コンテナターミナルにおけるオペレーションデータ分析 に基づく機能設計に関する研究

篠田 岳思*・北島 祥悟**

Functional Design Based on Cargo Handling Operation Data Analysis in Container Terminal at Sea

Takeshi SHINODA and Shogo KITAJIMA

Abstract

Container terminal is a important base point for physical distribution to connect between land and sea transportation. The highest priority on container transportation is given to time value to satisfy the requirement of customers under the present situation. Providing higher performance at container handling to container ship is the top priority at container terminal. But, this priority occasionally causes some problems such as to deploy excessive facility for container handling cargo gear, to suspend container handling to chassis from outside, which might influence the management for container handling.

The purpose of this paper is to evaluate improvements by functional design based on analysis of container handling operation. The process data of container handling operation for cargo gears are obtained to develop the datalog system for gantry crane operation, to construct the container handling data base for transfer crane operation and to study a process data by work sampling for chassis operation. Petri-network model of container handling is constructed to based on the process data. An important consideration for adequate numbers of container handling gears is carried out to apply the developed methodology, as a trial calculation.

Keywords: Port Facilities, Container Terminal, Petri-network Model, Operational data Analysis

キーワード: 港湾施設、コンテナターミナル、ペトリネットモデル、オペレーションデータ分析

1. はじめに

コンテナターミナルは陸上と海上を結ぶ物流の結節点である。現状でのコンテナによる物流サービスにおいては時間価値が優先され、コンテナターミナルでは特に本船への迅速な荷役作業が求められており、本船荷役が最優先事項とされている。ところが、本船荷役を最優先にすることから、荷役機器の過剰な配備や、本船荷役時間中の外来シャシーへの荷役サービス停止等のコンテナターミナルへの運営等の問題も生じている。

研究では、荷役機器の荷役作業の時間情報の取得のための荷役データベースや荷役データログシステムの開発を行い、これらの時間情報を基にしてペトリネットを用いた荷役シミュレーションによる機能設計について検討を行う。ここでの検討例としては、実際に行われた荷役状況を記録して、荷役シミュレーションより荷役記録の再現性を確認する。さらに、この荷役記録を用いて、本船荷役中に多くの荷

役待ちが生じる構内シャシーの適正台数について検討を行う。

なお、コンテナターミナルの荷役シミュレーションには、作業時間や待ち時間を基にした機器の最適配置分析¹⁾、荷役取扱量を基にした線型計画法によるバース配置分析²⁾、統計量やニューラルネットを基にした荷役作業時間の推定分析³⁾等があるが、本研究では作業時間の計測を基にしてターミナル内において使用される全て機器個々について作業分析を行うため、離散事象システムの解析に有利であるペトリネットワークを用いたコンテナ荷役シミュレーションモデルの構築を行う。

2. 荷役機器の時間情報の取得

2.1 博多港アイランドシティ・コンテナターミナルの概要

博多港アイランドシティ・コンテナターミナルは、

* 正会員 九州大学大学院工学研究院 shinoda@nams.kyushu-u.ac.jp

**非会員 名村造船所（研究当時 九州大学大学院工学府）

Fig.1 Illustration of layout of marine container terminal

Fig.2 Average work time of gantry crane in loading and unloading process

博多港でのコンテナ取扱量の増加から 2003 年 9 月に供用された新しいコンテナターミナルである。このターミナルの主要目としては岸壁 2 バース、岸壁長 680m, 水深 14m および 15m, ガントリークレーン (以降 G/C と略す) 5 基, ヤード面積約 284,00m², 蔵置量 1 ドライ 4 段 19,296TEU の中規模ターミナルであり、年間取扱量は 2010 年度では 36.7 万 TEU ある。またターミナルの供用に際し HiTS (Hakata Port Logistic IT System) と呼ばれる物流情報システムが構築され、コンテナの蔵置情報の照会やコンテナ授受の事前予約, 周辺混雑状況の情報提供のためにヤード周辺の静止写真をインターネットを介して

公開等を行うシステムや、KACCS(Kashii Container Control System) と呼ばれる本船プランニングやヤードプランニング、荷役管理のためのシステム構築等、ターミナルユーザーの利便性を図るための新しい試みが行われている⁴⁾。

このターミナルでの蔵置コンテナの荷役方式は、国内初の 8 列対応のトランスファークレーン (以下 T/C と略す) が 12 基導入されている。また、G/C と T/C には構内シャーシ (以降 C/Y と略す) が配備され、揚荷、荷降ろしの際の両クレーンの繋の機能を担っている。

荷役の現状について述べると、本船荷役を最優先

Daily work report of Hakata Island City Container Terminal

[Transfer crane No.03]

[Completed work data on 19:07, 01 / Aug / 2007 (Wed.)]

