

新幹線の車両管理システムにおける データベースの利用について

堀内 弘 (国鉄・東京システム開発工務局)

1. まえがき

本システムは、新幹線における車両の故障データと走行キロや検査の実績データを中央指令所と沿線各車両基地からオンラインで収集管理し、新幹線電車の運用と保守に関する計画部門と各現場実施部門の業務を対象にこれらのデータの相互利用を計るものである。

此の度開業した東北上越新幹線におけるこれ等の情報管理は、これまでも実績のある東海道山陽新幹線の同システムにおけるデータ管理手法を更に高度化すべく種々検討を行った。すなわち、業務実施部門が求める本質的なニーズは、多種多様な情報提供に対する即応性であり、特に非定型的情報の取得の要求が高まってきている。一方システム保全側では、データ及びソフトウェアの保全性の向上が一段と望まれ、合せてデータ精度の向上も不可欠なものとなったので、データベースによるデータの一元管理を行うべく方針決定した。

本稿では、まずデータベース化の経緯を述べ、次いで車両管理システムの要件を整理したのち、一般市場で使用されている汎用型データベース管理システム(DBMS)を適用した場合の本システムの特長から生ずる問題点をあげ、これをいかに応用し、その効果をあげたかという点について紹介する。

2. システムの概要

2-1 車両に関する情報の

管理について

国鉄では、車両の運用と保守の業務

は、車両を沿線各基地へ分散配置し、配置を受けた基地の責任で管理している。しかし、新幹線では輸送効率の改善と輸送需要への即応体制が必要不可欠とされ、従来の管理局等地域管理とはことなつた線区管理による効率運営の達成のため、車両の運用と保守を線区内で共同管理するプール管理方式となっている。

つまり、中央指令所では、各車両現況の情報を管理し、乗務員や沿線各車両基地へ必要な指令を発行するほか、今後の運用計画をたてる。又、沿線各車両基地では、配置を受けた車両に対する運用・保守に関する責任をもつたわら、日常の検査修繕は自区の配置にとりわれず全車両を対象に行っている。従つて、前述のプール管理を行うにあつて、これ等の運用保守に関する情報は、新幹線全体として一括管理して共同利用をはかり、中央指令所及び各車両基地への全ての電車に関する情報の送付を保障することが絶対条件とされる。

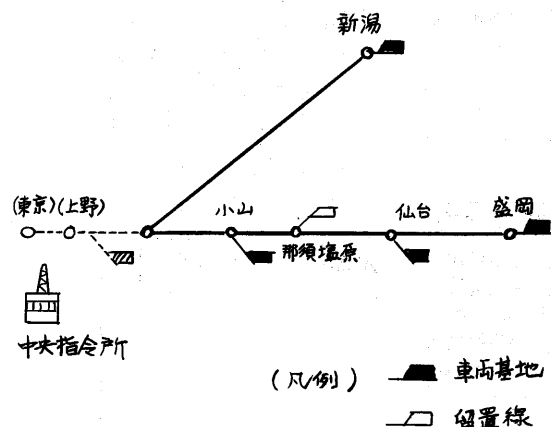


図-1 車両検修基地と
中央指令所の配置図

2-2. システムの特徴

本システムの機能の概要は図-2車両管理システム概念図に示す。また、本論文を理解するに必要な車両に関する情報管理システムの特徴的な事柄を以下に整理する。

- ① 新幹線情報管理システム(スミス)の一環として開発され、沿線現場業務機関にインテリジェント端末を配置したデータネットワークを構成している。
- ② 車両管理システムは、新幹線運転管理システム(コムトラックシステム)と共に総合運転管理システムを構成し、車両の効率的な運用と安全性の維持に不可欠なシステムである。
- ③ システムの主体は、情報を中央で管理し共同利用するスミス中央業務と車両基地等が端末の処理機能を活用して主体的に管理する現場端末業務で構成している。

