

## 貨物の密度に基づく海上コンテナサイズの研究 選択に関する研究

張 寧 \*、 渡 邊 豊 \*

### A Choice Model for Size of Container based on Density of Cargo

Ning ZHANG\* and Yutaka Watanabe\*

海上コンテナサイズを選択方法は、機械部品などの重たい貨物には 20ft を選択し、日用品雑貨などの軽い貨物には 40ft を選択するのが、一般的である。しかし、貨物密度が 20ft と 40ft の満載限界の間に位置する貨物の場合は、コンテナサイズ別の輸送コストの相違も考慮する必要がある。そこで本研究は、海上コンテナの貨物積載重量限界と内容積ならびに積載しようとする総貨物量と貨物密度を用いて、コンテナサイズ別の必要個数を割り出す方法を定式化する。次に、輸送コストがコンテナサイズ別に異なると仮定して、40ft を基準として相対コスト係数を乗じて総コスト化するモデル化を行う。本研究は、これを実証するために、自動車部品出荷時における貨物密度と海上コンテナへの積載状況を調査した。その調査データを当該モデルに適用したところ、選択すべきコンテナのサイズは、同じ出荷状態であっても、貨物密度と輸送コストによって変動することが明らかになった。

A size of marine container has been generally chosen by considering weight of cargo to be loaded. For example, the 20 feet container is advantageous for heavier cargoes whereas the 40 feet container is suitable for lighter ones. It should, however, be concerned with difference of logistics cost in the size of container when density of the cargo remains between the load limit of the 20 feet and the 40 feet container. In this regard, this paper formulizes number of containers by the size of container needed for loading all cargoes of a shipment. Then a choice model of the size of container can be formed by weighing the formulation on relative difference of the logistics cost between the sizes of container based on the 40 feet container. In order to prove practicability of the model, the author observed a real shipment of containers that loaded automobile parts at a warehouse, and applied the observed data for the model. As the result, suitable size of containers varies according to the balance between the density and the cost even though the same shipment.

キーワード：海上コンテナ、コンテナサイズ、コンテナ選択、貨物密度

Keywords : Marine Container, Size of Container, Choice of Container, Density of Cargo

\* 東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科, 〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6  
TEL:03-5245-7370, FAX:03-5245-7370, Email:ywatana@kaiyodai.ac.jp

\*Tokyo University of Marine Science and Technology, Graduate School of Marine Science and Technology, 2-1-6,  
Etchujima Koto-ku, 135-8533, Japan

## 1. はじめに

貨物の出荷時における海上コンテナサイズの選択は、必要となるコンテナ総数になるべく少なくなるよう行うのが一般的である。加えて、機械部品等の重たい貨物には20ftコンテナが適し、日用品等の軽い雑貨類には40ftコンテナが有利であるという概念も一般的である。しかし、貨物の重さと体積は、貨物の種類が千差万別であることから日々のお荷では連続的に変化するが、海上コンテナのサイズは20ftと40ftを代表として、限られたサイズが離散的に存在するのみである。したがって、その時々のお荷に際して、貨物の密度が、ある特定のサイズの海上コンテナに適合できるとは限らない。さらに、貨物の密度は、包装材や緩衝材の種類によっても変わるので、海上コンテナサイズと包装貨物は、相互に密接に係る。また、海上コンテナのサイズにより、その輸送・荷役・保管等に係る物流コストも相違するので、上述の経験的な一般概念のみによって海上コンテナサイズの選択を行うことは適切ではない。

海上コンテナサイズの選択に関連する既往研究としては、まず海運の観点から論じたものとしては、例えば、手塚<sup>1)</sup>は、海上コンテナサイズの歴史的変遷について整理している。高橋<sup>2)</sup>は、グローバルな海運における海上コンテナの規格とサイズについ

て論じている。海上コンテナ内に積載する貨物のユニット化の観点から論じたものとしては、例えば、日本包装技術協会<sup>3)</sup>は、海上コンテナに適するユニットロードのサイズが1.1m×1.1mであることについて、調査研究を行っている。日野<sup>4)</sup>は、海上コンテナ内のユニットロード化の手段として、従来の木枠梱包パレットをリターンブルコンテナ（パレットボックス）に替えることで、物流コストを低減できることを実例で紹介している。海上コンテナサイズと物流コストの観点から論じたものとしては、PAO K.ら<sup>5)</sup>は、海上コンテナサイズと国内輸送インフラの不整合が生じる物流コストの変動について試算している。渡部<sup>6)</sup>は、海上コンテナサイズ別の輸送費用のケーススタディを行い、20ftは40ftの約8割程度であると分析している。

