

博多新幹線コムトラックにおける進路制御システム

Route Control System of COMTRAC for Hakata Shinkansen

新幹線運転管理システム(Computer Aided Traffic Control System)は、新幹線の中央指令所における列車運転管理を総合的に自動化した電子計算機システムである。昭和50年3月、新幹線が岡山から博多まで延長され、列車運転本数の増大と監視・制御範囲の拡大に伴い、このシステムの進路制御系は、電子計算機システムの性能と信頼性、アベイラビリティ、保守性(RAS)技術の向上、並びにマンマシンインタフェースにおける応答性の改善により、その機能を一段と充実した。

進路制御系は高信頼度制御用電子計算機HIDIC 700 3台を使用し、二重系並列運転による信頼性の向上を図り、更に1台の予備系を置いてアベイラビリティ、保守性の向上を図った。

我が国の最重要交通輸送手段である新幹線は、高度に訓練された指令員と、このシステムのマンマシンコミュニケーションとにより維持されるもので、緊急異常事態発生時における指令員の操作性の改善と、電子計算機制御から手動制御への切替えを容易にし、調和のとれたマンマシンシステムを完成した。

関 秋生* Akio Seki
井原広一** Hirokazu Ihara
久保 裕** Yutaka Kubo
井手寿之** Jushi Ide

1 緒 言

鉄道における列車の運転管理は、列車自動運転制御(ATC)など現場信号保安設備、列車集中制御装置(CTC)による指令業務の中央集中化など高度な技術により安全性の向上及び自動化が実施されている。新幹線運転管理システム〔以下、Computer Aided Traffic Control System:コムトラック(COMTRC)と略す〕のサブシステムとして進路制御系は、高信頼度制御用電子計算機HIDIC 700により、中央に集中された運転指令員の列車運転監視と、進路制御でこ扱いを自動化したものである。

既に、新幹線岡山開業時に第一段階のシステムを完成したが⁽¹⁾、今回、博多まで延長され列車運転本数の増大と、監視・制御範囲の拡大に伴い、次に述べるような点を改良しその性能を一段と充実した。

- (1) 二重系並列運転で信頼性の向上を図り、更に1台の予備系を置いて、理想的な稼働率と保守性の向上を目標とした。
- (2) ソフトウェア フォールバック、系切替時における処理の連続性など、ソフトウェア信頼度向上技術の開発を行なった。
- (3) 指令員と電子計算機のコミュニケーションを円滑にするため、Cathode ray tube(CRT)など入・出機器の操作性の改善と応答時間の短縮を図った。

この論文は、主にこのシステムで開発した電子計算機システムの高信頼化技法と、電子計算機制御から手動制御への切替えを容易にした指令員とのマンマシンコミュニケーションによる指令操作性について述べる。

2 進路制御系の背景と機能

東京～博多間総区間距離 1,000km、駅数31に及ぶ日本国有鉄道博多新幹線は、走行全列車の運転監視、及び進路制御を東京駅中央指令所で集中管理するものである。その社会的公共性はもとより、交通制御は人間の移動を対象とするものであり、高い信頼性と安定した稼働率が最も必要とされる。既に昭和47年3月より運転中の東京～岡山間対象システムの経

験と実績を生かして、電子計算機の性能をいっそう向上させるとともに、新たに開発した主な機能について次に述べる。

- (1) 線区間の延長と進路制御のデータベース化による、駅の増設、改修に対する適応性をもたせた。
- (2) 夜行運転に対応した24時間運転を可能とした。
- (3) 各駅ホームの乗客に対する旅客案内機能を追加した。

進路制御系システムの制御対象の概要について、次に列挙する。

- (1) 線区と駅数：新幹線東京～博多間31駅
- (2) 総列車本数：1,200本
- (3) 同時在線列車本数：最大200本
- (4) 1列車当たり平均走行駅数：11駅
- (5) 総車両編成数：220編成
- (6) 制御対象進路：700進路

以上述べたこれらの列車、及び進路制御を、連日早朝6時より深夜1時の終列車まで行なう。更に将来の計画として、一部区間の単線運転の可能性についても考慮した。

現場各駅からCTCを経由で受信する情報は、

- (1) 地点情報……………880点
- (2) 列車番号情報……………110列車情報
- (3) 信号機現示情報……………730信号
- (4) 軌道回路情報……………1,650回路
- (5) 信号機器故障情報…1,380情報

などあり、3秒周期に取り込み列車・駅設備の監視、及び制御を行なう。

3 システムの構成

中央指令所に設置されるこの電子計算機システムは、図1に示すように3台の中央処理装置(CPUと略す)を中心に、駅設備からの情報を受信するCTC、結合装置(SPC)、1日1回列車運転計画を作成し、転送してくる実施計画・運転整理系(HITAC 8450)、及び中央指令室各機器とで構成され

