

## 駅構内作業計画作成システムの開発

輸送情報技術研究部 運転システム

研究室長 福村 直登

### 1. はじめに

現在、鉄道駅の構内作業計画は、列車ダイヤ作成担当者、及び各駅の担当者が手作業で作成しているが、多くの問題を抱えているため、鉄道事業者は改善策を求めている。それに対して、PC上で稼働し、計画案自動作成アルゴリズムを組み込んだ業務支援システムを開発した。

本発表では、計画案自動作成アルゴリズムを中心に、このシステムの概要を述べる。

### 2. 駅構内作業計画の概要

#### 2.1 駅構内作業計画とは

駅構内作業計画とは、駅構内における列車の構内番線の使用スケジュール、車両入換え、分割・併合、車両検査などの作業スケジュールと、それら作業に従事する駅要員の作業スケジュールを定めたものをいう。

また、構内作業計画を示した図表を「構内作業ダイヤ図」と呼ぶ。図1にその例を示す。

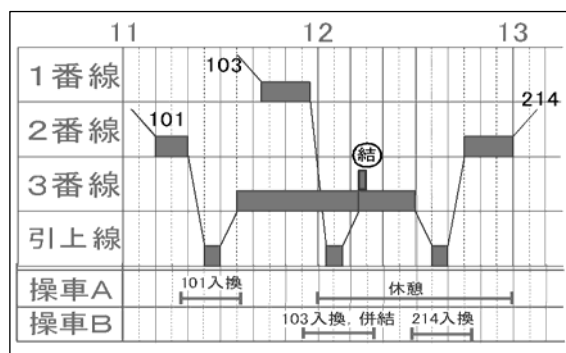


図 1: 構内作業ダイヤ図の例

鉄道輸送計画は、列車運転計画、車両運用計画、乗務員運用計画など、多くの計画から構成されるが、構内作業計画もその重要な構成要素の一つである。

#### 2.2 構内作業計画作成に関わる制約条件

構内作業計画作成にあたっては、物理的な条件や、資源上の制約から生じる様々な制約条件を考慮しなければならない。以下に、主な制約条件を示す。

- ・ 列車ダイヤで定められている着発時刻と番線、車両運用（折返し）順序を守る。
- ・ 旅客の乗降、貨物の荷扱い、車両整備などに必要十分な時間を確保する。
- ・ 番線有効長、架線有無、入換えルートなど、設備上の制限を満たさなければ転線できない。
- ・ 転線時分、交差支障時隔等、車両の転線に関わる時間要素の制約を守る。
- ・ 専用設備を必要とする作業は、その設備を備えた番線でのみ実施可能である。
- ・ 各作業に対する担当駅要員の割り当てと、駅要員の作業箇所間の移動時間を確保する。
- ・ 駅要員の割り当ては勤務時間内でのみ可能である。また、所定の休憩時間を確保する。

#### 2.3 構内作業計画の評価尺度

一般的に、以下のような構内作業計画が望ましいとされている。

- ・ 入換え作業の回数、分岐器の使用回数は少ないほうが望ましい。
- ・ 旅客乗降、貨物の荷扱い、車両整備のための在線時間は長いほうが望ましい。
- ・ 作業担当者が作業箇所間を移動するための時間は、ある程度の余裕があることが望ましい。

#### 2.4 作業計画作成業務に関わる問題点

現状の構内作業計画作成業務には、以下の問題点がある。

- ・ 計画作成に膨大な時間がかかる。
- ・ ヒューマンエラーによる計画ミスが発生することがある。

- ・ 計画作成ノウハウが担当者に依存してしまう。
- ・ さらに、計画作成を担ってきたベテラン担当者が減りつつある。

## 2.5 問題点解決のためのアプローチ

前述の問題点を解決するために、今回、PCによる業務支援システムを開発した。このシステムは、以下の2つを組み合わせたものである。

### (1) 構内作業計画作成支援システム

現在、紙面上で行っている作業をPCに置き換えたシステムであり、計画自体は担当者が作成するが、それに付随する多くの作業の効率化が可能となる。

### (2) 計画案自動作成アルゴリズム

上記の支援システムに対し、計画案自動作成アルゴリズムを追加する。これにより、

- ・ 担当者は計画作成条件データを入力し、システムは条件を満たした計画案を提示する。
- ・ 担当者は計画案の適否を判断し、不適当な場合は、条件を変更して再作成させる。

という手順を繰り返すことで、計画を作成するという業務形態になることが期待できる。以下、3章、4章にて、上記2項目について詳述する。

## 3. 構内作業計画作成支援システム（愛称名”Suparc”）の概要

PCで稼働する構内作業計画作成業務の支援システムであり、以下の機能を備えている<sup>2)</sup>。

### (1) 計画作成機能

PC画面上で担当者が、列車の入換えや検査等の作業計画、及び駅要員への作業割り当て計画の作成、修正を行う機能である。手作業と比較して、作業時間の大幅な短縮が期待できる。

