

# 荷役作業における複数種のクレーンを利用した積荷最適化

鈴木 智絵 (指導教員: 浅本 紀子)

## 1 はじめに

我が国では、貿易の99.7%を船舶による海上輸送に頼っている [1]. その中でも、コンテナ船の船腹量は年々増加しており [1], 横浜港においては外航船の半数以上がコンテナ船であるなど [2], コンテナ輸送は我々の生活に欠かせないものである.

コンテナ輸送は3つの部分から構成されている. 一つは海上部分であり, 船舶の性能や気象条件, 利用する航路の性質に大きく左右される. 安全で迅速な輸送を目指し, 海運業造船業や航海学者などにより産学協同で研究がなされている分野である. もう一つは陸上部分であり, トレーラーでコンテナを各地に運ぶ場合である. 最近でも, 自動運転による無人貨物自動車の実験が始められるなど, 運転手の人材不足を受けて物流学や社会システム工学の中で盛んに研究されている. 最後の一つが荷役部分であり, コンテナターミナルで行われるコンテナの荷役を指す. コンテナ船からコンテナを陸揚げし, 仕向地や寄港先を考慮してコンテナを船積みする. 現在, 税関手続きも電子化され大規模なコンテナターミナルでは専用の管理システムを用いた集中管理が行われている. 先述のように自動運転車も実用に近づいており, ゆくゆくはコンテナの荷役も無人化されると思われる.

その現状を受け, 本研究ではコンテナの荷役を数理モデル化しそれを解析することで最適化を図り, コンテナ輸送の効率化に貢献したい.

## 2 コンテナの荷役

コンテナターミナルとはコンテナの荷役を行う施設である (図1参照). 岸壁にあるガントリークレーンで, コンテナを船から直接取り扱う. コンテナターミナルでコンテナを一時的に保管する場所をコンテナヤードと言う.



図1: 横浜港南本牧埠頭コンテナターミナル [3].

通常のコンテナターミナルでは, コンテナヤードを空のトレーラーが周回し, トランスファークレーンでそのトレーラーへコンテナを積み込む. そしてトレーラーが積まれたコンテナをガントリークレーンに受け渡すことで船積みをする (図2参照).

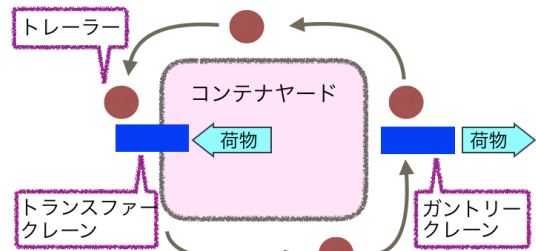


図2: コンテナの荷役.

## 3 モデルとシミュレーション

はじめに, 小規模なコンテナターミナルを想定し最も単純なモデルを設定した. 条件設定として以下のものを用意した.

- ・コンテナヤード 1
- ・ガントリークレーン 1
- ・トレーラー 2
- ・トランスファークレーン 1

偏角  $\pi$  でトランスファークレーンを用いてトレーラーへ積み込み, 偏角  $0$  でガントリークレーンを用いて船積みをする. 荷物の移動にかかる総時間を  $cost$  とし, 一周  $40cost$  としたモデル化を行う際, 二つのトレーラー  $t1$  と  $t2$  の初期位置を決めた. この角度を  $\psi$  と置き  $\psi$  を  $0$  より  $\pi$  の範囲で動かして,  $cost$  の変化を調べた.

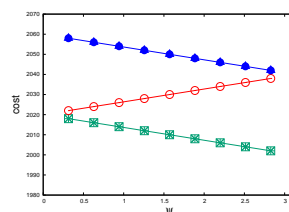


図3: 最も単純なモデル.

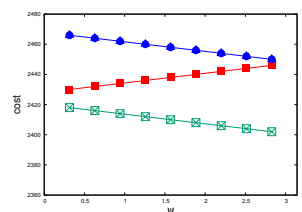


図4: 作業時間を考慮.

