

《報 告》

マルス 105 システム (1)

—システム設計の基本的な考え方—

尾 関 雅 則* 林 義 郎* 細 野 広 洋*
竹 井 大 輔* 谷 恭 彦**

1. はじめに

昭和48年1月に、旧システムからの移行が完了した国鉄の指定券発売システム、マルス105は、その後順調に稼動をつづけ、国鉄旅客営業の中核として活躍している。完全稼動後1年有余過ぎたのを機会に、本システムの開発についての基本的な考え方、ソフトウェア設計の考え方、およびシステムの運転実績と評価を3回にわたって報告する。

2. マルス105システムの必要性

日本におけるオンラインリアルタイムシステムの先駆けであるマルス1が、昭和35年1月に稼動して以来、国鉄のマルスシステムは、昭和30年代後半以降の社会経済生活の向上に従って発展をつづけてきた。

すなわち、旅客需要の急増、電化、複線化等の輸送力増強に伴う特急、急行等の優等列車の増発によって指定席の量は飛躍的に増加してきた(図1参照)。これらの指定席数の急増に対処するため、昭和39年2

月に稼動したプログラム内蔵方式のマルス101をはじめとして、昭和45年1月までに、マルス102、103、104と開発を進めてきた。

これらのシステムは、機能をしぼり、かつ主要な部分に特別なハードウェアを用意し、高い能率を維持し、また負荷の増加に対しては、これらを複数システム用意し、負荷の分担をはかってきた。

このような設計により、マルスシステムは、指定券類の単純大量発売に関して、能力を限界近くまで引き出し、効率のよい処理を行ってきたが、その反面、新機能の追加等に関して余裕がなく、あまり融通のきかないシステムになっていたことも事実であった。

さて、今後の旅客営業の進む方向を考えると、指定券類の単純大量発売の機能は、もちろん要求されようが、多様化した旅客の需要に応えるための諸機能、すなわち列車の座席に限らず、他の交通機関、宿泊設備の取扱い、およびこれらの旅程の組合せ、各種案内情報の提供、システムより得られるデータのフィードバックによる需要の予測とそれに対応する列車等の設

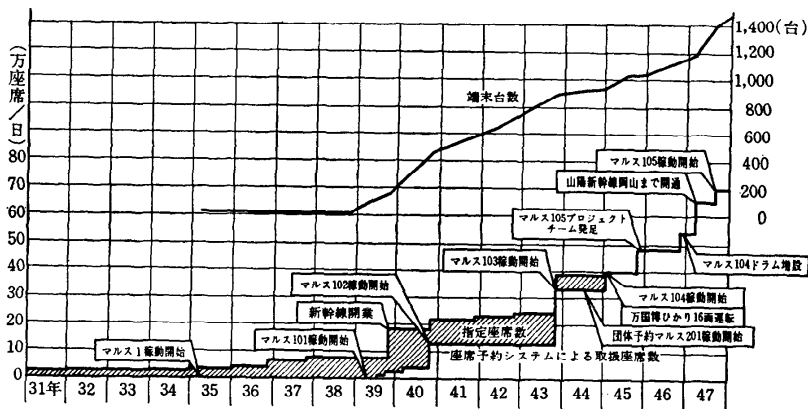


図1 指定座席数、端末数の推移とシステム稼動経過

*日本国有鉄道 ** (株) 日立製作所

定、等が要求されるであろうし、また、発売方式の面でも、窓口発売のみならず、電話予約、自動発売装置による発売、さらにキャッシュレスシステムの利用等も考えられる。

これらの機能の追加および関係他システムとの結合の必要性を考慮に入れ、将来の旅客総合販売システムを中心となるファイルシステムとしても十分通用するようファイル構造、容量、能力を検討し、稼動開始時1日当り70万座席、さらに将来はその2倍以上の増強に耐えうるシステムを開発することが、マルス105システムの目標であった。

3. システム設計の前提条件

システム設計にあたり、必要とされる基本的な項目を以下のように想定した。

3.1 取扱い範囲

- (1) 対象列車数 1900 列車
新幹線列車 310, 在来線昼行列車 1360,
在来線寝台列車 230
- (2) 収容座席数 70 万座席
新幹線列車 24 万, 在来線昼行列車 37 万,
在来線寝台列車 9 万
- (3) 予約期間 最大2ヵ月間
ただし、可変とする。
- (4) 対象駅数 1500 駅

