

コンテナターミナルにおけるCO₂排出量の評価と削減に関する基礎的研究

港湾を取り巻く環境問題がより広域化・グローバル化していることを背景として、新たな港湾環境政策が打ち出され、地球温暖化防止および大気汚染防止の観点から、港湾における船舶や港湾荷役機械等の排出ガス削減対策が重要な課題とされている。このため、本論文では我が国の代表的なコンテナターミナルにおいて発生する年間CO₂排出量を定量的に算出することにより、コンテナターミナルにおけるマクロ的な観点からのCO₂排出原単位を明らかにするとともに、各コンテナ港湾におけるCO₂排出に関する特性を分析した。さらに各種CO₂排出削減対策を講じた場合の効果について定量的に検証し、相当程度の削減効果が期待できることを示した。

キーワード 二酸化炭素排出, 港湾運送, コンテナターミナル, 港湾荷役機械, 排出ガス規制

酒井 浩

SAKAI, Hiroshi

工修 独立行政法人港湾空港技術研究所施工・制御技術部新技術研究官

渡邊 豊

WATANABE, Yutaka

博(工) 東京海洋大学海洋工学部教授

1—はじめに

我が国全体のCO₂排出量の2割を占める運輸部門においては、地球温暖化対策を着実に進めるため、排出量削減対策の一つとして、これまでモーダルシフトの推進を始めとする物流の効率化に関する施策を積極的に推進してきている¹⁾。

さらに、従来の環境政策の限界と環境問題の多様化、すなわち、港湾を取り巻く環境問題がより広域化・グローバル化していることなどを背景に、新たな港湾環境政策が打ち出され今後の目指すべき基本的な方向が示されている²⁾。このなかでMARPOL条約の付属書VI並びに京都議定書が平成17年に発効することを受けて、地球温暖化防止および大気汚染防止の観点から、係留する船舶からの排出ガス対策、港湾荷役機械の排出ガス対策、港湾活動のエネルギー効率化等が重要な課題とされている。具体的には、接岸中の船舶のアイドリングストップや埠頭内におけるCO₂などの排出ガス対策等が、いわゆる「みなとグリーン化プロジェクト」³⁾として推進されているところである。

このような対策を効果的かつ効率的に推進するためには、港湾における環境負荷を定量的に評価する手法の確立が必要不可欠である。特に地球温暖化ガスの大部分を占めるCO₂については、港湾においてもその検討の重要性が認識され一部で調査が実施され始めたものの⁴⁾、既存の統計⁵⁾⁶⁾⁷⁾においても、港湾という単位での算定は実施されておらず、これまで必ずしも十分な研究がなさ

れているとは言えない。これは、従来、CO₂排出量の検討対象は主として工場や輸送業者などの個別の企業単位であり、港湾においては環境負荷を発生する複数の輸送活動が存在することから、算出が容易ではないことなどによると考えられる。

ところで、海外ではアメリカカリフォルニア州の主要なコンテナ取扱港湾において、ターミナルにおけるトラック渋滞について一定の課金が試行されたり⁸⁾、ロサンゼルス港ではCO₂排出量の削減のため、市港湾局が港内での外航船の減速を寄港船社に呼びかけるなど⁹⁾、港湾における環境問題への取り組みが活発化してきている。

このようなことから、本論文ではコンテナターミナルにおけるCO₂排出量を定量的に分析、評価するために、我が国の代表的なコンテナ港湾のコンテナターミナルにおける1年間のCO₂排出量を算出し、その結果について比較検討するとともに、CO₂排出量の削減対策の効果について検証するものである。

2—CO₂排出量の算出における前提条件

2.1 検討の範囲

本論文においては、コンテナターミナルにおけるCO₂の排出源として海上輸送、港湾荷役および陸上輸送の三つの輸送活動を検討対象とした。このうち海上輸送については輸送手段としてコンテナ船とタグボートを検討対象とした。コンテナ船については、入出港時における主機ディーゼル機関、補機ディーゼル機関および補助ボイラカ

らの排出、また停泊時においては補機ディーゼル機関と補助ボイラからの排出を検討対象とした。また、タグボートについては入出港時にコンテナ船を操船する際の主機ディーゼル機関からの排出を検討対象とした。港湾荷役については、ヤード荷役機械の燃料消費による排出とコンテナクレーンやターミナル施設によってヤード内で消費される電力を発電する際の燃料消費による排出を検討対象とした。陸上輸送については、港湾へのコンテナの搬入、搬出トレーラからの走行時および渋滞時の排出と空トレーラからの排出を検討対象とした。なお、空間的な検討範囲は海上は港湾区域、陸上は臨港地区に設定した。