- ④ 稼働時間帯における各端末からのデータ収集と端末の要求によるデータ配信をリアルタイムに行っている。
- ⑤ スミス中央においては、毎日1回のバッチ処理を主体にしたデータの更新が本質的な機能である。一方、現場業務部門のニーズによる非定型的情報を随時オンライン即時で提供することを要求される。
- ⑥ システムの保守部門においては、複雑多岐に渡るファイル類を適正に管理し、業務部門に対し正確に提供するために多くの労を要しており、管理の効率化を求められている。

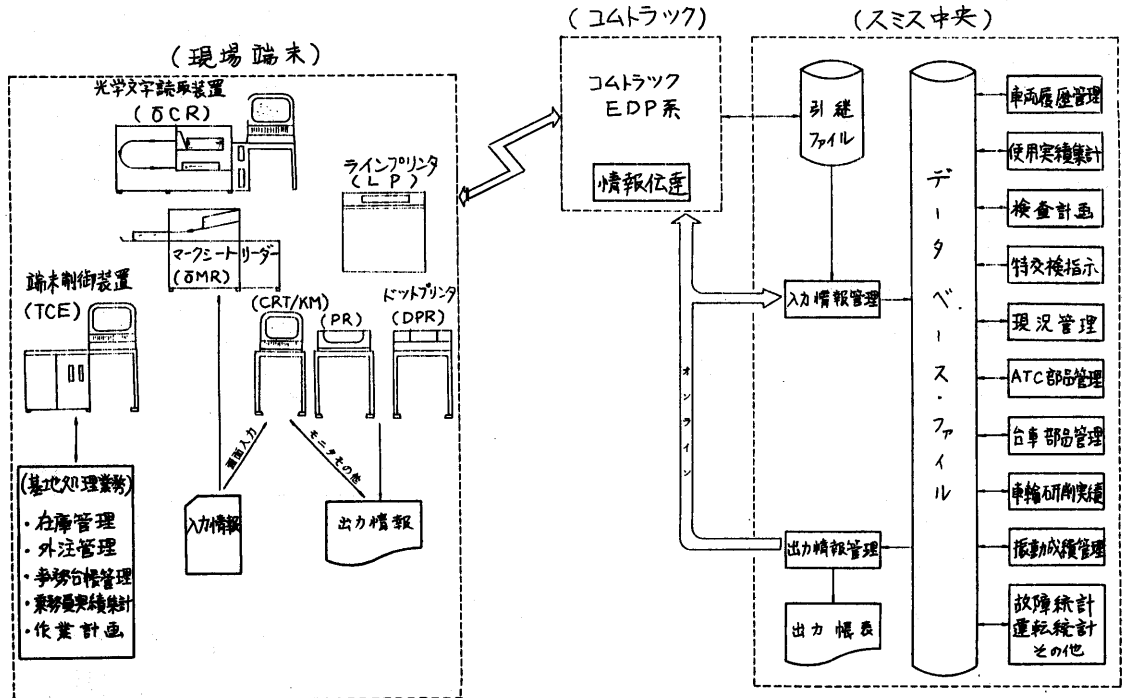


図-2 車両管理システム概念図

3. システム改善の考え方

東北・上越新幹線対応の車両管理システムを開発するに当たり、従来の東海道・山陽新幹線向けの機能別ファイルを中心とした処理について更にデータ利用の高度化・適正化をはかる目的で業務部門のニーズとこれに対するシステム側に要求される要件を整理した。この概要は表一に示すとおりである。

すなわち、ソフトの保守部門における負担の軽減と共に業務部門のニーズに合致したシステム構成を、これまでのような全てのデータを中央で集中管理する考え方から次のように改めた。

つまり、データの利用形態に応じて①オンラインによるデータ集配機能を備えた集中処理方式および②インテリジェント端末を使用し車両基地内等で内部処理を行う分散処理方式の2方式とする。