3.2 列車に関する諸定数

ファイルの構成、容量等に関する諸定数は、表1のとおりとした。

表 1 列車に関する諸定数

1 列車の平均停車駅数	18
1 列車の平均号車数	11
1 列車の平均区間分割数	4
1 号車の平均ブロック数	16
1 ブロックの平均座席数	4
最大走行日数	2

3.3 トラフィック

システムは、多客期の最繁時の負荷に対しても、規定された時間内で応答できなければならない。

次の手順でこの負荷を推定した。

- (1) 1日の総呼数の推定
123万呼/日 (多客期)

ただし、算出根拠は表2に示すとおりである。

表 2 1日の総呼数の算出根拠

収容座席数 (A)	70×10^4
実効座席数 = (A) × 延座席利用率 ⁽¹⁾ (B)	91×10^4
有効呼数 ⁽²⁾ = (B) / 1 呼当り発売座席数 (C)	53.5×10^4
無効呼数 ⁽³⁾ = (C) × 無効呼率 (D)	53.5×10^4
乗車券単独発売呼数 = (C) × 乗車券単独発売呼率 (E)	16×10^4
総呼数 = (C) + (D) + (E)	123×10^4

諸定数

延座席利用率 = 1.3 1呼当り発売座席数 = 1.7
無効呼率 = 1.0 乗車券単独発売率 = 0.3

- 注(1) 延座席利用率とは、1座席が何人の客に利用されるかを示す数値である。
(2) 有効呼数とは、指定席が発売になる呼数である。
(3) 無効呼数とは、有効呼以外の呼数(照会、満員、エラー等)である。

(2) 最繁時呼数の推定

最繁時の平均到着呼数(ノ秒) =

$$\frac{(1 \text{ 日の総呼数}) \times (\text{最繁時集中度})}{3600}$$

最繁時集中度 1/8 とした場合、

最繁時呼数 = 42.7 呼/秒

平均到着間隔 = 23.4 ms

3.4 応答時間

端末装置で、必要な情報を設定後、送信キーを押してから、回答表示ランプが点灯するまでの時間を応答時間と定義し、

N形端末装置 6.0 秒

A・B形端末装置 7.0 秒

の応答時間内で、90%の呼について回答が得られるものとした。

3.5 信頼度

システムの信頼度を、オンライン業務が規定された運転時間内において正常に行なわれる度合、すなわち「稼動率」で評価することにし、目標値を次のとおりとした。ただし、一部機能の縮小や一部性能の低下などのいわゆるフォールバックモードによる運転は、正常状態とみなしている。

- (1) 中央装置系稼動率 99.95%
 - (a) 中央装置 99.97%
 - (b) 高圧電源系 99.994%
 - (c) 安定化電源系 99.993%
 - (d) 空調系 99.993%
- (2) 伝送路系稼動率 99.96%

(3) 端末装置系稼働率 99.90%

3.6 運転計画

運転時間等を次のように定めた。

(1) オンライン系

(a) サービス時間 5時30分～23時00分

(b) 運転開始、終了等時間

・運転開始作業時間 4時30分～5時30分

・運転終了作業時間 23時00分～1時30分

・メンテナンス時間 1時30分～4時30分

(2) オフライン系

(a) オフライン定例業務時間 10時間

(b) ソフトウェアメンテナンス時間 10時間

(c) ハードウェアメンテナンス時間 4時間

4. システムに要求される機能

4.1 基本的機能についての考え方

マルス105システムを効率のよい指定券発売システムとして設計するために、基本的機能をつぎのように考えた。

(1) 50件/秒という高密度のトラフィックを処理するため、効率のよいOSが必要である。このため、専用OSとして、RTCS(Real Time Control System)を開発した。この中ではオーバヘッドを極力少なくするために、走行ステップ数の削減、ならびに頻繁に使用される部分のファームウェア化をはかった。

(2) システム異常による影響を最小限に押える必要がある。したがって、構成機器の障害やプログラムの部分的異常の場合は、該当部分のみを機能停止し、オンライン業務を継続するフォールバックモードによる運転を可能とした。また、システムダウンの場合は、その時間を極力短縮するため、プログラムによる自動回復等の方法を講じた。また、異常時の処置はすべてフェールセーフとなるよう心がけた。