* 日本国有鉄道東京第二電気工事局東京新幹線電気工事所 システム4科長 ** 日立製作所大みか工場

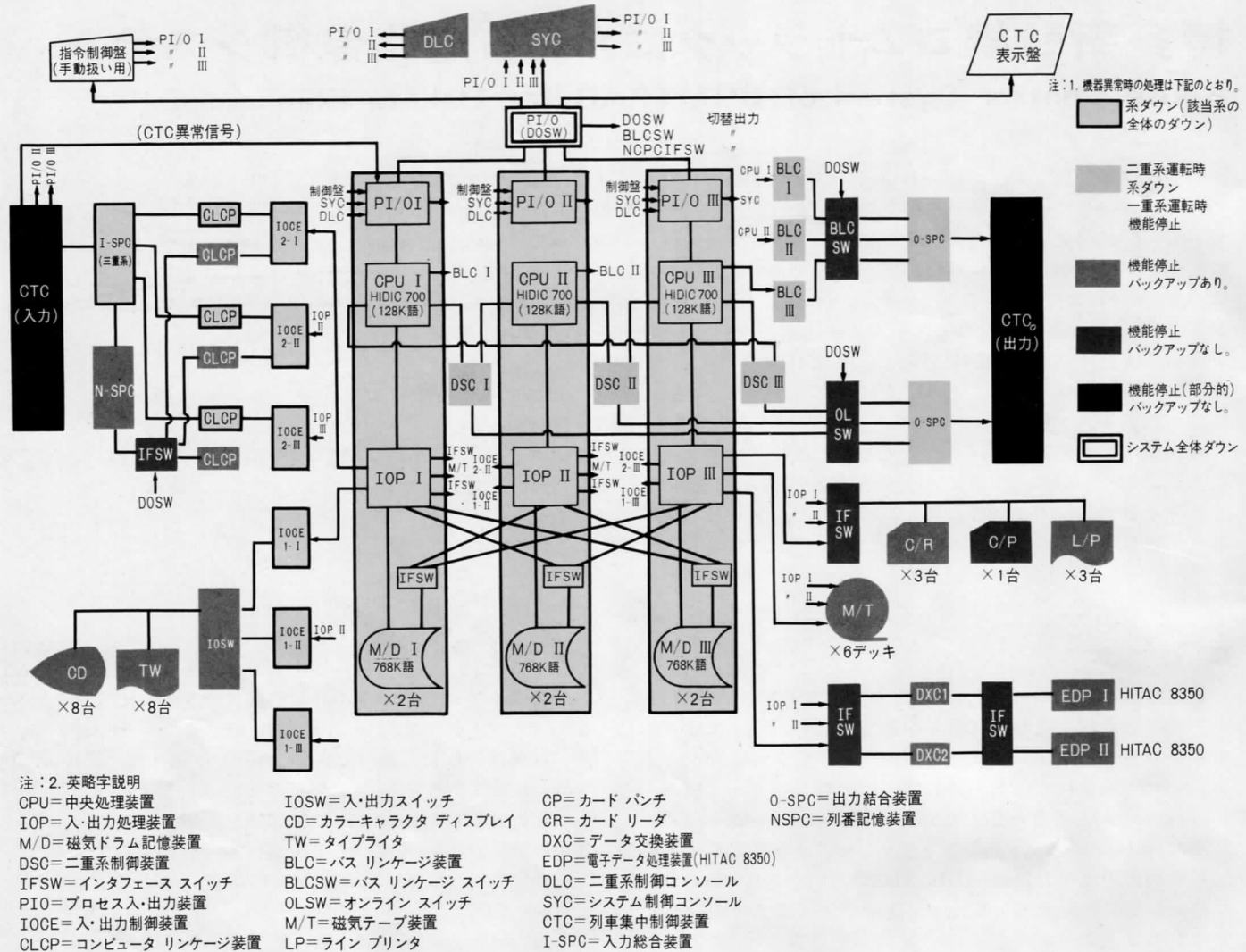


図1 COMTRAC進路制御系ハードウェア構成図 システムのハードウェアの構成は、HIDIC 700制御用計算機3台を中心に組みあげられている。

ており、図2はその電子計算機ソフトウェアシステムの構成を各機能別に表わしたものである。

各機能の電子計算機内処理プログラムを、機能ごとにサブシステムとしてモジュール化し、プログラム作成の能率向上とともにソフトウェアのフォールバック機能を各モジュール単位に行なえるようにした。開発したプログラムの総容量は、オンライン制御用プログラム：420K語、及びシミュレータなどユーティリティプログラム：90K語である。

