

IT による鉄道経営の効率化



野末 尚次

NOZUE Naotugu

情報化技術 (IT) を利用した経営の効率化は、多くの企業で進められている。鉄道では、座席予約や新幹線運行管理等のオンライン・システムが先駆的に開発されたが、現状では、やや後塵を拝している。これは、鉄道の計画業務の特殊性や専門性が強調されるあまり、各種のシステム化への取組みが躊躇された結果である¹⁾。しかし、最近のコンピュータの驚異的な性能向上・価格低下、複雑で大規模な計画問題を処理可能なソフトウェアの進歩、及び、制約条件をベースとした開発技法の発達により、これらの分野へのシステム化が可能段階となってきた²⁾。

ここでは、従来あまり論じられていない、輸送のバックグラウンドの保守業務、計画の時間経過や外乱への対応、業務システムの拡張と保守、及び、個別サービスへの展開について解説する。

1. はじめに

最近の情報化技術 (IT) の進展に伴い、効率的な経営を支援するシステムが多くの企業で開発されている。

鉄道では、座席予約システム (MARS) や新幹線運行管理システム (COMTRAC) 等のオンライン・システムが先駆的に開発され、この分野をリードしてきたが、現状では、やや後塵を拝している。

鉄道経営は、図 1 に示すように (1) 需要、(2) 営業、(3) 運用、(4) 保守から構成されている。

鉄道の IT による効率化というと、(3) 運用に関係した乗務員運用計画や車両運用計画を思い浮かべる人が多い。確かに、この部分は列車ダイヤと密接に連携してお

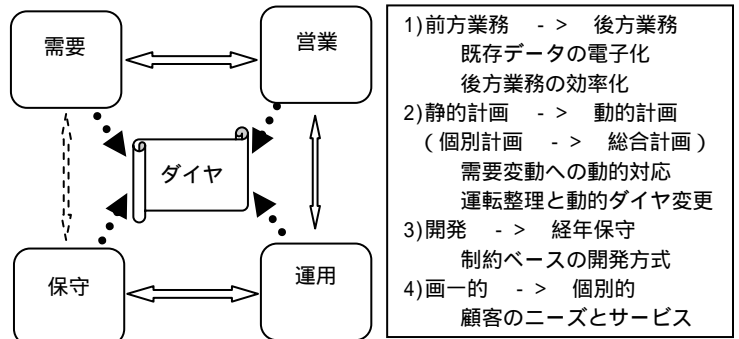


図 1. 鉄道経営の構成要素

- | | | |
|--|----|------|
| 1) 前方業務 | -> | 後方業務 |
| 既存データの電子化
後方業務の効率化 | | |
| 2) 静的計画 | -> | 動的計画 |
| (個別計画 -> 総合計画)
需要変動への動的対応
運転整理と動的ダイヤ変更 | | |
| 3) 開発 | -> | 経年保守 |
| 制約ベースの開発方式 | | |
| 4) 画一的 | -> | 個別的 |
| 顧客のニーズとサービス | | |

図 2. 鉄道 IT 化の話題

り、IT 化の主要課題である。従来は、計画者のノウハウに依存したマンマシン系を主にしたシステムであったが、最近になって漸く数理的な計画技術を主体にしたシステム開発が試みられている。

しかし、鉄道経営の効率化を達成するためには、残りの部分も含めた全体に対する IT 化を対象とする必要があるが、通常は、主役としては登場しないので、良いシステムが開発されても知られない場合が多い。

また、旧来の季節ベースの静的な計画から、顧客の嗜好や事故等の外乱に対応した動的な計画への脱皮は、IT 化無しでは不可能であり、今後の重要な課題である。

この論文では、多くの情報が発信されている (3) 運用は除外して、図 2 に示す視点からシステムを取り上げて紹介する。

2. 後方業務への展開

保守に関係した IT 化は、保守実績や故障データに関係したデータベースの開発は積極的に行われてきたが、効率的な保守作業の計画を支援するための IT 化は遅れている。しかし、漸くこの分野の開発も進められており、「工場生産計画支援システム」(JR 東日本で稼働中、ジ

