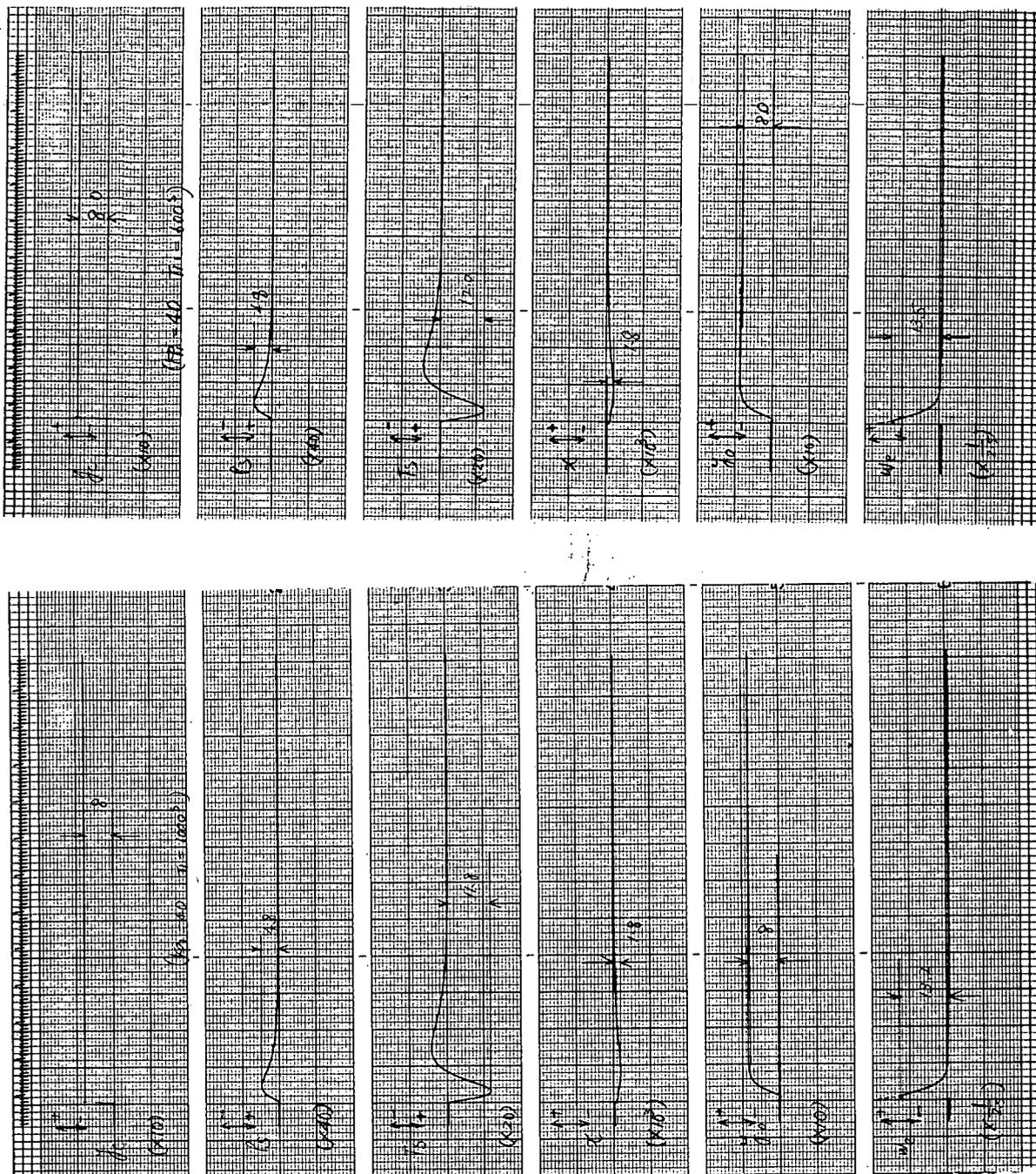


表 3.2.2.5 P_3 の全開ループ応答

CHART No. OP-406

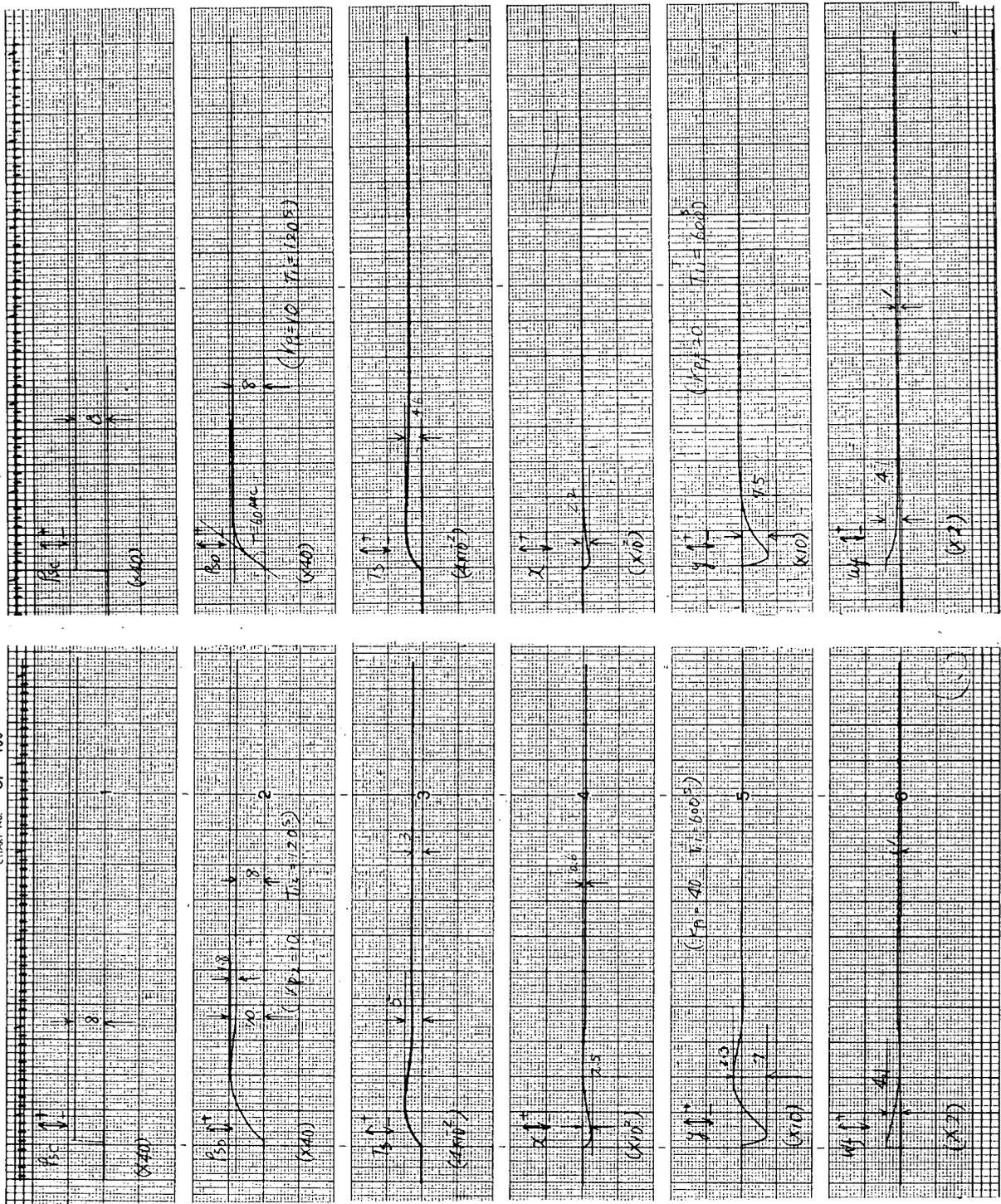


表 3.2.2.6 4 の全開ループ応答-1

CP-406

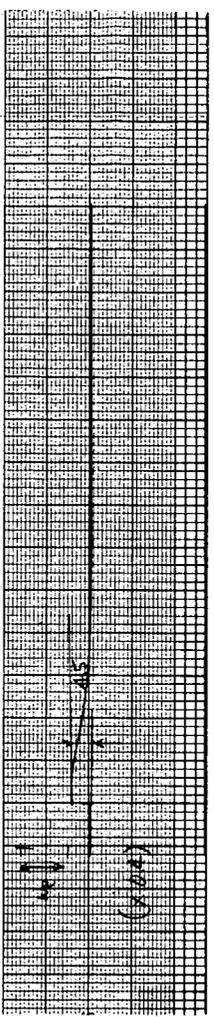
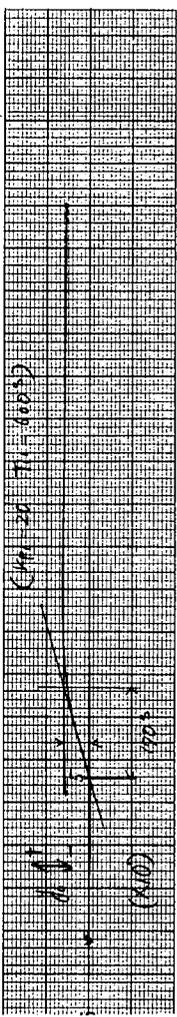
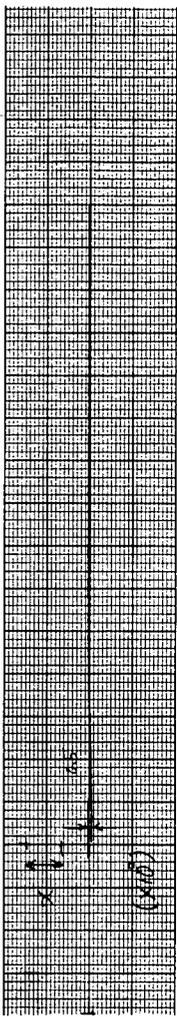
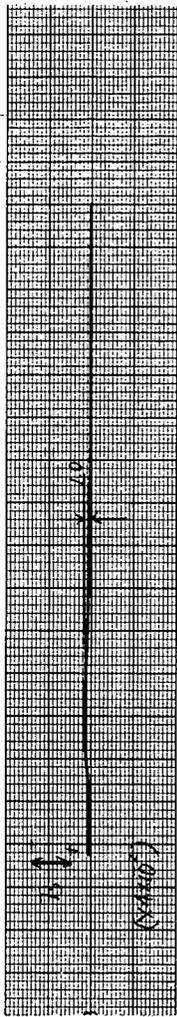
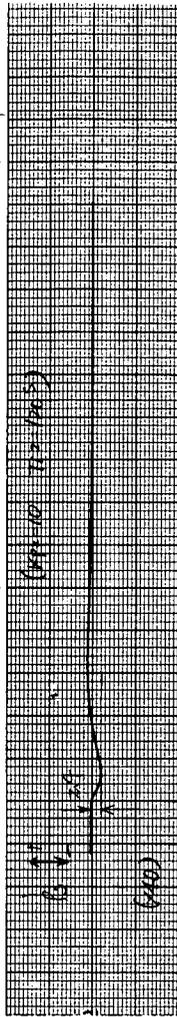
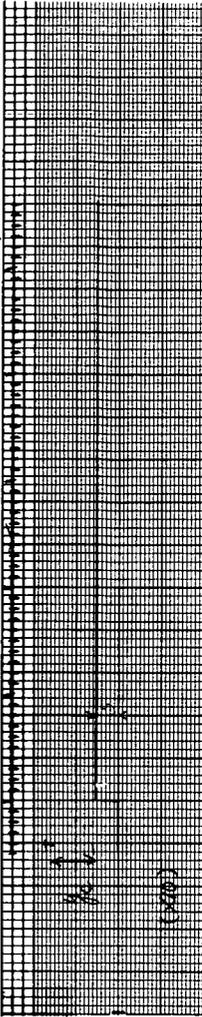


表 3.2.2.8 閉ル-丁外乱応答

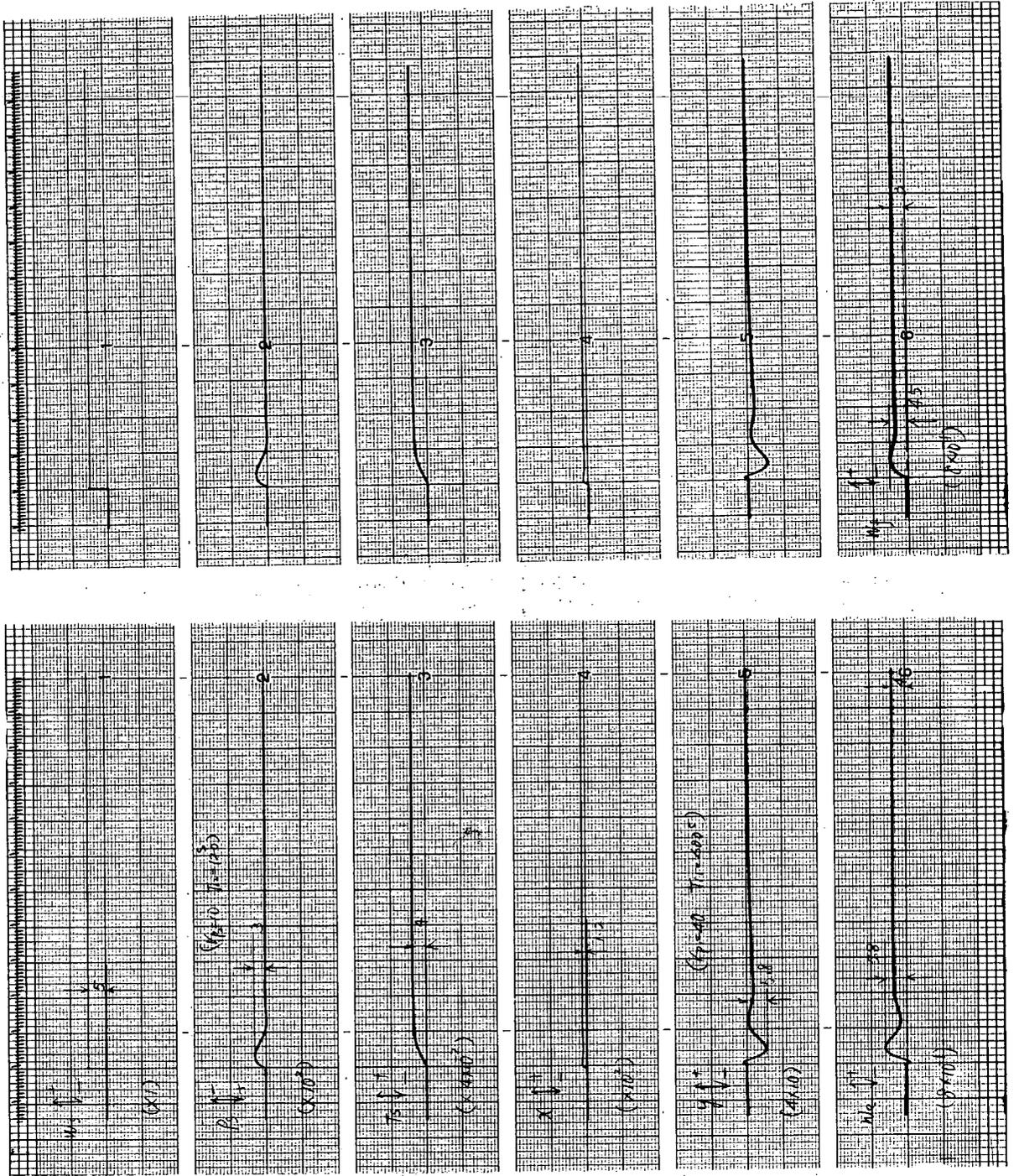


表 3-2.2.9 β_0 の全開ループ応答-1 (分割制御)

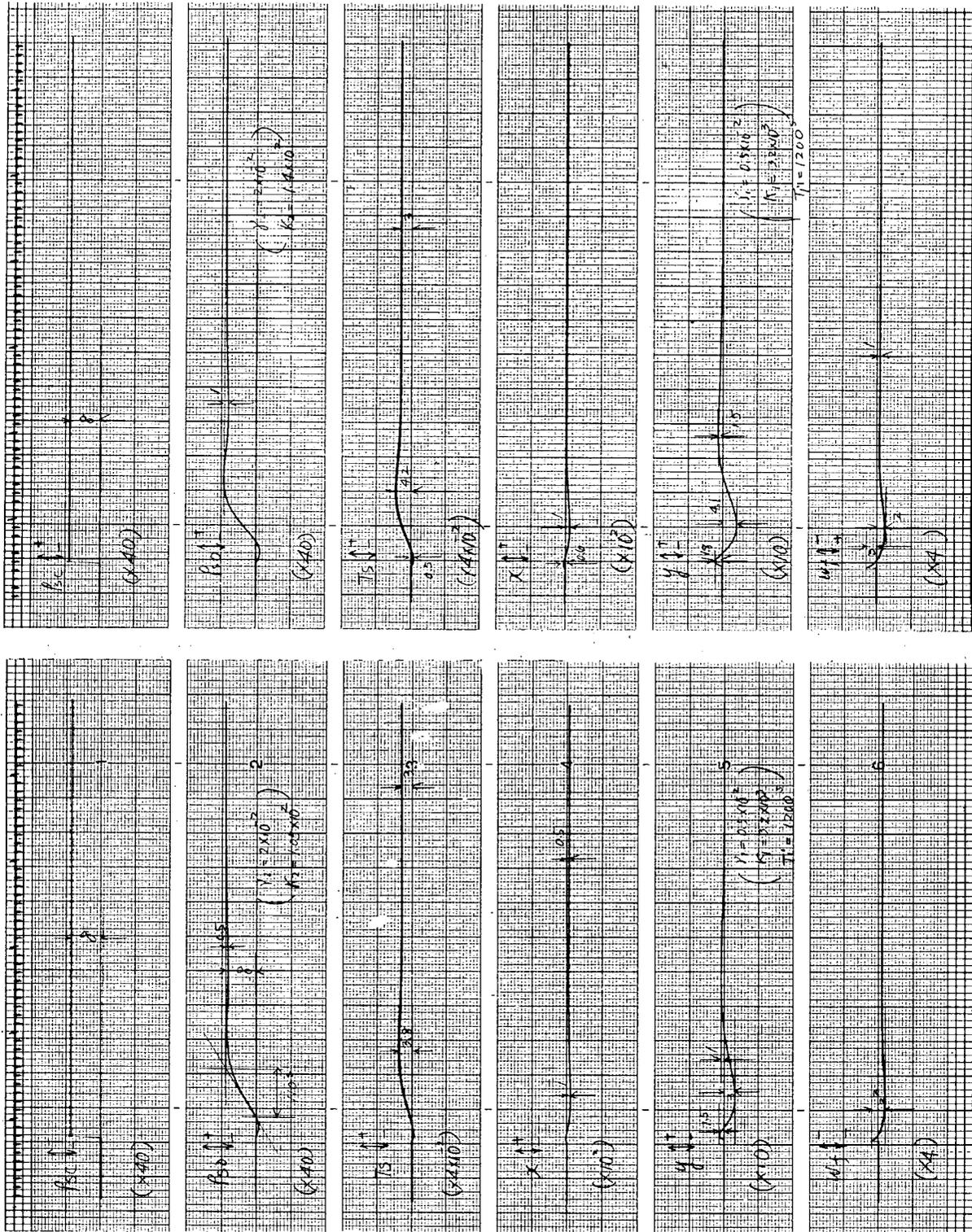


表 3.2.2.10 β_3 の全開ループ応答-2 (分割制御)

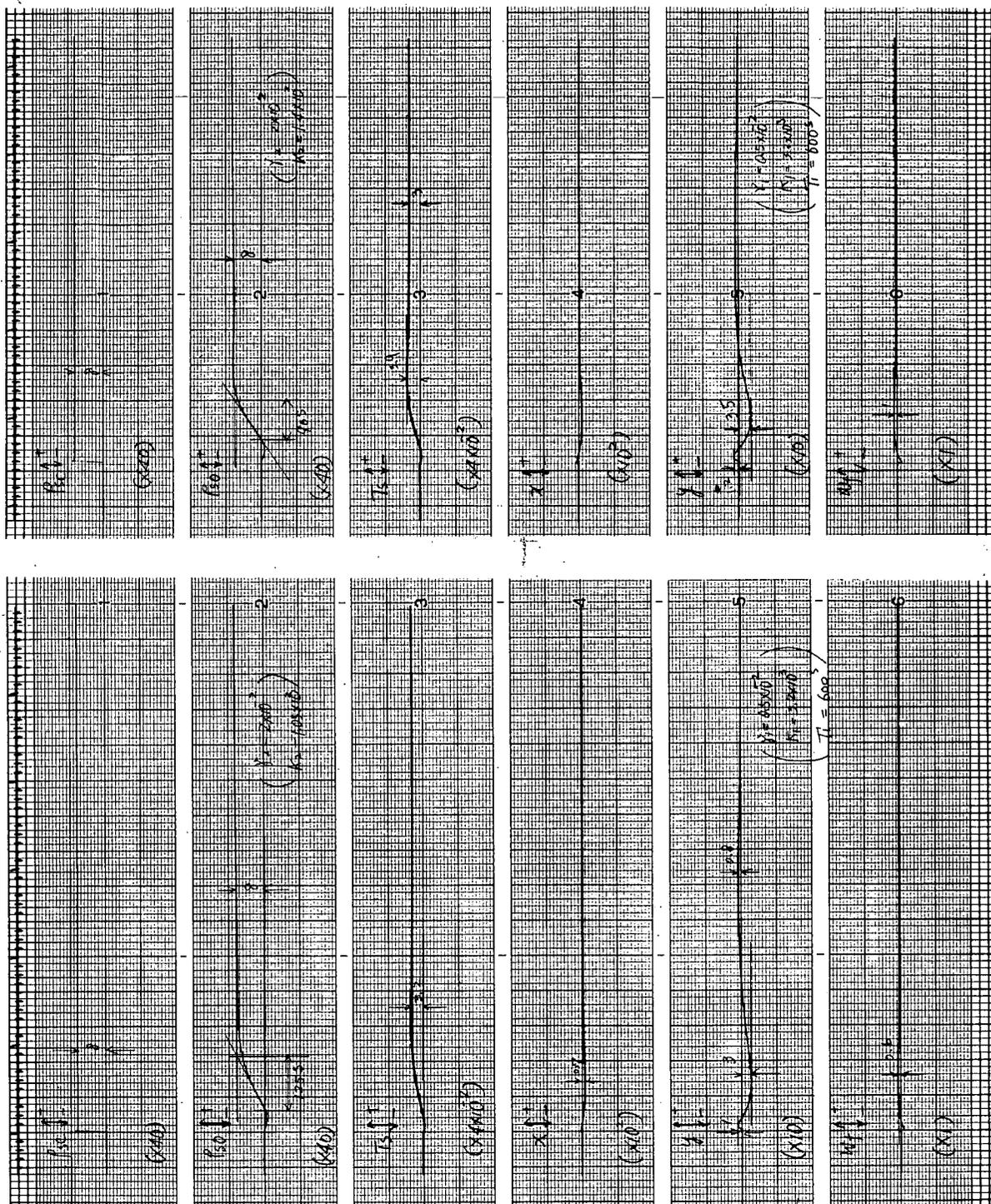


表3.2.2.11. きの全開ループ応答分割制御

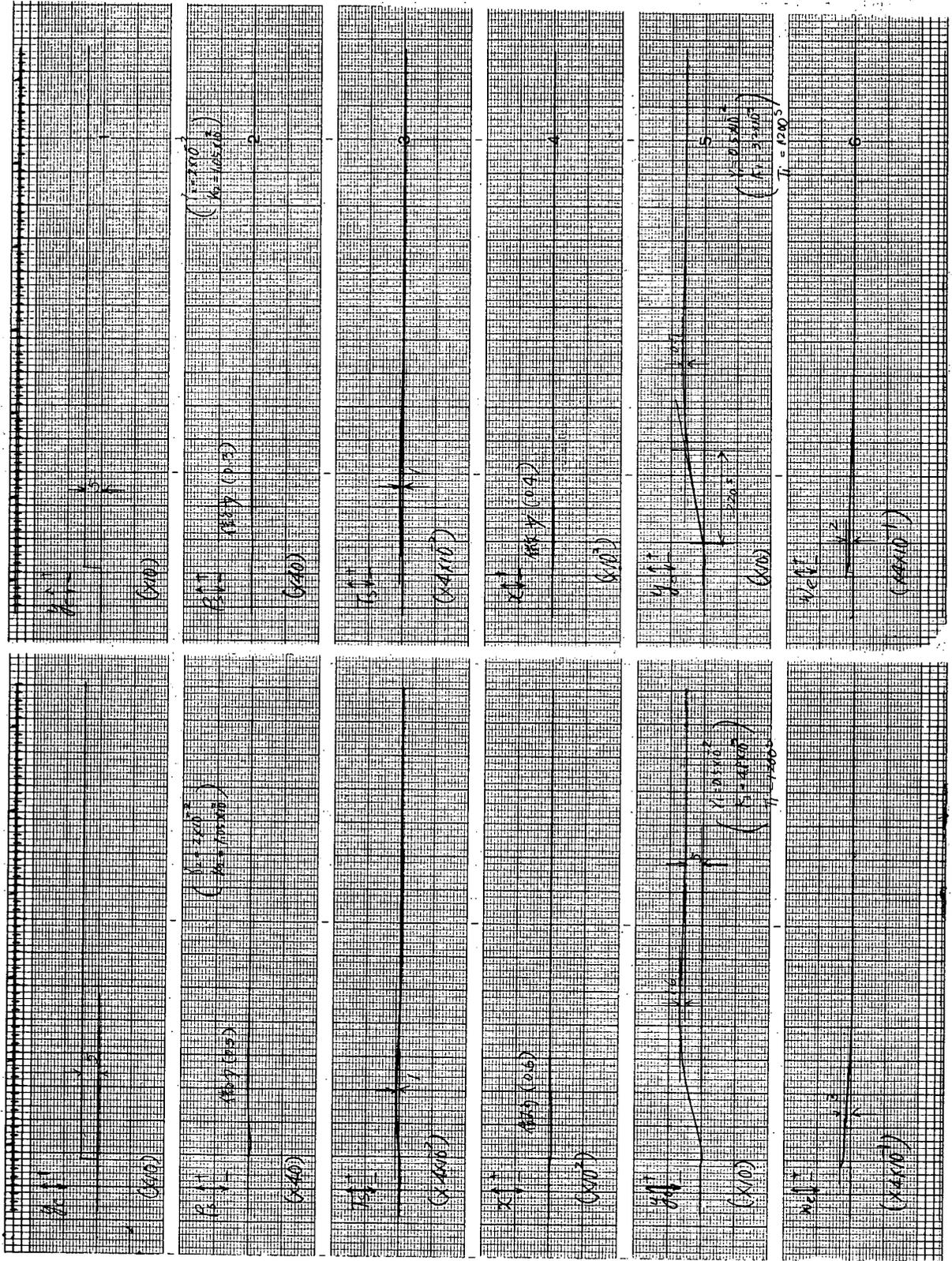
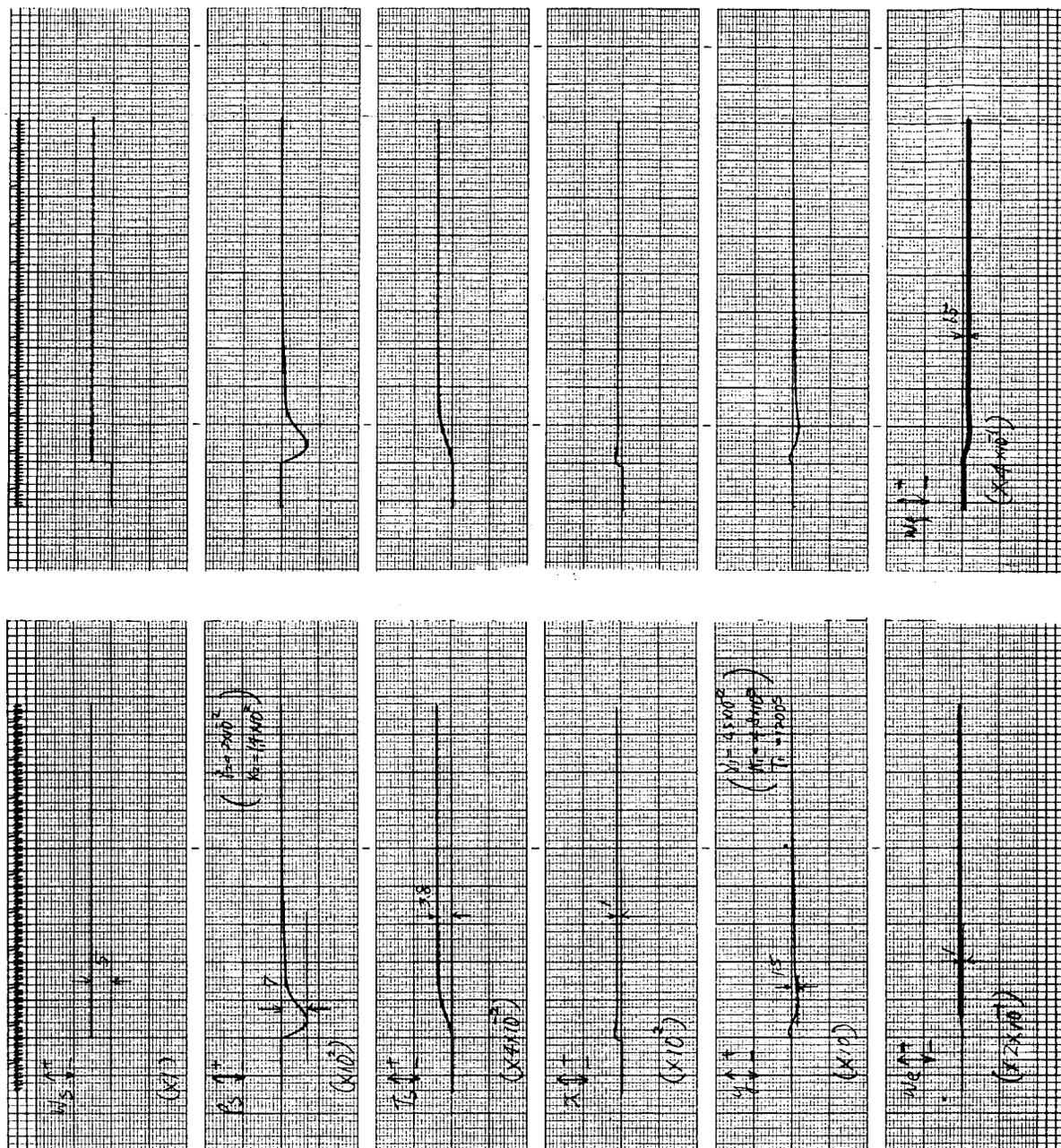


表 3.2.2.12 既の外垂成基(分割制御)



3.2.3 ボイラ系の適応制御

(1) 一般事項

プラントは線型時変多変数系とする。

こゝに於けるモデル規範型の適応制御は他のタイプたとへば試行探索型に比して、情報処理能力において、また制御の速さにおいて多変数向きとされている。実プラントに適応せしめられたこのモデルを参照し準最適制御則に基づき操作量(プラントへの入力)を算出する。この準最適制御則は時変系に於て計算システムが比較的簡単な、1サンプル毎毎の最適化を行ふ1段決定過程の連続であり、動特性改善の面に於て多段決定過程としてのダイナミックプログラミングと大差ない成果を得る場合がボイラに対する解析結果として発表されている¹⁾。適応制御の直接目的は時変プラント特性をある丈正確に把握し、完全に把握されたとした時の制御応答に可及的接近せしめることであり、この制御応答もどのようなパターンにあるかは制御則の推定に一義的に関係することである。当システムは、プラントへの入力、状態量及びそれ自身の出力(モデルの状態量)ベクトルにより適当な時間毎にその内容パラメータを修正し、プラントに追従して行くモデルを推定する計算システムと、推定されたモデルパラメータにより準最適制御アルゴリズムを計算し、且つプラント状態量と1サンプル前の外乱入力により操作出力を計算するシステムより成る。

本検討に用いるプラントモデルは文献¹⁾に示されたものと時変型に改めたものである。

ボイラ内部状態を示す状態量は直接観測可能とし、雑音の影響は無視しうるものとして仮定する。これらの仮定は問題を簡易化し、適応動作の効果をクローズアップして検討するためである。

文献¹⁾もそうであるが、温度制御系については触れない。温度制御方法にもよるが、バーナチルト等で行ふことと考へない限り温度応答系は他の応答系即ち蒸気圧及びドラム水位とはほぼ独立な応答を示すと考へてよい場合が多いこと、また温度制御方式が他の2つの制御程定式化されていないので一般論として述べ難いことなどがその理由である。

最後の仮定として、操作部即ち各操作弁、その駆動部、更にはメータリングループを構成する際それらの応答も此は無視している。尚本検討に於けるシステムはすべて離散値系として表現され、よつて制御に關するアルゴリズムはそのまゝ計算機制御に用いうる。

尚こゝでは目標設定値は不変とし加法的入力は蒸気量変化外乱のみとする。

- 1) H. Nicholson, Dynamic Optimisation of a Boiler, Proc. IEE, Vol. 111, NO. 8 August 1964, P. 1479~

(2) システムの構成と概要

こゝに示へるシステムの構成は図3.2.3.1の如く4サブシステムより成る。このうちプラントは本検査作業のためにはシミュレーションモデルであり、実際には無論実ボイラである。他は本検査作業と実機との間に大差は無い。

プラント

プラントへの入力信号は、操作入力としての給水量 w_e 、燃料量 w_f 及び外乱としての蒸気取水量 w_s であり、パラメータ変化として状態推移行列の変化 $\delta \bar{A}$ が時間関数として与へられる。出力信号は過熱器出口密度 ρ_s 、同温度 T_s 、上昇管のゆがみ χ 、ドラム水位 y であり、 ρ_s 、 T_s から蒸気圧力 p_s は一義的に定まる。

プラントの初期状態は推移行列表示で $\bar{x}(0)$ にあり、駆動行列 Δ は時間に不変であると仮定する。 $k \in \mathbb{Z}$ でサンプル時刻を示すものとすると、

$$\text{入力ベクトル} \quad u(k) = [w_s(k) \quad w_e(k) \quad w_f(k)]' = [w_s(k) \quad y_2'(k)]'; \quad p \text{次元}$$

$$\text{状態ベクトル} \quad x(k) = [\rho_s(k) \quad T_s(k) \quad \chi(k) \quad y(k)]'$$

(出力)

$$\rho_s(k) = M x(k), \quad M = [k_1 \quad k_2 \quad 0 \quad 0]; \quad \text{示性式}$$

$$\text{推移行列} \quad \bar{A}(k) = \bar{A}(0) + \delta \bar{A}(k); \quad n \times n \text{行列}, \quad n = \dim x$$

$$\text{駆動行列} \quad \Delta = [\Delta_1 \quad \Delta_2] \quad \Delta_1, \Delta_2 \text{は夫々 } w_s, y_2 \text{に対応}$$

モデル

プラントと同次元、同一形状の数式モデルも制御用計算機内部に備え、この推定推移行列を利用して制御法則を別サブシステムに算定せしめるためのものである。プラントの推移行列 $\bar{A}(k)$ は直接計測出来ないものであるから、別サブシステムに於てプラントのパラメータ(推移行列)変化を最適に推定し、それに基づきモデル \bar{A}_{l-1} を \bar{A}_l に改変する。この改変は連続サンプル時刻 k のうち K サンプル数ごとに1変行はれ、引続く K サンプル数の間は一定に維持される。

この間を l 番目の推定区間と云うことにある。これを図3.2.3.2に示す。

モデルへの入力ベクトル、駆動行列は共にプラントのそれと同一であり、出力ベクトルはプラントのそれに基づいて $\bar{x}(k)$ とする。尚こゝでは

$$\bar{A}(0) = \bar{A}_1, \quad x(0) = \bar{x}(0) \text{とする。}$$

パラメータ推定部

プラント及びモデルの状態量(ベクトル)の差 $\delta x_2(m) = \bar{x}_2(m) - x_2(m)$ を主情報とし、モデル状態量のパラメータ感度 $\partial \bar{x}_2(m) / \partial \bar{A}_l$ に基づき推定モデル状態量変化 $\Delta \bar{x}_2(m)$ を表はし $\delta x_2(m) + \Delta \bar{x}_2(m)$ なる誤差に最小2乗則を適用して得られた線型推定に関する正規方程式を解いて、最適推定モデルパラメータ変化量 $\delta \bar{A}_l$ を算定し $l+1$ 番目のモデル改変量とする。なお m は l 番目

の推定已向の最初から教へ始めたサンプル時の番号である。この向のK々のサンプル値(時系列)について考えると $\bar{x}_k(1), \dots, \bar{x}_k(k)$ の如くである。

なお補助情報量として、操作入力時系列 $u_k(m)$ が逐次必要でありまた $\bar{x}_k(0)$ も要する。Sと推定精度評価値の対応状態量差についての荷重行列とすると、

$$\Delta \bar{x}_k(m) = \frac{\partial \bar{x}_k(m)}{\partial \Phi_k} \delta \Phi_k, \quad m = R - k(l-1) \quad \because x(R) = x_k(m) \text{ etc.}$$

$$J_1 = \sum_{m=1}^K \{ \delta x_k(m) + \Delta \bar{x}_k(m) \} S \{ \delta x_k(m) + \Delta \bar{x}_k(m) \} \rightarrow \text{Min. 即ち } \frac{\partial J_1}{\partial \Phi_k} = 0$$

$\bar{\Phi}_k$ は行列 $\bar{\Phi}_k$ の要素と列要素とする n^2 次元ベクトルである。

以上のことは、 $\delta x_k(m) = -\Delta \bar{x}_k(m)$ の一意解が代数方程式的に不能であっても $J_1 \rightarrow \text{Min.}$ となる最小二乗解は求めうるという推計学的意味をもっている。

なお $\delta \Phi_k$ から $\delta \bar{\Phi}_k$ への変換はベクトルから行列への配列変へで容易に行へる。

準最適制御部

各サンプル時長での状態量に関する評価関数 J_2 と最小にするような操作量 y_2 を算定する。

$$J_2 = x'(k) P x(k) \rightarrow \text{Min. 即ち } \frac{\partial J_2(k+1)}{\partial y_2(k)} = 0$$

