

解説



オンライン・システム・MARS のソフトウェア†

(ハードウェアとの機能分担)

穂 坂 衛††

1. 序 論

1.1 国鉄におけるオンラインシステム¹⁾

今日緑の窓口と呼ばれている国鉄座席予約システム(システム名は MARS)の源流は昭和 29 年にまで溯れるが、実現の第 1 歩は、1960 年(昭 35)1 月、東京大阪間のビジネス特急 4 列車、2,100 席の 15 日分を対象とし、中央装置は東京駅構内に、窓口装置は東京地区の 10 箇所配置して営業を開始した MARS-1 である。そのシステムの高性能と高信頼性が実証されたため、国鉄は同年全国の多数の列車を対象とし、単に座席指定だけでなく、予約業務全般のコンピュータ化を決定した。1964 年 2 月、新システム MARS-101 は、MARS-1 に替って営業を開始し、つづいて同型の MARS-102 の追加によって、152 駅に緑の窓口が開設され、65 年末では 238 列車、12 万 7 千座席の 8 日分が自動化の対象となった。

MARS-1, MARS-101 の着手当時は、鉄道を対象とした予約システムの前例はなく、殊に MARS-101 は多くの端末と通信線で結合し、かつ総合化されたオンラインシステムである。その開発は、要求分析から始まって、CPU、通信回線制御、窓口装置まで含めた多数の機器とソフトウェアの設計製作、システムの運用に至るまでわが国ではすべて新しい試みであった。またオンライン・リアルタイムの仕事が対象であるため、性能と信頼性の確保に最重点がおかれ、システム製作と共に多数の要員の訓練、現場における十分なテストの後に営業開始となったのである。

これらのシステムは、その発想時から当時のわが国のコンピュータの主流とは異なる独自の方式をとった開発であったが、MARS-1 は与えられた条件の中で最適化されたシステムであり、MARS-101 は、今日の言葉を用いれば、フロントエンドの通信制御、バッ

クエンドのデータベース処理機構をもったマルチプロセス、マルチプログラムのオンライン・リアルタイム・システムと言うことができる。

現在、緑の窓口のシステムは、規模を拡大し MARS-105 となっている。しかし方式的には MARS-101 を受け継いでいる。

この解説の要求は、応用ソフトウェアの中のオンラインシステムということであるが、我々の場合は、ハードウェアの機能も含めて説明しなければならない。それは、目的のシステムの建設に当って、すでにハードウェアが存在したわけではなく、如何にしてハードウェアとソフトウェアの機能をうまく協調、分担させて目的を達成するかが最も重要な仕事であったからであるのと、MARS-1 や MARS-101 のハードウェア部の機能を理解しなければ、オンライン・リアルタイムのソフトウェアの解説をしても、その意味が通じなくなる恐れがあると考えからである。

1.2 国鉄におけるコンピュータ利用構想の芽え

何時国鉄にデジタル・コンピュータの知識が導入されたか明らかではないが、筆者個人に限定すれば、高速の自動計算機ができたことを知ったのは、1952 年(昭 27)、筆者がフルブライト留学生として渡米する前であった。米国では MIT に滞在したが、特別にコンピュータの勉強ができたわけではない。ただ自分の興味から文献²⁾を集めたり、学会に出席もした。筆者は戦時中、海軍で航空機設計に携わり、多量の計算に悩まされ、戦後国鉄の研究所に勤務し、自分の考案した計測器類が多用されたため、そのデータ整理の自動化を考えた³⁾。そのようなことでコンピュータの開発と利用には関心があった。しかし国内の動きについては、1955 年頃まで知らなかった。

1953 年半ば帰国後、本務である車輛運動学の研究の傍ら、コンピュータの勉強をしているうち、その頃唱えられ始めた事務処理⁴⁾への応用を越えて国鉄本来の業務である旅客、貨物の輸送、列車運行制御に、コンピュータが使えるはずであることに気がついた。当時

† On System Development of the Seat Reservation Systems of Japanese National Railways by Mamoru HOSAKA (Tokyo Denki University).

†† 東京電機大学電気通信工学科

誰もその様な考えは持たなかったと思う。54年半ば、筆者は、機械系の同僚、市川邦彦(現、上智大学)、大野豊(現、京大)氏、その他の方を誘って、国鉄の業務(システムという言葉はなかった)の制御にコンピュータ利用の可能性を考える自発的な研究グループを作り、勉強や討議を開始し、また研究所の上層部へのPRや一般への啓蒙を行った。これによって、55年度には「電子計算機の調査」の研究項目が正式に認められ、また本社審議室や本社電気局通信課にも意見を述べる機会が持てるようになった。そして電気局通信課の主催する委員会で55~58年にわたり貨車情報の集計、分類や座席予約のコンピュータ化、さらに列車運行制御、貨車配車総合情報システム等の提案を行った^{5),6)}。

1.3 Bendix G-15 の導入

55年度の計算機調査研究により、国内のコンピュータの状況をしらべた結果、国鉄自身がこの分野で独自の力を持たなければ、理想は達成できないことを痛感した。そのため適切なコンピュータを輸入し、その利用と技術の獲得を早急に行うべきことを上申し、Bendix G-15がその目的に最も合うとした。大塚誠之研究所長より、この機械の購入の内諾は56年2月に得られ、6月に購入契約、57年5月初め、当時浜松町にあった研究所に機械は設置された。この機械は、命令の型式は複雑で、変化が多いが、多様な入出力が演算と平行して取扱えること、一挙にデータの移動や和がとれること、外部信号により命令レジスタの回避、復帰ができること、さらに使用真空管が400本に過ぎないこと等、我々の目的遂行のために必要な技術獲得に、これが極めて適切であると判断した⁷⁾。恐らく当時この機械の存在を知っていた人は、わが国には少なかったであろうし、複雑な命令(マイクロプログラム)と巧妙な制御は、問題意識をもって見ない限り、異常な機械としか見えなかったと思う。