以上のように、海上コンテナに関わる既往研究は少なくないが、貨物の密度と物流コストの双方を組み入れて、海上コンテナサイズの選択方法を示した研究は見当たらない。

本研究は、この問題に取り組むものである。

## 2. 海上コンテナの積載貨物重量限界と内容積

### 2.1 海上コンテナのISOマーク

海上コンテナのドアに表示されている

ISO マークは、国際標準化機構に登録されている海上コンテナの識別情報である。ISO マークは、海上コンテナを国際間で輸送する場合には、必ず必要になる。

ISO マークに表示される情報において、重量と容積関係の情報は、貨物の積載時に必要となり、海上コンテナの所有と識別に関する情報も、輸出入関係書類に必要となる。

ISO マークの重量と容積関係の情報には、

- 海上コンテナの総重量 (MGW)
- 海上コンテナの自重 (TARE)
- 海上コンテナの積載貨物重量限界 (NET もしくは PAYLOAD)
- 海上コンテナの内容容積 (CU.CAP)

がある (Fig.1)。これらにおいて本研究に役に立つものは、海上コンテナの積載貨物重量限界と海上コンテナの内容容積である。

海上コンテナに貨物を積載する場合には、貨物の重量と体積に応じた適切なコンテナ



Fig.1 The ISO mark of a 45feet marine container photographed by the author.

サイズを選ぶ必要がある。例えば、重たい貨物は、海上コンテナの内容容積が一杯になる前に、積載貨物重量限界に達してしまうことがある。逆に、軽い貨物の場合は、海上コンテナが空間的に満載になっても積載貨物重量限界には達しないこともある。

海上コンテナ輸送の効率の観点から、貨物満載時に積載貨物重量限界と内容積が、同時に満たされることが理想である。本研

Table 1 Relations between weights and the capacity of the marine containers ( Formed by Fig.1 and reference 7 )

Size Unit: ft.		Descriptions of ISO mark				Density of load limit ( $\rho_f$ ) Unit: kg/m <sup>3</sup>
		MGW Unit: kg	TARE Unit: kg	NET Unit: kg	CU.CAP. Unit: m <sup>3</sup>	
20		30,480	2,291	28,191	33	854.27
High cube	40	30,480	3,629	26,501	76	348.70
	45	30,480	4,740	25,740	86	299.30
	48	30,480	4,921	25,560	97	263.51
	53	30,480	5,039	25,442	109	233.41

究は、この状態になるべく近づける貨物の出荷を実現できるよう、貨物の重量と体積による密度を用いて、適切なコンテナのサイズを選択することを目的とする。

## 2.2 海上コンテナの積載貨物重量限界と内容積

海上コンテナの ISO マークに表示された重量関係の情報には、Fig.1 に示すように、次の関係がある。

$$\text{NET} = \text{MGW} - \text{TARE} \dots (1)$$

海上コンテナは、コンテナ船内や港湾において数段に段積みするため、縦方向の構造が強く作られている。そのため、コンテナのサイズによらず、MGW は等しい場合が存在する (Table 1)。例えば、20ft コンテナと 40ft コンテナの内容積 (CU.CAP) には 2 倍ほどの差があるが、NET には大差を生じない。この関係から、体積に対してより軽い (密度の小さい) 貨物を 20ft に積み込むと、NET に達する前に CU.CAP に到達してしまう。同様に、密度の大きい貨物を 40ft に積み込むと、CU.CAP に達する前に NET に到達してしまう。このような積載は、海上コンテナを、前者は積載重量の面で、後者は積載容量の面で非効率にする。

## 2.3 海上コンテナの満載限界密度

海上コンテナ輸送の理想的な状態は、貨物満載時の積載貨物重量限界と内容積が、同時に満たされることである。したがって、海上コンテナ輸送に最適な貨物密度は、海上コンテナの積載貨物重量限界を内容積で割ることで、求めることができる。