検討の対象とした港湾は我が国の代表的なコンテナ港湾のうち、コンテナ取扱量上位5港である東京港、横浜港、神戸港、名古屋港、大阪港である。また、平成14年を検討対象とした。

2.2 CO₂排出量の算出方法

CO₂の排出については燃料中の炭素が酸化された後にはほぼ100%排出されるため、燃焼状態に大きく左右されることはない¹⁰⁾。したがって、本論文では原則として燃料消費量に燃料の種類ごとのCO₂排出原単位を乗じることによってCO₂排出量を算出することとした。ただし、陸上輸送についてはトレーラの燃料消費量に関するデータが得られないため、トレーラの稼働量、すなわち走行台数と走行距離に関するデータを用いて算出する方法を採った。なお、CO₂の排出量は二酸化炭素換算トン[t-CO₂]で表示した。

2.3 CO₂排出原単位

海上輸送および港湾荷役におけるCO₂排出量の算出については、燃料消費量と電力消費量に対するCO₂排出原単位、陸上輸送におけるCO₂排出量の算出については、稼働量に対するCO₂排出原単位を用いた。また、ターミナルにおける使用燃料は軽油、タグボートの使用燃料はA重油である。コンテナ船の使用燃料はC重油とA重油と考えられるが、各船における使用割合が不明であるため、

■表-1 CO₂排出原単位

CO ₂ 排出原単位	
軽油(荷役機械)	2.623 kg-CO ₂ /l
A重油(タグボート)	2.710 kg-CO ₂ /l
C重油(コンテナ船)	3.109 kg-CO ₂ /kg
トレーラに関するCO ₂ 排出原単位	
走行時	1.4 kg-CO ₂ /km・台
渋滞時	0.155 kg-CO ₂ /min・台
電力消費に関するCO ₂ 排出原単位	
電力消費	0.378 kg-CO ₂ /kWh

本論文ではC重油を用いているものとした。本論文で用いたCO₂排出原単位¹¹⁾は、既存の資料^{12) 13) 14) 15)}に基づいて設定したものである。なお、空トレーラの走行時のCO₂排出原単位はコンテナ牽引時の60%とした¹⁶⁾。

渋滞時のCO₂排出原単位は、アイドリング時における単位時間当たりの排出量に関する実験値¹⁷⁾を用い、空トレーラについてもコンテナを牽引するトレーラと同じ値を用いた。また、本論文で用いた各港湾におけるコンテナ船、コンテナ貨物量、施設利用状況などに関するデータは各港湾の港湾統計^{18) 19) 20) 21) 22)}に基づいた。

3—海上輸送における燃料消費量の算出

3.1 コンテナ船の主機、補機の定格出力、補助ボイラの定格燃料消費量の推計

我が国の港湾に出入港するコンテナ船は多くの異なる船社に所属し、定期船のほかに不定期船もあることから、燃料消費量の総量に関するデータを直接的に取得することは困難である。

ところで一般的に統計的観点から見れば、コンテナ船の主機などの内燃機関の燃料消費量は定格出力、負荷率や運転時間の関数であり、また定格出力や定格燃料消費量は総トン数の関数と考えられる。すなわち、コンテナ船の年間燃料消費量は、一般的に次式のように表せる²³⁾。

$$W = \sum_j^n \sum_i^m \left\{ \alpha (P A_i)^\beta T_i d S_j \right\} \quad (1)$$

$$P = \gamma X_j^\delta \quad (2)$$

ここで、

W；年間燃料消費量 [kg]

P；主機、補機の場合は定格出力 [PS]

補助ボイラの場合は定格燃料消費量 [kg/h]

A_i；運転モード*i*における負荷率

T_i；運転モード*i*の運転時間 [h]

d；運転基数

S_j；年間入港隻数

X_j；平均総トン数

i；運転モード(停泊時を含む)

m；運転モードの数

j；航路の種類

n；航路の種類数

α, β, γ, δ；パラメータ

式(1)と(2)におけるパラメータ等の値を表-2に示すように設定²⁴⁾するとともに、港湾統計に基づき、各港湾における入出港コンテナ船の平均総トン数を表-3に示すように算出した上で、式(2)を用いて、主機、補機の定格出力および補助ボイラの定格燃料消費量を表-4に示すように算出した。