エイアール東日本情報システムが開発)を紹介する。

さらに、保守のIT化を阻んでいる要因として、これまで蓄積されてきた図面の電子データ化の問題がある。

この問題を解決するために菊池等(鉄道総合技術研究所)により開発された「設備記述言語を使用した設備管理システム」を紹介する³⁾。

2.1 工場生産計画支援システム

鉄道車両工場においては、大規模な車両の検査・修繕が1~2週間の工程で行われるが、基本的には、1)編成の分解、2)台車抜き、3)床下機器解体、4)車体修繕、5)塗装、6)床下機器取付、7)台車入れ、8)編成の連結、9)総合検査の段階で行われ、各段階は異なる場所で実施される。また、各段階に於いても、基本的には、車両単位で独立した作業線で作業が行われる。これらの同一編成の車両に対する作業は、作業員の運用を考慮して、パイプライン的な並行作業として実施されるが、既に完了した部分に関しては、他の編成の車両の作業が、同様の形式で充当される。

したがって、作業の実施順序、及び、作業に使う作業線を十分考慮して設定しないと、車両間での作業線・作業員の競合に伴うロスタイムが生じ、作業効率を落としてしまう。この問題に対しては、作業全体を表現するネットワークを構成して、この問題の効率的な解を生成するアルゴリズムを考案し、「車体工程計画システム」として、IT化に成功している(図3に在線計画の画面)。

鉄道車両では、主要な機器は、予備品を使用して保守を行っているが、多様な車両の修繕がパイプライン的に実施されるため、各作業工程に間に合うように、これらの部品を供給することも、非常に困難な課題である。

これに対しては、車体工程計画に従った部品使用計画を作成し、これを充足する修繕計画を立案する「部品工

程計画システム」を開発して効率化している。

2.2 既存データの電子化

保守関係業務のシステム化を行う場合の大きな障害の一つに図面の問題がある。昔からある設備の場合には、通常、紙の図面か画像イメージがあるだけ、保守履歴等のデータベースと設備の構造の連携は、人間が図面を目視で調べることで処理されている。

もし管理要素の図面上の位置や、線の接続関係等がコンピュータで処理可能な電子化データとして存在すれば、コンピュータで設備の配線等の接続関係を調べて、故障原因の特定や影響範囲の推定等が可能になる。

従って、保守関係の設備管理のシステムを構築する上では、図面からの電子化データの作成が不可欠である。

このような電子化データを作成する場合に、従来は、高価なCADを用いて、さらに高給のオペレータにより再作成するため非常にコストが掛かって、実用上は不可能であった。

このような状況に対して、JR総研に於いて、設備の記述が簡単に出来る設備記述言語(FDL)が考案され、これを利用した図面生成システムが開発されている³⁾。

このシステムでは、鉄道に固有な多数の設備要素を部品化して提供することにより、容易に設備図面の電子化が可能となっている。信号設備管理への適用例を、図4に示す。コンピュータで表示されている部品をクリックすることにより、その部品に関する設備管理台帳の情報や、事前に登録すれば、設置の位置付近の写真等も表示可能となっている。

さらに、従来は個別に作成されている複数の部門(軌道構造、土木構造物、電車線等)の設備図面を統合的に管理する機能も実現されており、同一画面上で、関係する設備の表示・処理が可能で、部門間の保守作業計画の