本研究では、この密度のことを海上コンテナの満載限界密度 (Density of load limit) と記す。これを定式化すると、以下となる。

$$\rho_f = \frac{m_f}{v_f} \dots (2)$$

ここで、

$\rho_f$  : 海上コンテナの満載限界密度

$m_f$  : 海上コンテナの積載貨物重量限界 (NET)

$v_f$  : 海上コンテナの内容積 (CU.CAP)

である。Table 1 の右端に各サイズのコンテナの  $\rho_f$  値を示す。これよりコンテナサイズと  $\rho_f$  は反比例の関係にあることが分かる。

$\rho_f$  は、海上コンテナのドア部に表示されている ISO マーク (Fig.1) から容易に計算できる。また、海上コンテナ輸送においては、パレットや容器によりユニット化された貨物が多用されているので<sup>3) 4)</sup>、貨物の密度はユニット単位で求めることもできる。したがって、両者を比較することによって適切な海上コンテナのサイズを選択することができる。

現時点の日本では、20ft と 40ft の海上コ

ンテナのみが自由に国内流通を許されている。例えば、この条件において、貨物の密度が 20ft コンテナの $\rho_f$ 以上であれば、20ft コンテナの選択が適切である。同様に、貨物の密度が 40ft コンテナの $\rho_f$ 以下であれば、40ft コンテナの選択が適切である。

しかし、貨物の密度が、20ft コンテナの $\rho_f$ と 40ft コンテナの $\rho_f$ の間にある場合には、海上コンテナの選択を、両者の $\rho_f$ との対比だけでは単純に判断できなくなる。

そこで、本研究は次章において、任意の貨物の密度に対して適切な海上コンテナのサイズと個数の組み合わせを求める方法を提案する。さらに、その方法に、海上コンテナサイズによる物流コストの相違の影響も導入する。なお、海上コンテナのサイズには、Table 1 に示すように様々なものがあるが、現時点で日本に無条件で流通が許されているのは 20ft と 40ft であるので、本研究では、この二つのサイズを基準に考えることにする。

### 3. 貨物の密度による海上コンテナサイズの選択方法

#### 3.1 満載可能なコンテナの個数の導出

密度が 20ft コンテナと 40ft コンテナの満載限界密度 ( $\rho_f$ ) の間にある貨物を 20ft コンテナに積載すると、コンテナの内容積 (CU.CAP) が小さく積載重量限界 (NET)

が大きいため、NET に達する前に CU.CAP に到達してしまうので、必要となる海上コンテナの個数を計算するためには、CU.CAP を基準として使うべきである。

これに対して当該貨物を 40ft コンテナに積載すると、CU.CAP が大きく NET が小さいため、CU.CAP に達する前に NET に到達してしまうので、必要となる海上コンテナの個数を計算するためには、NET を基準として使うべきである。

したがって、両者の基準を別々に用いると、20ft コンテナを選択した場合の個数と 40ft コンテナを選択した場合の個数は、下記の式から求めることができる。

$$n_{20} = \frac{V_c}{v_{20}} - r_{20} \quad \dots \quad (3)$$

ここで、

$n_{20}$  : CU.CAP を基準とした満載可能 20ft コンテナの個数 ( $V_c/v_{20}$  の整商)

$V_c$  : 貨物の体積

$v_{20}$  : 20ft コンテナの内容積 (CU.CAP)

$r_{20}$  : 満載処理できない積み残された貨物 ( $V_c/v_{20}$  の剰余 :  $0 < r_{20} < 1$ )

である。同様に、

$$n_{40} = \frac{M_c}{m_{40}} - r_{40} = \frac{V_c \rho_c}{m_{40}} - r_{40} \quad \dots \quad (4)$$

である。ここで、

$n_{40}$  : NET を基準として満載可能な 40ft コンテナの個数 ( $M_c/m_{40}$  あるいは  $(V_c \rho_c) / m_{40}$  の整商)

$M_c$  : 貨物の質量

$m_{40}$  : 40ft コンテナの積載重量限界  
(NET)

$\rho_c$  : 貨物の密度 ( $M_c/V_c$ )

$r_{40}$  : 満載処理できない積み残された貨物 ( $M_c/m_{40}$  あるいは  $V_c\rho_c/m_{40}$  の  
剰余 :  $0 < r_{40} < 1$ )