我々は機械が到着する1年半前からBendix社と接触し情報を入手し、理解に努めた。我々の選択が誤りでなかったことはすぐ実証されるのであるが、1969年のACMのHistorical Surveyによれば⁸⁾、「第1世代の多くのドラムコンピュータの中で、LGP-30とBendix G-15が最高の成功であった。前者は基礎的コンピュータであり、後者は遥かにsophisticateなマイクロプログラム・コンピュータであった。そのためソフトウェアが完備してから人気がでた」と書かれている。事実、ハードウェアとそのマイクロ・プログラムのレベルまで、この機械を完全にマスタした人は

研究所でも少なかった。大野豊氏はその少ない一人であり、MARS-1の開発に当ってその知識が十分に活用された。

2. MARS-1

2.1 構想と試作決定まで

座席予約の問題は、筆者らが1954年半ば制御研究のグループを作ったときから心にあったが、具体的に考えている余裕はなかった。55年6月、当時、筆者の所属していた車輛運動研究室の軽井沢旅行の日に、早く仕事を切りあげて上野駅に行った組(筆者もそのうちの一人)は座席がなく、定時まで仕事をした組は座席があった。この不合理を解決すべきであると、筆者は満員列車の中で立ちながら、問題点を具体的に考え始めた。それから当時の予約事務の調査や、一人の旅客として新橋駅の窓口で係員の働きを観察し、問題点の把握につとめた。

国鉄の座席予約は、座席位置の指定であり、座席の効率的利用と複数の要求には隣接条件の配慮が必要で、乗る人数だけを問題にする航空機の座席予約と基本的に異なっている。しかも国鉄では列車数が多く、1列車は10輛以上で各種の型式の車輛が混在する。乗降駅が極めて多く、取扱い窓口も多いこと等も航空機の場合と異なり、コンピュータ化の難しい所であった。さらに列車名、乗降駅名の取扱い、多数箇所とコンピュータとの通信線による結合、窓口装置における入出力、旅客の要求する座席位置パターン的高速探索、とファイル更新、また誤動作やシステム停止による混乱発生防止等を考えると、筆者はこのコンピュータ化は航空機なみの列車予約か、せめて車輛単位の予約にするべきであるとする誘惑にかられた。しかしそれを主張したら営業局からの反撃は明らかであり、信用を失い、国鉄でのコンピュータの研究は潰されかねないと思った。

この解決に思を致しているときに、Bendix G-15を知り、それに用いている方式と技術を発展させれば、座席パターン探索の高速化や、入出力の独立平行処理は可能であると判断し、他の条件を簡略化すれば、試作的な予約システムは建設可能であると思うようになった。これらの情報を本社通信課や研究所内部にも流した。これより前1956年2月、研究所に組織変更があり、新しく自動制御研究室(室長河野忠義氏)が作られ、別々の研究室に属していた我々はそこへ移り、本格的にコンピュータに取組むことができるようにな

った。筆者の日記によれば、57年1月24日、本社審議室の会議で、座席予約と貨車配車業務のコンピュータ化の可能性に関して報告しており、同年2月8日、筆者は大野豊氏に対し、予約システム設計の進行と協力を依頼している。Bendix G-15の受入れ、勉強等と重なって、57年は関係者は全く多忙であった。

57年6月、鉄道通信協会は、事務近代化通信網に関する調査研究委員会（委員長高橋秀俊教授）を設置した。これは主として座席予約に関する国鉄内の諸要求やシステム仕様を示し、研究所案や各メーカーから提出され案の検討を行うことが目的で、部外は大学、電電、通研、および各メーカーから、部内は審議室、配車課、旅客課、通信課、研究所から委員が出ている。したがって当時の国鉄以外のコンピュータ関係の専門家によって、メーカーの案と鉄研案とが比較されることになるのであるが、報告書⁹⁾に見られる通り、大野豊がまとめた国鉄研究所案は、問題点を把握しその技術的解決が含まれており、他とは質的な差があった。これらの結果から、研究所案が1958年の試作許可に繋るのである。

部内だけの会合では、旅客課からは、当時の技術では無理な要求も多く出され、筆者らは次の本格システムではそれらを必ず実現すると約束し、試作時の簡略化を認めてもらった。その代り、次のMARS-101では当時では存在しない程の高度なシステムを作り上げなければならなかった。

2.2 MARS-1の要求概要

研究所案にもとづいた予約システム(MARS-1の名称は完成後に付けられたものである。)の試作は、国鉄の1958年度の技術課題として決定され、その製作は日立製作所の戸塚工場が当ることになった。日立は当時、パラメトロンや電気試験所の方式、回路などには経験はあったようであるが、我々の方式には馴みはなかった。そのため国鉄の研究所で大野が行っていた回路実験、通信回線との結合、伝送やMARS-1の論理設計、およびBendix G-15の特徴である磁気ドラム遅延線による循環レジスタ等々について勉強しなければならなかった。日立から無線の谷恭彦氏、コンピュータの波多野泰吉、能谷千尋氏が礎坂、大野と協力することになった。立上り時には合宿して、勉強と情報交換を行った。

MARS-1の仕様は次のようなものである。

1) 4列車、1日あたり3,600座席、15日間を対象とする。

2) 各座席は3区間に分け、独立に予約し、全区間同一人かどうかを区別し、座席利用率の向上をはかる。

3) 座席有無の照合、予約、解約回答とモニタ印刷、空席残数表示、一車輛分の予約座席パターンのCRT表示、予約状況通知書の印刷の他に、システム維持、テストの諸機能をもつ。

4) 1回の操作で車輛の一区割内で隣接する1~4座席を探し、その列車内、車輛内優先順位は、多数の旅客の好みに合わせる。

5) 通信系はパリティ・チェックファイル更新にはサム・チェック、中央装置は二重系とし照合チェック、片系不良検出と一重系への切替、二重系への復原等、信頼性の確保は必須の条件である。

6) 窓口装置と中央装置との接続は待時交換方式とする。

7) 中央装置の要求処理時間は0.15秒以下とし、窓口での応答時間は3秒以内とする。

8) システム監視用コンソールを備け、テスト、切換え、新列車設定等の作業を一個所で行う。

2.3 中央装置制御の方式⁹⁾

国鉄座席予約システムを建設するに当たって、初めに筆者らが問題にしていた多数列車、多数乗降駅、多数窓口、指定券印刷等は、試作機では単純化されたが、座席パターンの優先性のある探索と更新、および各種の入出力動作の平行処理を、オンライン・リアルタイムで高速高信頼性をもって取扱うのは絶対に必要とされた。