### (2) 計画チェック機能

作成した計画が、2.2節に示した条件を満たしているかどうかをチェックする機能である。これらの条件は単純ではあるが対象箇所が膨大であるため、見落としを防ぐことが難しかったが、このチェック機能により、計画ミスがなくなることが期待できる。

### (3) データ入出力機能

構内作業計画作成に必要な列車ダイヤと車両運用計画のデータを、各サブシステムから取得する機能を備えている。これにより、帳票類からの転記・抜粋作業は不要となる。

また、計画完成時に構内作業ダイヤ図や、入換手順表など担当者への指示書を作成しているが、これらの帳票もシステムから出力されるので、作業時間が削減できる。

## 4. 計画案自動作成アルゴリズム

本章では、駅構内作業計画案自動作成アルゴリズムについて述べる。

鉄道総研では、以前、構内作業計画をPERTネットワークを用いてモデル化し、確率的局所探索手法を用いたアルゴリズムを構築して<sup>3),4)</sup>、自動作成の可能性を示している。今回、このアルゴリズムをベースとし、実務的なニーズに対応するための改良、及び機能追加を行った。

### 4.1 自動作成に対する基本方針

構内作業計画の自動作成に対しては、新規に計画全体を作成すること（「白紙改正」という）を目的としている研究が多いが<sup>3),4),5)</sup>、白紙改正は極めて稀なことであり、通常のダイヤ改正では、事故防止の観点から、極力、改正前の計画と一致させることが実務的なニーズである。

そこで、今回のアルゴリズムでは、改正前の構内作業計画をもとに、列車運転時刻変更など、条件変更に対応した計画案を自動作成することを目標とした。

## 4.2 構内作業計画のモデル化

先行研究において、構内作業計画を PERT ネットワークとしてモデル化したが、このモデルでは、駅要員の作業スケジュールや、一部の制約条件をモデルに含めていなかったため、実務的には不完全なものであった。今回、構内作業計画に関わる全ての条件を表現できるモデル化手法を開発し、精密なモデルを構築した。その概要を以下に示す。

### ① ノードの設定

構内作業におけるすべてのイベントの開始と終了事象を、ノードとして表現する。

- ・ 列車の駅への到着事象，駅からの出発事象
- ・ 入換え，連結・切り離し，検査など，各種作業の開始・終了事象
- ・ 作業担当者が作業箇所に着，作業箇所から退去する事象
- ・ 作業担当者の勤務開始・終了事象，休憩の開始・終了事象
- ・ 各作業時刻を表現するために用いられるダミーノード

### ② アークの設定

作業間の順序関係や計画作成時の制約条件を有向アークで表現する。このとき、アークに設定する重みの値は、作業所要時間等の条件に対応する。アークで表す条件を以下に示す。

- ・ 列車到着時刻
- ・ 各作業の開始時刻・終了時刻
- ・ 列車の連結・分割作業，検査所要時間等，番線の在線時間に関わる条件
- ・ 入換えに要する時間の条件
- ・ 作業実施可能性の条件
- ・ 複数の作業実施順序の条件
- ・ 担当者勤務時間の条件
- ・ 担当者割り当て，及び移動時間の条件

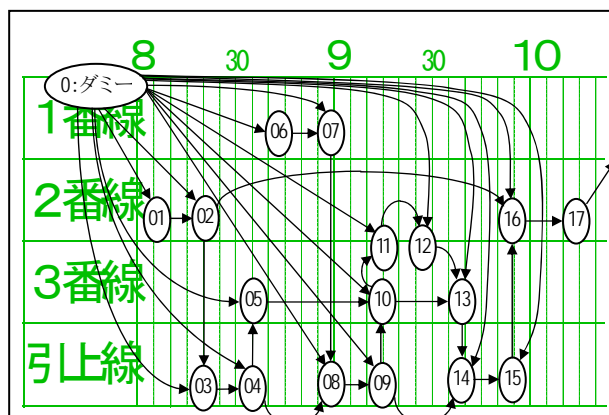


図 1 の構内作業計画のうち、列車入換えの部分モデル化した例を図 2 に示す。

図 2: PERT ネットワークモデル化の概念図

## 4.3 PERT 計算による実行可能性の判定

PERT ネットワークで表現した構内作業計画案に対して PERT 計算を行うことで、その計画案の実行可能性を判定することができる。すなわち、ダミーノードを PERT 計算の開始ノードとして、各ノードの最早作業開始時刻を算出する。その結果、列車ダイヤで定めた発時刻以降となる列車が 1 本でも存在するとき、当該列車は出発時刻までに全作業を完了できないことに相当するので、「列車ダイヤの着発時刻を守る」という制約条件に反することになり、その計画案は実行不可能と判断できる。

