

はじめに

本報告書は、競艇公益資金による日本財団の平成10年度補助事業として実施した「船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査」の成果を取りまとめたものであります。

ご承知のとおり、今日、人類の大きな課題の一つである大気汚染問題につきまして、船舶の方面では、国際海事機関（IMO）により1997年9月にMARPOL条約新付属書 が採択されるにいたりました。また、1997年12月に開催されました地球温暖化防止京都国際会議（COP3）では、大気汚染防止についての世界的な排出削減数値目標が初めて合意され、「京都議定書」が採択されました。このように、一昨年来、大気汚染防止に関する国際的な動きが急に加速され、船舶においてもそのための行動計画の具体化がかなり進展しつつあるという情勢となっております。

さて、当財団では平成2年度から5年度にかけて船舶排ガスの環境への影響と防止技術に関する調査を実施し、その成果は各方面におかれまして大いにご活用いただいておりますが、この調査が終了してからすでに数年が経過いたしました。その間に、上述のようにIMOやCOPにおける大きな動きがある一方、大気汚染防止に関する諸技術の進歩や世界経済の大きな変化があり、新たに調査を行う必要が出て参りました。

そこで、当財団では船舶から排出される大気汚染物質排出量の算定、並びに船舶排ガスに関する規制動向、及び大気汚染物質の排出量削減技術について必要な調査を改めて実施いたしました。ここにその報告書をまとめた次第であります。

この調査は、芝浦工業大学 平田賢 教授を委員長とする「船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査委員会」の各委員の方々の熱心なご審議とご指導、並びに関係各位のご協力により完遂したものでありまして、これらの方々に対して心からの感謝の意を表する次第であります。

本報告書が広く皆様に活用され、大気汚染物質排出量削減に役立てていただき、地球環境保全に貢献できることを期待しております。

平成11年3月

財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団

会 長 今 市 憲 作

委員名簿

(順不同、敬称略)

船舶排ガスの地球環境への防止技術の調査委員会

委員長	平田 賢	芝浦工業大学 システム工学部 機械制御システム学科 教授
委員	外岡 豊	埼玉大学 経済学部 社会環境設計学科 教授
"	西川 栄一	神戸商船大学 商船学部 機関システム工学講座 教授
"	香月 正司	大阪大学 大学院工学研究科 機械物理工学専攻 教授
"	宮内 敏雄	東京工業大学 工学部 機械宇宙学科 教授
"	松橋 隆治	東京大学 工学部 地球システム工学科 助教授
"	木内 大助	運輸省 海上技術安全局 技術課 課長
"	波江 貞弘	運輸省 船舶技術研究所 機関動力部 部長
"	久野 昇一	(社)日本旅客船協会 労海務部 部長 兼 工務相談室 室長
"	田山 経二郎	(社)日本船用工業会 大形機関技術専門委員会 委員長 三菱重工業(株) 原動機事業本部 顧問
"	桶谷 敏行	(社)日本船用工業会 中小形機関技術専門委員会 委員長 (株)新潟鐵工所 技術部 部長

関係者

	野上 義夫	日本エヌ・ユー・エス(株)
	華山 伸一	日本エヌ・ユー・エス(株)
	永島 聡	日本エヌ・ユー・エス(株)
	溝口 雅彦	日本エヌ・ユー・エス(株)

事務局

	福井 義人	(財)シップ・アンド・オーシャン財団
	三木 憲次郎	(財)シップ・アンド・オーシャン財団
	酒井 英次	(財)シップ・アンド・オーシャン財団

目 次

1.調査の概要	1
2 調査の考え方	6
3 船用機関からの大気汚染物質の排出量に関する調査	7
3.1 船舶排ガス排出量算定方法の調査検討	7
3.1.1 排出量算定方式の調査検討	7
(1) 環境庁の排出量算定方法(NO _x マニュアル)	7
ア. 運航パターンの設定など	9
イ. 年間燃料消費量	9
ウ. NO _x 年間排出量	10
エ. SO _x 年間排出量	11
オ. CO ₂ 年間排出量	11
(2) 燃料消費量からの排出量算定方法(IPCC など)	12
(3) 輸送トンからの排出量計算方法	13
(4) 航行船舶からの排出量算定方法	16
(5) 停泊船舶からの排出量算定方法	17
(6) 排出量算定方法の比較	19
3.1.2 各種排ガスの排出量算定の考え方	21
(1) NO _x	21
(2) SO _x 、CO ₂	21
(3) HC、PM、CH ₄ 、CO、N ₂ O および、NMVOC	22
3.1.3 各種調査による排出係数および排出量調査の比較	23
(1) 排出係数の比較	23
ア. NO _x 排出算定式の検討	23
イ. 燃料消費率の算定式の検討	28
(2) 排出量の比較	29
3.2 排出係数に関する実態調査	31
3.2.1 船用機関製造業者の実地調査	31
3.2.2 燃料消費量当たりの排出係数の比較	35
3.2.3 実船計測	37
(1) 調査の概要	37
(2) 測定機器	37
ア. 測定項目	37
イ. 排ガスサンプリング位置	37
ウ. 連続ガス濃度測定機器	37
エ. ばいじんの測定(Z8808 方式による Hot Filter 法)	44
(3) 実測値	49