そのため考えなければならぬことは、記憶装置であるフィールドラムと論理の信頼性確保を前提とし、システム性能をあげるため情報記述の方法(データ構造)の最適化とファイル・アクセスの極少化と命令シーケンスの待ちのない生成、さらに大きなビットパターンの取扱いや、入出力の平行処理のため必要となる多数の大容量のレジスタ類や、その制御に用いるハードウェアを極力減らし、しかも性能低下をおさえることであった。そのため、レジスタ類はドラムの一部を再生循環レジスタとすること、それとの外部とのデータの交換は、プレセッション(循環レジスタのループの中にシフトレジスタを挿入し取りはずすことで、循環サイクルを変える方法)を用いる。大小の循環レジスタの結合や組合せによってデータ転送、比較操作やその他の論理操作を、連続的に行えるようにする。したがって、ファイル記憶の中のデータ構造は、その目的

に合せ、列車名、車輛番号、等級、座席領域区分等の制御情報と各区分ごとの空席パターンデータを続けてアクセスできるようにする。ファイルよりレジスタに空席パターンが移行するとき制御情報を分離し、座席パターンの優先探索の条件を、要求人数に応じて設定し、要求を満たす座席位置を求め、つづいてファイルの中にある対応する各区分間の空席パターンの更新を行う。

動作の制御シーケンスは、レジスタにセットされた命令の操作部から、ハードウェア的に発生させるマイクロプログラム方式とし、命令読み出しに伴う待ち時間をなくす、データ転送や更新は常にビットサムのチェック、回答は2重系での一致をとり、編集して、送受信レジスタに送り、送信を起動する。CPUは直ちに他の送受信レジスタに存在する要求データを命令レジスタに取り込んで、次のサイクルに入る。各種の要求に対する動作は、マイクロシーケンスの分岐によって対処する。

以上のように基本設計を採用することによって、当時利用できる技術を用いて、目標とした機能と信頼性をもったシステムを作ることができた。このようなデータ構造と探索方式は、回転型ファイルを用いる限り、最適、最高速なものであるため、MARS-101での遥かに複雑な、車輛型式、編成、区間分割に対しても採用された。ただ循環レジスタの代りにコアメモリが、その役割を果たす。MARS-1に相当する機能は座席ファイル・コンピュータとして、MARS-101以後、マルチコンピュータシステムの構成要素として、今日に至るまで生きつづけている。システムは完成と共に、MARS (Magnetic Automatic Reservation System) の名が与えられた。

2.4 運用実績と効果

MARS-1は1960年1月18日に営業運転に入った。初期10カ月の稼働率は99.86%、以後は99.95%以上を確保している。これは方式、回路設計が適切であったのと、保守の職員の努力による。このシステムの成功は独自の開発に対して、使用者、製出者に自信を与えた。そしてマン・マシンのインタフェース、通信回線との結合の重要性がよく認識された。また国鉄部門にコンピュータへの理解が広まった。MARS-1は旅客をはじめ窓口職員、車掌からも非常に好評であった。この結果として、総合予約システムへの発展が望まれ、60年6月には鉄道通信協会の中に「座席予約通信系の研究」委員会(委員長、阪本捷房東大教授)が

発足し、国鉄は重要技術課題として全国系予約装置の試作試験を取り上げた。

3. MARS-101

3.1 システムの構想

前記の委員会では、総合予約システムの条件、予約制度のあり方、回線網、通信方式等について、国鉄より出されたデータや試案が審議された。全国系予約装置として次のような要求仕様が与えられた。

(i) 指定された日、列車、区間、等級の座席、寝台を一回に最大4人分予約し、料金計算と発券を行う、位置指定の予約、解約、および照会もできること。各窓口の毎日の収入の報告と窓口装置の試験ができること。

(ii) 座席ファイルの管理には予約業務の正常な維持のための各種の操作をすべて含むこと。

(iii) 料金の審査や営業実績の把握に必要な各種の報告の作成ができること。

(iv) 1日あたり3万座席、(ファイル増設で7万座席)8日分を取扱えること、毎分最大1,200件の処理が行えること。

この要求を詳細に検討した筆者(すでにMARS-1の完成を見届けた後、東大に移っていた)は、新システムの要求を満たすには、MARS-1の高性能化だけでは対処できないことを指摘した。MARS-1はほぼ最適化されたシステムであって、その建設の時に省略を許された事項の多くは、取扱えないし、その上、多数、多種の列車、客車、停車駅、遥かに多い通信量と窓口の数、大規模、複雑化に対するシステム管理やその障害時対策を完全に考える必要がある。さらに窓口機器の取扱いの複雑化をもたらさず、出力の有価証券としての指定券発行が出来なければならぬ。昭和35年当時の既製のコンピュータ技術では、これらは不可能に近い性能と規模の要求であるため、新しい構想が絶対に必要であった。

穂坂は次の考を導入した。多量生産における製造ラインは、素材が流れていくうちに、つぎつぎに専用機械で加工され、部品が付加され、出口では完成品となって出てゆく。このとき、それぞれの機械が最高能力が発揮できるように、資材や部品を供給し、流れを制御すれば、1つのものの製造に時間はかかっても単位時間あたりの生産量は増加する。これと同様な考えを情報処理にも利用すれば、多種多様でしかも多量の要求を処理でき、流れの監視と制御を行うことで、処理

量をあげしかもシステムのネックや不工合の発見，修正もでき易くなるであろうと考えた。そして次の様なシステムの構成を提案した¹⁰⁾。

(i) 多数の窓口装置から来る要求と，それへ送る回答の送受信を取り扱うコンピュータ的な装置と，その必要とするプログラムとバッファを動的に供給できる方法を確立する。

(ii) 多数，多種の列車，停車駅，料金算定，列車スケジュール等を参照した後に，座席ファイルにアクセスする仕事が極めて多い。そのため変換表や関連表を高速に取り扱うことのできるコンピュータ的な装置が必要である。それと授受すべきデータと命令とを供給する方法を確立する。