2次形式 J_2 はたとへば目標値ゼロなる状態量と時向軸向の2乗面積に類するもので、制御の質を判断する指標となる。

こゝに対称重み行列 P は次のようにして求める。本来この P は J_2 に対する x の各要素の効果と考へて設定すべき政策的定数であるが、それ以前に J_2 をリアプノフ関数とすると、即ち P が正定であり且つ $dJ_2(t)/dt$ が負定の時に、 x を状態量とする自由系は、たしかに漸近的安定であることを利用する。これを徹底するならば P はすべての k についてこの条件を満すべきであるが、本シミュレーションでは簡単の為に推移行列が $\bar{\Phi}(0)$ なるプラントについて上記条件を満すべきことより求めるにとどめる。この P は次の行列方程式の解と見做される。¹⁾ 但し 3.3 節では推定推移行列 $\bar{\Phi}_k$ に対応した P_k を用いる。

$$\bar{\Phi}'(0) P \bar{\Phi}(0) - P = -I$$

こゝに I は $n \times n$ の単位行列である。

こゝで P のすべての首座の行列式が正であれば、 J はリアプノフ関数でありプラントその自体は漸近的安定である。これをシルベスタの判定という²⁾

この様に P を撰ぶことは必ずしも必要なことではなく、制御則によつて漸近安定となる存に在ることも可能ではあるが、こゝでは上記の様に撰んだ。

1) 高橋安人, システムと制御, 岩波書店 p. 207

2) 同上 p. 199

(3) 適応制御アルゴリズム

(2)に記した概要に基づき下記に理論式と必要事項を概説する。

プラント

状態方程式は

$$\bar{X}(k+1) = \bar{\Phi}(k) \bar{X}(k) + \Delta u(k) \quad \bar{X}(k) = \bar{X}_l(m) \quad \text{以下同様}$$

時変プラントとして次の形の推移行列変化を考へる。

$$\delta \bar{\Phi}(k) = \alpha \text{diag.} \{ \bar{\Phi}(0) \} \sin \frac{\pi}{\beta} k, \quad \text{diag. は対角要素を意味する。}$$

尚駆動行列は不変とある。

取出差気象外乱としてはステップ変化が $k=0$ の時兵に印加し持続するものとする。その変化中を \bar{w}_s とする。

$$w_s(k) = \bar{w}_s$$

因果律より $k=0$ 時兵では操作入力に変化せず、今之を 0 とすれば

$$u(0) = [\bar{w}_s \ 0 \ 0]^T$$

モデル

状態方程式は

$$\bar{X}(k+1) = \bar{\Phi}_l \bar{X}(k) + \Delta u(k) \quad \text{但し } (l-1)k+1 \leq k \leq lk$$

$$\bar{\Phi}_l = \bar{\Phi}_{l-1} + \rho \delta \bar{\Phi}_{l-1} \quad \bar{X}(k) = \bar{X}_l(m) \quad \text{以下同様。}$$

ρ は後に述べる修正係数

パラメータ推定部

$$J_l = \sum_{m=1}^k (\delta \bar{X}' S \delta \bar{X} + 2 \delta \bar{\Phi}' A' S \delta \bar{X} + \delta \bar{\Phi}' A' S A \delta \bar{\Phi}) \quad A = \frac{\partial \bar{X}_l(m)}{\partial \bar{\Phi}_l}$$

但し添、引数は省略しているがこの計算は勿論考へている推定区間内のものである。

$$\delta \bar{\Phi}' = [\delta \bar{\Phi}_{11} \ \delta \bar{\Phi}_{12} \ \dots \ \delta \bar{\Phi}_{nn}] \quad , \quad \delta \bar{\Phi} = [\delta \bar{\Phi}_{ij}] \quad ij = 11 \sim nn$$

最適条件より

$$\sum_{m=1}^k \left[\frac{\partial (\delta \bar{\Phi}')}{\partial \bar{\Phi}} A' S \delta \bar{X} + \frac{\partial (A' S \delta \bar{X})}{\partial \bar{\Phi}} \delta \bar{\Phi} + \frac{\partial (A S \bar{\Phi})}{\partial \bar{\Phi}} S A \delta \bar{\Phi} \right] = 0$$

$$\text{尚 } \frac{\partial (\delta \bar{\Phi}')}{\partial \bar{\Phi}} = \frac{\partial \bar{\Phi}'}{\partial \bar{\Phi}} = I \quad \text{である。}$$

こゝで、 A が $\bar{\Phi}$ に無関係であると仮定すれば上の式は次の線型推定における正規方程式となる。引、添数と再交付して最小二乗解と記すと、

$$\delta \bar{\Phi}_l = - \left\{ \sum_{m=1}^K A_l'(m) S A_l(m) \right\}^{-1} \sum_{m=1}^K A_l'(m) \delta X_l(m)$$

実際はAは后に示す如く $\bar{\Phi}$ (即ち $\bar{\Phi}$) の関数であるから上の問題は非線型推定問題となり、線型推定の如く一意的に解は得られなくて山登り法等が用いられる。上に出て来た ρ はこの向の修正となることとその主たるわらひであるが、

修正 ρ の決定はいづれにしても試行的に決めざるを得ないこと、又 λ によって変えられ方がよい場合があるなど今後に解明すべき問題と多少有している。

次に正規方程式右辺の逆行列の存在がとにかく必要であるが、 A' は $n^2 \times n$ 行列であり、ある1時矢 m のみをとれば $A' S A$ は $n^2 \times n^2$ ではあるがその階数は高々 n であり、 n^2 元の $\delta \bar{\Phi}_l$ は求まらない。 $\delta \bar{\Phi}_l$ が一意解をもつ為には少なくとも n 々の m に亘る和をとらねばならない。 $K \gg n$ と十分に n より大きくとることにより λ が保たれると承へてよからう。 S がスカウ行列 (I の実数倍) の時には $\sum A' S A$ が $\partial X_l(m) / \partial \bar{\Phi}_{ij}$ の $m=1$ から K にわたったベクトルを縦に並べた nK 次列ベクトルの ij の組合せについてとった内積を要素とするグラム行列となり、之よりこの n^2 々の nK 列ベクトルの1次独立性が $\delta \bar{\Phi}$ の一意解存在のための必要十分条件となることがわかる。これより上記の推論が裏付けられるが $n > n$ ではこれ以上の議論は行わない。

雑音の存在を考へず線型推定に関する限り時変プラントに追従 (トラッキング) してモデルを改変して行くためには K は可能を限り小さく方が望ましい。

次に A 自体の算定であるが、考へている推定之間では $\bar{\Phi}_l$ は定常であつて、 $\bar{\Phi}$ と共に算定することはないから次の如くにして求める。この部分のフローチャートを図 3.2.3.5 に示す。即ち

状態方程式より

$$\bar{X}_l(m) = \bar{\Phi}_l^m \bar{X}_l(0) + \sum_{\delta=0}^{m-1} \bar{\Phi}_l^{\delta} \Delta u_l(m-1-\delta) \quad \bar{\Phi}_l^0 = I$$

$$\therefore \frac{\partial \bar{X}_l(m)}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} = \frac{\partial \bar{\Phi}_l^m}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} \bar{X}_l(0) + \sum_{\delta=0}^{m-1} \frac{\partial \bar{\Phi}_l^{\delta}}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} \Delta u_l(m-1-\delta)$$

$n > n$ に

$$\frac{\partial \bar{\Phi}_l^r}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} = \frac{\partial \bar{\Phi}_l}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} \bar{\Phi}_l^{r-1} + \bar{\Phi}_l \frac{\partial \bar{\Phi}_l^{r-1}}{\partial \bar{\Phi}_{ij}}$$

$r=0$ の時上の値を 0 と定義し、且つ次の関係を用いぬは漸化式によつてすべての r に対し且つすべての ij に関し同様に行列 $\frac{\partial \bar{\Phi}_l^r}{\partial \bar{\Phi}_{ij}}$ を求める。

$$\frac{\partial \bar{\Phi}_l}{\partial \bar{\Phi}_{ij}} = [g_{ij}^{p\delta}] = G_{ij} \quad n > n \quad g_{ij}^{p\delta} = \begin{cases} 1 & i=p \text{ かつ } j=\delta \\ 0 & i \neq p \text{ の } j=\delta \end{cases} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{この結局 } G_{ij} \text{ は} \\ l \text{ に無関係} \end{array} \right.$$

$$\therefore \bar{\Phi}_l = [\bar{\Phi}_{ij}]$$

準最適制御則

状態推移式と J_2 を用いる。但し $\Phi(k)$ は実測不能故その最適推定値 $\bar{\Phi}_k$ を用いる。
 $-\partial J_2(k+1) / \partial y_2(k) = 0$ より次の状態量フィードバック制御則となる。

$$y_2(k) = -(\Delta_2' P \Delta_2)^{-1} \Delta_2' P (\Delta_1 \bar{w}_s + \bar{\Phi}_k x(k))$$

(4) 適応制御の意味

(1) に記した如く本来実プラントの変化を正しく把握出来れば、それに基づいて適切な制御則（こゝでは準最適）を所望の政策的評価に合致する様に算定しプラントに適用するのが理想である。この評価として各サンプル時刻における J_2 を最小にするものをとつたのであるが、この場合適応といった意味では完全であつても、即ちプラントの変化を正しく把握出来ても制御性能の評価を他の面からすれば（たとへばオーバシュートの最大値を最小にする）必ずしも満足し得ないことを説明せぬ様にするべきでこれは適応則でなく制御則の撰択の問題である。こゝで準最適を制御則としてとつたのはそれが比較的簡単な計算で済み、且つ明確にモデル状態推移行列を陽に含んで表現出来、適応効果の検討目的をクローズアップ出来るからであり、更に上記に記した様な最適の意味をも併せ持っている。

図 3.2.3.3 (ハ) は上記にも説明した通り理想状態であり、適応効果が十分に大きければ（モデルが十分によく推定され）た時はプラントの状態ベクトルが、この理想状態のそれに極度に近いはずである。他方適応効果が皆無でモデルとして固定のものを用いた図 3.2.3.3 (イ) は、全く制御則のみによって動作する系である。

(5) シミュレーションアルゴリズム

以上に述べて来た3つの制御方式をボイラプラントに適用してその効果と定量的に比較するため、計算機によるシミュレーションを行った。適応系のアルゴリズムの概要をフローチャートで示すと、図 3.2.3.4/5 の様である。但し、適応系で、サンプル時刻 k 毎にモデルを変更するために状態推移及びプラントパラメータ変化の式とつぎのように、モデル推定を同基準の表現に改める。

プラント $x_k(m) = \Phi_k(m-1) x_k(m-1) + \Delta u_k(m-1)$

モデル $\bar{x}_k(m) = \bar{\Phi}_k \bar{x}_k(m-1) + \Delta u_k(m-1)$

初期条件 $\Phi_1(0) = \bar{\Phi}_1 = \Phi(0)$ 接続条件

$x_1(0) = \bar{x}_1(0) = x(0)$

$x_{k+1}(0) = x_k(k), \bar{x}_{k+1}(0) = \bar{x}_k(k)$

$u_1(0) = u(0)$

$u_{k+1}(0) = u_k(k)$

プラント変化 $\bar{\Phi}_l(m) = \Phi_l(0) + \delta\Phi_l(m)$

$$\delta\Phi_l(m) = \alpha \text{diag}\{\Phi_l(0)\} \sin\left[\frac{\pi}{\beta}\{K(l-1)+m\}\right]$$

$X_l(m), \bar{X}_l(m), U_l(m)$ は区間 l の K 時点以後, 区間 $l+1$ の $k=1$ 時点にモデル変数 $\delta\Phi_l$ を計算するために区間 l の向逐次蓄へて行くため之等時系列で構成された行列 (二次元配列) が出来, 之等を X_l, \bar{X}_l, U_l と表わす。

各変数, パラメータなどの時間的推移に関する記号 (引数, 添数) の関係は図 3.2.3.2 に示す通りである。

(6) 対象プラント

3.2.2項にて述べた如く, 多入, 出力ボイラプラントとして(1)の脚註に示したものをを用いる。このモデルが大方の船用ドラムボイラと制御上の特性がほぼ合致しており, 比較すべき諸データも多数該論文中に発表されているからである。3.2.2項では連続モデルとして用いたが, ここでは同じものを離散値系表示したものをを用いる。必要と思はれる事項をここに記載する。なお同論文では $ft - lb - sec$ 単位を用いてプラント特性を示しておりそのまゝ本作業に用いる

表 3.2.3.1. ボイラ要目表

動作データ	記号	数 値		構造データ	数 値
過熱器出口圧力	P_s	$9.32 \times 10^4 \text{ lb/ft}^2$	45 kg/cm^2	ドラムサイズ	4ftφ × 26ft
蒸気温度	T_s	850°F	454 °C	炉サイズ	19.5ft × 21ft
蒸気取出量最大	$W_{S,m}$	27.78 lb/s	45.3 T/H	過熱器長さ	134ft
燃料量最大	$W_{F,m}$	2.23 lb/s			
蒸発管出口乾き度	X	1.63%			
示性式係数 $\frac{\partial P_s}{\partial P_s}$	R_1	$1.01 \times 10^5 \text{ ft}$			
" $\frac{\partial P_s}{\partial T_s}$	R_2	$81.5 \text{ lb/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$			

ものとする。之がボイラとしての要目を示すと表 3.2.3.1 の通りである。

次に制御上の特性に就いて検討すると同論文のボイラステップ応答計算結果よりたとへば圧力応答は

$$f = \left. \frac{dP_s}{dt} \right|_{t \rightarrow 0} = 6.7 \times 10^2 \text{ } \frac{1}{\text{ft}^2} \quad \text{之より無次元化した全負荷基準の所謂ボイラ時定数 } T_B \text{ とおめると}$$

$$T_B = \frac{P_s}{f W_{F,m}} = \frac{9.32 \times 10^4}{6.7 \times 10^2 \times 2.23} = 62.4 \text{ Sec.}$$

水面応答については

$$g = \left. \frac{dy}{-w_s} \right|_{t \rightarrow \infty} \doteq 2.16 \times 10^{-4} \text{ ft/lb}$$

之より無次元化した全負荷基準の水位時定数は、栓域を $H=1 \text{ ft}$ とすると

$$T_L = \frac{H}{g w_{sm}} = \frac{1}{2.16 \times 10^{-4} \times 27.78} = 157 \text{ sec}$$

以上の値は最近の船用ドラムボイラとしてはほぼ標準の範囲にあると秀へらぬ。

また状態空間の次元としては Reduced Model として (2) に記したごとく $n=4$, 入力空間の次元は $p=3$ とする。

状態推移行列 (初期) 及び駆動行列は制御時サンプリング周期 $T=10 \text{ sec}$ とすると夫々

$$\Phi_1(0) = \begin{bmatrix} 9.12 \times 10^{-1} & 3.67 \times 10^{-5} & 1.92 & 0 \\ 6.31 \times 10^{-1} & 9.21 \times 10^{-1} & -9.09 & 0 \\ 1.87 \times 10^{-3} & 1.68 \times 10^{-7} & 3.81 \times 10^{-1} & 0 \\ 1.20 \times 10^{-1} & 2.24 \times 10^{-5} & -2.17 \times 10 & 0.98 \end{bmatrix} \quad \Delta = \begin{bmatrix} -1.83 \times 10^{-3} & -3.68 \times 10^{-4} & 4.99 \times 10^{-2} \\ -7.29 \times 10^{-1} & 3.84 \times 10^{-3} & 1.31 \times 10 \\ 2.35 \times 10^{-4} & -1.38 \times 10^{-4} & -6.19 \times 10^{-3} \\ 7.31 \times 10^{-3} & -2.19 \times 10^{-3} & -2.44 \times 10^{-1} \end{bmatrix}$$

プラントの変化はその振中が $\alpha=0.1$, 周期 $2\beta=600$ パルス (10 min.) 同時に印加する蒸気量外乱は $\bar{w}_s = +2.778 \text{ lb/s}$ (+10%)。図 3.2.3.6 より時変プラントと定常プラントの差は $R=10$ サンプル附近から明らかに表れる。

(7) シミュレーション結果と比較

$n=4$ であるので推定方向として $K=10$ とする。又 $L=3$ までとする。

状態初期条件として $X_1(0) = \bar{X}_1(0) = 0$ とすると (3) に示す $u(0)$ に基づき、 $R=1$ での状態は $X_1(1) = \Delta \bar{w}_s$ で一義的に定まる。これは操作端が 0 次ホールドするからであり、 $R=1$ での状態量の大きな変動が計算機制御のアナログ制御系に対する欠点であることは前年夏の報告書にも述べた。この突変はサンプリング周期を短かくすれば小となる。また $R \rightarrow \infty$ では連続系と一致してくる。

表 3.2.3.2 シミュレーション実行比較

シミュレーション種数	準最適制御 (固定モデル)	適応制御 (モデル変更有り)
プログラムの枚数 (メイン・サブ・サウチン合計)	200	900
1ケース実行時間 (合計)	160 sec	700 sec

表 3.2.3.2 に各種制御系のシミュレーションにおける計算実行時データの比較を示す。使用計算機は FACOM 230/35, 言語はすべて FORTRAN, 1ケースのサンプル数は $K \cdot L = 30$ である。 $L=1$ ではモデル変更をせぬのでどの適応制御方式でも $L=1$ の間は全く同一推移を示し、適応系では図 3.2.3.2 より判る様に $X_2(1)$ にモデル変更の影響が入りそれに伴って $u_2(1)$ に影響が及ぶから $X_2(2)$ から両者の間に差異が出て来る。 u は上記の如く $u_2(1)$ からで

水位制御系; フィードフォワード + PI制御

$$w_e(k) = g_1 w_s(k) - g_2 y(k) - g_3 \left[\frac{y(0)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} y(i) + \frac{y(k)}{2} \right] \quad (\text{梯形積分公式利用})$$

蒸気圧制御系; PI制御

$$w_f(k) = -g_4 p_s(k) - g_5 \left[\frac{p_s(0)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} p_s(i) + \frac{p_s(k)}{2} \right]$$

図 3.2.3.9 に示す結果は

$g_1=1, g_2=10, g_3=0.05, g_4=0.0002, g_5=0.0002$ とおいたもので、(6) に示した数値により無次元した時は、次に相当する。

水位制御系; ゲイン 0.36, 積分時間 2,000 sec

蒸気圧 " " ; " " 8.3, " " 100 sec

之と(7)の結果と比べると最大ふれ中は同じであるが、 k が大きくなつた時の収束の仕方が大いに異なる。

T_s はこの系では無制御であるが、(7) では評価関数の中に入り込まれているから抑制効果が働いている。

他方 p_s, y については(7) では、この系の積分動作の如く 0 へ復帰することを何等約束していない。(7) の場合の T_s, p_s, y への制御のまゝ方即ち重み行列 P の横が方、更にはより適切な制御則の研究が必要となる。(4) に述べた如く、之の完成と相俟つて適応制御の値がより高まるものと考へる。

準最適制御則のまわ立つた特長は初期にバンバンの振作されるが、あとは PI 制御の様な振動モードを全く持たぬことが判る。

(9) 本適応制御方式における今後の問題点

(1) 制御則自体の改善 特にオフセットの除去法、たとへば評価重み行列 P の適切な撰定基準。

(2) モデル改変時の修正係数の撰定方法の確立

(1) サンプル同期の適正値; 初期の状態量の突変値とプラント動作頻度及び計算機システム (たとへば計算速度) の折合具の具体的検討法の確立。

(10) まとめ

適応制御方式のうち適応効果については十分その効果を見出すことが出来た。然し乍ら制御則については、動的制御性能の改善と云つた面で、必ずしも従来の制御方式より秀れているとは言ひ切れない。(9) に記した問題点を解決すれば必ずやこの目標が達成しうる筈である。

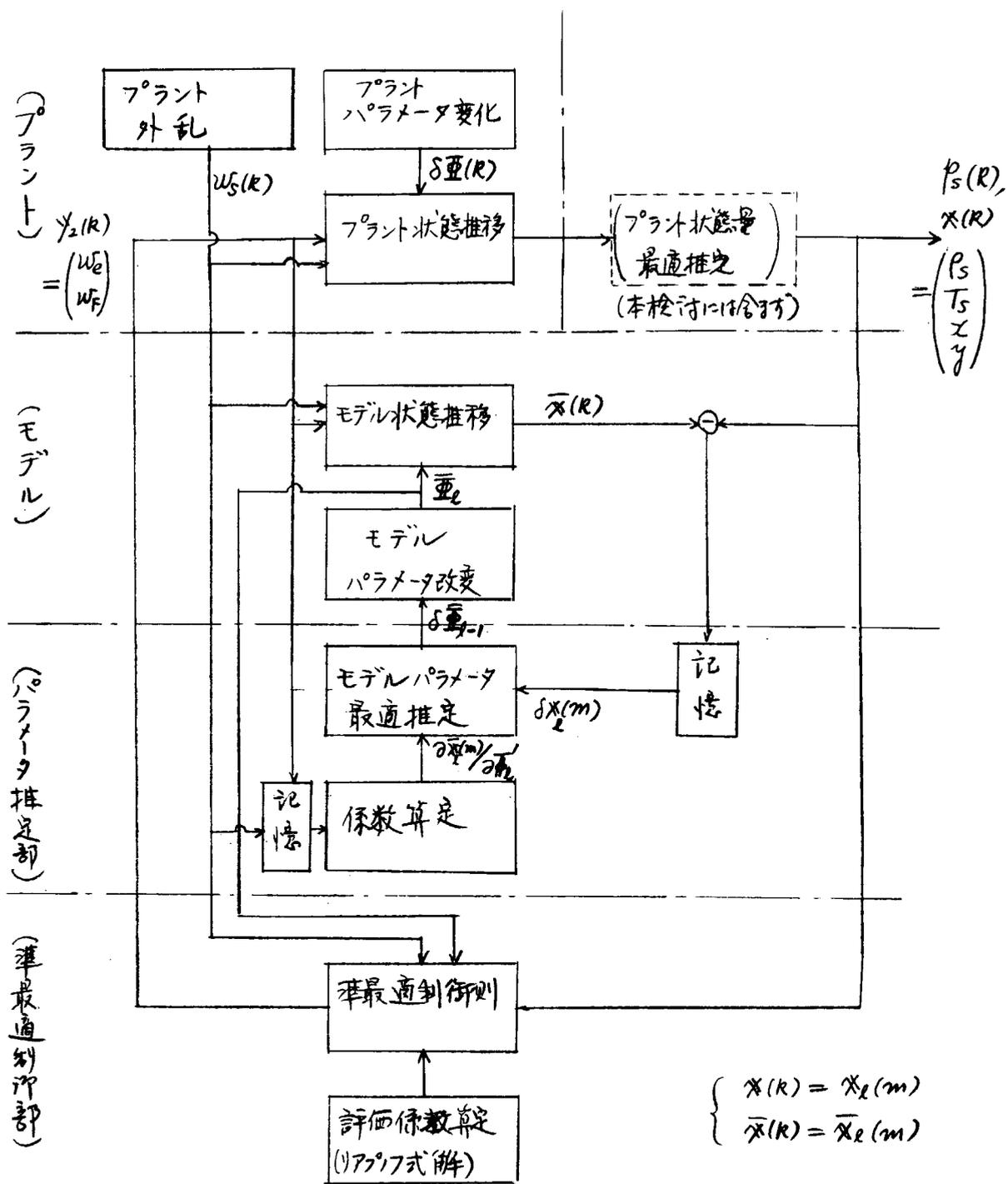


図 3.2.3.1 システムの構成

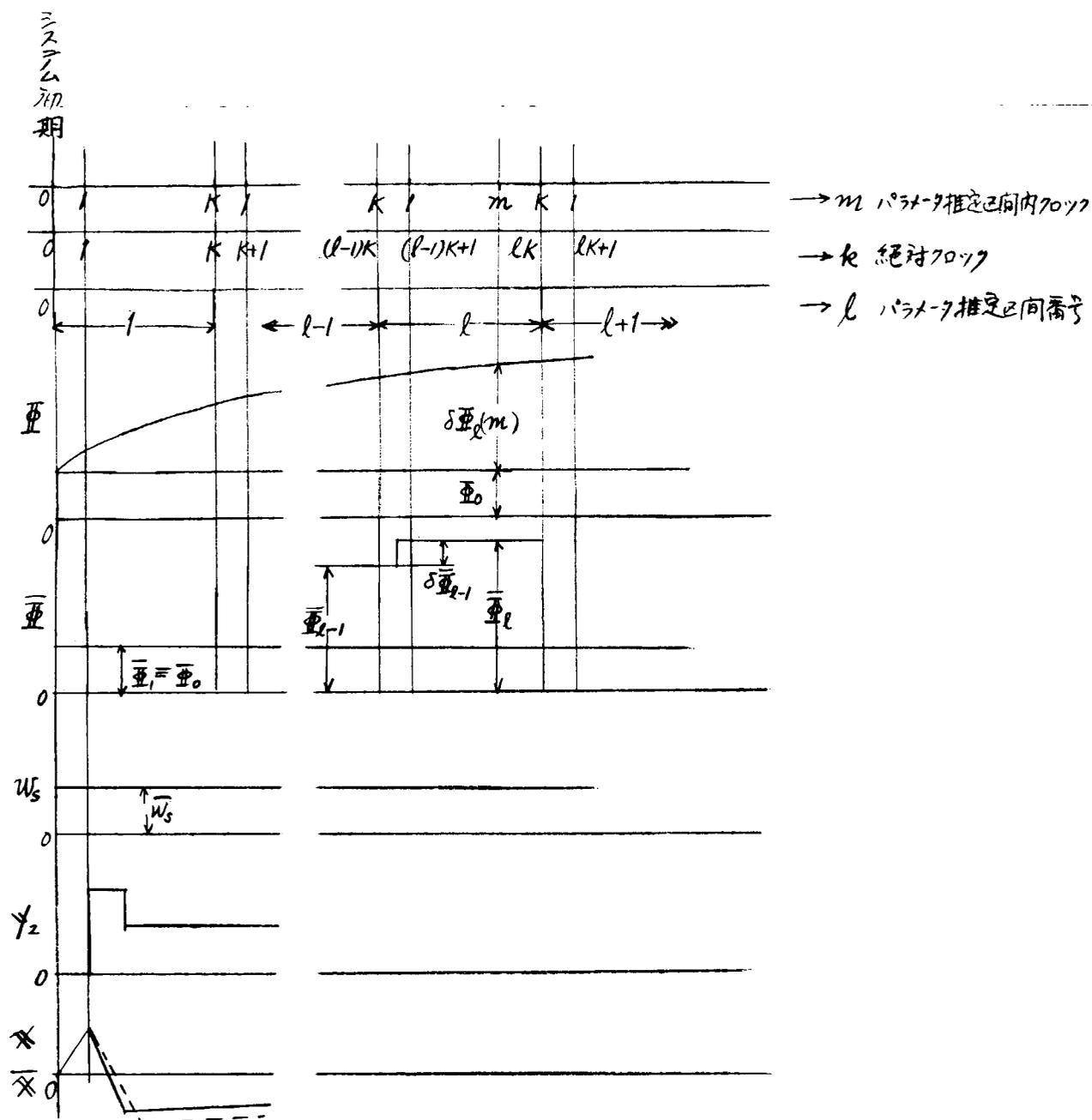
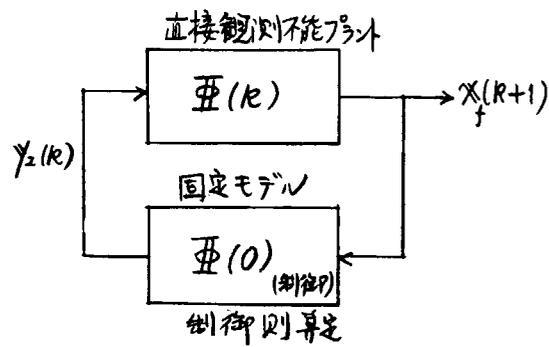
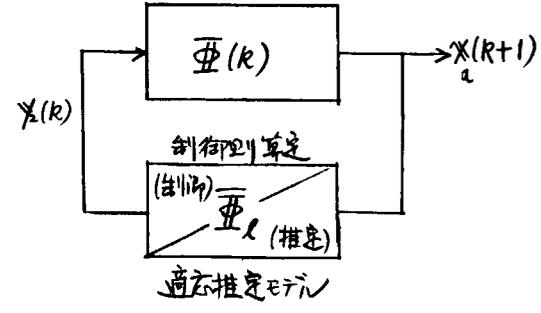


図 3.2.3.2 時間的推移関係

(1) 固定モデル系
 (=>これは準最適制御系と称す)
 $\rho=0$



(2) 適応系



(3) 理想系
 (一般に不能)

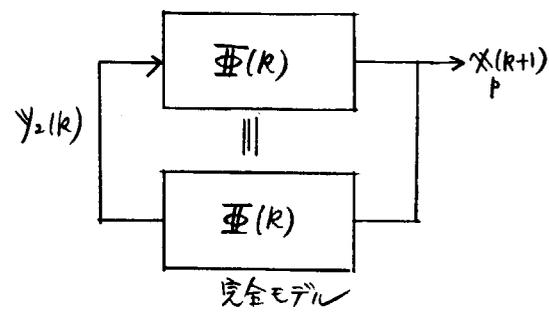


図 3.2.3.3 適応制御の意味

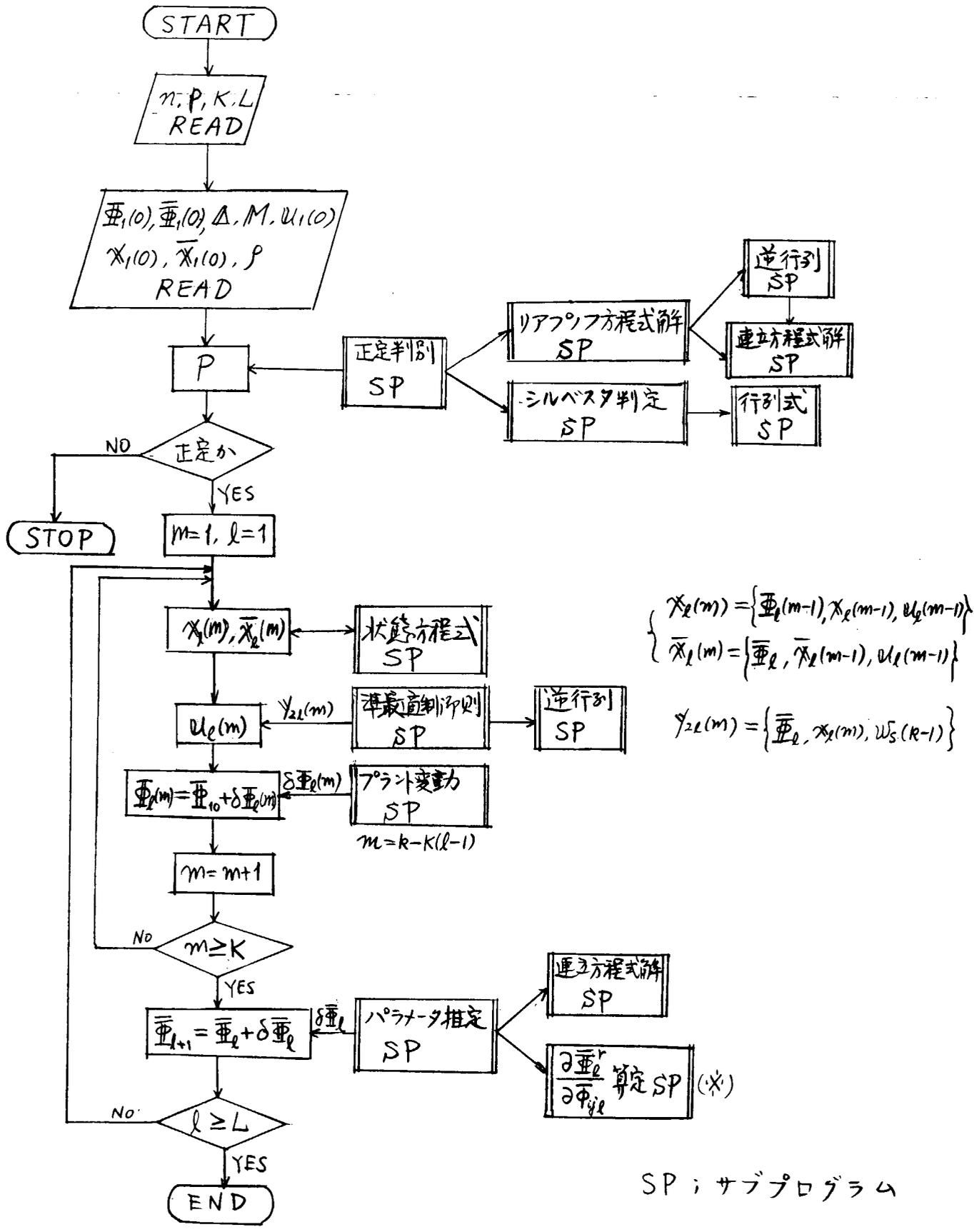


図 3.2.3.4 適応制御シミュレーション
フローチャート

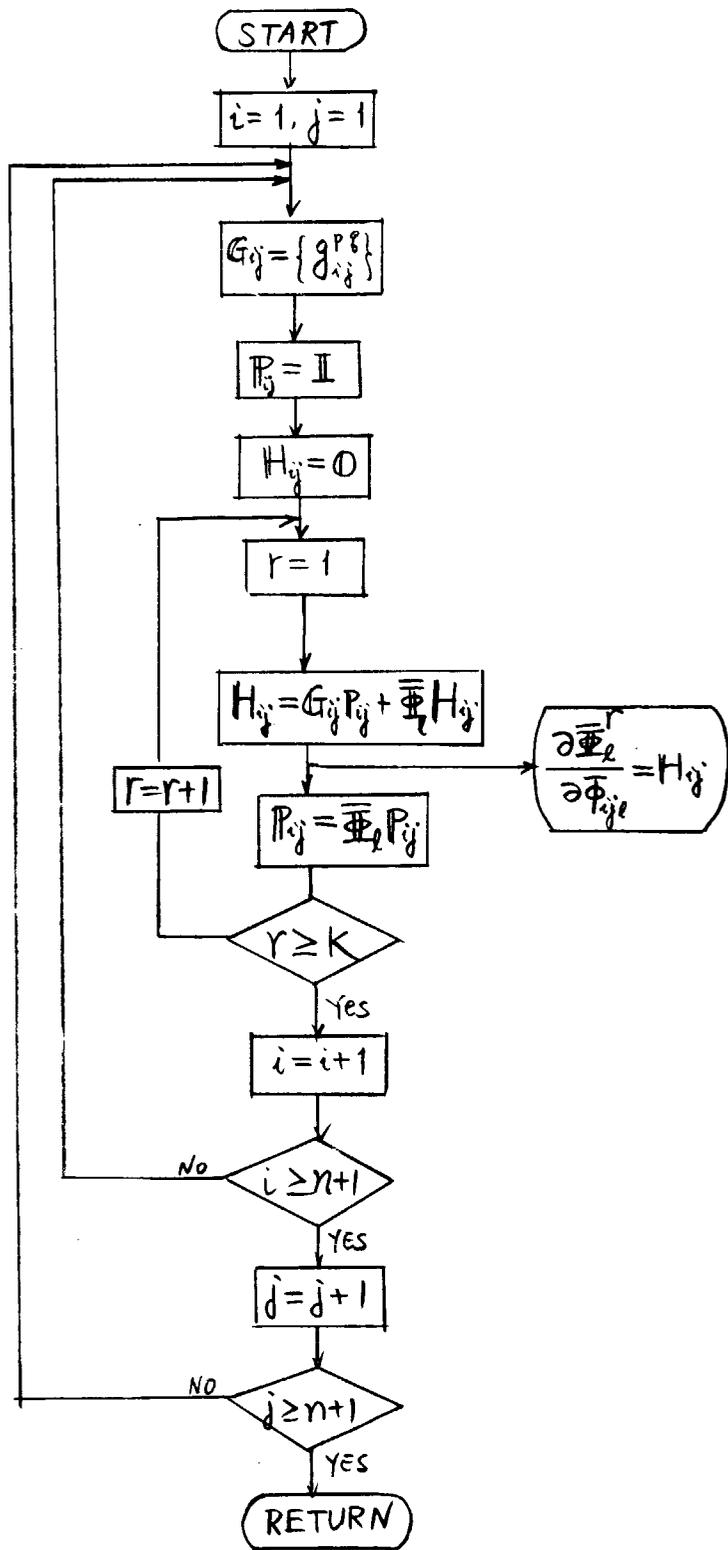


図 3.2.3.5 $\frac{\partial \bar{\Phi}_2^r}{\partial \Phi_{ijl}}$ 算定プログラム

(図 3.2.3.4 の (※) 部)