列車ダイヤ、駅設備データなどのデータファイル及び在線列車の追跡制御テーブルを標準化し、各データは、列車番号、駅名コードなどの論理アドレスでアクセスできるようにマクロ化(標準サブルーチン群で構成)した。これにより、駅設備の改修を容易にするとともに、各サブシステムの重複したプログラム作成の大幅削減と、データベース化を図ることができた。

4 電子計算機システムの特長

岡山新幹線システムの実績から、システムの構成は二重系並列運転を基本とし、プログラムタスクレベルで2系の同期をとり、処理結果を突き合わせ誤出力を防ぐ方式とした。今回のシステムでは、更に1台の子備系を置き、二重系運転

中の1台が故障した場合、自動的に残った1台と予備系とで二重系再構成を行なう3台の電子計算機システムを完成した。この構成を二重化3台系システムと称する。これは情報の高い信頼性と、システムの安定性を表す高い稼働率とを達成すると同時に、線路の拡張など設備の改修に伴う電子計算機ハードウェア、プログラムの改造・試験を、24時間営業運転中に可能とすることを目的としたものである。

4.1 二重系並列運転

二重系並列運転方式は岡山新幹線システムを踏襲し、更に処理性の向上、及び系切替時の連続性を高めたDSC(Dual System Controller)結合方式⁽²⁾を採用しており、基本構成を図3に示す。その特長は次に述べるとおりである。

- (1) 二重系データの比較照合、処理の同期を第三のハードウェアDSCで行なう。
- (2) コアメモリは32K語単位の四つのコアバンク(BANK 1~4)から構成し、各他系コアメモリへのコピー転送機能を持ち、系切替時の処理の連続性を高めた。
- (3) 磁気ドラム記憶装置を2本に分け、入・出力処理装置(IOP)のチャンネルに接続、ドラムからのデータ転送の平行化により演算装置(BPU)のタスク処理効率の改善を図った。

