ファジィ理論を用いたコンテナターミナルの最適蔵置法*

樋口 良之^{*1}, 阿部 雅二郎^{*2}, 伊藤 廣^{*2}Optimum Stacking Method based on Fuzzy Systems Theory
in Container Terminal

Yoshiyuki HIGUCHI, Masajiro ABE and Hiroshi ITO

Container logistics networks need their expansion and the improvement of their efficiency. For this purpose, the container handling-carrying system should be optimized in terminals. Then, it is important to reduce the cycle time for container operation. The operation cycle time is effected by machine performance and the arrangement of containers in stacking yard. In this study, the optimum stacking method in the yard is constructed. As the first step, a stacking method based on fuzzy systems theory has been developed. The judgement of container weight and unloading terminal are treated logically for a container. And the optimum location of a container in stacking yard is decided. The container handling applied this stacking method and conventional ones was simulated. The speed and distance of load hoisting, travelling and traversing are considered in this simulation. As the result, this stacking method is superior to conventional ones in shipping operation time.

Key Words: Materials Handling Equipment, Layout Planning, Optimum Design, Modelling, Fuzzy Set Theory, Container Terminal, Logistics

1. 緒 言

物流システムでは、モーダルシフトやコンテナリゼーションなどの推進により、飛躍的にコンテナを使った物流が発展してきた。海上輸送では、テクノスーパライナーなどに見られる船舶の高速化と大形化が進んでいる。陸上輸送でもトレーラのみならず鉄道を利用した大量一括輸送が見直されつつある。このような物流システムにおいて、海上と陸上輸送の接点であるコンテナターミナルは、最適設計と効率的な運営が求められている。特に、本船作業の時間短縮は、港湾施設の使用料などを抑制でき、港湾やターミナルの競争力保持のために期待される。

本船作業は、荷役運搬機械の性能とコンテナのレイアウト計画に大きな影響を受ける⁽¹⁾⁽²⁾。これまで、機械性能とコンテナヤードの大きさについては、渡辺⁽³⁾が実用的な最適設計方法を確認し、大和ら⁽⁴⁾や著者ら⁽⁵⁾⁽⁶⁾はシミュレーションを行っている。また、事例

解析も数多く報告されている⁽⁷⁾。これらの研究では、おもに施設や機械の仕様を検討し、ターミナルの設計を支援してきた。しかしながら、コンテナのレイアウト計画などの運営については現状を考慮しているものの、十分な検討と改善がなされなかった。

本論文では、ターミナルにおけるコンテナのレイアウト計画、すなわちスタッキングヤードにコンテナを積上げる蔵置について、輸移出作業を対象に検討する。スタッキングヤードに搬入されるコンテナは、通常、簡単な規則で蔵置され、本船作業に伴う搬出において、取出すコンテナの上に置かれた別コンテナを取除くりハンドリングが多く荷役に時間を費やしている。本船作業前にリハンドリングの回数を減らすためにコンテナを並べ替えることもあったが、コンテナ取扱量の増大に伴い、現在では行われない。そこで、本論文では、スタッキングヤードへ搬入するときのコンテナの積上げ方法を改善することで、最適な蔵置状態を実現する。この積上げ方法は、ファジィ理論を用いて確立し⁽⁸⁾、汎用的に各種のターミナルに適用できるようにする。確立した積上げ方法を、シミュレーション解析によって現状の方法と比較し、その有用性を示す。本方法により、最適なコンテナ蔵置状態を実現し、スタッキングヤードでの荷役作業時間を短縮し、

* 原稿受付 1998年8月17日。

^{*1} 正員, 山形県立産業技術短期大学校 (☎ 990-2473 山形市松栄2-2-1)。^{*2} 正員, 長岡技術科学大学 (☎ 940-2188 長岡市上富岡町1603-1)。

E-mail: higuchi@astro.yamagata-cit.ac.jp

本船作業の時間短縮をはかることができる。

2. コンテナの荷役運搬と蔵置

港湾やターミナルにおける荷役運搬効率に関する重要な評価指標の一つは、本船作業時間 T_{sl} である。この T_{sl} は、港湾施設使用料を決定付ける船舶停泊時間などに影響を与える。 T_{sl} は、輸移入と輸移出で以下のように異なる。

輸移入コンテナは、荷揚順に、図1に示すようにスタッキングヤードに船舶ごとにまとめてコンテナを蔵置するブロックへ搬入され、ブロック端のスロット上から蔵置される。そして、本船作業終了後に、荷主の引取り順に搬出される。したがって、短縮を求められる T_{sl} は、荷役運搬機械の作業性能が大きく影響する。