(3) 最近のコンピュータの信頼性、経済性、および処理能力面より考えて、従来のマルスシステムで採用していたデュアル方式にかわり、マルチプロセッサ方式を採用した。なお、国鉄の商品である座席を収容するファイル類は、異常時の回復時間短縮等の理由により、デュプリケート方式とした。

(4) システム機能の追加、取扱量の増加に対する十分な発展性を持つ必要がある。たとえば、営業制度の変更、新サービスの開始、取扱い列車の変更が頻繁に発生するが、それらに容易に対処できるようなプログラム構造、ファイル構造とした。

(5) システムの運転開始、運転終了、障害時の回復および各種サポート業務で、オペレータが介入する機会が多いが、これらの操作において、誤操作を防ぎ、迅速な操作を行なうために、専用のシステムコンソールを設け、操作のワンタッチ化、操作個所の集中化をはかった。

(6) 伝送上のエラー、システムダウンによるメッセージの救済については、端末ごとの出力メッセージエリアを持つ端末ファイルを設け、端末ではそのファイルの情報をもとに、メッセージの再送または無効を申告する方式とし、座席ファイルや集計結果の中央と端末の不一致を防止することにした。

(7) 延5000万座席におよぶ膨大な座席を収容するファイル類の作成、管理は、非常に手数がかかり、かつミスを生じやすい。これらの業務を単純化するためソースデータの一元化を行ない管理のぬけを防ぐとともに、オフライン時間帯に限らずオンライン時間帯でも、データ管理作業が行なえるようプログラムを設計し、作業負荷の均等化をはかった。

(8) 数多くのバスをもつオンラインプログラムのテストは、その組合せの数が多いため、時間、要員の面から、かなりの制約をうける。これを解決するため、各種のオンラインテストシミュレータを開発し、テストの負荷軽減をはかった。

(9) 窓口で指定券類を発行する端末装置としては、操作が容易で、誤りが少なく、速度がはやいことが要求される。それに対処するため、ページ面入力方式を採用したタイプライタ式発売専用端末装置(N形)を開発した。これにより、指定券の全面自動印字が可能となり、かつ入力項目、出力様式の変更には、中央側のみの処置で対処できるようになった。

4.2 運用面の新機能

旅客に直接関係がある機能を中心に、以下のような機能を新設した。

(1) 取扱い人数の拡大 従来1操作で4人までであったものを、グループ客の増加に対処するため1操作で14人のまとまった座席が取扱えるようにした。

(2) 発売期間の延伸 従来1週間発売を主体としていたファイルを最高2ヵ月間までの発売に対処できるようにした。また、この期間内で、発売期間および発売開始時刻を可変に設定できるようにした。

(3) 乗車券の一括発売 指定券と異なる区間の乗車券も一括発売できるようにし、別窓口で乗車券を求めるといった煩雑さをなくした。

(4) 料金・運賃のオンライン集計 新設した端末ファイルに各端末の発売枚数・金額等を登録することにより、その情報をオンラインで取り出せるようにした。

(5) 代案列車の提示 要求した列車が満員の場合、性格の類似した2個列車の空席状況を回答して、案内できるようにした。

(6) 誤取消防止符号の採用 取消時の誤りを防止するため、必要情報のサムをとり、それを操作時に入力する方式とした。

(7) 販売調節機能 列車に対する区間別の需要は季節・曜日等により変動するが、その需要に応じた発売を行なうため、区間別にカウンタ(枠)を設け一定数を保証するとともに、変動に対しては、カウンタの値を変えることにより、弾力的に対処できるようにした。

5. システム構成

5.0 ソフトウェア

次号にてのべる。

5.1 ハードウェア

マルス 105 システムの中央装置は、所定の能力を維持するため、特に以下の事項を重点的に考えて、図2に示す構成とした。なお、中央装置の機種は、HITAC-8700 である。

(1) マルチプロセッサシステムの採用

マルス 105 システムでは、2台の BPU により共有された MMU に、1セットのプログラムをロードしプログラム処理を2台の BPU で行なわせるマルチプロセッサシステムを採用して、処理能力の向上をはかった。この処理方式の場合、コントロールプログラム内における待合せ、衝突、メモリアクセス時の衝突等により、処理能力は、シングルプロセッサの2倍ではなく、約1.5倍と想定した。