(iii) 日付，列車の編成，車輛の型式は多様なので，座席予約パターンと共に座席ファイルに貯え，MARS-1 と同様な方式で，座席パターンの探索を行う。そのデータにアクセスするためのアドレスは(ii)で求めた結果を用いる。優先順位の探索方法は，MARS-1 とほぼ同じとし，再生循環レジスタの代りにコアを用いる(やっと少量のコア記憶装置が利用できるようになったため)。この座席ファイルのコンピュータとのデータと命令授受の方法を確立する。

(iv) 上記の3種のコンピュータを管理し，データの変換，指令の作製，情報の授受，特殊取扱いを必要

とする要求の処理，および2重系の協調，誤り処理等を受持つコンピュータが必要である。この機械では，稀におこる列車のダイヤや編成の変更，取扱い規定の変更に対処するだけでなく，日常の業務の報告類の作成，保守管理やテストの機能を持たねばならぬ。

このようなコンピュータ群から構成される中央装置と共に，窓口装置は，入力情報の多種・多様に対応し，しかも取扱いが容易であること，漢字，ひらがなを用いた指定券，乗車券の印刷発行機能をもつ必要がある。

このようなコンピュータ・システムは，1960年当時，OS の概念も，マルチプログラム，マルチプロセス，通信制御の考えも，言葉もなかった時期であったが，国鉄は筆者の考えを受け入れて，その線で開発は開始された。筆者らは部外の批判も受けるべく，MARSとは言わないで，発足間もない情報処理学会の月例講習会¹¹⁾で19頁の資料と共に，その構想を発表し，学会にも投稿したが受け入れられなかった。外国の例もなく，実現もしていなかったことであるから当然だったかも知れない。

3.2 MARS-101 のハードウェアの特徴¹²⁾

このようなシステムを作るのに，まず詳細な機能の分析を行い，ハードウェアとソフトウェアの分坦を定め，ハードウェアとして固定できる部分と，ソフトウェアとして処理すべき部分と明確に分けることがで

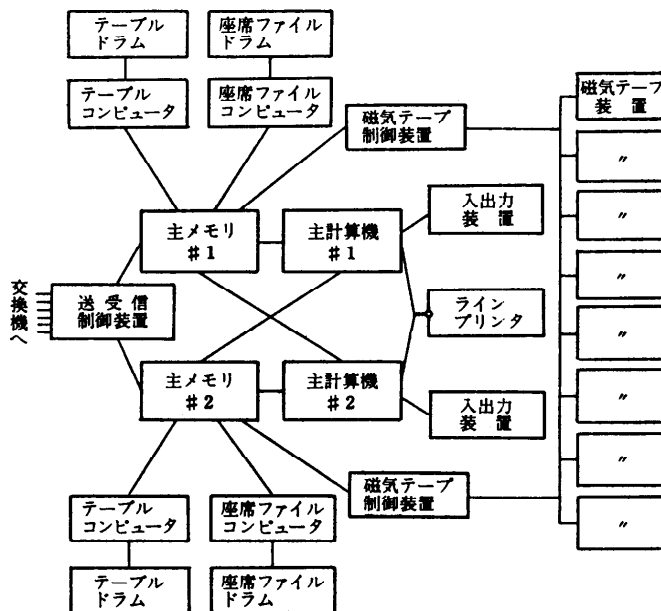


図-1 MARS-101 マルチコンピュータシステム

きれば、苦労はなかったが、システム管理に相当する部分や従来のコンピュータで取扱いが不便である情報の取扱いには、ハードウェアにその取扱いの基本機能を持たせ、ソフトウェアがその機能を利用するとしなければならなかった。そのため前節で述べた(iv)のコンピュータは、従来あった汎用コンピュータの命令セットを真似ればよいと言うわけにはいかず、そのアーキテクチャは、当時の利用可能なハードウェア技術の制約があったにせよ谷恭彦氏らと徹底的に考えたものである。1964年のIBMシステム・ジャーナルにIBM 360の構想や機能が発表されたとき、それと我々の考え方かなりの類似があるのに驚いた、1960年当時に存在する外国機を真似ていたら、このようなことにならなかったであろう。

またシステムの設計に当たって、大須賀節雄氏にシミュレーションによる分析を依頼し、システムの能力やネックとなる状況などを予測して¹³⁾、対策を立てた。システムの構成は図-1に示す。言葉は当時のものそのままである。

3.2.1 送受信制御、索表および座席ファイル・コンピュータ

送受信制御装置は磁歪遅延線のループで構成され、64回線を時分割で同時に送受信できる。制御語がそれぞれの送受信データに対して作られ、主メモリの中に割り当てられたバッファへの入出力の制御や動作監視の情報となる。バッファの割り当て、開放と制御語の作成は統制プログラム(現在のOS)によって動的に行われるが、送受信の動作は主コンピュータのプログラムとは独立に動作する。

索表コンピュータは9000 r.p.m.の磁気ドラムをもった専用機であって、主コンピュータで作られたプログラムに従って、何段にもわたる表を引き、乗車区間、料金、日付変更、列車に付随した各種の情報、ならびに座席ファイルのアドレスを取り出し、主コンピュータに返す役目をする。一つの仕事はドラム4回転で終了するようなデータ配置と処理機能をもつ。

座席ファイル・コンピュータは、大容量のファイルドラムと、座席パターン探索用のコアメモリをもった専用コンピュータで、MARS-1の考えを受け継いでいる。ただ列車編成、車輛型式、区間分割が多様なため、MARS-1より遥かに複雑なデータ構造と処理が必要であるが、主コンピュータよりのプログラムとデータを受取り、ドラム2回転半(50ms)で、一つの要求を処理し、結果を主コンピュータにもどす。

3.2.2 主コンピュータ(統制処理装置)

これは磁気コア(40ビット×4K、MARS-102では12K)をもった汎用コンピュータで、当時利用できる最大のコア容量をもち、アクセス時間は10マイクロ秒で、論理はMARS-1の型式を高速化し、クロックは500kHzである。取扱うべき仕事、および情報は多種、多様であり、その上全システムの統制管理を行うため、その論理的機能は当時としては極めて複雑で、効率のよい命令群を備えている。その主要な特徴をあげれば