シミュレーションの結果が図3である.  $\psi = 0$  と  $\psi = \pi$  の場合を除いているのは, この条件であるとトレーラー2台が一箇所に重なるので現実的ではないからである. 下から総荷物量 100, 101, 102 の場合で, それぞれ  $cost$  が  $\psi$  に対して依存性があることがわかった. また, 総荷物量が偶数か奇数かによって傾向が異なった. 偶数の場合は  $cost$  が単調減少, 奇数の場合は  $cost$  が単調増加する.

この最も単純なモデルでは, 積み込みや船積みの各作業にかかる時間が考慮されていなかった. そこで, 積み込みと船積みそれぞれに  $4cost$  加味したモデルでシミュレーションを実行した. この場合では待ち時間が発生するため,  $\frac{\pi}{20}$  を1ステップとし, クレーン使用中にもう1台トレーラーが来た場合は1ステップ待たせるものとする. この結果が図4である. 下から総荷物量 100, 101, 102 の場合で, やはり総荷物量が偶数か奇数かで  $cost$  の変化が異なった. また, それぞれの場合において作業時間の分  $cost$  が  $400cost$  程度増えた.

これらを踏まえ, 複数種のクレーンを用いた場合について調べた. 条件設定として以下のものを用意した.

- ・コンテナヤード 1
- ・ガントリークレーン 2
- ・トレーラー 2
- ・トランスファークレーン 2

ガントリークレーンの初期位置は  $\frac{\pi}{20}$  と  $\frac{39}{20}\pi$  とし、トランスファークレーンの初期位置は  $\frac{19}{20}\pi$  と  $\frac{21}{20}\pi$  とする(図5参照)。トランスファークレーンについては、のちの実験のうち1台を可動式のクレーンに入れ替える。

まず対照実験として、すべてのクレーンを固定した場合にかかる cost を調べた。積み込みと船積み作業にかかる時間はまたそれぞれ  $4\text{cost}$  として加味する。

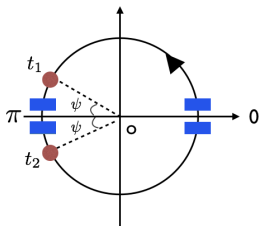


図 5: 複数台のクレーンの配置。

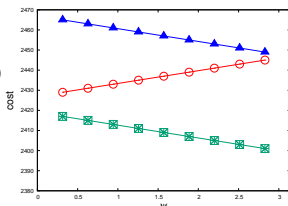


図 6: 全てのクレーンを固定。

この結果が図6である。下から総荷物量 100, 101, 102 の場合で、総荷物量が偶数の時は cost が単調減少、奇数の時は cost が単調増加した。

次にトランスファークレーンの一つを、大型フォークリフトなど可動式のクレーンに替えた場合を考える。可動式のクレーンは、積み込みにかかる時間は固定式のものに比べて小さいが、コンテナヤード外側の限られた荷物しか運べない [4]。そこで今回のモデル化では、総荷物量のうち 21 だけ運び、以降積荷は行わないこととする。このクレーンの初期位置を  $\frac{19}{20}\pi$  とし、偏角  $\frac{19}{20}\pi$ , 偏角  $\frac{17}{20}\pi$ , 偏角  $\frac{15}{20}\pi$  で動くが、移動のためそれぞれ  $1\text{cost}$ ,  $2\text{cost}$ ,  $3\text{cost}$  がかかることとする。可動式クレーンの動き方は様々考えられるが、今回は単方向型、双方向型の2種類について調べた。単方向型は偏角  $\frac{19}{20}\pi$  で7つ片付け、偏角  $\frac{17}{20}\pi$  に移動し7つ片付け、最後に偏角  $\frac{15}{20}\pi$  へ移動し7つ片付け、停止する。双方向型は1ずつ荷物を積みながら偏角  $\frac{19}{20}\pi$ -偏角  $\frac{17}{20}\pi$ -偏角  $\frac{15}{20}\pi$ -偏角  $\frac{15}{20}\pi$ -偏角  $\frac{17}{20}\pi$ -偏角  $\frac{19}{20}\pi$  をワンセットとして動く。