3.3 船舶用燃料に関する調査	52
3.3.1 日本国内における船舶用燃料消費量	55
(1) 近年の水運業、漁業による燃料消費量の動向	55
(2) 船舶排ガス排出量の試算に用いる日本国内の燃料消費量	58
ア. 内貿（貨物船等）	58
イ. 内貿（旅客船）	65
ウ. 内貿（タグボート）	66
エ. 漁業	67
オ. レジャー	72
3.3.2 日本周辺における燃料消費量	74
3.3.3 世界全体における燃料消費量	83
(1) 近年の OECD 諸国における燃料消費量の動向	83
(2) 近年の非 OECD 諸国における燃料消費量の動向	86
(3) 船舶排ガス排出量の試算に用いる世界全体の燃料消費量	88
ア. 内貿、マリンバンカー	88
イ. 漁業	89
ウ. レジャー	91
3.3.4 船用燃料性状に関する調査	92
(1) 船用燃料の現状	92
(2) 燃料中の硫黄含有率	93
(3) 燃料中の窒素含有率	94
3.4 船舶排ガスの排出量	97
3.4.1 排出量算定方式	97
3.4.2 船舶用燃料消費量	98
3.4.3 排出係数	99
(1) CO ₂	99
(2) NO _x	101
(3) SO _x	103
(4) CH ₄	105
(5) CO	106
(6) N ₂ O	107
(7) NMVOC	108
(8) PM	109
3.4.4 船舶排ガス排出量のまとめ	110
(1) CO ₂	110
(2) NO _x	111
(3) SO _x	113
(4) CH ₄	114

(5) CO	116
(6) N ₂ O	117
(7) NMVOC	119
(8) PM	120
3.4.5 船舶からの排出量と陸上からの排出量との比較	122
4 船用機関からの大気汚染物質削減に関する調査	127
4.1 船舶からの大気汚染物質削減に関する今後の動向	127
4.1.1 我が国及び世界における船舶排ガスの規制動向	127
(1) IMO の規制動向	128
ア. NO _x 規制案	128
イ. SO _x 規制案	129
(2) 米国カリフォルニア州の規制動向	130
ア. BAAQMD における SCR 船建造の経緯と運用	130
イ. EPA による船舶規制案(FIPs)	131
(3) 神奈川県条例	133
(4) スイス(ボーデン湖)	133
(5) 漁船用エネルギー環境対応機関(水産庁)	134
(6) その他	134
ア. 荷役車輛などに対する規制対応オフロードディーゼル機関の導入	134
イ. EC、CARB のオフロード機関に対する規制の導入	135
4.1.2 規制以外の船舶排ガスに関する取り組み	137
4.2 排ガス排出量削減対策技術の調査	138
4.2.1 船用機関からの大気汚染物質対策技術	138
(1) NO _x 対策技術の評価	139
(2) 他の大気汚染物質に関する対策技術	143
4.2.2 船舶以外の輸送機関における対策技術など	144
(1) 陸上輸送機関との排出量比較	144
ア. NO _x 排出量	144
イ. 燃料消費量	146
4.2.3 大気汚染物質削減に関する今後の動向	147
5 今後の船舶における対策技術の提言	148
船舶排ガス用語	149
参考文献	154

1 調査の概要

1.1 調査の目的

本事業では、船舶排ガス中の NO_x、SO_x、CO₂、HC 等の大気汚染物質の排出量を算定するとともに、船舶排ガスに関係する規制の動向、及び大気汚染物質の排出量削減技術について調査を実施した。

今回は特に船舶からの大気汚染物質排出量算定に用いられる算出方法や算出根拠について統計資料を含めた各種の資料の精査及び実船調査を行い、大気汚染物質排出量算出に関する精度の向上に努めるとともに、新たに漁業やレジャー部門からの排出量の算定を試みた。