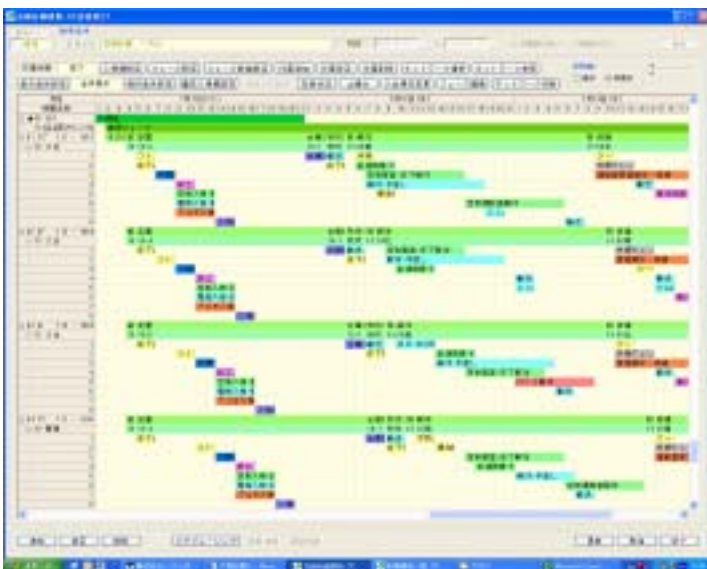


図3. 在線計画の計画用画面

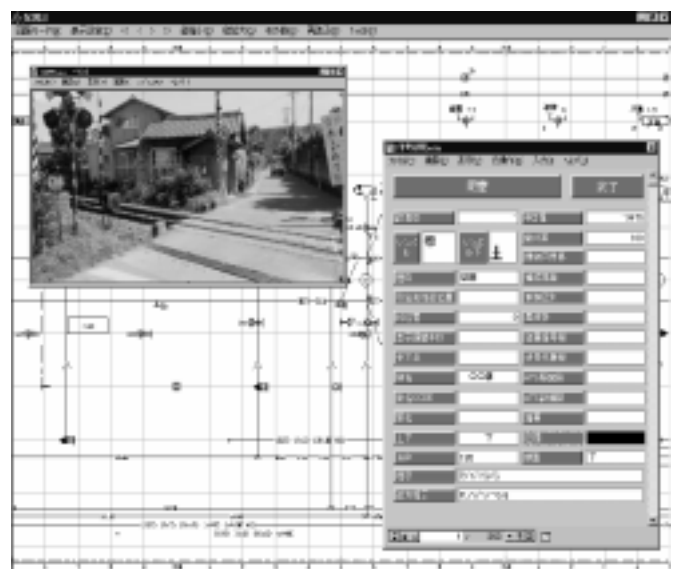


図4 信号設備図面への適用例

連携、事故等の原因の究明に有効と考えられる。

また、設備記述言語（FDL）は、文字ベースの非常に簡潔な表現形態を採用しているので、必要な情報量が少ないため、携帯形端末への表示も可能である。これにより、現場からの設備管理情報へのアクセスが可能となるばかりでなく、現場への作業の指示も明確となり、保守作業の効率化が期待される。

3. 静的計画から動的計画への展開

鉄道の提供する商品は、列車ダイヤに集約されるが、基本的には、数ヶ月前の時点で想定された輸送需要により作成された静的な計画に基づいており、典型的なプッシュ形の生産方式である。

最近の企業では、顧客のニーズに基づいて生産を行うプル形への転換が焦点の課題となっており、サプライチェーン・マネジメントに代表される広域的で動的な生産管理方式に成功した企業は、大幅なコストダウンを武器として、市場での寡占化を勝ち取っている。

鉄道の場合にも、MARSの予約情報を積極的に活用することにより、プル形への転換が可能と考えられるので、この方式について解説する。

列車ダイヤ自体も、悪天候、事故、設備故障等により、大幅なダイヤの乱れが発生するが、この場合には、基本計画等のオフラインでの静的なダイヤ作成とは非常に異なった運転整理の動的な計画技術が必要となる。

運転整理時の駅での着発線や線路容量による競合は、従来の時間をベースとしたシミュレーション方式では、将来の競合が予測できないので、原理的に対応できない。

これに対して、清水（ジェイアール東日本情報システム）との共同研究により、列車運行の制約条件をベースとした新しいダイヤの表現方式を開発し、上記の問題の解決が可能となったので紹介する⁵⁾。