単方向型の結果が図7である。下から総荷物量 100, 101, 102 の場合で、全て固定式クレーンの場合と比べると、全体的に 20 程 cost が下がる。一方、総荷物量が偶数で単調減少、奇数で単調増加がみられた。次に、双方向型の結果が図8である。それぞれ単方向型と同じコストになった。このことより、単方向型と双方向型で積荷にかかる時間の変化は見られないことがわかる。

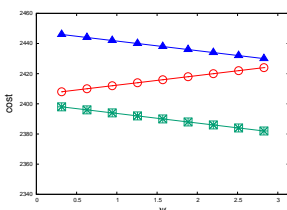


図 7: 単方向型。

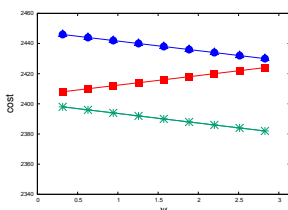


図 8: 双方向型。

## 4 考察

今回、どの実験結果も総荷物量が偶数ならば cost が単調減少、奇数ならば cost が単調増加した。これについて考察する。 $\psi_1 < \psi_2$  の時、総荷物量が偶数の場合の最終荷物担当は図9のようになる。この場合矢印の部分だけ cost が減少するため、単調減少のグラフをとると考えられる。 $\psi_1 < \psi_2$  の時、総荷物量が奇数の場合の最終荷物担当は図10のようになる。この場合矢印の部分だけ cost が増加するため、単調増加のグラフをとると考えられる。

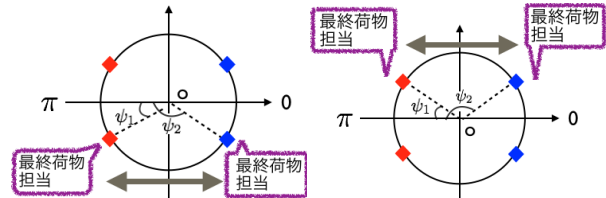


図 9: 偶数の場合の動き。

図 10: 奇数の場合の動き。

## 5 まとめと今後の課題

総荷物量の偶奇で変化の傾向が異なるため、扱う総荷物量でトレーラーの台数や出発位置を調整して作業を始めると効率が良いと考えられる。また、単方向型と双方向型で cost の変化は見られないことから、積み込みが荷物の移動にかかる時間に依存しないと言える。今回は扱わなかったが、各荷役機器操縦者の経験やコンテナ船の規模など別のパラメータも組み込むことでより興味深い結果を得られるだろう。

本研究では、最適化の根本を探るためごく単純なモデル化と解析しか行っていないが、このモデルはパラメータの増減や調整がしやすいという利点がある。その利点を生かし、今後はより複雑で実際の荷役に近い条件でのモデル化とシミュレーションを図り最適化を調べたい。例としては、コンテナヤードの設備追加などパラメータを増やした場合が考えられる。クレーンなどの設備を増やすと、どのコンテナをどのクレーンで捌くかの戦略が必要となってくる。またパラメータを調整し例えばトレーラーの数を増やした場合、どのクレーンを用いるかの戦略やトレーラー同士による渋滞と待ち時間の考慮が求められる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教官の浅本紀子教授には丁寧かつ熱心なご指導賜りました。桑名杏奈先生、萩田真理子先生、根岸泰子先生には研究発表の的確なご助言を頂き、大変勉強になりました。渡辺千晶先輩、島村彩香さん、萩田研究室の皆さんとはゼミを通じ見識を深めることができました。郡研究室の稲垣志帆さんとは本研究について活発な議論を交わし、多くのものを得ることができました。本当にありがとうございました。

ここに心からの感謝を述べ、謝辞といたします。

## 参考文献

- [1] 海事統計要覧 2016, 一般社団法人日本船主協会。
- [2] 平成 27 年国内主要港湾統計, 横浜市港湾局。
- [3] 私たちの暮らしを支える横浜港, 横浜埠頭株式会社。
- [4] カタログ no.ty12-港湾荷役製品 3, ユニキャリア株式会社。