

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月27日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510149

研究課題名（和文）メガシップ対応の革新的コンテナターミナルレイアウト設計手法の開発

研究課題名（英文）Development of an optimal layout design method of a revolutionary container terminal for mega-containerships

研究代表者

今井 昭夫（IMAI AKIO）

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号：40160022

研究成果の概要（和文）：海上コンテナ輸送において、数年前に1万TEUを超える積載能力を有する、いわゆるメガシップが投入された。本研究はこのようなメガシップが積載する大量のコンテナを効率的に荷役できる、革新的なコンテナターミナルの設計手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：Mega-containerships with a carrying capacity of more than 10,000TEUs were put into the container shipping market a few years ago. Since then, the fleet of mega-ships has been growing rapidly. This study developed a methodology to design an optimal container terminal layout for fast handling the mega-ships.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：ロジスティクス、運用管理、コンテナ輸送計画

### 1. 研究開始当初の背景

(1) コンテナ輸送は雑貨物の国際輸送における中心的な輸送手段であるが、近年、コンテナ船の大型化が急加速して、2006年に1万TEU超の積載能力を有するメガシップが登場した。本来、このような超大型船の経済性を発揮するためには、その航路はハブ&スポーク型が適している。しかし現実には、大型船とフィーダ船の間の効率的なトランシ

ップが可能なマルチユーザ・コンテナターミナル（多バースを有する大規模ターミナルのことで、以下MUTと略す）が未だに存在せず、メガシップの航路はハブ&スポーク型になっていない。しかし効率的なトランシップができるMUTが登場すれば、輸送の効率性は飛躍的に向上して最終的に低廉な海上運賃が実現でき、貿易がさらに促進される。

(2) コンテナターミナルの運用に関する研

究は、近年、世界的に活発化し、特にコンテナターミナルの運用効率に大きく影響するバーススケジューリング（船の係留バースの決定）の研究はここ10年で大きく進展した。しかし、メガシップの効率的なハンドリングはスケジューリングレベルでは実現が難しく、より戦略的なターミナルデザインの開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

メガシップを日本の港湾に寄港させるには、従来のコンテナターミナルとは根本的に異なるデザインのターミナルを建設して、メガシップの迅速な荷役、ならびに同船からフィード船への効率的なトランシップを実現する必要がある。そこで本研究課題では、メガシップ対応のハブコンテナターミナルのレイアウトの合理的設計手法を確立する。さらに、設計手法の前提となる、各種革新的コンテナターミナルにおけるバースの最適割当計画法を開発する。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、以下の4つの課題を検討した。

- (1) 船型別寄港頻度推定モデルの開発
- (2) バーススケジューリングに関する効率的解法の開発
- (3) 最適ターミナルデザイン決定手法の開発
- (4) 総合的なシミュレーション実験

まず、(1)に関しては、次の方法で検討した。想定されるコンテナターミナルに対して、寄港船の船型ならび寄港頻度と荷役量、等の統計値の予測を行う。(3)で、革新的レイアウトのターミナル最適代替案策定モデルを開発するが、この推定モデルによって生成される寄港船データを用いて代替案の基礎的な性能評価を行う。

(2)に関して、次のことを行う。本研究課題の研究者の既往の研究で、バーススケジューリングの効率的解法を考案した。この解法では、ラグランジュ緩和問題を用いた劣勾配法を用いている。しかし、解の精度をさらに向上させる必要があるため、その改善を行う。

(3)に関しては、想定されるいくつかの革新的コンテナターミナルデザインに対して、(2)で構築したバーススケジューリング手法を適用し、それらターミナル固有のバーススケジューリング手法を開発する。

(4)では、それらターミナルの性能評価のための手法を、(3)で構築した各種方法を統合化することで完成させる。

## 4. 研究成果

### (1) 船型別寄港頻度推定モデルの開発

これに関しては、次のような成果を得た。現在、原油価格の高騰は世界的規模で様々な問題を引き起こしている。その典型が、船の燃料油価格の高騰に起因するコンテナ船社の経営難である。そこで、この状況がコンテナ定期船航路へどのような影響を及ぼすかを定量的に分析した。メガシップ時代では、航路のハブ&スポーク化が進み、寄港地が集約されて、1寄港地での取り扱い貨物量が増加する。これによる荷役時間の上昇は、燃料油高騰により経営への圧迫をより強くする。そのため、荷役時間の短縮による港での停泊時間削減が実現できれば、1航海に要する時間を一定にする場合でも、航海時間を延ばすことができる。これによる減速航行は燃料節約に大きく貢献し、燃料油の高騰による経営への影響を緩和できることが、定量的に示すことができた。しかし、結果的にはターミナルの寄港頻度は油価高騰には影響しないことが明らかになった。この研究成果は雑誌論文④に掲載されている。

