

集配業者の満足度を考慮した 貨物駅入出線計画評価手法の検討

田中 峻一* 松原 広** 中川 伸吾***
福村 直登*** 辰井 大祐* 深澤 紀子**

**A Study on the Evaluation Method of the Shunting Operation Plan of a Freight
Station with Consideration for the Satisfaction of Express Companies**

Shunichi TANAKA Hiroshi MATSUBARA Shingo NAKAGAWA
Naoto FUKUMURA Daisuke TATSUI Noriko FUKASAWA

Shunting operation schedule at a freight station must be changed depending on delay of arriving trains. In particular, when multiple trains arrive at the freight station at the same time, complicated decision is needed. In order to consider the satisfaction of express companies, we have proposed a quantitative method of evaluating shunting operation schedule including an index of disutility for the customer satisfaction. From the results of the simulation using actual records of delay, we have confirmed that there is still a room for improving the customer satisfaction in rescheduling of shunting operation.

キーワード：貨物駅構内，入出線計画，入換作業，顧客満足度

1. はじめに

貨物駅構内では、本線から列車が発着する「着発線」や実際に荷役を行う「荷役線」、一時的に列車を留置しておく「留置線」等、目的に応じて番線を使いわけしており、本線から入ってきた列車が着発線に入り、荷役線に移動して荷役を行い、着発線に戻って出発をするという各番線の使用計画（以下、「入出線計画」と表記する）が予め定められている。

しかし、貨物列車の到着遅延等の理由で予め定めた計画通りに番線利用ができない場合は、貨物駅の担当者が手作業で入出線計画の変更を行わなければならない。特に遅延した列車が輻輳して貨物駅に到着するような場合、列車の荷役線への入線順序の決定は難しいとされている。

入出線計画の変更は、過去の知見や経験に基づいて行われているが、遅れのパターンが多種多様であるため、マニュアル化されておらず、到着順や作業の効率性を基準に作成されることがあり、変更された計画が顧客（荷物を発送した集配業者）側の配送要求をどの程度満たしているかといった検討は明確にはなされていない。

また、これまで駅構内（貨物駅、旅客駅）の入換作業の計画を作成するシステム^{1) 2)} や、ダイヤ乱れ時の構

内作業の変更提案システムに関する研究が実施されているが、貨物列車に積載されたコンテナまでは考慮していない。

そこで、貨物会社にとっての直接の顧客となる集配業者に対する顧客満足度を定量的に表すため、本稿では貨物列車に積載されたコンテナに着目し、集配業者の満足度の観点から入出線計画を評価する手法を提案し、その手法に基づいて顧客満足度を考慮した入出線計画をシミュレーションした結果について報告を行う。

2. 貨物駅入出線作業の概要

コンテナ貨物列車が貨物駅に到着してから貨物駅を出発するまでの一般的な流れは以下の通りである。

(1) 貨物駅への列車到着

本線から貨物列車が到着すると、着発線と呼ばれる番線に停車する。着発線では、これまで本線を牽引してきた機関車を切り離し、代わりに貨物駅構内専用の入換機関車を連結する。また、必要に応じて貨車の解放を行うことがある。

(2) 荷役線への入線

入換機関車に牽引され、貨物列車はコンテナホーム（コンテナを荷役するホーム）に隣接する荷役線と呼ばれる番線へ入線する。コンテナホームに到着すると、入換機関車は切り離され、コンテナを積載した貨車が連結されているのみの状態となる。コンテナホームでは、該当駅