プログラムとデータの配置は、Computer Load Simulator

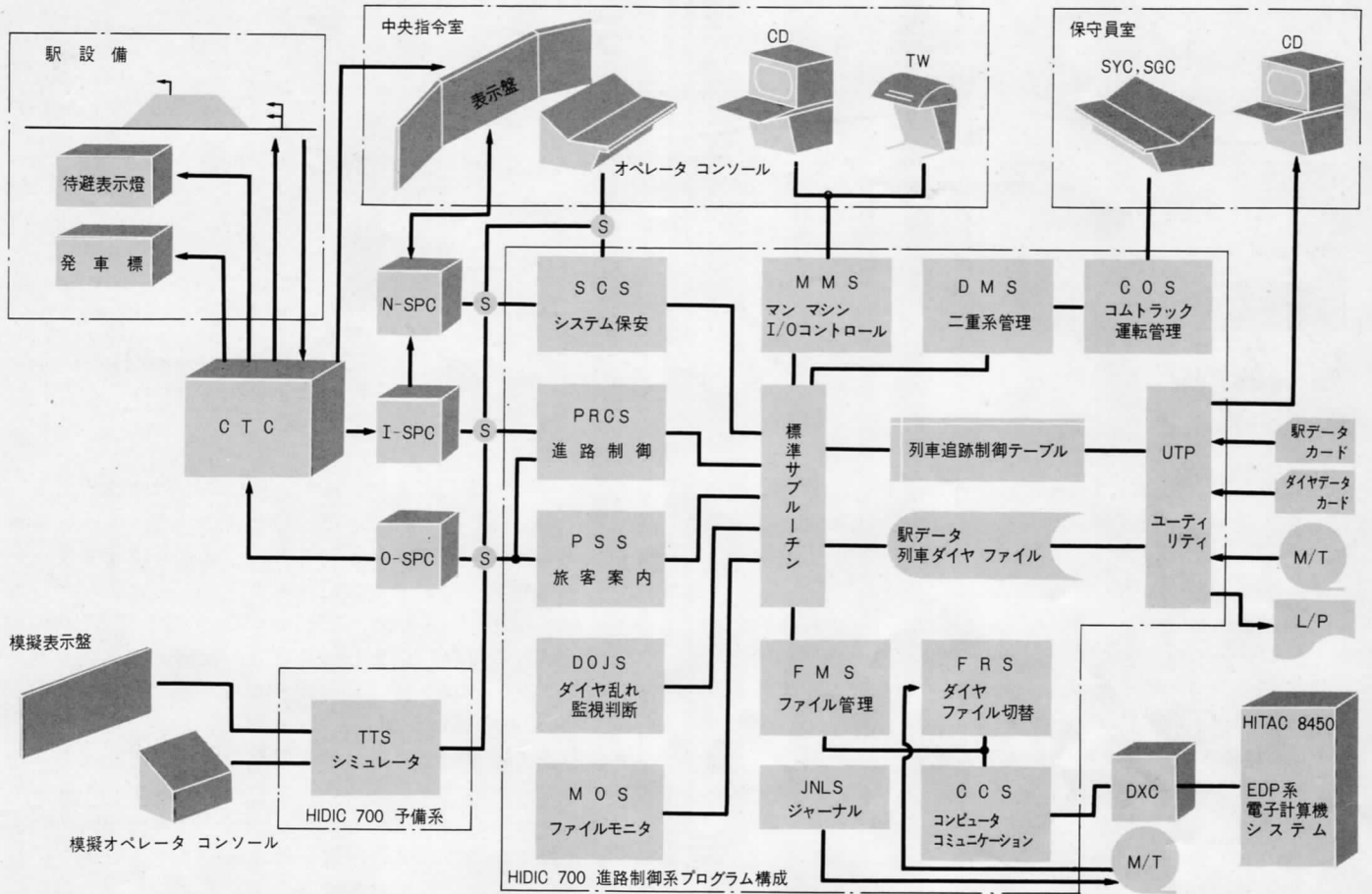
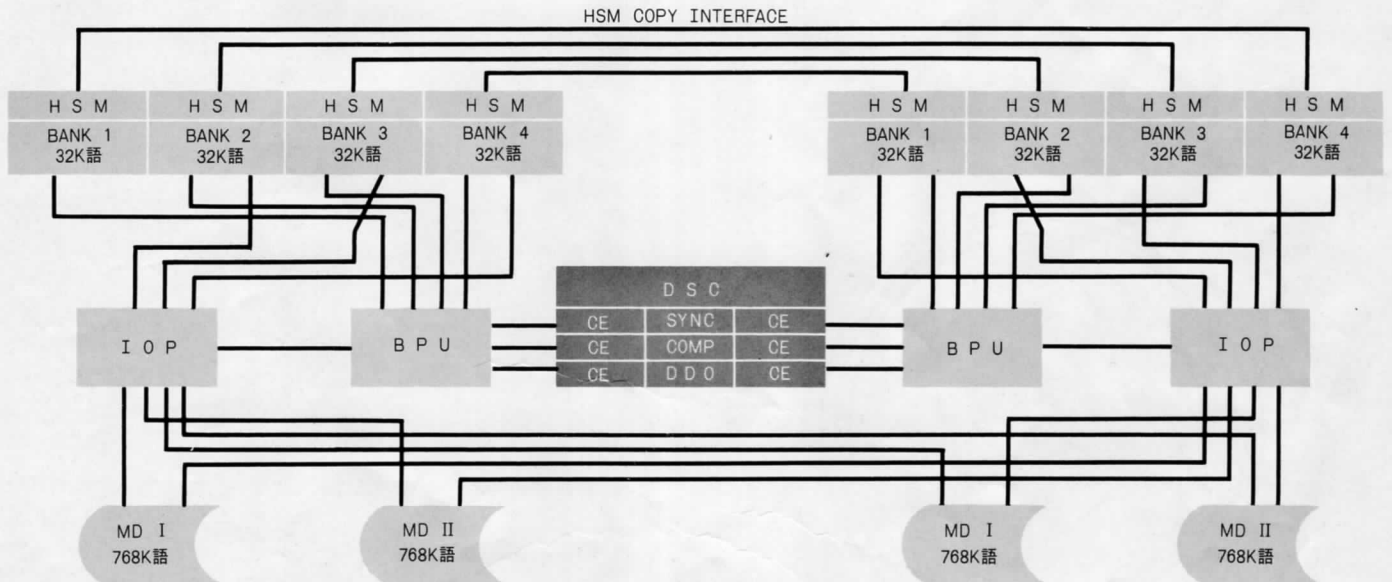


図2 コムトラック進路制御系システム構成図 HIDIC 700進路制御系は、駅データ ファイル、ダイヤファイルを中心に、14個のサブシステム モジュールで構成されている。



注：英略字説明 HSM=コアメモリ記憶装置 BPU=演算装置 IOP=入・出力処理装置 DSC=二重系監視装置 MD=磁気ドラム記憶装置

図3 HIDIC 700二重系システムの基本構成 HIDIC 700 CPUのハードウェアとDSC結合方式による二重系システムの基本構成を示す。

(CLS)⁽³⁾などの各種の電子計算機負荷シミュレータを駆使し、事前に評価した結果に基づきその最適配分設計を行なった。HIDIC 700の四つのBANKから成るコアメモリは図4に示すように、各対応するプログラムと参照する外部記憶装置(MD)