一方、輸移出では、荷主は本船入港1日前までを原則としてターミナルにコンテナを搬入する。コンテナは、輸移入と同じようにスタッキングヤードに積載船舶ごとにまとめて搬入ブロック (Receiving block) に積上げ、蔵置される。積上げ方法に規定はなく、通常、図1(a)に示したように、搬入順に搬入ブロック端のスロット上から積上げられる (以後、本研究で確立する積上げ方法と区別するために、通常の方法と呼ぶ)。ターミナルオペレータが船積の順番を計画した荷役プラン⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を作成し、計画に従い本船作業が行われる。はじめに船積みするコンテナがブロックの下段に蔵置されていると、その取出しのために、上部のコンテナをリハンドリングする必要があり、荷役時間が増大する。したがって、 T_{sl} は、荷役運搬機械の作業性能のほか、スタッキングヤードにおけるコンテナの蔵置状態に影響される。

荷役プランは、重量、仕向地などのコンテナの明細に基づいて作成される。本船の荷揚先で荷役しやすいように、最初の荷揚先へ輸送するコンテナを本船上部

に積上げる。最終荷揚先へ輸送するコンテナを本船内底部に船積みする。また、安定した操船を実現するために、できるかぎり重量コンテナを内底部へ、軽量コンテナは重量コンテナの上へ積上げる。

本論文では、 T_{sl} を短縮するために、蔵置状態の影響を受ける輸移出コンテナの荷役運搬作業を解析対象とする。そして、荷役プランに合致する最適な蔵置状態を実現する積上げ方法を次章に示すファジィ理論を適用して検討する。

3. コンテナ積上げ方法の確立

スタッキングヤードでの最適な蔵置を実現するコンテナ積上げ方法についてファジィ理論を用いて検討する。ファジィ理論を導入することで、論理的な積上げ場所の選択が可能になる。論理的なファジィルールを変更したり、メンバーシップ関数を修正することで、規模や荷役船舶の大きさなどが異なるさまざまなターミナルに適用できる。また、積上げ場所の選択に必要な情報が不足した場合でも、限られた情報から適切な積上げ場所を選択できるといった実用性も有する。

コンテナの蔵置は、荷役プランに合致することが望ましい。そこで、荷役プランで考慮しているコンテナの荷揚先と重量を条件に、ファジィルールを次のように定めた。

荷揚先の早いコンテナは、本船上部へ積載するために、荷役プランでは後半に荷役作業が指示される。このため、スタッキングヤードでは、下段へ積む。荷役プランで前半に指示される荷揚先の遅いコンテナは、上段に積上げる。これにより、できる限り、前半に荷役するコンテナを上段に積上げ、リハンドリングを少なくし、コンテナ一個の荷役時間 T_{oc} を短縮できる。また、 T_{oc} をさらに短縮するために、荷揚先ごとにまとめてコンテナを積上げ、トランスファクレーンなどの荷役機械の走行動作も少なくする。これらのことか

Fig. 1 Container handling-carrying system in stacking yard

ら、次の二つのファジィルールを作成した。

- (1) 荷揚げ先が早ければ、下段陸側へ積む。
- (2) 荷揚げ先が遅ければ、上段海側へ積上げる。

コンテナの重量については、重いものは船舶内底部に船積みされるため、スタッキングヤードでは上段へ積上げる。このため、さらに次の二つのファジィルールを作成した。

- (3) 重量が重ければ、上段へ積上げる。
- (4) 重量が軽ければ、下段へ積む。

これらのファジィルールに示された「早い」、「遅い」といったあいまいではあるが、汎用的に用いることができる情報をメンバシップ関数で表現する。このとき、荷揚げ先の数、取扱コンテナの重量分布などが異なるさまざまなターミナルに対して、汎用的に活用できるモデリングを行った。

コンテナの荷揚げ先が早いか遅いかを判断するために、次式で定義する相対荷揚げ順位 α を用いる。

$$\alpha = \frac{i_p}{N_p} \quad (1)$$

ここで、 N_p は本船の荷揚げ先総数であり、コンテナは i_p 番目の荷揚げ先へ輸送される。 α の値が小さいほど早く荷揚げし、 α の値が 1 のとき、そのコンテナは最終荷揚げ先へ輸送されることを意味する。 α を用いて、図 2 に示すとおり、荷揚げ先が早いか遅いのかをメンバシップ関数で定めた。

