

# 貨物駅構内におけるフォークリフト稼働台数の評価手法

田中 峻一\*

## Evaluation Method for Appropriate Fleet Size of Forklifts at a Freight Station

Shunichi TANAKA

The decisions on how many forklifts should be assigned to a freight station have been based on the consideration of the number of cargoes, the shape of the yard, the working hours of the forklifts, and so on. But, it is difficult to evaluate the appropriateness of the number of the forklifts. So, we developed a simulator of cargo handling operations in freight stations, and studied influences of the fleet size on the works of loading and unloading. In this paper, we propose a method to evaluate the appropriateness of the fleet size of the forklifts based on the waiting time of the forwarders' trucks for loading or unloading. The shortening of the waiting time of the forwarders' trucks is desirable from the point of view of customer satisfaction. It was found out that the waiting time of the trucks was correlated with operation rate of the forklift.

キーワード：フォークリフト，荷役作業シミュレーター，稼働台数，荷役機器稼働率

### 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。各貨物駅に配置されるフォークリフトの台数は、貨物駅の形状や規模、取り扱い荷物の量などの状況を考慮して決められることが多い。これは、配置台数に過不足がないか、稼働台数が妥当であるかを合理的に把握することは難しく、適切なリソース配分であることを確認するための手段が確立していないことに起因する。フォークリフトの稼働台数が十分でない場合、作業が輻輳して貨物駅構内の構内作業ダイヤに影響を与えたり、運送会社のトラックドライバーを待たせたりすることになる。一方、稼働台数が多すぎると、必要以上のリソースやコストが生ずるため、適切な稼働台数を把握することは極めて重要である。

そこで、貨物駅構内のフォークリフト作業を模擬するシミュレーターを開発し、荷役作業に与えられる影響を確認することで、フォークリフトの稼働台数の妥当性を評価する手法を考案した。

### 2. 貨物駅におけるフォークリフト作業

貨物駅構内でのフォークリフト作業の実態を確認するために、フォークリフト作業の実績データの分析を実施した。

\* 信号・情報技術研究部 運転システム研究室（現 西日本旅客鉄道株式会社）

#### 2.1 使用したデータ

日本貨物鉄道株式会社（JR 貨物）の貨物駅では、2004年に導入された「IT-FRENS&TRACE システム」により、フォークリフトによる荷役作業実績をデータとして取得可能である<sup>1)</sup>。このシステムは、GPS アンテナを搭載したフォークリフトに設置された RFID リーダーがコンテナに貼付された RFID タグを読み取ることで、各フォークリフトが、いつ、どこで、どのコンテナを荷役したのかを取得・蓄積することができるものである。このデータを分析することで、貨物駅の荷役作業の分類を試みた。

#### 2.2 荷役作業の分類

貨物駅構内におけるコンテナ留置では、貨物駅の場所の制約から図1に示すように複数列に2段ずつ積まれることが一般的である。その結果、例えば、ほぼ隠れているが、奥側に見える赤色のコンテナを取り出すために、手前の青色と上の緑色のコンテナを動かすことになる。つまり、あるコンテナを取り扱うため、別のコンテナに対する作業が発生する場合がある。これらの作業を区別することで、荷役作業の状況を適切に把握できるものと考えられる。

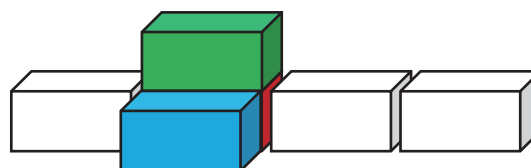


図1 貨物駅構内でのコンテナ留置例

表1 主作業で行われる各種の作業

初期状態	最終状態	コンテナに対して行われる荷役作業
駅に留置されている	駅に留置	荷役なし
	列車で貨物駅を出発	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
	運送業者のトラックで持出	留置場所→利用者トラック
列車で貨物駅に到着	駅に留置	貨車→コンテナホーム
	列車で貨物駅を出発	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
	列車で貨物駅を出発	貨車→コンテナホーム→利用者トラック
運送業者のトラックで持込	駅に留置	利用者トラック→コンテナホーム
	列車で貨物駅を出発	利用者トラック→コンテナホーム→貨車