を明確に分離定義した。BANK 1は、オペレーティングシステム(OS)など他のあらゆるBANKのプログラムから共通に使用されるプログラムと、データエリアを配置し、BANK 2は、高速処理を要求される進路制御プログラムをコアに常駐させ、

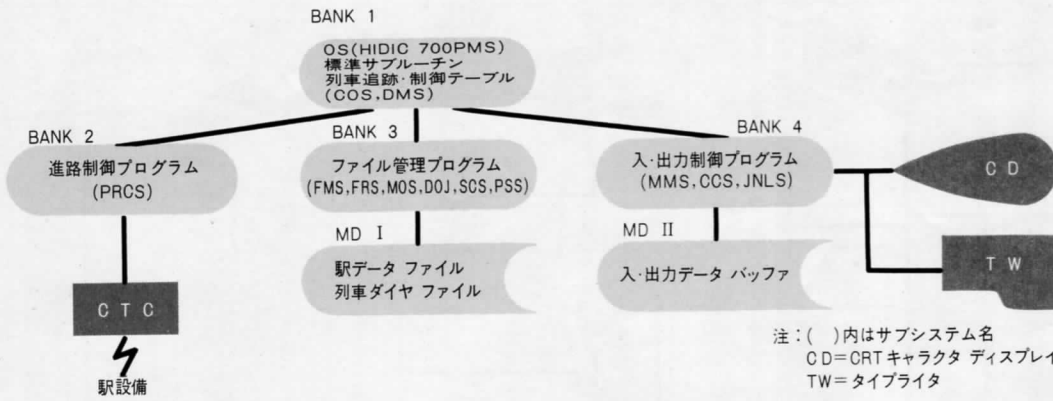


図4 コアバンク対応動作プログラム BANK Iは共通, BANK 2, 3, 4が3台の独立したプロセッサのように時分割的に同時処理可能とした。

アに常駐させ、BANK 3と4には、列車ダイヤファイルの参照を主体とするプログラムと、低速の入・出力機器を制御するため、入・出力バッファをもった入・出力制御プログラムをそれぞれ配置した。

この結果、高速コアメモリと低速外部メモリが有機的に動作し、見掛け上3台のプロセッサが一つの中央処理装置内に実現し、マクロ的なレベルでの処理性の効率向上を図ることができた。

4.2 二重化3台系高信頼化システム構成

二重化3台系システムは、第三のハードウェアDSCを図5に示すように各電子計算機の中に3台それぞれ配置し、シンメトリックな構成とした。

このような構成のシステムの信頼度を評価するため、計算した平均故障間隔時間(MTBF)の結果を図6に示す。計算のモデルは、二重系並列部分と、切換スイッチのような一重系共通部分、及び各電子計算機に全く同一のソフトウェア(プログラム)が直列に結合されているモデルとする。図6は、横軸にこの予備系と残りの正常系とで、二重系並列運転に切り替えるまでの並列再構成時間をとったものである。予備系

をもたない二重系並列運転システムでは、この切替時間は一重系の平均故障時間(MDT)で一般に数時間であるが切替時間を短縮すれば、MTBFは長くなり、一重系共通部分のハードウェアとソフトウェアの信頼性を上げることにより、システムの高信頼化が得られることが分かる。そこで、このシステムで系切替の自動化による切替時間の短縮と、ソフトウェアフォールバック機能の2点を高信頼化の重点項目とした。

4.3 システムの運転形態

3台の電子計算機はオンライン運転、保守及び後述する各種試験運転を考慮すると、39とおりの運転形態ができる。オンライン運転における基本的な3台の電子計算機の運転形態の一例を図7に示す。2台の電子計算機が並列運転中、予備系は保守作業が完了している場合、システムコンソールから待機の指示をしておく。この状態でオンライン運転中の片系が故障でダウンすると、オンライン系はいったん単独運転となるが、自動的に待機系と並列再構成を行なう。指令室に故障と系切替のアラームが出るので、直ちに保守員に連絡する。故障系の修理、回復が完了すると、再び待機を指示しておくことにより最初の状態に戻り、同時に2台が故障しない限り、