■表-2 式(1)と(2)におけるパラメータと変数の値

パラメータと変数	主機	補機	補助ボイラ
α	0.21	0.17	1.00
β	0.95	0.98	1.00
γ	1.90	4.14	0.26
δ	0.97	0.60	0.67
d	1		
A_i	3.2節参照	0.42	0.48

■表-3 コンテナ船の平均総トン数

外航船					
項目	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
隻数	4,225	5,320	5,422	4,682	4,045
合計総トン数	105,860,300	106,745,726	115,399,535	100,672,299	59,311,679
平均総トン数	25,100	20,100	21,300	21,500	14,700
内航船					
項目	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
隻数	2,567	535	238	592	1,579
合計総トン数	15,406,060	619,907	506,610	3,390,668	7,902,785
平均総トン数	6,000	1,200	2,100	5,700	5,000

■表-4 コンテナ船の定格出力および定格燃料消費量

外航船					
推計項目	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
主機定格出力[PS]	35,200	28,400	30,000	30,300	20,900
補機定格出力[PS]	1,800	1,580	1,640	1,640	1,310
補助ボイラ定格燃料消費量[kg/h]	229	197	205	206	160
内航船					
推計項目	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
主機定格出力[PS]	8,800	1,800	3,200	8,400	7,400
補機定格出力[PS]	760	290	410	740	690
補助ボイラ定格燃料消費量[kg/h]	88	30	43	85	78

3.2 コンテナ船の入出港時の燃料消費量の算出

各港湾におけるコンテナターミナルを港湾内の位置に応じて数地区に分類し、それぞれの地区ごとに入出港時における港湾区域の境界とターミナル間の航行ルートを決るいくつかの区間に分け、航行距離と航行速度を設定した。

表-5に横浜港において港湾内の地区ごとに航行距離と航行速度を設定した例を示す¹¹⁾。一般的に主機の負荷率 A_i は航行速度 V の関数として総トン数の階級ごとに式(3)のように表されることから¹⁰⁾、これに基づき運転モード(航行速度)ごとの主機の負荷率を算出し、式(1)によって燃料消費量を算出した上で、入出港時の航行ルート上のすべての区間における燃料消費量を合計することによって、1隻当りの燃料消費量を算出した。さらに、これに港湾統計に基づく港湾内の地区ごとの入港コンテナ船隻

数を乗じることによって、入出港時のコンテナ船の主機の総燃料消費量を算出した。また、補機および補助ボイラの燃料消費量の算出に当たっては、負荷率は表-2の設定に基づいた。

$$\left. \begin{aligned} 500 \sim 6,000 \text{ 総トン未満} & A_i = 1.58 * 10^{-4} * V^3 + 0.171 \\ 6,000 \sim 10,000 \text{ 総トン未満} & A_i = 1.23 * 10^{-4} * V^3 + 0.085 \\ 10,000 \text{ 総トン以上} & A_i = 8.71 * 10^{-5} * V^3 + 0.076 \end{aligned} \right\} (3)$$

ここで、 V は航行速度 [kts]

■表-5 横浜港における入出港時の航行速度分布

地区名	ルート区間番号	航行距離 [km]	航行速度 [kts]			
			入港		出港	
			内航船	外航船	内航船	外航船
本牧ふ頭	1	1.0	11.5	12.3	12.7	13.6
	2	3.6	8.7	9.2	9.7	10.2
	3	1.6	6.0	7.0	6.0	7.0
	4	0.1	2.0	3.0	4.0	4.0
大黒ふ頭A地区 (T3~T8, P1, P2)	1	1.0	11.5	12.3	12.7	13.6
	2	4.0	8.7	9.2	9.7	10.2
	3	0.5	6.0	7.0	6.0	7.0
	4	0.1	2.0	3.0	4.0	4.0
大黒ふ頭B地区 (L5~L8, T1, T2, T9, C3, C4)	1	1.6	11.5	12.3	12.7	13.6
	2	3.0	7.7	7.7	8.6	8.5
	3	1.0	6.0	7.0	6.0	7.0
	4	0.1	2.0	3.0	4.0	4.0
大黒ふ頭C地区 (L1~L4, C1, C2)	1	1.6	11.5	12.3	12.7	13.6
	2	4.5	7.7	7.7	8.6	8.5
	3	1.0	6.0	7.0	6.0	7.0
	4	0.1	2.0	3.0	4.0	4.0
南本牧ふ頭	1	2.0	11.5	12.3	12.7	13.6
	2	1.0	6.0	7.0	6.0	7.0
	3	0.1	2.0	3.0	4.0	4.0