作業実績データを分析した結果、図2のような分類が可能であることがわかった。荷役作業はコンテナを移動する目的の作業（以下、「本作業」と定義する）と、貨物駅に段積みされたコンテナを奥側から取り出す場合に、手前や上に置かれたコンテナを避ける作業（以下、「付随作業」と定義する）に大きく分類できる。さらに、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行われる表1に示すような一連の作業（以下、「主作業」と定義する）と、構内のコンテナを整理する作業や積載の置き直し等の作業（以下、「副作業」と定義する）に分類できることがわかった。

この分類に基づき、ある貨物駅の荷役作業の回数を時間帯別に調査した結果を図3に示す。この貨物駅では約4割が付随作業であったが、貨物駅の形状や荷役の取扱量によって付随作業の割合は大きく異なる。主作業の回数に対し、付随作業の回数が必ずしも一定の割合を占めるわけではないことが明らかになった。

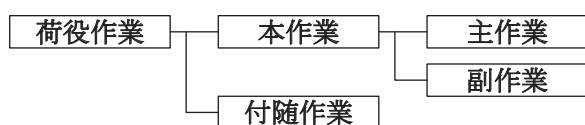


図2 荷役作業の分類

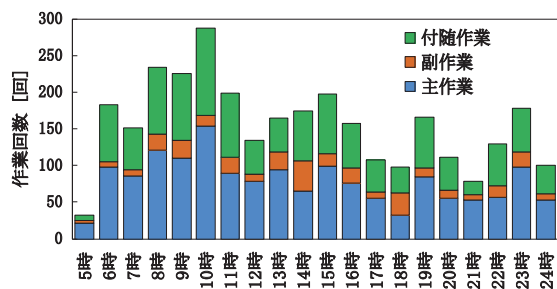


図3 ある駅における荷役作業の回数

2.3 作業における制約

作業実績データの分析により、荷役作業には以下の制約および要求があることを確認した。

(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
- ・ 顧客満足度の観点から、荷物を積卸しにきた運送会社のトラックの待ち時間を短くすることが望ましい
- ・ 表1に示す主作業の流れや、同一場所における積卸し等、前作業の荷役完了に伴い実施可能となる荷役作業がある

(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
- ・ 多くの貨物駅では、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) 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に既に最大限までコンテナが積まれている場合は、近くの空いている場所に置かななければならない
- ・ コンテナホーム上の移動は通ることのできる場所に限られ、一方通行等の制限もある
- ・ フォークリフトの総移動距離を可能な限り抑制するように作業を割り当てることが望ましい

これらの制約を満たした上で必要な荷役機器の台数を評価するためには、貨物駅の形状やコンテナの留置状況、その時点で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できるかといった判断が必要となる。時々刻々と変化する貨物駅の状態を再現するため、フォークリフトによる荷役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。

3. 荷役作業シミュレーターの開発

これまでも、大規模な倉庫を対象としたフォークリフト作業のシミュレーション分析は行われている<sup>2) 3)</sup>。しかし、これらの手法は倉庫の空間利用の再設計やピッ

