特集
2

群小発生源による大気汚染問題

東京港における停泊船舶の排ガス対策について

藤 田 昌 廣*

キーワード：船舶の排ガス規制、港湾の大気汚染、停泊船舶の排ガス対策

1. はじめに

近年、船舶排ガス問題に国際的な関心が集まっている。2005年5月19日、IMO（国際海事機関）で採択された MARPOL 条約付属書Ⅵの発効に伴い、外国航海に従事する船舶の排ガス規制が制度化され、原動機の NO_x 排出量と船用燃料油の硫黄分が規制されることになった。

欧州共同体においても、「海洋船舶の燃料に関する EU 指令」が2005年8月11日から効力を生じたため、バルト海、北海、英仏海峡が「硫黄酸化物排出規制海域」(SECA 海域)として硫黄分1.5%以下の燃料油使用義務が順次適用されることになった。さらにはIMO 規制より厳しい水準の硫黄分規制も域内水域で段階的に導入されようとしている。

国内においても、MARPOL 条約付属書Ⅵの発

効を受けて、同日から「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する改正法」が施行されたため、IMO 規制と同内容の排ガス規制が我が国でも開始された(表1)。

しかし、①国内の海域は SECA 海域に指定されていないこと、②国内の船用燃料は、硫黄分の実勢が3%未満であり、一般海域の規制基準(4.5%)をすでに下回ること、③ NO_x 規制は基準日以前に建造された船舶に適用されないこと、④粒子状物質(PM)は規制されないことから、十分な規制効果が得られないとの指摘がなされている。

このため東京都は排ガス規制とは異なる枠組みの対策を進めるため、2004年6月に海運業界、港湾関係者、学識経験者からなる「船舶等による大気汚染対策検討委員会」を設け、停泊船舶の排ガス実態調査を実施して、実現可能な船舶排ガス対策の検討を行なった。本稿ではその報告書の一部

表1 船舶排ガス規制(MARPOL 条約)の内容

第13規則 窒素酸化物 (NO _x)			
1. 適用対象：船用ディーゼルエンジン (DE) 【基準日 2000年1月1日】			
①基準日以降に建造される船舶のDE (>=出力130kW)			
②基準日以降に主要な改造の行われる船舶のDE (>出力130kW)			
2. 制限値 (NO ₂ 総重量として計算した値)			
①17.0	g/kWh	n<130 rpm	
②45.0×n ^{-0.2}	g/kWh	130 rpm≤n<2,000 rpm	
③9.8	g/kWh	n≥2,000 rpm	
(nはエンジン回転速度)			
第14規則 硫黄酸化物 (SO _x)			
1. 船用燃料の基準 硫黄分が4.5w%以下。			
2. SO _x 排出規制海域 (SECA)における基準			
①SECA海域における燃料基準 硫黄分が1.5w%以下			
②船舶の排ガス洗浄装置の基準 SO _x が6.0 g/kWh 以下			
③SECA海域の指定 バルト海及び北海			

The measure for reducing air pollutants released from vessels staying in the Tokyo Port area.

* 東京都環境局環境改善部 Masahiro FUJITA

について紹介する。

2. 東京港における船舶排ガス問題

東京港は国際コンテナ貨物の取扱量が全国第1位の地位を占める港湾であり、外航船など多数の大型船舶が入港して活発な荷役活動が行なわれている。これらの船舶は推進機関の原動機(主機)のほかに複数のディーゼル発電機(補機)を搭載し、荷役時等の電源を確保するため、停泊中においても、補機による船内発電を行なっている。しかし、大型船舶の入港、コンテナ取扱量の増加、冷凍コンテナの普及などの影響により、大容量の船内電力が必要となったため、補機発電に使われる燃料の消費量が增大している。加えて安価な低質油を補機燃料に用いる船舶も多く、大気汚染物質の排出負荷が高いため、停泊中の船舶排ガス対策が港湾地域では解決すべき課題のひとつになっている。