3.1 MARSの予約履歴に基づいた動的列車設定

列車の運行は、利用客の利便性と企業の効率性の両面から考える必要がある。

定期的なスケジュール運行と動的なデマンド運行は、それぞれ図5に示す得失がある。例えば、利用客が遠距離旅行を行う場合には、定期列車の予約が不可欠である。

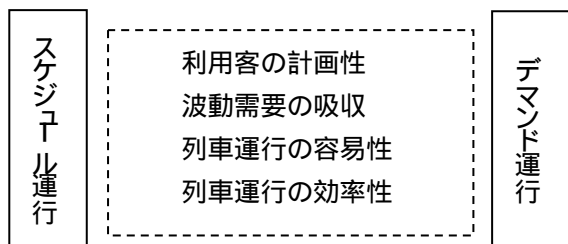


図5 運行方式と得失

従って、スケジュール運行とデマンド運行を組合わせた運行方式が、鉄道の場合には、不可欠である。

これを実現する方策として、座席予約システム（MARS）に対する旅行者からの予約の履歴を利用する方式を考案した。

この研究は、国鉄時代に実施されたが、基本的な考え方は、現時点でも有効と考えられる⁴⁾。

基本的なアイデアは、1)各時間帯ごとに、数本の列車を定期列車として時刻表に掲載して運行し、2)この定期列車への予約の時系列を発売開始時点から観測し、3)予約開始後10日間の予約履歴に基づいて、必要な増発列車数を決定し、4)この列車を利用者に公表し、5)これらの列車への予約を受け付ける。

このために、MARSシステムのログデータを使用して、時間帯別の実質予約累積（キャンセル分を差引く）の履歴データ作成するシステムを開発し、実現可能性をチェックした。

図6に、東海道新幹線の下り列車（研究時点）への予約を、静岡断面で各時間帯毎に集計した結果を例示する。

この日は、5月の連休の初日で非常に混雑している。この図からは、時間帯間の転移現象等も観測されるが、10日目頃には、凡その判断ができそうである。図7に、10日目までの実質予約履歴をベースにした最終需要の予測とそれによる増発列車の設定のイメージを示す。

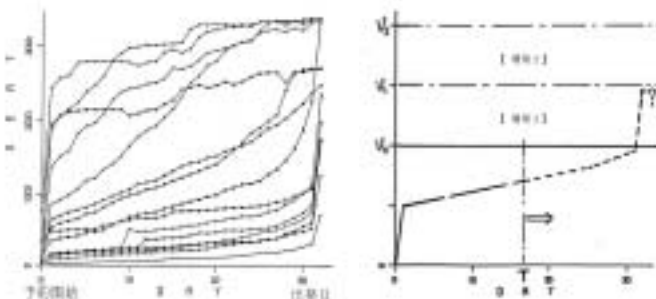


図6 時間帯別断面交通量 図7 推定需要と増発列車決定

この研究時点では、「ひかり」が5本運行されていたので、3本の列車を定期列車とし、残りの2本を（デマンド運行の）増発列車に設定して、10月を対象に、1か月のMARSの予約履歴の実績データに基づくシミュレーションを実施した。

この結果では、実際に運行された列車に対して、(1)さらに必要な84本の列車の追加、(2)デマンド列車を運行しないことによる171本の列車の運行削減となる結果が得られており、この方式の有効性を確認している。

しかし、研究時点では、1)利用客への情報伝達が困難、2)フレキシブルな生産方式が出来ない（車両・乗務員の動的な計画作成と運用ができない）ために、実用化は困難であった。

現在では、インターネットにより情報伝達の問題はクリアされており、車両・乗務員の動的な計画作成も可能な段階になっている。運用・保守形態のリエンジニアリングが残されているが、現在は、このような改革にチャレンジ可能な環境にあると考える。

3.2 制約条件をベースとしたダイヤ表現と運転整理

列車ダイヤを構成する際の制約条件は、基準運転時分、着発線競合、列車相互の続行時隔、線路容量、車両運用制約、乗務員運用制約等があるが、基本的には、複数の列車の発時刻と着時刻に対する不等式として表現される。

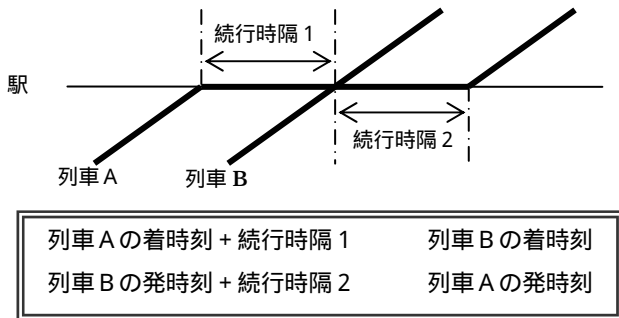


図8 追い越し/待避制約条件

新しい列車ダイヤの表現：『設定された全ての等式・不等式制約条件を満たす解の中で、最も早い時刻を着発時刻に設定すれば、実施ダイヤが得られる。』

この表現形式の採用により、運転整理計画を作成する際に、「従来の時刻を決める方式」の代わりに、「列車の発順序を決定して、続行時隔の不等式制約を設定する方式」を考案した⁵⁾。