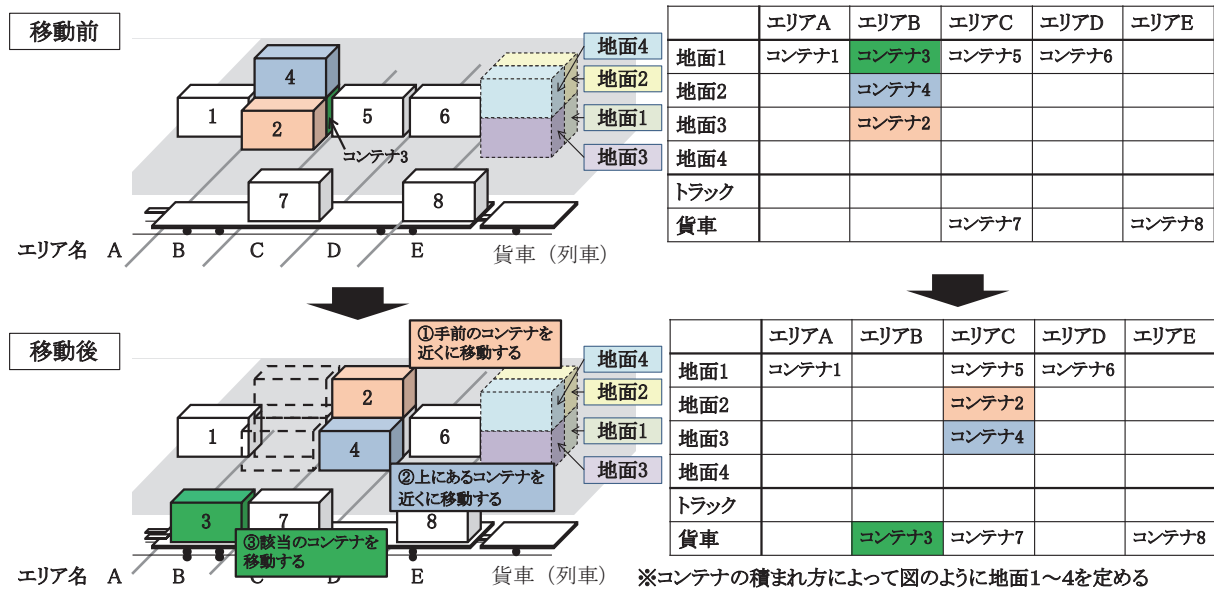


図4 貨物駅のモデル化

キングの効率化、在庫の補充管理等を目的としており、前述のような制約のある貨物駅では前提条件が大きく異なっていることからそのまま適用することはできない。そこで、一定の作業をこなす数理モデルとして広く知られている優先度付きの待ち行列理論<sup>4)</sup>を踏まえて貨物駅特有の状況を反映したフォークリフト作業のシミュレーターを開発して検討した。

### 3.1 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に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、コンテナの留置が可能な場所や、フォークリフトの移動が可能な場所が決められていることから、実際にフォークリフトが移動できる距離は単純に2点間を直線で結んだ距離とは異なる。

そこで、コンテナを留置可能な場所を、コンテナ1つ分の幅を想定して分割し、「エリア」として定義した。2.2節で示した状況に従い、奥側や上に積むことで、同一エリアに最大4つのコンテナを留置可能と考える。これにより、コンテナホームに置かれたコンテナについては、あるコンテナを動かすために、他方のコンテナを動かす付随作業をしなければならない状況を再現できるようにした。また、トラックや貨車の位置については、コンテナホームにおける荷役作業の位置を把握するために、最も近いエリアに含むことで表現可能とした。エリア間の距離は実際の距離ではなく、任意の2点間の移動に要する時間を定義することで、複雑な形状であっても表現可能となるようにした。

その上で、コンテナの留置場所と考えられる各エリア

に対し、コンテナ（地面1～4を用いて最大4つまで留置可能）、トラック、（隣接する荷役線がある場合は）貨車の各存在を、配列変数にIDを格納することで表現する。その際、コンテナホームにあるコンテナに関しては、手前や上に別のコンテナがある場合には動かさないようにするため、配列変数をスタックとみなして各IDを管理する。また、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準備することで、トラックや貨車が存在しないにも関わらずコンテナを移動するということがないよう、アルゴリズム側で、そのエリアにおける荷役作業の実施可能性を判断する。

このようなモデル化により、フォークリフトによるコンテナ配置の変化は、配列変数に格納されたコンテナIDの変化として表される。例えば、図4の上側において、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、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を近くに移動してから、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4内の表に示す変化で表される。

### 3.2 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、時刻に従って状態変化を表現するタイムドリブン型とした。アルゴリズムを図5に示す。

シミュレーターの内部では、駅構内のコンテナの留置状況を示す配列変数の他に、フォークリフトの状態、実施すべき本作業の状態を保持している。シミュレーション内部の時刻進行に応じてこれらの状態を変化させることで貨物駅構内の変化を表現する。

特集：輸送計画技術

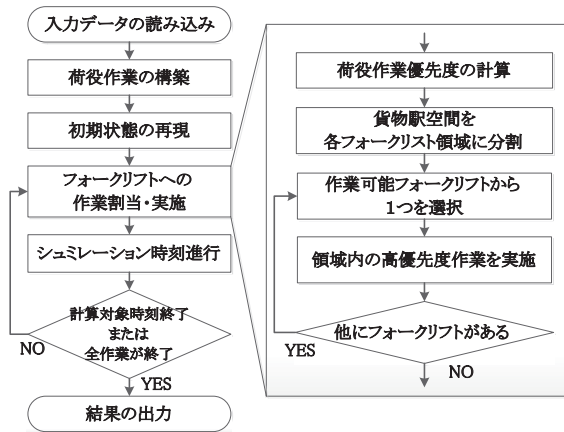


図5 シミュレーターのアルゴリズム

アルゴリズムでは最初に入力データを読み取り、計算対象時間の間に行われるべき本作業を列挙することから始める。主作業については、表1に示す荷役作業の流れに基づき、時間内に到着、出発、持込、持出のいずれかが行われるコンテナに対する作業を列挙する。この段階で、作業の前後関係や、列車やトラックの到着による作業開始可能時刻等の情報も各作業に割り当てる。列車やトラックの到着は、到着して荷役作業が可能となった時刻を荷役開始可能時刻とすることで、各時刻における実施可能な作業を定める。副作業については、構内作業のルールにも大きく影響し、各駅によっても異なることから、ここではすべて手で列挙することとした。