(i) 情報の形式は、10進、2進の数値、キャラクタやビットグループを基本とし1語、半語、1/4語、および40ビット以内の任意長データが対等に取扱われる。殊に各種の制御情報の取扱いが高速になる工夫をこらす。

(ii) インデクス・レジスタは、語のアドレスに対するものと、ビット位置に対するものがあり、合せて15個ある。各種のアドレッシング、多数の表の処理、リスト処理を容易にする。

(iii) インデクス同志の演算や増減、カウント、テスト等ができる。

(iv) すべてのメモリ内の語は、カウンタやインデクスレジスタの役もする。

(v) メモリ内のデータの移動、サーチ、分散、編集などを高速に行う。

(vi) 20段の割り込み制御ができる。

(vii) 割り込みの優先順位制御や、待ち行列、他コンピュータの状態表示のための多くのフリップ・フロップのセット、リセット、テストや、状態ストアの命令がある。マスタコントロールプログラムがこれらを使用する。

(viii) デュアル・システムとしての考慮が払われ、クロス・チェックや他系の情報参照ができる。

何故このような命令体系を必要としたかは、統制管理の仕事だけでなく、将来の種々の情報の取扱いを念頭においたので、当時の機械の多くが、目的を数値演算と単純な事務処理に限定していたのに飽き足りなかったからである。ハードウェアの詳細設計は谷恭彦氏(日立)らが担当し、国鉄では沢田正方、岸本利彦氏等がこれに当たった。

MARS-101の実時間の機能の概略を以下に触れ、より細部は次節で述べる。窓口からの要求は、送受信装置、索表コンピュータ、座席ファイルコンピュータ、主コンピュータの間を処理を受けながら、情報の

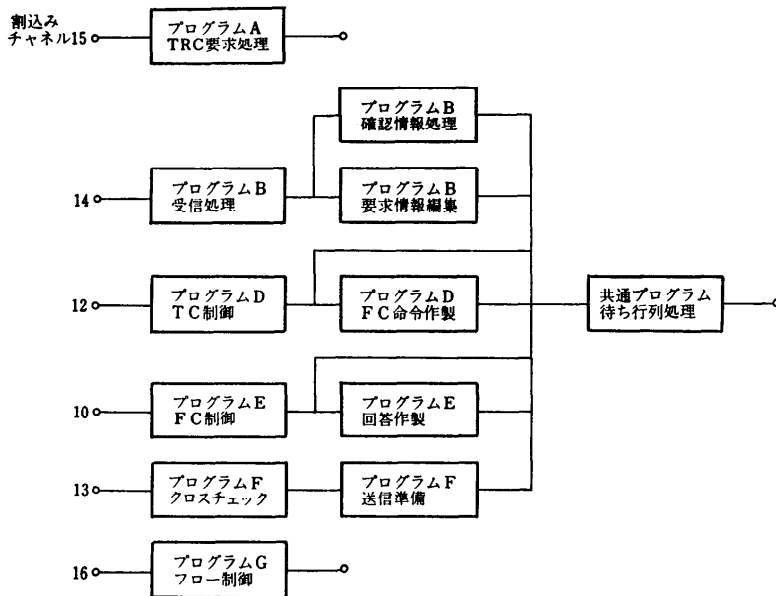


図-2 MARS-101 リアルタイム制御プログラムの構成

付加，探索などが起り動いていく，主コンピュータは他の装置の機能に含まれない仕事を行う以外に，情報の変換，編集，さらに一つの要求の処理だけではなく，システム内に存在し，各種の状態になっている多数の要求の流れを監視し，渋滞を生じたり，遊んでいるサブコンピュータがないように最適な制御を行うこと，割り込み発生後の処理や誤りの検出，回復の仕事も行う。

このように MARS-101 の中央処理装置は，マルチ・コンピュータであり，主コンピュータはマルチプログラミングである。したがってその割り込み機能は全システムの効率に関係し，各コンピュータはそれ自身のメモリ以外，主メモリと直接取引をする，割り込みは各コンピュータ，他系，制御卓，電源，その他メモリ・エラー，オーバフロ，タイマ，プログラム指定やトラップなどで多数発生する。その優先順位は動的な制御を受ける。さらにシステムの可用性，信頼性向上のため，二重系となり，回答の一致の検査や，片系単独運転の処置もとる。それぞれがマルチプロセス，マルチプログラムのシステムであるため，同期はとれない。そのため，二重運転から一重へ，またその逆の操作や，両者の回答一致検査は単純ではない。それらに対しても十分にハードとソフトの面に対策を立て，誤りでシステム停止や破壊に至らない方法を確立して

いる。

4. MARS-101 のリアルタイムソフトウェア¹⁴⁾

前節で述べたシステムでは，ソフトウェアの体系は，ハードウェアとの協調，分担を考慮して計画を立てたのであるが，その開発にあたっては，未知の所も多く，完成に至るまで予想の2倍に近い430人月を要した，すべてが初めての経験であることにもよるが，システムの複雑さから言えば当然とも言える。

システムプログラムの骨格は穂坂の案によるが詳細化と最適化は実時間部分では大須賀節雄（東大），井上晴雄（国鉄），安部城一（日立），各種操作プログラムでは林義雄，酒井芳治（国鉄），安部城一，鴨川和正（日立）およびその他の多くの方々の努力によって実現したものである¹⁵⁾。大須賀^{16),17)}は理論的な分析を多く行いシステムの行動の解明に力を尽した。

4.1 制御プログラムの動作

図-2 にリアルタイム・プログラムの構成を示す。実例をあげて制御の状況を説明する。窓口で発生した要求入力は，セットし終り発信キーを倒すことで，処理センタを指定する符号が送られ，中央の送受信制御装置（TRC）との間に回線ができる。TRC は主コンピュータの割り込みチャンネル15を用い，受信情報を

