

入換計画 支援システムの 開発



茂木 重満*



井上 健造**



相馬 眞*



辺田 文彦*

車両基地の入換計画作成業務は、構内の設備的な制約条件や出区順序を考慮した車両の留置など多くの条件を勘案し作成する複雑な業務であり、現在の人手主体による計画の作成は多くの時間を要し業務の習熟も容易ではない。そこで車両基地の入換計画作成業務を支援する入換計画支援システムのプロトタイプを開発し、習志野運輸区で機能確認試験を実施した。

●キーワード：ATOS、PRC、車両管理システム、輸送総合システム

1. はじめに

車両の定期検査や清掃作業は、車両が車両基地に入区し、出区するまでの間合いで日々計画的に作業を実施している。車両基地構内で検査や清掃作業を行うために車両を転線・留置する計画が入換計画であり、入換計画担当者は作業が可能な番線（洗浄には水道・排水設備が整った洗い番線、車両検修では屋根上点検設備や床下点検のピット設備が整った検修番線など）への車両の転線や出区順序を考慮した車両の留置場所の選定など、さまざまな制約条件を考えながら個々の編成の転線ルートや留置計画を作成し、さらに、それぞれの編成の転線ルートや留置番線が競合しないように全体的な調整を繰り返しながら入換計画を作成している。現在、この作業はほぼ人手に頼っており、作成には多くの時間を要するとともに熟練度を要するものとなっている。また、輸送混乱時などに入出区車両の変更が発生した場合には短時間で臨機応変に計画を変更しなければならない。そこで、入換計画作成業務の効率化と臨時の計画再作成を支援することを目的とした「入換計画支援システム」のプロトタイプシステムを開発し、機能確認試験を実施した。

2. システムの概要

2.1 開発する機能

開発機能として次の仕様を満足する開発を行った。

- ・構内入出区計画、構内作業計画（検修作業、清掃作業）

をもとに構内の制約条件を考慮した入換計画を自動作成する。

- ・輸送混乱時に臨時入出区が発生した場合には構内作業の追加や中止にも即応できるシステムとするとともに、手動介入により計画の修正を人の最終判断でできるシステムとする。

なお、開発のモデル区所として習志野運輸区を選定し、システムを開発した。

2.2 システムの機能

2.2.1 基礎データ管理機能

車両基地の固有情報、入換計画における制約条件などの基礎情報の取り込みと出力を行う機能である。

2.2.2 基本入換計画作成機能

ダイヤ改正時の基本的な情報（輸送ダイヤ、番線設備情報、作業内容、基本運用情報）、入出区などの輸送情報などをもとにして、基本構内作業ダイヤ（基本入換計画）を自動作成する。転線回数なるべく少なくなるように計画を作成する「転線最小」とダイヤ改正前の基本入換計画からなるべく乖離しないように計画作成を行う「乖離最小」の選択が可能である。また、システムが作成した計画を手動介入で部分的に調整した後、再度システムで全体の計画を調整する機能（再計画機能）がある。

2.2.3 基本運用変更機能

輸送総合システムで保持するダイヤ改正情報を取り込

み、確認画面で表示された平日運用および休日運用から、運用番号ごとに内容の確認および割付確認、変更を行う機能である。この機能では、入出区の担当者やコメント、入区パターンなどの追加を行うことができる。

2.2.4 日別入換計画作成機能

計画日を指定後、基本的な情報（輸送ダイヤ、番線設備情報、作業内容など）、日別運用情報などをもとに日別構内作業ダイヤ（日別入換計画）を自動作成する。基本入換計画作成機能と同様に「転線最小」と「乖離最小」の選択が可能であり、日別計画作成では日々の定例業務として翌日以降の入換計画を作成する日別指定作成と、輸送混乱時に当日計画を再作成する再計画作成がある。再計画作成では修正入力された変更運用情報を取り込み、再作成時刻以前の計画を固定し、計画を再作成する。また、一旦システムが作成した計画を手動介入で部分的に調整した後、再度システムで全体の計画を調整する機能（再計画機能）がある。