* 信号・情報技術研究部 運転システム研究室
** 信号・情報技術研究部 交通計画研究室
*** 信号・情報技術研究部

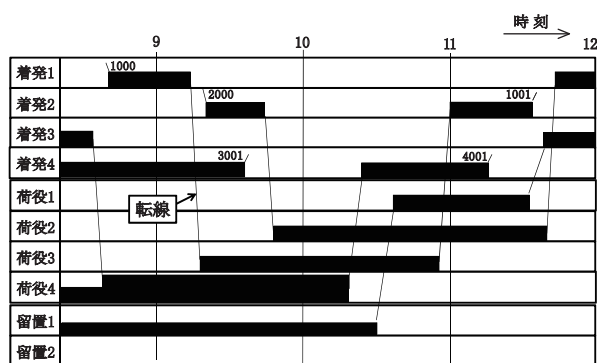


図1 構内入出線計画ダイヤ

で貨車から降ろすコンテナをフォークリフト等の荷役機器でホームに降ろしたり、該当駅から貨車に積載されるコンテナを積み込んだりする。荷役線においても、必要に応じて貨車の解放や連結が行われる。また、荷役線は番線数に限りがあるため、到着から出発までの間に時間がある場合は、コンテナを積載する前に留置線と呼ばれる番線に待避することもある。

(3) 荷役線からの出線、貨物駅からの出発

荷役線でのコンテナの積載を終え積載状況のチェックが終わると、再度入換機関車を連結し、出発のために再度着発線へ移動する。着発線では必要に応じて貨車の連結・解放を行い、入換機関車に代わって本線用の機関車を連結させ、貨物列車が駅を出発する。

これらの貨物駅構内の入出線計画は図1に示すようなダイヤの形式で表される。駅構内で貨車群が特定の番線で停留している状態を箱型で示し、番線間の移動を線で結んでおり、この番線間の移動を「転線」と呼ぶ。

なお、中間駅となる貨物駅では、貨物列車が貨物駅に到着すると、到着した線路で直ちに貨物の積み下ろしをし、荷役が終了次第すぐ出発する着発線荷役方式（E & S方式）を採用している駅が近年増加しており、上記のような入出線を伴わない場合がある。

3. 集配業者の満足度を考慮した入出線計画の評価

本章では、顧客満足度を定量的に表すために、集配業者の不満足度を表す不効用という指標にて入出線計画を評価する手法を提案する。

集配業者は貨物会社に荷物の配送登録を行う際に、到着貨物駅における持出予定時刻を入力する。この時刻は、あくまで申請上のものであり、その時刻に必ず持ち出されるというわけではないが、集配業者視点からの入出線計画の評価を行うために、貨物駅に到着する荷物（コンテナ）が顧客の配送要求である持出予定時刻までに「持

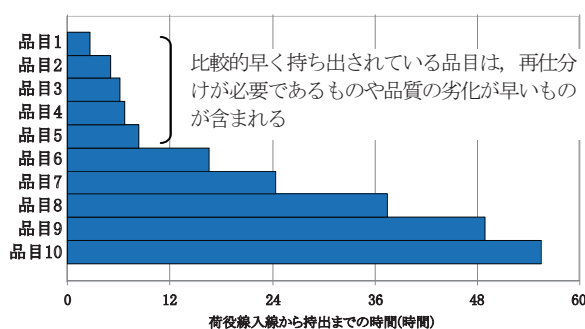


図2 積載品目別の入線から持出までの平均時間

出し可能な状況」になっていたかどうかを基準に評価を行うことを考える。「持ち出し可能な状況」とは、本来はコンテナホーム上にコンテナがある状態でフォークリフトの手配ができていない状態であるが、本研究では入出線作業の評価をすることを目的としており、フォークリフトの動きを範疇外としているため、コンテナを積載した列車が荷役線へ入線した地点で「持ち出し可能な状況」であるとみなすこととする。この「持ち出し可能な状況」になる時刻と持出予定時刻とを比較し、「持出し可能な状況」になる時刻の方が遅い場合、すなわち持出予定時刻までに荷役線へコンテナを積載した列車が入線できなかった場合に、集配業者にとっての不効用が生じ、不効用の合計の小さい入出線計画ほど、顧客満足度の高い入出線計画であるとして、評価を行うことを考える。