No.	Operation	G/C	Container No.	Size	From	To	Stock address	Accept. work time	Completed work time	Wait time	Comments	Flag
37	Ship to Stock	I3	****6698051	40	CY013	C115-4-4	C115-2-3	8:57	9:11	14	Reserved	O/C
38	Receipt		****8050570	40	C121-1-2	C121-4-2		9:06	9:13	7	Reserved	O/C
39	Rehandling		****1316020	40	C121-1-1	TM004		9:06	9:14	8		O/C
40	Delivery		****6057208	40	C113-5-2	C113-4-2		9:09	9:16	7		O/C
41	Delivery		****9410917	40	C113-5-1	IW005		9:09	9:24	15	Reserved	O/C
42	Delivery		****9190948	40	C121-3-2	KM009	C119-7-3	9:16	9:28	12	Reserved	O/C

Remark ; The abbreviation of O/C means ordinary completed.

Fig.3 Daily work report of container handling by transfer crane

Fig.4 Average work time of transfer crane in loading and unloading process

に行うために G/C には待ち無しが原則であり、このために必要な T/C や、構内 C/Y が配備されている。通常は G/C 1 基に対して C/Y 4 台が配備され、これを 1 ギャングと呼んでいる。4,500TEU 規模の大型コンテナ船の来航時の荷役には、3 ギャングがこれに当たり、T/C は全レーンに配備されるため、G/C には待ちが無いものの、T/C や構内 C/Y には大きな待ちが生じている。

2.2 各荷役機器のオペレーション作業時間

荷役シミュレーションモデル構築にあたり、シミュレーションに必要な各荷役機器のオペレーションの作業時間について現地での計測や荷役データベースの分析により取得した。

(1) ガントリークレーン

ガントリークレーンの時間情報の取得には、データロガーの製作を行い G/C のクレーン制御機械室の配電盤内にあるシーケンサーにデータロガーを取り付け、クレーンの巻き上げ、巻き下げ、横行等の電動機、マスターコントロールの信号を動作状況を計測した。この信号解析の例として、G/C スプレッダーがコンテナを C/Y に受け渡してから、本船上

で次のコンテナを掴み、次の C/Y に受け渡すまでの時間を抽出して、本船への荷役作業時間を時間情報として得られた頻度分布図を Fig.2 に示す。揚げ作業も積み作業も同様の分布を示しており、平均は揚げ作業が 90 秒、積み作業が 87 秒である。

(2) トランスファークレーン

トランスファークレーンの時間情報の取得には、T/C の作業日報を利用した⁵⁾。全ての T/C には各 T/C 毎に荷役状況を作業日報として CSV (Comma Separated Values) テキストとして保存されている。この作業日報は Fig.3 にその一部を示すように、当日の T/C の始動から付番される作業番号、コンテナの搬出入やシフト等を示す荷役形式、本船から揚荷の場合にはガントリークレーンの番号が付番され、コンテナ番号・サイズ、蔵置場所のアドレスあるいは搬出搬入の際の全てのトラックに固有に付番された車体番号、作業の受付・完了時間等の項目からなる。なお、受付時間には T/C の作業受付時間とターミナル外からのトラック（ここでは外来シャシーと呼ぶ）のゲートでの受付時間が併記されている。

この作業日報による荷役情報は T/C 作業、コンテ

Fig.5 Average work time of chassis to run between apron and storage yard

Fig.6 Idle situation of chassis for waiting to gantry crane at apron

Fig.7 Idle time of chassis for waiting to gantry crane at apron

ナ蔵置, 外来・構内シャーシ等が部分的に関与していることから, コンテナターミナルの荷役データとしてデータベースを作成し, このデータベースから T/C の作業プロセス情報を抽出して時間分析を行った。Fig.4 には約 4 万件の荷役データを分析した例として, T/C の揚げ積みの 1 サイクル当たりの作業時間を示す。この作業時間にはリハンドリング作業