3.3 コンテナ船の停泊時の燃料消費量の算出

表-6に示すように、港湾統計におけるコンテナターミナルの施設利用状況からコンテナ船の平均停泊時間を算出し、式(1)によって停泊時の燃料消費量を算出した。なお、補機および補助ボイラの負荷率については、入出港時と同様に表-2の設定に基づいた。以上の検討から算出されたコンテナ船の燃料消費量を表-7に示す。

■表-6 コンテナ船の平均停泊時間 [h]

航路の種類	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
外航船	10.43	9.76	12.46	8.28	12.18
内航船	12.03	5.22	3.66	8.28	5.79

■表-7 コンテナ船の燃料消費量 [t]

航路の種類	運航状況	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
外航船	入出港時	4,121	3,001	3,364	4,909	3,025
	停泊時	9,804	10,055	13,584	7,821	7,845
内航船	入出港時	763	42	36	447	815
	停泊時	2,797	93	41	431	744
合計		17,485	13,191	17,025	13,608	12,429

3.4 タグボートの燃料消費量の算出

タグボートの燃料消費量については、表—8に示すように、著者のヒアリング調査によって取得した清水港における実績データ²⁵⁾から本船操船1隻あたりの燃料消費原単位を求め、各港湾の入出港外航コンテナ船も同程度のタグボートを利用したものとみなし、表—9に示すように燃料消費量を算出した。

■表—8 タグボートと港湾荷役における燃料消費原単位

輸送手段の種類	タグボート	コンテナクレーン	ターミナル施設	ヤード荷役機械
コンテナ貨物量 [TEU]	—	406,917		
操船本船隻数 [隻]	1,706	—		
燃料消費量 [kl]	927	—	—	1,147,685
電力消費量 [kWh]	—	904,705	2,993,597	—
原単位	0.54 [kl/隻]	2.22 [kWh/TEU]	7.36 [kWh/TEU]	2.82 [TEU]

■表—9 タグボートの燃料消費量 [kl]

港湾名	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
燃料消費量	2,296	2,891	2,946	2,544	2,198

4——港湾荷役における燃料消費量および電力消費量の算出

各港湾においては、それぞれのコンテナターミナルにおいて個別の港湾運送事業者が活動しているため、港湾荷役における燃料消費量ならびに電力消費量の総量に関するデータを直接的に得ることは困難である。このため、港湾荷役についても、表—8に示す清水港におけるコンテナターミナルでの実績データ²⁶⁾によって、単位コンテナ貨物量当りのヤード荷役機械の燃料消費量ならびにコンテナクレーンおよびターミナル施設の電力消費量の原単位を設定し、各港湾のコンテナ貨物量に基づき燃料消費量ならびに電力消費量を推計した。その算出結果を表—10に示す。

■表—10 港湾荷役における燃料および電力消費量

項目	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
コンテナ貨物量 [TEU]	3,028,089	2,364,515	1,992,948	1,927,244	1,718,957
ヤード荷役機械燃料消費量 [kl]	8,539	6,668	5,620	5,435	4,847
コンテナクレーン電力消費量 [kWh]	6,722,358	5,249,223	4,424,345	4,278,482	3,816,086
ターミナル施設電力消費量 [kWh]	22,286,735	17,402,830	14,668,097	14,184,516	12,651,527

5——陸上輸送における稼働量の算出

コンテナターミナルには、不特定多数の運送事業者のトレーラが出入りするため、コンテナ船と同様にトレーラ

の燃料消費量の総計を知ることは困難である。しかしながら、輸送手段としてのトレーラの規模はほぼ一定であるため、年間を通じた統計的観点から見れば、その出力や燃料消費率(軽油1l当たりの臨港地区内での走行距離数)はほとんど一定であるとみなせることから、トレーラについては稼働量のデータと稼働量に対するCO₂排出原単位を用いることによって、CO₂排出量を算出することとした。すなわち、臨港地区内のコンテナフローを検討することによってトレーラの走行台数を推計し、この結果とトレーラの臨港地区内の走行距離からCO₂排出量を算出した。

臨港地区内における一般的なコンテナフローを図—1のように想定する。コンテナ貨物を輸出入ターミナルまで国内輸送する手段としては、トレーラによる陸上輸送の他に船舶による海上輸送、鉄道輸送および航空輸送が考えられるが、いずれの手段においても臨港地区内外のある地点でトレーラに積み替えられ、輸出入ターミナルに搬入されるため、臨港地区内の移動のほとんどはトレーラによって行われると見なせる。したがって、臨港地区内におけるトレーラ走行台数は次式で算出できる。

$$G = E + I + c + o - 2T - F_c - F_o$$

$$= (1 - f)(E + I) + c + o \quad (4)$$

$$g = 2\eta G \quad (5)$$

ここで、

G ; 臨港地区内を移動するコンテナ [TEU]