逆に、すべての列車が出発時刻まで作業を終えられれば、その計画案は実行可能であるので、実行可能解として出力して、アルゴリズムは終了する。

## 4.4 確率的局所探索手法による解探索操作

PERT 計算により、計画案が実行不可能と判断された場合、計画内容を一部変更することにより、新たな計画案を生成する。

実行不可能な計画案中にはクリティカルパスが存在するので、このパスをたどることで原因となっているアークを検出することができる。しかし、計画案の変更方法と、その変更方法は

正しいかということとは PERT から判定できない。また、実行不可能な計画案中に複数のクリティカルパスが存在する場合、どのパスを選択したら良いかということも判断できない。

そのため、原因となっているアークの選択と計画案の変更方法を確率的に選択して、新たな変更計画案を生成する処理と、その計画案を再度 PERT で評価する処理を繰り返すことで、実行可能な計画案を作成するアルゴリズムを構成した。

なお、計画案の変更方法には以下のものがある。

- ・ 各作業の開始・終了時刻を早める。
- ・ 使用する番線を変更する。
- ・ 入換え、検査などの作業実施順序を変更する。
- ・ 作業を担当する要員を変更する。

また、最初から全ての条件をモデル化して実行した場合、変更箇所を選択肢が多すぎて収束しないことが予想されるので、段階的にモデルを拡大することで、収束可能性を高める構成とした。開発したアルゴリズムの概要フローを図3に示す。

なお、指定された条件で計画案作成に失敗した場合、クリティカルパスを構成する列車を担当者に提示することで、問題箇所を見つけやすくしている。

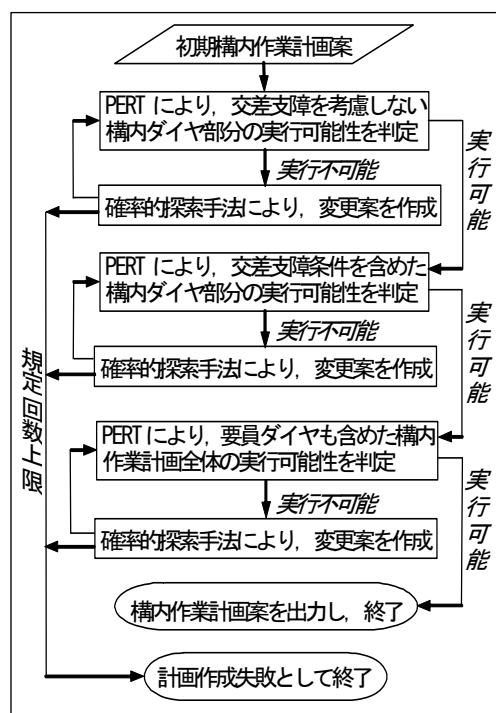


図3: 構内作業計画作成アルゴリズムの概略フロー

#### 4.5 適用試験結果

中規模旅客駅、大規模貨物駅の実際の構内作業計画データを用い、現実的な変更条件を指定して、対応する計画案を本アルゴリズムで作成させる試験を行ったところ、いずれのケースも数分から数十分程度の処理時間で実行可能な計画案を作成できた。また、計画の内容は、変更の必要がある箇所の修正がほとんどで、無関係な箇所は元の計画とほぼ同じ作業となっており、「極力、改正前の計画と一致させる」という目標を満たしていることを確認した。

なお、PERT ネットワーク作成に要する処理時間が全処理時間の約 5 割を占めており、これを高速化することが大きな課題である。

#### 5. おわりに

今回、既存の駅構内作業計画をもとにして、条件変更に対応した作業計画案を作成するアルゴリズムを開発し、構内作業計画作成支援システムと組み合わせることで、よりインテリジェントな支援システムを提案した。今後、さらに改良を進め、早期の実用化を目指したい。

#### 参考文献

- [1] 福村,平早水,丸山:「駅構内作業計画作成支援システムの開発」, スケジューリングシンポジウム 2007 予稿集(2007)
- [2] 平早水,福村,他:「駅・車両基地構内作業計画作成支援システム -Suparc-」, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集(2006)
- [3] 富井,周,福村:「駅構内入換計画作成システムの開発」, 鉄道総研報告, Vol. 13, No. 1(1999)
- [4] 富井,周,福村:「確率的局所探索と PERT を組み合わせた駅構内入換計画作成アルゴリズム」, 電気学会論文誌, Vol. 119-C, No. 3(1999)
- [5] 佐藤,角本,村田:「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 C, Vol. 127-C, No. 2(2007)