

# TOSBAC-5400/150 自動故障診断システム

≡ 浦晴久 高木 要 齊藤 修  
( 東京芝浦電気株式会社 青梅工場 )

## 1. 序

1970年代の最新鋭電子計算機として開発されたTOSBAC-5400モデル150において、信頼性、可用性、保守性の向上を計るために、自己診断可能な診断システムを實現したので、そのシステムの概要と、ハードウェア、ソフトウェアについて、および 実態、問題点等を紹介する。

## 2. システム概要

### 2.1 目的

従来、電子計算機システムの故障を検査するためには、機能的な検査を行なう種々のテストプログラムが使用されており、故障検査された場合には保守員の経験により故障修復時間に大きな差があるのが常であった。

診断システムの主たる目的は経験の浅い保守員でも、指定した手順通りの処理を行なえば、診断プログラム、計算機システムの詳細な部分の理解が不十分でも簡単に故障点の指摘を可能ならしめる事である。

TOSBAC-5400モデル150は設計当初から診断専用ハードウェアが組み込まれており、これらハードウェアを駆使した故障診断システムは、計算機を構成している大量のICの中から、取り換え可能なICの単位で、故障点を指摘し、システムの稼働率を向上させる事が大きな目的の一つとなっている。

故障診断システムの設計にあたり、故障修復時間を短縮させるため、以下の設計目標が設定された。

- (i) 故障指摘範囲を平均IC3チップ以内とする。
- (ii) 診断所要時間を5分以内とする。
- (iii) 平均故障修復時間を30分以内とする。

又、この故障診断システムで対象としている故障は下記の三種類である。

- (a) Stuck at 0 : 入力の値にかかわらず素子の出力が常に0である故障
- (b) Stuck at 1 : 入力の値にかかわらず素子の出力が常に1である故障
- (c) Input Open : 素子間を接続している配線の断線による故障

### 2.2 診断方式

この故障診断システムではFMT的マイクロ診断方式をとっている。FMT的というのはいままでのFFに付してSCAN IN, SCAN OUT BUSを用意しており、マシンサイクルとは別の制御系により診断処理動作を実施する事が出来る。マイクロ診断であるというのはい任意のマイクロ命令の組み合わせにより作られた診断用のマイクロプログラムを実行させる事が出来るようになっている事による。

又、本システムは他の診断専用の計算機を用いる事なしに、診断プログラムを実行する事により、自動的に Bootstrap 方式の自己診断を可能にしている。診断は演算制御部の診断用ハードウェアをハードコア(核)として作り、ハードコア周辺部分の診断から演算制御部全体の診断へと順次拡大され、演算制御部が入出力制御部のハードコアにあたる診断用ハードウェアを診断し、最後に入出力制御部全体の診断を行なっていく。

演算制御部と入出力制御部に組み込まれた診断用ハードウェアは

CHD (CPU Hardware Diagnosis) CPU: Central Processing Unit

IHD (IOCP Hardware Diagnosis) IOCP: Input Output Control Processor

と呼ばれ、主記憶部に読み込まれた診断用マイクロプログラムを読み出し、実行させるという一連の診断動作を制御する。

演算制御部と入出力制御部の診断対象部分は診断ブロックと呼ばれる論理回路群に分割され、Bus又は Register にアクセスする各診断ブロックを診断するためには必要なテストパターンは TPG (Test Pattern Generator) により自動作成されている。

### 2.3 故障診断システム構成

故障診断システムのハードウェア構成は、図1.に示すように、主記憶部、演算制御部、入出力制御部と磁気テープ装置およびコンソールタイプライター装置とからなっている。

診断プログラムのローディングは演算制御部内蔵の診断専用のチャネルである MAC (Maintenance Aid Channel) を介して行なうが、入出力制御部の通常チャネルを介してローディングすることもできるようになっている。

図1.において、①~④は正常に動作する事を前提としているので、診断を実施する時には予めオフライン検査等により正常動作確認をしておく必要がある。①、④は本システムにおける自動故障診断の対象範囲となっている。