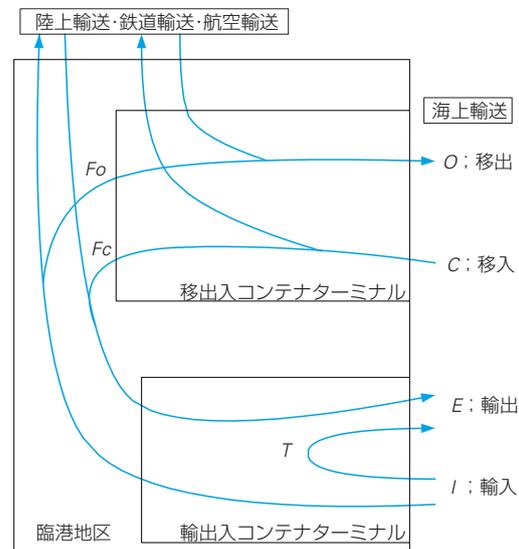
E ; 輸出コンテナ [TEU]

I ; 輸入コンテナ [TEU]

o ; 移出コンテナ [TEU]

c ; 移入コンテナ [TEU]

T ; 海外トランシップコンテナ [TEU]



■図—1 ターミナルにおけるコンテナフロー

F_c ; 輸出コンテナのうち移入によるコンテナ [TEU]
 F_o ; 輸入コンテナのうち移出されるコンテナ [TEU]
 g ; 臨港地区内を走行するトレーラ台数
 η ; コンテナ個数/TEU比率
 t ; 海外トランシップ率
 f ; 国内海上フィーダー率

ただし、 t と f については以下のように定義する。

$$t = 2T / (E+I)$$

$$f = (F_c+F_o) / (E+I)$$

表一11に示す各港湾におけるコンテナ貨物に関するデータを式(4)および(5)に代入することによって、臨港地区内を走行するトレーラ台数を算出した。次に、各港湾においてコンテナターミナルの位置が港内に分散していることから、表一12に示すように、算出されたトレーラ台数を主要な地区ごとにコンテナ貨物量に応じて按分し、合わせてそれぞれの地区と臨港地区境界間の距離を設定することによって、トレーラの稼働量を算出した。

■表一11 式(4)、(5)における変数のデータ値

変数	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
E [TEU]	1,258,025	1,153,377	881,886	903,489	695,642
I [TEU]	1,526,449	1,147,871	866,045	886,148	801,919
o [TEU]	130,448	36,426	115,159	60,526	128,937
c [TEU]	113,167	26,841	129,858	77,081	92,459
η	0.63	0.66	0.66	0.65	0.69
f	0.03	0.02	0.10	0.01	0.02
t	0.020	0.105	0.087	0.000	0.036

■表一12 各港湾におけるトレーラ台数と走行距離

港名	地区名	トレーラ台数	走行距離 [km]
東京港	品川ふ頭	361,968	1
	大井ふ頭	2,138,331	5
	青海ふ頭	1,142,255	6
	合計	3,642,554	-
横浜港	本牧埠頭	1,584,000	2
	大黒埠頭	496,419	4
	南本牧埠頭	643,641	1
	合計	2,724,060	-
神戸港	ポートアイランドPC	820,914	6
	ポートアイランドPL他	116,043	5
	麻耶ふ頭	114,462	1
	六甲アイランドRC	1,093,871	4
	六甲アイランドRL他	45,626	4
	合計	2,190,916	-
名古屋港	金城ふ頭	81,950	4
	飛鳥ふ頭	1,658,491	4
	鍋田ふ頭	620,788	8
	新宝ふ頭	131,454	2
	合計	2,492,682	-
大阪港	R1~R5	561,162	4
	C6,C7	325,311	5
	C8,C9	425,891	5
	C1~C4	944,503	3
	合計	2,256,866	-

また、この他に空トレーラがコンテナを牽引するトレーラと同程度発生すると想定した。

渋滞に関しては定量的なデータがないため、空トレーラを含めたトレーラの年間走行台数のうち、一定の割合のトレーラが一定時間渋滞するものと考えた。ここでは、平均的な場合として臨港地区内において走行トレーラの10%が30分間渋滞し、またターミナルゲートにおいて全走行トレーラが10分間渋滞すると想定した。