そのうち、前者の集中処理方式は、複雑なデータ関連を整理したデータベース化により、次のとおり改善の方向を決定した。

- ① 突発的・非定型的な情報ニーズへの対応を大幅に拡大する。
- ② 毎日のバッチ処理時間帯と前項①との競合をさける等、処理効率を改善して利用者に対するサービスを向上する。
- ③ システムの修正・変更・拡張等の要求への対応を容易にする。
- ④ データを構造化し、データ関連を明確にすると共に重複データを解消し、データの保全性と信頼性の向上をはかる。
- ⑤ データを業務処理と分離し、システム全体の管理を簡素化する。
- ⑥ 以上③・④・⑤項を実施してシステムの保守管理を省力化すると共にデータ精度を向上させる。

業務部門のニーズ		処理方式	システムに要求される機能
業務名	機能概要		
車両運用管理 検査修繕管理 各種分析 (統計・情報検索)	- 車両の運用と保守を線区・管理局別に依らず一括フル管理する。 - 現場で必要な情報を随時取出せること	中央集中処理	- オンラインによるデータ集配と一括集中処理(データベースファイル) - オンライン即時応答
乗務員運用実績集計 構内作業計画	中央処理情報を取得して現場業務部門内個々の処理を行う	中央権限 現場権限	オンライン集中処理及び機能分散処理
在庫管理 外注管理 事務台帳管理	- 現場業務部門に関するデータを現場内で自主管理する。 - 現場業務内容に応じ入出力装置を選択し、マンマシンインタフェースを向上	現場端末処理	機能分散処理(負荷分散)
その他	同時並行処理が可能である。		マルチ処理機能

表一 業務部門のニーズとシステム機能

4. データベース構造

4-1 データベース導入の背景

新幹線における車両は編成を固定して運用しているため、日常の運用と保守の業務において発生するデータは編成単位に扱っている。

一方、車両がもととなって構成している、複雑でかつ膨大な数の車両部品と車両個体から発生する種々の履歴データは、車両として運用保守する段階の走行キロデータ・各種検査データと部品データとの相互関連を保証しながら管理される。

すなわち、毎日の車両運用と検査により刻々と大量に発生するこれらのデータは、個々の履歴台帳と各時点の運用実績台帳を適切に組合せて、検索の要求に適合した順に、しかも効率的に管理されなければならない。

現在では中央指令所と沿線の各車両基地が、編成(編成番号)単位・車両(車両番号)単位・部品(製作番号)単位に、以下のように情報の整理を行っている。

- ① 編成並びに車両の各種履歴情報を個別に管理する。
- ② 台車走り装置・ATC車上装置の各部品の装備位置と履歴を個別に管理する。
- ③ 車両及び機器ごとの故障データを管理する。
- ④ 車両及び機器ごとの検査修繕データを管理する。

これ等の要件をデータ間の関連性で図示すると図-3のようになる。

従来の東海道・山陽新幹線の車両管理システムにおけるファイル処理の中心となっていたシーケンシャル編成やインデックスド・シーケンシャル編成では、複雑なデータ間の関連性を効率よく蓄積し、検索することが容易でないという欠点をもっている。