Fig. 2 Membership function for the order of unloading terminals

Fig. 3 Membership function for the weight of container

コンテナの重量 W_c が軽いか重いかを判断するために、次式で定義する充実率 β を用いる。

$$\beta = \frac{W_c - W_{ct}}{W_{cg} - W_{ct}} \quad (2)$$

ここで、 W_{ct} は空コンテナの自重、 W_{cg} はコンテナの最大総重量である。 β の値が零のとき空コンテナであり、 β の値が大きいくほど重量コンテナである。 β を用いて、図 3 に示すとおり、荷役するコンテナが重いのか軽いのかをメンバシップ関数で定義した。ここで、 W_{ct} と W_{cg} はコンテナの構造と素材でおおむね決定できる汎用的な数値である。また、ターミナルが取扱コンテナの重量分布に応じて図 3 に示したメンバシップ関数を修正すれば、より実状に即した合理的な積上げが期待できる。

コンテナの積上げ位置については、図 4 と 5 に示すメンバシップ関数でモデリングした。図 4 は、コンテナブロックの長手方向の積上げ場所 n_a について示したものである。海側あるいは陸側への積上げは、コンテナブロックの長手方向のスロット数 N_a に応じて、最も海側にあるスロットの列を 1 として、図 4 に示したメンバシップ関数を定義した。図 5 は、搬入されたコンテナを上段へ積上げるのか下段へ積むのかを示したものである。この高さ方向の積上げ段数 n_s は、スタッキングヤードの最高積段数 N_s に応じて、図 5 に

Fig. 4 Membership function for the location of loading container

Fig. 5 Membership function for the step of loading container

示したメンバシップ関数で定義した。

これらのファジィルールとメンバシップ関数から作成するファジィ関係に基づき、積上げ場所は i_p と W_c の値によって決定される。図6は、このファジィ理論を用いたコンテナ積上げのアルゴリズムを示したものである。はじめに、搬入されたコンテナの i_p に基づき、コンテナブロックの長手方向の積上げ位置を決定する。次に、 i_p と W_c に応じて、積上げ段数を決定する。この二つの決定に基づき、最適なコンテナの積上げ場所を定める。このとき、すでに別なコンテナが蔵置されている場合や積上げ段の下にコンテナが蔵置されていない場合は、最適と定めた場所に近接する場所へ積上げる。

Fig. 6 Stacking algorithm based on fuzzy systems theory

4. 積上げ方法の検証

第3章に述べた積上げ方法の妥当性を検証し、本船作業時間 T_{st} を短縮できるか検討した。本検証の解析対象は、図1に示した大規模ターミナルで多用されているトランスファクレーン方式を採用したスタッキングヤードのコンテナブロックである。表1と図7は、トランスファクレーン方式で使用する機械の仕様と

Table 1 Analytical condition of simulation

Item		Value
Transfer crane		
Load hoisting speed	v_{lt} [m/min]	23.0
Unload hoisting speed	v_{lu} [m/min]	52.0
Traversing speed	v_{tr} [m/min]	70.0
Travelling speed	v_{tr} [m/min]	90.0
Container block		
No. of containers for length	N_a	16
for breadth	N_b	6
for height	N_s	4
Container		
Length	a_c [m]	12.2
Breadth	b_c [m]	2.5
Height	h_c [m]	2.6
Tare weight	W_{ct} [t]	2.9
Gross weight	W_{cs} [t]	30.5
No. of unloading terminals	N_p	3

Fig. 7 Working cycle of trailer and transfer crane

作業工程を示した解析条件である。本論文で確立したファジィ理論を用いた積上げ方法と第2章に示した搬入ブロック端から積上げる通常の方法について、一つのブロックを対象に、搬入コンテナの積上げと本船作業のシミュレーションを行った。このとき、使用されるトランスファクレーンのシミュレーションモデルは、巻上げ下げ、横行、走行といった動作について、それぞれ表1に示した作業速度を考慮した。

表2は、荷役作業時間について、ファジィ理論を用いた積上げ方法と通常の方法を比較したものである。本積上げ方法は、リハンドリングと移動のための走行動作が少ないために、コンテナの取出し時間などが短い。通常の方法と比較して、コンテナ1個の平均取出し時間 t_{ch} では約55%、ブロックすべてのコンテナを搬出するのに要する平均作業時間 T_o では約36%の時間短縮が可能となった。実際のターミナルでは、 T_o は、シミュレーション結果より短い場合がある。これは、実際に用いられる荷役プランが、コンテナ重量 W_c に対して厳密な計画を立案しないことがあるためである。例えば、厳密に計画すれば、下段にある重量コンテナは、安定した操船のために、船舶内底へ積載する。したがって、下段の重量コンテナは、スタッ

キングヤードから比較的早く、リハンドリングを伴い取出す。しかし、実際には、本船作業の時間短縮を目的に、下段の重量コンテナは、リハンドリングを極力さけるために、比較的遅く取出すこともある。本論文で確立した積上げ方法を用いれば、 W_c に対して、より厳密な荷役プランを立案できる。