6—CO₂排出量の算出結果

各章において算出した、それぞれの輸送手段の燃料消費量、電力消費量あるいは稼働量とCO₂排出原単位から、CO₂の年間排出量を算出した結果を表一13に示す。それぞれの港湾の諸条件に応じて年間約9万トンから約14万トンのCO₂排出量となった。以下に輸送活動ごとの各港湾におけるCO₂の排出特性について記述するが、マクロ的な観点からは、表に示す単位コンテナ取扱量当たりのCO₂排出量(排出量原単位)の平均値とコンテナ貨物量から、コンテナターミナルにおけるCO₂排出量を算出できると考えられる。

■表一13 各港湾におけるCO₂排出量

輸送活動	輸送手段	稼働状態	東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
輸送活動	輸送活動		60,582	48,847	60,917	49,200	44,596
	コンテナ船	入出港時	54,360	41,013	52,933	42,306	38,639
		停泊時	15,184	9,463	10,571	16,651	11,937
		タグボート	39,176	31,550	42,362	25,654	26,702
	構成比 [%]		6,222	7,834	7,984	6,894	5,956
	排出量原単位 [kg-CO ₂ /TEU]		42	52	61	48	50
	排出量原単位 [kg-CO ₂ /TEU]		20	21	31	26	26
港湾荷役	港湾荷役		33,364	26,052	21,959	21,235	18,940
	コンテナクレーン		2,541	1,984	1,672	1,617	1,442
	ヤード荷役機械		22,398	17,490	14,742	14,256	12,715
	ターミナル施設		8,424	6,578	5,545	5,362	4,782
	構成比 [%]		23	28	22	21	21
排出量原単位 [kg-CO ₂ /TEU]		11	11	11	11	11	
陸上輸送	陸上輸送		49,152	19,736	17,206	32,754	25,389
	トレーラ	走行時	49,152	19,736	17,206	32,754	25,389
		渋滞時	40,112	12,986	11,766	26,574	19,789
		構成比 [%]	9,040	6,750	5,440	6,180	5,600
	排出量原単位 [kg-CO ₂ /TEU]		16	8	9	17	15
合計 [t-CO ₂]		143,098	94,635	100,082	103,188	88,924	
CO ₂ 排出量原単位 [kg-CO ₂ /TEU]		47.3	40.0	50.2	53.5	51.7	

- 海上輸送については、コンテナ船の港内航行距離が長い名古屋港と大阪港において排出量原単位が大きい。また、神戸港では、外航コンテナ船1隻当たりの取り扱いコンテナ数が少ないため、海上輸送における排出量原単位が大きい。
- 港湾荷役については、各港湾において清水港での単位コンテナ貨物量当たりの燃料消費量ならびに電力

消費量の原単位を用いて算出したため、各港湾において排出量原単位は同じとなっている。今後、港湾荷役について、燃料消費量及び電力消費量に関するデータの収集と詳細な分析が必要である。

・陸上輸送については、トレーラの臨港地区内の走行距離が長い東京港、名古屋港、大阪港において排出量原単位が大きい。一方、横浜港と神戸港では、臨港地区内のトレーラの走行距離が短いことにあわせて海外トランシップ率が高いため、排出量原単位が小さい。

7—CO₂排出量の削減対策に関する考察

本章では、コンテナターミナルにおけるCO₂排出量の削減対策およびその効果について検討する。前章までの検討で明らかのように、一般的にCO₂排出量を低減するためには、輸送手段における内燃機関などのCO₂排出源そのもののエネルギー効率を高める方法と、輸送手段の稼動量を低減する方法が考えられる。このような観点から、コンテナターミナルでの輸送活動におけるCO₂排出量の削減対策を輸送手段ごとに整理した結果を表—14に示す。

このうち、各輸送手段の燃費の向上や省エネルギー化については、新技術や新製品の開発（例えば、港湾荷役機械に採用され始めたキャパシタによるエンジンのハイブリッド化技術²⁷⁾など）に必要な経費の補助など、機器の製作メーカー等に、開発に関するインセンティブを与える施策によって推進することができると考えられる。

また、表—14では、港湾においてこれまで取り組まれてきた施策および現在推進されている施策³⁾と、CO₂排出量の削減対策のうち、輸送手段の稼動量を低減する対策との関連をも示している。これから明らかのように、環境対策に関する施策以外にも、従来から港湾の機能を向