また、持出遅延に関する実態調査を行ったところ、図2に示すように、積載品目によってコンテナが荷役線に入線してから集配業者によって貨物駅から持ち出されるまでの時間に大きく差が見られることを確認した。比較的早く持ち出されている品目には、再仕分けが必要であるものや品質の劣化が早いもの（生鮮食品など）が含まれている。そのため、顧客の逼迫性を表す要素として、品目別に時間に対するペナルティの重みを設定し、顧客の不満度として反映させることとした。さらに、顧客の指定する配送条件等により、急ぐべきコンテナが存在する場合を考慮し、これらの要素も集配業者への不満に影響するものとした。

これらの条件を考慮し、コンテナごとに集配業者の不効用を式(1)で定義する。

$$(\text{集配業者の不効用}) = p_o \times p_c \times t \quad (1)$$

- p_o : 配送条件から算出される重み
- p_c : 輸送品目による重み
- t : 持出遅延時間

ここでの持出遅延時間 t とは、コンテナを積載した列車の荷役線へ入線した時刻と持出予定時刻との差であり、入線した時刻より持出予定時刻のほうが遅い場合（す

なわち、持出遅延がなかった場合)は負値を用いずに0とする。また、顧客の配送条件で急ぐべきコンテナがある場合は、 p_o を高くして、遅延に対し不効用が高くなるようにしている。また、前述のとおり、品目により急ぎの度合いの違いが見られることから、顧客の切迫性が高いと考えられる品目に対しては、 p_c の値を高くして、不効用が高くなるようにしている。

計算対象とする入出線計画内で荷役される着コンテナの不効用をすべて加算したものを、入出線計画全体の集配業者から見た不効用とみなし、これが低いほど評価の高い入出線計画であるとする。また、列車1編成に積載されたコンテナの不効用の和を計算することで、編成ごとに不効用値を算出することが可能である。

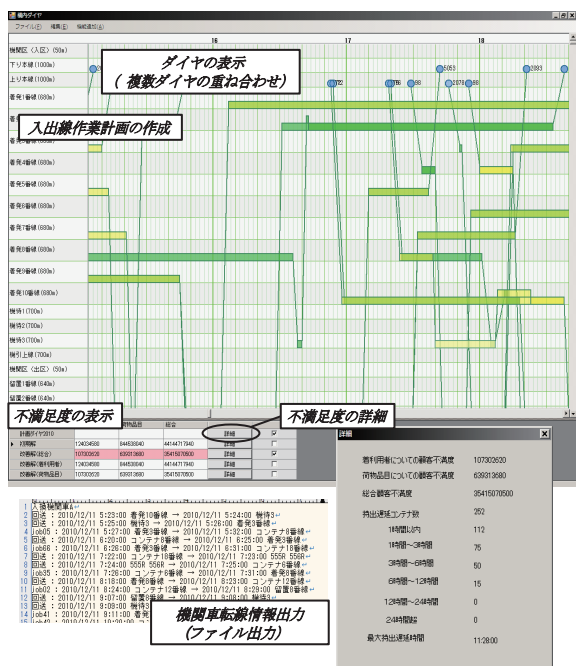
4. 入出線計画評価システム

4.1 システムの概要

前項で提案した評価手法を用い、現行の入出線計画の評価を行った上で、集配業者の顧客満足度を考慮した入出線計画がどのようなものであるかを確認するためのシステムを試作したので、紹介する。

このシステムは、駅設備に関する情報、計画ダイヤ、列車の遅延情報、コンテナ情報、ペナルティに関する情報、実績の入出線計画等を入力することで、実績作業の不効用値を計算するものである。また、制約を満たし評価の高い(不効用の小さい)入出線計画を作成することが可能であり、顧客満足度を考慮した作業計画と実績の入出線作業との比較を行うことが可能である。