格納すべきバッファの割当てを要求する。これが受け入れられれば、送受信バッファ割り当て作業が開始されるが、優先順位が低ければ待たされる。バッファ割り当てが行われれば、TRCは、窓口からの要求を、直接主メモリの中のバッファに送り込む。そのときは主コンピュータ(SC)はすでに解放され、割り込まれたより低い優先順位の仕事にかかっているか、その間に来た高い順位の仕事に入る。一方受信が終了すると、順位14によってSCへの割り込みが生じ、受信結果処理ルーチンに入る。これは受信データの正当性チェックと以後の作業メモリ領域の割当てを行い、また索表コンピュータのための情報変換を行って、要求を索表コンピュータの待ち行列に入れる。そしてマスタコントロール・プログラム(MPC)への移行をはかる。

その前に優先順位12が許可されていて、それへの要求が生じているならば、いいかえるとすでにMCPによって、No.12に対するマスクがはずされていて、索表コンピュータ(TC)が空であるか、そこでの仕事終了の信号が出されているならば、それらの処理を先行させる。索表処理待ちの仕事をTCに与えるか、TCでの処理済みの結果をもとにして、座席ファイル・コンピュータ(SFC)への情報と命令を作り、それへの待ち行列に入れる。もし順位10の割り込みが許可されていて、しかもSFCが空か、仕事のあと処理待ちなら、それに対応する仕事が行われる。同様なことは順位13における仕事、すなわち他系側の結果との照合、磁気テープへ記録、窓口への回答送信のため、TRCへの送信依頼を行う。TRCおよび順位14のチャンネルを通して、確認が受信されたら、回線を解放し、正当な送受信が行われたことを磁気テープに記録する。

マスタコントロール・プログラム(MCP)の順位はNo.16で一見低くしてあるが、これは不必要に制御動作のプログラムが動き、結果は何もしないでよかったということを繰返ささないためである。MCPは他の割り込みチャンネルを制御する機能をもっているため、これが働く時は、これが最高順位になり、その仕事が終了したとき、下位に下げられるという機構になっている。

4.2 リアルタイム・プログラムの特徴

前節で実時間処理の主要な動作を説明したが、その特徴となるべきものを以下に述べる。

(a) 待ち行列制御 MARS-101はマルチ・コンピュータ系であるため、サブコンピュータを効率よく

働かせるための責任は主コンピュータにある。そのため優先順位をもった4個の待ち行列があり、各行列の長さや許容最大長さが表示されており、これはシステムの状態量となる。各行列の仕事が終了するときに、その行列の進行と状態量の変更、あるいはMCPによる行列加入への規正が行われる。

(b) 情報のチェックと異常処理 窓口装置と中央装置の間で交換される情報は、ハードとソフト両方でチェックされ、人の誤りと考えられるものは再考、装置と伝送上の誤りと思われるものには再送の返答がなされる。人の要求入力の際の種類の種類は非常に多いから、処理の各段階で発見されると、それ以後の処理を省略して、再考回答となる。ハードで発見されるものは、パリティ、経過時間、ファイル変更のサム・チェック、さらに二重系としての照合等があり、端末よりの確認情報は、受信完了と再要求とがあり、再送要求はその回数がチェックされる。

(c) マルチ・プログラムとマルチ・プロセッシング

(i) 割り込み処理 主コンピュータは20レベルの割り込みと、その許可、不許可を行う。割り込みが成立すると、多数のレジスタの内容、状態表示のフリップフロップ群は、スタックの最上部に退避させられる。割り込みの仕事を実行中に、新しい割り込みが許されていて、さらに割り込みの仕事が発生すれば優位なものに移る。もしそれが現在のものより下位であるが、スタックの最上位にあるものより、優位にあるときは、今の仕事が終了後それに直接移行し、スタックはそのままだけで、無駄な回復、退避を繰返さない。

(ii) 入出力制御 送受信以外の各種の入出力機器の使用に当たって、優先レベルの異なるプログラムの直接命令では混乱を生ずる恐れがあるため、統一して特定のルーチンが取扱い、その受付、実行動作のチェック、と依頼主への終了通知を行う。

全部の受、送信の情報はファイル再現、および審査や統計のデータとして用いるため磁気テープにとられる。磁気テープ書き込みのためのバッファの使用量は、実時間負荷によって異なるため動的な割り当てを行う。さらに、テープ書き出しの再試行や、動作不良時の自動切換え等を行うが、時間的制約はきびしくしてある。

(iii) フロー制御 処理の流れを最適にするため、マスタコントロール・プログラムは、サブコンピュータの状態と、4つの行列の状態から、次に行うべき操

作を、あらかじめ作られた表に従って選択¹⁷⁾し、割当てるべき仕事なくなるまで動作する。もし機器に障害や再試行不良があれば、その仕事への割当を禁止し、原因に対応した処置に入る。

(iv) 二重系制御 MARS-101 は二重系を構成しているが、動作状態では、一方を主、他を従とする。主従は状況によって切り換わるし、単独動作の状態もある。二重系では、互いに相手は自己の一つのチャネルとなって、情報の交換ができるようになっている。二重系のために用意されたプログラムは、動作状態制御プログラムと情報交換制御のプログラムである。前者は共同動作、単独動作を定めるもので、異常事態を発見したとき、単独に切り換え、警報を発し、オペレータの指示を持つか、状況が明確なときは自動切換となりそのあとの処置を行う。後者は他系のプログラムを読みとって実行することと、他系からの情報の読み取りを許すこと、および両系のクロスチェックを行うことが主である。

回答は両系において別々に作られ、TRC で送信を行う前に両系の待ち行列に並ぶ。この行列に入ってくる情報の数は異なっていることは、両系が同期していない以上当然である。この差は常に記録されており、進んでいる系が主系となって、クロスチェックのプログラムを実行する。そのため遅れている系は、その仕事を省略でき、遅れを取り戻す方向になる。両者の一致がとれない場合、それまでの経過で誤りが発見されているので、そちらの系の回答は棄却され、誤り回復ができないときは自動的に単独運転になる。両者の不良が決定できないときは、オフラインになるが、その前に端局に保留の回答を出し、3回まで再試行を行う。