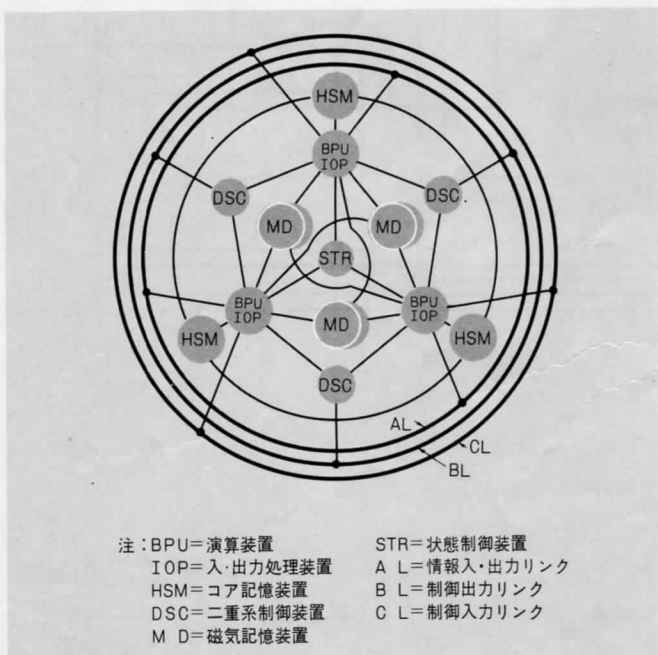


図5 二重化3台系構成制御ハードウェア 3台のCPUとDSCの結合方式、及びCPU相互のインタフェース並びに相互インタロックの方式を示したものである。

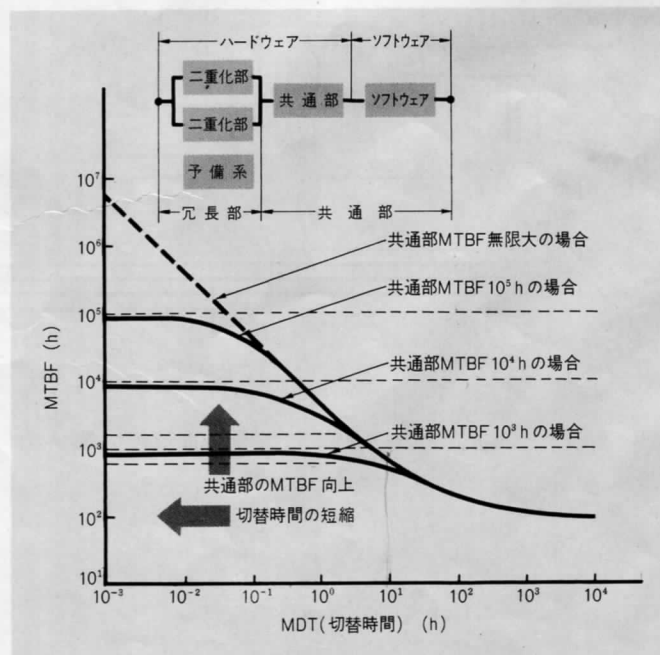


図6 二重系システムの信頼度 二重系システムの信頼度をソフトウェアを含む共通部分の信頼度と、二重系切替時間との2面から評価した。

常に二重系並列運転を確保することができる。この場合のシステム再構成（二重系運転からなんらかの原因で一重系運転になり、直ちに自動的に二重系運転を再度開始するまで）時間は11.5秒を得ることができた。

このように、オンライン運転と保守、試験における各種の運転形態を一括して管理する構成制御プログラムの完成は、二重系だけにとどまらず複合計算機システムの構成制御方式⁽⁴⁾の基礎を確立したものと見える。

4.4 システム フォールバック機能

電子計算機ハードウェアのCPUを取りまく、磁気ドラムなど制御に直結している重要機器は、システムとして完全予備系を置き、故障時にはこの系を切り離し、待期系で運転を続行させる。複数台必要なオンライン入・出力装置や、比較的オフライン的な使われ方をする装置では、故障部分を切り離して残りの部分でバックアップする方式をとった。しかし、電子計算機システムの規模が大きくなると、図6で示したようにプログラム不良(バグ)によるシステム停止という現象が無視できなくなってくる。そこで、プログラム フォールバック手法⁽⁵⁾を新しく開発しこのシステムに適用した。

この適用したシステム フォールバックの処理概念を図8に示す。ソフトウェアのフォールバック手法は、プログラムの

エラーを起こした部分だけを切り離す手法で、エラー発生プログラムによって切り離すべき範囲を、あらかじめ図9に示す五つのレベルに定義し、タスクを分類した。この結果、6ヶ月に及ぶ試験運転期間中に生じたプログラム エラーのうち、約80%をシステム ダウンから救済することができた。

次に制御対象である設備側の異常に対するシステム フォールバック機能がある。制御範囲が1,000kmに及ぶため、CTCなど通信系統、現場設備などの故障をできるだけシステム全体に波及しないよう、東京・新大阪・博多の各ターミナル駅は、駅単位に、その他の中間駅では駅の上り線、下り線単位に電子計算機制御から切り離し、中央手動、若しくは駅扱いで進路制御を可能とした。

5 マン マシン コミュニケーション

指令員と電子計算機のコミュニケーションは、主にブラウン管によるカラー キャラクタ ディスプレイ(CD)を通じて行なわれ、その対話形式を次の四つのパターンに分類する。