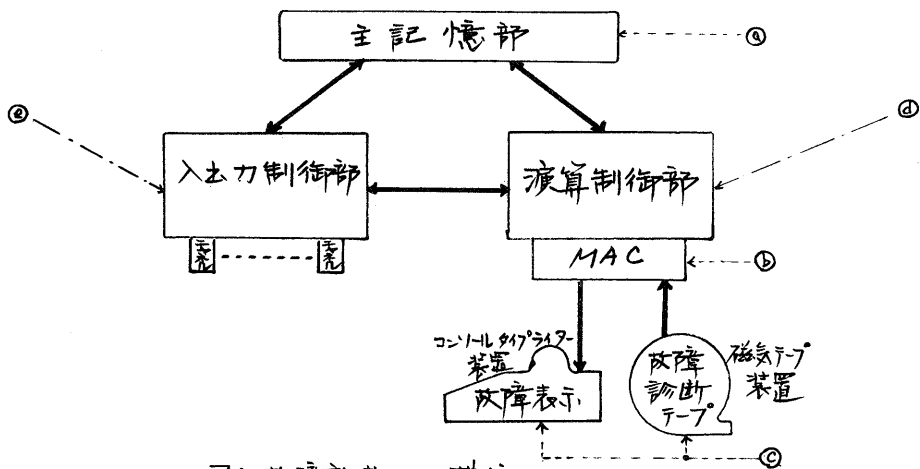


図1. 故障診断システム構成

### 3. 演算制御部診断システム

#### 3.1 診断用ハードウェア

演算制御部の診断用ハードウェアである CHD は通常の機械語命令を実行する制御系（マシンサイクルと呼ばれる）とは異なる制御系でコントロールされる。

通常、磁気テープに収録されている演算制御部診断プログラムは演算制御部に内蔵された MAC、又は入出力制御部により主記憶部の番地からロードされる。ローディングが終了すると、通常命令プログラムカウンタに相当する診断逐次制御カウンタにより、主記憶部から診断命令が読み込まれ、診断命令レジスタにセットされる。

五種類の診断命令について説明する。

（図2. 参照）

(1) CHD命令 基本的なレジスタに対する SCAN IN、実行、実行結果の SCAN OUT、実行結果によりジャンプする機能を持った診断の基本命令である。

この命令によりマイクロ命令レジスタに任意の値をセットし実行させる事が出来るので、対象となる診断ブロックに対する効果的な診断用マイクロプログラムを作成する事が出来る。

(2) PLD (Primary Load) 命令 診断モードにおいて磁気テープに収録された演算制御部診断プログラムを磁気テープ装置から主記憶部へ、1 フジカルレコード単位の情報転送を可能とする入力命令である。

(3) RCM (RCS Control Mode) 命令 この命令は診断モードから通常動作モードへコントロールを移す命令であり、指定された RCS アドレスから読み出されたマイクロ命令をマシンサイクルに従って実行する。

(4) DHT (Diagnostic Halt) 命令 この命令は診断動作を停止し、RCS アドレスレジスタに正常終了、又は故障を指摘した診断ブロックを表示するための命令である。

(5) BPT (Bit Pattern Test) 命令 RCS アドレスレジスタによって指定された RCS の内容の指定部分を汎用レジスタにセットし、CHD命令と組み合わせることで RCS の検査を行なうための命令である。

演算制御部では XCM (Execute CPU Microprogram) 命令と呼ばれる機械語命令を持っており、診断逐次制御カウンタに実行開始番地をセットし通常モードから診断モードへ移行する事が出来る。