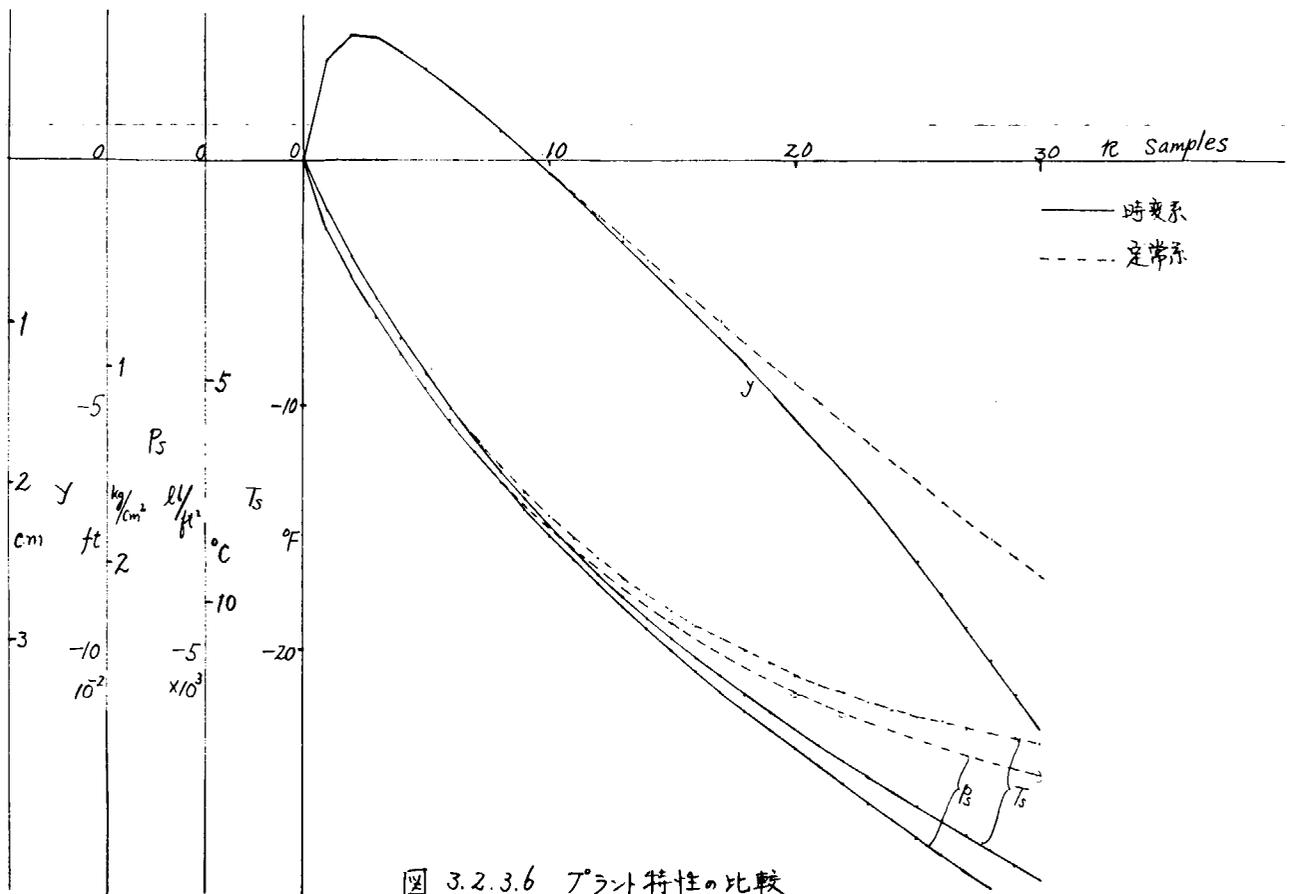


図 3.2.3.6 プラント特性の比較

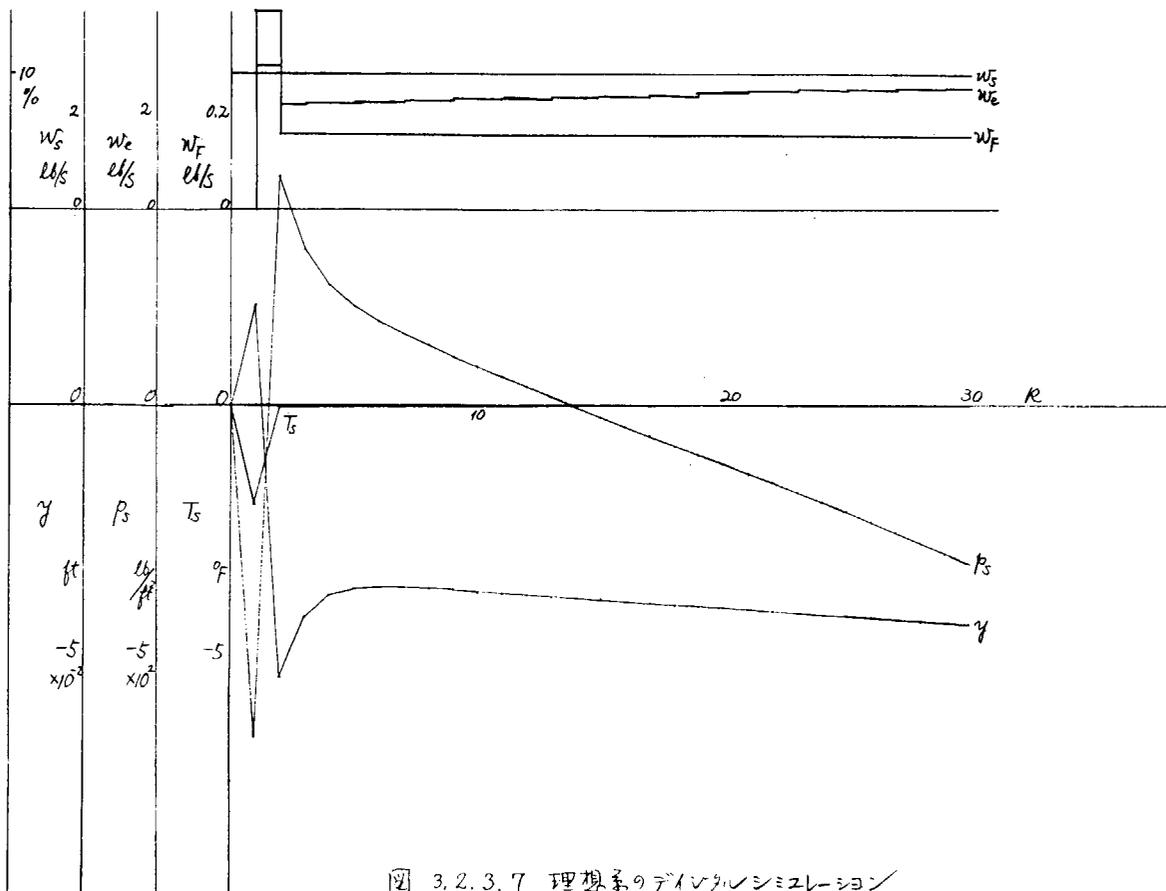


図 3.2.3.7 理想系のデジタルシミュレーション

3.3 計算機システムの検討

ここでは、従来のDDCを基底として、これに前記の3種類の制御方式—MP(MAXIMUM PRINCIPLE), DECOUPLING, ADAPTIVE CONTROL—をとり入れた、一スーパーバイザリコンピュータコントロールシステムを作成した。(その細目は、個々のフローチャートを参照されたい。)

尚本システムでは、POC(PROCESS OPERATOR CONSOLE)関係は省略した。しかし乍ら、制御機能は落さず、出来るだけ簡単なシステム構成となるよう留意した。

3.3.1 基底のDDC機能

この機能としては、サンプル時間毎に、アナログ入力の読み込み、入力値のフィルタリング、リードラグ、他のループとのカスケード結合、PI演算、出力加算結合、出力値のリセットウィンドアップ防止、アナログ出力等の各種のものがある。(DDC及びそのサブルーチン参照)

データ構造も、これらの機能を全て包含した構成にした。(表3.3.1-1参照)

PI, リードラグ, MP等の演算には、計算速度を上げる為と、かつ、精度も上げる為に、整数部、小数部を考慮に入れた、固定小数点型の演算を、サブルーチンを作って行なっている。

又P, I定数、リードラグの時定数等は、 $\sqrt{2}$ 系列化したコードを使用し、演算時には、これらのパラメータから、もとの数値データを扱うように、処理している。($\sqrt{2}$ 系列のパラメータテーブルは、表3.3.1-2参照)

尚サンプルタイムは、一種類に固定し、プログラム及びデータ類は、コア常駐にしている。

3.3.2 MPによるボイラ蒸気圧の最適制御システム

対象プラントのブロック線図を、3.3.2-1図に示す。

蒸気圧制御ループ(P_3)を親ループにとり、MPのモデルにより、操作量を算出し(サブルーチン-MPS参照)、これを子ループの燃料流量(W_4)の設定値となるように、カスケード結合をしている。

PIからMPへの切替は、

(i) オペレータが、CPU(CENTRAL PROCESSOR UNIT)コンソールより、直接コア或いは、DRUMの該当テーブルを書替える。

(ii) ハード的に、外部割込機能を利用し、割込後の処理は、モーター

経由で、処理プログラムが動く。図3.3.2-1 MPによる圧力制御システム

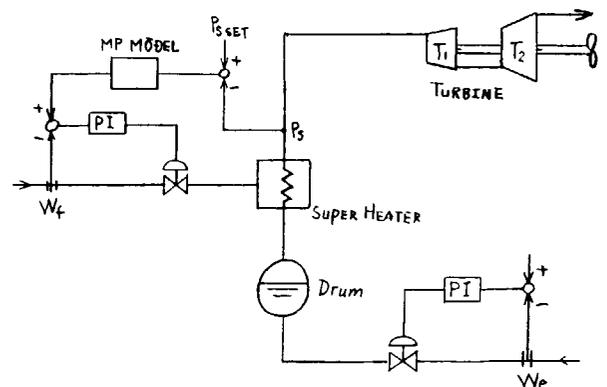


表 3.3.1-1 DATA TABLE

1. CDT (COMMON DATA TABLE)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NNDT								NDCT							
1	AMP														

NNDT; NDTの個数。 NDCT; DCTの個数。
AMP; 1の時適応制御起動

2. NDT (NON DDC TABLE)

0	ID	INLD													
1	XN														

INLD; 入力論理検査 ID=1の時内部入力アドレス
XN; 入力データ

3. DCT (DDC TABLE)

0	ID	INLD													
1	XN														
2	OTLD														
3	YN														
4	IT	RL	DR	AM	OA	CA	IT _{MP}								
5	YAD														
6	SP														
7											TL				
8											TD				
9											PB				
10											TI				
11	INH														
12	INL														
13	ZNH														
14	ZNL														
15	EN														
16	XN														

} 同上
OTLD; 出力論理検査
YN; 出力データ
IT; インテグリス指定普通は1。 RL; REMOTE LOCAL R; DR; DIRECT OR REVERSE 指定 D; 0
YAD; 出力加算時の子ループアドレス
AM; AUTO MANUAL
SP; SETPOINT OR SPのアドレス
TL; LAG TIME CONSTANT
TD; LEAD " " OA; 出力加算時1
PB; PROPORTIONAL GAIN CA; 制御アルゴリズム 0; PI 1; MP
TI; INTEGRAL TIME CONSTANT IT_{MP}; MPの時のインテグリス 最初1にセット
INH; PI演算のI項の整数部
INL; " 小数部
ZNH; LDGの1サンプル前の出力値の整数部
ZNL; " " 小数部
EN; 1サンプル前のERROR
XN; 1サンプル前の入力値

表 3.3.1-2 $\sqrt{2}$ 系列のパラメータ (PB, TI, TL, TD & MPS で使用)

パラメータ	真値	近似値
∴		
010100	1/64	0.015625
010101	1/32√2	0.02246094
010110	1/32	0.03125
010111	1/16√2	0.04492187
011000	1/16	0.0625
011001	1/8√2	0.08984375
011010	1/8	0.125
011011	1/4√2	0.1796875
011100	1/4	0.25
011101	1/2√2	0.359375
011110	1/2	0.5
011111	1/√2	0.71875
100000	1	1.0
100001	√2	1.4375
100010	2	2.0
100011	2√2	2.875
100100	4	4.0
100101	4√2	5.75
100110	8	8.0
∴		

注) 000000; 0 として13。

(iii) オペレータが、CPUのコンソールタイプライタより、バッチ領域に置いてある、処理プログラムを起動する。

(iv) オペレータコンソールがある場合には、そのファンクションキーにより、該当テーブル書き替え、MPSP(MPシミュレーションプログラム—フローチャート参照) 起動等を行なう処理プログラムを走らせることが出来る。

等がある。

そしてMPSPにより、MPの補助変数 P_1, P_2 の初期値を計算し、結果をストアしておく。MPSでは、これらの値を使い、随伴方程式を解いていくことにより、燃料流量(W_f) が算出され、この値は、カスケード結合により、 W_f ループの設定値となり、操作弁が動く。

そして、MPの全操作時刻が経過したら、再びPIモードのゲーツックなDDC制御に切換える。これは前記 P_2 ループのDCT(DDC TABLE)の中のCAを0にセットすることにより、プログラムのパスが、MPS \rightarrow PIS \rightarrow と変り、PI演算による出力値が計算され、カスケード結合により、子ループ W_f の設定値となって、操作弁が動かされることになる。

MPの演算は、制御変数及び随伴変数の微分方程式(境界値問題)を解く等に制御及び状態推移行列を求め、次に境界条件を入れて、随伴変数の初期値を求めて(MPSP)、以後は、その制御変数及び、随伴方程式の初期値をもとに、MPSを使い、最適制御量を求める手法を用いた。

MPの場合の、入力データテーブルの構成は表3.3.2-1の如くになればよい。

3.3.3 分割制御による、蒸気圧及び、ドラムレベルの制御システム
分割制御(或いは、非干渉制御)を適用する場合のブロック線図を、図3.3.3-1に示す。制御変数には P_2 及び、レベル(y)をとり、操作量として、 W_f 及び W_e (ECONOMISER MASS FLOW) をとった。コントローラマトリックス(G_c)の作成は、一部は制御対象よりきまり、一部は任意となる。前者はシステムの同定、(パラメータ推定、状態量の推定)或いは、プラント設計時の数式モデルにより、予め W_e に対する P_2, y, W_f に対する P_2, y の開ループ伝達函数をメータリングループを含めて求めておき、これらの伝達函数から特性方程式(分母)を除いた分子を用いる。后者はこの G_c の各要素が実現可能(微分と成らない)となる様に、"前者の分子"を分子とし、 s に関する多項式を分母とする様に決める。一般に前述の分子は、状態ベクトルの次元を n とすれば、 $(n-1)$ 次となるから結局 G_c は、分母、分子共、 $(n-1)$ 次の s に関する多項式となるが、高次を無視すれば、リードラグの形と出来る場合が多い。

リードラグの形に近似出来る時は、DDCループをダミーループとして用いて G_c を決めるが、 $m=2$ の場合には、一般に4つのダミーループが必要となる。

しかし場合によっては、このダミーループは、2個に簡略化できる。

又制御対象の各伝達函数に自己平衡性のある時は、リードラフとPIを併せて用いることが一般である。

尚このダミーループの入力は、 P_S あるいは γ ループの出力値がそれになり、又この出力は、他ループと互いに加算結合されて、その結果がメータリングループの設定値としてカスケード結合される。

図3.3.3-2は、ダミーループを2個にした場合の簡易システムであり、図3.3.3-3は、そのブロック線図を示す。

これより、テーブル構成としては、表3.3.3-1の如く作成すればよい。

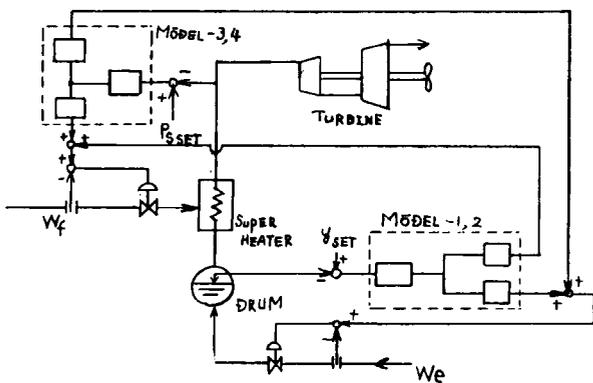


図3.3.3-1 分割制御システム

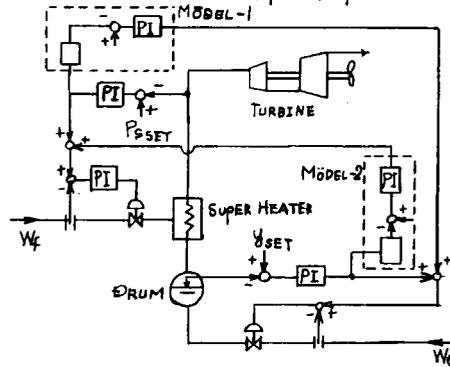


図3.3.3-2 3.3.3-1図のモデル数を少くした、分割制御システム

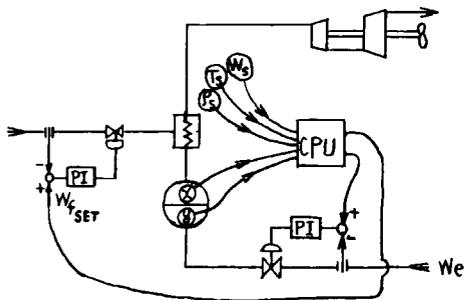


図3.3.4-1 適応制御系

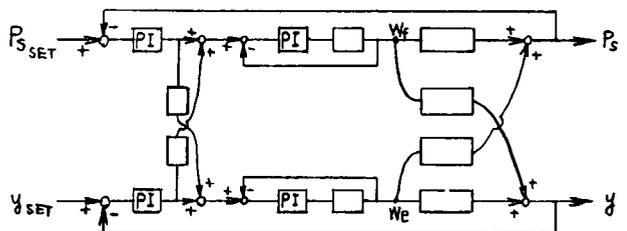


図3.3.3-3 3.3.3-2図のブロック線図

3.3.4 適応制御システム

制御対象のブロック線図を図3.3.4-1に示す。制御変数は、ニコルソンの文献にあるものと同じ、 P_S (過熱蒸気比重)、 T_S 、 α (乾き度)、 γ (レベル)をとり、操作量として、 W_S (STEAM Mass Flow)、 W_e 、 W_t をとった。そして定時間毎に、推定モデルのUPDATEを行ない、その更新されたモデルに対して、リアプノフの安定判別を行なうことにより、準最適制御の評価函数の係数マトリックスを決め、更に準最適制御を行なって操作量を算出し、それを W_t 、 W_e の設定値として出す為、カスケード結合により、DDCループと連結を行ない、出力操作弁を動かしている。(ADCP参照) ADCPは、DDCPよりレベルを低くしているので、DDCPにより、時分割されながら進行する。(ADCP; ADAPTIVE CONTROL PRO, DDCP; DDC CALCULATION PRO)

表 3.3.2-1 MP の場合のテーブル構成

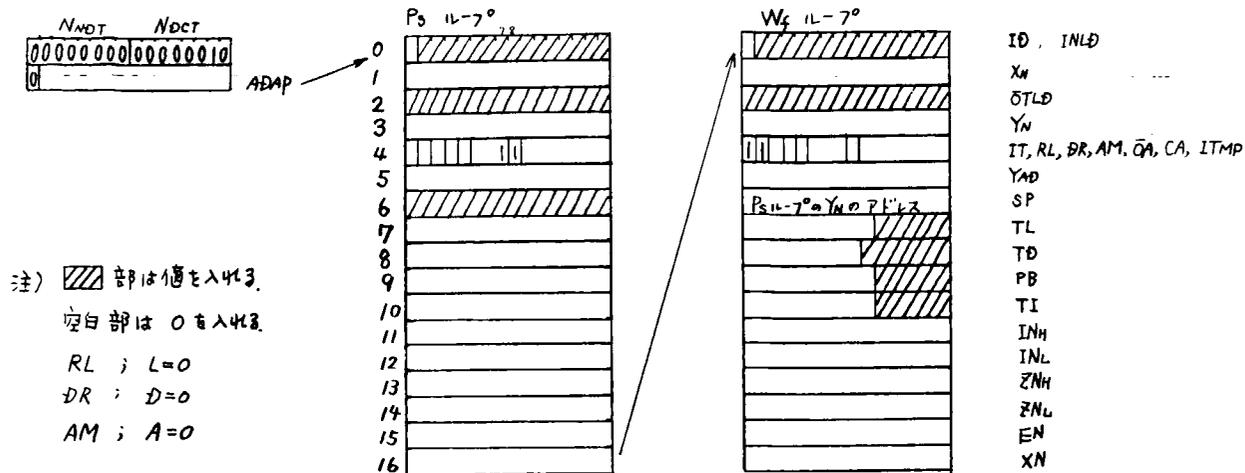


表 3.3.3-1 分割制御のテーブル構成

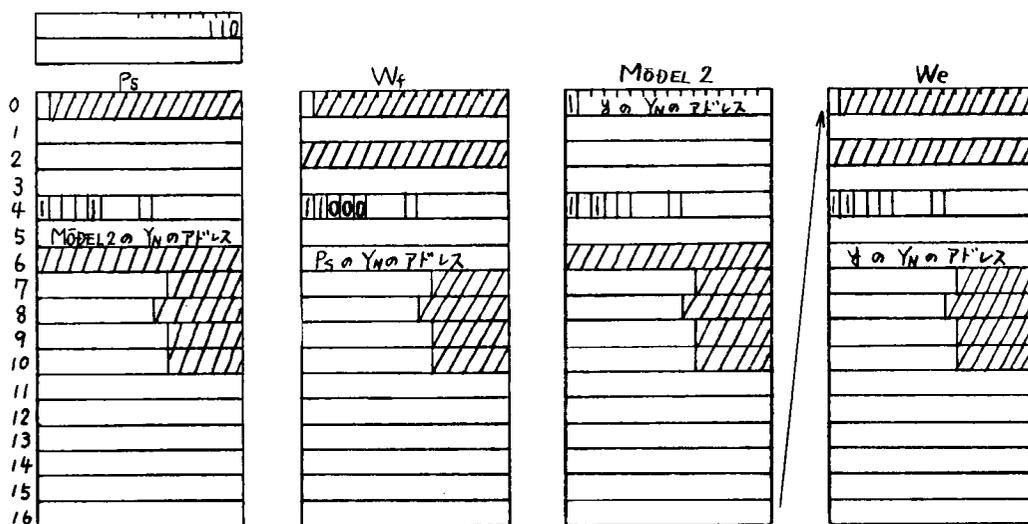
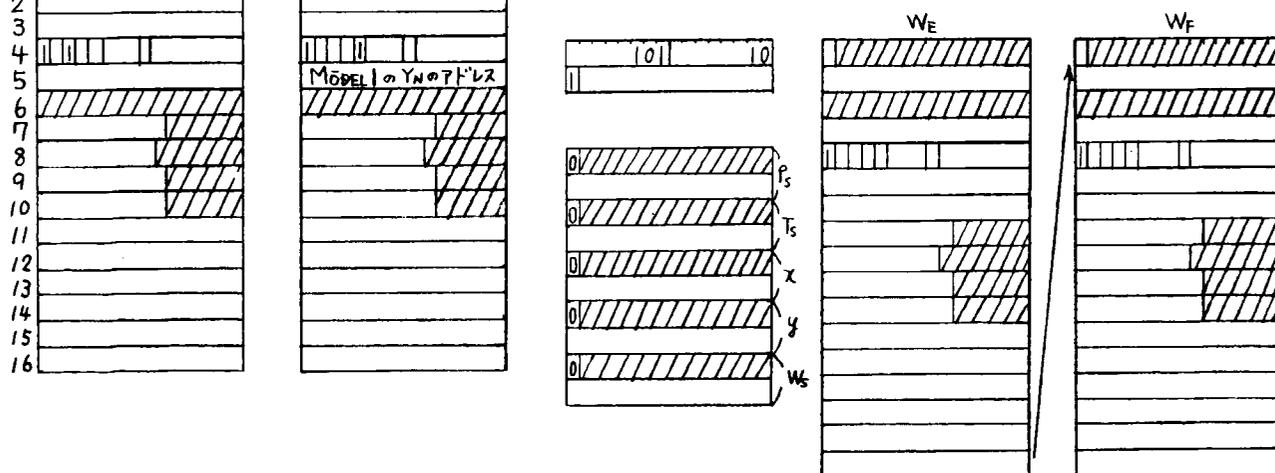


表 3.3.4-1 適応制御のテーブル構成



適応制御の演算には、マトリックスの積、和、転置、逆転、連立方程式の求解、リアプノフの安定判別を行なう為には、シルベスターの不等式のチェック等があり、これらは、サブルーチンにして、FORTRANで作成するようにしている。

(MATPR, MATT, MATAD, MATINV, RENRIT, LYAPNOV, POSDIF 等)

尚プロセスデータの読み込み(XIN, YIN)、操作部データの出力(YOUT)には、

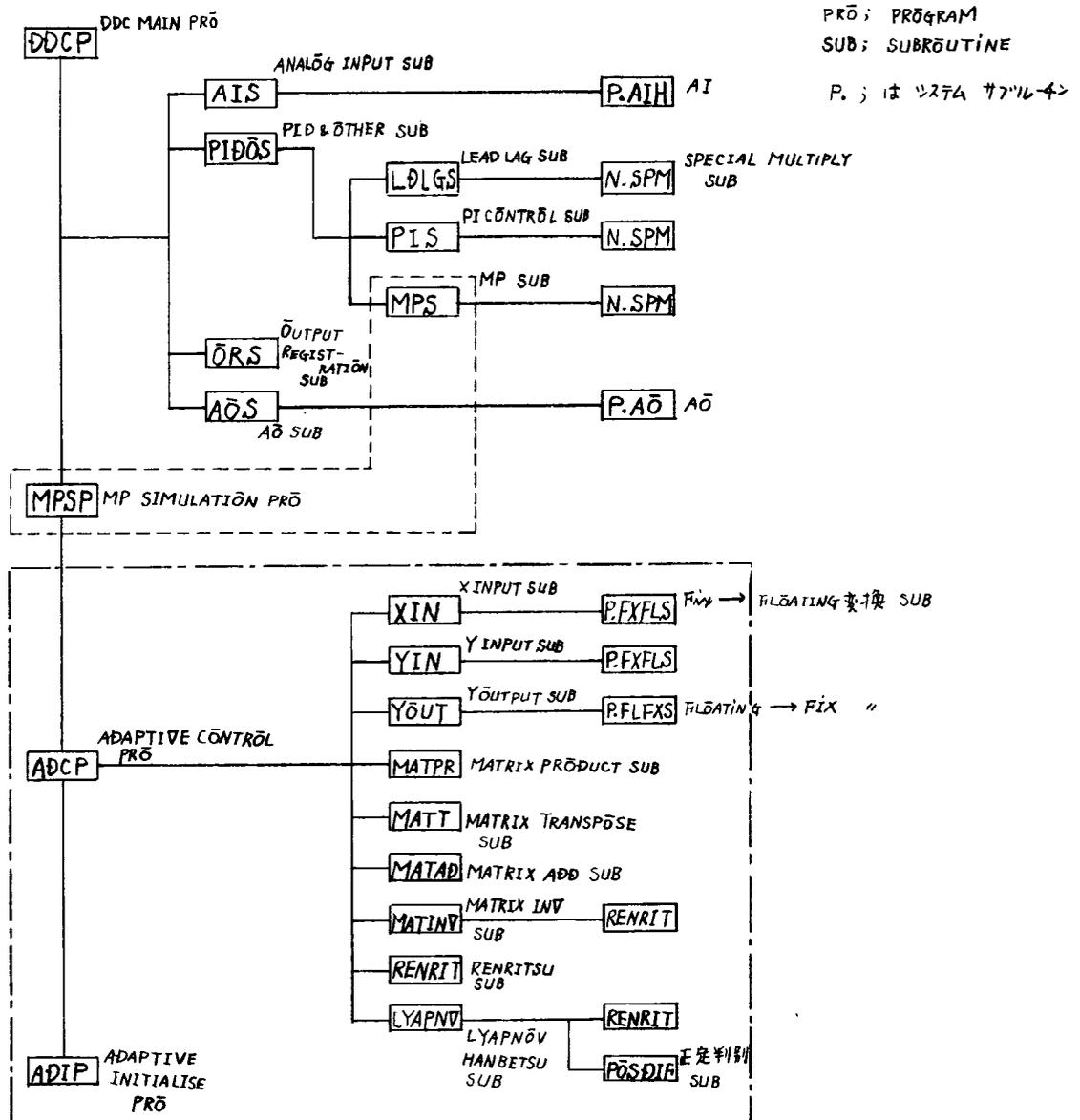
アセンブリ言語(FASP) を使って作成する。

テーブルの構成は、表3.3.4-1の如くに行なえばよい。

3.3.5 ソフトウェアシステムについて

本システムの構成を表3.3.5-1に示す。DDCの基底系も実線部、MPはこの基底系+実線部、適応制御の場合は、基底系+鎖線部、分割制御の場合は、基底系のみで、システムが構成される。資料-1にそのフローチャートを示す。

表 3.3.5 - 1



3.3.6 計算機システムについて

以上より、本システムに必要な最少機器構成としては、表3.3.6-1の如くなる。

表3.3.6-1 最少限必要機器構成

種類	点数
プロセッサ I/O との デバイス	AI (7+07+8カ) 2 (MPの場合) 4 (分割制御) 5 (適応制御)
	A0 (7+07+8カ) 1 (MPの場合) 2 (分割制御) 2 (適応制御)
	TIM タイマ 1
CENTRAL PROCESSOR UNIT まわり	CPU 16 BIT, 16 MW DRUM 1台 (128 KW) 制御プログラム 1 " " パンチ 1 " コントロール タイマ 1 "

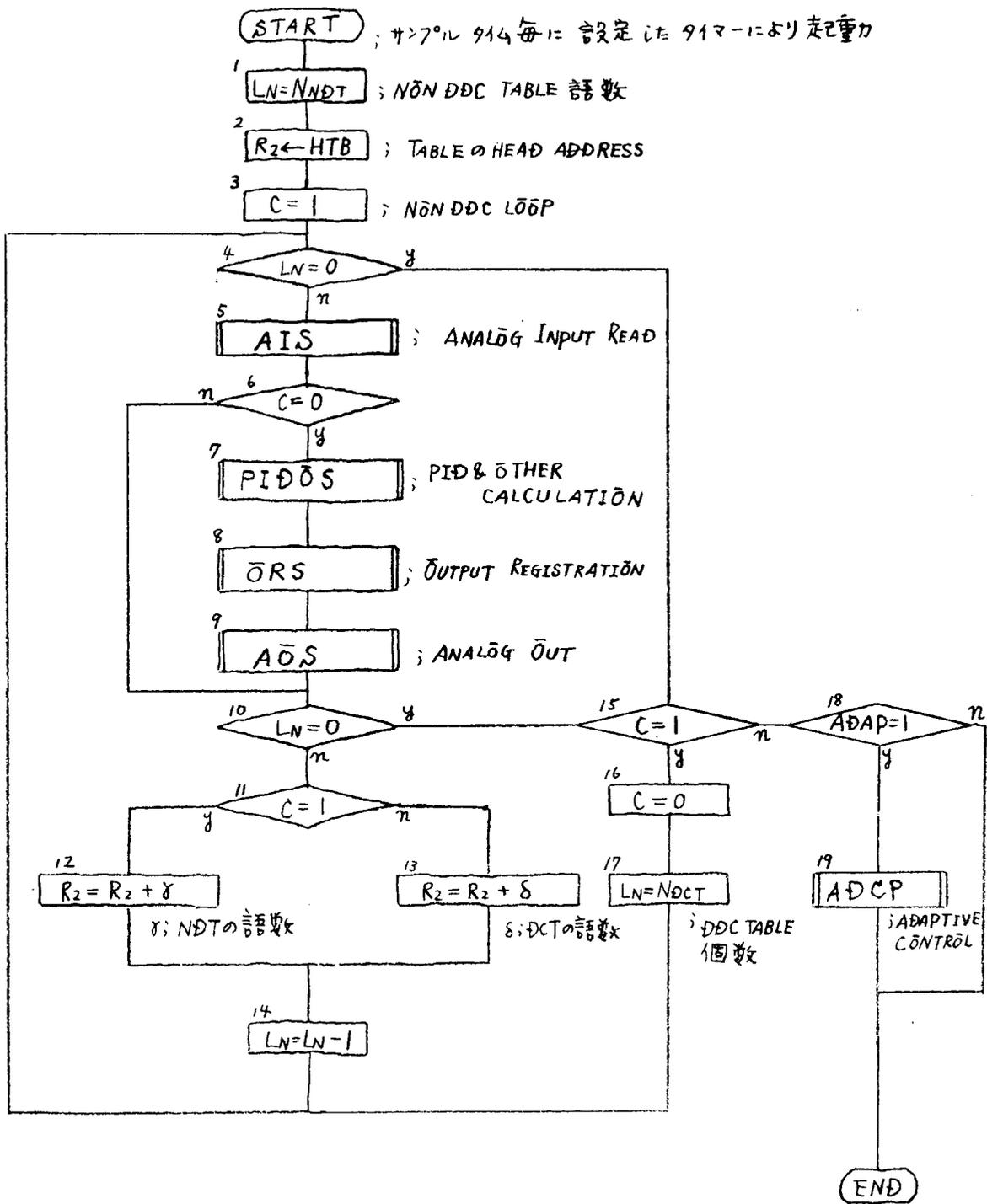
尚この構成は、制御変数、操作量、制御アルゴリズム等の変更、トレンドレコーダ、CRTディスプレイ、等の有無、コンパイル、アセンブル、システムデバッグ等の方式によって、容易に変わらうものであることは言うまでもない。

資料-1

アドバンスド コントロール ソフトウェア 仕様書

頁	プログラム
Pro-1	DDCP
"-2	MPSP
"-3	ADCP
"-4	ADIP
Sub-1	PIDOS
"-2	AIS
"-3	LDLGS
"-4	PIS
"-5	MPS
"-6	N.SPM
"-7	ORS
"-8	AOS
"-9	XIN
"-10	YIN
"-11	YOUT
"-12	MATPR, MATT, MATAD
"-13	MATINV
"-14	RENRT
"-15	LYAPNV
"-16	PÖSDIF

DDCP (DDC MAIN PROGRAM)



MPSP (MP SIMULATION PROGRAM)

START

1 入力データ読み込み $T_f, T_B, T_S, X_d, U_2, \Delta t, T, T_{PR}, \Delta T_{PR}, U_s$; $U_s = \frac{T_B}{T_S} U_2$
CASE, $\lambda_{10}, \lambda_{20}, \lambda_{1T}, \lambda_{2T}, C_u, C_x, TYPE$

2 $S^4 - \alpha^2 S^2 + \beta \gamma = 0$ を解き、根 p_0, p_1, p_2, p_3 を求める。

3 $\Phi_{ij}(t)$ の各係数計算

4 $\Phi_{ij}(T), h_{ij}(T)$ 計算

5 $U = h \cdot \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$ 計算

6 A case + B case かに従って $P_1(0), P_2(0)$ 計算 普通は B case のみ

7 TYPE = A

普通はこの段階で END と
なり DDCP 1 切換る

8 $t = 0.0$

17 $t = 0.0$ $\lambda_1 = \lambda_{10}$ $\lambda_2 = \lambda_{20}$
 $P_1 = P_{10}$ $P_2 = P_{20}$

9 $u_1 = -\frac{b_{11}}{2C_u} P_2(0) + U_s$

18 t, X, P を 7° ロットエリアへ転送

10 $t, X(t), P(t), u_1$ を 7° ロットエリアへ転送

11 $t = t + \Delta t$

19 $t = t + \Delta t$

12 $\Phi(t), h(t)$ 計算

20 $\Delta \lambda_1 = (C_{22} + b_{22} U_2) \cdot \Delta t$
 $\Delta \lambda_2 = (-a_{22} \lambda_2 + b_{11} (U_s - \frac{b_{11}}{2C_u} P_2)) \Delta t$
 $\Delta P_1 = 2C_x (\lambda_d - \lambda_1) \Delta t$
 $\Delta P_2 = (-P_1 + a_{22} P_2) \Delta t$
 $\lambda_1 = \lambda_1 + \Delta \lambda_1$
 $\lambda_2 = \lambda_2 + \Delta \lambda_2$
 $P_1 = P_1 + \Delta P_1$
 $P_2 = P_2 + \Delta P_2$
 $u_1 = U_s - \frac{b_{11}}{2C_u} P_2$