2.2.5 日別運用変更機能

日別運用の個別情報の確認、運用の変更を行える機能であり、日別運用に設定される検査・清掃などの作業についても確認・変更が行える。

2.2.6 帳票出力機能

ダイヤ面単位および指定日単位に、作成した構内作業ダイヤ（入換計画）をもとにした「入換計画順序表」、「出区表」の出力を行う機能である。

2.3 システムでの計画作成概要

システムへは編成の運用割付（日別に各編成が、どの車両運用に充当されるかを入力）、各編成の構内作業計画、入出区時間などの基本情報（各編成の構内入出区時間と構内で行う作業内容）を入力する。

システムでは入力された基本情報をもとに、既に制約条件として格納されている物理的条件、運用条件（表1）を満足する転線計画を自動作成する。

表1 主な制約条件

種別	制約条件
物理条件	番線が競合しない
	進路が競合しない
	番線・進路の接続が正しい
	転線の移動時間が正しい
	在線と転線を交互に繰り返す
	編成の長さが番線長を超えない
運用条件	入出区時間を守る
	作業が可能な番線に転線する
	必要な作業時間以上在線する
	指定した作業順序を守る
	指定した作業実施時間帯を守る
	指定した転線実施時間帯を守る
	出区時間を考慮した車両留置
	線路閉鎖区間は使用しない
その他	区所特有の運用・作業条件を考慮したノウハウ

システムで作成された入換計画は素案として「構内転線ダイヤ図」で画面表示される（図1）。構内作業ダイヤは横軸に時間帯、縦軸に構内番線名を表示し、各車両が入区から出区までの間、構内で、どのような転線を行うかを表示する。作成した素案に対し、部分的な変更がある場合はこの画面から手動介入による変更が行える。

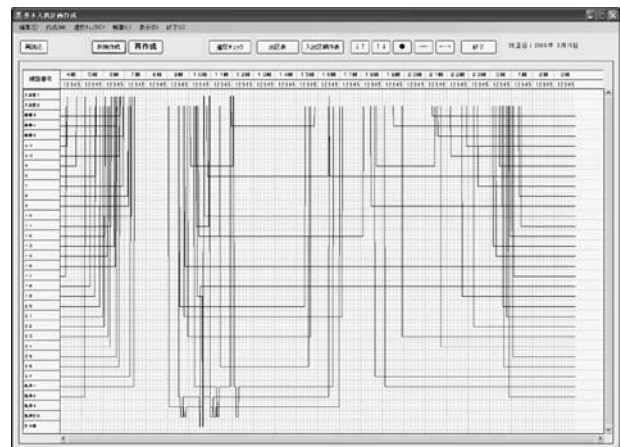


図1 構内転線ダイヤ画面

出力としては、乗務員に渡す「出区表」と、作業関係者に当日の作業を周知するための「入換計画順序表」を紙で出力する。

3. システムの特徴

3.1 対話型による計画の調整機能

入換計画で自動作成した計画案に対し、計画作成者は、部分的な調整を対話形式により繰り返しながら手動介入できる仕組みとしている（図2）。

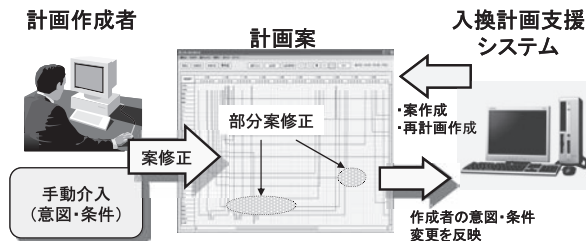


図2 対話型による計画の調整機能

3.2 制約論理ソフト

入換計画は各編成の入区から出区までの作業を実施順序に沿って並べたものであり、作業とは清掃や車両検査など関するものだけではなく、留置や引き上げ、入出区など、何らかの目的で特定の番線へ移動し、その番線を一定時間占有するものが全て対象となる。また、作業の実施が可能な番線の候補が複数存在することもあり、各編成について、どの進路をいつから、いつまで使うかということを構内の制約条件（表1）を考慮しながら厳密に定める必要がある。この問題は総当りで調べていく方法を用いると計算時間が膨大（組合せ爆発）となる。そこで、「入換計画支援システム」では組合せ爆発の可能性を抑えながら解を効率良く得る技術として制約論理ソフトを使用することとした。