システムの画面の表示例を図3に示す。



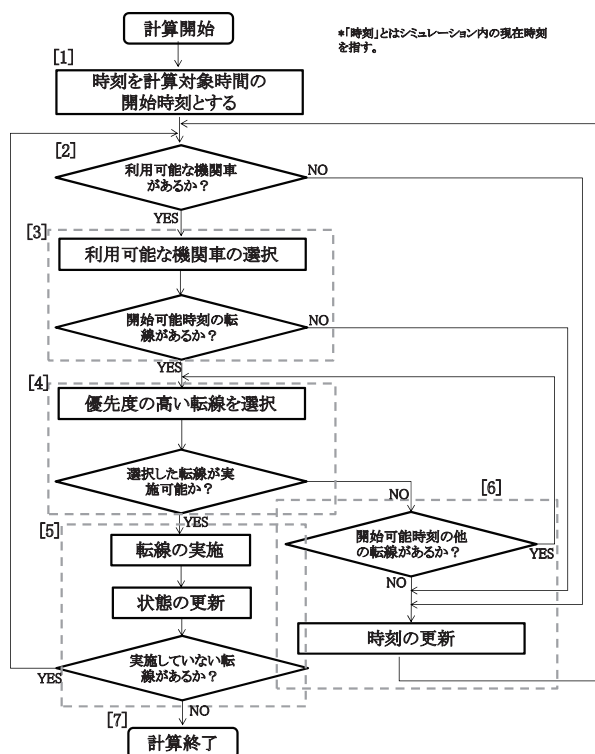


図4 入出線計画作成アルゴリズムの概要

を選択し、転線開始可能な時刻を迎えている転線があるかを調べる。ここでの転線開始可能時刻とは、連結・解放による転線の前後関係、転線前の作業にかかる時間の制約を満たした状態で、荷役線で荷物を貨車に積み込む場合は計画ダイヤよりも早くは出線しないという条件等から決定される時刻であり、計画ダイヤよりも早い時刻でも問題がない場合には早い時刻が設定される。転線開始可能時刻を迎えた転線がない場合は、時刻を更新して再度同様の作業を行う。

- [4] 転線開始可能時刻を迎えた転線がある場合は、予め転線ごとに指定されている優先度の高い転線を選択し、その選択した転線が実行可能かを調べる。ここで、実行可能とは、到着番線（または到着番線の代替となりうる番線）が空いており、既に実施されている他の転線と線路の競合や平面交差がないことを示す。
- [5] 選択した転線が実行可能であれば、その転線を実施し、状態を更新して、まだ実行していない転線が存在するならば、再度機関車の選択を行い同様の作業を実行する。
- [6] 選択した転線が実行可能でない場合は、他に転線開始可能時刻を迎えている転線がある場合は次に優先度の高い転線を選択し、実行可能であるかを調べ、転線がない場合は時刻を更新して機関車の選択を再度行う。

[7] [6]までの作業を繰り返し、すべての転線が実施されると、構内入出線作業ダイヤが作成された状態となり、計算終了となる。

4.2.3 低不効用入出線計画の作成

上記のアルゴリズムでは、入力データとして転線に対して優先度を与えたのみで、集配業者の不効用に関しては考慮していない。そこで、上記のアルゴリズムを用いて入出線計画を作成し、不効用が高い箇所を抽出し、不効用の高い箇所が改善されるように転線の優先度に局所的な変更を加えていくことで、不効用の小さい入出線計画を作る方法を紹介する。この方法の全体の流れを図5に示す。なお、図内の[1]～[5]の番号が以下の説明の[1]～[5]に対応している。