13 $X(t), P(t)$ 計算

14 $u_1 = -\frac{b_{11}}{2C_u} P_2(t) + U_s$

15 $t, X(t), P(t), u_1$ を 7° ロットエリアへ転送

21 $t \geq T_{PR}$

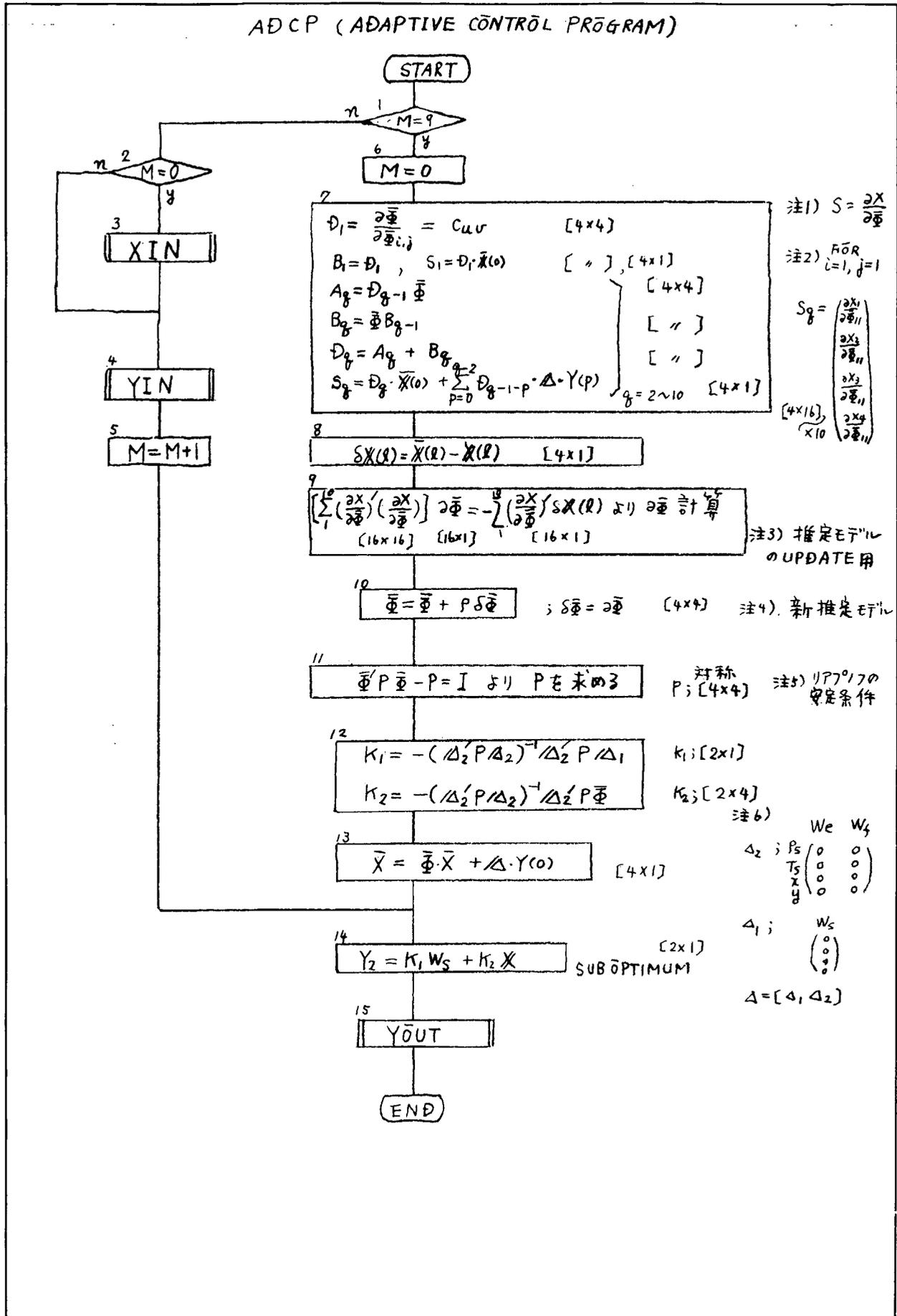
16 $t \geq T$

22 t, X, P, u_1 を 7° ロットエリアへ転送
 $T_{PR} = T_{PR} + \Delta T_{PR}$

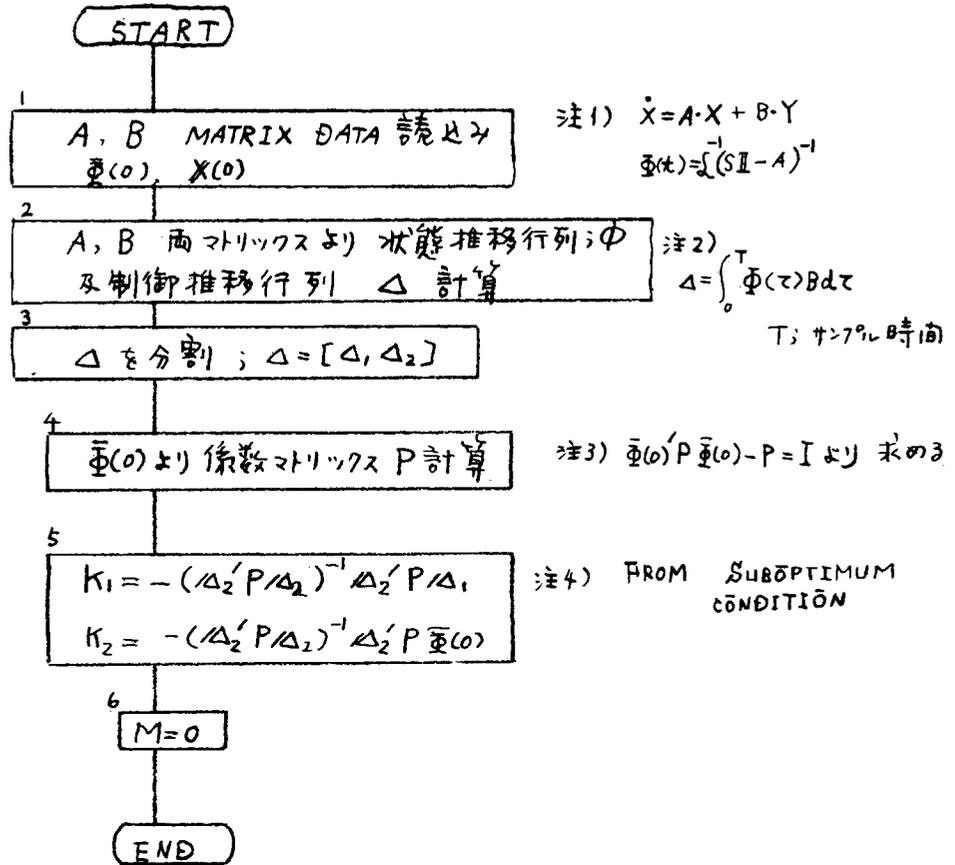
END

23 $t > T$

ADCP (ADAPTIVE CONTROL PROGRAM)



ADIP (ADAPTIVE CONTROL INITIALISE) PROGRAM



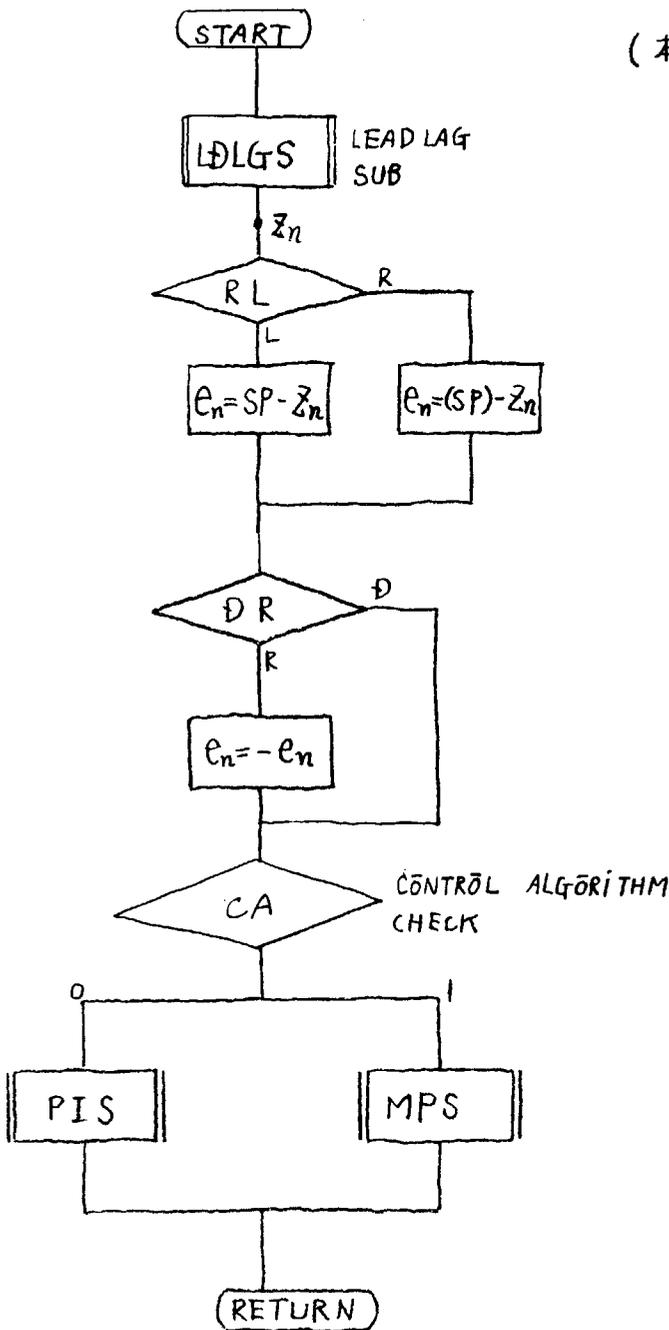
PIDOS (PID AND OTHER CALCULATION SUBROUTINE)

(本サブルーチンの呼び出し)

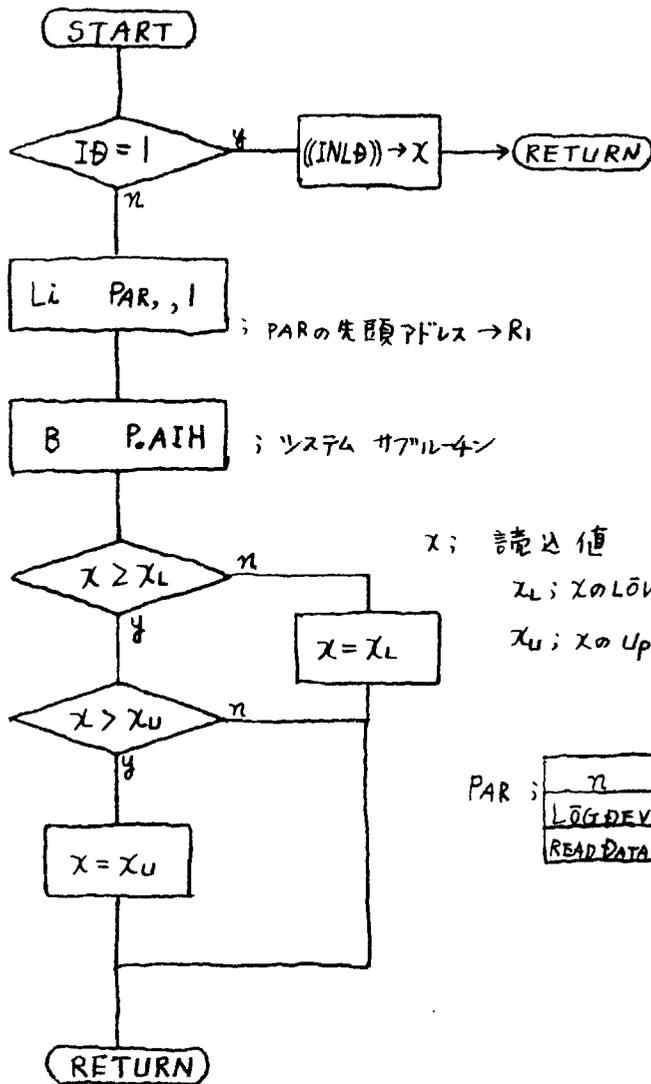
$R_2 \leftarrow DCTHA$

B PIDOS

結果 $y \rightarrow DCT$



A I S (ANALOG INPUT READ SUBROUTINE)



X; 読込値
 XL; XのLOWER LIMIT
 XU; XのUPPER LIMIT

PAR:

n	← 読込デバイス数
LOG DEV NO	← 先頭論理残番
READ DATA LOG	← 読込データ格納ロケーション

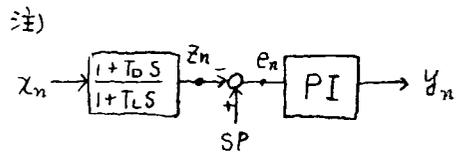
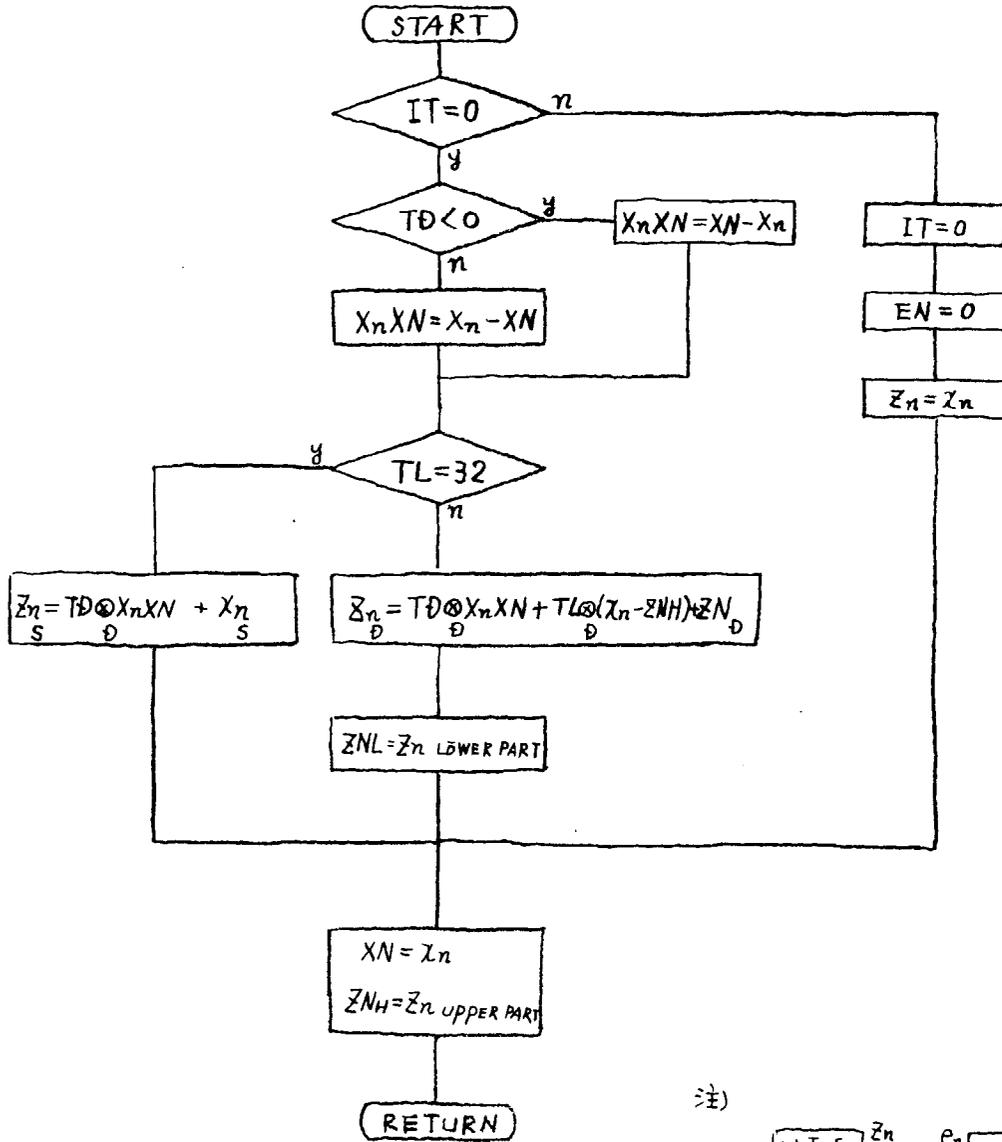
(呼び方)

R₂ ← DCTHA

B PIS

結果 X → DCT

LDLGS (LEAD LAG SUBROUTINE)



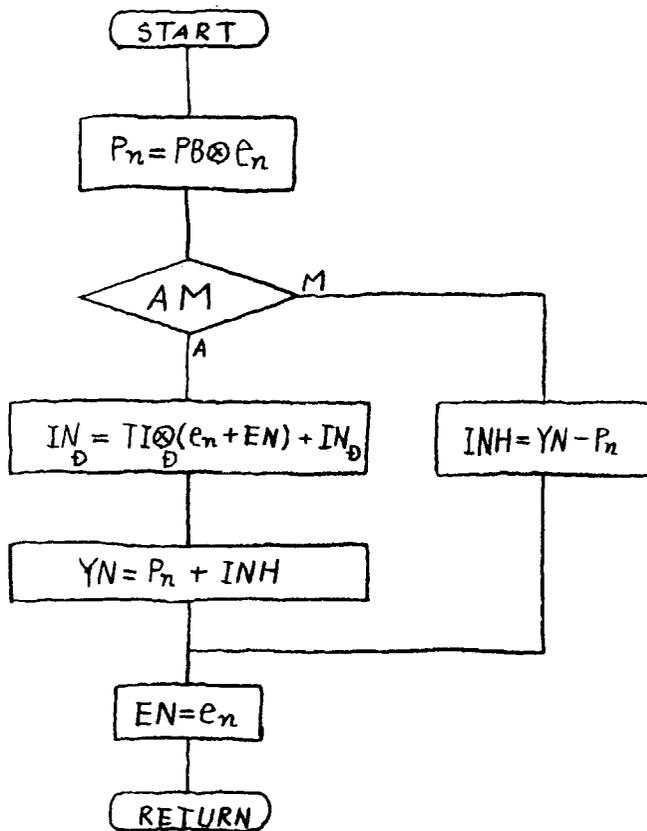
(呼び方)

$R_2 \leftarrow DCT_{HA}$

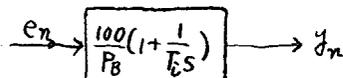
B LDLGS

結果 $R_7 \leftarrow Z_n$

PIS (PI CONTROL SUBROUTINE)



注)

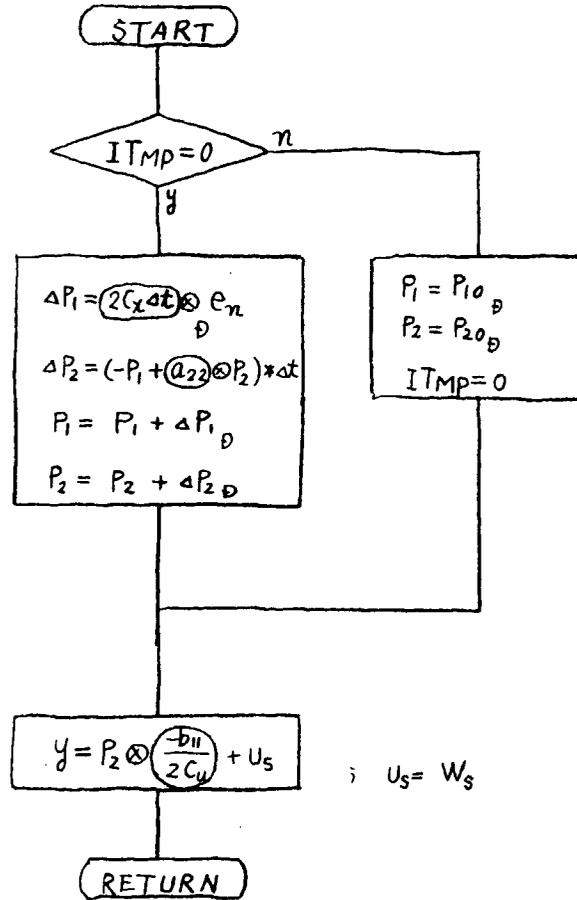


(呼び出し)

R2 ← DCTHA
 R7 ← Zn
 B PIS

結果 YN → DCT

MPS (MP SUBROUTINE)



注)

D ; DOUBLE

⊗ ; N.SPM を使う

○ ; このデータは $\sqrt{2}$ 系列のパラメータ

(呼び方)

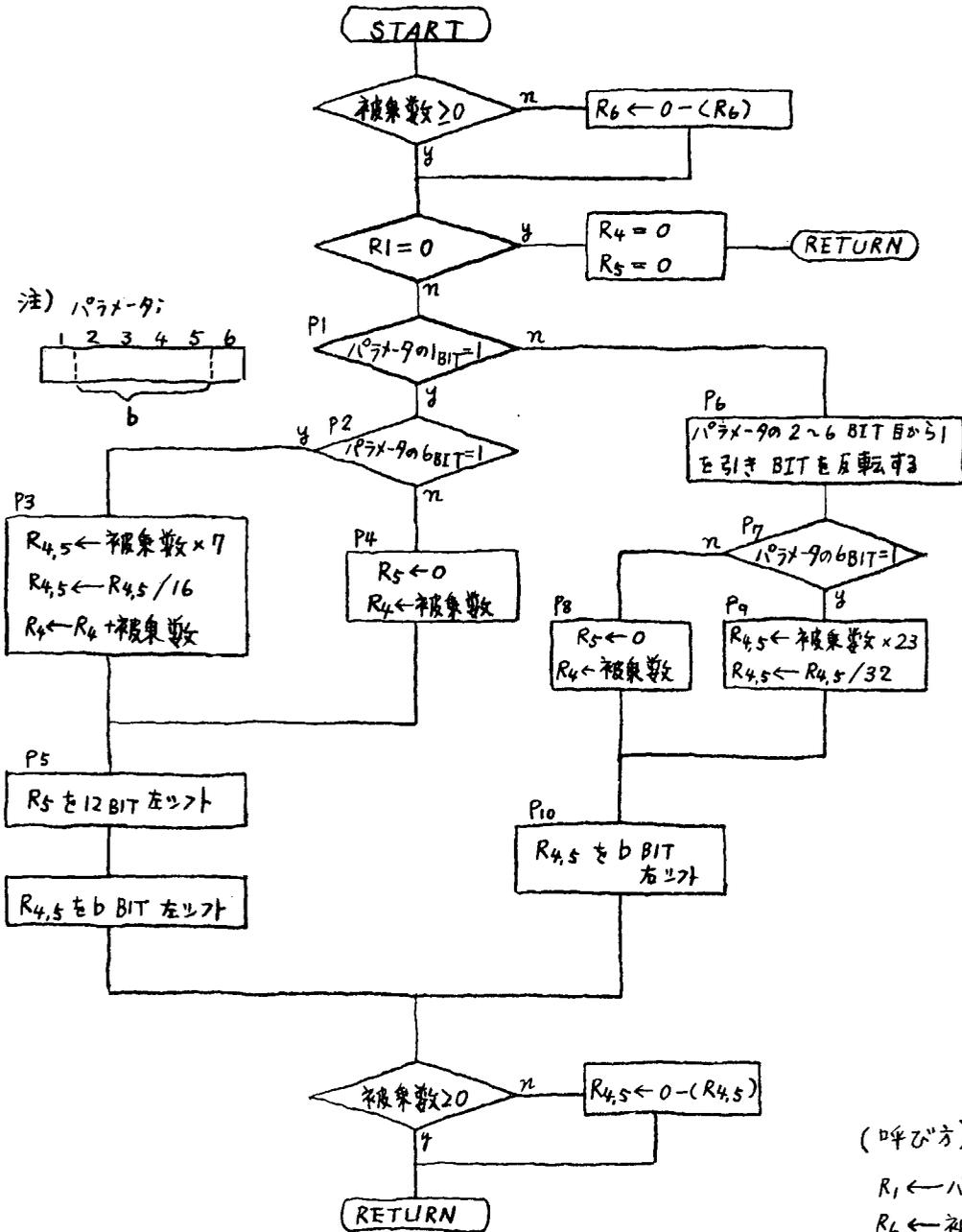
$R_2 \leftarrow DCTHA$

$R_7 \leftarrow e_n$

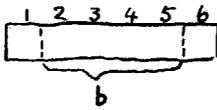
B MPS

結果 $y \rightarrow DCT$

N.SPM (SPECIAL MULTIPLY SUBROUTINE)



注) 1パラ-9;



P3
 $R_{4.5} \leftarrow \text{被乗数} \times 7$
 $R_{4.5} \leftarrow R_{4.5} / 16$
 $R_4 \leftarrow R_4 + \text{被乗数}$

P5
 R_5 を12BIT左ツタ

$R_{4.5}$ をb BIT左ツタ

P4
 $R_5 \leftarrow 0$
 $R_4 \leftarrow \text{被乗数}$

P10
 $R_{4.5}$ をb BIT右ツタ

P6
 1パラ-9の2~6 BIT目から1を引きBITを反転する

P9
 $R_{4.5} \leftarrow \text{被乗数} \times 23$
 $R_{4.5} \leftarrow R_{4.5} / 32$

P8
 $R_5 \leftarrow 0$
 $R_4 \leftarrow \text{被乗数}$

(呼び方)

$R_1 \leftarrow$ 1パラ-9

$R_6 \leftarrow$ 被乗数 (整数)

B N.SPM

結果 $R_4 \leftarrow$ 整数部

$R_5 \leftarrow$ 小数部

注) P3;

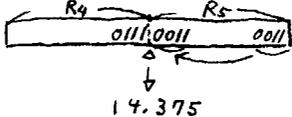
$\sqrt{2} \doteq \boxed{10111} \doteq 1.4375$

ex) $2\sqrt{2} \times 5 = (10\sqrt{2} = 14.375)$

$5 \times 7 = 35$

$35 / 16 = 2 \dots 3$

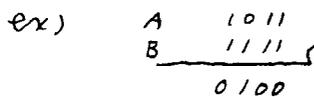
$R_4 \leftarrow 2 + 5 = 7$



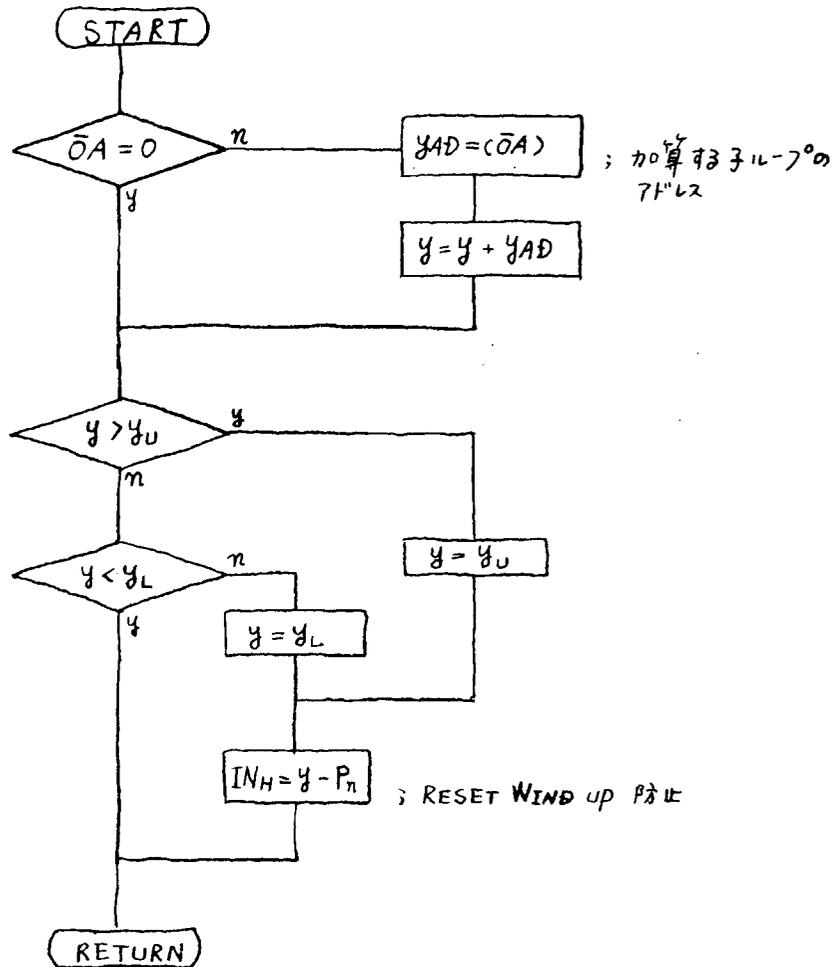
注) P9;

$\frac{1}{2\sqrt{2}} \times 5 = \frac{5}{2^7} \times \boxed{10111} = \frac{11}{16} + \frac{8}{16^2} = 0.71875$

P6; 反転は FFFF と EOR をとる。



$\bar{O}RS$ ($\bar{O}UTPUT REGISTRATION SUB$)



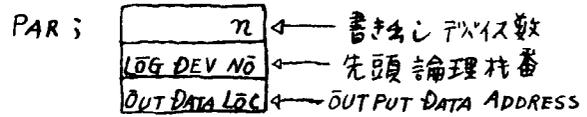
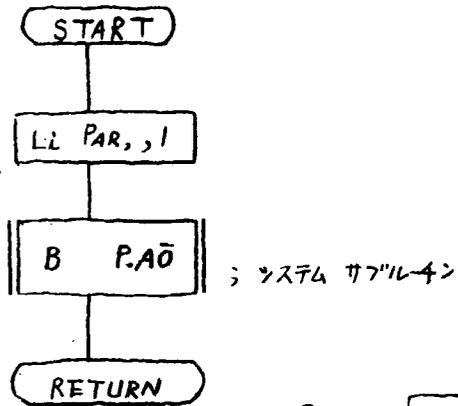
(呼び方)

$R_2 \leftarrow DCTHA$

B $\bar{O}RS$

結果 $\rightarrow DCT$

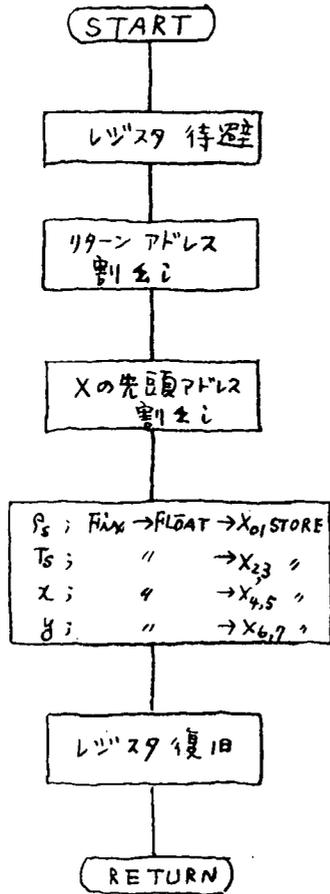
AOS (ANALOG OUTPUT SUBROUTINE)



(呼び出し)

R2 ← DCTHA
 B AOS

XIN (X INPUT SUBROUTINE)



注) NDTよりXを割り出し
INT → FLOAT 変換し
X ← STORE

注) CORE プル状況

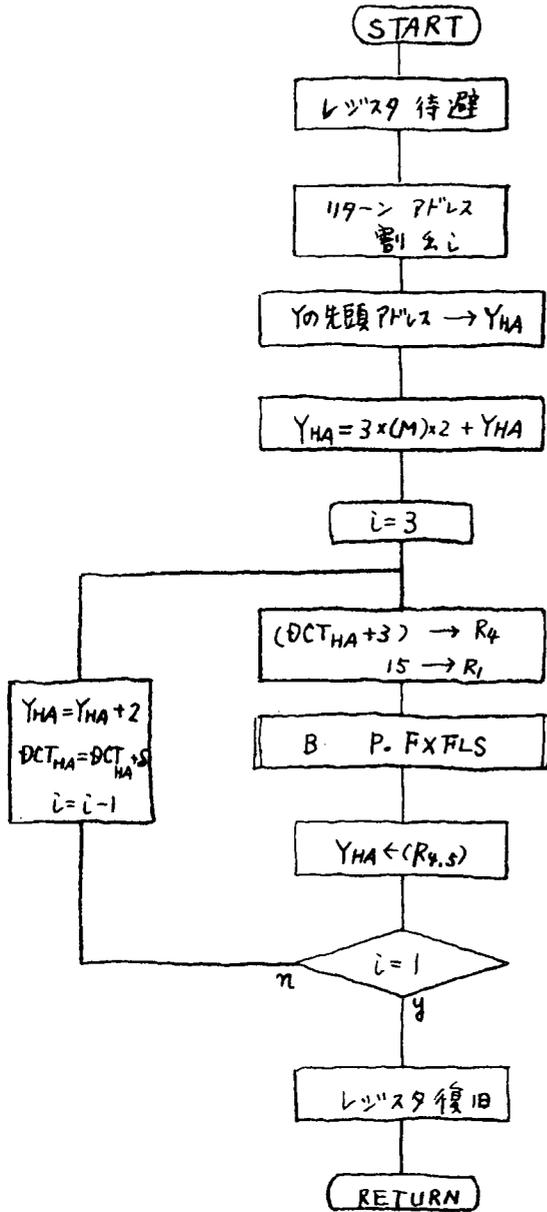
X	0	Ps	X(1,1)
	1	Ts	X(2,1)
	2	X	X(3,1)
	3	Y	X(4,1)
	4		
	5		
	6		
	7		

(呼び方)

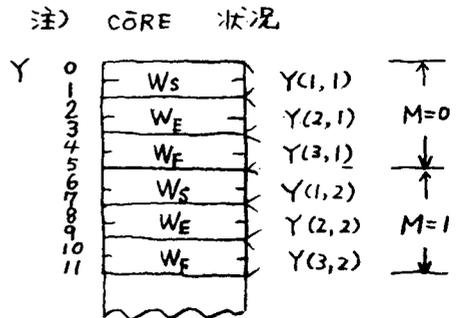
X(4,1)

CALL XIN(X)

YIN (Y INPUT SUBROUTINE)



注) DCTよりYを割り出し
INT → FLOAT変換し
Y(M) = STORE

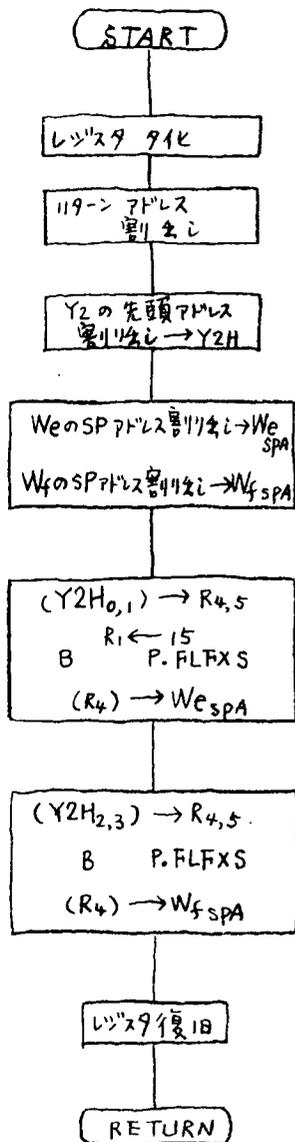


(呼び方)

Y(3,9)

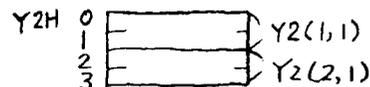
CALL YIN(M, Y)

YOUT (Y OUTPUT SUBROUTINE)



注) Y2をFLOAT → INTに交換し
DCTの We, WfのSPアドレスは
STORE

注) CORE 状況

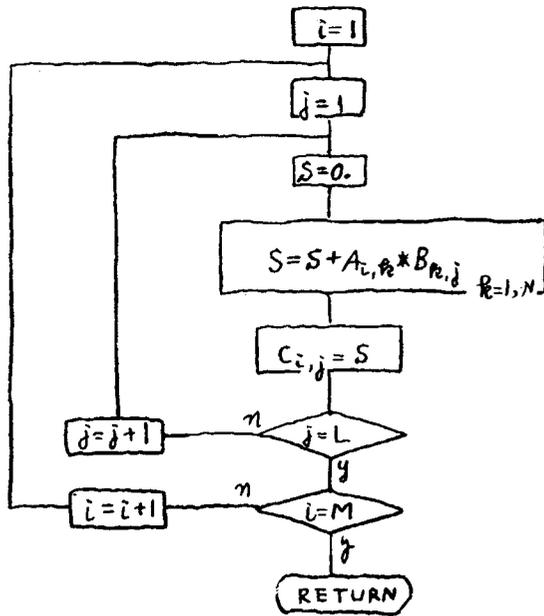


(呼び方)

Y2(2,1)

CALL YOUT(Y2)

SUBROUTINE MATPR(C, A, B, M, N, L)



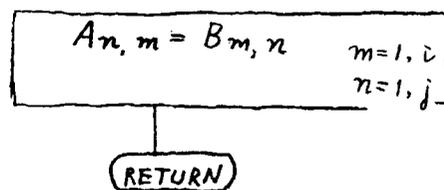
注) $C = A \cdot B$

$A ; [M \times N]$

$B ; [N \times L]$

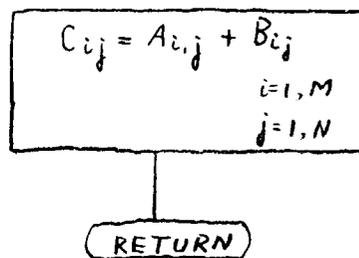
$C ; [M \times L]$

SUBROUTINE MATT(A, B, i, j)



注) $A = B^T$

SUBROUTINE MATAD(C, A, B, M, N)



注) $C = A + B$

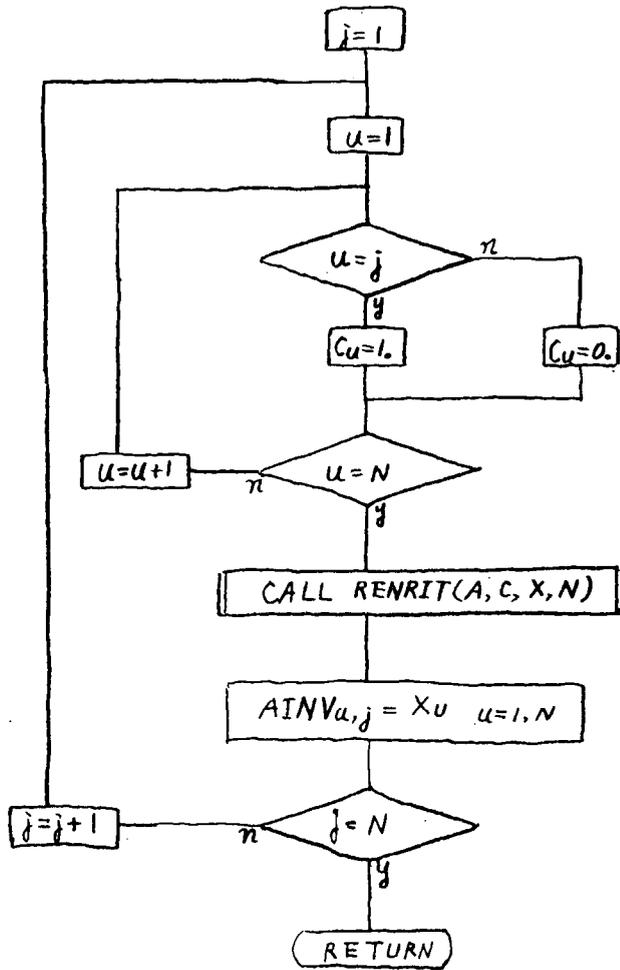
$A ; [M \times N]$

$B ; ["]$

$C ; ["]$

SUBROUTINE MATINV (AINV, A, N)