編成が車両基地に入区してから出区するまでの移動と留置の一連の繰り返しは、生産分野における工程管理スケジューリング問題の一種とみなすことができる。ただし、入換計画の作成は、①時間枠が固定されることで逆に各オペレーションの時間が重複しやすいこと、②各編成の入区から出区までの転線と作業の繰り返しには物理的な連続性が求められるため、計画の局所的な修正の影響が広範囲に影響して多くの違反を引き起こしやすいことなど、実行可能な解を求めることが困難な問題である。生産工程には存在しない数多くの制約条件を考慮しなければ解が求められない。

組合せ最適化技術には数理計画、確率的探索、エキスパートシステム、モダンヒューリスティックなどの技術

があるが、対応可能な制約条件に制限がある数理計画を適用することは不可能であり、確率的探索やモダンヒューリスティックについても実行可能解が容易に得られる問題の最適化に強みを持つ技術であり、多数の制約条件が関与する実行可能解を生成することには適していない。これに対し、本システムで適用した制約論理ソフトは見込のある部分だけを動的に絞っていき探索手法であり、幅広い条件に対応可能なこと、制約条件の追加、削除を比較的簡単に行うことが可能である点から、入換計画支援システムへ適用することとした（図3）。

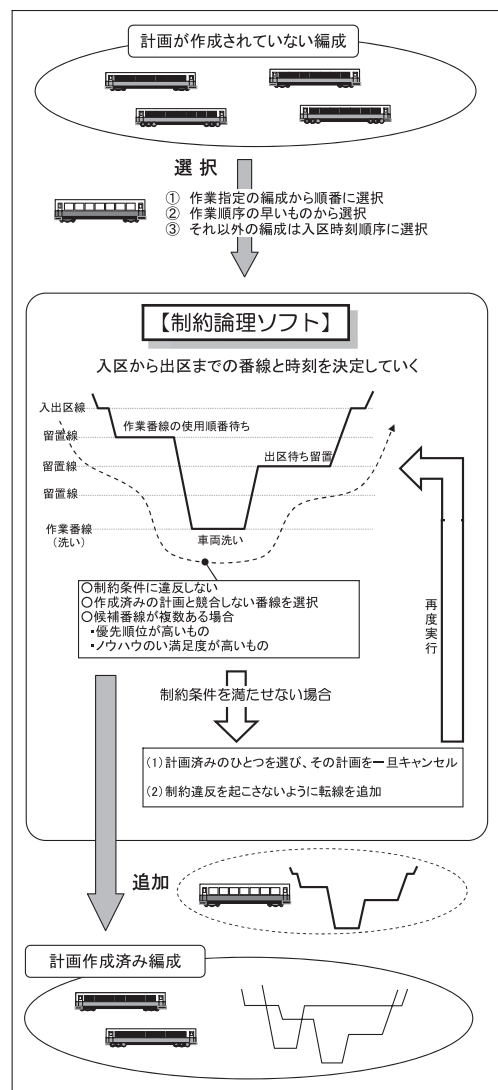


図3 入換計画の作成イメージ

3.3 計画作成エンジンのソフトウェア構成

計画作成エンジン部は、入換計画作成に関わる各機能を提供する独立したソフトウェアコンポーネントであり、GUI、データ管理、帳票など、他のシステム構成要素からインタフェースを介して利用されるものである（図4）。