も含めて揚げ作業では平均 90 秒、積み作業では平均 87 秒であった。

(3) 構内シャーシ

構内シャーシの時間情報の取得には, 実際にシャーシに乗車し, 荷役の時間計測を行い C/Y の荷役作業時間情報を得た。計測には C/Y の作業工程に基づく記録用紙を作成し, エプロン到着時刻、

Fig.8 A Petri network model for explanation of its process

Fig.9 A loading process model for gantry crane by Petri network

Fig.10 A loading process model for chassis by Petri network

待ち台数、待ち終了時刻、荷役終了時刻、等を記録した。また、乗車できない C/Y にはビデオを搭載して運転席前方の車窓を撮影し、同様の記録紙を用いてモニターを見ながら作業分析を行った。これらデータを基にして時間分析を行った例を示す。

Fig.5 には本船揚げおよび本船積み作業の場合のエプロンと蔵置場所間の平均所要時間を示す。ここでは各レーンへの平均所要時間を、エプロン出発から蔵置場所到着、蔵置場所出発からエプロン到着までの走行時間を分けて示している。本船揚げおよび本船積み作業を比較すると、本船積み作業の方が走行に要する所要時間は短い。これは、本船積み

Fig.11 Interchange unit for G/C and C/Y

の場合にはコンテナを積載していない状態で長い直線のエプロンを比較的速度を上げて走行ができることによる。また、冷凍コンテナを蔵置する H レーンへの搬送は蔵置レーンがエプロンから遠い位置にあることや、冷凍コンテナの重量がドライコンテナ

Fig.12 A loading process model for transfer crane by Petri network

Fig.13 Fixed and free chassis system

に比べて重いことから速度を出せない状況にあるため走行に要する所要時間は長い。

Fig.6 はエプロンでの構内 C/Y の G/C のからの荷役待ちの状況を示している。荷役待ちには必ず生じており、待ち台数は 1 台から多い場合には 3 台に上ることがある。特に蔵置レーンがエプロンに近い場合や、ハッチカバー開閉時等には待ち時間も長くなる。

Fig.7 は積み作業時の C/Y のエプロンでの待ち時間を示す。揚げ作業では荷役待ちが短い、積み作業では荷役待ちが長くなる傾向にある。荷役計測によると約 30% の待ちによるムダが生じており、本船荷役時の C/Y の台数の適正数について、次章に述べる荷役シミュレーション⁶⁾を基に検討する。

3. コンテナ荷役シミュレーション

3.1 ペトリネットモデル

T/C の荷役作業シミュレーションの計算には、ここでは作業プロセスの計算に適したペトリネットワーク⁷⁾を用いる。Fig.8(a) にペトリネットワークの構成要素を示す。ペトリネットワークは作業のプロセスの状態を示すプレースと作業の動作を示すトランジション、作業の流れを示すアーク、そして現

在の状況を示すトークンにより表される。ここでは、情報に起因するプロセスの条件付きの流れ制御を明解にするため、図中三角印に示す情報プレースを考案した。例えば、Fig.8(b) にペトリネットワークを説明するための簡単なプロセスの流れを示す。Step1 に示すように、このプロセスに指示を送り情報プレース P2 にトークンを入れると、Step2 に示すようにトランジション T1 の発火条件が整うことになり、Step3 に示すように P3 にトークンが移動し次のプロセスに進む。このように、情報プレースを導入することにより、前作業の指示等のトランジション発火条件を制御することができる。

また、プロセスへ時間を考慮するために時間ペトリネット (Timed Petri net) を導入する。ここでは、トランジションの発火後に、一定時間に次のプレースへの発火を遅らせるプレース時間モデルを用いる。計算プログラムは C 言語により作成した。

3.2 荷役シミュレーションモデル

シミュレーションでは、実際に行われた荷役状況を記録して、この記録をシミュレーションにより再現する。次にこの荷役記録を基にして、本船荷役中に多くの待ちが生じている C/Y の適正数の検討を荷