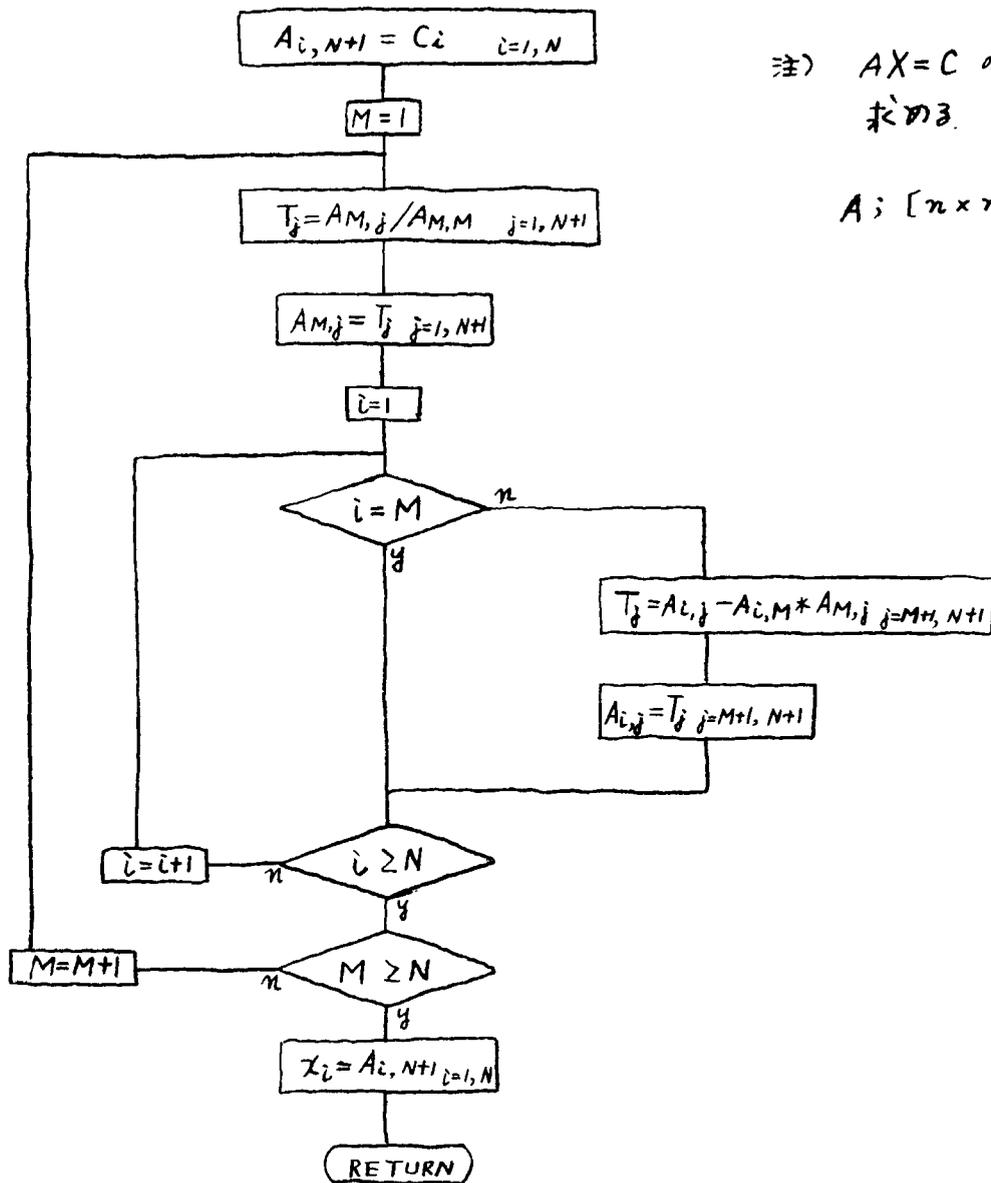
注) $AINV = A^{-1}$
 $A; [n \times n]$



SUBROUTINE RENRIT (A, C, X, N)

注) $AX=C$ の解を
求める。

$A; [n \times n]$



SUBROUTINE LYAPNT(P, \bar{P} , Q)

$$A_{i,j} = 0.0 \quad \begin{matrix} j=1,10 \\ i=1,10 \end{matrix}$$

注) $\bar{P}'\bar{P} - P = I$ より P を求める。

$$P\bar{P} - QP = Q \quad Q = (\bar{P}')^{-1}$$

$$\begin{aligned} A_{1,1} &= \bar{P}_{1,1} - Q_{1,1}, & A_{1,2} &= \bar{P}_{2,1} - Q_{1,2}, & A_{1,3} &= \bar{P}_{3,1} - Q_{1,3}, & A_{1,4} &= \bar{P}_{4,1} - Q_{1,4}, \\ A_{2,1} &= \bar{P}_{1,2}, & A_{2,2} &= \bar{P}_{2,2} - Q_{1,1}, & A_{2,3} &= \bar{P}_{3,2}, & A_{2,4} &= \bar{P}_{4,2}, & A_{2,5} &= -Q_{1,2}, & A_{2,6} &= -Q_{1,3}, \\ A_{3,1} &= \bar{P}_{1,3}, & A_{3,2} &= \bar{P}_{2,3}, & A_{3,3} &= \bar{P}_{3,3} - Q_{1,1}, & A_{3,4} &= \bar{P}_{4,3}, & A_{3,6} &= -Q_{1,2}, & A_{2,7} &= -Q_{1,4}, \\ & & & & & & & & A_{3,8} &= -Q_{1,3}, & A_{3,9} &= -Q_{1,4}, \\ A_{4,1} &= \bar{P}_{1,4}, & A_{4,2} &= \bar{P}_{2,4}, & A_{4,3} &= \bar{P}_{3,4}, & A_{4,4} &= \bar{P}_{4,4} - Q_{1,1}, & A_{4,7} &= -Q_{1,2}, & A_{4,9} &= -Q_{1,3}, \\ A_{5,2} &= \bar{P}_{1,2} - Q_{2,1}, & A_{5,5} &= \bar{P}_{2,2} - Q_{2,2}, & A_{5,6} &= \bar{P}_{3,2} - Q_{2,3}, & A_{5,7} &= \bar{P}_{4,2} - Q_{2,4}, & A_{4,10} &= -Q_{1,4}, \\ A_{6,2} &= \bar{P}_{1,3}, & A_{6,3} &= -Q_{2,1}, & A_{6,5} &= \bar{P}_{2,3}, & A_{6,6} &= \bar{P}_{3,3} - Q_{2,2}, & A_{6,7} &= \bar{P}_{4,3}, \\ A_{7,2} &= \bar{P}_{1,4}, & A_{7,4} &= -Q_{2,1}, & A_{7,5} &= \bar{P}_{2,4}, & A_{7,6} &= \bar{P}_{3,4}, & A_{7,7} &= \bar{P}_{4,4} - Q_{2,2}, & A_{6,8} &= -Q_{2,3}, & A_{6,9} &= -Q_{2,4}, \\ & & & & & & & & A_{7,9} &= -Q_{2,3}, & A_{7,10} &= -Q_{2,4}, \\ A_{8,3} &= \bar{P}_{1,3} - Q_{3,1}, & A_{8,6} &= \bar{P}_{2,3} - Q_{3,2}, & A_{8,8} &= \bar{P}_{3,3} - Q_{3,3}, & A_{8,9} &= \bar{P}_{4,3} - Q_{3,4}, \\ A_{9,3} &= \bar{P}_{1,4}, & A_{9,4} &= -Q_{3,1}, & A_{9,6} &= \bar{P}_{2,4}, & A_{9,7} &= -Q_{3,2}, & A_{9,8} &= \bar{P}_{3,4}, & A_{9,9} &= \bar{P}_{4,4} - Q_{3,3}, \\ & & & & & & & & A_{9,10} &= -Q_{3,4}, \\ A_{10,4} &= \bar{P}_{1,4} - Q_{4,1}, & A_{10,7} &= \bar{P}_{2,4} - Q_{4,2}, & A_{10,9} &= \bar{P}_{3,4} - Q_{4,3}, & A_{10,10} &= \bar{P}_{4,4} - Q_{4,4} \end{aligned}$$

$$C_i = Q_{1,i} \quad i=1,4 \quad C_5 = Q_{2,2} \quad C_6 = Q_{2,3} \quad C_7 = Q_{2,4} \quad C_8 = Q_{3,3} \quad C_9 = Q_{3,4} \quad C_{10} = Q_{4,4}$$

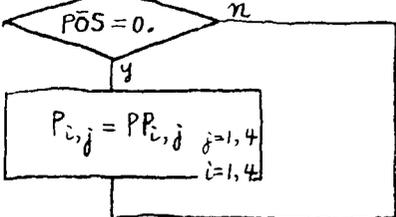
CALL RENRIT(A, C, X, 10)

$$PP_{1,i} = X_i \quad i=1,4 \quad PP_{2,2} = X_5, \quad PP_{2,3} = X_6 \quad PP_{2,4} = X_7 \quad PP_{3,3} = X_8, \quad PP_{3,4} = X_9 \\ PP_{4,4} = X_{10}$$

$$PP_{2,1} = PP_{1,2} \quad PP_{3,1} = PP_{1,3} \quad PP_{3,2} = PP_{2,3} \quad PP_{4,1} = PP_{1,4} \quad PP_{4,2} = PP_{2,4} \quad PP_{4,3} = PP_{3,4}$$

CALL POSDIF(PP, POS)

POS = 0. ならば正定
正定でなければ
前回のPを使う。



SUBROUTINE POSDIF(P, POS)

注) P の対角要素が正定か否かを判断する。

$$D_1 = P_{1,1}$$

$$D_2 = P_{1,1} * P_{2,2} - P_{1,2}^2$$

$$D_3 = P_{1,1} P_{2,2} P_{3,3} + 2 P_{1,3} P_{1,2} P_{2,3} - P_{1,3}^2 P_{2,2} - P_{1,2}^2 P_{3,3} - P_{2,3}^2 P_{1,1}$$

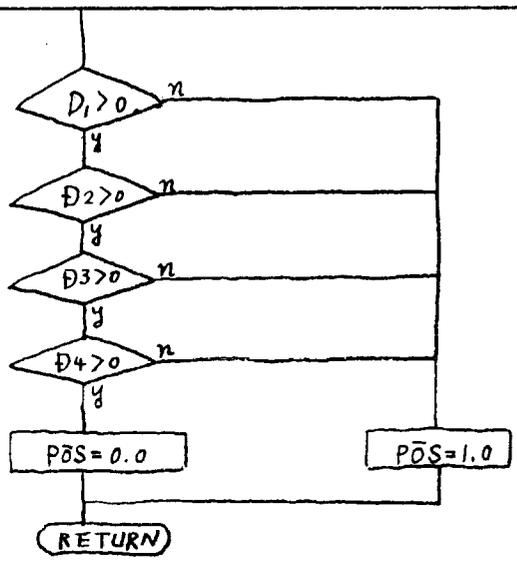
$$A_{1,1} = P_{2,2} P_{3,3} P_{4,4} + 2 P_{2,3} P_{3,4} P_{2,4} - P_{2,4}^2 P_{3,3} - P_{2,3}^2 P_{4,4} - P_{3,4}^2 P_{2,2}$$

$$A_{1,2} = - \left(P_{1,2} P_{3,3} P_{4,4} + P_{2,4} P_{1,3} P_{3,4} + P_{1,4} P_{2,3} P_{3,4} - P_{2,4} P_{3,3} P_{1,4} - P_{2,3} P_{1,3} P_{4,4} - P_{1,2} P_{3,4}^2 \right)$$

$$A_{1,3} = P_{1,2} P_{2,3} P_{4,4} + P_{1,3} P_{2,4}^2 + P_{2,2} P_{3,4} P_{1,4} - P_{2,4} P_{2,3} P_{1,4} - P_{2,2} P_{1,3} P_{4,4} - P_{1,2} P_{3,4} P_{2,4}$$

$$A_{1,4} = - \left(P_{1,2} P_{2,3} P_{3,4} + P_{1,3} P_{2,4} P_{2,3} + P_{1,4} P_{2,2} P_{3,3} - P_{2,3}^2 P_{1,4} - P_{2,2} P_{1,3} P_{3,4} - P_{1,2} P_{3,3} P_{2,4} \right)$$

$$D_4 = \sum_{i=1}^4 P_{1,i} A_{1,i}$$



4. ターボンプラントの保守整備のため電算機適用の研究

4.1 超自動化船の保守整備構想

4.1.1 保守整備の展望

従来船舶の保守整備は充分な船内労力を得られたことから船内作業による事後保守が主力であり、この方法が一番経済的なものと考えられて来た。

しかしながら近年の労務情勢の変化から、従来通りの経験豊かな優秀な労力を充分船内に確保することは期待出来ず、更に人件費の急激な上昇は、技術開発による大巾な自動化を導入し、省力化をはかる方向に進まざるを得なくなってきた。かかる趨勢が電算機を搭載した超自動化船の出現をうながしたと云える。

超自動化船では大巾な省力化により乗組員数が減少することから、従来船内で行われて来た様な保守整備作業は当然大巾に減少せざるを得なくなってきた。加えて近來の装備機器類の高度化、複雑化はその整備、修理に相当高度の知識を要求し、技術的にも船内での処理は困難視されるものが多くなっている。

かかる面から超自動化船の保守整備は航空機等で実施されている予防保守整備方式の思想を導入し、保守整備については可能な限り陸上整備機関に移管することとなる。

超自動化船の保守整備作業は従来より装備されている機器に加えて、省力化のために導入された電算機関係機器類、周辺機器類が大巾に増加することから、当然従来よりも増加することが考えられる。

4.1.2 船内保守整備

省力化による乗組員の減少により超自動化船においては完全な整備を乗組員で実施することは不可能となって来る。従って整備作業は原則として陸上整備機関によって実施し、整備間隔の極めて短い作業で船の運航に欠くことの出来ない作業のみが船内で消化されることになる。

即ち船内での作業は運航に必要な各機器類の必要最小限の点検、及び自動化が技術的・経済的に困難なことも船内で乗組員の手により整備しなくてはならない諸作業に限定される。

勿論、バックアップ体制の完備されていない機器類の突発事故発生に対しては必要な応急修理は可能な限り実施されることになる。

(1) 船の運航に必要な各機器類の船内における点検は、航海中は通常機関室を1日1回程度の割合で、点検項目をリストアップしたチェックリストに基づいて実施する。チェックリストは各船のシステムの内容を充分検討し必要項目

を抜き出し各船の実情に沿って作成することとなる。

碇泊中は積地・碇泊中ではないと突検出来ないものの必要最小限を実施するが、突検の目的は機番が異常なく運転又は作動すること又は運転していることの確認である。

即ち、人間の五感による確認の方がよいと判断される各種のパイプ類からの漏洩現象、グリースの補給・減速歯車の損耗状態の確認等や異常時に作動する各種安全装置、保護装置等の作動確認基準によるチェックがこれに該当する。

(2) 自動化が技術的・経済的に困難でしか船内作業組員の手により整備しなければならぬ作業としては缶バーナチェックの取替、フレームアイの掃除、缶水の成分分析、清缶剤の投入、各種ストレーナの掃除、スモークインジケータの掃除等が挙げられる。

(3) 突発事故発生に対する船内応急修理対策は船舶の運航を維持出来る範囲に止めざるを得ないが、船内乗組員で応急修理可能か否かの判断は乗組員の勝れた経験による判断と共に電算機による事故診断システムによる判断の新しい方式が必要となろう。

このような考案のもとで、船内における乗組員の作業ほどの程度行なわれべきであるかの、経済的な判断も含めて、4.2項以降に考察を行なう事にする。

4.1.3 陸上に於ける保守整備

前述の通り大巾な省力化の進んだ超自動化船の保守整備作業の大部分は陸上に移管し、又その整備方法について臨床医学的な保守体制より予防医学的保守計画整備体制を確立することが必要となつて来る。その目的とするところは機器のアベイラビリティを向上し、それによって最終的には、船内でのメンテナンスフリーとする事にある。

使用機器にとって、ある一定の間隔で優秀な技術者によって定期的に突検整備されればその保全度は極めて高いものとなるので、日本帰着時或は入渠時を利用して陸上の整備機関による計画的な整備を行えば常に最高のアベイラビリティを保つことが可能であり計画整備の意義があるわけである。

計画整備は機器の信頼度、性能の有効期間等を勘案して作成された整備基準により検査・突検・整備を実施して行くことになるが、陸上に於ける整備機関はこの計画整備方式によりアベイラビリティを維持向上させる役割をはたさねばならない。

(1) 整備基準の作成

整備基準の作成にあたっては機器のMTBF (Mean Time Between Failure), MTR (Mean Time To Repair)の解析、過去の使用実績等を参考にして検査周期、整備周期を決定するわけであるが、実績の少ないものについては短

期間の使用実績にともなう、これを作成することは難しく、他の類似機器の実績から類推して決定せざるを得ない。この場合はその基準により整備を継続して行けば期待する性能を維持することが出来か？運航に支障をおこすような事故が発生しない線を狙って決めに行く必要がある。

すなわち超自動化船に搭載されている多種多様な機器の整備基準について全部を完全に常時把握していることは困難なので、電算機に記憶させ、プログラムによる制御が要求されることになるが、定期整備の実施は原則として陸上整備機関によることとなるのでこれをコントロールする電算機は陸上整備機関に設置し一元的に管理する方式が望ましい。

(2) 定期整備チェックリスト作成

整備基準により定期整備の間隔を決定しこれに従って陸上整備機関並に本船乗組員により各種点検・整備を実施することになるが、その方法・手順又は確認事項を明記したチェックリストを作成し整備内容の統一化をはかる必要がある。

又整備基準や整備方法が常に適正であるか、技術の進歩と共に新しい情報を導入し各々の実績に反映させ基準・方法の変更・追加等を実施していかねばならない。このためには有効な情報を常に収集しておく必要がある。

(3) ヒストリーカードの作成

各種機器の整備実績と共に故障発生の実績もとりこんだ来歴を電算機に記録させ、整備基準或は整備方法にフィードバックさせ、次回の整備に役立たせる方式を同時に採用していかねばならない。

4.1.4 突発事故に対する保船システム

前述した如く計画整備方式の導入により予防医学的な保守整備を行ってアベイラビリティが維持向上されることになるが、予想出来ぬ突発事故に対する保船システムと併行して確立して行く必要がある。

船内においては突発事故に対する処置判断は本船乗組員によってなされることになるが、電算機による事故診断システムを確立して本船乗組員の判断を側面から援助する体制を作ることが必要である。

この事故診断システムはオペレーションシステムのデータから故障箇所の検出、原因調査確認、対策指示、本船での修理可能の可否、必要部品の指示等を行うものとなるべきである。このため事故診断のプログラムの作成に当っては情報を広く収集し、情報ライブラリを充実したものとすると共に常に新しい情報を追加改正して行く必要も出てくる。

本船の電算機に事故診断システムを導入すると共に、更に事故に対する処置或は修理方法については陸上整備機関において広範囲の角度から検討が加えられ、即座に最善の方法が本船にフィードバックされるシステムと併せて確立して

おく必要がある。

突発事故が発生しても運航継続可能な場合は

- (i) バックアップシステムの完備している場合
- (ii) 船内で応急修理が可能な場合
- (iii) 効率を落せば続行出来る場合

が考げられる。一番確実なのはバックアップシステムであるが経済的な面で全面的に採用するのは難しく

- (i) 船舶運航上極めて重要であること。
- (ii) 信頼性が強く要求されるものであること。
- (iii) 投資効率が低いものであること。

等の条件を満たすものに採用されることになる。

船内での応急修理が可能な場合は事故診断システムや陸上整備機関からの最善の修理方法の指示により本船乗組員によりなされるが、応急修理が可能ではあるが本船の乗組員のみでは消化出来ぬため運航効率を落して続行する様な場合は、運航経路の適当な要所に設備、労力、備品等が供給出来る基地を確保すとか、或は最寄りの港に必要人員を派遣待機させる等の対策も必要となってくる。

運航継続不可能と判断される突発事故に対しては本船からの要請による救助に対して、現在の救助体制以上に整備された救助システムを確立して、国際間の協力が緊密に得られる様にしておく必要がある。

4.2 保守点検、診断基準

前述のよりに、船舶の保守整備に関して課せられた使命は、如何にして、アベイラビリティを向上させなければならないか、に集中してくると考えられる。しかしながら、故障はなぜ起るかの問題をより深く見ると、

設計、工法、材料等の不良による初期故障。

損耗、経年変化、汚損、劣化等による損耗故障。

取扱不良、または現在の知識では予知出来ない様は偶発故障。

等に、分類出来る。

ここで、保守整備によってカバー出来ないのは、損耗故障に対する対策と偶発故障の被害を最小限に喰ひ止めるための作業に、重点が置かれる。

一方、超自動化船のよりに限られた乗組員での船内作業量は、必然的に限定されてくる。

そこで、超自動化船にそくしくアベイラビリティを持たせる為、現実には艦内で行なわれている保守点検作業のうち、電算機に置換えられる項目にはどんなものがあるか、との見地を並べてのアプローチを行なう。

すなわち、現在、日本-パルシヤ海を運航しているMOフラスタータービンマシナを取上げ、本船が、

(1) 日常実施している保守点検。

(2) 経年的変化を考慮して行う保守整備の為の診断。

(1)、(2)等、過去に取上げられなかった項目も含めてリストアップし、それに対して、最も有効と思われる方法によつての保守点検作業の検討を行なう。

本チェックリスト作成にあつて、各記号を下記の如く定める。

A; 定時ログで記録すべきもの。

B; 過去3年間の研究において、異常検知プログラム、シーケンスプログラム等で取上げられているもの。

A、Bはすでに他の方法でチェックされているもの。

C; 新たに機器を設定して検知すべきもの。

D; 検出が難かしく、人間がチェックしな方が経済的なもの。(但し、センサが開発されれば“C”に入る)

Cは今まで当分科会で取上げていたのが、新しく、機器を設置して
電算機でチェックする項目である。

Dについては、

- ※1、制圧空気系ドレンに対しては、空気供給源で解決を図る。
(オ2章参照)。
- ※2、制圧空気系の漏洩に対しては、臍表面で解決する事を原則とする
が、制圧対象の湿度、圧力、レベル等が異常になつた時、漏洩ま
でチェックできるプログラムを用意する事が望ましい。
- ※3、液体の漏洩についても、基本的には臍表面で解決するが、漏洩し
たものに対しては、トレイに集めて検出するなどの対策を講ずる。
- ※4、信頼性を上げる事よりも、日常のチェックは行なわない。
- ※5、コントローラの活動については、制圧対象の湿度、圧力、レベル
等が異常になつた時、チェックするプログラムを用意する。
- ※6、モータ類の運転の事は、一応一括して電算機で表示する事とした
の様な考案を加える。

BS ; ボイラ起動プログラム。

SWB ; ボイラ、シヨートウオ-ダ検知プログラム(ボイラ関係)。

SWF ; ボイラ、シヨートウオ-ダ検知プログラム(給水関係)。

BO ; ブラックアウト復帰プログラム。

VB ; タ-ビン異常振動検知プログラム。

BRT ; 軸受焼損予防プログラム(主タービン関係)。

BRG ; 軸受焼損予防プログラム(発電機関係)。

TS ; 主タービン起動プログラム。

ACC ; ボイラACCプログラム。

4.2.1 日常実施している保守点検
脱気給水加熱器および空気予熱器まわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備
脱気給水加熱器	水面計水位 (常用水位±2mm)	○				
	器内圧力 (3.5MPa)	○				
	水位 供給空気圧計不備 (1.4MPa)					
	調整器 減圧弁ドレン切					
	空気管系リーク					
	加熱蒸気 供給空気圧計不備 (1.4MPa)					
	圧力発信器 減圧弁ドレン切					
2 No.2 FDF風量17 センサー	空気管系リークはないか					
3 No.1 "	"					
4 流線計-熱投入装置	タンク内満水はないか					
5 No.1, No.2 空行熱器	空行熱器上部のカガ入漏れはないか					
	No.2 空行熱器 入口タンパー (全閉)					
	No.1 "					
	No.1, 2 強圧送風機 出口中間タンパー (全閉)					
	No.1 予熱器 空気側出入口差圧 (90~35 mmHg)					
	" カス阻 (40~45 mmHg)					
	No.2 予熱器 空気側出入口差圧 (30~35 mmHg)					
	" カス阻 (40~45 mmHg)					
6 空行熱器風圧計						

Wire Type (or Element Type) 温度センサーによりチェックする

リミットスイッチ

凡量と差圧の関係より汚濁程度を推定する。
(予熱器前後の凡量と比較し、漏洩空気量を推定する)

暖気給水加熱器及空気予熱器手回り， 強圧送風機手回り

検査番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
7	No.1 空気予熱器 口→ 駆動装置	供給空気減圧弁の閉切 空気漏洩はないか 駆動モーターの異常騒音が無いか 減速室油量， 温度	○			○ ^{※1} ○ ^{※2} ○ ^{※4}	
8	No.2 空気予熱器 口→ 駆動装置	供給空気減圧弁の閉切 空気漏洩はないか 駆動モーターの異常騒音が無いか 減速室油量， 温度	○			○ ^{※1} ○ ^{※2} ○ ^{※4}	
9	No.1 強圧送風機	軸受温度に異常ないか (モーター側) " (原モーター側) 異常音， 異常振動はないか アークエーサーのリンパ機構に異常はないか	○			○ ^{※1} ○	定期自りに送風機点検と所要電力の測定と check し性能低下を推定する。
10	No.2 強圧送風機	軸受温度に異常ないか (モーター側) " (原モーター側) 異常音， 異常振動はないか アークエーサーのリンパ機構に異常はないか	○			○ ^{※1} ○	
11	No.1 強圧送風機	吸気口の全閉に物が付着していないか			○		ベーン開度と吐出圧の関係を測定する。
12	No.2 "	"			○		

出 裏 工 部

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
13	16/9.5 減圧弁	不ジヤナ 調整器				○ ○ ○ ○ ○	*5
14	№.1, №.2 弁内部 後熱器加圧力計 警告器	出口圧力計測 (61.0 MPa/cm ²) 供給空気圧力計測 (1.4 K) " 減圧弁ドレイン切	○			○ ○ ○	
15	煤吹器点検減圧弁 (60/15 減圧弁)	不ジヤナ				○ ○ ○ ○	
	調整器	供給空気圧力計測 (3.0 K) " 減圧弁ドレイン切 指針(赤)示度 (0 K) 供給空気圧力計測 (1.4 K)				○ ○ ○ ○	
	圧力計	出口圧力計測 (0 K) 供給空気圧力計測 (1.4 K) " 減圧弁ドレイン切				○ ○ ○	
16	船尾管潤滑油 工部室カタン	付直管系の満油していいかい				○	レベルスイッチ

出裏上部および船減圧弁まわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備
17 No.2主缶上部	安全弁付近異常は何か				○	
18 " "	"				○	
19 燃料油登タンク	温度計不度(40°~65°程度) 油面計液位は十分か(十分ある) 乗位計利用 供給空気圧力計不度(1.4k) 圧力発信器 " 減圧弁ドレン切 燃油ドレン排水	○				温度計不度 レバレッジ
20 9.5/3.5 減圧弁 (バースト蒸気用)	指針(赤針)不度(2.5%以内) 供給空気圧力計不度(1.4k) " 減圧弁ドレン切 供給空気圧力計不度(1.4k) " 減圧弁ドレン切				○	
21 6.0/4.5 減圧弁 (バースト蒸気用)	指針(赤針)不度(9.5%以内) 供給空気圧力計不度(1.4k) " 減圧弁ドレン切				○	*5
	供給空気圧力計不度(1.4k) " 減圧弁ドレン切				○	
	供給空気圧力計不度(1.4k) " 減圧弁ドレン切				○	*5

期右減圧弁および3段給水加熱器まわりの

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
22 60/15減圧弁 (4段給水加熱器用)	調整器				<input type="radio"/>	x5
	ホジシヤ-				<input type="radio"/>	
	調節弁周辺の空気ベントの空気漏洩(2.17kPa)				<input type="radio"/>	
	調整器				<input type="radio"/>	
	ホジシヤ-				<input type="radio"/>	
23 60/3.1K補給弁	調整器				<input type="radio"/>	x5
	ホジシヤ-				<input type="radio"/>	
	調整器				<input type="radio"/>	
	ホジシヤ-				<input type="radio"/>	
	器内圧力 (NOR 10.5K)				<input type="radio"/>	
24 3段給水加熱器	給水入口温度 (145°C)	<input type="radio"/>				加熱器の入口温度, ボイラ負荷, 給水加熱器出口温度の関係をチェックし E-7-の性能も判定する レベルマイト x5
	ドレン水位 (40~50%)				<input type="radio"/>	
	調整器				<input type="radio"/>	
	ホジシヤ-				<input type="radio"/>	
	水漏れ, 安全弁, 排水漏れの有無				<input type="radio"/>	

4 段給水加熱器まわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考	
25 4段給水加熱器	器内圧力 (19~20K)			○		3段給水加熱器と同環。	
	給水入口温度 (185°C)	○					
	" 出口 " (205°C)	○					
	ドレン水位 (40~60%)		○				レベルスイッチ
	ドレン水位調節弁			○			
ドレン水位調節弁	減圧弁ドレン切			○		レベルスイッチ	
ドレン水位調節弁	供給室圧力計検度 (1.4K)			○	※5		
ドレン水位調節弁	減圧弁ドレン切			○			
25 P/G用冷却水	水位は充分あるか			○		レベルスイッチ	

冷凍機まわり

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
30	糧倉庫冷凍機 (7033)	潤滑油圧力 (5~7k (LOADING時)) クランク室油量は十分か (1/2以上)					
31	空気が通る冷凍機	冷媒ガス圧(面計)は見ていけるか (1/2以上) 電圧表示灯点灯して113か リフトスイッチは自動的に リフトしているか 居住区ファンは運転して いるか (リフトスイッチ の2E入力でみ? 電磁弁 表示灯) が果して 自動弁手動切替スイッチ (自動か) TEST-NORMAL SIM (NORMAL)					糧倉庫令東枝と同様、最終目標温度のみをエックレ個々の項目 の常時監視はしない。
		潤滑油圧力 (5~7k) 冷媒ガス圧(レシーバ上部液面計)は 見ていける (1/3以上) クランク室上の油量は十分か (1/2以上)					
		吐出圧力計 (5~7k) 吸入 " (0~3k)					

船油滑油タンクまわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
32 油滑油貯蔵タンク (200H)	油面計液位充分か タンクまわり管系リーク有いか				<input type="radio"/>	
33 潤滑油貯蔵タンク AW重油タンク	油面計液位充分か タンクまわり管系リーク有いか			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	レベルスイッチ (重油タンク24)
35 補助LO油タンク (100) 及LO貯蔵タンク	油面計液位充分か タンクまわり管系リーク有いか			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
36 9.5/3.2 減圧弁 (雑用蒸気)	調整弁 指針(液面計測) (3.2K) 供給空気圧調整弁 (1.4K) " 減圧弁ドレン切 " 供給空気圧調整弁 (1.4K) " 減圧弁ドレン切			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	*5
37 燃料油タンク	油温計測 (40~65°C) 油面計液位は充分か 付近弁まわり漏油有いか 液位 供給空気圧調整弁 (1.4K) トランスミッター " 減圧弁ドレン切 燃油ドレン排出口	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	温度スイッチ レベルスイッチ

No.2 缶前 ~ No.1 缶前 上段 および 缶前去関連機器

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考	
44	No.1, No.2 & No.3 缶前	缶前付油漏油はないか				○	リミットスイッチ	
		缶前コック把手水平位置 に合っているか			○			
		CONTROLは AUTO 1- になっているか			○			
	機側缶前	PRESS ATOM 表示 ランプ点灯			○			
		機側一制御室 切替スイッチ			○			
	No.1缶 缶前	制御盤	フレームアイ(点灯)	○	BO			
			フレームアイバイパス 表示灯(消灯)			○		
		缶側機側	F.D.F バイパス 表示灯(消灯)			○		
			過熱蒸気圧力		VP			
			蒸気ドラム圧力	○	SWB			
缶側機側 計器板	缶側機側	アシスターム圧力			○			
		缶前パージ圧力			○			
	計器板	FOVタガ 入口圧力		BO				
		ドラム水標	○	SWB, BO				
		供給空気圧力計示度 (設定圧)				○		
		減圧弁ドラム切				○		
		供給空気圧力計示度 (設定圧)				○		
No.1缶側連 圧力発振器	No.1給水加減器 調節器	減圧弁ドラム切				○	*5	
		缶内空気及び漏水はないか				○		

缶前缶周連機器及びNo.2缶ベースバーナまわり

検査番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
47	燃料油流量調節弁	調整器	供給空気減圧弁			○	*5
		ポジション	トレン切 供給空気圧力計示値 (設定圧)			○	
48	燃料油量圧油圧保持弁 No.1空弁熱器 ローカル操作盤	減圧弁トレン切	" 減圧弁トレン切			○	*6
		電源表示ランプ点灯	電源表示ランプ点灯			○	
48	汽缶遮隔水準計	水準 (設定水位)	○	SVB&BO			
49	No.2缶関連 圧力発信器	バーナ、パン 蒸気、アシスト スチーム、過 熱蒸気、ドラ ム圧力	供給空気圧力計示度 (設定圧)			○	*1
		" 減圧弁トレン切	" 減圧弁トレン切			○	
50	No.2缶 ベースバーナ前	No.1, No.2 & No.3 バーナ	バーナまわり漏油して いないか			○	リミットスイッチ " " "
		バーナ	バーナコック把手位置 (水準)			○	
		バーナ機側	CONTROL表示ランプ			○	
		操作盤	AUTO 噴霧方式表示ランプ (PRESS. ARM) 制御位置切換スイッチ			○	
		フレームアイ点灯している	○	BO			
		フレームアイ、パイパス 表示灯 (消灯)	○				
		F.D.F.	○				
		" (")	○				

No.2缶バースバーナまわりの

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
50	No.2缶バースバーナ前	ボイラ機側 計器盤	○	18 24B ○			
		過熱蒸気圧力					
51	No.2給水加減 器調整器	蒸気ドラム圧力	○				
		アシスト蒸気圧力			○		
52	No.2缶燃料油 流量調節弁	バーナパージ蒸気圧力			○		
		供給空気圧力計示度(設定圧)	○	30 5W8E20 ○		○	*5
53	燃料油最低 油圧保持弁	ドラム水準	○				
		減圧弁ドレン切				○	*5
54	No.2缶予熱器 ローカル操作盤	ボクスイ空気及び漏水けがい 供給空気圧力計示度 (設定圧)				○	*5
		調整器				○	*5
55	燃料油最低 油圧保持弁	" 減圧弁ドレン切				○	*5
		供給空気圧力計示度 (設定圧)				○	*5
56	No.2缶予熱器 ローカル操作盤	" 減圧弁ドレン切				○	*5
		減圧弁ドレン切				○	*5
57	No.2缶予熱器 ローカル操作盤	電源表示ランプ点灯				○	
		電動機之運転表示灯(点灯)				○	*6

No.2缶バースバーナまわり

検査 番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
54	57A外部 緩熱器	蒸気減圧 調整器				○	}
			指針計測			○	
			供給空気圧力計示度			○*	
		同上	減圧弁ドレ切			○	
		ボジショナー	供給空気圧力計示度			○*	
		減圧弁ドレ切			○*	*5	
55	607H 外部緩熱器	温度調整器 (1個)				○	}
			指針指度			○	
		同上	供給空気圧力計			○	
		ボジショナー (3個)	供給空気圧力計			○*	
		減圧弁ドレ切			○		
		温度計			○		
		温度計測			○		
56	No.2五重蒸気管 及びS.T.C.弁	緩熱給水弁全開しているか			○		リミットスイッチ
		給水入口弁は全開しているか			○		"
57	No.1缶 "	高圧蒸気管系及び ドレン管系のリーフ				○*	
		"				○*	

No.2 缶バースバーナまわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考	
58 操舵機	No.1.2.3.4 ラムシラダグランド部 リ-フ				○ ²²		
	No.3 4.0.9-7	外面よりの漏油箇所 油量は油面計2/3以上 温度計測(80°C以下)		○	○ ²³		
	No.1 4.0.7-7	外面よりの漏油箇所 油量は油面計2/3以上 温度計測(80°C以下)		○	○ ²³		
	No.2 4.0.9-7	外面よりの漏油箇所 油量は油面計2/3以上 温度計測(80°C以下)		○	○ ²³		
	運転機	サホ油圧力計指針				○	
		モータ及び軸受部の 発熱状況			○		温度スイッチ
		使用中のモータは 何号機か				○ ²⁴	
		使用中のモータの 消えている。			○		
		休止中のモータの 点灯している。			○		
	59 海水ポンプ ハイドロアユニット	クランク内圧力			○		
ハイドロア水面計に水位がみえる ポンプ外部の漏水及びモータ発熱				○ 発熱	○ 漏水		

№02 缶バースまわりおよび缶裏(噴燃ポンプまわり)

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
60 飲料水ポンプ ハイドラユニット	ポンク内圧力 ハイドロポンク水面計に水位がわかる ポンプグラブ部の漏水及びモーター発熱 ポンプまわりに漏水による溜りはないか			○ 発熱○ 漏水○ ○		
61 非常用 消防ポンプ	起動用空気槽圧力 燃料タンク油量充満があるか 吐出圧力 調整弁 調整器 向上用 ポンプ切			○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		
62 噴燃ポンプ	FO流量計正常に動いているか 吸入圧力 吐出圧力 吐出側スレーナ出入口差圧 予備噴燃ポンプはゆるくなり 回っていないか		30 ○	○ ○ ○ ○		
63 船尾塔滑油 重カタンク(付部)用 和尾管船尾シール用 上り重カタンク	モーター及び軸受異常発熱の有無 液面計液位			○		
64	液面計液位			○		

出裏 (噴燃ポンプまわり) および 主給水ポンプまわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
65 燃料油温度調整弁	調整器				○	
	指針示度				○	
	供給空気圧力計示度				○	
	供給空気圧力計示度				○	
66 主給水ポンプ機側制御盤	減圧弁レバー				○	
	燃料油加熱器寸り漏油してないか				○	
	運転機と休止機のCHANGE OVER SWITCHは適正位置にあるか			○		リミットスイッチ
	トリップ・リセットがなされているか			○		
67 主給水ポンプ(運転中)	休止ポンプのプライミングムムポンプの過電流リレーとムムでないか			○		
	再循環弁の用内表示ランプ(用)		SWF ○		○	
	電源表示ランプ点灯している(点灯)					
	主蒸気圧力			○		
圧力計器盤	排気圧力			○		
	ポンプ吐出圧力	○	SWF ○			
	吸入圧力	○	SWF ○			
	潤滑油圧力・油量					
潤滑油冷却器ムム出口温度		SWF ○		○		

主給水ポンプまわり

検査番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
68	主給水ポンプ (休止中)	トリップ装置はリセットされているか 排気弁は開いているか 蒸気弁がラック漏洩蒸気弁用 (オートリリットラック・Aの)			○		リリットスイッチ "
69	No.1空弁熱器 ローカル制御盤	電源表示ランプ点灯 電圧・電流表示ランプ(点灯)			○	○	
70	ケロシンタンク	C.O.S (NOR) 付辺漏油していないか			○	○	リリットスイッチ
71	ABCリレーラック 及びバスター・コン タクトパネル	空気漏洩箇所はないか			○	○	
72	バーナ用空気減圧 弁(リリット・セット 及びバスター用空気 減圧弁)	出口圧力計示度 付辺空気管系のリリットはないか ドレン切り施行(微量ボタ)要注意			○	○	
73	デセル発電機 自動始動盤 (No.1, No.2)	電源表示ランプは何かも点灯しているか 切換スイッチは自動復帰になっているか トリップ原因表示は点灯しているか			○	○	