また、HITAC-8700 は、バッファメモリ方式により、処理速度の向上をはかっているが、マルチプロセッサ制御の場合、命令送出しによるブロック転送や、両 BPU 間におけるバッファキャンセル等により実効処理速度が低下するので、それを軽減するために、コントロールプログラムの中で最も頻繁に実行されるルーチンの一部をファームウェア化することにした。

(2) フォールバックモードによる運転

図2に示すように、MMU, BPU はそれぞれ3台で構成され、そのうちの2台により、前述のマルチプロセッサを構成し、オンラインリアルタイム処理を行なうのを定位とし、残りの1台ずつを予備用兼バッチ処理用とした。これらの機器はいずれも切替可能で、相互に予備となることが可能であり、障害等で最悪の場合、各1台ずつのフォールバックモードでのオンライン運転も可能とした。

(3) デュアルアクセス、デュアルファイルの採用 MPD, FD, MTS 等のファイルへのアクセスルート

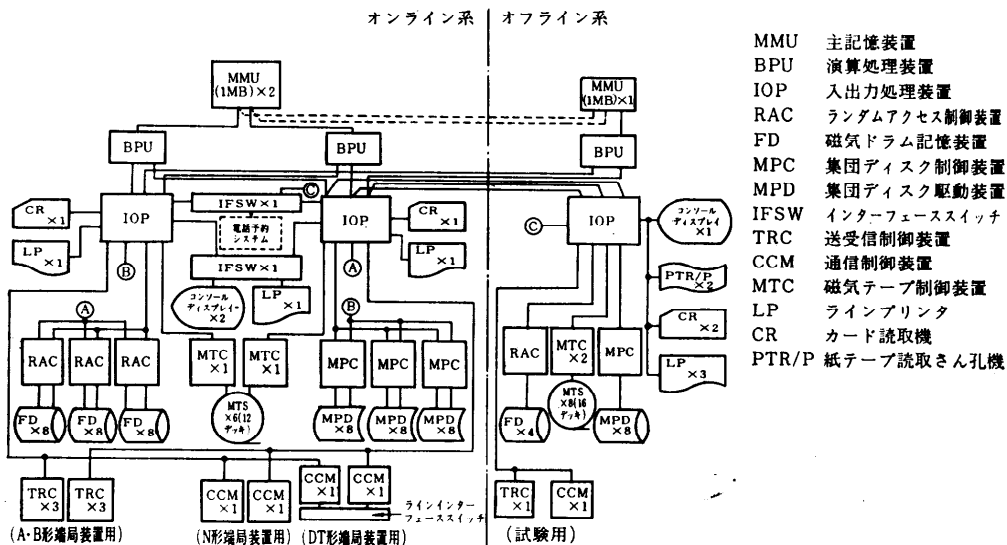


図2 中央装置の構成

はすべて二重化して、IOP や制御装置が障害となった場合でも、正常な系のルートを通じてファイルへアクセス可能とした。

また、重要なファイルはすべて二重化し、ファイル異常時のデータの破壊を防止し、かつ迅速な回復ができるようにした。すなわち、二重系のうちの一方のファイルに異常が発生した場合は、そのファイルを一時アクセス禁止とし、のこりの正常な系のファイルの内容を予備のファイルに移し、二重系を構成してからアクセスを許可することを原則とした。

なお、緊急時には片系のファイルでの運転も可能とした。

(4) 自動回復機能

障害が発生し、それが、ハードウェア的なエラーの再実行機能によっても回復できない場合には、同一のシステム構成で、自動的にプログラムを再ロードし、運転再開に必要な処理を連続実行する自動回復機能を設けて、極力ダウン時間の短縮をはかった。

自動回復により回復しないハードウェアのエラーはソリッドエラーとみなし、その回復処置にはオペレータを介在させることにした。また、BPU、MMU についてはその自動回復件数をカウントし、一定数以上になると、その障害機器を自動的に切り離すようにした。

(5) システム・コンソール・パネル (SCP)