図8は、コンテナブロックの積段 n_s ごとに、コンテナの充実率 β の平均値を示したものである。通常方法と比べ、本論文で確立した方法で積上げた場合、ブロックの上段には β の値が大きい重量コンテナ、下段には β の値が小さい軽量コンテナが蔵置されている。この規則的な蔵置状態は、本方法が、通常方法に比べて、より荷役プランに合致し、リハンドリングが少なく荷役作業時間を短縮できることを示す。

表3は、ブロックの長手方向の蔵置位置 n_a ごとに、荷揚先別のコンテナ数を示したものである。通常方法と比較して、本積上げ方法では、荷揚先ごとに輸送するコンテナが蔵置されている。これも、本方法が荷役プランに対して、よく合致することを示している。また、本船作業に伴うスタッキングヤードでのコンテナの搬出において、コンテナを取出すためにトランスファクレーンが走行する距離が小さく、荷役作業時間の短縮が可能であることがわかる。

これらの検証結果から、本論文で確立したファジィ理論を適用した積上げ方法は、荷役プランに合致した理想的な蔵置状態を実現し、スタッキングヤードでのリハンドリングが少なく、本船作業時間 T_{st} を短縮できることがわかった。

5. 結 言

現代の物流システムは効率的な運営が求められている。コンテナターミナルを対象に、本船作業時間の短縮を目的に、スタッキングヤードの最適蔵置状態を実現する輸移出コンテナの積上げ方法を確立した。この方法は、ファジィ理論を用いた汎用性の高いもので

Table 2 Comparison of operation time for each stacking methods

Item	Fuzzy systems theory	Conventional
Average picking time t_{ch} [min]	0.54	1.21
Average operation time for a container T_{oc} [min]	2.29	3.59
Total operation time until the handling is completed in a block T_o [h]	14.7	23.0

Fig. 8 Comparison of average packed ratio β for each stacking methods

Table 3 Comparison of containers location in relative order of unloading α for each stacking methods

Location for length n_a	Fuzzy systems theory			Conventional		
	α			α		
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
1	0	0	24	6	8	10
4	0	0	24	7	7	10
7	0	22	2	8	12	4
10	0	24	0	7	8	9
13	18	6	0	7	7	10
16	24	0	0	9	9	6

ある。この方法を採用した場合をシミュレーションによって検証した。この結果、コンテナの蔵置状態は、本船作業の時間短縮に有効であり、コンテナの船舶への積込順序を指示する荷役プランに合致し、リハンドリングの少ない蔵置状態を実現していることを示している。

今後、本研究の成果を活かし、コンテナターミナルにおける荷役運搬機械の作業性能がシステム全体に与える影響について解析し、スタッキングヤードの蔵置容量を最適にする設計研究を進める予定である。

本研究を進めるにあたり、協力いただいた東洋運搬機の中村輝雄氏、浜田秀樹氏、CRC 総合研究所の石田啓一氏に厚くお礼申し上げる。

文 献

- (1) 渡辺逸郎, コンテナターミナルの特性分析と年取扱能力一蔵置容量の関係, 日本造船学会論文集, 171 (1992), 621-625.
- (2) 渡辺逸郎, コンテナターミナルの能力を総合的に分析する指標, 日本造船学会論文集, 172 (1993), 703-715.
- (3) 渡辺逸郎, コンテナターミナルにおける搬出入作業の考察, 日本造船学会論文集, 177 (1995), 477-483.
- (4) 大和裕幸・小山健夫・伏見彬・角田智弘・大金智子, シミュレーションによるコンテナターミナルの設計に関する研究, 機講論第5回交通物流部門大会, (1996-12), 3209.
- (5) 阿部雅二郎・伊藤廣・樋口良之, 石炭ふ頭における荷役運搬システムの最適設計 (第1報, モンテカルロ法を用いたシミュレーション解析), 機論, 59-563, C (1993), 2257-2263.
- (6) 阿部雅二郎・伊藤廣・樋口良之, 石炭ふ頭における荷役運搬システムの最適設計 (第2報, 積出しおよび荷揚げふ頭の事例解析), 機論, 59-565, C (1993), 2898-2904.
- (7) van HEE, K. M. and Wijbrands, R. J., Decision Support System for Container Terminal Planning, *European J. Oper. Res.*, 34 (1988), 262-272.
- (8) 樋口良之・阿部雅二郎・伊藤廣, 港湾における木材荷役運搬システムの最適設計 (第1報, システムのモデルと事例解析), 機論, 64-618, C (1998), 730-737.
- (9) 渡辺逸郎, コンテナターミナルにおけるコンテナ取出しに関する考察, 日本造船学会論文集, 171 (1992), 627-633.
- (10) 日本海上コンテナ協会, コンテナハンドブック, (1995), 14, 近藤記念海事財団.