造水装置まわり

検号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
78	起動用空気槽	空気槽圧力			○		
79	サンプルフロー	タンクドレン切り施行				○	
		付辺管系漏水ないか				○	
	検査計	蒸留水塩分濃度			○		
		加熱器ドレン出口塩分濃度			○		
	ブラインポンプ	吐出圧力計示度			○		
		モーター軸受発熱状況			○		
		ケーシンググランドまわり漏水				○	
		ブライン液面計水位			○		
80	造水装置 (運転中)	造水流量計指針作動状況				○	
	蒸留水ポンプ	モーター軸受発熱状況			○		
		ケーシンググランドまわり漏水ないか				○	
	圧力計	モーター蒸気圧力計示度			○		
	計器盤	加熱蒸気圧力計			○		
		蒸発器内への給水入口温度			○		
		ドレン水位調整弁の液面			○		
		緩熱用補給水弁(南)			○		
		コミング内に水、蒸気が漏洩			○		

発電機タービンまわり

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考		
82	発電機タービン	カバナー設置		B.0 ○					
		圧力計器盤	カバナー油圧		B.0 ○				
			排気圧力	○					
			主蒸気入口圧	○	B.R.G				
		タービン入口	軸受L.O油圧	○	B.R.G				
			潤滑油湿度	○	B.R.G				
		カバナー機構に異常振動音は否いか					*4 ○		
		回転計計測			B.0 ○				
		潤滑油ドレンタンク油量 (カンダタンク)			B.R.G ○				
		ロトルリング	吐出圧力計示度		B.R.G ○				
		スルター	付直L.O漏減かいか				*3 ○		
		グランド蒸気圧力調整器	指針(乗)示度 (設定圧)					*5 ○	グランド蒸気圧力異常時にチェック
			供給蒸気圧力計示度					*5 ○	同上
		同上補給弁用ボイラター	減圧弁D1切					*7 ○	
供給蒸気圧力計示度						*5 ○	グランド蒸気圧力異常時にチェック		
		減圧弁D1切				*1 ○			

発電機タービンまわり

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考	
82	発電機タービン (縦)	同上 スピル弁用 ポジションナ-	供給空気圧力計示度			*5 ○	ランド蒸気圧力異常時にチェック	
			" 減圧弁閉切			*1 ○		
		発電機	異常発熱部有無か		○			温度スイッチ
			自己励磁器発熱状況		○			温度スイッチ
			軸受カイトガス通油量		○			
			エアークラ海水漏水				*3 ○	
83	デアレータ メーフス、フ弁	ポジションナ-	供給空気圧力計示度			*5 ○	デアレータ水位異常時にチェック	
			" 減圧弁閉切			*1 ○		
		ポジションナ-	空管系リーフでいはいか				*2 ○	
			供給空気圧力計示度				*5 ○	デアレータ水位異常時にチェック
			" 減圧弁閉切				*1 ○	
			空管系リーフでいはいか				*2 ○	
84	デアレータ スピル弁	ポジションナ-						

主機中段

点検 番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備 考
85	主機機側 計器盤	タービン入口蒸気圧 一段蒸気圧 軸受圧力 潤滑油ポンプ出口圧力	○ ○ ○ ○	 B.R.T ○ B.R.T ○			
86	主機閥直 圧力発信器 1) 主蒸気入口 2) 一段蒸気 3) パンキン蒸気 4) 排連蒸気	供給蒸気圧力計示度 減圧弁ドレン切 供給蒸気ヘッドのリフはかい	○			※1 ○ ※2 ○	圧力スイッチ
87	3.4 ⁵ 補給弁	調整器 供給蒸気圧力計示度 減圧弁ドレン切 供給蒸気圧力計示度 供給蒸気圧力計示度 減圧弁ドレン切				※5 ○ ※5 ○ ※1 ○ ※5 ○ ※1 ○	3.4 ⁵ ライン蒸気圧異常時にチェック 同上 3.4 ⁵ ライン蒸気圧異常時にチェック
88	主機 HPタービン	各バルブタイトグラス1=十分L.O 加溢流しては3か L.O, 蒸気漏洩しては3か 接続リング機構に異常振動は3か			○	※5 ○ ※4 ○	

主機中段

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
92 主抽水器 エゼクター	クラー上部加圧空気抜施行 蒸気圧力計 一段冷却器真空計			○		電磁弁 圧力スイッチ 圧力スイッチ
93 主復水器 再循環弁 調整器	指針(赤)示度 (設定温度) 供給空気圧力計示度 弁指示圧力計示度 供給空気減圧弁閉切			○	*5 ○ *5 ○ *5 ○ *1 ○	復水温度異常時にチェック 同上 同上
94 "グランド" 復水器	圧力計指度		T.S ○			
95 第一段 給水加熱器	給水出口温度 給水出口温度 ドレン水位 ドレン調整弁 調整器 "減圧弁閉切" 器内圧力			○		レベルスイッチ レベル異常時にチェック

主機中段

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
96	大気圧復水器	排気入口部冷ハハ (蒸気減れ圧し)			○	○ ^{*3}	温度スイッチ
97	ファン排気	付近漏水してハハハ ファン部			○	○	温度スイッチ
98	排気ダンピング弁	モータ軸受部発熱(210℃) 主復水器ダンピング弁 補助復水器ダンピング弁			○	○	リミットスイッチ リミットスイッチ
99	0.5 ^K 排圧調整弁	指針(赤)指度 (設定圧) 供給空気圧力計示度 " 減圧弁閉切 供給空気圧力計示度 " 減圧弁閉切				○ ^{*5} ○ ^{*1} ○ ^{*5} ○ ^{*1}	0.5 ^K 排圧異常時にチェック 同上 0.5 ^K 排圧異常時にチェック
100	3.6 ^K 排圧調整弁	指針(赤)示度 (設定圧) 供給空気圧力計示度 " 減圧弁閉切 供給空気圧力計示度 " 減圧弁閉切				○ ^{*5} ○ ^{*5} ○ ^{*1} ○ ^{*5} ○ ^{*1}	3.6 ^K 排圧異常時にチェック 同上 3.6 ^K 排圧異常時にチェック

空気圧縮機まわり

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
101 制御用 空気圧縮機	クランク室L.O油量は充分か モータ部の異常発熱は有いか			○		温度スツク
	制御用空気槽ドレン切 コントロールパネルの フィルタ-ドレン切 31779-7-74の ドレンフラップを動開				*1 ○ *1 ○ *1 ○	
102 制御用空圧機 冷却清水タンク	液面計水位は充分あるか			○		レベルスツク
103 制御用空圧機 冷却清水ポンプ	タンクまわりに漏水は有いか ポンプグランド部リーク				*3 ○ *3 ○	
104 制御用空圧機 冷却清水冷却器	モータ軸受発熱状況 付近漏水は有いか			○		温度スツク
105 制御用圧縮空気 脱埋装置	ドレン切(2ヶ所)施行 クランク室L.O油量は充分あるか				*1 ○	
106 制御用空気 圧縮機	運転表示ランプ点灯 モータ部軸受発熱状況 制御用空気溜ドレン切 クランク室潤滑油油量 イン注油器油量			○ ○ ○ ○ ○		運転中であることをチェックする 温度スツク

主床 (主循環水ポンプまわり)

点検 番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備 考
107	主循環水 ポンプ	軸受, グランド部の発熱状況 グランドケーブル付近漏水 吸入圧力			○	*3 ○	温度スイッチ
108	非常用 中間弁	弁開度 (閉) 切換ハンドル電動作動の 冷却水管, 防振等による 補助復水器の海水出口弁閉			○	*4 ○	リミットスイッチ
109	補助循環水 ポンプ	グランド部漏水			○	*3 ○	リミットスイッチ
110	サマリポンプ (運転中)	吐出圧力計示度 グランド部および配管系漏水 エレベータ, 軸受, グランド部の 発熱状況			○	*3 ○	圧力スイッチ
	サマリポンプ (休止中)	吸水吐出弁全開時の グランド部漏水			○	*3 ○	リミットスイッチ

主床 (検油タンクまわり)

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
111	消防兼 雑用ポンプ	吐水弁 (全開) 吸入弁 (全開)			○		リミットスイッチ
112	ビルバスタ ポンプ	海水ポンプバックアップ用弁 (全開) 海水カービスタポンプの代替として使用 可能の場合の切換バルブ位置確認			○		リミットスイッチ
113	海水サージ ポンプ	吐水圧力示度 吸入圧力示度			○		圧力スイッチ
114	大気圧 ドレンタンク	軸受, グランジ部発熱状況 グランジその他管系漏水してはいいか 蒸気の吹き出し音を聴いてはいる ものははいいか			○	*3	圧力スイッチ 温度スイッチ
115	検油タンク	サイトガラスからみて、油分浮遊 してはいいか			○		
116	大気圧ドレンタンク 水位調整弁	ポットリフター 供給空気圧力計示度 減圧弁はいいか 付近管系リークしてはいいか				*5 *1 *3	レベル異常時にチェック

主床(模油アーク、大気圧ドレンクヨワリ、2重底)

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
117	主潤滑油 冷却器 温度調整弁	指針(赤)温度 (設定温度) 調整器 供給空気圧力計示度 " 減圧弁付切 ポイント 供給空気圧力計示度 " 減圧弁付切				*5 ○ *5 ○ *1 ○ *5 ○ *1 ○	温度異常時にチェック 同上 温度異常時にチェック
118	スモールドレインポンプ (運転中)	ポンプグランド部リーク有いか モータ軸受部発熱 吸入圧力			○	*3 ○	温度チェック 圧力チェック 圧力チェック
119	ラベドレインポンプ (休止中)	自動起動用ST-BY機の 吐き吸入弁(全開)			○	*3 ○	リミットチェック
120	大気圧 ドレンタンク	水漏れ管より漏水有いか 温度計示度 水面計水位 水位調整弁 調整器		B.S ○	○	*5 ○ *1 ○	抵抗線温度計

主床 (2重底, 大気圧タンクマカリ)

点検 番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備 考
121	主復水ポンプ (運転中)	吐出圧力計示度 モータ軸受部発熱状況 グランド部より漏水の有無 吸入圧力	○	T.S ○	○	*3 ○	温度スリット 圧力スリット
122	主復水ポンプ (休止中)	吸入吐出弁、バラス弁全開 グランド部より漏水の有無 液面計水位	○	T.S ○	○	*3 ○	
123	主復水器 水面計	液面計水位	○	T.S ○	○		
124	主潤滑油 冷却器	管付カトガラスより僅 少量連続的にL.O.流出の有無 冷却器手前L.O.漏洩				*3 ○	
125	2重底 燃料油タンク 液位発信器	供給空気圧力計示度 " 減圧弁ドレン切			○	*1 ○	圧力スリット

主床 (油清浄機まわり)

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
126 主機潤滑油 油圧調整弁	調整器 指針(赤)示度 (設定圧) 供給空気圧力計示度 " 減圧弁ドレ切				*5 ○ *5 ○ *1 ○	油圧異常時にチェック 同上
127 油清浄機 (運転中)	ボルトナット 付近弁および管系のリークは在りか ポンプ、ギアボックスの発熱状況 ホーバフロウグラスから油が 溢れ出していないか ホーバフロウしてはいないか 液位は適正か			○	*3 ○	温度スイッチ
128 L.O.スエーデンタンク L.O.汚油タンク	調整器 蒸気、潤滑油入口、出口部に 漏れは在りか 指針(赤)示度 (設定温度)			○	*3 ○ *5 ○ *5 ○ *1 ○	レベルスイッチ 温度異常時にチェック 同上
129 潤滑油 加熱器	調整器 供給空気圧力計示度 " 減圧弁ドレ切				*5 ○ *1 ○	
130 主潤滑油 コレクター	差圧 発信器 " 減圧弁ドレ切 コレクター 差圧			○	*5 ○ *1 ○	圧力スイッチ

主床(軸室, 中間軸受まわり)

点検番号	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
131	主潤滑油ポンプ(運転中)	吐出圧力計示度		<input type="radio"/>			
		軸グランド部・タンク通過部より漏油しているか				<input type="radio"/>	*5
	主潤滑油ポンプ(停止中)	グランド部発熱および振動			<input type="radio"/>		温度スイッチ
	主軸回転計発信器	吐出弁全開しているか 各部締付部に締め忘れ 振動はないか			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	ロー付弁と予3 *4
132	主潤滑油ポンプ・タンク	表面計発信器			<input type="radio"/>		圧力スイッチ
		割深	供給空圧力計示度 " 減圧弁切			<input type="radio"/>	*1
134	中間軸受	潤滑油出口温度			<input type="radio"/>		軸受焼損予防プログラムで監視可3
		オイルカセット・ガラスに十分溢流しているか			<input type="radio"/>		
		振動しているか			<input type="radio"/>		振動計
		軸受温度		<input type="radio"/>			軸受焼損予防プログラムで監視可3
135	船尾管潤滑油ポンプ	吐出圧力計示度		<input type="radio"/>			T.SではコンタクターでモータONと監視して可3
		モータ軸受部の発熱			<input type="radio"/>		温度スイッチ

主床(軸室, 中間軸受まわり)

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
136 船尾管前部 シールポンプ	出口圧力計示度 ポンプ本体の発熱		T.S ○			T.SではコンプレッサーモーターONを4エックル2113から吐出圧も4エックルする 温度スイッチ
137 船尾管シール	後部シール圧力 シール下部LO重カタンフ油面 前部LO重カタンフ油面 シールLOシール出口温度 シール圧力					圧力スイッチ (満載と脚荷の2点) レベルスイッチ レベルスイッチ 温度スイッチ 圧力スイッチ 圧力スイッチ
138 船尾管軸受	潤滑油出口圧力 潤滑油出口温度 液位検出用リレー箱の表示灯点灯(緑色点灯)					
139 油水分離器	ガリース・カッブ'および油槽内の油量充否か				○	
140 ビルジポンプ	自動ビルジラインの弁全開 軸受部の発熱状況				○	ロック付弁と可 温度スイッチ

その他

	点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
141	グリースエアクラッカー	フィルター取替			○	○	1航海1回の取替と油圧の増進とし 停泊中陸上整備員が行なう
142	検査針セル	電極炭検再除			○	○	差圧検出器 (汚水臭合と予処 check (2枚)) 停泊時 陸上整備員が行なう
143	パンチリ-	炭検整備			○	○	現在のパンチリ-を使用した限り保持が必須IDにて プログラムに列監視する
144	リフト	"				○	停泊時 陸上整備員が行なう
145	造水器	化学洗滌				○	造水器の容量を大きくして 洗滌のサイクルを延ばし 入渠中に行なう
146	海水ろ過スト	再除				○	停泊時 陸上整備員が行なう

4.2.2. 経年変化を考慮して行なう保守整備のための診断

日週単位の保守点検基準は、定期的日常整備作業と、偶発事故を未然に防止するための日常監視作業を主体とするが、一方、月単位、年単位あるいはバック単位の保守診断は、汚れ、損耗等による効率低下など経年変化の検知に重点を置くものとする。

即ち、プラント各機器類は、状態として安定な作動をしても汚れ、損耗あるいは性能低下による経年変化のため、燃料消費率の増大や主機出力の低下に起因して、操船上の不具合や経済的損失が生いてくる。

これらに対して、電算機により後述の“ヒートバランスに基づく経年変化診断システム”を働かせて、プラント各部の経年変化を検知し、いずれの機器が、性能低下を来しているかを判断し、その度合いを表示することにより保守整備作業の指針とするものである。

経年変化検知対象項目として、次の5項目に大別するものとする。

- (1) 主ボイラ本体並びに付属機器
- (2) 主タービン並びに減速装置
- (3) 主復水器
- (4) 発電機タービン
- (5) 給水系統補機器

但し、経年変化検知については、プラント各部のデータを読み込む時、検出計器類の精度が最も問題となるので、十分注意しなければならない。ここでは、一応正しいデータが、得られるものとして検知システムを考える。

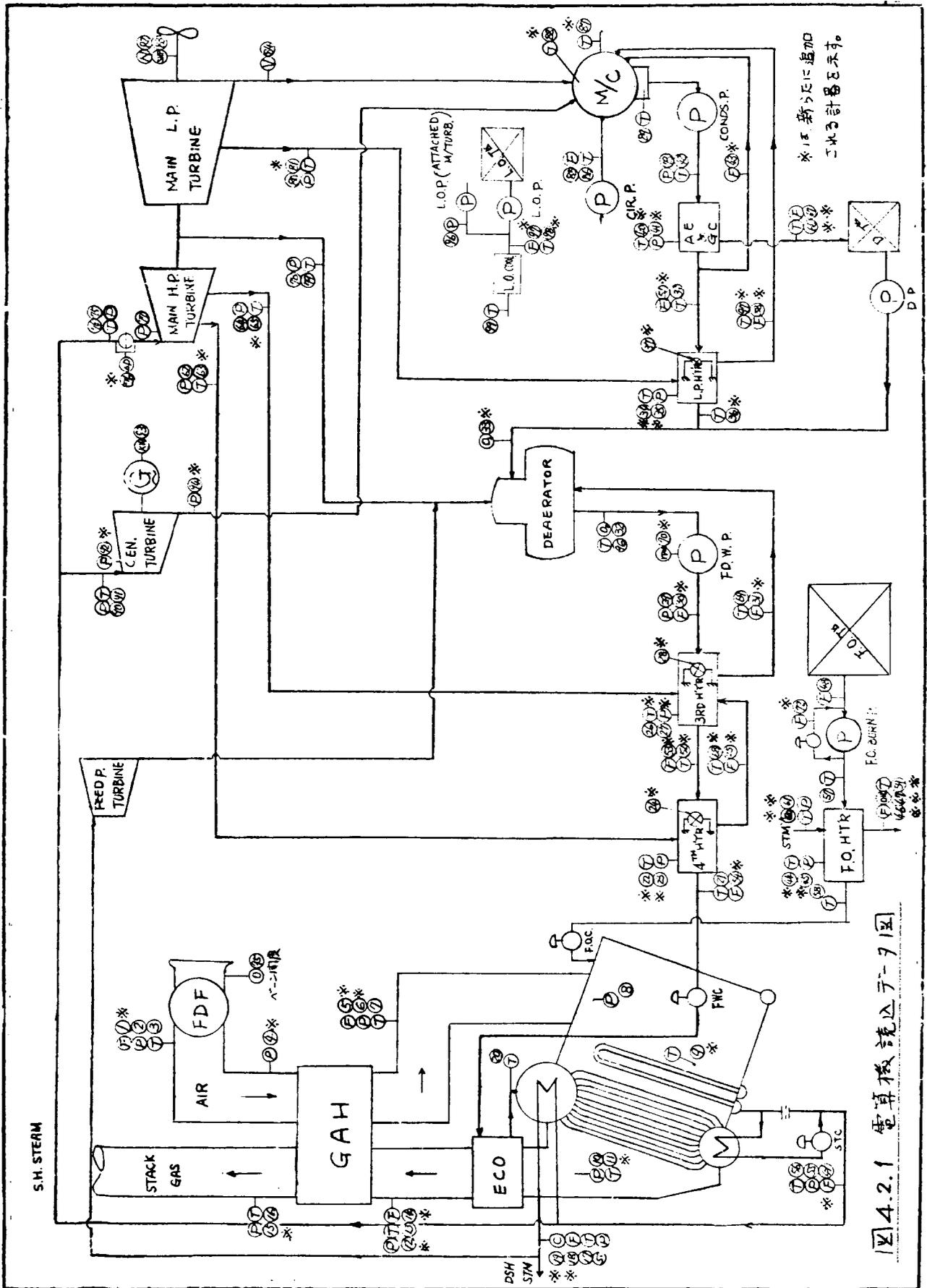


図4.2.1 電算機読込タービン図

(1) 経年変化を対象とした保守実検

主マ-7-2の並心に付属機器

実検箇所	実検内容	A	B	C	D	備 考
主マ-7-2の本体及び心	主機高圧タービン	ロ-9の曲り 車室の異常変形 ロ-9-と車室との相対伸縮差 羽根、シラバ外、ロ-9のIP部分、脱落 軸受焼損 蒸気ストレーナ、BC、D-センター、B部分の汚水 H ₂ Oの付	○ VB ○ VB ○ VB ○ BRT	○ ○		圧力: ②③ ④⑤ ⑥⑦ ⑧⑨ ⑩⑪ 温度: ⑫⑬ ⑭⑮ ⑯⑰ ⑱⑲ 主機排気: ⑳㉑ 主機回転数: ㉒
	主機低圧タービン	ロ-9の曲り 車室の異常変形 ロ-9-と車室との相対伸縮差 羽根、シラバ外、ロ-9のIP部分、脱落 軸受焼損 D-センターの汚水 H ₂ Oの付	○ VB ○ VB ○ VB ○ BRT	○ ○		抽気圧力の変化、BC、蒸気消費量等の検知 (高圧タービンの汚水と同心)
主復水器	主復水器	伝熱面の汚水 真空度の異常 冷却管の破れ 復水器木室加圧腐蝕	○ B0 ○	○ ○ ○		温度: ⑳㉑ ㉒ ㉓ ㉔ 流量: ㉕

主クレーン並心付属装置

検査箇所	検査内容	A	B	C	D	備考
減速歯車	歯車歯面点検 各軸にしき、及びスプリングの点検 減速歯車各部のスラストの点検 歯車の軸方向位置表位 軸受損傷	○			○	
主板付油青油ポンプ	ポンプの損傷 ドライブシートの摩耗 クランプの損傷			○	○	回転数と吐出圧とを検知する。
クレーンギヤ	歯面の点検 オイルの点検				○	
クレーンギヤ	歯面の点検 オイルの点検				○	
クレーンギヤ	軸受パールの点検				○	
遠隔採送装置	操縦台機構の点検 操縦台機構の点検 制衝機構不調 保安装置誤作動			○	○	操縦台機構の点検と、制衝機構の点検とを必要とす。

主ボイラ並びにその関連機器

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
強圧送風機	羽根車の損傷			○		吐出圧 吐出流量により検出する。 ① 流量 ② 圧力 ③ 温度 ④
	羽根車及び送風路の芯此			○		ドラフトの変化及び流量により検出する。 ① 流量 ② ドラフト ③
	軸受×タワ損傷(ターボポン)				○	
空気で熱器	漏			○		出入口の流量差 ① 流量 ②
	汚水			○		伝熱量の変化により検出する。 ① 流量 ② 温度 ③ 圧力 ④ (SAHの場合) ⑤
	汚水			○		ドラフト及び流量により検出する。 ① 流量 ② 差圧 ③
炉内	灰の堆積 スラッグの付着				○	
	水冷壁管の亀裂又は北候				○	
	水冷壁管の膨らみ又は北候				○	
	水冷壁管の過熱又は北候				○	
	スラッグの付着			○		（蒸気側の汚水と関連がある） STCの南度、蒸気流量、ガス温度により検出する。① 流量 ②
過熱器	過熱器管の亀裂又は北候				○	
	過熱器管の膨らみ又は北候				○	
	過熱器管の過熱又は北候				○	

ボイラ空気並びにガス側

主ボイラ並びにその関連機器

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
蒸発管	スラッグの付着				○	加温度 ドラフトの变化又はボイラ効率の低下による
	蒸発管の亀裂	又はその兆候			○	
	蒸発管の膨出	又はその兆候			○	
	蒸発管の過熱	又はその兆候			○	
節炭器	スラッグの付着			○		排ガス温度、ドラフト、熱交換量により検出する。 流量④ 差圧⑤⑥ 温度⑦⑧
	節炭器管の亀裂	又はその兆候			○	
	節炭器管の膨出	又はその兆候			○	
	節炭器管の過熱	又はその兆候			○	
空予熱器 (GAHの場合のみ)	節炭器管の腐蝕				○	
	スラッグの付着			○		排ガス温度及び空気温度の变化と入口差圧流量により検出する。 流量④ 差圧⑤⑥ 温度⑦⑧
煙路	エレメントの腐蝕				○	
	スラッグの付着				○	
	腐蝕				○	

ボイラ空気並びにガス側

主ボイラ並びに其関連機器

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考	
ボイラ 水側	蒸気ドラム				○		
	水冷管壁	ピッチング				○	
		スケールの付着				○	
		異物の在否				○	
	ヘッド	異物の在否				○	
		焼損の有無				○	
	過熱器	スケールの付着			○		(排ガス側の汽水検査と相互関係がある) 流量④ STC及び蒸気流量の変化により検査する。
		異物の在否				○	
	蒸発管	スケールの付着				○	ボイラ効率の計算 排ガス温度により推定
		異物の在否				○	
節炭器	スケールの付着			○		伝熱量の計算により検査する。 流量④⑧ 温度①③④⑦	
	異物の在否				○		
緩熱器	スケールの付着			○		④ ⑤ ⑥ ⑦ 緩熱蒸気温度 圧力 流量により検査する。	
	腐蝕				○		
	異物の在否				○		
	接合部の漏水			○		緩熱蒸気中のドレン 検査及びケールの検査。 ケール④⑧	

給水系統

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
復水ポンプ	羽根車の損傷			○		吐出量 吐出圧力により検出する。 ⑤ 流量 圧力
	シールの摩耗				○	
	ケーシングの損傷				○	
空気エゼクター	スケールの付着			○		伝熱量の変化により検出する。 ④⑤ 流量 温度 圧力
ブラントコンデンサー	スケールの付着			○		伝熱量の変化により検出する。 ④⑤ 流量 温度 圧力
低圧給水加熱器	スケールの付着			○		伝熱量の変化により検出する。 ④⑤ 流量 温度 圧力
	ドレンレベル作動			○		ドレンレベルにより検出する。 ⑤ 水位
脱気器	スプレーノズルの摩耗			○		脱気器出入口給水溶存酸素量検出による。O ₂ ④⑤⑥ ⑤⑦ 流量 圧力 回転数
給水ポンプ	インペラ損傷			○		吐出圧力一定のとき吐出量回転数の変化により検出する。 ⑤⑦ 流量 圧力 回転数
	軸シール				○	
	タービンリフト装置の作動				○	
	潤滑油劣化				○	

給水系統

給水系統

点検箇所	点検内容	A	B	C	D	備考
給水ポンプ (続き)	セリバルブ作動			○	○	
給水系統	諸弁締切			○	○	
	スワッチの付着			○	○	伝熱量の変化により検出する。 ④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟
	ドレンレギュレタ作動			○	○	ドレンレベルの変化により検出する。 水位 ④⑤
	安全弁の作動				○	
	漏洩			○		出入口の流量変化により検出 流量 ④⑤⑥

(2) ヒートバランスに基づく経年変化診断システム

本システムは、タービンプラントを構成する各機器の性能の経年変化を、就航後一定時間間隔で計測した燃料消費率と、海上試運転時の計測値とを比較により検知するもので、さらに詳細な検知を行うために、主要補機の効率計算および機器回りのヒートバランス計算による、経年変化を起した機器を検出し、さらに経年変化を起した機器を呼び、経年変化を起した箇所および経年変化の状態を検知するサブルーチンを実行して、その結果をディスプレイするものである。

本システムを実行する時は、下記条件を outcome だけ満足せしめること。

(a) 海上状態が"平穩"の時を選ぶ。

(b) 下記の諸元を海上試運転の常用出力航走時の値でできるだけ合わせる。

(i) 軸馬力

(ii) 主ボイラスーパヒータ出口圧力

(iii) 主ボイラスーパヒータ出口温度

上記状態で、一定時間燃料消費量をスキュエイングし、一時間当りの消費量を記憶しておくものとする。

プログラムが、スタートすると本システムを実行するのに必要なタービンプラント各部のデータを読み込んで燃料消費率の計算を行なう。この燃料消費率と海上試運転時との差が規定値以上かどうかと比較し、その差が規定値以下ならば、タービンプラントに経年変化はなかとみなし、規定値以上ならば経年変化したとみなし、先ず主ボイラ効率計算を実行する。

主ボイラ効率が、規定値以下の場合には主ボイラが経年変化してるとみなし、主ボイラ各負並びにガス側の汚れ診断プログラム、水側の汚れ診断プログラムおよび燃料系統診断プログラムを実行する。

次に、主タービンの蒸気消費率の計算を行い海上試運転時の消費率と比較してその差が規定値以上であれば、主タービンは経年変化したとみなし、主タービンの内部汚れ診断プログラムおよび主タービン付属機器異常診断プログラムを実行し、異常状態をディスプレイする。

次に、主復水器汚れ診断プログラムを実行し、積算流率の低下率が規定値以内かの比較を行う。さらに主復水器を呼び、経年変化を診断すると共に、真空度の低下又は上昇による主タービンのトルクリップ検知プログラムを実行し、

タービンプラントの最適自動制御の為のデータを取得せよとする。

発電機タービンについては、蒸気消費率を求め海上試運転時との差が、規定値以内かどうかを比較し、さらに蒸気入口圧力、オージェ落圧力および主復水器真空等、タービン回りのスキヤミングによって得た値から、タービン内部の汚れ、蒸気ストレーナのつまりおよびガバナの作動不良等を診断する。

給水系統の熱交換器については、各熱交換器の熱交換量を計算し、海上試運転時の熱交換量と比較して汚れを検知するプログラムである。

給水ポンプタービン内部汚染については、蒸気消費率を求め、海上試運転時の消費率との比較によって診断を行うものとする。

START

テ-9の測定

1. 主ボイラス-パ-ヒ-ク出口圧力
2. 主ボイラス-パ-ヒ-ク出口温度
3. 主置水器真空
4. 主ボイラ入口給水量
5. 主置水器出口復水量
6. 送水管送水量
7. テ-9出口復水量
8. 軸馬力
9. 主発電機出力(kW)
10. その他各主置機器回りのテ-9

図4.2.3 参照

燃料消費率の計算

燃料消費率は規定値以内か

YES

年月日
燃料消費率良好

NO

年月日
燃料消費率異常

図4.2.4 参照

主ボイラ効率の計算

主ボイラ効率は規定値以内か

YES

年月日
主ボイラ効率良好

NO

年月日
主ボイラ効率低下

1

図4.2.2 セネラルプロ-ト (1/5)

図4.2.5 参照

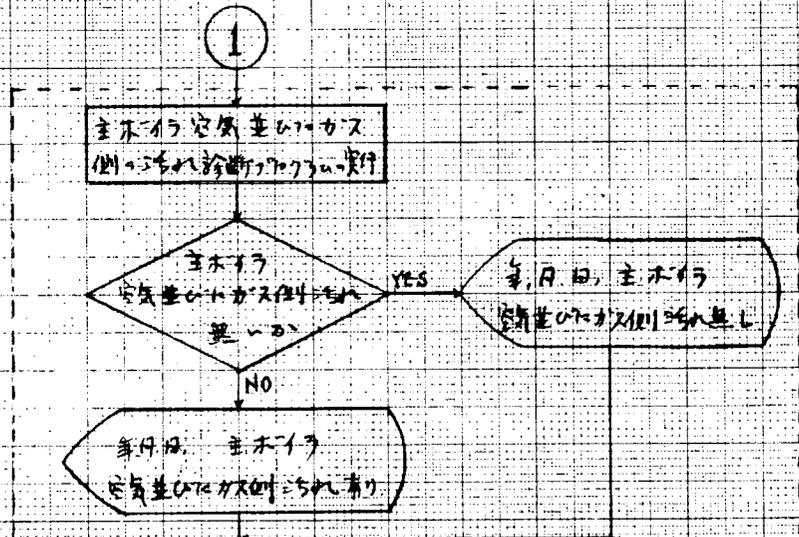


図4.2.6 参照

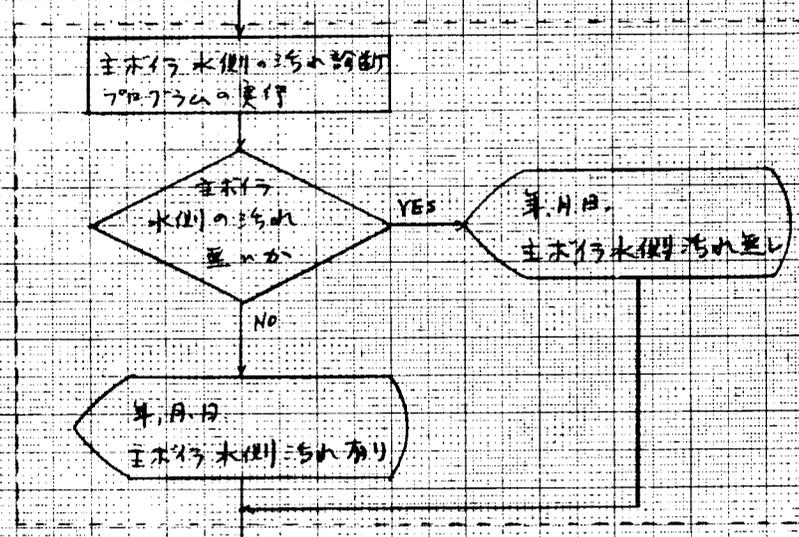


図4.2.7 参照

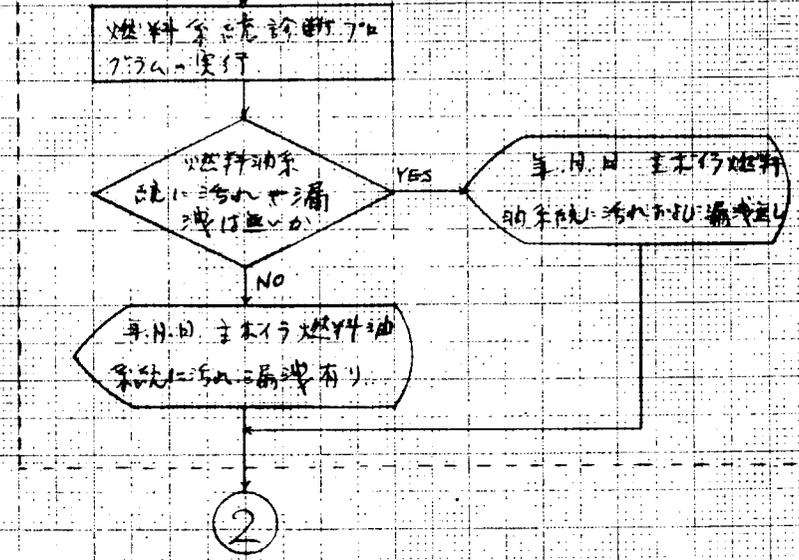


図 4.2.2 センサーレポート (2/5)

②

主9-e-2 是抽气装置
消费率·订正

主9-e-2
是抽气装置消费率
异常值以内否

YES

年月日
主抽气装置消费率正常

NO

年月日
主抽气装置消费率异常

图4.2.8 参照

主9-e-2 内部污浊
异常判断·订正·实施

主9-e-2
内部污浊规定值
以内否

YES

年月日
主9-e-2 内部污浊正常

NO

年月日
主9-e-2 内部污浊异常

图4.2.9 参照

主9-e-2 附属装置
异常判断·订正·实施

主9-e-2
附属装置·异常
值以内否

YES

年月日
主9-e-2 附属装置·异常值

NO

年月日
主9-e-2 附属装置·异常值

图4.2.10 参照

③

图4.2.2 主9-e-2 异常值判断流程图 (3/5)

图 4.2.11 参照

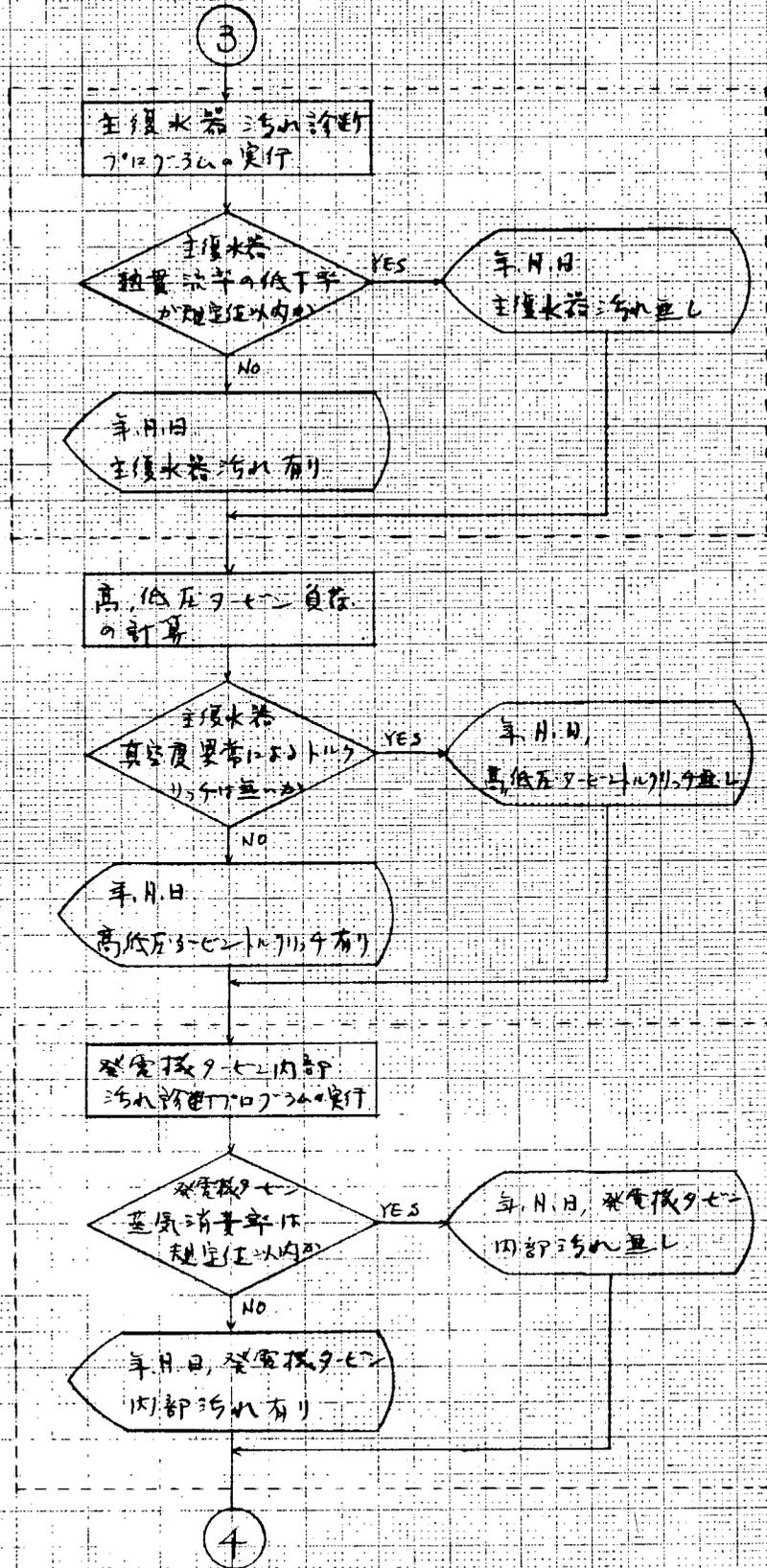


图 4.2.12 参照

图 4.2.2 セネラル・リポート (4/5)