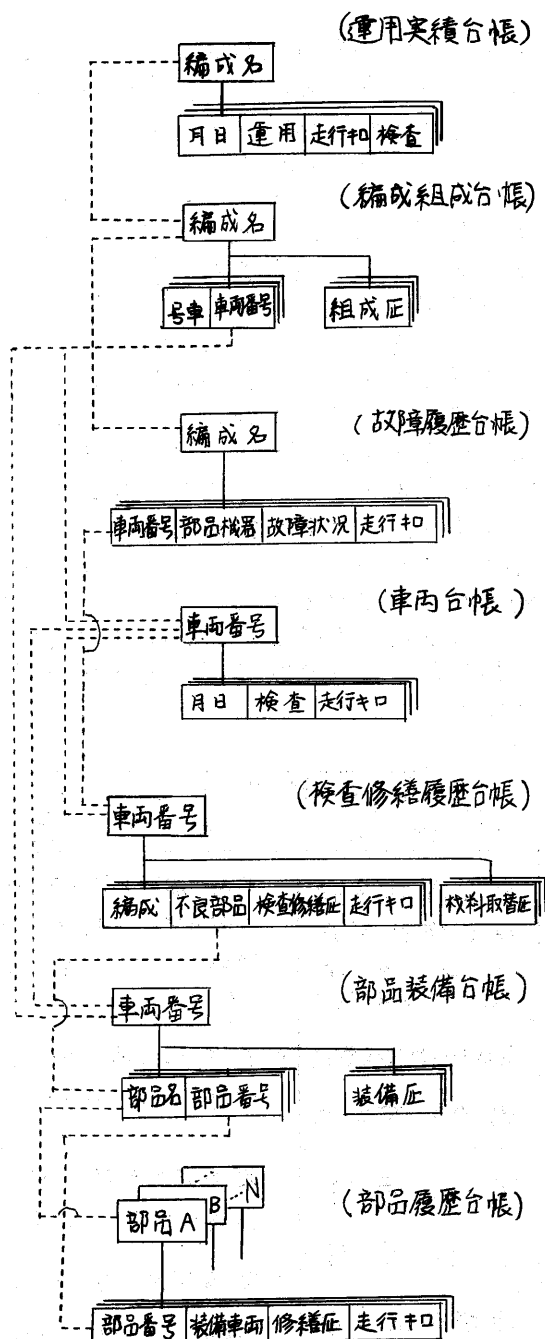


図-3 データ関連図

さらに管理すべきデータ（編成→車両→部品）の関係は、保守のタイミングに編成組替や部品の取付取外し等の移動が生ずると、その都度組成データ・部品装備データの膨大なメンテナンスを余儀無くされ、かつ走行キロ実績・検査実績等を相互に重複管理するなどその関連性の管理に手間がかかった。

そこで、これらのデータはプログラムから切離し、構造化をはかり、一元管理を可能とするためデータベースを導入することとした。

4-2 論理構造の最適化

(1) システムの目標

データベースの構築に当っては、その運用面・利用面・処理能力面における最適化を第一義とした。

つまり、データベース導入に際してシステムの必要条件は次の通りである。

- ① データの関連性を整理して重複蓄積を解消し、管理効率を向上する。
- ② 毎日一定時刻に行うファイルの更新と定型出力処理（定例バッチ処理）はその時間内で処理する能力を有すること。
- ③ 従来あきらめていた情報検索等の複雑な処理（情報検索処理）を可能とする。

(2) 基本構造へのアプローチ

データベース論理構造の考え方として、通常の運用や保守において取扱う編成を単位に、これを構成する車両とその下位の部品の順にデータ間の関連性をありのままにした階層構造を基本とするデータベース構造が考えられる（図-4）。これは、毎日数百件から千件余り発生するトランザクションデータは編成をキーとして編成→車両→部品の関連ファイルへ蓄積するのに適して居り、この蓄積処理は情報サービス時間帯を確保する意味でも極めて短時間に終了するために必要な条件で

ある。

一方、業務部門においては、例えば本線上の車両故障等の時に、非定型的な情報の検索によるタイムリーな応答を要求される。これには、多数の車両とそれを構成する膨大な車両部品の非常に多岐にわたる管理項目のなかから特定の項目を指定して抽出し、あるいは集計するものである。したがって、データベース構造としてはネットワーク構造が要求されるほか、2次索引項目の設定を必要条件となる。

以上により、データベース構造としては、階層構造とネットワーク構造の両構造の機能が必要である。このためデータベースを分割して、ポイントで管理することによりこの目的を達成し得るものとの結論を得た。