さらに、コンテナターミナルの荷役コンテナ数についても研究を行った。具体的には欧州で試行的に用いられ始めている折りたたみコンテナが、空コンテナの回送にどのように影響を及ぼすかを定量的に分析を加えた。折りたたみコンテナは実コンテナ状態では通常のドライコンテナと同じ利用形態がとられるが、空コンテナ回送時は、複数コンテナを折りたたんで束ねることで1個の通常コンテナの形態にすることができる。したがって、端的に述べれば、空コンテナ個数は通常コンテナよりも折りたたみコンテナの方が削減できる。このように折りたたみコンテナ使用時での、輸入過多のターミナルにおける荷役コンテナ数の影響が定量的に把握できた。この成果は雑誌論文③に掲載されている。

### (2) バーススケジューリングに関する効率的解法の開発

本課題では、研究代表者がかつて開発した動的バース割当問題の解法の改良を行った。既存の解法は、問題のラグランジュ緩和問題を用いた劣勾配法である。この解法で緩和問題の最適解を求めその目的関数値から下界値を得る。この緩和問題の解はふつう元問題

の制約条件を満足せず、そのため元問題の解ではない。そこで、この解を修正して元問題の実行可能解を得て、その目的関数値を上界値とする。これら下界値と上界値からラグランジュ乗数を更新して再度緩和問題をつくり直して上記の処理を繰り返す。しかし、バース割当問題の目的関数を総在港時間に行っているため、緩和問題の解では、荷役時間の短い順に船はバースに係留される。このことは、緩和問題から実行可能解を求める段階で、到着時刻に係留順にさほど反映されない。しかし、目的関数の在港時間には待ち時間が含まれるので、到着順に係留順にあまり反映されないと待ち時間が長くなり、実行可能解があまり良くなり、劣勾配法で最終的に得られる近似解も良好にならない。

この欠点を解決するために、緩和問題から直接実行可能解を求めず、以下のような処理を行うことにした。つまりデータとして問題に与える荷役時間にある加工を施し、この修正した荷役時間から緩和問題（厳密にはそうではないが）を作り、その最適解から元問題の実行可能解を得ることにした。その結果、改良した解法では、元の解法よりも良好な近似解が得られることを確認できた。この研究成果は雑誌論文②と学会発表①に掲載されている。

### (3) 最適ターミナルデザイ決定手法の開発

### (4) 総合的なシミュレーション実験

この2つの課題に対しては次のような成果を挙げた。

多くのコンテナターミナルは図1のような形状である。しかしこの形状では、メガシップは片舷荷役になり、高速な荷役は難しい。一方、現在両舷荷役が可能なターミナルはオランダにあるが、それは図2のような形状である。

しかし、このようなターミナルはハブターミナルであるため、トランシップ貨物も多く取り扱われる。そのため、小型のフィーダ船も多く寄港する。したがって、図3のようにインデント部分にも小型船を多く同時に係留することが、ターミナルの生産性を高めることになる。しかし、この場合、奥の船は手前の船の存在が入出港時の制約となり、効率的な停泊ができない。

そこで、本研究では、図4のようなターミナルのメイン部分とアイランド部分により両舷荷役を実現する革新的なターミナルを設計した。これにより図5のように、両舷バース部分に小型船を係留しても入出港制約はあまりなく、効率的な停泊が実現できる。