上するために港湾管理者によって取り組まれてきた臨港道路の整備、航路の整備の他、現在、スーパー中樞港湾プロジェクトにおいて次世代高規格コンテナターミナルを形成するために推進されている施策や港湾物流情報プラットフォームの構築に関する施策などにおける多くの対策が、CO₂排出量の削減対策に関連している。すなわち、コンテナターミナルのコストおよびサービス水準を向上させるための施策はCO₂排出量の削減にも効果があり、双方の目的のための施策は両立するものと言える。

本論文で示したCO₂排出量の算出方法を用いて、以下の代表的なCO₂排出量の削減対策の効果を定量的に評価した結果を表—15に示す。

- ・ケース1；陸電を使用することによって停泊中にコンテナ船が補機を使用しない場合。
- ・ケース2；臨港道路の整備とノンストップゲートの導入などにより、トレーラの渋滞が解消された場合。
- ・ケース3；自動化・IT化荷役機械の導入などにより、ヤード荷役量が10%減少するとともにコンテナ船の停泊時間が10%短縮された場合。

■表—15 CO₂排出量の削減量

ケース		東京港	横浜港	神戸港	名古屋港	大阪港
1	削減量 [t]	20,063	16,158	21,645	13,109	13,876
	削減率 [%]	14	17	22	13	16
2	削減量 [t]	9,040	6,750	5,440	6,180	5,600
	削減率 [%]	6	7	5	6	6
3	削減量 [t]	6,157	4,904	5,710	3,991	3,942
	削減率 [%]	4	5	6	4	4

表に示すように、それぞれのケースにおいて相当程度のCO₂排出量の削減効果が期待できる。ただし、本検討においては消費された陸電を発電する際の燃料消費によるCO₂排出量は考慮していない。

■表—14 CO₂排出量の削減対策

輸送活動	輸送手段	排出源対策	稼動量低減対策		対策の実施主体	施策			
			低減対象	対策		A	B	C	D
海上輸送	コンテナ船	コンテナ船の燃費向上	港内航行時間の短縮	航路の整備	港湾管理者				○
			停泊時間の短縮	港湾荷役の効率化	港湾運送事業者	○			
			停泊時の排出量低減	陸電の使用	船社			○	
	タグボート	タグボートの燃費向上	作業量の低減	本船操船性能の向上	船社				
港湾荷役	コンテナクレーン	荷役機械の省エネ化	荷役量の低減	自動化・IT化荷役機械の導入	港湾運送事業者	○			
	ヤード荷役機械								
	ターミナル施設	設備の省エネ化	蔵置期間の短縮	24時間フルオープン支援施設の整備	港湾運送事業者	○			
陸上輸送	トレーラ	トレーラの燃費向上	走行距離の短縮	内航フィーダーコンテナ輸送の効率化	港湾管理者	○			
			渋滞の緩和	臨港道路の整備	港湾管理者				○
			ゲート待ちの解消	ノンストップゲートシステムの構築	港湾運送事業者	○			
				輸入コンテナの搬出可否情報の提供・利用	港湾管理者・運送事業者		○		

施策A：スーパー中樞港湾プロジェクト
 施策B：港湾物流情報プラットフォームの構築
 施策C：みなとグリーン化プロジェクト
 施策D：従来からの港湾機能の向上のための整備事業

8—おわりに

本論文において、これまで必ずしも明確でなかったコンテナターミナルにおけるCO₂排出量を算出することが可能となり、我が国の代表的な港湾に関して具体的な値を算出するとともに、CO₂排出量の削減に関する主要な施策の効果について、ある程度定量的な分析ができた。

港湾においては複数の輸送活動が存在するため、表—14に示すようにCO₂排出量の削減対策を実施すべき主体も複数にわたる。すなわち、港湾の計画、整備および管理を担当する港湾管理者、コンテナ船を運航する船社、ターミナルにおける荷役作業を行う港湾運送事業者、トレーラを運行する運送事業者など、各輸送活動の関係者の協力、連携による対策の推進が重要である。

また、この場合、各輸送手段におけるCO₂排出に関する責任範囲の問題、例えばBunker Fuel (国際輸送に使用される燃料)問題²⁸⁾などは、これから解決すべき課題である。