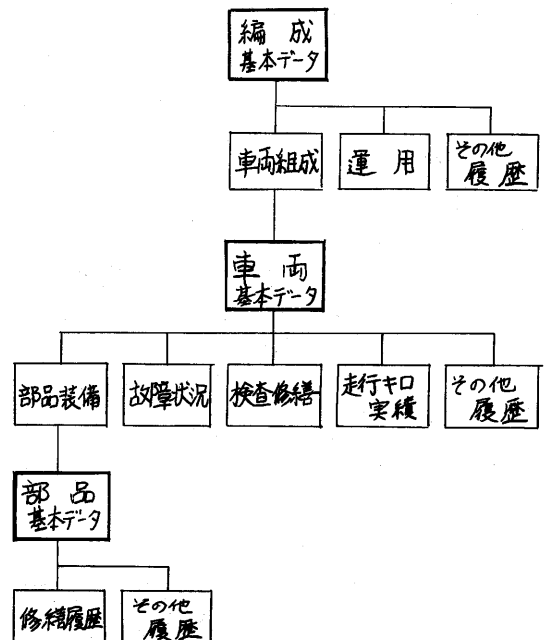


図-4 基本的な論理構造

(3) データベースの分割の考え方

データベース構造の分割はこれの利用形態上の必要性の他に、汎用DBMSを利用する上からも、余儀なくされたのである。つまり、データベースのレコードサイズの適正化を次の理由により求められた。

- ① バッファサイズの増大によるエリア不足等の制限がある。
- ② 支援ユーティリティが一定の値以上のレコードサイズをサポートしない。
- ③ データベースのメンテナンス(再編成等)を行う場合のメンテナンス時間が増大するばかりか、メンテナンス中に障害が発生すると回復も困難となる。
- ④ 論理構造が多階層になると処理能力が低下する。

又、分割にあたっては、検索時間の増大を防止する他、ディスクのスペース効率の低下を防止するため、次の2点も目安とした。①オカレンスの多発するものを別データベースにする。②関連データベースの大きさは、なるべく均等化する。

分割したデータベース群を相互に関連づける方式としては、アプリケーションプログラムで関連づける論理構造を採用して、運用面において一体のデータベースとして扱えるようにした。この方式は分割したままの方式や、分割して論理ポインタで関連づける方式とも比較検討して表-2のような評価を行った。

	アプリケーションの容易性	データメンテナンスの容易性	システム処理能力	回復の容易性
分割独立方式	○	×	◎	○
論理ポインタ式	◎	○	△	×
車両システム方式	△	△	○	○

表-2 論理構造案の評価

すなわち、車両データベースの論理構造は、システム処理能力や回復の容易性に重点を置いてシステムの運用面や業務部門に対して信頼性を維持するほか、システムの保守部門に対する負担軽減をわらったものである。

(4) 処理能力の検討

すでに述べたように、データベース導入の目的は、ソフト及びデータの保守性の向上が第一義であり、データの利用者(業務部門)からは、定例的バッチ処理と情報検索処理の処理能力向上が求められる。

データベースの論理構造の構築にあたってはこれ等を十分考慮してきたがDBMSを利用する上でなお避けることのできない問題とその対処は次のように行った。

- ① バッチ処理によるファイル更新及び定型帳表作成プログラムの数は、業務の性質上膨大である。従ってDBMSのデータ管理によるオーバーヘッドタイムが、処理能力を落とす懸念されたが、ハード上のCPU処理能力の向上と次節に述べる物理設計上の配慮で解決することが可能との結論を得た。
- ② 履歴管理など、オカレンスを持つセグメントはオカレンスの追加・削除が多発する。例えば過去のデータを検索する際の逆検索が不可能であり、処理能力を低下させる要素となったが、アプリケーション側のプログラムで対処することとした。
- ③ 非定型な情報検索の要求に対し、オ2次索引キーの設定を行うとファイル更新処理やデータベースのメンテナンス処理の能力低下を起す。システムの目標はデータの保守性向上が第一義である。情報検索には、即時応答性の他にリモートバッチ処理方式で応答すればよいものがあり、オ2次索引キーの設定を必要最少限とすることにした。