オペレータが介在するダウン回復処置については、ダウン原因の判別、回復処置の決定など複雑な操作を短時間でこなすことが要求される。この際に生じやすい誤操作を防止し、かつ回復時間を短縮するためにシステム・コンソール・パネルを設けた。

この設備により、システムの運転開始・終了およびダウン時の回復処置がワンタッチ・オペレーションにより実行可能となった。また、障害発生時の障害種別、障害個所の表示も行なうようにした。また、3台のコンピュータの接続、切離しについても、このパネル上での構成制御操作により、簡単に行なえるようにした。

5.2 端末装置

マルス 105 システムのもつ種々の新機能を窓口で發揮するため操作性、保守性、信頼性の面を十分に検討して、従来の A・B 形端末装置に加えて、新たに、N 形端末装置と DT 形端末装置を開発することにした。

(1) N 形端末装置

窓口にて直接指定券を発行するのを目的とした端末装置で、他に電話等の申込みによる中継発売機能も有

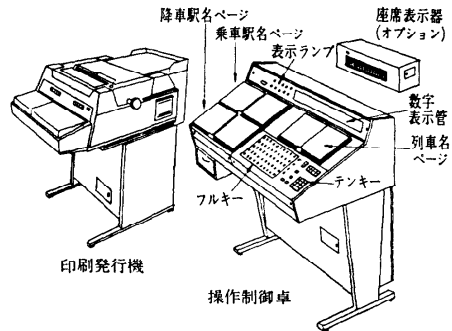


図 3 N形端末装置外観図

する。(図 3)

・操作性

入力形態をページ式、数字式、押ボタン式の 3 形態に分けた。すなわち、入力項目としては、列車名、乗降車駅名の種類が特に多く、従来の A・B 形端末は活字棒によっていたが、その管理、選択がむずかしい面があったので、今回ページ式を採用することにした。

また、乗車月日等の数字入力はテンキーと数字表示管の組合せで行ない、それ以外の特殊情報(操作種別、寝台か座席かなど)は 50 個の押ボタンで行なうこととした。

・拡張性

入力項目や操作手順の変更に対しては、端末側での布線変更等を一切しなくてもよいようにした。すなわち、端末における誤り防止のための入力チェックは最小限にとどめ、細部の論理チェックは、中央のソフトウェアですべて行なうことによって、拡張性を持たせた。すなわち列車名等の増加に対しては、ページ面の空き個所を定義すればよく、設備種別の変更等についてはボタン位置の再定義をすればよい。

・信頼性

従来リレー回路を用いていた部分はすべて電子回路とし、ユニット化をはかるとともに、特に IC 回路の採用により小形化をはかった。また、外部入力情報用の接点はすべて封入形接点を採用した。さらに、ランプの断芯による障害を防止するため、押ボタン類には無電源式の反射式押ボタンを採用した。

・出力方式

印刷機としては、カナ文字プリンタ(文字数 128 種)を採用し、特に指定券類に特有な文字のために漢字 38 字を入れることにした。

出力情報には、指定券類と窓口にての案内情報、販

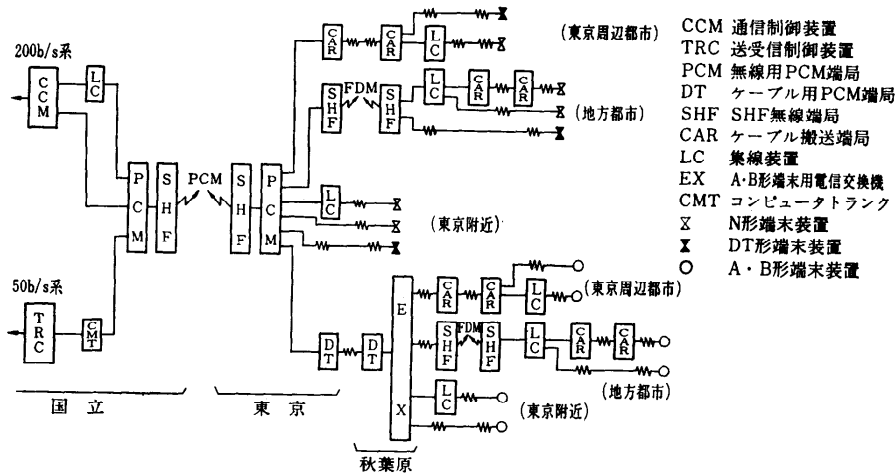


図4 回線構成略図

売情報があるが、前者は、定められた様式の指定券用紙に印刷する必要があり、後者を指定券用紙に印刷することは、運用上不可能であるので、プラテンを2分割して、時分割で2通りの情報を印刷できるようにした。また、出力情報の編集はすべて中央側で行なっているので、出力様式の変更等に対して端末側で何ら手を加える必要はない。