(a) Average queuing time of G/C

(b) Details of number of combined fixed and free chassis system

Num. of C/Y	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Num. of Free C/Y	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Num. of Fixed C/Y	3	3	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12

Fig.14 Idle time of gantry crane for waiting to chassis in loading process

Fig.15 Idle time of chassis for waiting to gantry crane at apron in loading process

役シミュレーションにより試みる。なお検討には、G/C および T/C による荷役場所は固定して定める。

開発したコンテナ荷役シミュレーションでは、用いられる G/C、T/C、C/Y の各荷役機器についてペトリネットモデルにより構築を行い、これらを組合せて荷役全体をモデル化する。

Fig.9 には本船積み作業の際の G/C の荷役作業シミュレーションモデルを示す。図中表にはプレイスおよびトランジションの内容を記載している。このモデルには、G/C のエプロンでの待ちを計算できるようにプレイス P1 を配置しており、P3 にコンテナの授受に関わるトークンが設定されない場合には G/C に待ちが生じることになる。

Fig.10 には本船積み作業の際の C/Y の荷役作業シミュレーションモデルを示す。G/C と同様にエプロンでの待ちを計算できるようにプレイス P11 を配置しており、P13 にトークンが設定されない場合には C/Y に待ちが生じることになる。

通常の本船荷役では G/C 1 基につき C/Y 4 台が配備され、G/C へのコンテナの授受は、本船揚げ荷役では、C/Y のエプロン到着順、本船積み荷役では本船ホールドへの積付けプランに従い荷役が進められる。このため、荷役の順位を制御するために、ここでは Fig.11 に示す荷役機器の切替え制御が行えるように工夫した切替器モデルを用いる。G/C からは P2 にトークンが設定され、また C/Y からは P12 に

Fig.16 Idle time of transfer crane for waiting to chassis at container slot in loading process

トークンが設定され、切替器上において G/C と C/Y が連結されることになり、この時に P56 のトークンを制御してコンテナの授受を表現する。

また、Fig.12 には本船積み作業の際の T/C の荷役作業シミュレーションモデルを示す。P21 でのトークンの滞留により T/C の待ちが計算でき、T/C と C/Y との連結には P22 および P17 を用いる。

シミュレーションに用いる荷役機器には G/C が 3 基、T/C は 12 基、C/Y は 15 台まで計算できるように設定し、切替器は G/C と C/Y の切替に 45 個、T/C と C/Y の切替に 180 個、合計 225 個を設定して制御することにより荷役作業シミュレーションを行い、荷役機器の作業待ち時間を計算することにより、荷役機器の適正台数について検討を行った。なお、説明では本船積み作業について説明したが、本船荷揚げ作業は逆工程により表すことができる。

3.3 荷役シミュレーション計算結果

(1) 改善検討例

C/Y の適正台数の検討には、Fig.13 に示すように現状の 1 ギャング (G/C1 基、担当固定 C/Y4 台) 構成と、新しい荷役方式として、G/C に対応を固定した C/Y とは別に固定 C/Y に不足が予測される G/C に対して適宜に荷役を行う自由 C/Y を設けた構成とした場合、全て自由 C/Y により荷役を行った場合の 3 方式について大型船への荷役方法について比較を行い C/Y の待ち時間の改善効果の検討を行った。

(2) シミュレーション計算例

Fig.14 に本船積み作業時の C/Y による G/C の荷役待ちを、C/Y 固定、自由、組合せ方式について 1 基当たりの平均待ち時間として表したものを示す。図中表には、C/Y 固定・自由組合せ方式の内訳を示している。固定・自由の組合せは多数あるが、計算

では各 G/C に対して固定 C/Y が同じ台数になるように案配し、自由 C/Y は全て自由 C/Y 方式についても検討を行うため、自由 C/Y を 3 台以下として設定している。G/C の待ちが消失する C/Y 台数が荷役作業に必要な台数になるが、現状の荷役では固定 C/Y 方式では G/C3 基について 12 台の C/Y が対応することになるが、シミュレーション計算によると C/Y10 台でも待ちを消失させることが可能であることが分かる。また、計算対象とした博多港アイランドシティコンテナターミナルは新しいバースが先行して供用されたため、比較的規模の大きな本船への荷役では、バースと蔵置場所とが離れることがあり、構内 C/Y の輸送径路が長いことから、C/Y 固定、自由、組合せ方式の差は大きくは生じていない。