4-3 物理設計

(1) データベース編成と

ポインターの決定

データベースの編成法とポインターの選定は、車両データベース群の論理構造やセグメント移動率及びセグメント処理モードを考慮し次のように決定した。

編成法は、データベース間をG.U.コールで関連づけることによりアクセスモードはシーケンシャル・ランダム両方が発生する等の理由で、階層索引ダイレクトアクセス方法とした。

ポインターは、セグメントの処理モードがシーケンシャル・ランダム両方が発生するために、物理子／物理兄弟ポインターとした。

(2) データベースレコードの

ディスク上の物理配置

データアクセス効率の改善を次により行った。

- ・ V.T.O.Cの近くにプライマリーインデックスデータベースを配置
- ・ 同一ディスクに集中してI/Oが発行されないようなデータベース配置の適正化
- ・ 業務及びプログラムのデータベースアクセスパターンの考慮

(3) 処理効率の向上施策

V.S.A.Mレコードの処理時に、各インデックスレコードをデータレコードと同一シリンダ或は同一トラック上に配置する機能を活用するなど、インデックスの効果的配置を行って、シーク時間及びサーチ時間の短縮をはかった。

4-4 データベースの実現

車両データベースの論理構造を図-5に示す。

編成データベースは、データベース群の頂点に位置付して各データベースとの関連をもっている。例えば、編成からみた保守実績・部品装備・故障実

績等は各データベースとリンクして検索できる。

車両データベースは車両を個別に管理するもので、本システムの中心となる。例えば、車両の走行キロは、本線上の車両を追跡管理しているコンピュータシステムより受入れ、日別に履歴情報として管理している。したがって編成の走行キロ、部品の走行キロは、それぞれのデータベースが車両データベースとの関連をもって管理しており故障等の時系列管理が容易である。

故障データベース、検査修繕データベース、材料データベースは、それぞれ車両単位の故障及び検査修繕情報を部品別に蓄積管理する。各データベースの個々のデータ量が非定量的でありデータの管理レベルもそれぞれ異なるので独立したデータベースとなった。しかし、データベース群として相互の論理的な関連性の保証をしており、車両及び車両部品の信頼性管理並びに保守効果の把握などはこれ等のデータベースを中心に行う。

つぎに台車部品データベース・台車軸受データベースおよび・ATC部品データベースは、それぞれ部品を個別に履歴管理する。これ等の部品は、新幹線電車の安全を担う部品であるためデータの精度を特に要求されている。各データベースは車両データベース・編成データベースと論理的な関連性を保証しており部品の検索や当該編成車両のモニタが即時可能となっている。

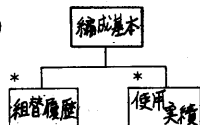
5. 評価

種々の検討を重ねて去る6月23日よりデータベースを利用した車両管理システムは稼働した。しかし、我々は、これに先立ってデータベース化したことによる評価をあらゆる点から検討した。

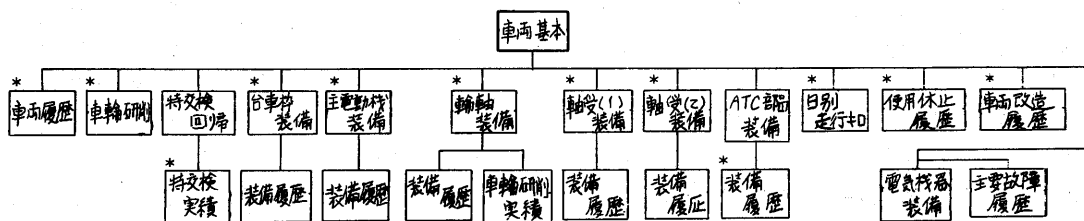
つまり、①全体的にみたデータベース分割の方式、②毎日のバッチ処理における処理能力(スループット)、③情報検索処理における処理能力(応答時間)