④

給水系統有故障のときは
異常診断プログラム実行

給水系統の
各機器に故障が
異常なし

YES

年月日 給水系統の
各機器の故障を
記録し、データを
更新

図 4.2.13 参照

年月日 給水系統の
各機器に故障が
異常あり

給水系統の
9c2内部
給水診断プログラム実行

給水系統の
異常消費量が
規定値以内

年月日 給水系統の
9c2内部給水を
更新

図 4.2.14 参照

年月日 給水系統の
9c2内部給水を
更新

END

図 4.2.2 せりろ フロート (5/5)

(註) 電算機による処理は全て後の電算機による。

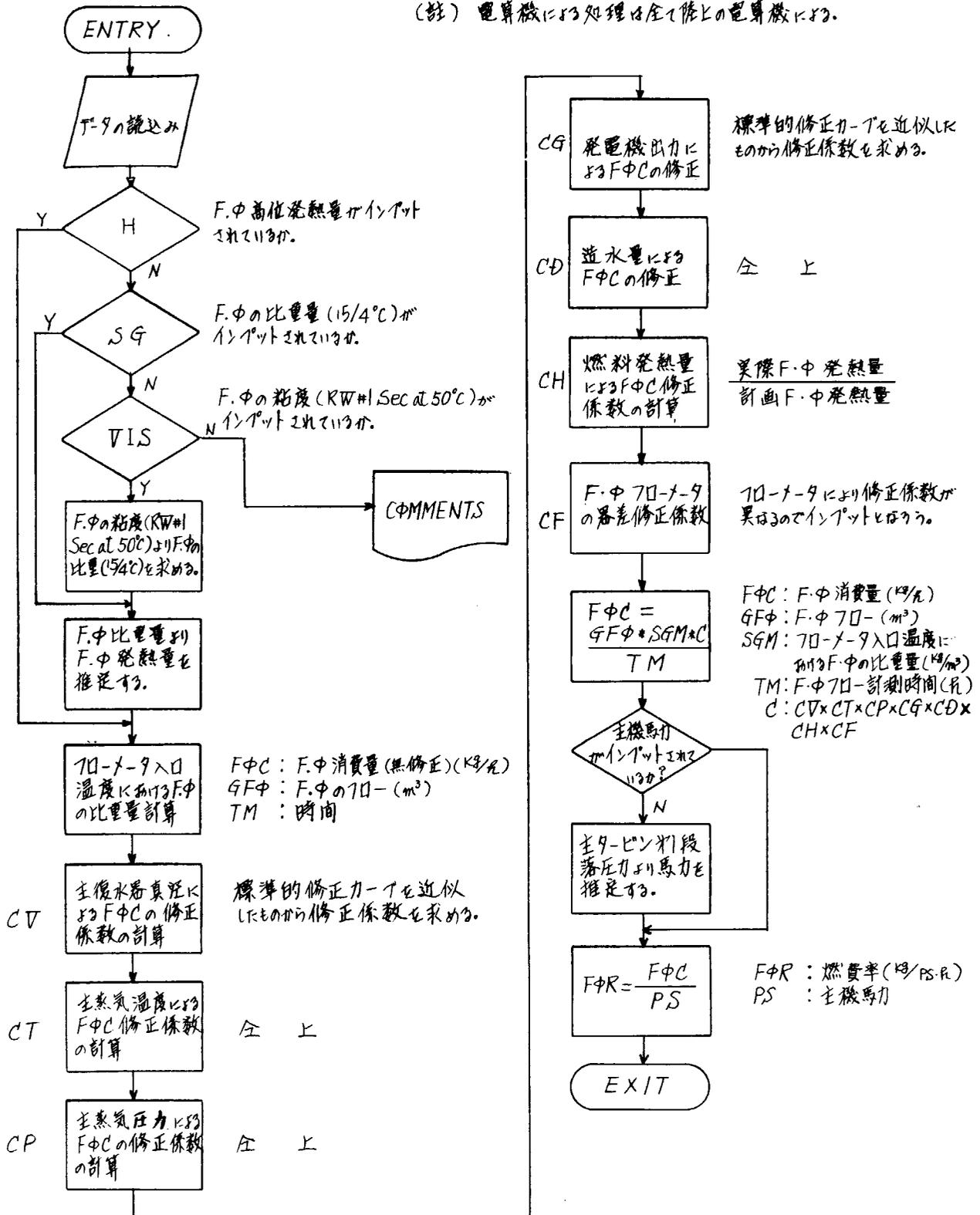


図 4.2-3 燃料消費率計算プログラム

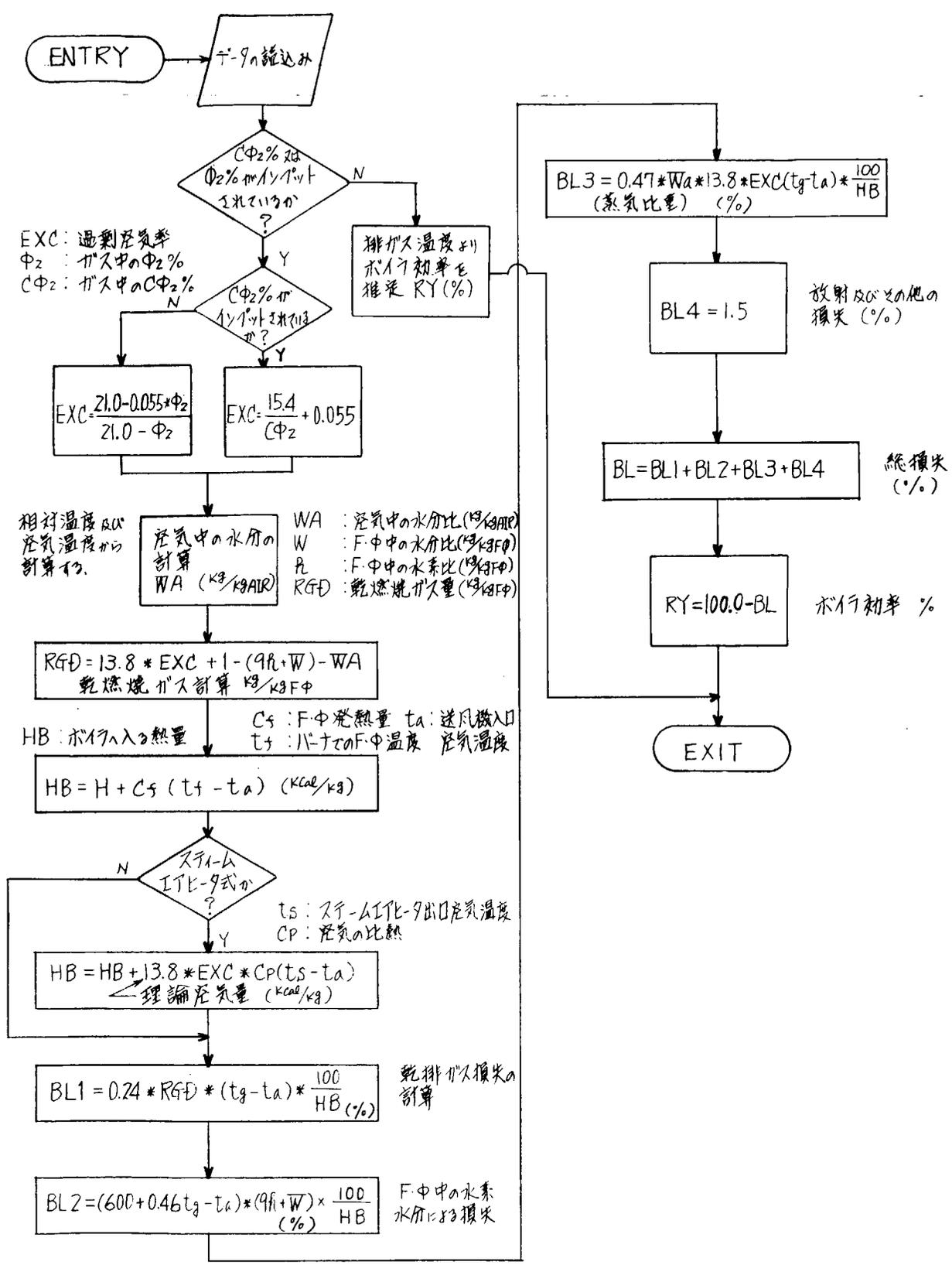


図 4.2-4 ボイラ効率計算プログラム

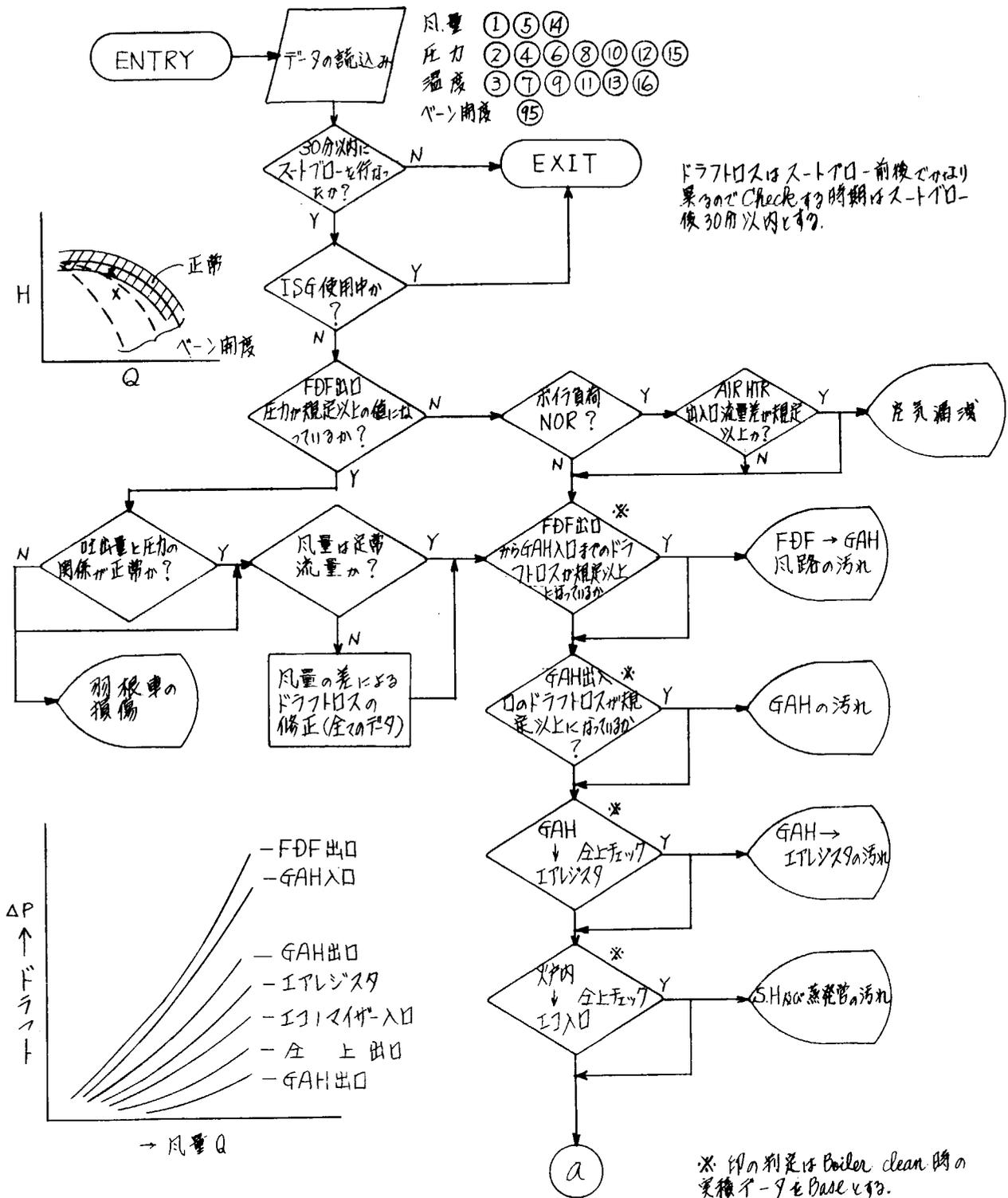


図 4.2-5 ボイラ炉気量に比べてガス側の汚れ診断プログラム(1/2)

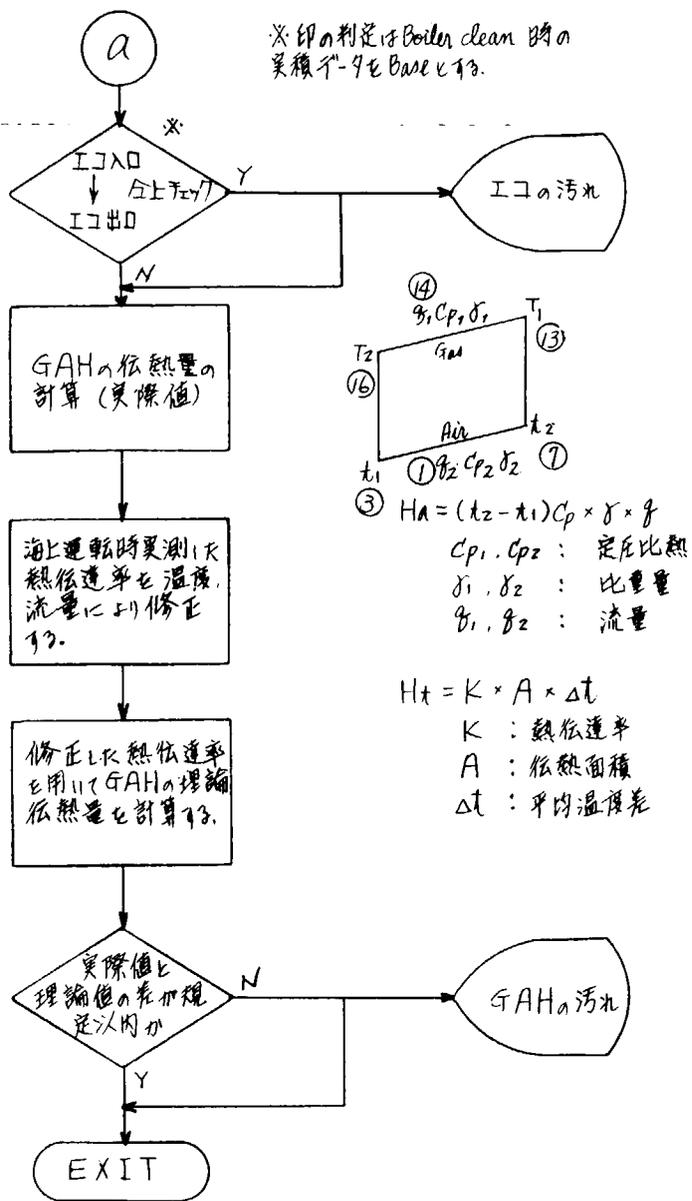


図4.2-5 ボイラ空気並流に於て実測の汚れ診断プログラム(3/2)

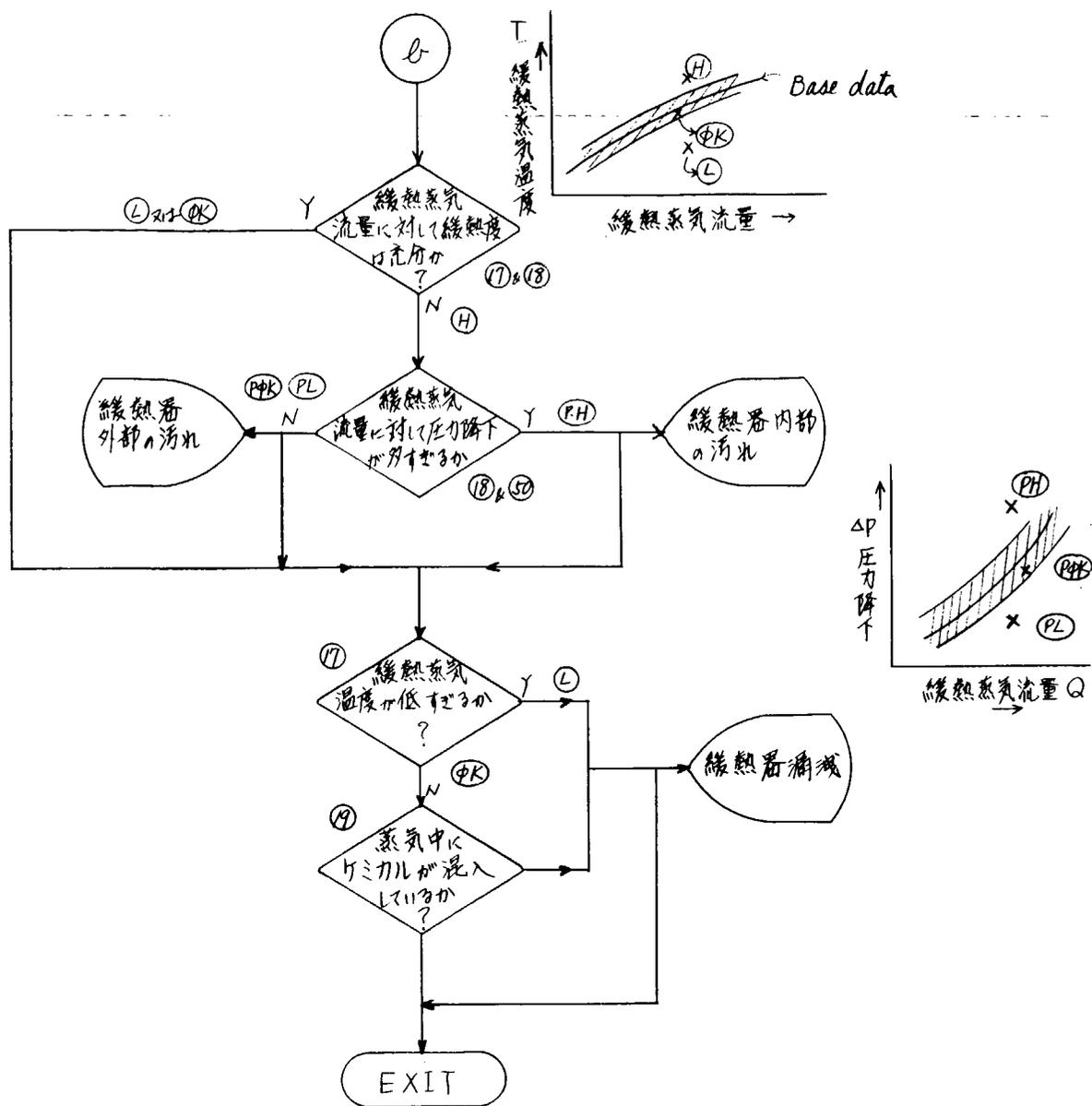
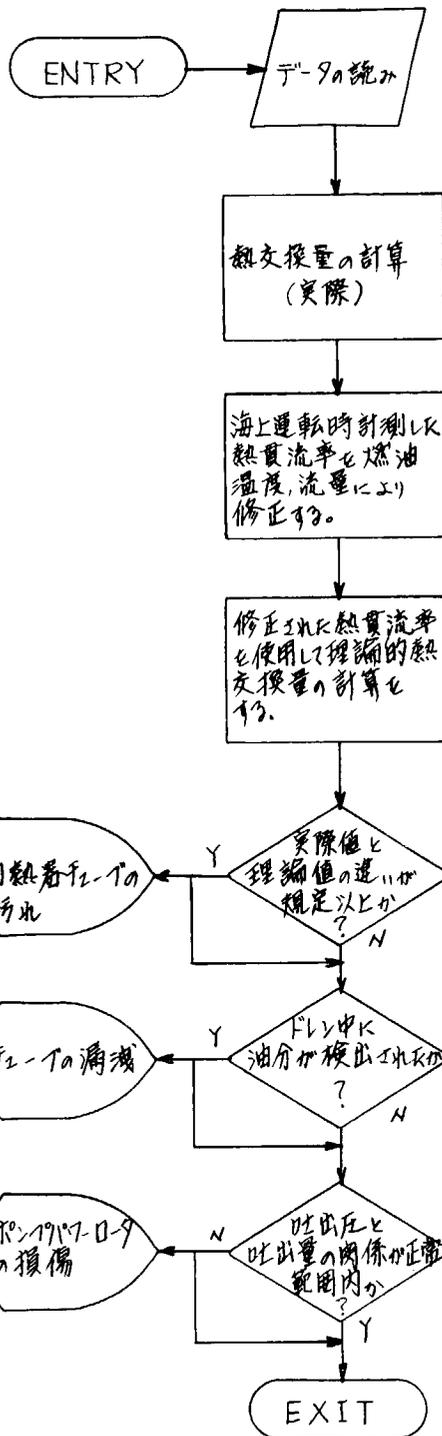
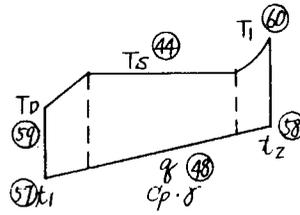


図4.2-6 ボイラ水側の汚れ診断プログラム(2/2)



温度 ④④ ⑤⑦ ⑤⑧ ⑤⑨ ⑥⑩
 圧力 ④⑤ ⑥①
 流量 ④⑧
 油分の有無 ④⑦



$$H_a = (t_2 - t_1) \times C_p \times \delta \times q \text{ (実際)}$$

C_p : 比熱
 δ : 比重
 q : 流量

$$H_t = K \times A \times \Delta t$$

K : 熱貫流率 (海上運転時の実際値と流量と温度を修正した値)
 A : 伝熱面積
 Δt : 平均温度差 (対数)

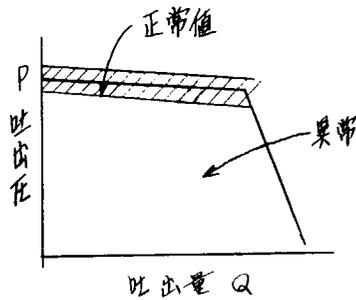


図4.2-7 燃油系統診断プログラム

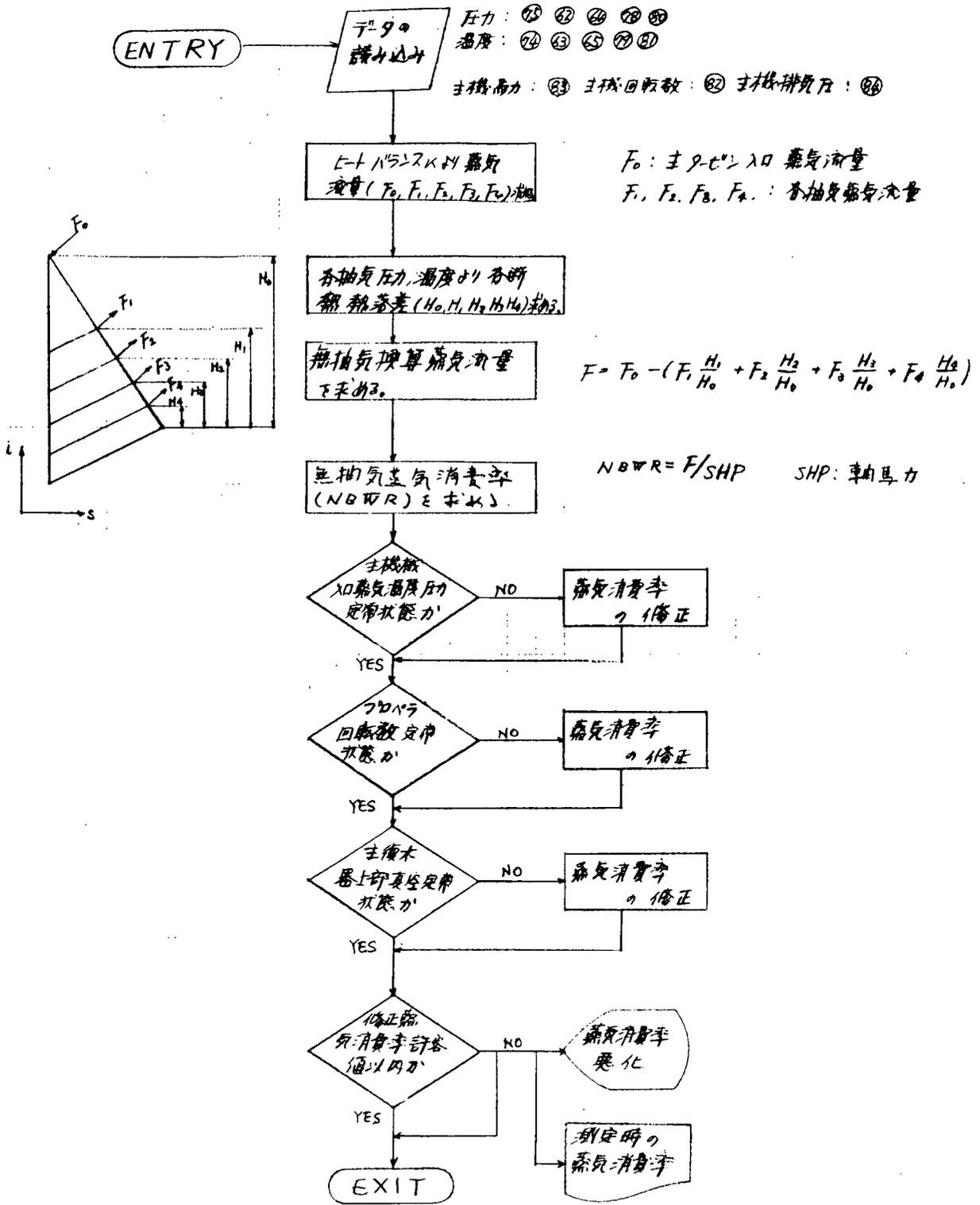


図 4.2.8 主タービン蒸気消費率低下診断プログラム

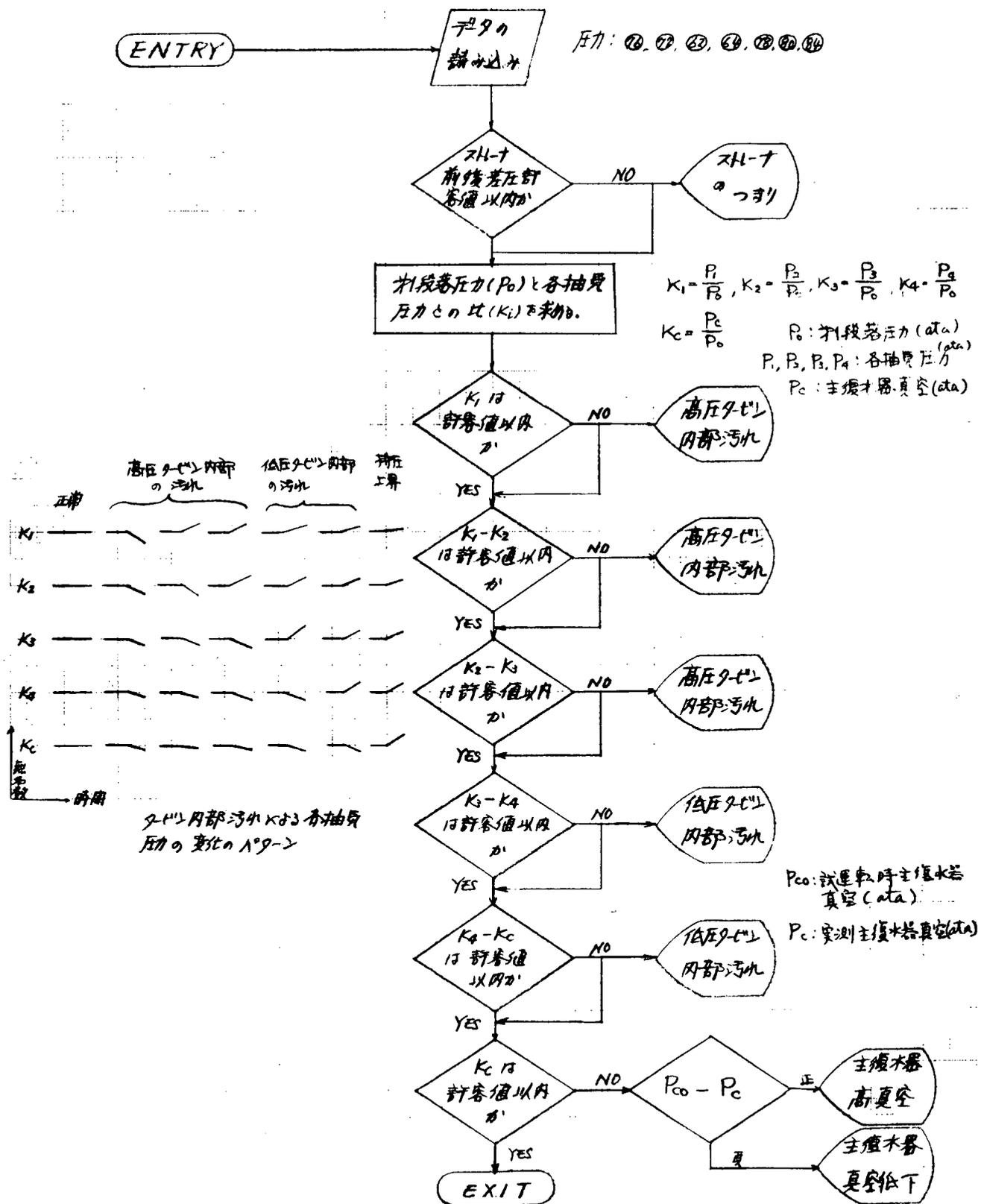


図4.2.9 主ターンの内部汚水診断フローグラム

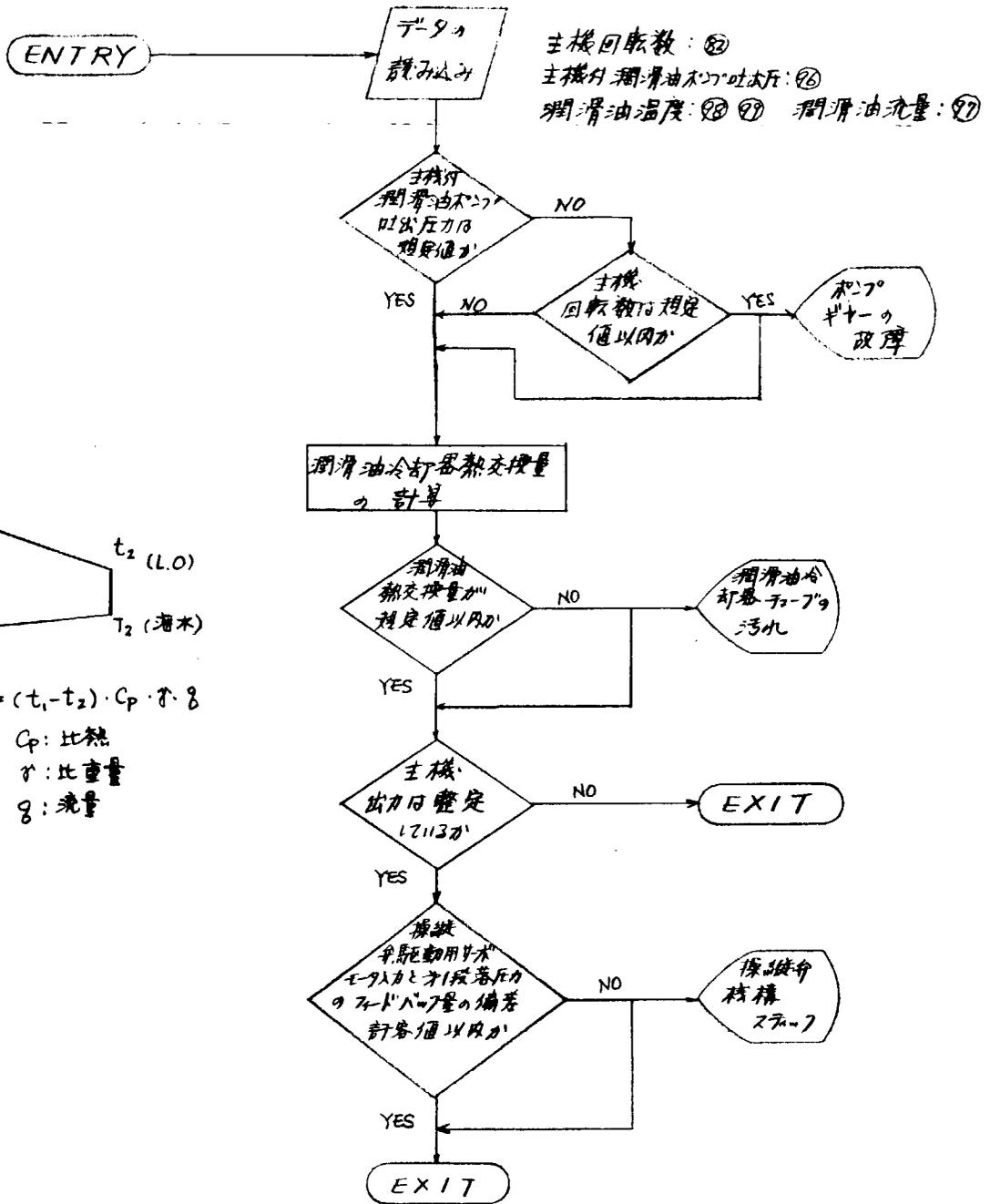


図4.2.10 主タービン付属機器異常検知プログラム

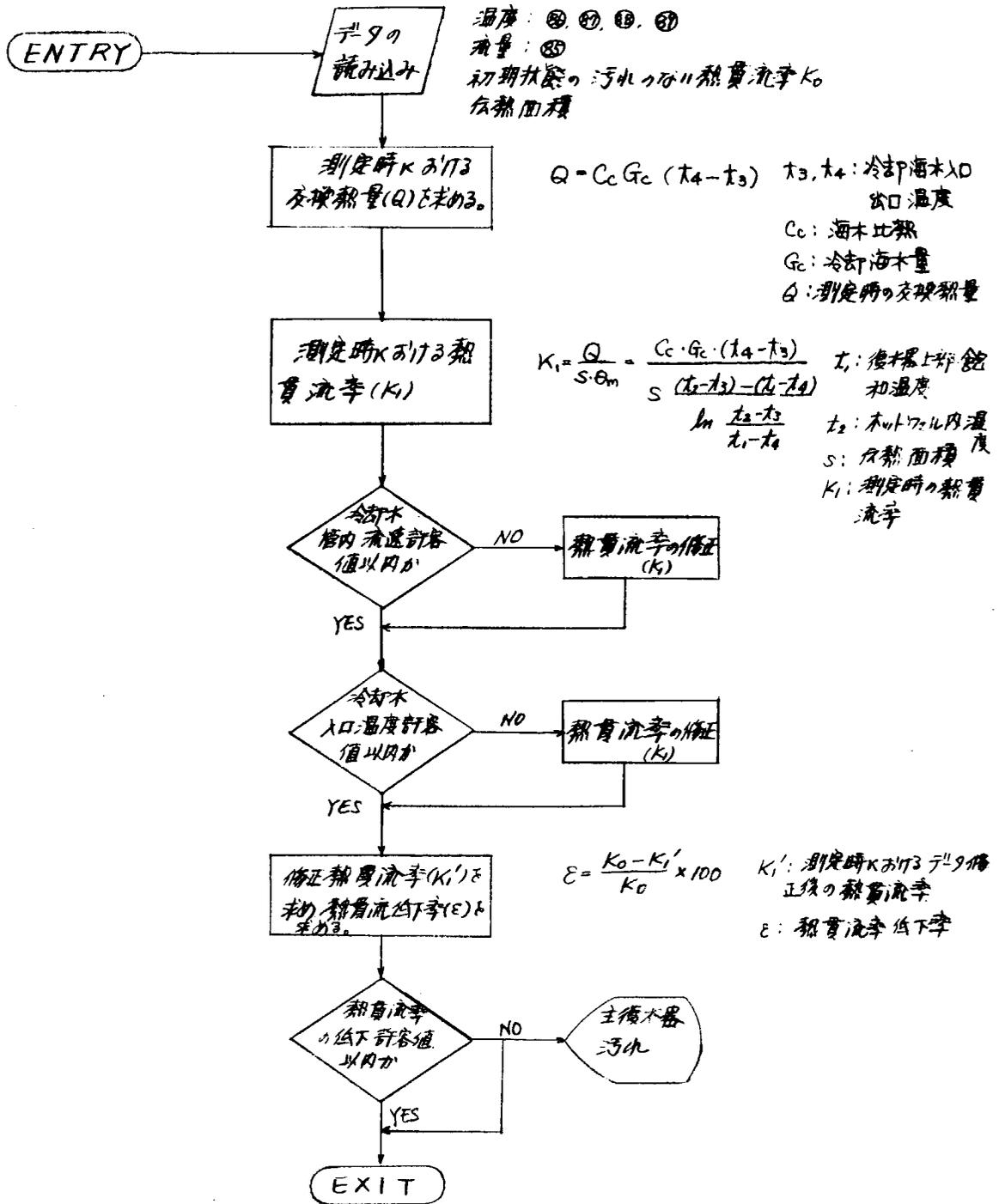


図4.2.11 主復水器汚水診断フローチャート

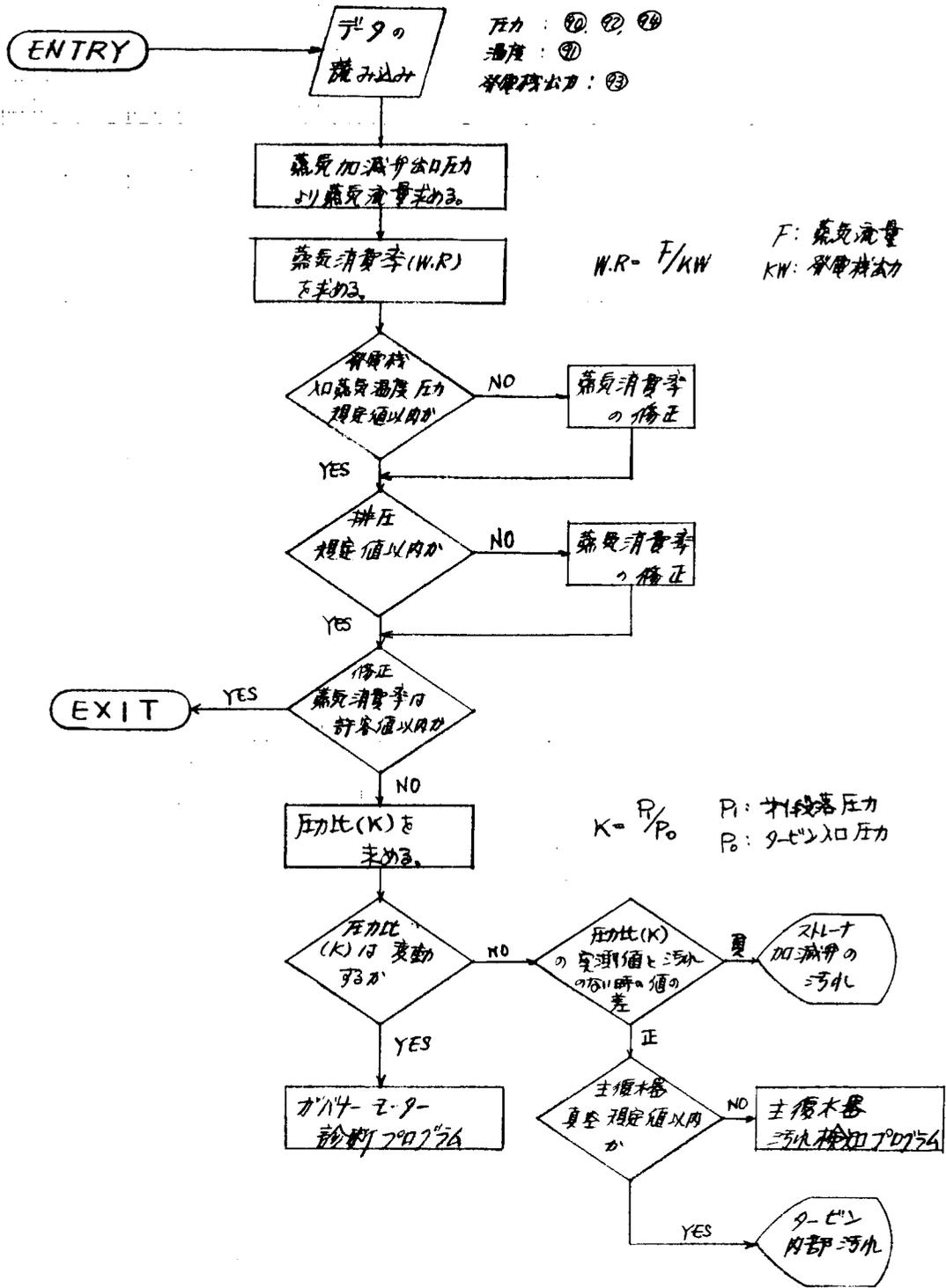
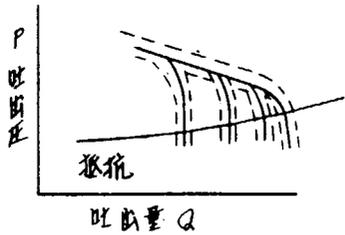
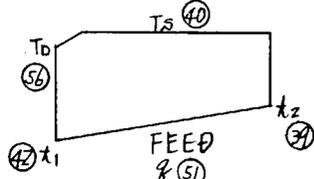
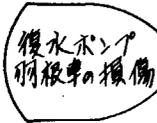
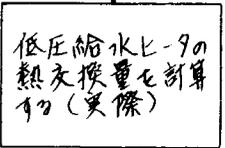
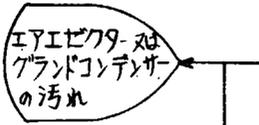
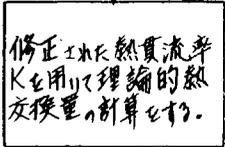
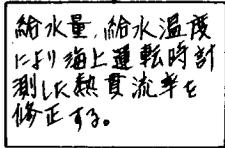
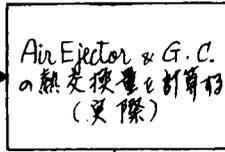