次に、フォークリフトへの作業を割り当てる。その時刻において実施可能な各荷役作業に対し、荷役作業の種類、締め切り時刻、待ち時間等の条件から優先度を計算し、荷役作業と各フォークリフトの位置や作業状況等から算出される作業領域を決定する。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。

作業可能なフォークリフトにすべての荷役作業が割り当てられるか、または、実施可能な荷役作業がすべて荷役中か荷役完了になると、シミュレーション内の時刻を進める。その時間の中での状態変化を内部データとして反映しながら、フォークリフトへの割当計算を繰り返す。これにより、フォークリフトによる荷役作業に伴う状況変化を表現する。

3.3 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。1日分の作業実績データを入力としてシミュレーションを実施し、実際の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比較を図6、フォークリフトの稼働時間のうち、移動作業に要した時間の割合の比較を図7に示す。いずれにおいても、全体的な作業

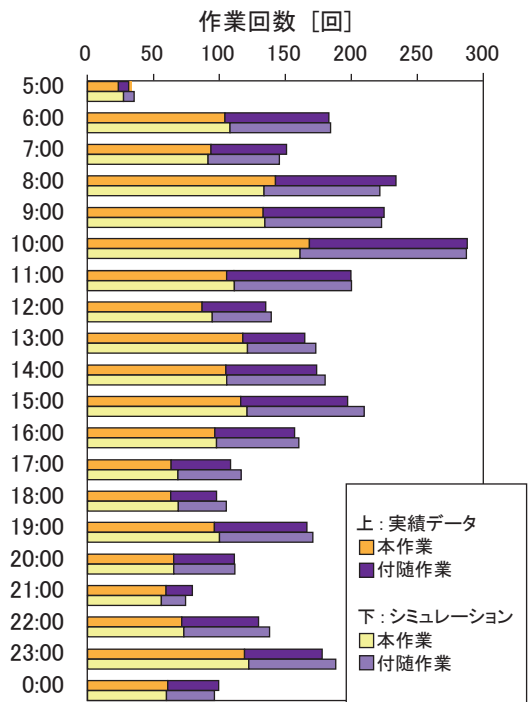


図6 作業回数の比較結果

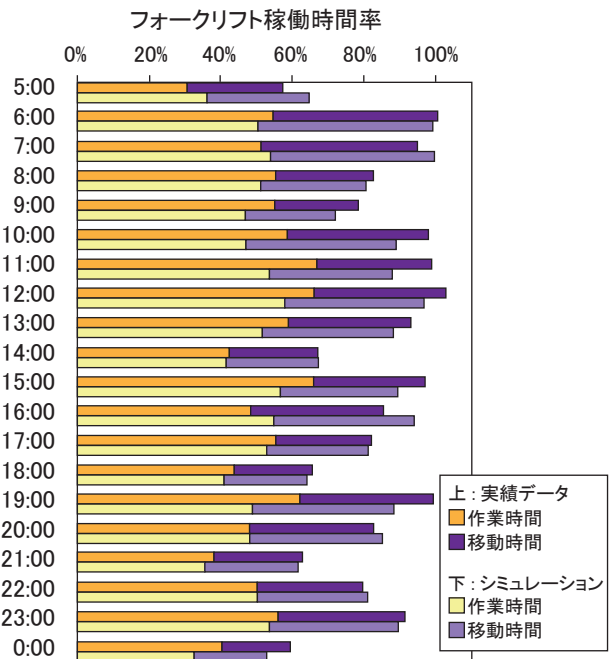


図7 移動時間・作業時間の割合の比較結果

量と傾向は再現できており、台数の評価に必要な精度は得られたと考えている。

4. シミュレーションによる台数の検討例

開発した荷役作業シミュレーターを用いることで、フォークリフト台数の増減の影響を確認できる。与えられた各荷役作業に対し、それらの進捗を滞らせない範囲