めそれぞれの評価としては、以下に述べるように一応の成果を得たものと確信している。

(編成データベース)



(車両データベース)



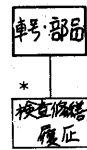
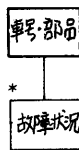
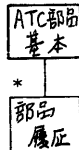
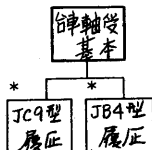
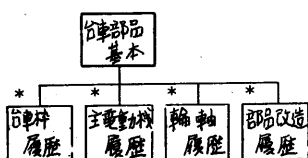
(台車部品データベース)

(台車軸受データベース)

(ATC部品データベース)

(故障データベース)

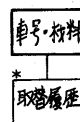
(検査修繕データベース)



車両データベース一覧表

項目	データベース	データベース	データベース	データベース	データベース	データベース	データベース	データベース	データベース
名称	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ	ユーザ
編成データベース	28.050	100	12.288	2	3	15	18	100編成	
車両データベース	25.880	1.600	12.288	4	5	210	215	1,600車両	
台車部品データベース	4.840	15.600	6.144	2	5	455	460		
台車軸受データベース	200	28.160	6.144	2	9	86	45		
ATC部品データベース	2.060	6.600	4.096	3	5	129	134		
故障データベース	660	28.800	2.048	2	9	98	107		
検査修繕データベース	660	26.600	2.048	2	27	376	403		
材料データベース	780	14.400	2.048	2	5	70	75		

(材料データベース)



(凡例)

はルトセグメント

* 印はオカレンスが発生する

図-5 車両データベースの論理構造

5-1 データベース分割の 方式について

各データベース群をアプリケーション側でポイント管理したために、毎日のデータ蓄積と編成一車両一部品ごとの定型情報を作成するバッチ処理能力を向上することとしながら、非定型的な情報検索処理においてもその処理能力は確認された。つまり、

- ① データベース機能がきめ細く利用できるように、車両部品レベルとしては、全体構造の最下層の情報が効率よく処理できる。
- ② ファイルの論理構造と物理構造が固定となり、検索時のディスクアクセスロスが少い。
- ③ 支援サポート（簡易言語機能を含め）のサービス範囲が拡大された。
- ④ データベース自体は比較的単純な構造となり、プログラム作成・修正が容易となった。

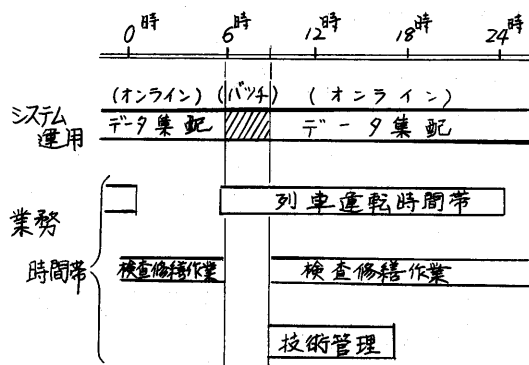
5-2 定例バッチ処理の処理能力

車両管理システムの運用は、業務部門の作業形態により制約を受ける。つまり、一昼夜にわたる作業の流れの一区切りする時間帯に、それまで発生した情報をオンラインで収集を完了し、一定時間内でバッチ処理を行った結果は即、当日朝の点呼、作業打合せ並びに上司に対する前日の車両の運用と保守に関する復命用の資料提供を求められる。従って極めて限定された時間にバッチ処理を完了し、次の作業に必要な情報提供に備えることを要求されている。この関連を図示すると図-6のように表わされる。