図4.2.12 発電機タービン内部汚染診断プログラム



- 流量 25 30 31 38 43 51 53 64 67
- 圧力 23 27 29 35 41 42 64 76 97
- 温度 21 22 26 34 36 37 40 42 52 56 63 65 66 68 69
- 流量 24 28 37
- φ2 62 63
- YPM 70



$$Ha = (t_2 - t_1) \times Cp \times \delta \times \phi$$

Cp : 比熱
 δ : 比重量
 ϕ : 給水量

$$Ht = K \times A \times \Delta t \text{ (理論)}$$

K : 熱貫流率
 (海上運転時の実測値と流量と温度で修正した値)
 A : 伝熱面積
 Δt : 対数平均温度差

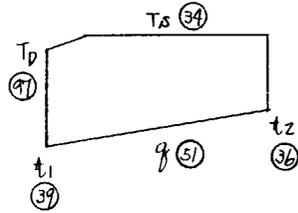


図 4.2-13 給水系統診断プログラム (1/4)

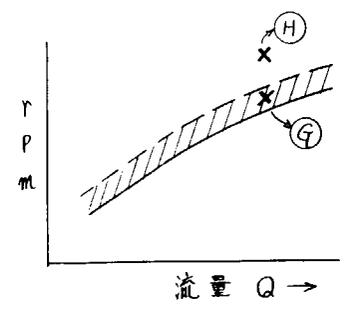
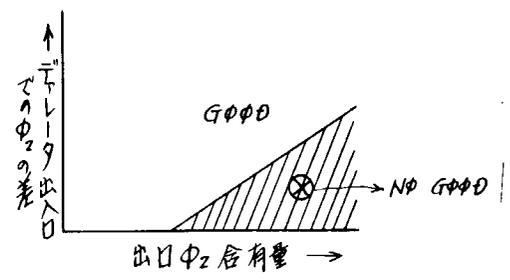
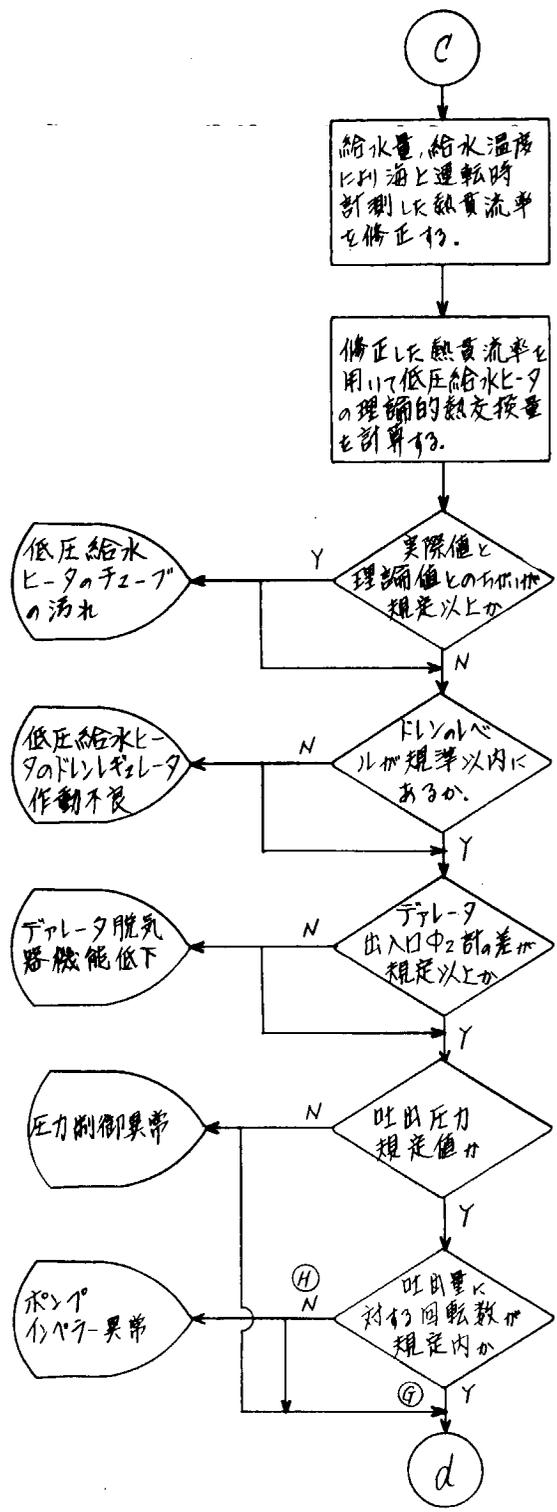
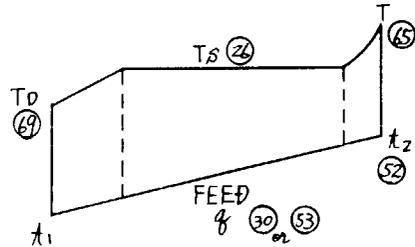
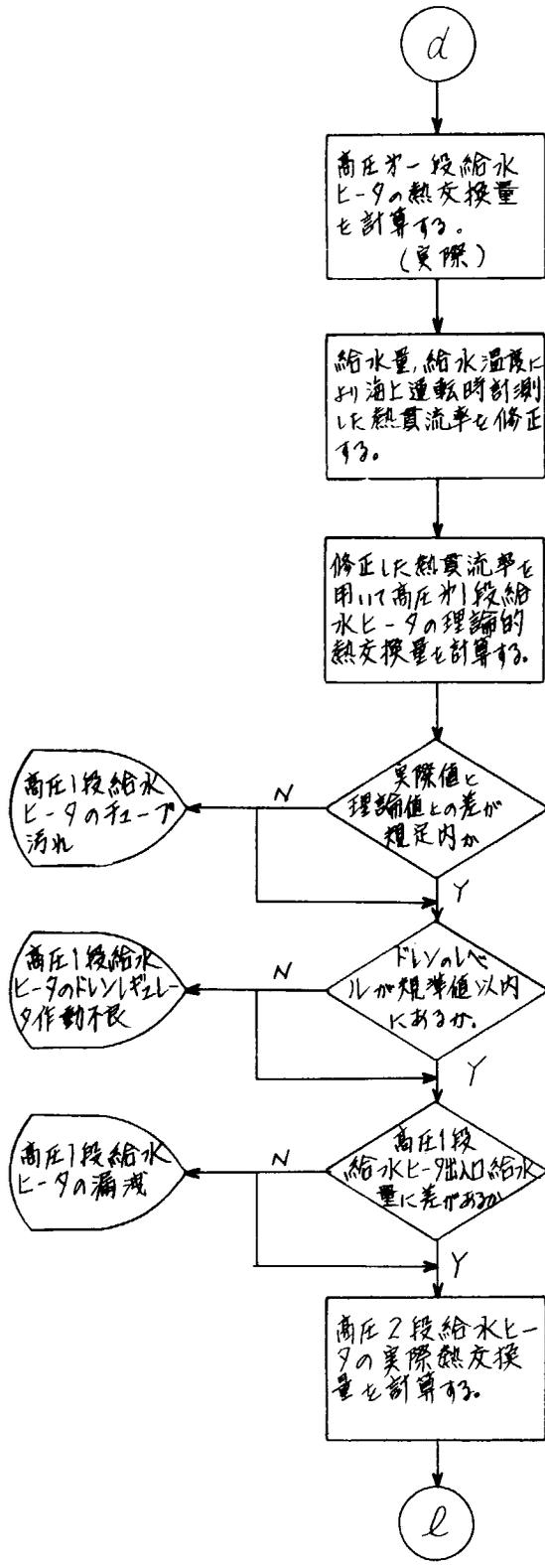


図4.2-13 給水系統診断プログラム (2/4)



$$H_a = (t_2 - t_1) \times C_p \times \gamma \times \phi \text{ (実際)}$$

C_p : 比熱
 γ : 比重量
 ϕ : 給水量

$$H_t = K \times A \times \Delta t$$

K : 熱貫流率
 (海上運転時の実測値を流量と温度で修正した値)
 A : 伝熱面積
 Δt : 対数平均温度差

図4-2-13 給水系統診断プログラム (3/4)

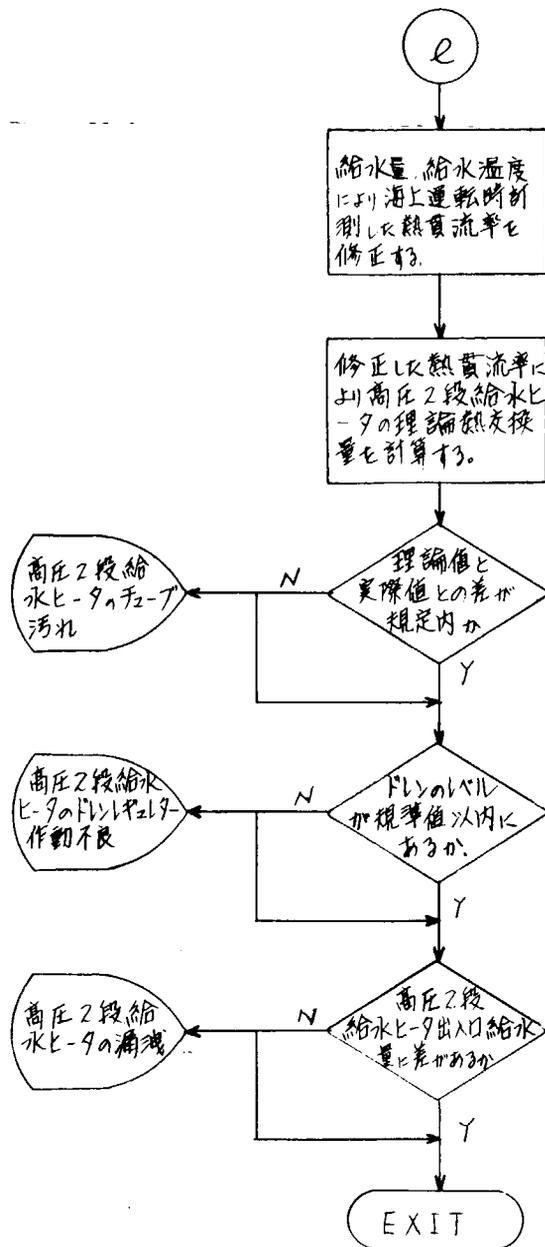


図 4-2-13 給水系統診断プログラム(1/4)

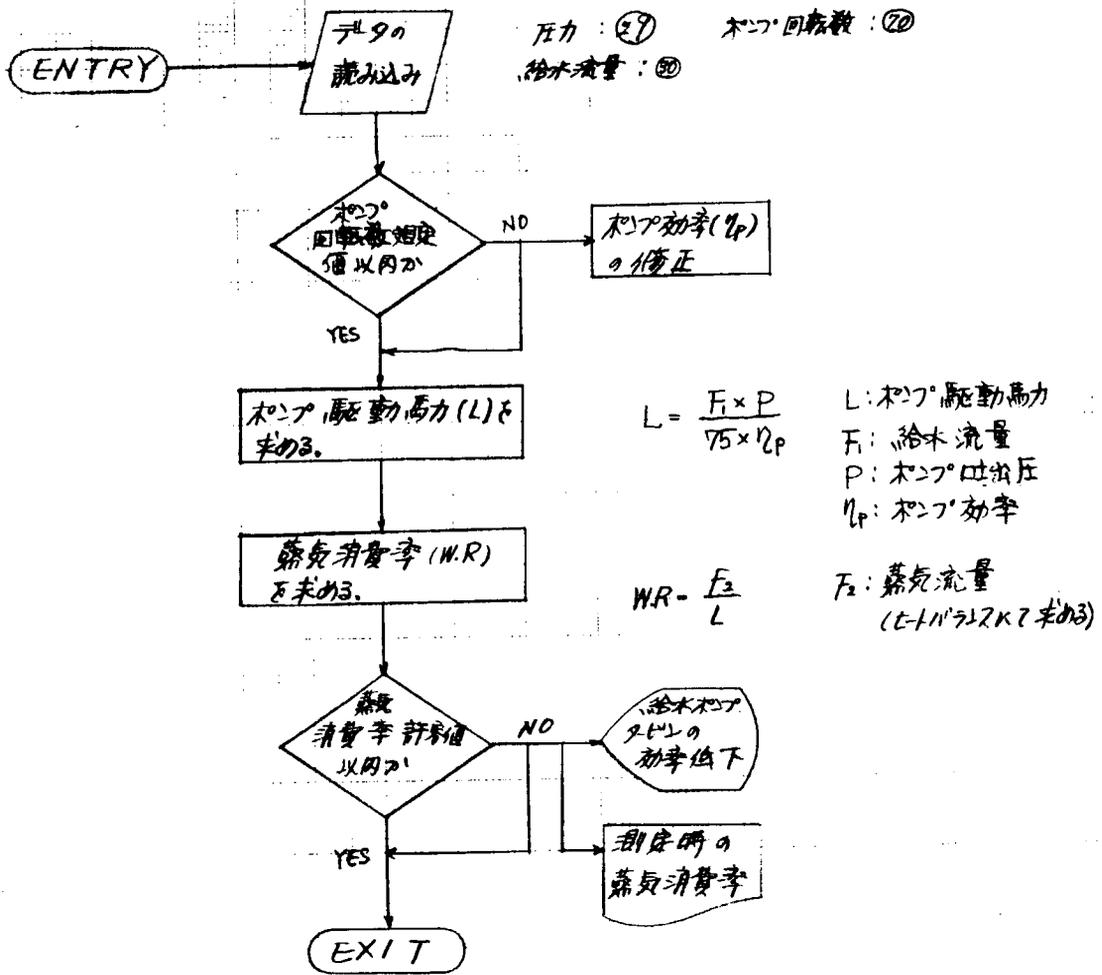


図 4.2.14 給水ポンプシステム内部汚水診断プログラム

4.3 その他の電算機利用法

前述したように故障の履歴をたどると現時点においては、機器の故障特性、すなわち初期故障、偶発故障、損耗故障のデータが正確に掴めない限り系統だった保守整備は期待し得ない。

船舶に使用される機器は一般的に、

- (a) 故障原因の確認が困難。
 - (i) 部品が大形の為実験的な確認が出来にくい。
 - (ii) 製品に再現性が比較的少ない。
 - (iii) 使用状態に均一性が少ない。
- (b) 整備と故障率の間の理論的関連が掴み難い。

以上の様な特殊性から、とかく従来のデータは“その場限りの利用の為のデータ”として処理され勝ろであった。そのため系統だった諸データの不足とならば、各部品のMTBF, MTTR等に対する検討が充分されてない事も系統だった保守整備を困難なものとしている。

本項では上述の船用機器の故障特性を電算機の機能により解明するため諸データの採取ならびに保守整備を系統的かつ効果的に行う為に、二、三の電算機利用を考えて見る。

(1) 機器類の履歴記録

(a) 運転時間(使用時間)の集計

機器の均等使用(スタンバイ機器を有する場合)、整備の参考に供する為、さらに整備と故障率との間の理論的関連を見い出す為、運転時間の積算記録、およびその分析(MTBF等)を行なう。

(b) 運転諸元の収集

将来、保守作業がどの様な形態で行なわれるにしても、整備員にプラントの現状、機器部品類の使用条件を正しく示し得る様に、保守に必要なデータの記録、また故障時の各種パラメータを系統だてて電算機に格納しておく必要がある。

さらに均一性のない使用状態で使われる機器類の故障原因に共通点を見い出す為にも上記運転時間の集計に加えて機器類の運転諸元(圧力、温度、流量、……負荷等)を記録し、より直接的に機器類の履歴を求める。たとえば熱交換器、ストレーナ等は使用した時間だけでなく、その使用時にあける通過した流体の容量や性状(温度、圧力)についても記録する。また重要な軸受等はどの様な条件(回転数、温度、潤滑状態)で運転したか等についても記録する。

(2) 整備時期の決定

前述した様な船用機器の特殊性がわかって述べた様な方法で、必要なデータが集積された時に、系統だった保守整備ロジックが可能となり、それに基づいて

何 時-----入港時，ドック時， etc

何 を-----機器，部品， etc

どうやって-----補修，予備品交換，また，費用は

などの情報を機器類の履歴（運転時間，部品使用時間等）と航海，入渠スケジュール，各機器部品等の交換時期，MTBF，MTTR等に関連させて指示出力させる（図4.3.1参照）。と同時にルール要求による検査情報を指示出力させる（図4.3.2参照）。

(3) 修繕仕様，部品管理

保守整備の作業，予備品の消耗と補給に関する管理システムを確立し，これに基づいた情報，たとえば，修繕仕様，交換すべき部品の名稱・数量・在庫数・必要補充量等の情報を出力する。

この情報によって，陸上では整備員の手配，予備品の発注・集配の作業も，電算機によって行なわせるように考えられるが，仕様・部品のコード化，使用または補充した部品の数量等の入力の自動化は非常に困難なので，運用上の問題を充分考慮した上でのプログラム作成が必要である（図4.3.3参照）。

(4) 特性調査による検査

船内においては，故障はオーバーホールした結果か，または機器がその機能を果さなくなった状態で発見されるのが普通であるが，これをオーバーホールなしで早期に発見することが重要であり，この直接的な検査法について考える。

(a) リークテスト

主要な管系，とくにタービン船の場合もとても重要なドレン系統などについて，自動弁を利用して管系を部分的に *isolate* するプログラムにより *isolate* された状態での蓄圧能力などをチェックし，弁その他の装備を行なう。

(b) 機器の性能チェック

各機器それぞれについて負荷を変化させ，同時に必要なデータを記録して特性曲線を作図し，初期のデータと比較することにより性能をチェックする。また，このテストにより系の安全をそこなう場合は他の機能によりカバーし，より正確なデータが得られるようなプログラムとする。

(c) 動特性チェック

プラントが運転されているとき，制御系統の働かしについての判断は一般に非常にむづかしい。

この様な場合，意識的な外乱をプラントに与え，各パラメータの特性変化と電算機による特性変化の検討と比較し，各制御系統が正しく働いている

るかチェックする。

(d) 部品検査

主要部品等は一応使用できる損耗限界は明示してあるが、実際の損耗状態は複雑な形状となり安全限界の判断に苦慮することが多い。そのため、部品の強度計算プログラムをあらかじめ作成しておき、点検時に測定したデータを入力することにより強度の低下、疲労限への影響、固有振動数の変化、損耗速度の推定等を行なう。

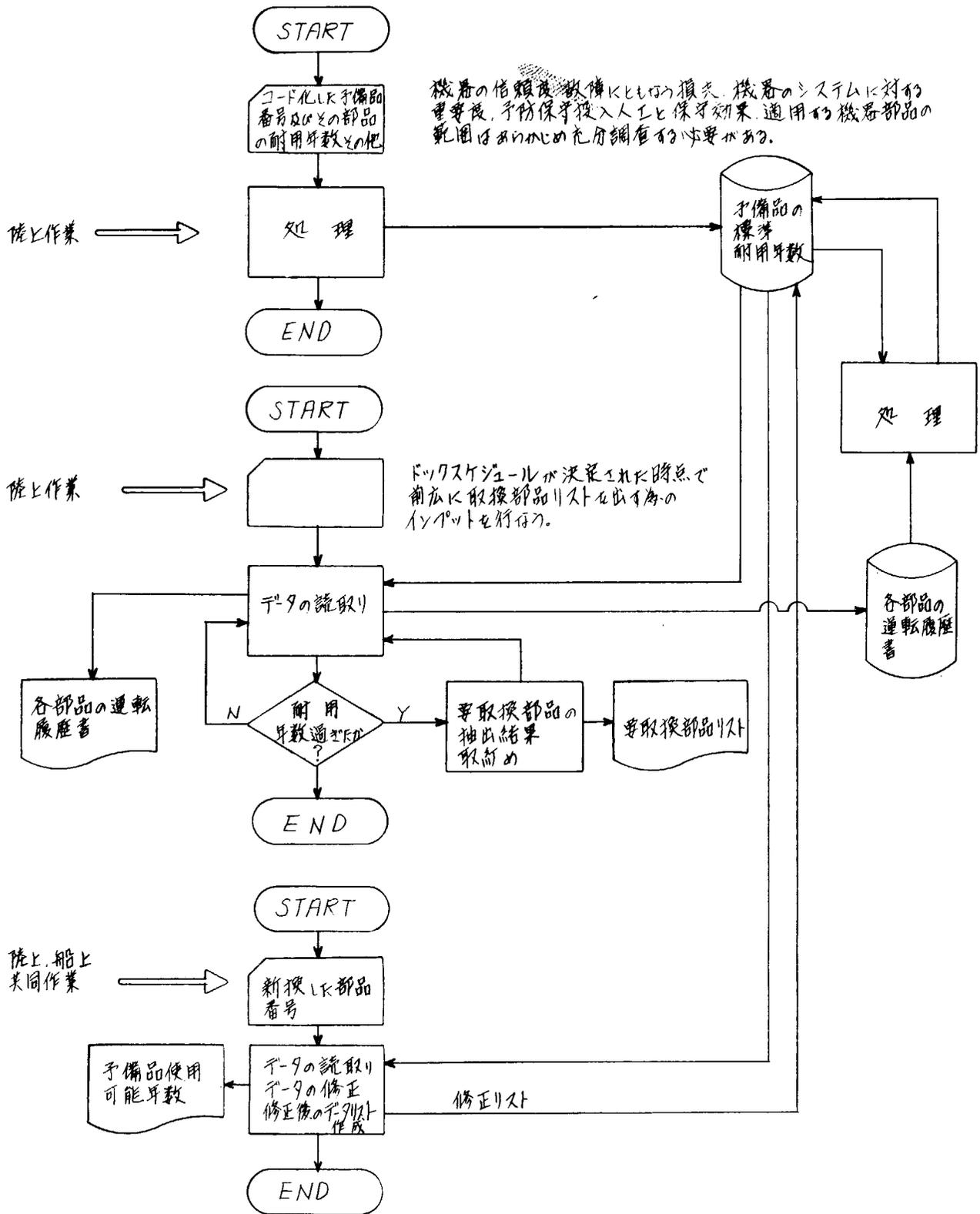


図 4.3.1 部品の予防保守システム

- (註) 1 予備品の在庫管理を行なうには概略
下図の如き流れとなる。
- 2 データファイルを用意することになるのでコンピューター
は陸上のものを使用することである。
- 3 扱う予備品の範囲は重要度、使用頻度、
船主殿の希望等を考慮の上決定すべきである。

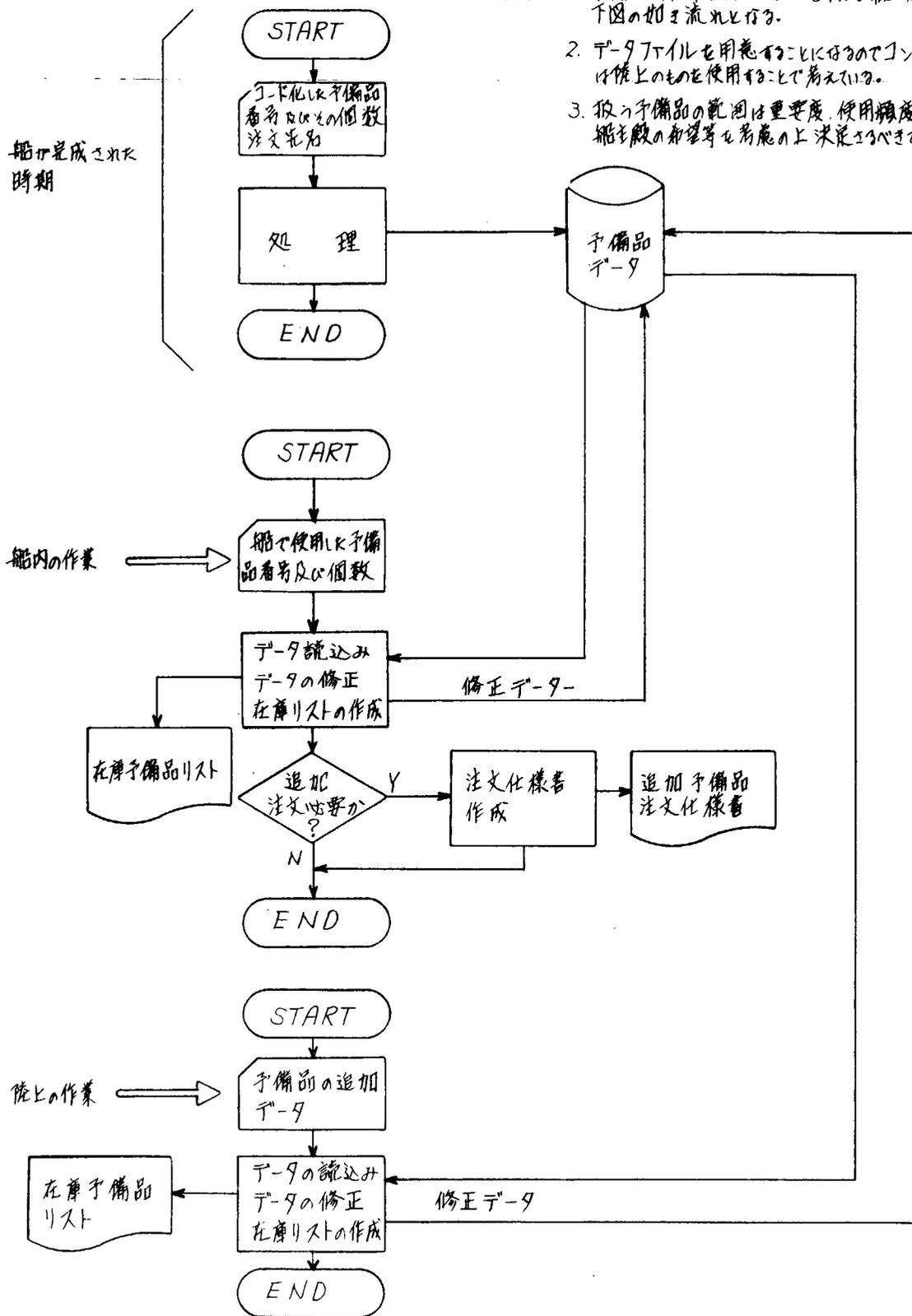


図 4.3.3 予備品の在庫管理及び供給システム

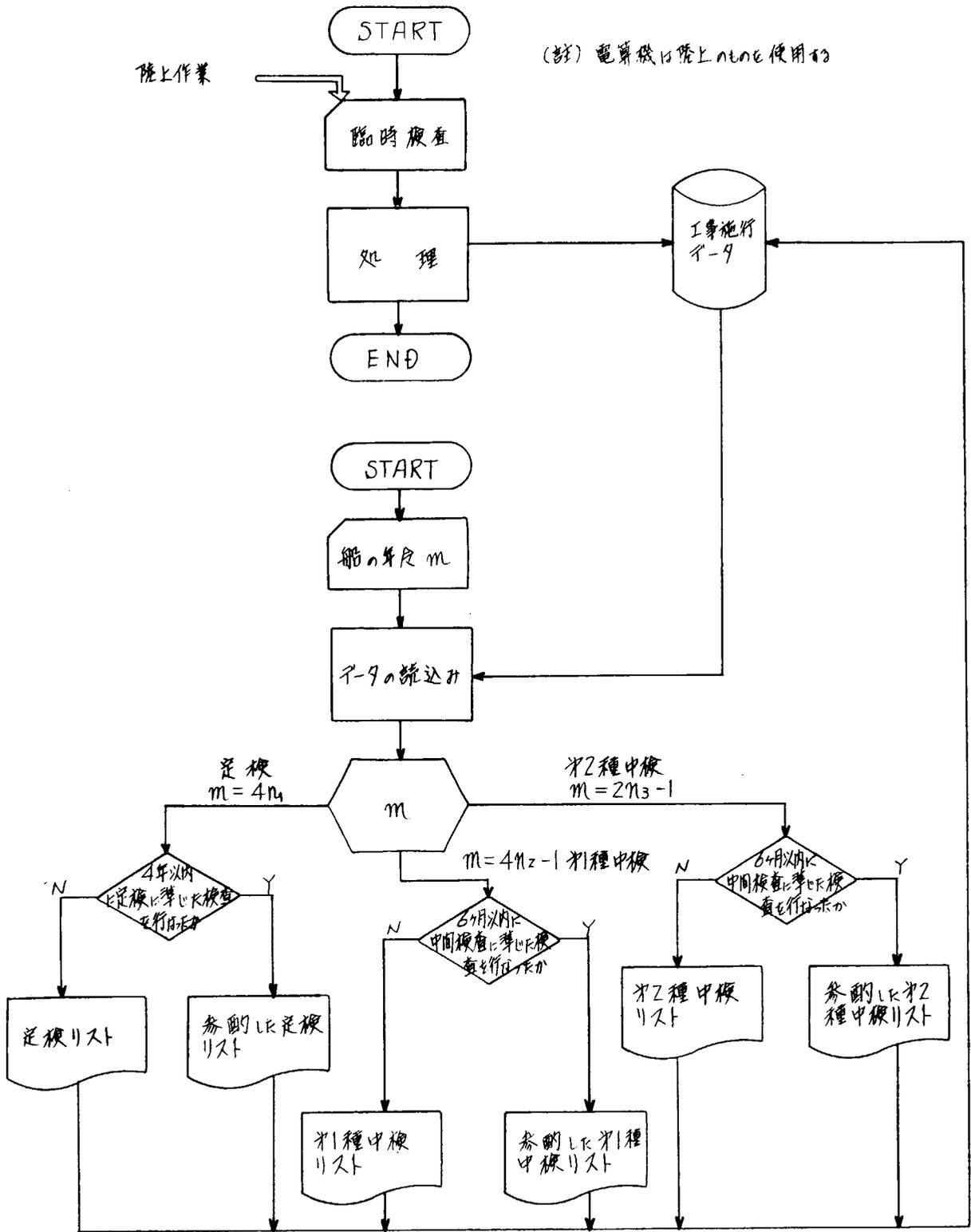


図 4.3.2 NK要求検査情報システム

5 タービン・プラント分科会4カ年間の研究成果の総括

タービン・プラントの運転・監視・制御・整備の将来を考えると、信頼性の向上、乗組員の省力化、効率の向上、稼働率の向上などのあらゆる見地からみて、コンピュータが導入される可能性があるとの見地に立つて、どのような目的で、どのような規模で、どのような方式でコンピュータを導入するのが良いかを種々の見地から検討してきた。またコンピュータを導入する場合いかなるプロセスを経て計画をし、乗組員の教育をするのが良いかについても検討を行なった。

4ケ年間に行なわれた研究項目は次の通りである。

- (1) 従来のタービン・プラントに発生した事故の内容とその原因の調査ならびにコンピュータによつて監視しうる事故の選定
- (2) 異常個所の検知のために常時検出記録すべき個所の決定
- (3) タービン異常振動の検知と予防のフローチャートの作成
- (4) タービン軸受焼損の検知と予防のフローチャートの作成
- (5) ボイラのショートウオータの検知および予防のフローチャートの作成
- (6) ブラックアウトの検知と予防のフローチャートの作成
- (7) タービン異常振動の予防手段の立案
- (8) タービン軸受焼損予防手段の立案
- (9) ボイラショート・ウオータの予防手段の立案
- (10) ブラックアウトの予防手段の立案
- (11) ブラックアウト発生後の応急操作の研究
- (12) プラント復帰操作のフローチャート作成
- (13) タービンプラントに最適制御を実施する効果についての検討
- (14) 火力プラントにおける最適制御、適応制御、効率制御の考え方調査
- (15) 火力プラントの電算機制御の現状調査
- (16) タービン・プラントのコンピュータ制御システムの詳細計画
- (17) 同上システムのシミュレータによる試験
- (18) タービン内部異常振動検知法の研究
- (19) 多数の実船の航行中のタービン内部振動の実測
- (20) タービン軸受メタルの異常検知の実験
- (21) タービン軸受焼損予防手段確立のための実験
- (22) タービンプラント主要部の動特性の理論的研究
- (23) タービンプラント主要部の実船による動特性の計測
- (24) 火力プラントにおけるコンピュータによる直接制御採用の現状調査
- (25) 直接制御を採用したSea Sovereign号の実情調査
- (26) 計算機制御導入のための新しい制御論の展開
- (27) タービンプラントに直接制御を導入する場合に解決しておくべきソフトウェア、ハー

ドウェアの技術的問題点と解決のための具体策立案

- (28) タービン・プラントの電算機システム計画法
- (29) 電算機を導入したタービン・プラントの乗組員の教育法
- (30) 電算機制御システム導入に適したタービン・プラントのあり方
- (31) 間接測定法によるタービン・プラント各部の測定値のチェック
- (32) 電算機システムの自己診断、自己修復のあり方と実用性
- (33) タービン・プラントのDDC、SCCによる制御性能改善の可能性の検討
- (34) タービン・プラントにDDC、SCC採用の場合のコンピュータ・システムの内容
- (35) 超自動化船における保守整備の構想
- (36) タービン・プラントの日常点検とコンピュータ・システムの適用
- (37) タービン・プラントの経年変化を知るためのコンピュータを使用した診断の仕方

タービン・プラント分科会は上述のように広範囲にわたって調査研究を行ない、今後コンピュータを導入したタービンプラントを実際に建造する場合の有益なノウハウ、調査資料ならびに実験資料を整えることができたが、これらの成果を折込んだ実船の建造による共同研究を行なう機会は得られなかつた。

今後タービン・プラント分科会の研究成果が活用されて実船に種々の形で採用されていくことと考えられるが、実用段階に入る前に実船によつて確認または研究を必要とする事柄も沢山残されているので、そのような研究項目について今後も造船研究協会の共同研究として積極的に実船研究が実施されることが望まれる。