1.2 調査の経過

本年度事業の経過は以下の通りである。

平成 10 年	6 月 23 日	委員の委嘱を行った。
	7 月 2 日	船用機関製造業者への聞き取り調査を実施した。
	7 月 17 日	第 1 回調査委員会を開催した。
	7 月 22 日～24 日	船用機関製造業者及び計測機器製造業者への聞き取り調査を実施した。
	8 月 17 日～19 日	学識経験者及び船用機関製造業者への聞き取り調査を実施した。
	9 月 1 日	学識経験者への聞き取り調査を実施した。
	9 月 10 日～11 日	船用機関製造業者への聞き取り調査を実施した。
	9 月 24 日	学識経験者及び計測機器製造業者への聞き取り調査を実施した。
	10 月 9 日	学識経験者への聞き取り調査を実施した。
	11 月 9 日	第 2 回調査委員会を開催した。
	11 月 17 日	船用機関製造業者への聞き取り調査を実施した。
	12 月 12 日～22 日	実船の排ガス計測（第 1 船）を実施した。
平成 11 年	1 月 18 日～25 日	実船の排ガス計測（第 2 船）を実施した。
	3 月 1 日	第 3 回調査委員会を開催した。

1.3 調査の内容

1.3.1 船舶機関からの大気汚染物質の排出量に関する調査

(1) 船舶排ガス排出量算定方法の調査検討

船舶排ガス中の大気汚染物質排出量算定法について、既往の知見を収集し調査する。

(2) 各種排ガスの排出量算定の考え方

上記に併せて、船舶以外の機関も含めた排ガス中の大気汚染物質排出量算定法について既往の知見を整理し、総合的に比較検討する。

(3) 排出係数の調査検討

船舶機関メーカー、学識経験者へのヒアリング、及び文献調査を行い、排出量算出に必要な排出係数を整理し、総合的に比較検討する。

(4) 排出係数の実体調査

上記に併せて実船調査を行い、排出係数検討の参考資料を得る。

(5) 船舶用燃料に関する調査

国内外における船舶燃料の消費量や種類、産地国、成分等についての資料を収集し調査する。

(6) 船舶排ガスの排出量

以上の結果を踏まえて船舶からの大気汚染物質排出量を算出してまとめる。

1.3.2 船舶機関からの大気汚染物質削減に関する調査

(1) 船舶からの大気汚染物質削減に関する今後の動向

我が国及び世界における船舶排ガスの規制動向について情報を収集整理し、これらに対する船用メーカー等の対応について情報を収集整理する。

(2) 排ガス排出量削減対策技術の調査

船舶、及び船舶以外の機関における大気汚染物質の排出量削減技術について調査する。

1.4 調査結果の概要

1.4.1 船用機関からの大気汚染物質の排出量に関する調査

(1) 船舶排ガス排出量算定方法の調査検討

船舶排ガスの算出方法には、一定のテストサイクル下での機関単体の排出量を重視する IMO 方式、機関の推定出力馬力から算定する環境庁方式、マクロな燃料消費量から算定する IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 方式の 3 種類に大別して整理を行うとともに、それぞれの特徴や適用の範囲についてまとめた。今回の調査目的である日本全体や世界全体の排出量を算定するには、燃料消費量から排出量を算定する IPCC 方式が適していると考えられた。

(2) 各種排ガスの排出量算定の考え方

対象大気汚染物質のうち、CO₂、SO₂については、燃料中の炭素または硫黄が酸化された後にほぼ 100% 放出されるため、燃焼状態によって大きく左右されることはない。一方、他の物質は燃焼状態によりその排出状況が大きく変化するため、実験結果や経験別による算定式が必要であることを整理した。また、NO_xについては IMO 規制が提案され批准の段階に来ていることもあって、他の CO、NMVOC(Non-Methane Volatile Organic Carbons)、CH₄、PM に比較して情報が多いことがわかった。

(3) 排出係数の調査検討

環境庁、運輸省、船用機関学会などの調査の比較検討を行った。環境庁の NO_x 規制マニュアルの排出係数は他の調査や IMO 規制値と比較して小さく、現状の排出状況を表現するのに必ずしも充分でないことがわかった。また、燃料使用量については環境庁、船用機関学会など、従来の算定式がおおよそ妥当なものであると考えられた。

また、東京湾、日本全体における排出量の比較を行い、排出量の差異を生じさせる要因についてまとめた。港湾域内でのミクロな排出量には停泊時のモデル化が大きく寄与することがわかった。

(4) 排出係数の実体調査

国内の船用機関メーカーに対して聞き取り調査を行い、主に NO_x 排出係数についての知見を得た。一部の機関については既に IMO 規制に対応しているものの、現在市場に多く出向っている機関については規制値を超えるものも見られた。