4.3 MARS-101 の準リアルタイム・プログラム

MARS-101 の動作は、遠方にある窓口装置からの要求呼だけでなく、システムの内部情報やパラメータの変更、人の判断を必要とする特殊操作、管理用のデータ、保守を援助する操作等多くの仕事が、リアルタイム処理のまわりに存在し、しかもリアルタイムの仕事と共存して仕事をしなければならない。これらはできるだけ自動化し、人は単にデータと指令を与え、結果を確認すればよいようにしておかないと、時間がかかるだけでなく、誤りと混乱の原因となる。

またリアルタイムと共存しなくても、座席予約の発券業務に関して発生する料金収入日報、特殊指定共通券料金月報等、営業に関係する情報は、あるものは予

約業務を行いながら集計ができる必要があり、あるものは締切操作が終ってから一時間以内に作らなければならない。月報のように非常に時間のかかるものは、夜中の予約業務のない時間帯に処理をする。

これらの仕事は、少ない主メモリとファイルドラム容量のため、プログラムの作成には非常に苦労が払われた。

それらの準リアルタイムプログラムの二、三の例として、5人以上の予約を行う「団体予約」、車掌への「発売通知書」、列車事故などのための「発売保留」や、その解除などをあげることができる。これらの入力情報は、一般の予約と同様な入力情報を多く含むため、送受信装置 (TRC)、索表コンピュータ (TC)、座席ファイルコンピュータ (SFC) 等を用いる必要がある。しかしデータ量が多く、処理時間も長くなるので、TRC における経過時間チェックにかかったり、一般予約の作業を乱すことになるため、割り込みレベルを下げての処理や、両系でのチェックやファイルの更新等、一般予約と異なった方式で処理を進行させる必要がある。プログラムは主メモリに入り切らないため、ファイルドラムから断片的に呼び出しては仕事を進行させざるを得ない。

この他に TRC を通さずに操作卓から、中央処理装置に直接に指令を与えるものには、主として日常業務に関係する 50 種に及ぶ操作がある。その例をあげれば、予約期間の日付変更や期間外になった座席ファイルの書換え、車輛増結の処理、割当満員状況通報をはじめ、ダイヤ改正に伴う処理等々がある。これらは、入力が誤っていたら、システム混乱につながるので、確認、チェック、処理、出力確認、を行い、2重系だと言って、一方のコピーで済ますことをせず、独立に操作し一致をとり、さらに処理日時、番号の記録をとる。誤操作に対するシステム側からの警告ランプは、人がリセットをし、再試行しなければ先に進めないようにしてある。

5. プログラム開発とシステムの実績¹⁾

このシステムは MARS-1 の考えは含むものの、本質的に大規模、総合化され、単なる継承ではないため、MARS-2 ではなく MARS-101 と命名された。計画進行の予算承認は、1961年7月であり、システム基本構想は同年3月には立っていたが、ソフトウェア開発の出発は、ハードウェアの機能が確定した同年10月、筆者の研究室に関係者が集り、方針や分担を協議

した時である。

当初、全くの未経験のことであるため、仕事量の見積りが正しくできず、62年1月20日の議事録によると筆者は20人年位かと算定したのである。しかし前述のような、プログラム体系であり、しかも、主コンピュータの特有な命令体系を活用して、最適化に近い制御プログラムを作ること、準リアルタイムの各種の操作プログラムを作ること、サブコンピュータの命令系によって、それらに与える指令を作ること等はすべて、わが国では初めての試みであり、理論的なシステム分析、シミュレーション等も途中で行わねばならず、予想を遥かに上まわる期間と人数を必要とし、大きなプログラムとなった¹⁸⁾。

その作業内容は、プログラムの仕様の決定、レコードの仕様決定、フローチャート、コーディング、テストデータの作成、デバッグ、ドキュメントの作成、保守者、プログラマ、オペレータの教育等を含み、全期間は2年余になり、430人月になった。命令数は42,000である。リアルタイム・プログラムは、63年8月に完成し、10月上旬には第1回営業試験が行われた。このような経過を経て、64年2月に営業開始となった。

この運用の初期は、2分以上のサービス停止が毎月20件近くあり、回復に20分もかかったこともあったが、4カ月後には99%以上の運用率となりさらに99.9%以上を確保できるようになった。初期のダウンの原因は、稀な状況で生ずるハードウェア、ソフトウェアの論理ミス、操作の誤り等が原因であった。複雑なシステムであるから当然起ることとも言えるが、破局になる事故は発生しなかった。この点、信頼性確保にはMARS-1同様、最大の重点をおいた結果である。

MARS-101の完成の後すぐ、国鉄はMARS-102の建設の検討がなされた。64年7月には着手が決定し翌年10月には、MARS-101、MARS-102をもって「緑の窓口」152駅が開設された。MARS-102はMARS-101と同型であるが、その後のハードウェアの進歩で、コアメモリの容量は3倍の12K語（60Kバイト）となり、座席ファイルコンピュータも、新幹線の5座席組を取り換えるようにしたほか、幾分の準リアルタイム機能が増加し、命令数は64,200となった。65年末には、288列車、12万7千座席が自動化の対象となった。MARS-102はMARS-101と同型であったが、MARS-101でバグは出尽し、その上自動回復プログラムの完成もあって、信頼性はさらに向

上し、稼働率は99.99%以上を確保した。

昭和40年以後になると、IBM 360の影響と、通産省の助成の問題もあり、日本のコンピュータメカは、外国の第3世代のコンピュータか、類似のものに移り変っていった。したがってそのつぎのMARSシステムの主コンピュータは、それらを使わざるを得なくなるのは当然であるが、システムとしては、座席ファイルコンピュータの役目は変えることはできず、今日もそれは受け継がれている。第3世代のコンピュータは、ハードウェアのIC化と高速化、メモリの大容量化は当然であるが、命令体系はむしろ、MARS-101のそれと似て来たのである。このように見ると、MARS-101の主コンピュータは、第2世代初期のコンピュータであったが、時代を先取りしていたと言えるであろう。また今日、フロントエンド、バックエンドのコンピュータの考えが起ってきたことをみれば、MARS-101は、当時の技術では、要求される性能に対して、かなりよい解を与えたといえる。おそらくそれ以外の方法をとったら、成功しなかったであろう。