3. 沿岸地域の大気環境の現状

東京港の臨海部では東京都区部平均よりもNO₂の年平均値が18%、SO₂も20~30%程高い濃度で推移しており、平成15年度においては、晴海局のNO₂濃度(98%値)が0.061ppmと環境基準を超過し、浮遊粒子状物質(SPM)も環境基準を達成していない状況にある。

4. 停泊船舶等からの排出量

停泊中の船舶排ガス等による影響を調査するため、東京港内に停泊した船舶及び港内の荷役機械・車両からの大気汚染物質の排出量について推計を行なった。

4.1 船舶の運航・荷役に係るアンケート調査

4.1.1 船舶運航に係るアンケート調査

東京港を利用する船舶について海運事業者のアンケート調査を実施し、機関稼動状況を把握した。

(1)原動機(主機及び補機)の稼動状況

台数、定格出力、停泊時間、負荷状況

(2)ボイラーの稼動状況

(3)原動機、ボイラー等の燃料使用状況

燃料の種類、使用量

4.1.2 荷役作業に係るアンケート調査

東京港におけるストラドル・キャリア等の機械、

トラクターなどの車両について港運事業者のアンケート調査を行ない、その稼動状況を把握した。

(1)荷役機械・車両

台数、定格出力、稼働時間、

(2)燃料等の使用状況

燃料等のエネルギー種類、年間使用量

(3)貨物取扱量

4.2 停泊船舶の排ガス測定調査

船舶は停泊中もディーゼル発電機で発電を行なっているが、大気汚染物質の排出実態はあまり把握されていない。このため、東京港に停泊したコンテナ船、フェリー、セメント船等15隻について補機エンジンの排ガス測定を行なった。測定はSO_x、NO_x及びばいじんの3項目について実施した。また、発動機の稼動状況に関する情報として、回転数・定格出力等のエンジン仕様を調査するとともに、排ガス測定中の発電電力量、燃料使用量、燃料の硫黄分等の測定を行なった。

4.2.1 測定結果

表2はその排ガス測定結果である。

4.2.2 NO_x、SO_xの排出特性

図-1は、発電出力とNO_x排出量の関係をグラフ化したもので、強い相関関係が認められ、発電出力とNO_x排出量とはほぼ比例することが確認された。

図-2は燃料の硫黄分から求めた理論値(SO₂max)とSO₂の実測値との関係をグラフ化したもので、理論値と実測値との間には傾き1の直線関係が成立すると認められ、燃料中の硫黄分はSO_xとして大気中に放出されると見なせることが確認された。

4.3 船舶等の大気汚染物質排出量(推計)

表3(42頁)は、停泊船舶の排出量を東京港及び沿岸6区(中央区、港区、品川区、大田区、江東区、江戸川区)における各発生源の排出量と比較したものである。

停泊中の船舶からは1年間に2,086 tのNO_x、1,898 tのSO_x、145 tのばいじんが排出されていると推定された。沿岸部6区の全排出量(航空機を除く)に占める排出割合を調べると、NO_x及びばいじんの占める割合は13%を上回っており、SO_xに至っては50%を超えるなど、自動車に次ぎ排出割合の高い排出源となっている。今後、自

表2 補機エンジンの排ガス測定結果

		竣工年度	酸素濃度	標準酸素濃度(13%)換算値			発電機負荷
				SO ₂	NO _x	ばいじん	
				ppm	ppm	g/N m ³	
コンテナ船	A	1987	13.7	627	1083	0.132	37.5
	B	2003	12.7	919	762	0.030	64.3
	C	1992	13.8	741	524	0.052	67.4
セメント船	D	1992	13.4	118	925	0.031	49.2
	E	1996	11.8	186	1062	0.037	70.8
	F	1998	12.6	123	752	0.025	37.6
客船 ・ フェリー	G	1992	13.1	607	772	0.011	46.5
	H	1997	13.7	569	1130	0.047	52.9
	I	1996	15.4	116	1012	0.034	49.7
RORO 船	J	2000	13.9	528	1211	0.104	44.1
	K	2002	12.6	495	818	0.025	31.2
	L	1999	12.6	482	1056	0.032	53.3
油タンカ	M	1986	14.4	134	1324	0.034	25.4
	N	1994	12.7	102	1904	0.078	51.0
	O	1990	12.6	77	1131	0.008	—

