

貨物駅における荷役機器の稼働台数の評価手法

信号・情報技術研究部 運転システム研究室
研究員 田中 峻一

1. はじめに

コンテナ輸送を取り扱う貨物駅構内では、フォークリフトをはじめとする荷役機器によりコンテナの積卸しが行われている。荷役扱い個数、ホーム形状、荷役作業時間等を総合的に勘案しフォークリフトの稼働台数を決定しているが、配置台数に過不足がないか、稼働台数が妥当であるかの判断は難しく、適切なリソース配分が実施されているかを定量的に把握することは難しかった。そこで、貨物駅におけるフォークリフト作業のシミュレーターを開発し、フォークリフト稼働台数が荷役作業へ与える影響を確認することを可能とした。ここでは、シミュレーターを用いた荷役機器の稼働台数の妥当性を評価する手法について紹介する。

2. 貨物駅における荷役作業の分類

荷役機器の作業履歴データを分析することにより、貨物駅の荷役機器作業の分類を試みた。その結果、図1に示すように荷役作業はコンテナの移動を目的とした作業（「本作業」と定義）と、本作業の対象となるコンテナを移動するために、そのコンテナの上部や手前にあるコンテナを別の場所に避けるための作業（「付随作業」と定義）に分類できることを確認した。また、本作業は貨物駅へコンテナが持ち込まれてから持ち出されるまでに一般的に行われるべき作業（「主作業」と定義し、表1に流れをまとめる）と、構内整理や貨車積載の手直し等のコンテナの移動を目的とした作業（「副作業」と定義）に分類が可能であることを確認した。なお、ある貨物駅において、上記分類による作業種類別の荷役作業回数は図2のようになる。全体の4割程度が付随作業となっており、付随作業の主作業に対する割合は時間帯による変動が小さいことがわかった。

3. 荷役作業における制約

荷役作業における主な制約をまとめると以下の通りとなる。

3.1 時間的な制約

- ・ 構内作業計画で定められたコンテナホームへの入出線時刻を守らなければならない

表1 主作業の流れ

持込方法	持出方法	コンテナに対し行われる荷役作業
留置	留置	荷役なし
	出発列車	留置場所→構内トラック→コンテナホーム→貨車 留置場所→貨車
	運送業者(持出)	留置場所→利用者トラック
到着列車	留置	貨車→コンテナホーム
	出発列車	貨車→構内トラック→コンテナホーム→貨車 貨車→コンテナホーム→貨車
	運送業者(持出)	貨車→コンテナホーム→利用者トラック
運送業者(持込)	留置	利用者トラック→コンテナホーム
	出発列車	利用者トラック→コンテナホーム→貨車

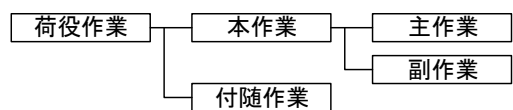


図1 荷役作業の分類

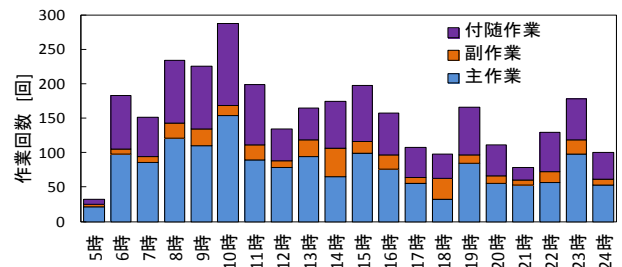


図2 作業種類別の荷役作業回数

- ・ 顧客満足度の観点から運送会社のトラックの待ち時間を出来る限り短くする
- ・ 表1に示す主作業の流れや同一場所における積卸し等, 荷役作業の順序関係を注意しなければならない