Fig.15 に本船積み作業時の C/Y 1 台当たりのエブロンでの G/C への荷役待ちを示す。荷役計測によると G/C1 基当たりの平均作業時間 5,720 秒に対して 12 台の C/Y 1 台当たり稼働時間の約 30% に相当する平均 1,695 秒の待ちが生じている。この点を図にプロットして C/Y 固定方式によるシミュレーション計算と比較すると差は小さいため、シミュレーションと計測は良く一致しているものと考ええる。固定方式として C/Y を 10 台にした場合には、現状よりも待ち時間を 34% 削減することができ、さらに C/Y を自由方式にした場合には 40% 削減することが可能であることが分かった。

Fig.16 に本船積み作業時の T/C の 1 台当たりの平均待ち時間と稼働率を示す。T/C は全レーンに配備されているため荷役待ちが多く生じ、現状では約 25% しか稼働していないことが分かった。

4. 結言

現状での荷役機器の荷役作業の時間情報の取得のためのデータベースやログシステムの開発を行い、荷役機器の時間情報の取得を行った。さらに、荷役機器の時間情報を基にしてペトリネットを用いた荷役作業シミュレーションモデルの構築を行い、シミュレーションにより構内シャーシの適正台数の検討を行った。これにより、従来のギャング構成とは別に新たな荷役構成の検討が可能になった。

参 考 文 献

- (1) 例えば、濱田 他：コンテナターミナルにおける物流システムの最適設計：第3報，トランスファクレーン・ヤードの最適配置と運用計画、日本機械学会論文集、65 巻、637 号、1999
- (2) 例えば、金淳 他：コンテナターミナルにおける最適荷役作業計画：第2報，バースの最適配置計画、日本機械学会論文集、65 巻、640 号、1999
- (3) 例えば、西村、今井 他：マルチユーザターミナルを対象としたコンテナ船の荷役作業時間推定に関する研究、日本機械学会インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集 12、2002
- (4) 博多港ふ頭リーフレット、2006
- (5) Shinoda T., Tanaka T., Kim H.: Construction of Container Handling Simulation Model in Container Terminal by Database Analysis, Proceedings of International Maritime Association of the Mediterranean, 2007
- (6) 篠田、福地他：コンテナターミナルにおける荷役の効率化と機能性評価に関する研究 (その2) 次世代型ターミナルの可能性、日本造船学会論文集、第186号、1999
- (7) 椎塚久夫：実例ペトリネット、コロナ社、1992

質 疑 応 答

今井昭夫（神戸大学）：

実施されたシミュレーションでは外来シャーシによって本船荷役に割込みが発生するようなことは想定されていていつでしょうか。

篠田岳思：

荷役シミュレーション対象とした博多アイランドシティ・コンテナターミナルでは、本船荷役中には安全上の配慮として構内・外来シャーシの動線の交わりを避けることから外来シャーシへの荷役は中断されています。現状と改善案との比較を行うため、本報告ではシミュレーションに含めていません。本船荷役中の外来シャーシの待ちはサービス低下となるターミナルの課題でもありますので検討を必要としますが、外来シャーシの荷役モデルをペトリネットにより組立て、荷役シミュレーションに組み込めば、シミュレーションによる検討は可能です。

黒川久幸（東京海洋大学）：

固定シャーシの他に自由に移動できる自由シャーシを用いる場合に、自由シャーシへの作業指示についてお教え下さい。

篠田岳思：

従来のターミナルでは、ターミナルプランナーによる紙ベースによる荷役シーケンスが書かれた指示書がありこれを基に無線交信により荷役を進めています。シミュレーション対象とした博多アイランドシティ・コンテナターミナルでは、この指示書だけでなく、KACCS と呼ばれる本船プランニングやヤードプランニング等の荷役管理システムがあり、運転手は荷役シーケンスを車載端末で見て荷役シーケンスの受取確認や受取判断ができるため荷役が円滑に進められています。このようなシステムがあることが理想ですが無い場合には、クレーン下で検数員がいますので、ここから荷役シーケンスを口頭で受け取ることや無線で受け取ることにより実現できるものと考えています。