である。

ここで仮に、20ft コンテナを用いたときに生ずる物流コストが 40ft コンテナを用いた場合と同じであるなら、式 (3) と式 (4) から  $n_{20}$  と  $n_{40}$  を計算し、個数の少ない方のコンテナサイズを選択すればよいことになる。

### 3.2 満載処理できない積み残された貨物に対するコンテナサイズの選択

まず、 $n_{20}$  が選択された場合は、 $0 < r_{20} < 1$  であるから、満載処理できない積み残された貨物は 20ft コンテナ 1 個に積載可能であり、必要なコンテナ個数の総数は、

$$n_{20} + 1 \quad \dots (5)$$

として完結する。当然のことながら 40ft コンテナ 1 個にも積載可能であるが、次節に述べる物流コストの相違を考えれば、積み残しに対して 40ft コンテナを採用して経済的になる場合は無いと言える。

これに対して、 $n_{40}$  が選択された場合は、満載処理できない積み残された貨物に対し

ては、40ft コンテナ 1 個に積載可能であるのは自明であるが、20ft コンテナ 1 個に積載可能である場合も存在する。特に、次節に述べる物流コストの相違が影響する場合は、積み残しに対して 20ft コンテナを採用した方が経済的となり得る。その判断は、次のようにして求めることができる。

まず、

$M_r$  : 満載処理できない積み残された貨物の質量

とすると、

$$M_r = M_c - n_{40}m_{40} \quad \dots (6)$$

である。また、

$V_r$  : 満載処理できない積み残された貨物の体積

とすると、

$$\rho_c = \frac{M_c}{V_c} = \frac{M_r}{V_r} \quad \dots (7)$$

$$V_r = \frac{M_r}{\rho_c} \quad \dots (8)$$

となる。ここで、

$n_{r_{20}}$  : 満載処理できない積み残された貨物に必要な 20ft コンテナ個数

と置くと、

$$n_{r_{20}} = \frac{V_r}{v_{20}} \quad \dots (9)$$

となる。したがって、

$$n_{r_{20}} \leq 1 \quad \dots (10)$$

であれば 20ft コンテナを選択し、そうでな

ければ 40ft コンテナを選択すればよい。

なお、海上コンテナに積載されるユニット貨物が複数種類あり、それぞれのユニットで貨物密度が異なる場合も有り得る。その場合は、満載処理できない積み残された貨物の密度が満載処理できた貨物のそれと同じとは限らない。このような場合は、 $V_r$ を個別に計測して式 (9) を計算し、式 (10) に用いればよい。

以上により、必要なコンテナ個数の総数は、

$$n_{40} + 1 \quad (n_{r_{20}} > 1) \quad \dots \quad (11)$$

$$n_{40} + 1n_{20} \quad (n_{r_{20}} \leq 1) \quad \dots \quad (12)$$

となる。

ここで、

$1n_{20}$  : 20ft コンテナ 1 個

とする。

### 3.3 物流コストを考慮した海上コンテナサイズの選択方法

一般的に、海上コンテナを用いた物流コストは、コンテナのサイズにより相違する。例えば、海運では、船内の空間占有量が運賃に反映されるので、サイズの大きいコンテナの運賃が割高になる。また、海上コンテナをインフラとしてみた場合も、その製造コストはコンテナのサイズと共に上昇する。このような理由から、海上コンテナサ

イズの選択方法には、物流コストも考慮して判断しなければならない。

前節の方法は、コンテナのサイズの違いにより物流コストの相違が生じ無い前提で、サイズ別の個数の多少によりコンテナのサイズと必要個数を定めるものであった。この方法に、コンテナのサイズの違いにより物流コストも異なるという前提を加えると、次のように展開することができる。まず、