- (1) 警報パターン(マン←マシン)：画面数=33, 電子計算機が検知した情報を指令員に通報する。
- (2) 問いかけパターン(マン↔マシン)：画面数=24, 電子計算機が検知・判断した情報に対して、指令員が指示を与える。

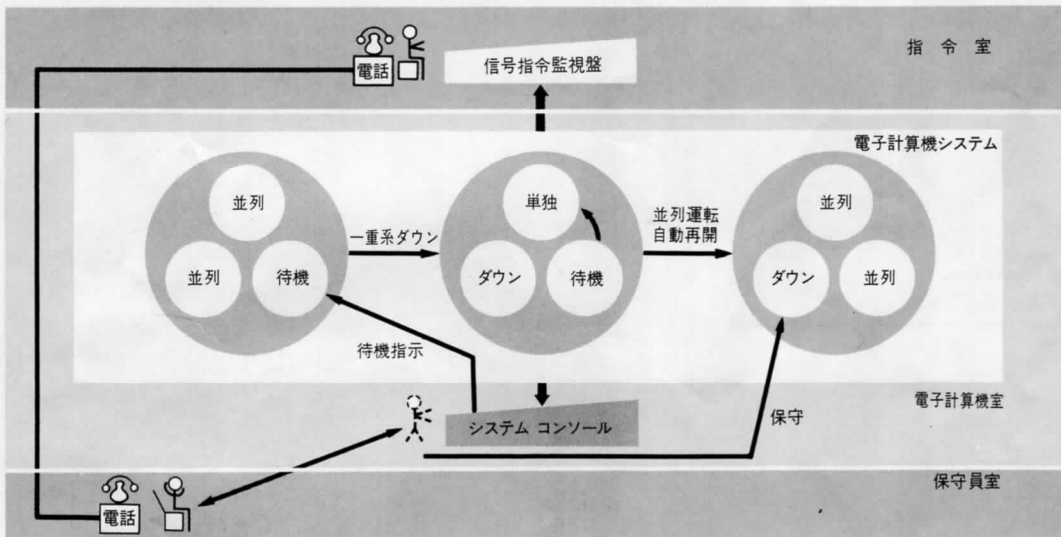


図7 システムの運転形態
3台の電子計算機の系構成切替、及び指令員と保守員との関係を示す。

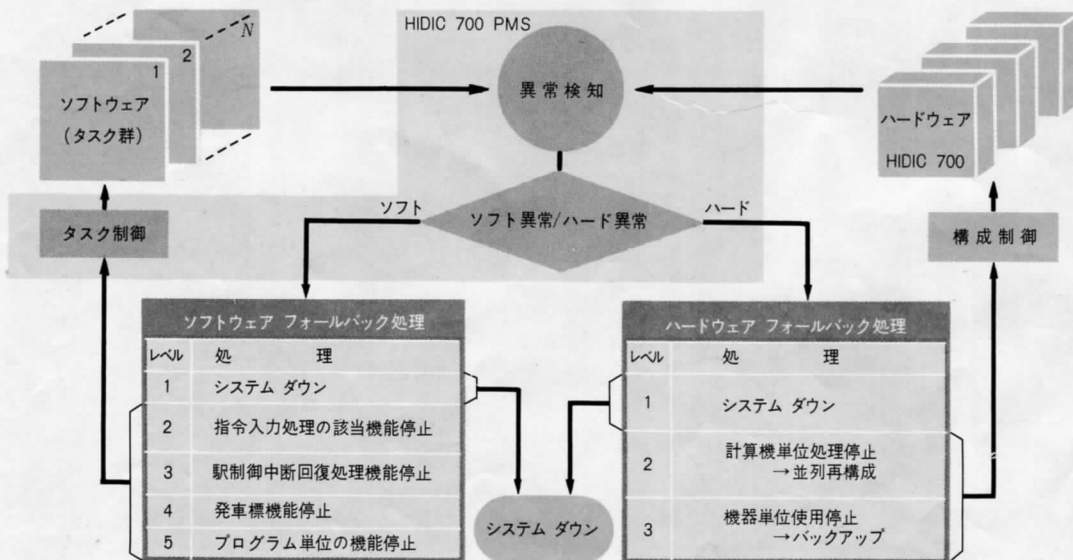


図8 システム フォールバック概念図
ハードウェア3レベル、ソフトウェア5レベルのフォールバック モードをもつ、フォールバック処理の流れを示す。



図9 CDけん盤(左)及び画面例(右) 指令入力項目、駅名キーなど、コムトラック専用製作したCDのファンクションけん盤と、画面の一例を示す。

(3) 直接入力パターン(マン→マシン)：画面数=36, 指令員が電子計算機に対して、指示を一方向的に与える。

(4) モニタパターン(マン↔マシン)：画面数=8, 指令員の要求により、電子計算機内の情報を表示出力する。

ここで示した矢印は、情報の流れる方向を表わしたものである。このように、画面数は計101と多数であり、CDの操作性を良くするため、入力用けん盤は図9に示すように、各駅名と指令入力項目(画面パターン)、選択用のファンクションキーなどを機能的に配置した。これにより、1操作で指令入力画面フォーマットが呼び出せるとともに、駅名の入力など容易にし、ユニバーサルキーによる煩雑な操作から解放した。