ここで、データベース導入後、バッチ処理によるファイル更新処理を限定された時間内に実施するに当たり種々の検討とシミュレーションを行い次のような結論を得た。

つまり、データベース導入に伴う日

BMSのデータ管理に要するオーバーヘッドタイムが当初において処理効率を低下させるものとして懸念されたがハード上のCPU処理能力の向上と共に、データ管理プログラムの一部常駐化等改善策をとり入れることにより、この影響は無視し得る値であることを確認した。



(注) バッチ処理終了後、前日(明6時)までの実績に關し定型帳簿が得られる他、情報検索が可能である。

図-6 システム運用と現場業務時間帯

5-3 情報検索の処理能力

情報検索は、定例業務において定例的に要求されるものの他に、突発的な要求による非定型的検索を求められる。例えば、事故防止対策としてある特定の部品を指定して、現在の装備編成名と故障履歴を求めるケースとか、多数の故障履歴から特定故障のみ抽出して集計表を要求するケースである。

そしてこれらは、オンライン即時処理で応答すべきものと、リーモードバッチ処理で応答すればよいもの（この場合は当システムでは一部人手が介在する）がある。このうち特に前者の場合、一定の応答時間内で処理すべきことは、当システムの環境条件や業務部門の要求を考慮すると重要な要件である。

今回のデータベース導入においては分割した個々のデータベースの実業務に対する位置付を明確にしてアプリケーションプログラムでポイント管理した(図-7)ほか、オ2次索引キーの設定と、従属セグメント(オカレンス)をアプリケーションプログラムで逆検索を可能としたことにより処理能力の向上を行った。これにより、実質的な論理I/O回数の減少が可能となったため、システム環境上の制約からも、業務部門に対する応答性能面でも満足する結果を得ている。

(注) 当システム環境における情報検索処理の制約条件は次のとおりである。

	論理I/O回数	処理時分
情報検索A型	1 ~ 50	10 秒以内
同 B型	51 ~ 500	55 "
同 C型	501 ~ 1,000	105 "

表-3 情報検索の制約条件

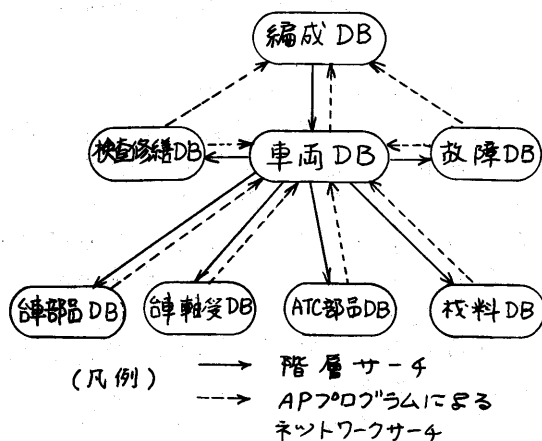


図-7 各データベース間のポイント管理

6. おわりに

データベースの導入は、これまでにも述べたように、データの保守部門に

対する効果と業務部門に対するサービスの向上に寄与した。

しかしながら、利用部門における非定型情報の検索要求には未だ十分にこたえられない。つまり、これを更に充足させるためにはオ2次索引キー項目を追加してネットワークを拡大することが必須である。ところが今のDBMSにおいては、データベースファイルの更新処理時分を著しく増大する結果になるばかりか、データベースファイルの保守上の能力を悪化する等の問題がある。

又、システム開発段階においては、ファイルI/Oルーチン・エラー処理・データ定義等の標準化を行い開発効率が向上した。しかし反面では、分割したデータベースのポイント管理や従属セグメントの逆検索等アプリケーション側における相当な開発負荷がかかった。

昨今におけるデータベースの利用技術の進展は著しいものがあるが、今後これらの点においてデータベースを利用したシステムの最適化をはかりたい。

最後に、本論文を執筆するにあたり関係各位による多大な御指導を賜りましたので誌上を借りて厚く感謝する次第です。