3.2 コンテナの種類による制約

- ・ コンテナの大きさに応じた荷役機器を利用しなければならない
- ・ 多くの場合, コンテナの大きさに応じて駅構内に留置できる場所が決められている

3.3 空間的な制約

- ・ コンテナの留置状況に応じて付随作業を考えなければならない
- ・ コンテナを留置すべき場所が既に最大限まで積まれている場合は, 近くの空いている場所に置かなければならない
- ・ コンテナホーム上の移動は通ることのできる場所が限られ, 一方通行等の制限もある
- ・ フォークリフトの総移動距離が出来る限り長くないように作業を割り当てる

上記の制約を満たした上で必要な荷役機器の台数を推定するためには, 貨物駅の形状やコンテナの状況, その時点における実施可能な荷役作業の分布等に応じてフォークリフトがどの作業を実施すべきかの判断が必要となる。そのため, フォークリフト作業を模擬するシミュレーターを作成して検討することとした。

4. 荷役作業シミュレーターの開発

4.1 貨物駅のモデル化

一般的にコンテナホームは荷役線の周りを囲うように作られるため, 複雑な形状をしており, そのままではシミュレーションすることが難しい。また, コンテナの置き場やフォークリフトの移動可能な場所が決められていることから, 2点間の直線距離と実際に移動できる2点間の距離は異なることになる。そのため, コンテナホームの任意の2点間の距離が実際に移動にかかる時間として扱えるようにするために, 留置可能なエリア間の移動時間をユークリッド空間上の距離として定義することで, 貨物駅のコンテナを留置できるエリアを多次元空間上に表現した。

その上で, コンテナの留置場所として各エリアに対し, コンテナホームに留置できるコンテナ数(地面1~4), トラック, (隣接する荷役線がある場合は)貨車を配列として用意することにより, コンテナが留置されている場合は配列にコンテナのIDを格納することで留置状況を表せるようにした。その際, コンテナホームにあるコンテナに関しては手前や上にコンテナがある場合には動かさないように, 配列を

スタックとみなすことで管理を行い, トラックや貨車については別途トラックを管理するデータと貨車(列車)を管理するデータを用意することで列車やトラックが存在しない状態でコンテナを移動することがないように, 計算側のアルゴリズムで制御を行う。

このモデル化により, フォーク

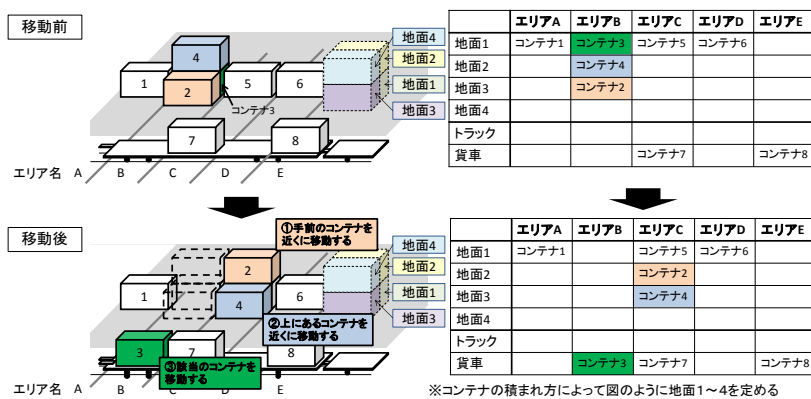


図3 駅構内のモデル化

リフトによるコンテナの配置の変化は配列に格納されたコンテナIDの変化により表されることになる。例えば、図3の上部の図において、奥の方にあるコンテナ3を貨車のエリアBの位置に移動しようとする時、付随作業として、コンテナ3の手前にあるコンテナ2と上にあるコンテナ4を近くに移動し、コンテナ3を移動することになる。この作業に伴う状態変化は図3内の表で示すような変化で表される。