$$R_c = \frac{c_{20}}{c_{40}} \quad \dots \quad (13)$$

とする。ここで、

$R_c$  : 40ft コンテナに対する 20ft コンテナの物流コストの相対比率

$c_{20}$  : 20ft コンテナ 1 個の物流コスト

$c_{40}$  : 40ft コンテナ 1 個の物流コスト

とする。これより、式 (5) 、式 (11) 、式 (12) 、式 (13) を用いれば

$$C_{20} = R_c(n_{20} + 1) \quad \dots \quad (14)$$

$$C_{40} = n_{40} + 1 \quad (n_{r_{20}} > 1) \quad \dots \quad (15)$$

$$C_{40+20} = n_{40} + R_c 1n_{20} \quad (n_{r_{20}} \leq 1) \dots \quad (16)$$

を得る。ここで、

$C_{20}$  : 20ft コンテナを選択した場合の相対的な総物流コスト

$C_{40}$  : 40ft コンテナを選択し、満載処理できない積み残された貨物に 40ft コンテナを用いた場合の相対的な総物流コスト

$C_{40+20}$  : 40ft コンテナを選択し、満載処理できない積み残された貨物に 20ft コンテナを用いた場合の相対的な総物流コスト

である。したがって、式 (14)、式 (15)、式 (16) より  $C_{20}$ 、 $C_{40}$ 、 $C_{40+20}$  を求め、相対的な総物流コストが最も低くなるコンテナサイズと個数を選べばよいことになる。

#### 4. 自動車部品出荷時における海上コンテナサイズの選択

##### 4.1 適用する自動車部品の出荷データ

以上により導いた海上コンテナサイズの選択方法の実用性を検証するために、本研究は、物流企業による自動車部品出荷データを調査した。この調査は、2013年2月に中国広州市に立地する日系物流企業において実施した。当該企業は、日系自動車メーカーの部品のサプライチェーンを 3PL として受注している。自動車部品の出荷は、当該メーカー指定サイズのパレットボック

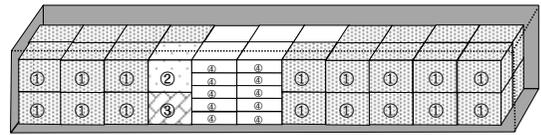


Fig.2 The load condition of a 40 feet container for the shipment shown in Table 2.

スに重量別に収納して、海上コンテナに積載する。本研究の調査時に用いられていた海上コンテナは 40ft であり、パレットボックスの収納状況と海上コンテナ内への積載状況は、Table 2 と Fig.2 に示すとおりである。パレットボックスには四種類の貨物が収納されており、密度の軽い順に貨物①、貨物②、貨物③、貨物④と分類する。Fig.2 の出荷状況は、本研究の調査日になされたものであり、実際には、一つの海上コンテナに対する各パレットボックスの配分や貨物の種類は、当該メーカーからの日々の出荷指令ごとに変動する。

なお、当該企業と当該メーカーに対する守秘義務から、社名や部品の詳細等の情報については割愛する。

Table 2 An example of a real shipment of automobile parts for a 40 feet container

	Size of pallet boxes			Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
	Length (m)	Breadth (m)	Height (m)			
Cargo ①	1.18	1.065	1.1328	1.42	125.60	88.45
Cargo ②	1.18	1.065	1.1328	1.42	250.36	176.31
Cargo ③	1.18	1.065	1.1328	1.42	320.92	226.00
Cargo ④	1.18	1.065	0.45312	0.57	819.28	1,437.33

#### 4.2 海上コンテナサイズの選択計算例

ここで、Table 2 示した実際の自動車部品出荷データに基づいて、20ft と 40ft コンテナの選択問題を、前章で導いた方法により計算する。まず、出荷する自動車部品の組み合わせにより、貨物の密度が 20ft と 40ft コンテナの $\rho_f$ (海上コンテナの満載限界密度)の間にある場合について考える。これは、Table 2 における Cargo③と Cargo④を組み合わせることにより出現する。大手の自動車メーカーであれば、一回の出荷で海上コンテナを数百個用いることも少なくない。そこで本研究では、40ft コンテナ基準で総数約 200 個程度となる出荷量(≒パレットボックス総体積÷コンテナ内容積)を前提とする。また、20ft コンテナと 40ft コンテナの輸送

Table 3 A practical conditions for choosing sizes of marine containers by the model

	Number of Cargo ③	Number of Cargo ④	Ratio	Total volume	Density
Shipment A	8,175	5,952	29 : 20	15,000 m <sup>3</sup>	500 kg/m <sup>3</sup>
Shipment B	6,866	9,211	19 : 25		650 kg/m <sup>3</sup>
Shipment C	5,558	12,470	13 : 27		800 kg/m <sup>3</sup>

費用が異なることから<sup>6)</sup>、 $R_c$  (40ft コンテナに対する 20ft コンテナの物流コストの相対比率) は、1、0.8<sup>6)</sup>、0.5 の 3つのパターンを前提とする。以上の計算前提を Table 3 に示す。