オンライン制御中のマンマシンコミュニケーションの一例として、駅入場列車の電子計算機による列車番号確認処理を図10に示す。列車がN点を通じたとき、電子計算機は列車番号検知装置から送られてくる列車番号(以下、列番と略す)と電子計算機内部で前駅から追跡制御してきている列車の列番との確認チェックを行なう。これが不一致の場合、CDにより指令員に問い合わせ、指令員は電子計算機の列車追跡が誤っていると判断した場合、該当駅の電子計算機制御を中断し、指令員の手動制御に切り替える。電子計算機制御を中断した駅の回復は、指令員がCDから回復指令することにより、電子計算機はSPC内に蓄積されている在線列車の列番データから、自動的に回復処理を行ない、手動制御から電子計算機制御に切り替えることができる。

6 結 言

コムトラックは日本の最重要輸送手段である新幹線の進路制御をつかさどるシステムとして、高い信頼性が要求される。この論文は、そのような観点から進路制御系の高信頼化技法に焦点を絞って述べた。また電子計算機システムの規模が大きくなると、必然的にソフトウェアは実験的要素が加わって来るとともに、その成長性というものが無視できなくなってくる。これは高い信頼度を維持していく努力に対して逆の作用をするものであり、この点を考慮のうえ、システム構成制御とソフトウェアのフォールバック機能とについて十分な検討を行なった。今回はこのシステムの特長であるマンマシンインタフェースについては簡単に一例を挙げるにとどめた。

最後にこのシステムの開発に当たり、終始御指導と御協力をいただいた関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 今城、井原ほか「新幹線運転管理システム コムトラック (COMTRAC)」日立評論 54, 733 (昭47-8)
- (2) 三森、三巻「高信頼化2重系計算機システム」電気学会92-C 1 (1972, 1)
- (3) 福岡、三森ほか「制御用計算機負荷シミュレータCLS」電気学会 91, 8 (1971, 8)
- (4) 中尾、三巻「Command & Control Systemに用いられる複合計算機システムの構成制御」昭和49年電気学会全国大会 1044
- (5) 福岡、久保「リアルタイムシステムにおけるプログラム・フォールバック手法」情報処理学会 昭和49年度大会 178

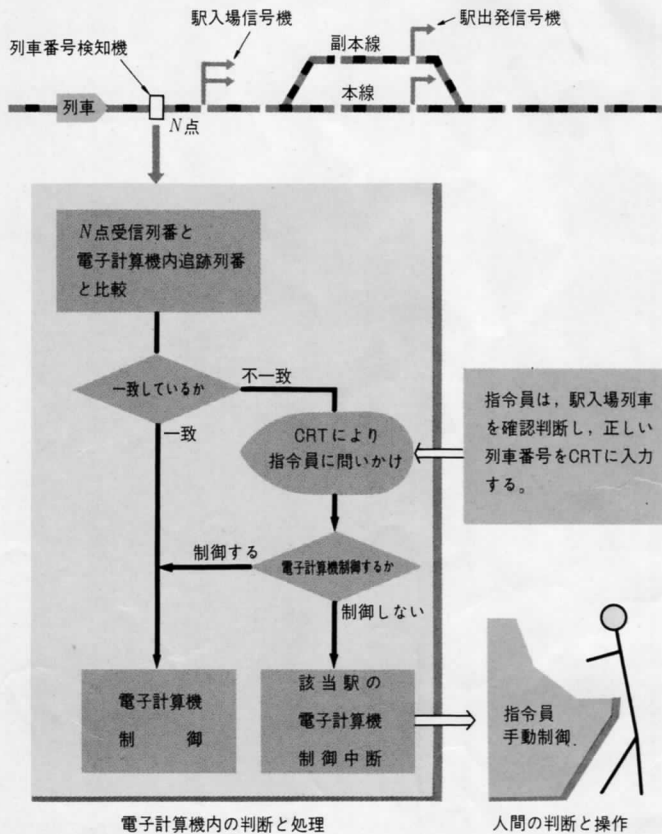


図10 マンマシンコミュニケーションの一例 列車追跡制御における設備故障時などのコムトラックにおけるマンマシンコミュニケーションの一例を示す。