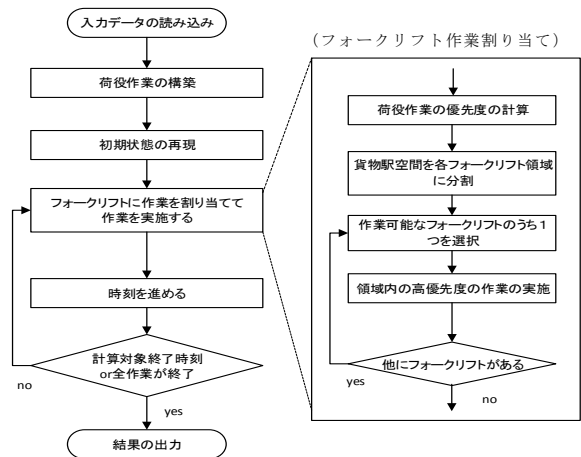


図4 シミュレーターの計算フロー

4.2 荷役作業シミュレーターのアルゴリズム

開発したシミュレーターの荷役割り当てのためのアルゴリズムは、タイムドリブン型を採用した。アルゴリズムの流れは図4に示す。シミュレーション上では駅構内のコンテナの留置状況を示す配列の他に、フォークリフトの状態を示すデータベースと実施すべき本作業の状態を示すデータベースを持っており、シミュレーション内の時刻の進行に応じてこれらのデータを変化させることで貨物駅構内の変化を再現している。アルゴリズム内では最初に、入力データから本作業をすべてピックアップし（図4内の「荷役作業の構築」）、それぞれの本作業には荷役開始可能時刻を定めており、列車やトラックの到着は、到着して荷役が可能となった時刻を荷役開始可能時刻とすることで、擬似的に再現をしている。また、本作業のデータベースのそれぞれのレコードには前後関係を持たせられるようにしており、表1に示すような作業の前後関係やトラックが持ち込んだコンテナを降ろしてから、別のコンテナを積載するような場合を表現するために、前の作業が終わらない状態では次の作業ができない状況を再現した。

フォークリフトへの作業の割り当ては、まず荷役作業に対し荷役作業の種類、締切時刻、待ち時間等の条件から優先作業を計算し、荷役作業とフォークリフトの分布やフォークリフトの作業状況等から算出されるフォークリフトごとの作業領域（縄張り）を決定し、稼働可能なフォークリフトに対しその作業領域の中で最も優先順位が高い作業を割り当てることとした。

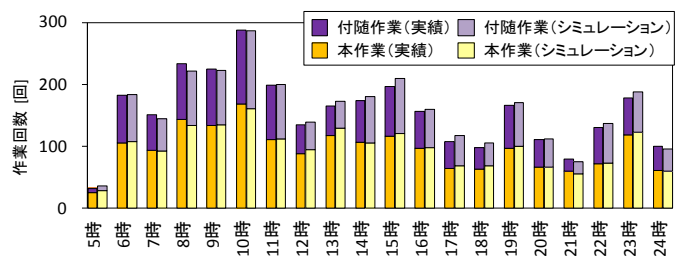


図5 作業回数の比較結果

4.3 荷役作業シミュレーターの検証

実際の貨物駅のデータを用いて荷役作業シミュレーターの有効性を検証した。実績の1日分のデータを入力データとしてシミュレーションを実施し、実際に行われた荷役作業とシミュレーション結果を比較した。時間帯別の本作業と付随作業に分けた荷役作業回数の

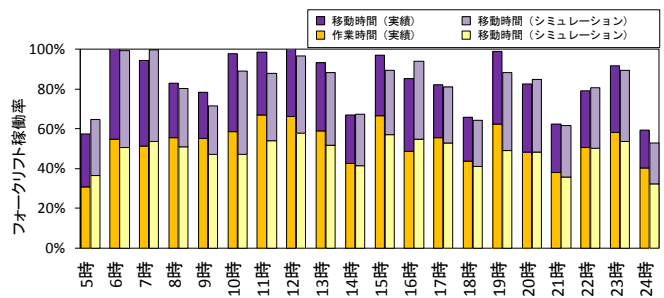


図6 移動時間・作業時間の割合の比較結果

比較を図5,フォークリフトの稼働時間のうち移動作業に使った時間の割合の比較を図6に示す。いずれも、全体的な作業量と傾向は再現できており、台数評価に実用的な精度は得られたと考えられる。