#### CHD命令(9語構成)

CHD / RAR
MIR1
MIR2
MIR3
MIR4
MIR5
MAR
HRI
JMP アドレス

RAR(RCSレジスタ)に  
SCAN IN する

任意のマイクロ命令を  
作成する事が可能

基本的なレジスタに  
SCAN IN する

実行結果によりジャンプ

#### PLD命令(1語構成)

PLD
-----

診断用入力命令

#### RCM命令(2語構成)

RCM / RAR
データワード

診断モードから  
通常モードへ移行する  
ための命令

#### DHT命令(1語構成)

DHT / RAR
-----------

診断用停止命令

#### BPT命令(1語構成)

BPT / RAR
-----------

RCSの内容の検査命令

図2. 各診断命令のフォーマット

### 3.2 診断プログラムの構成

磁気テープに収録してある演算制御部診断プログラムはPLDスイッチが押えられるとCHDの制御によりローディングされ、実行される。

図3. 1に示してある演算制御部診断プログラムを構成している各プログラムについて説明する。

(1) HCT (Hardcore Test) MACおよびCHD機能の正常動作を確認し、基本的なBus, Register, 演算回路の一部の診断を行なう。

(2) RBT (RDS BIT Test) BPT命令とCHD命令の組み合わせによりRDSの内容を検査する。

(3) BST (Bus Test) HCTで確認された基本的なものを除いたBusに對して、以下診断ブロックを実行することで誤診断を起さない事を確認するため実行される。

(4) 以上三つのテストにおいて異常状態が検出されなければ、診断ブロックの故障検査部を実行する。故障を検出した場合には知らせる診断ブロックの故障指摘部を実行させ故障状態を表示して停止する。故障が検出されなかった場合には正常終了表示を実行し停止する。

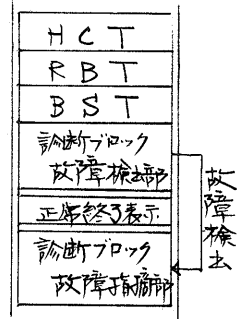


図3. 演算制御部診断プログラム構成

## 4. 入出力制御部診断システム

### 4.1 診断用ハードウェア

入出力制御部の診断は、正常動作する事が確認された演算制御部の機械語命令を使用する事により行なわれるので、診断専用のXIM (Execute IOCP Microprogram) 命令と、その実行に従って入出力制御部をマイクロ動作させるEHDとが用意されている。XIM命令と診断制御部の関係は図4. 1に示す通りであり、各診断制御部について以下説明する。

(1) MW1~3 (Microinstruction Word 1~3)

入出力制御部のマイクロ命令レジスタへ通常のマイクロオーダーからなるマイクロ命令をセットし実行する。

(2) EMW (Extended Microinstruction Word)

RDSを読み出し記憶部へ書き込むRDSダンプ機能等のような診断専用マイクロオーダーからなるマイクロ命令であり、MW1, MW2と共にマイクロ命令レジスタへセットされ実行される。

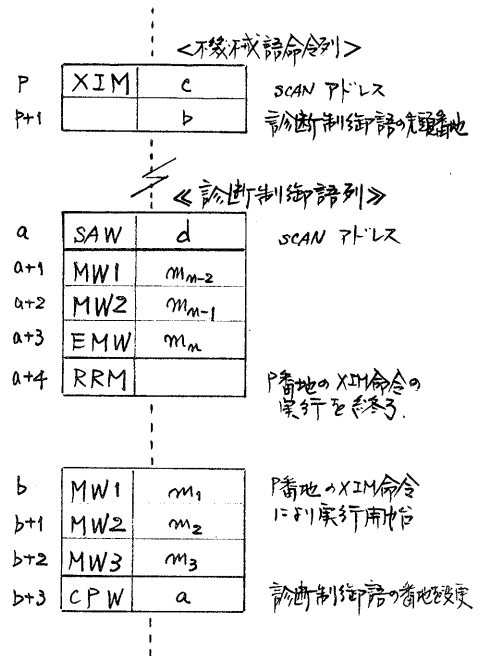


図4. XIM命令と診断制御語

- (3) SAW (Scan Address Word) scan in, scan out で用いる主記憶部のロケーションを指定する。
- (4) WCW (Wraparound Control Word) チャンネル部分の検査を行なうための Wraparound Test で用いられる注意のデータチャンネルの組み合わせを指定する。
- (5) CPW (Chaining Pointer Word) 主記憶部の不連続な領域に格納された診断制御語群のチェイニングを指定する。
- (6) RRM (Request RDS Mode) XIM命令を終了し、入出力制御部を診断モードから通常動作モードへ復帰させる。

#### 4.2 入出力制御部診断プログラム

入出力制御部の診断プログラムは主要部分を診断する DSP (Diagnostic Supervisory Program), RDS の内容を診断する RBT (RDS Bit Pattern Test) および、データチャンネルを診断する WCT (Wraparound Channel Test) からなり、これらは既存の機能テストプログラムと共に図5. に示されるよう T&D (Test & Diagnostic) テープに格納されている。