従来の方式と今回の方式の決定的な違いは、例えば、未来の時点の駅2で、特急列車Aに普通列車Bが接続する条件（特急列車Aの駅2の発順序 < 普通列車Bの駅2の発順序）を設定すると、これに対応した駅2の2列車間の時刻の制約条件が設定され、この結果、普通列車Bの駅1の出発時刻が、駅間の走行条件に従って、自動的に調整されることである。

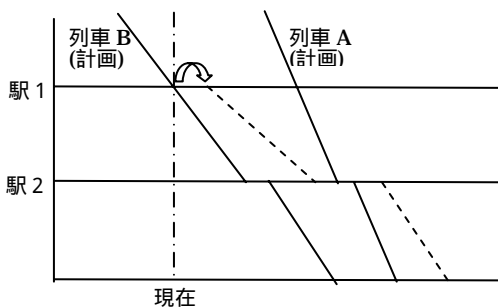


図9 列車間の制約と制約伝播 (概念図)

このような連鎖は、制約伝播と呼ばれ、今回のシステム化のキー概念である。

この理論により、ILOG社の制約プログラミング・パ

ッケージを利用したプロトタイプ(Cibers)を開発し、ケーススタディを行った。かなり大規模な乱れに対しても、実行可能なダイヤ案を数分で作成可能であった。

この問題に対する従来のアプローチは、人間と同じ時間ベースのシミュレーション・モデルのため、本質的な部分の課題が解決されず、成果が得られなかった。

新しいモデルによりブレークスルーが生まれる可能性は、未だ多くの分野に眠っていると思われる。

4. 業務システムの開発と経年保守

業務システムでは、開発の完了後に実使用中で、システム開発時の前提条件が変化したり、新しい機能の追加が要求されて、システムの改修が必要になる。多くの企業でこのために莫大な経費が投入されている。

鉄道のシステムでは、その性格上、システムの安定性が非常に重視されるため、この種の課題は、次期のシステム開発まで凍結されるケースも多い。

しかし最近の急速な社会環境の変化に対応して行くためには、この経年保守は避けて通れない課題である。

この問題に対しては、システムの開発時に、経年保守に対応し易い設計方式を採用する必要がある。

前節でも述べたが、制約ベースで開発されたシステムは、この経年変化に容易に対処可能である。この方式では、制約条件と探索方式を分離して開発されるため、新たな制約の追加や不要な制約の削除は、非常に簡単である。

さらに、この制約条件の主要部分が EXCEL 等のソフトで簡単に変更できる構成になれば、経年保守のコストは、限りなく零になる。

鉄道の定期券の発売では、連絡運輸があるため、他の会社の運賃の計算や、複数の会社間の連絡割引の適用が必要となる。しかし、他の会社で新駅が出来たり、運賃制度が変わったり、連絡割引制度が新たに追加されたりするたびに、自社の経費で、他社の変更に対応する経年保守を行う必要がある。まして、関連する会社が10社以上もあると、毎年、対応が必要となる。

このような問題を解決するために、八賀 (NTT データ) と共同開発を行い、各会社の運賃制度、割引制度、連絡割引制度を EXCEL 上で表現可能な記述形式を開発するとともに、このデータに基づいて運賃計算を行うアルゴリズムを開発し、実用システムを構築した⁶⁾。

この運賃計算アルゴリズムでは、運賃規則を満たす可能な解を生成し、その中から最終的な運賃を選択する方式を採用しており、従来の運賃計算のベテランのノウハウによる手続は全く含まれないため、運賃規則の変更に伴うソフトウェアの改修が不要となっている。