MARS-101を開発している時、IBMは米国のAmerican Air Linesのために航空機の予約システムSABREの開発を開始した。これはIBM 7090を2台と磁気ディスクを中心とし、予約の人名も入れる大規模なもので、オンラインのビジネス・システムの代表として宣伝された。しかしその完成はMARS-101より遅かったし、そのプログラムは非常に大きくなったようである。SABREではIBM 7090を開発する必要はなかったし、大容量の磁気ディスクを用いることができた。我々にそれらが与えられたら非常に楽になった面もあるが、恐らく、航空機と国鉄との予約方式の根本的相違のため、要求仕様を満たせたかどうかはわからない。MARS-101では、マルチコンピュータの考え、情報一般の取扱い等、第3世代以降の考えを、7090に較べれば速度も遅く、メモリ容量も不足のハードウェアを用いて、信頼高く実現したということではできる。

6. あとがき

MARSシステムの開発とその成功は、大勢の関係者の努力によるものであるが、筆者にとっても大きな体験であった。これの開発を決定した国鉄の幹部の決断は、その時期、環境を考えると大変なものであったと思う。次の仮定：昭和29年当時、国鉄の研究所で、コンピュータを国鉄業務に用いようと考えた研究グ

ループができなかった；その翌年、電気屋でない我々の「計算機の調査」の研究題目は認められなかった；Bendix G-15の輸入は認められなかった；研究所や本社電気局通信課の幹部や若手は我々を信用してくれなかった；電気系担当の関常務が保守的な人であった；等々どれが成立しても国鉄における予約システムの実現は遥かに遅れたであろう。後年国鉄のある座談会で、MARSはつき過ぎていると言った人がいたので、筆者はそれを肯定した。しかしMARSに関係した人達の、それ以前の仕事、それ以後の仕事を知っていたなら、「つき」は必ずしも極めて稀な幸運であったとばかりは言えないと、秘かに思った。

MARSの成功はどんな技術的な影響を与えたかと言え、人々に大規模オンラインリアルタイム・システムの実用性を認めさせ、自信を与えたことであろう。殊に国鉄では、保守的な分野でも、コンピュータ化、自動化の気運を早めた。このシステムは、文字通りコンピュータ化のMARS(軍神)であった。そのリアルタイムのソフトウェアは、さらに発展して国鉄だけでなく、各所のオンライン・システムの開発に非常に参考にされた。また大勢の人が育てていったことも大きな効果である。それらの人達は国鉄においてだけでなく、わが国のコンピュータの発展にいろいろな面で貢献した。

筆者が残念に思うのは、アーキテクチャやソフトウェアの開発に当って得られた経験を、一般化し、体系化し、その後の発展の理論的な基盤なり、せめてガイドラインにしておくべきであったということと、多くの独創的考えが生まれ使われていたにも拘わらず、あとから現れた外国のものの中にそれらを埋れさせてしまったことである。システムの制御や管理におけるハードウェア、ソフトウェアにおいて、わが国に1960年代の初めまでに、今日通用する考えが生れていたのだという国際的な記録を残しておくべきであった。これを怠ったことに筆者は大野、谷氏らにも国鉄にも申し訳なく思っている。しかしこの教訓は、40年後半以降の筆者らの仕事には生かすことができた。CADの先端の分野では、日本人は真似ばかりではなく獨創性はあり、国際的な意見交換の相手と見なされる状況になったし、その影響は国内にもフィードバックされつつあると言えよう。

参考文献

- 1) 鉄道通信協会：鉄道通信発達史，第9篇，情報処理，pp. 530，鉄道通信協会（昭45）。
- 2) Staff of Engineering Research Associates：High Speed Computing Devices, McGraw(1950), この他 Annals of Harvard Computation Laboratory.
- 3) 穂坂：車輛乗心地計（英文），応用力学，Vol. 4, No. 25（1951）および，データ処理の自動化，自動制御，Vol. 4, No. 3（1957）。
- 4) Bawden, B. M. (ed.): Faster Than Thought, Pitman London, (1953), および Higgins, J. A. and Glickauf, J. S.: Electronics Down to Earth, Harvard Business Review, Mar-Apr (1954).
- 5) 事務近代化通信網委員会研究報告書，pp. 70，鉄道通信協会（昭33.3）。
- 6) 電子計算機調査研究報告書，pp. 113，日本鉄道技術協会（昭34-3）。
- 7) 穂坂：Bendix G15-D Computer とその使用経験，電気通信学会，電子計算機研究専門委員会資料（昭32-12）。
- 8) Rosen, S.: Electronic Computers; A Historical Survey, ACM Computing Surveys. Vol. 1. No. 1(1969).
- 9) 穂坂，大野：予約機械，（電子・通信工学講座E-9），pp. 60，共立出版（昭34-8）。
- 10) 穂坂，大野，谷：MARS-101 座席予約の実時間処理の基本構想，日立評論，Vol. 46. No. 6, pp. 95-100（昭39-6）。
- 11) 穂坂，大野，谷：多数入出力のある実時間のデータ処理，情報処理学会，月例講演会資料（昭36-6）。
- 12) 穂坂，谷，岸本他：MARS-101 座席予約中央装置，日立評論 Vol. 46, No. 6, pp. 111-118(昭39-6)。
- 13) 大須賀：実時間システム MARS-101 のシミュレーションと結果分析，情報処理，Vol. 6, No. 1, No. 2（昭40-1.3）。
- 14) 井上，大須賀，安部他：MARS-101 用リアルタイムプログラム，日立評論，Vol. 46, No. 6, pp. 101-105（昭39-6）。
- 15) 林，酒井，安部，鴨川他：MARS-101 座席予約操作プログラム，同上，pp. 106-110（昭39-6）。
- 16) 大須賀：並列処理システムについての一研究，情報処理，Vol. 5, No. 3, pp. 143（昭39-5）。
- 17) 大須賀：2重情報システム間の情報の照合，情報処理，Vol. 5, No. 4, pp. 185（昭39-7）。
- 18) 井上：座席予約システムのプログラム作成とその管理，鉄道技研速報，pp. 66-145（昭41-8）。

（昭和57年12月8日受付）