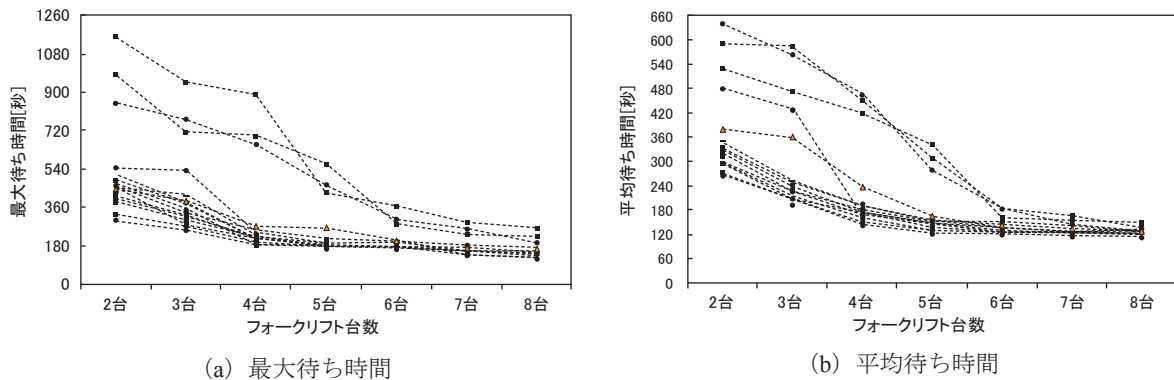


図8 稼働台数の違いによる待ち時間の変化

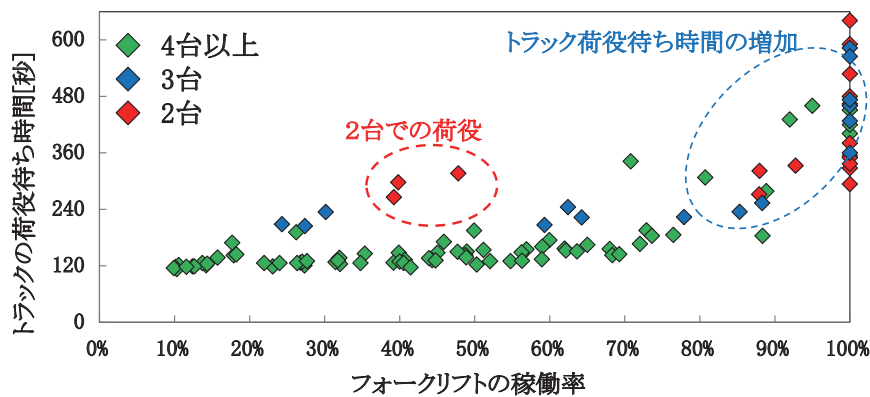


図9 フォークリフト稼働率とトラックの荷役待ち時間の関係

での最小稼働台数を試行錯誤的に求めることで、現行台数の評価や適切な台数の把握が可能と考えられる。しかし、すべての時間帯にわたって稼働台数を変化させるには、組み合わせの数が多すぎる。そこで、適切な台数を評価するため、稼働する台数を变化させた時の傾向を調べることで、合理的な評価とすることを考える。

#### 4.1 稼働台数による変化

実際の貨物駅の施設データを用い、荷役作業を作業量が多い状態から作業量が少ない状態までランダムに発生させ、シミュレーターへの入力とした。フォークリフトの稼働台数を变化させた時に、各荷役作業にどのような影響があるかをシミュレーション上で確認した。

評価指標の1つとして、運送会社のトラックが貨物駅で荷役を待つ時間に着目して分析した。図8(a)は最大待ち時間の状況、図8(b)には、平均の待ち時間の状況を示す。各図では同一の荷役作業に対する台数の変化を点線で結んでいる。荷役作業量の大小に関わらず、フォークリフト台数が多い場合は一定の時間に収束することが確認できるが、収束するまでの変化については荷役作業の発生状況によって傾向が異なることが確認できた。

#### 4.2 稼働率と荷役待ち時間の関係

4.1節と同様の条件でシミュレーションを実施した時に、荷役時間と移動時間の両方を加味したフォークリフトの稼働率と、運送会社のトラックの荷役を待つ時間との関係について調査した。図9に結果を示す。