図-1 NOx 排出量と発電出力の関係

図-2 SOx 濃度の実測値と理論値(SO₂max)の関係

動車排ガスは対策の進展に伴い排出割合が大幅に減少していく見込みであり、船舶の割合が相対的に増大するものと予想される。

なお、航行船舶の排出量を参考のため示したが、この値は、東京港寄港船舶の湾内における排出量(埠頭～浦賀水道)であり、東京港内の排出量としてはその1/10程度に過ぎない。

5. 停泊中の船舶排ガスによる影響

停泊中の船舶排ガスによる影響を調べるため、経済産業省が開発した METI-LIS を用いて拡散計算を実施し、NO_x、SO_x、PM の各濃度分布(年平均値)を推定した。

図-3 は算出した濃度分布の一例として SO_x の濃度分布を示したもので、大気監視測定局(晴海局、台場局)以外の場所に高濃度地点が生じている。なお、上記測定局の環境濃度(年平均値)に対する停泊船舶排ガスの寄与率は、NO_x が約 6.5%、ばいじんが約 1.6% であり、SO_x に至っては約 46.7% に達すると推定される。

6. 停泊船舶の対策の必要性

東京都は固定発生源の燃料規制やディーゼル自動車の排ガス規制などの対策を実施し、区部の大気環境が大幅に改善されるという成果を上げてき

表3 東京港及び周辺地域における主要発生源の排出量推計結果
(t/年)

発生源の種類			NOx	SOx	ばいじん
東京 港内	船 舶	停泊中船舶	2,086	1,898	145
		航行中船舶 (参考)	(2,157)	(1,674)	—
		小 計	2,086	1,898	145
	荷役機械・車両等		189	1	—
沿岸 6 区 主要 発生 源*	移動発生源 (自動車)	高速道路	3,228	92	263
		内陸部	745	22	59
		一般道路	4,304	129	368
		小 計	8,277	243	690
	固定発生源	工場・事業所	2,917	1,388	99
		民生部門	1,816	16	107
		小 計	4,733	1,404	206

*沿岸部6区：中央区、港区、品川区、大田区、江東区、江戸川区

た。しかし、東京港の周辺部では、依然として、NO₂やSO₂が区部平均よりも高く、SPMの環境基準も達成できない状況が続いており、船舶排ガスが一因との指摘がなされている。その大部分は埠頭に停泊した船舶の補機エンジンから排出されたもので、陸域との離隔も十分に確保できないため沿岸部の大気環境に少なからぬ影響を及ぼしていると考えられる。

これら補機エンジン排ガスに含まれるNO_xやSO_xは大気中に拡散して環境濃度に影響を及ぼすだけでなく、一部は大気中で硝酸塩や硫酸塩の粒子(二次粒子)へと変化し、ばいじん(一次粒子)とともにSPMを形成することになる。

なかでも、SO_xは二次粒子を生成しやすい成分のひとつであり、SPMの約7割を占める微小粒子はSO_xに起因する粒子が高い割合を占めているとの報告もある。加えて沿岸地域のSO_xは50%以上が停泊船舶の排ガスによるものと推定され、停泊船舶のSO_x排出量軽減がSPM対策としても重要な意味をもっている。

このため、停泊中の船舶から排出されるNO_x、SO_x、ばいじんの低減化に取り組むことが必要である。

7. 停泊船舶対策の種類と概要

7.1 良質燃料への転換

電力需要が大きい大型船舶は安価な低質油で発電するため大気汚染物質の排出負荷が概して高い。この対策としては、船舶停泊中の一時的な措置として硫黄分の少ない良質油を補機に使用することが効果的である。この対策は技術的な制約も少なく実用的な対策であるが、良質油と低質油との価格差による運用コストの増加という問題を伴う。

図一3 港内停泊中の船舶から排出されるSO_xの濃度分布(年平均値)