5. 荷役作業シミュレーターを用いた稼働台数評価手法

荷役作業シミュレーターを用いることにより、仮想的にフォークリフトの増減の影響を確認することができ、与えられた作業に対し、荷役作業を滞らせず、かつ無駄の少ない稼働台数を試行錯誤的に求めることにより、現行の台数を評価することは可能である。しかし、時間帯ごとに稼働台数を変化させるには時間帯と台数の組み合わせが多すぎることから、運送会社のトラックの荷役待ち時間の平均を抑えるための条件を考えることとした。

貨物駅の設備データを用い、荷役作業をランダムに発生させ、荷役作業の台数による変化をシミュレーションにより確認した。その結果、フォークリフトの稼働率と運送会社のトラックの平均待ち時間の関係は図7のようになった。

フォークリフトが2台の場合は稼働率が低くても、運送会社の平均待ち時間は高くなることが確認でき、駅の広さに対しフォークリフトが少なすぎるということが言える。これは、各荷役作業の間に貨物駅構内を移動することに時間がかかるためである。また、フォークリフト3台以上であっても、稼働率80%~90%を境に急激に平均待ち時間が増加する様子が確認でき、対象とした駅において運送会社のトラックの平均待ち時間を長くしないためには、稼働率を8割未満に抑えることが効果的であると言える。

そこで、実績作業量に対して稼働率が80%を超えない稼働台数を計算し、実際の稼働台数と比較することで、不足気味の時間帯と過剰気味の時間帯を判断することが可能である。図8に30分毎に台数変化が可能とした場合の例を示す。このような実績のデータを複数日分について取得することにより、慢性的にフォークリフトの過不足が発生する時間帯が無いかを確認し、稼働台数の妥当性を評価することが可能となる。

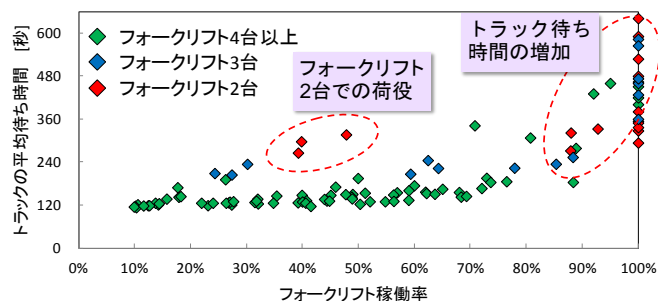


図7 フォークリフト稼働率と平均待ち時間

6. おわりに

本研究では、貨物駅の荷役作業に関するシミュレーターを開発することで、フォークリフトの稼働台数を評価する手法を提案した。実際の稼働台数・配置台数の決定は、作業者の勤務体系や荷役量の波動等の周辺情報と合わせて総合的に判断することが必要であることに留意しなければならない。

最後に、本研究開発の実施にあたりご協力をいただいた日本貨物鉄道株式会社の方々に深く謝意を表す。

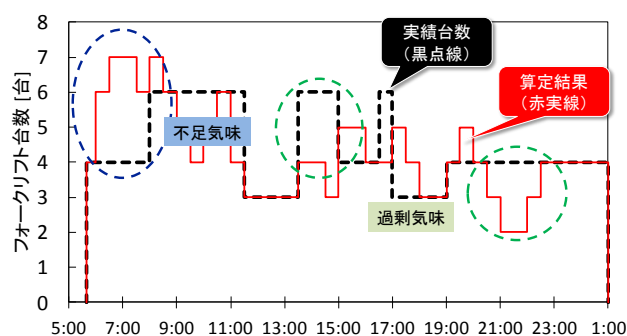


図8 稼働率に応じた稼働台数の算定例