フォークリフトの稼働率が低い状況で、トラックの待ち時間が増加している箇所があるが、いずれもフォークリフト台数が2台の時である。このことから、フォークリフト2台では、対象とした貨物駅の規模や形状からして台数が過小であり、荷役作業間の移動時間が長くなった結果、トラックの待ち時間が長くなったと考えられる。

また、稼働率が80%程度までは、トラックの待ち時間にはほとんど影響がない一方で、稼働率が80%を超えたあたりからトラックの待ち時間が急激に増加している。この結果から、対象とした貨物駅では、稼働率が80%を超えない程度であれば、トラックの待ち時間が増大しにくいことを示していると考えられる。

#### 4.3 荷役待ち時間を考慮した稼働台数の計算

対象とした貨物駅において、貨物駅のフォークリフト台数が3台以上で、フォークリフトの稼働台数が80%を超えないような稼働台数について検討した。実際の作業量と同程度のシミュレーションをするため、ある日

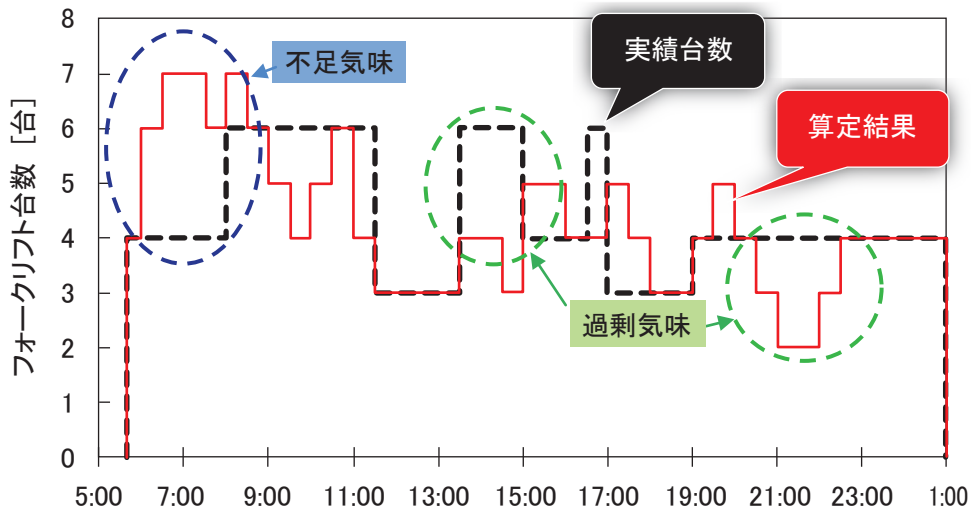


図 10 稼働率に応じた稼働台数の算定例

の実際の荷役作業をもとに入力データを作成してシミュレーションを実施した。フォークリフトの稼働台数を30分毎に変化させられるという仮定のもと、フォークリフトの稼働率が80%を超えない台数を30分毎に求めた。結果を図10に示す。シミュレーションの算定結果を赤実線、実際のフォークリフト作業における台数を黒点線で示している。これらの線の差を見ることで、各時間においてフォークリフトが過剰気味であったか、不足気味であったかを確認できる。

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で、慢性的にフォークリフトの過不足が発生する時間帯の有無を確認し、稼働台数の妥当性を評価できると考えられる。

## 5. おわりに

貨物駅のフォークリフト作業を模擬する荷役作業シミュレーターを開発し、フォークリフトの稼働台数を評価する手法を提案した。ケーススタディでは、稼働台数の違いによる荷役作業への影響を調べた。実際の台数を決定する上では、作業者の勤務体系や荷役量の波動等の周辺情報も合わせて、総合的に判断することが必要であ

ることには留意しなければならない。

今後は荷役作業シミュレーターを用いた台数評価手法を実用化するために、貨物駅依存の入力データの作成方法や、アルゴリズムの精査等を実施していく予定である。

## 謝 辞

本研究を進める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る。

## 文 献

- 1) 花岡俊樹：IT-FRENS & TRACE システムが生み出す“価値”，JREA, Vol.53, No.4, 2010
- 2) Takakura, S., Takizawa, H., Ito, K. and Hiraoka, S., “Simulation and analysis of non-automated distribution warehouses”, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp.1177-1184, 2000.
- 3) Gagliardi, J.P., Renaud, J., Ruiz, A., “A Simulation model to Improve Warehouse Operations”, *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp.2012-2018, 2007.
- 4) 宮沢政清：待ち行列の数理とその応用，牧野書店，2006