・通信速度

通信速度は 200 b/s とし、受信バッファは設けず印字速度 1200 字/分の印刷機を直接駆動する。なお起動方式は、端末からの転極起動である。

(2) DT 形端末装置

本端末装置は、窓口での発売用でなく、車掌用情報、残席状況表などの販売情報の出力に使用するもので、汎用タイプライタを採用した端末である。けん盤配列および使用文字 (128 文字) は、JIS 規格に準拠する。

通信速度は 200 b/s で、起動方式は、符号起動による相互起動方式である。

5.3 伝送路 (図4参照)

既存のA・B形端末系の 50 b/s 回線網は、既存の電信交換機の出側に国立向の方路を設け、国立側ではCMT (コンピュータトランク) を設けて結合することとした。

N形端末系の 200 b/s 回線網は、集線装置 (12/24) を設置し、回線能率の向上をはかるとともに、出側を複数個の CCM に接続し、ある CCM が障害になっても、別な出線から正常な CCM に接続できるように構成した。

DT 形端末系の 200 b/s 回線網は、本端末が相互起動方式であるため、CCM へ直結とした。

コンピュータセンターのある国立と東京間、およびA・B形端末系の電信交換機のある秋葉原と東京間には、データ伝送に対して伝送効率が高く、経済性にすぐれ、かつ雑音・干渉等に強いPCM方式を採用することとした。

5.4 電源設備、空調設備

(1) 電源設備

入力は、2系統の特高受電とし、自動切替方式とした。コンピュータ電源は 1000 kVA×2 のクレーマ方式定周波定電圧装置より供給される。特高両系が停電の場合は、蓄電池にて約30分運転可能とした。

また、その場合、空調、照明用には予備用の 1000 kVA ディーゼル発電機から供給されるようにした。

(2) 空調設備

空調設備は地下に冷却水槽を設け、停電時にはその冷却水を循環させ、30分以上の空調を行なえるようにした。これによって予備発電機の容量を大幅に軽減することとした。

6. 開発体制と開発経過

(1) 開発体制

マルス 105 システムの開発体制としては、プロジェクトチーム制を採用した。すなわち、専任のプロジェクトリーダーを責任者とし、そのスタッフからなる開発本部を本社におき、システムの基本方針の決定、関係部門間の調整、対外折衝、作業、工程の計画管理を行ない、問題点の早期解決を心がけた。この開発本部の

もとに、国鉄部内の旅客営業担当、ソフトウェア、ハードウェア担当、工事設計、施工担当の部門とメーカーが、組織をこえ、一体となってこの複雑な開発作業に従事した。

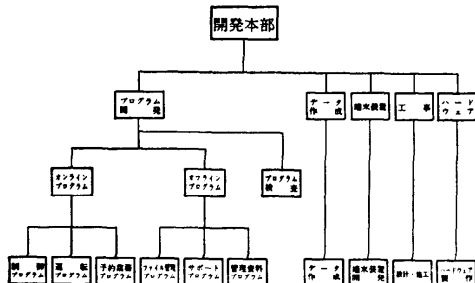


図5 開発体制

開発要員は約180名にのぼり、これら多数の要員が能率よく、手落ちなく作業を行なえるよう、作業体制を階層構造とし、各小グループごとに責任者を1人定め、責任の所在、指揮命令系統を明確にした。またこれらのグループ間にわたる事項については、該当の部会、分科会で検討、決定されるようにし、それ以外の決定ルートを禁じた。

多人数による作業は、そのグループ内、およびグループ相互間の連絡のために過大なエネルギーが費やされるが、このオーバーヘッドを極力軽減するため、ドキュメンテーションの厳守、作業に先立つ準備の徹底心がけた。これらは、慣れるまでは非常に辛苦に満ちたものであり、歩みものろかったが、開発後半の試験段階において、その効果が現れた。最初に、思い切ったこのような作業管理体制をつくり上げたことは、成功であったと考えている。