<低不効用入出線計画作成アルゴリズム>

- [1] 計画ダイヤにおいて転線開始時刻が早い順に優先度を高くして、入出線計画作成アルゴリズムを用いて集配業者の不効用を考慮しない入出線計画を作成する。
- [2] 作成されたダイヤに対し、評価手法として定義した集配業者の不効用を列車ごとに計算し、特に最も不効用の高い列車を抽出し、その列車を早く入線できるように、制約を満たした上での優先度や転線間の関係性の変更を行う（ただし、最も不満度の高い列車の不効用が0である場合、顧客満足度としての改善の余地はないため、暫定のダイヤを出力して計算を終了する）。
- [3] 変更を加えた状況で、再度入出線計画作成アルゴリズムを使って入出線計画を作成する。
- [4] 変更前と変更後とのダイヤ全体の集配業者の不効用を比較し、改善されるようであれば変更を採用し、悪化するようであれば変更を棄却する。変更が採用された場合は、手順[2]で再度不効用を列車ごとに計算し、最も不効用の高い列車の抽出を行う。
- [5] 変更が棄却された場合、次に集配業者の不効用の高い列車を調べ、不効用が0より大きい列車があれば、その列車に対して手順[3]を繰り返し、次の列車の不効用が0である場合や全列車を調べて変更が全て棄却された場合は、暫定の入出線計画を最終の変更案として出力し、計算を終了する。

なお、荷物情報を用いて評価を行っているため、遅延列車の情報的一致していても、積載する荷物の情報が異なれば、異なる入出線計画の変更案が出力される可能性がある。

5. ケーススタディによる評価と検証

試作したシステムを用いて、実績の作業とシミュレー

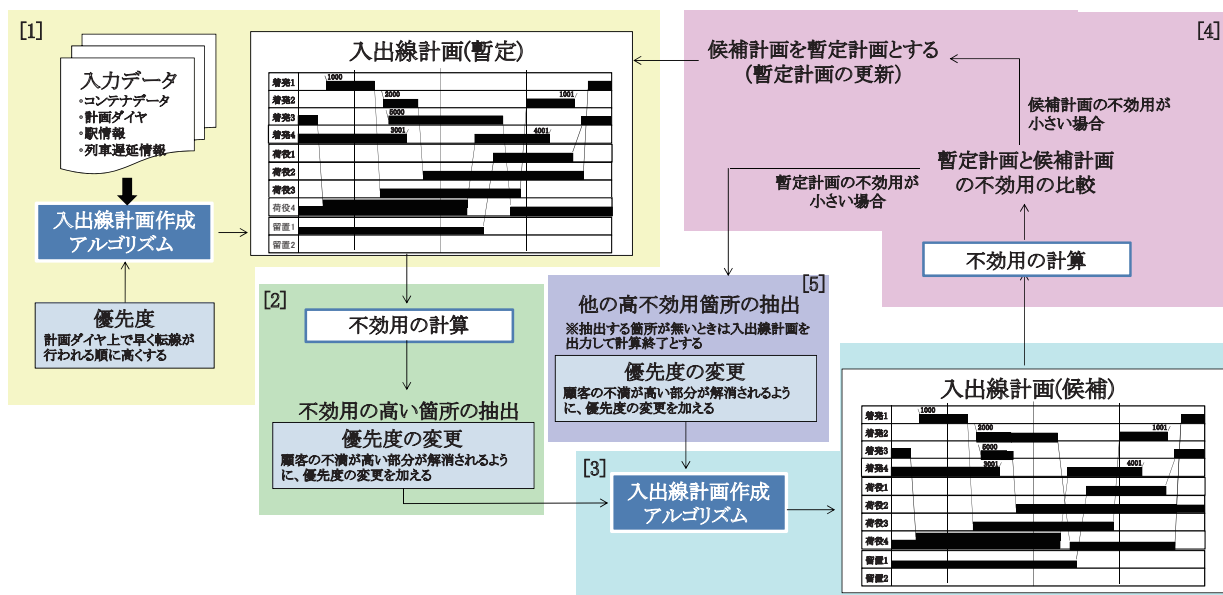


図5 低不効用入出線計画作成アルゴリズムの概要

シミュレーションにより作成された入出線計画の評価を行った。入力データとして、実在する貨物ターミナル駅で実際に到着列車の輻輳が発生した際の遅延データを用い、24時間分の入出線計画の作成および評価を行った。対象とした駅は、着発線が10線、荷役線が10線ある駅である比較的大きな駅である。シミュレーションは、汎用のPC (Windows XP SP3, CPU: Intel® Core™2 Duo 3.16GHz, メモリ: 3.49GB) 上で行い、24時間分の計画を作成し、評価するための計算時間は1回あたり15~20秒の間であった。