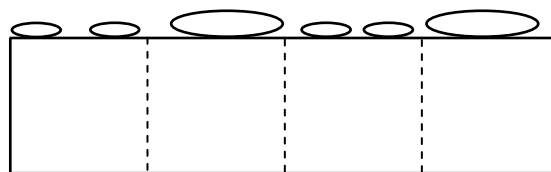


図1 通常型ターミナル

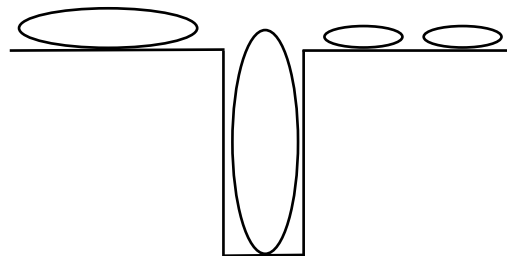


図2 インデント型ターミナル

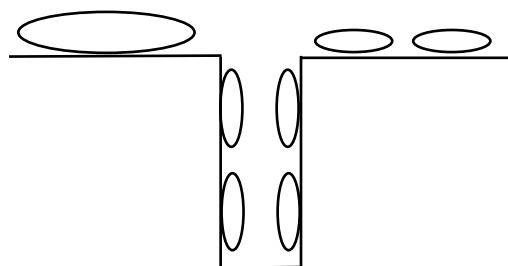


図3 インデント型ターミナル（小型船）

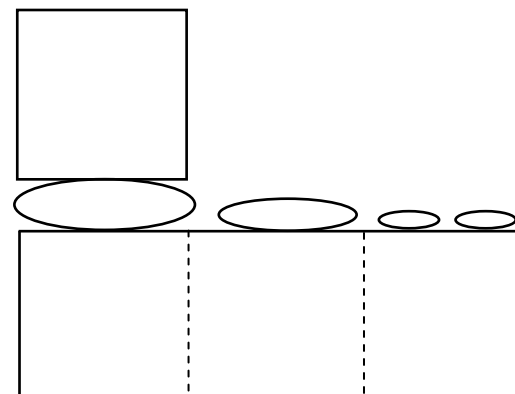


図4 チャネル型ターミナル

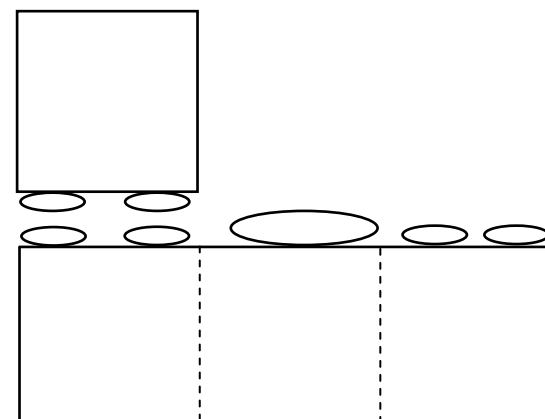


図5 チャネル型ターミナル（小型船）

これら、3種類のターミナルの利用効率を評価するために、それぞれのバース割当問題をモデル化した。さらにその解法を開発し、ターミナルの性能比較をした。その結果、メガシップの停泊時間はインデント型とチャネル型が短いことが明らかになった。一方、その他の船の在港時間に関しては、通常型ターミナルが優れ、さらにそれに続いてチャネル型が優れていることが明らかになった。これらを総合して判断すると、メガシップとその他の船全体に対しては、チャネル型が最も望ましいターミナルデザインであるとの結果が得られた。この研究成果は雑誌論文①に掲載されている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Akio Imai, Etsuko Nishimura, Stratos Papadimitriou, Marine container terminal configuration for efficient handling of mega-containerships, Transportation Research part-E, 査読有、Vol. 49、2013、pp. 141-158
- ② Yukiko Yamakawa, Akio Imai, Etsuko Nishimura, Efficient heuristics for the dynamic berth allocation problem in discrete berthing locations, Journal of the Japan Institute of Navigation, 査読有、No. 126、2012、pp. 221-228
- ③ 新谷浩一、今井昭夫、永岩健一郎、田中康仁、折りたたみコンテナによるトレーラ集配送への効果、土木学会論文集 D3、査読有、Vol. 68、No. 5、2012、pp. I\_841-I\_849
- ④ 新谷浩一、今井昭夫、燃料油費の高騰がコンテナ航路ネットワークへ与える影響とその対応、土木学会論文集 D3、査読有、Vol. 67、No. 3、2011、pp. 367-375

[学会発表] (計1件)

- ① Yukiko Yamakawa, Akio Imai, The dynamic berth allocation problem in discrete berthing locations by the improved subgradient optimization、MTEC2011、2011年4月14日、シンガポール

[図書] (計0件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今井 昭夫 (IMAI AKIO)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授  
研究者番号：40160022

### (2) 研究分担者

西村 悦子 (NISHIMURA ETSUKO)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授  
研究者番号：60311784

### (3) 連携研究者

新谷 浩一 (SHINTANI KOICHI)

大島商船高等専門学校・商船学科・准教授  
研究者番号：60290798