表 4 技術的削減可能量の試算

排ガス対策の種類		取組条件	削減可能量 (平成 22 年度末)		
			NO _x	SO _x	ばいじん
良質燃料への転換		C 重油使用船の 80%	97 t	691 t	55 t
		C 重油使用船の 20% (設備改造要)	24 t	173 t	14 t
		小 計	121 t	864 t	69 t
陸上電源の 利用	小型船	1,000 トン未満の 30%	104 t	39 t	10 t
	中大型船	導入に向けた問題点等の整理検討	—	—	—
エンジンの調整・改造		10%が実施 (IMO 適合船を除く)	15 t	—	—
排ガス処理装置の設置		開発状況を踏まて検討	—	—	—
IMO 規制対応船への更新		船齢 20 年で更新、6 年間で 30%	156 t	—	—
合 計			396 t	903 t	79 t

7.2 エンジン本体の対策

NO_x の軽減にはエンジン本体の対策が効果的であり、すでに製造メーカーから IMO 規制に対応したエンジンが出荷されている。都の調査によれば、これら新型エンジンへ載せ換や新造船への更新を進めると約 25% 程度の低減効果が得られるものと見込まれている。

7.3 陸上電源の利用

陸上電源は、停泊時の補機エンジンを停止できるため理想的な船舶排ガス対策である。しかし大型船舶の陸上電源は、港湾側の高圧供电設備と船舶側の高圧受電設備とをあわせて整備することが必要となる。なお、技術的な課題として電力周波数の変換や接続方法、電源切替時の問題、供給コスト等の制約が残っており、長期的な取り組みを要する課題の一つである。

8. 船舶排ガス対策による削減量

表 4 は、停泊船舶の対策により技術的に可能と見込まれる大気汚染物質の削減量について試算したものである。

なお、環境濃度の軽減効果としては、晴海局・台場局の環境濃度に及ぼす寄与割合が NO_x 約 25%、SO_x 約 50%、ばいじんも約 50% 低減するものと推定される。

9. おわりに

船舶輸送は輸送重量・距離ベースの CO₂ 排出量がトラック輸送よりも低く、地球温暖化対策の手段として期待を集めている。さらには、国内の中

長距離トラックによる排ガス総量の抑制手段として船舶輸送へのモーダルシフトを進めて、大気汚染を削減しようとする試みも始まっている。しかしながら、船舶輸送がモーダルシフトの役割を担うためには、地球環境問題のみならず寄港地の大気環境への配慮も重要である。とりわけ、東京港では停泊中の船舶排ガスが沿岸地域の陸上発生源と比べても高い割合を占めており、少なからぬ影響を周辺地域に及ぼしていると推定される。このため関係者は大気汚染対策の重要性を認識し、協力して船舶排ガスの低減に取り組むことが大切と考える。

参考文献

- 1) 環境省：船舶排出大気汚染物質規制手法検討調査報告書 (2003 年 3 月)
- 2) 東京都：平成 12 年度都内自動車走行量及び自動車排ガス量等算出調査報告書 (2002 年 3 月)
- 3) 東京都：平成 15 年度ばい煙発生量調査報告書 (2004 年 3 月)
- 4) 東京都：平成 14 年度浮遊粒子状物質対策総合調査報告書 (2002 年 3 月)
- 5) 環境庁：船舶排出大気汚染物質削減手法検討調査 (1996 年度)
- 6) シップ・アンド・オーシャン財団：船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査 (1998 年度)
- 7) 財港湾空間高度化センター：停泊中のコンテナ船への陸電及び蒸気供給に関する調査研究 (1999 年度)
- 8) シップ・アンド・オーシャン財団：船舶排ガスの環境への影響と排出抑制に関する総合的調査 (2001 年度)
- 9) 環境省：船舶排出大気汚染物質削減技術等検討調査 (2002 年度)
- 10) 国土交通省：船舶からの排ガスに関する国際基準導入による効果検証調査 (2002 年度)
- 11) 環境省：船舶排出大気汚染物質削減技術等検討調査 (2003 年度)