シミュレーションを行ったうち、特に持出遅延のコンテナの数が多かった2日分(ダイヤ乱れ日A, ダイヤ乱れ日B)に関して、コンテナの持出遅延時間の総和と本稿で提案した不効用の計算結果を図6に示す。なお、両日ともに列車の本数にはほとんど差異はないが、表1に示す通り、到着遅延の列車数、最大到着遅延時間、持出遅延コンテナ数、全てダイヤ乱れ日Bの方が大きな値をとっており、ダイヤ乱れ日Bの方が大きな乱れが発生した日であると言える。

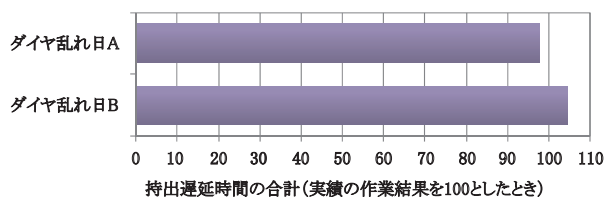
なお、図6では、実際に貨物駅で実施された作業を100としたときの相対値で表しており、100より小さい場合、実績の作業と比較して総持出遅延時間の、集配業者の不効用が減少していることを示す。

この2日分のケースにおいては、持出遅延時間の総和は実績作業とシミュレーションで計算された入出線作業を比較すると、多少の増減があるものの数%の差にとどまっているが、不効用値を比較した時には両日ともにシミュレーションにより計算された入出線計画の方が不効用値が小さく、10~20%減少していることが確認された。

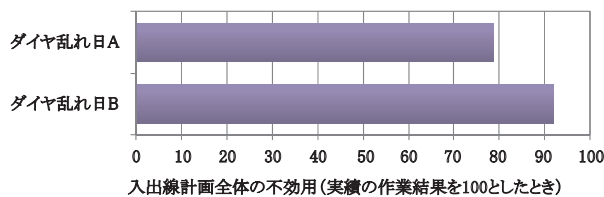
表1 ダイヤ乱れの状況

	ダイヤ乱れ日A	ダイヤ乱れ日B
到着列車本数	37本	36本
出発列車本数	38本	35本
到着コンテナ数	874個	753個
15分以上の到着遅延の列車数	3本	11本
最大到着遅延時間	80分	384分
持出遅延*コンテナ数	148個	192個