また、このような方式の採用により、従来の手続き型ソフトウェアでは不可避な、改修に伴う運賃計算の誤りを大幅に回避することが可能である。

実使用により、この方法で開発したシステムは、経年保守性の良さと同時に、運賃計算の計算精度が非常に高いことが確認されている。



図10 宣言型汎用定期運賃計算システムと定義例

5. 画一サービスから個別サービスへ

鉄道の顧客への情報サービスで最も重要なのは、旅行する際のルート（費用、所要時間）及び、列車の乗継（時刻表ベース）であるが、利用客によって評価が異なる。

若者と老人では、列車の乗継の負担度や必要な乗継時間は異なるであろう。このようなサービスを実現するための試みとして、平成2年に、時刻表ベースの「列車乗継案内システム」を開発した⁷⁾。このシステムの入力は、現在良く使用されている「駅すぱーと」（ヴァル研究所）と同じだが、年齢を聞いている部分が、本質的な相違点である。このシステムは、図11に示すように、「列車検索制御システム」と「代替ルート生成システム」から構成されており、前者は、AIのエキスパート・シェルでルールベースの記述が可能である。年齢の情報はここで処理されて、後者の数理計画システムの入力（ネットワークの乗換の枝の通過時間を長くする、列車間の最小乗継必要時分を大きくする）として渡され、ネットワークが修正される。これにより、年齢に適した経路と乗継案が複数生成され、前者に返される。前者では、ルールベースで、利用者に最適な案が選択され、表示される。

このハイブリッド構成の採用により、ルール部分を充実させることで、多様な個別サービスが可能となる。例えば、ハンディ・キャップのある人に対しては、乗換えが容易な駅を経由する乗継案の提示も可能となる。

旅客サービスと言うと、すぐにアイデア勝負の様相を呈するが、技術に裏づけされたサービスの開発がブレークスルーを生むと思う。

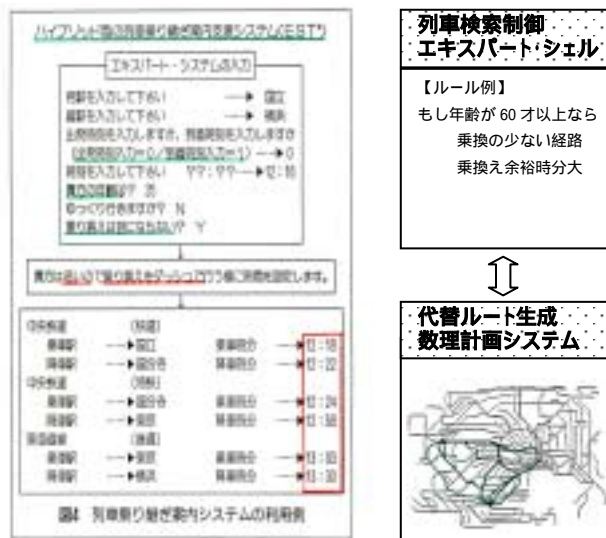


図11 列車乗継案内システムとハイブリッド構成方式

尚、このシステムは、ヴァル研究所の「駅すぱーと」の時刻ベースの案内開始より早い段階で完成していた。また、ネットワークをベースに計算しているため事故時の振替輸送への応用も可能である。しかし、残念ながらJRサイドで有用性が認識されず、実使用に至らなかった。

6. おわりに

鉄道経営のIT化は、鉄道産業の特殊性に目を奪われて、民間企業での先進的な取り組みからは、非常に遅れている。

個々の部門の伝統的な計画・運営方式に基づく局所的な最適化から、鉄道全体の最適化を目指した新しい運営方式に脱皮することにより、本当のIT化が実現する。

このブレークスルーを生むためには、ニーズの把握と同時に、それを実現する斬新なアイデアが大切である。

若い技術者にチャレンジの場を与えて、鉄道が周回遅れとならないよう踏出しましょう。

参考文献

- 1)野末：鉄道における計画システムの現状と課題、電気学会論文誌C, vol. 115, No.5, pp.628, 1995
- 2)野末：最適化技術の現状と計画系システムの開発、講演資料(2002), www.math-model.co.jp/ref.html
- 3) 菊池, 八木: 複数システムに対応した統合型設備図面生成システム, 鉄道総研報告, vol 16, No11, pp.43, 2002
- 4)野末: 予約情報による輸送の弾力化, 鉄道技術, vol.42, No11, pp.413, 1985
- 5)清水, 野末: 新しい計画技術と鉄道運行管理--制約プログラミングを用いた新幹線運転整理システム--, 平成14年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.831
または, www.math-model.co.jp/ref.html
- 6)「新運賃計算システム」パンフレット, www.math-model.co.jp/ref.html
- 7)野末: 列車乗継案内システム EST³の開発, 鉄道総研報告, vol 5, No7, pp.43, 1991