今後、我が国の港湾が着実に発展し、世界をリードしていくためには、港湾機能の高度化と同時に港湾の環境対策に積極的に取り組む必要があると考えられる。このためには、CO₂排出量について現況分析に基づき算出手法の精度を高めることによって、個々の港湾におけるCO₂排出量を正確に把握するとともに、より効果的なCO₂排出量の削減策を検討し、実施していく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 [2005], 「平成16年度国土交通白書」。
- 2) 交通政策審議会 [2005], 「今後の港湾環境政策の基本な方向について (答申)」。
- 3) 国土交通省港湾局 [2005], 「平成17年度港湾局関係予算概要」。
- 4) 東京都港湾局, 財団法人東京港埠頭公社 [2004], 「コンテナターミナルにおける地球温暖化防止対策調査 (報告)」。
- 5) 国土交通省総合政策局情報管理部 [2005], 「交通関係エネルギー要覧」。

- 6) 国土交通省総合政策局情報管理部交通調査統計課 [2005], 「内航船舶輸送統計年報」。
- 7) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編 [2006], 「総合エネルギー統計」。
- 8) Sue Cauthen [2003], “Green regulations tough on US ports”, *Cargo Systems*, September, pp.46-47.
- 9) 日本海事新聞 [2004], “米国西岸の混乱”, 2004年12月1日付。
- 10) シップ・アンド・オーシャン財団 [1999], 「船舶排ガスの地球環境への防止技術の調査報告書」, pp.11-22.
- 11) 酒井浩, 渡邊豊 [2003], “コンテナターミナルにおけるCO₂排出量算定モデルに関する基礎的研究”, 「日本機械学会第12回交通・物流部門大会講演論文集」, pp.313-316.
- 12) 日本国政府 [1994], 「気候変動に関する国際連合枠組条約に基づく日本国報告書」。
- 13) 資源エネルギー庁 [2001], 「エネルギー源別発熱量表の改訂について」。
- 14) 港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会編 [2002], 「港湾投資の評価に関するガイドライン1999」, (財) 港湾空間高度化センター, pp.2-2-43.
- 15) 環境省 [2003], 「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン (試案)」。
- 16) 野田明, 佐藤由雄, 佐藤辰二, 塚本雄次郎 [2001], “重量車の実走行燃費に対する各種影響要因のシミュレーション解析”, (独) 交通安全環境研究所第1回研究発表会。
- 17) 岩崎雅昭, 佐藤隆之, 生川俊則, 磯島好彦, 松永雄雄 [2003], “港湾コンテナターミナルITSノンストップゲートシステムの開発”, 「石川島播磨技報」, Vol.43, No.3, pp.86-91.
- 18) 東京都 [2003], 「東京港港勢」。
- 19) 横浜市 [2003], 「第63回横浜港統計年報」。
- 20) 神戸市 [2003], 「神戸港大観」。
- 21) 名古屋管理組合 [2003], 「名古屋港統計年報」。
- 22) 大阪市 [2003], 「平成14年大阪港港勢一斑」。
- 23) Hiroshi Sakai, Yutaka Watanabe [2003], “Evaluation of Environmental Impact of Intermodal Container Transportation on Seaports”, *Proc. of International Maritime Policy Conference*.
- 24) 公害研究対策センター窒素酸化物検討委員会 [2000], 「窒素酸化物総量規制マニュアル (新版)」, 公害研究対策センター, pp.151-161.
- 25) 酒井浩, 渡邊豊 [2004], “我が国の主要コンテナターミナルにおけるCO₂排出量の比較検討”, 「日本機械学会第13回交通・物流部門大会講演論文集」, pp.289-290.
- 26) (社) 港湾荷役機械システム協会 [2003], 「コンテナターミナルにおける荷役機械のライフサイクル・アセスメント (LCA) 調査報告第一報」, pp.41-47.
- 27) 東京都公式ホームページ,
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUA/2004/04/60e4s105.htm>
(2006年3月)。
- 28) United Nations Framework Convention on Climate Changeのホームページ,
http://unfccc.int/methods_and_science/emissions_from_intl_transport/items/1057.php
(2006年3月)。

Evaluation and Reduction of Carbon Dioxide in Container Terminals

By Hiroshi SAKAI and Yutaka WATANABE

This paper estimated carbon dioxide emissions directly related to the operations of container terminals in Japanese leading ports, by calculating fuel and electric power consumptions caused by the activities of calling vessels, tug boats, cargo handling equipments and trucks in the port area concerned. The results obtained by disaggregated analysis by ports, by port activities and by reduction scenario will be informative and useful for formulating and evaluating port related emission control policies and their effectiveness. The paper also argues that some policies enhancing port operational efficiency would economize fuel consumptions at port and contribute to reduce carbon dioxide emissions as well.

Key Words : carbon dioxide emission, port operations, container terminals, cargo handling equipment, emission control