国内において NO_x、SO_x、CO、CO₂、PM に関して実船調査を行った。その結果、陸

上での試験結果より 5～10%程度高めの排出濃度が観測されたが、低質燃料及び負荷の影響なども考慮するとおおむね測定誤差の範囲内にあると考えられる。なお、2隻の大型船舶について実施した実船計測においては関係各位の多大なご協力を頂きました。改めて深謝致します。

(5) 船舶用燃料に関する調査

日本国内、国内周辺、世界全体という 3 つのカテゴリーにおいて燃料消費量を細かく推定した。

消費量算定においては、消費される船型、船種の区別を可能な限り明らかにした。

また、従来は算定が曖昧であった漁船、ハーバータグボート、プレジャーボートの燃料消費量について調査を行った。同時に、国内外における船用燃料の硫黄分、窒素分などの成分についての資料を収集した。硫黄分に関しては、国内においては従来の知見と比較して大きな変化がなかった。

(6) 船舶排ガスの排出量

船舶からの大気汚染物質排出量は表 A のように算出された。国内における全人工発生源に占める割合は、平成 3 年度における SO 財団による「船舶排ガスの環境への影響と防止技術の調査」の際と比較して大きな変動は見られなかった。

表 A 各種大気汚染物質排出量

	CO ₂	NO _x	SO _x	CH ₄	CO	N ₂ O	NM VOC	PM
国内周辺	34,206	945	238	4	100	1.1	37	15
世界全体	556,781	15,728	9,035	77	1,659	15	856	257

単位:10³ t

国内は 1996 年、世界全体は 1995 年ベース
国内周辺は 200 海里以内での排出量を示す。

1.4.2 船用機関からの大気汚染物質削減に関する調査

(1) 船舶からの大気汚染物質削減に関する今後の動向

IMO(International Maritime Organization)、環境庁、EPA(米国 Environmental Protection Agency)の動向について取りまとめるとともに、海外運航業者の自主的な取り組みについても情報を得た。IMO におけるグローバル規制を別にすると、カルフォルニア州の動きに代表されるように、陸上排出源も含めて汚染状況が厳しい地域において、同地区内の港湾を利用する船舶に規制が適応されることが、今後多くなることが予測された。

(2) 排ガス排出量削減対策技術の調査

機関メーカーへの聞き取りを実施し、IMO 規制への対応状況について整理した。

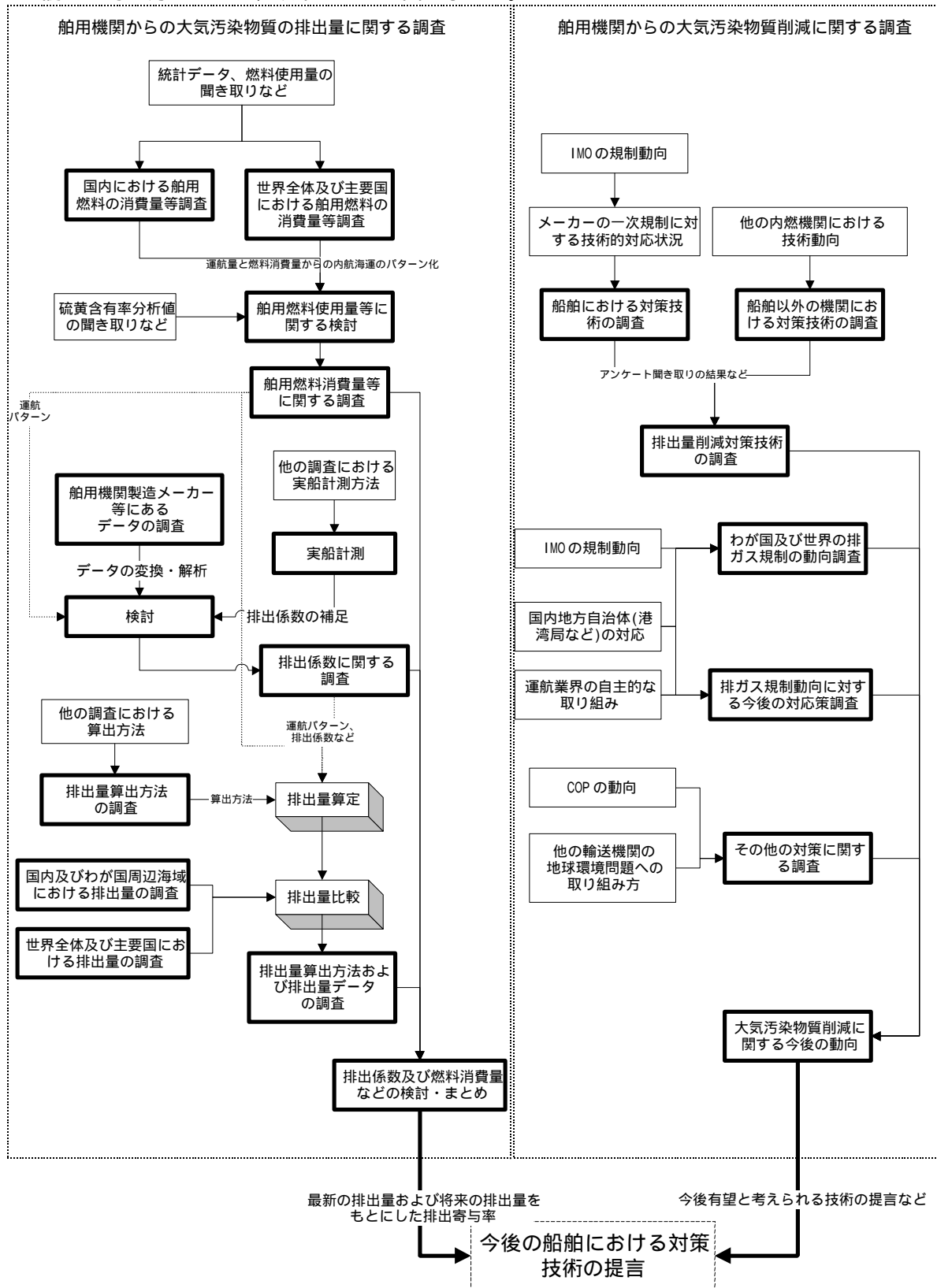
機関の承認段階に入っている 4 サイクル機関に比較して、2 サイクル機関では IMO 規制への対応にやや対応が遅れが見られた。