Table 3 の計算前提を前章で導いた海上コンテナサイズの選択方法に適用すると、その結果は Fig.3 となった。これを見ると、貨物の密度とコンテナサイズ別の相対的な物流コストの相違により、20ft と 40ft の選択領域は明確に異なることが分かる。特に、

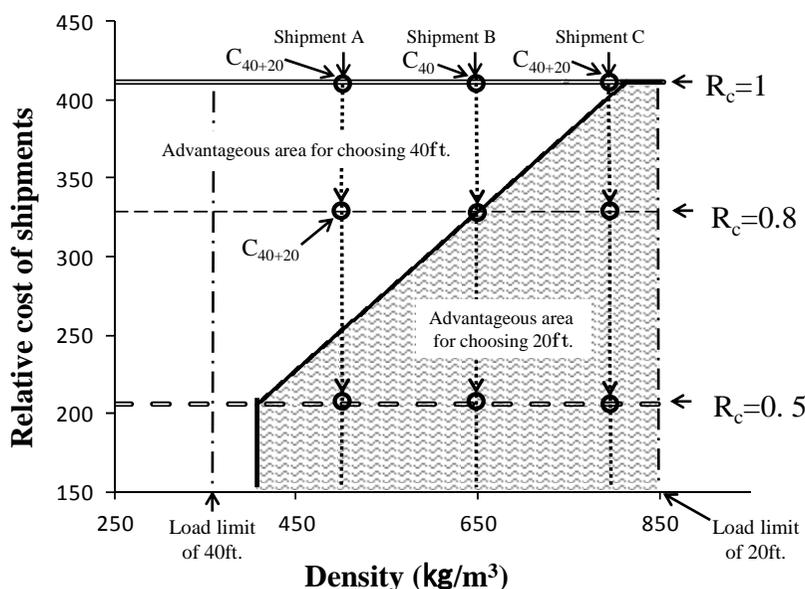


Fig.3 Results of choosing sizes of marine containers by the model

同じ出荷量の同じ出荷状態であっても、コンテナサイズ別の相対的な物流コストが変化すれば、異なるサイズのコンテナを選んだ方が低コストとなる場合が起こり得ることが分かる。

## 5. おわりに

Fig.3 では、 $R_c$  (40ft コンテナに対する 20ft コンテナの物流コストの相対比率) の値を現実的な 0.8 に設定<sup>6)</sup> した計算を行ったが、この場合のコンテナサイズの選択境界は、貨物密度が、20ft コンテナの $\rho_f$ と、40ft コンテナの $\rho_f$ との、ほぼ中間付近となる出荷状態であることも分かる。このような出荷状態は、本研究の調査で得た自動車部品の出荷データから判断しても現実的であるので、本研究の結論として、次のことが言える。

物流拠点や生産拠点が移転や新規立地する場合、貨物の種類や出荷量に変化がなくても、その新たな拠点の地域や国により、海上コンテナサイズ別の相対的な物流コストが同じであるとは限らない。したがって、特に、国際間の自動車部品の出荷など、一度に大量の海上コンテナを必要とする物流の場合は、単にコンテナ本数の多少のみならず、貨物の密度とコンテナサイズ別の相対的な物流コストの双方を考慮した判断が必要である。

今後の課題としては、同じ品目の出荷においても包装材と緩衝材が異なれば、包装貨物の密度も相違するので、包装技術の観点から海上コンテナに対する研究の深化が必要である。

## <参考文献>

- 1) 手塚信一、港湾荷役、36 (3)、PP. 316-323 (1991)
- 2) 高橋宏直、国土技術政策総合研究所資料、482、PP. 131 - 147 (2008)
- 3) 日本包装技術協会、「ユニットロードの標準化」に関する調査報告書 昭和55年度 PP. A. 1-A. 2、1-58 (1981)
- 4) 日野清、月刊マテリアルフロー、43 (5)、PP. 77 - 81 (2002)
- 5) RAO K.、YOUNG R. R.、International Journal of Physical Distribution and Logistics Management、22 (7)、PP. 25-34 (1992)
- 6) 渡部富博、二田義規、柴崎隆一、赤倉康寛、国土技術政策総合研究所資料、478、PP. 43 (2008)
- 7) Container Technology, Inc., <http://www.containertech.com>

(原稿受付 2014年6月30日)

(審査受理 2014年8月8日)