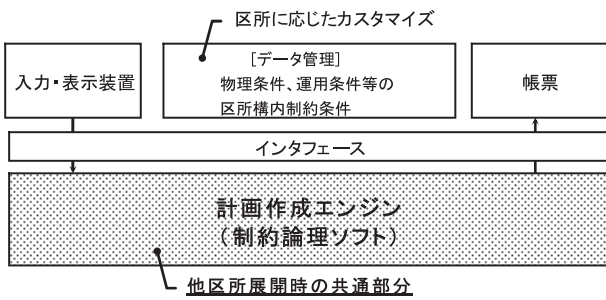


図4 計画作成エンジンの位置付け

3.4 計画作成エンジンの共通適用

各車両基地はそれぞれ構内レイアウト、設備の配置や計画を考える上での制約条件が異なる。それらのデータをデータベース化して外部に設定することで、システムを使用する車両基地構内に合わせて柔軟に設定・変更が可能な仕組みとした。また、計画作成を行う中心的なエンジン部は制約論理ソフトを使用することで、どの車両基地構内でも共通に適用可能とし、汎用性の確保を図った(図5)。

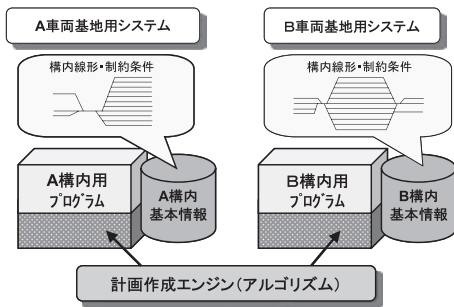


図5 計画作成エンジンの汎用化

4. 機能確認試験結果

2008年度にプロトタイプ「入換計画支援システム」の開発を行い、2008年12月～2009年3月に千葉支社習志野運輸区において基本機能の確認試験を実施した。計画作成結果から、基本入換計画および日別入換計画ともに制約条件をすべて満足した計画が作成できたことを確認できた。また、システムの自動提案計画に対し計画者の意図を反映する手動介入が機能することも確認できた。

[試験項目]

- ・基本入換計画機能
ダイヤ改正ごとに作成する基本入換計画が作成でき、手動介入が可能であること。
- ・日別入換計画機能
作業対象日を指定して日々の入換計画が作成でき、手

動介入が可能であること。

- ・帳票機能
基本入換計画機能と日別入換計画機能を入区順序表、出区票形式で出力できること。
- ・システムが作成した入換計画案と計画作成者が作成した入換計画案の比較検証

5. 今後の課題

基本機能の確認試験において概ね良好な試験結果が得られたが、実用化に向けた課題として次のような改修項目がわかった。

- (1) 日々の運用計画の入力作業に時間と手間を要した。
実用時の使い勝手を考慮すると、入力作業の負担を軽減させる改修が必要である。
- (2) 手動介入で作業順序を変更した場合に計画の自動再作成が出力されないケースが数回確認された。これはシステムが制約条件を考慮する際に、判断の障害となるような矛盾が部分的に存在したことが原因であった。今後、区所ごとにノウハウとして人が判断を行っている制約条件について、その優先度を検討した見直しが必要であることを確認した。

6. おわりに

「入換計画支援システム」プロトタイプシステムの基本機能について確認試験を実施し、課題はあるものの入換計画の基本機能と処理方式は正常に動作することを確認できた。ただし、実用に供するレベルに至っているかの判断を行うには、試験期間内での事例数は決して十分ではなく、より数多くの事例による検証が必要である。今後はシステムのブラッシュアップを図り、早期実用化をめざす。

参考文献

- 1) 佐藤達広、角本喜紀、奥田和章「鉄道車両基地における構内入換計画スケジューリング方式の開発」第19回電気学会産業応用部門大会、電気学会、pp.Ⅲ-91-94,2005
- 2) 佐藤達広、角本喜紀、村田智洋「条件変化に伴う再計画を考慮した鉄道車両基地構内入換スケジューリング方式」電気学会論文誌vol127-C、No2,pp.274-283,2007