また、作成形態も、ソフトウェア開発の場合は、そのソフトウェアの性質によって、メーカーとの共同作成、国鉄の直轄作成、メーカーへの外注作成に分けて行なわれた。

開発の各段階における作業の重点の移り変りに対処するための、作業形態の変更、要員の重点的な投入がかんたんに行ない得たことも、プロジェクトチームの特徴であり、かつ、その基盤としては、前述のドキュメント管理体制の確立と、個人を特定な業務に固定させず、幅広く運用するよう心がけたことにあったと考えられる。

また、これらの開発に従事するメンバーの管理は、作業が相互に密接な関係にありながら、一方では非常に孤独な作業であるという点で難かしい問題を含んで

いる。そして、これらの解決には、平凡なことで、かつ困難なことであるが、リーダーシップとチームワークが一番力があるように考えられる。

(2) 開発経過

マルス105システムは、44年2月に、少人数のグループによる基礎調査、基礎検討が始められて、3年半の月日をかけて完成した。その期間を大別すると、次のようになる。

(a) 基礎調査、基礎検討の時期(44年2月～)

その時点までのシステムの改良点の抽出、基礎的なデータの収集よりはじめ、システムの規模、能力、具備すべき機能等を一步一步固めていった。また、部内での開発計画の承認が行なわれた。

(b) プロジェクトチームの発足(45年11月～)

メンバーが急増したので、その教育を短期間で行ないつつ、前の段階で大筋が決定された機能について、さらに詳細な段階の決定がなされた。これをもとに、機能仕様書、データ仕様書を作成し、さらに、処理方式、プログラム構造の決定を行なった。

(c) プログラム作成(46年2月～)

プログラム仕様書の作成から、フローチャート、コーディング、単体デバッグ、結合デバッグと順々にすすめていった。また、試験方式の検討も並行して行なわれた。

(d) 総合試験(47年3月～)

ハードウェアの搬入もすみ、いよいよ本格的な総合試験に入った。すなわち、まずテストシミュレータ等による全体の試験が行なわれたのち、端末発信試験や異常時の試験を重点的に行なった。また、この時期に全国端末からの一斉発信によるヘビィトラフィックテストなどを行なった。一方、新形端末の設置に伴う対中央試験、中央側、端末側の操作訓練、保守訓練を行ない本番営業にそなえと共に、障害管理を徹底して行ない、その発生件数の収れん等を見て、システムが本番営業に耐えられるかを慎重に見守った。

(e) システムの移行(47年9月～48年1月)

マルス102, 103, 104からの移行は、危険分散のため、システム毎に3回に分けて行なった。そのため、この期間は、秋葉原とマルス105のある国立との二元的な運営が行なわれた。切替え当日の作業としては、既存のA・B形端末を、マルス105へも接続可能なように方路を切り替える作業と、在来システムの座席ファイルの内容をマルス105のそれに移しかえることであるが、両者のファイルフォーマットが異なるため、

途中での変換、MTの運搬、データ書込み後のチェック等が必要であるが、十分なリハーサルを行なうとともに、万一の場合、もとに戻せるような手順を残すことも考慮して切替えに臨んだ。

7. むすび

開業後のマルス105は、取扱い列車数の増加、使用開始後の改良、新機能の追加等を必要に応じて行ってきた。そして、それらと並行して、現在、このシステムを中核とする旅客総合販売システムへの着実な歩みが見られている。

すなわち、一方では、音声応答装置を利用したプッシュホンによる電話予約システムの開発が進められて

おり、また、一方では、現在稼働中の団体予約システム、マルス201の増強のため、複合行程を扱うマルス202を開発中である。これらは、すべて中核のファイルシステムであるマルス105とチャネル結合するため、マルス105にても、他システムとの結合機能の拡充（通信制御部とファイル制御部との分離）、および処理能力の向上をはかっている。このように、旅客総合販売システムが具体的な第一歩を踏みだしたことをベースに、今後さらに取扱い旅行商品の拡大、関係各システムとの結合、自動発券、自動出改札等の実現をはかるため、調査、検討を行なっていく考えである。

(昭和49年3月6日受付)