(1) DSP このプログラムは DIF (Diagnostic Information File) テープを読み込み、ハードコアテストおよび各診断ブロックの診断を実施する。

DIF はハードコアテストと、各診断ブロックに対応するマイクロ診断モジュールとからなり、マイクロ診断モジュールは scan in, scan out を行なうスキャナー、及び複数のテストレコードより構成されている。

故障検出用テストレコードはテストパターン、正解パターンからなり、故障指摘用テストレコードはテストパターン、解析パターンおよび故障点を表示するためのフォルトロケーションとからなっている。

(2) RBT RDS の診断は XIM 命令の RDS ダンプ機能によって、全ロケーションの内容が主記憶部に書き込まれ、その内容を解析する事により行なわれる。RBT は予め内蔵している正解パターンと主記憶部に書き込まれている RDS ビットパターンとを比較し、一致しないアドレスとビットをタイプライターに打出す。

(3) WCT XIM 命令の診断制御語 WCW によって指定されたデータチャンネルの組み合わせに対し、入出力命令により一側には Write オペレーション、他側には Read オペレーションを実行させて、Write チャンネルから転送されたテストパターン

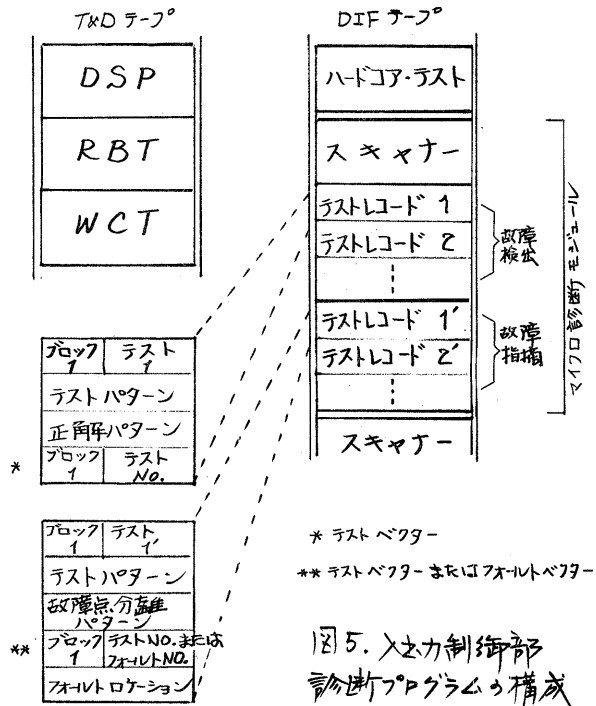


図5. 入出力制御部診断プログラムの構成

が Read チャネルへ正しく伝搬することを検査する。WCT はこの方法によつて、周辺装置をデータチャネルに接続することなしに、データチャネルを診断することが出来る。

## 5. 診断プログラム作成プロセス

### 5.1 プロセス概要

診断プログラムの作成プロセスは、その役割の面から次の五つに大別される。

- (a) 診断ブロックの抽出
- (b) 論理構造変換
- (c) テストパターン作成とその評価
- (d) マイクロ診断プログラムの作成
- (e) (c) 及び (d) により作成したファイルを編集し、診断プログラムを作成する。

CPU と I/OCP の作成プロセス上の違いは (d) 及び (e) である。

### 5.2 診断ブロックの抽出

診断ブロックは製造資料ファイルから抽出用データによつて作られる。抽出データはテストパターンと対応する信号名とその診断ブロックの実行を行なう時には固定レベルになっているという事を示す入力を含んでいる。

### 5.3 論理構造変換

抽出された診断ブロック各々を、TPG が解釈可能となるような論理構造に変換され、各要素に対して TPG 用一連番号がつけられる。

### 5.4 テストパターン作成とその評価

TPG プログラムは J. P. ROTH の提唱した D-アルゴリズムに基づいてテストパターンを作成し、さらにその評価を行なっている。テストパターンの作成にあたってはこの自動作成のほか人手作成によるテストパターンの評価も可能にしている。TPG により作成されたテストパターンは Tree 構造に変換され、故障指摘を行なう時には使用される故障診断辞書も自動作成される。