*ここでの持出遅延とは、列車の荷役線入線時刻が持出予定時刻以降であったコンテナを指す



(a) 作成した計画のコンテナ持出遅延時間の合計



(b) 作成した計画の入出線計画全体の不効用

図6 シミュレーションで作成した計画の評価

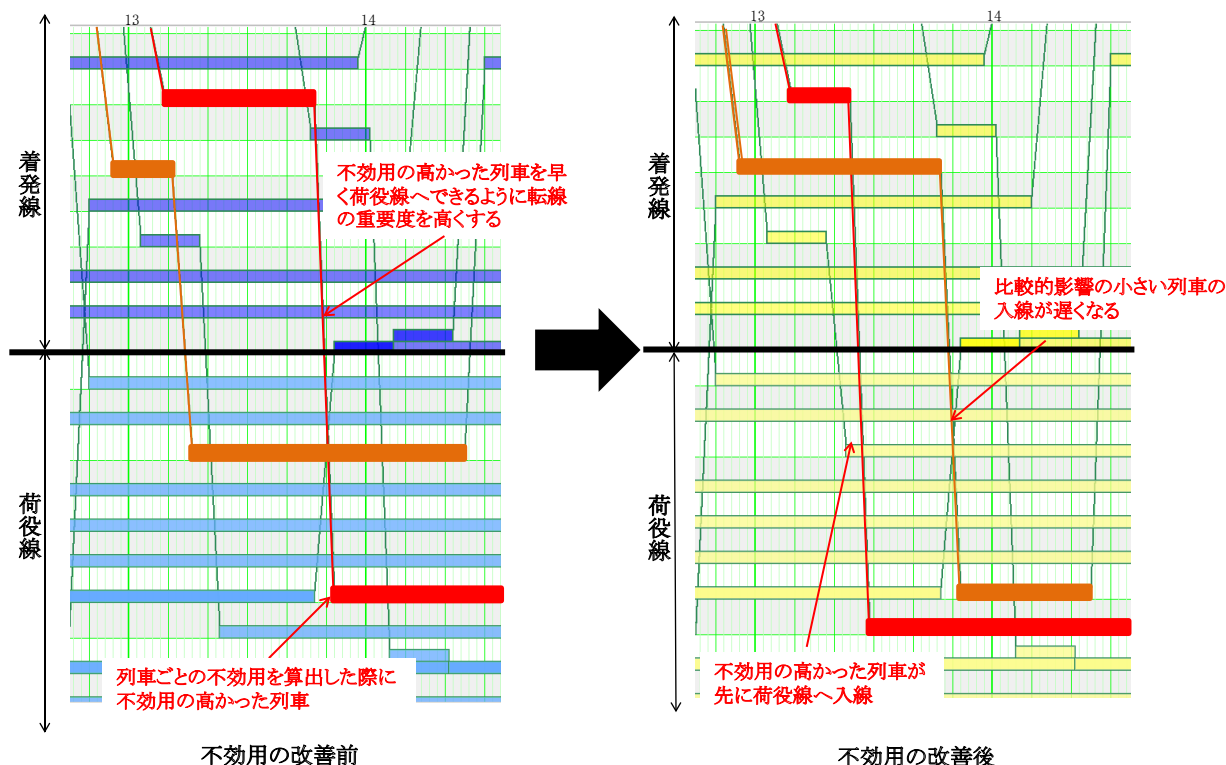


図7 顧客不効用改善時のダイヤの変更箇所の例

これは、遅延時間以外の輸送品目等に着目した結果であると考えられ、総遅延時間に大きな影響を与えないながらも、集配業者の不効用を減少させる可能性があることを示している。

なお、図7にシミュレーションで不効用が減少したケースにおいて、具体的にどのような変更が加えられたかをダイヤ図で示す。集配業者の不効用が高い箇所に繋がる転線の優先度を高くすることにより、不満が高かった列車が先に入線し、比較的影響の少ない列車の入線が遅くなっていることが確認できる。

6. まとめ

本稿では、貨物駅構内の入出線計画における顧客満足度を定量的に表すために、貨車に積載されたコンテナの持出予定時刻に着目して、列車乱れ時の計画の変更に関する評価手法の提案を行った。実際に発生した遅延のデータを用い、提案した顧客満足度を考慮した不効用の評価指標に基づいて入出線計画を作成したところ、顧客満足度の改善の可能性が確認されたが、顧客満足度以外の要素を考慮していないため、必ずしも最良の入出線計画であるとは限らず、更なる検討が必要であると考えら

れる。今後は、不効用に関するパラメータの精査や、フォークリフト等の荷役機器の動きの考慮等、更なる精緻化を進めていくことにより、貨物駅構内作業における顧客満足度の改善の実現の可能性を高めていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力を賜りました日本貨物鉄道株式会社の関係各位に心より感謝申し上げます。

文献

- 1) 富井規雄, 周利剣, 福村直登: 「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, pp.13-18, 1999
- 2) 福留健二, 平早水智之, 福村直登, 佐藤和久, 河西良: 「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 (CD-ROM), No.43, 2006
- 3) 福村直登, 丸山公輔: 「列車ダイヤ乱れ時の駅構内作業変更計画作成アルゴリズム」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集 2008, pp.198-199, 2008