### 5.5 マイクロ診断用プログラム

マイクロ診断用の言語で記述されたプログラムは、TPG により作成されたテストパターンをどこに scan in するか、実行結果をどこに scan out するか、又は実行するマイクロ命令をどうするか等が記述されている。CPU, I/OCP 各々に対して対応するマイクロアセンブラを準備している。

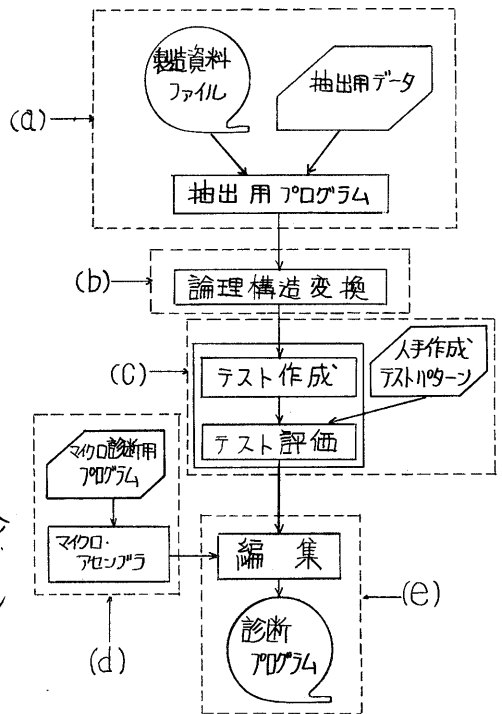


図6. 診断プログラム作成プロセス概略図

## 5.6 編集プログラム

編集プログラムはCPU、I/OCPをそれぞれ独立なプログラムを持つている。CPUにはおいては5.5で作成されたマイクロ診断ファイルとTPGのテストパターンを経て、診断プログラムが編集される。I/OCPの場合には故障検出するとコントロールタイプライタに故障点を印字するために上記ファイルの他にフォールト・ロケーションファイルの内容も一斉に編集される。

## 6. 診断プログラム

### 6.1 診断プログラム実績

診断プログラムは5.の作成プロセスを経て、47年9月末にVersion1が、48年1月末にVersion2が作成され保守、調整に使用されている。調整において診断プログラムは現在効果的に使用されており、経来に比べて大巾な工程短縮を実現している。

ユーザー・サイトにおいても実際に起きた数少ない事例について、従来のテストプログラムに比べ、故障点を局所化する上で効果的に使用されている。

設計当初、診断対象故障として難解であると考えて来た尚欠故障も、ほとんどのものについては診断プログラムの繰り返し機能とマージナルテスト等を行なう事により効果的に局所化可能である事が調整時の使用により確信された。

### 6.2 診断プログラム問題点

- (i) 保守パネルに接続した時の教が非常に大きく、自動診断が出来ない部分の結果として多くなっている。
- (ii) 主記憶部から診断用のマイクロ命令を読み出す事により診断処理がなされているので、タイミングに束縛する厳密な検査を作成するのが難かしい。
- (iii) 診断を行なう上での効果的な設計が必ずである。当初から考慮し設計されたが、一部診断ににくい回路、分解能が下がる等問題が生じた。

### 6.3 診断プログラム解析結果

CPU/I/OCP診断プログラムそれぞれについて当初考えていた診断対象範囲についてはほぼ100%に近い検出率、80%前後の指摘率が実現出来たと考えられる。

CPU診断プログラムは人手作成8ブロック、自動作成54ブロックから成り、CPU全体の70%を対象範囲としている。

I/OCP診断プログラムは人手作成のハードコアテスト、自動作成12ブロック、補助プログラム5コから成っており、I/OCPの70%を対象範囲としている。

当初から診断対象範囲外と考えていたマシンサイクル、診断用ハードウェア等についても検出率約70%になっている事がハードウェア・シミュレーションにより明らかとなり、人手作成程序に追加する事により効果的な指摘を行なう事ができる。

## 7. 結び

以上により当初の目標をほぼ満足した結果が得られており、今後より有効活用するよう確意してまいります。