現状での NO_x 低減対策としては、A 重油への燃料転換、水利用技術、タイミングリタードを含む燃焼改善技術、SCR(選択接触還元脱硝)技術が、適用可能であると考えられた。

将来予測されるローカルな規制に対しては部分負荷での削減率が重要であるが、脱硝や水利用技術など現在技術開発が進められている低減技術は部分負荷時の効果としては必ずしも高くないことがわかった。

2 調査の考え方

調査の考え方について、以下のフロー図に示した。



船舶排ガスの地球環境への影響と対策技術の調査調査フロー図

3 船用機関からの大気汚染物質の排出量に関する調査

3.1 船舶排ガス排出量算定方法の調査検討

陸上の固定発生源や自動車など移動発生源からの排出量の算定方法は環境庁や通産省などによりマニュアル化されており、排出量の積み上げも行政レベルで日常的に行われている。しかし、船舶からの排出量については現在まで排出量の規制対象にされていないため、既に規制対象となっている固定発生源や自動車などに比較すると統一的な排出算定方法は未整備な状態にあると言える。また、技術的にもC重油を用いる外国船籍の超大型貨物船からガソリンを用いるプレジャーボートなどの小型船までと対象機関の規模が非常に幅広いことから、全てを網羅的にカバーする排出量算定方法および排出係数が確立されているとは言えない状況にある。

ここでは、過去の調査などにおける船舶排ガス排出量の算定方法について比較検討し、さらに今回調査の範囲とする船舶の区分けについても検討を行う。

3.1.1 排出量算定方式の調査検討

(1) 環境庁の排出量算定方法(NO_x マニュアル)

国内では、船舶からの排出量の算定については、環境庁が監修した窒素酸化物総量規制マニュアル（以下NO_x マニュアル）に記載された方法が用いられていることが最も多い。

NO_x マニュアルは、もともと大都市地域を中心に設定された窒素酸化物総量規制地域内での排出量を地方自治体などが算出することを目的に開発されている。海面上どこまでを総量規制区域とするかについては法律上明確な規定はないが、マニュアルには「当該地域内に存在する港湾区域内並びに当該地域に影響を及ぼすことが推定できる周辺地域の港湾区域及び航路」をその対象範囲とするとされており、通常その地方自治体が管理する港湾区域内が、総量規制区域内と扱われている。つまり、日本全体あるいは湾全体からの排出量を把握するために、開発されたものではないこと留意する必要がある。

本方式は、原理的には対象港湾地域内の1隻当たりの排出量または燃料消費量を推定し、これに港湾統計などの隻数を乗じて港湾区域内からの排出量を算定する。表3.1-1に示すように、実際には、船舶ごとの運航実態データを機関類の出力などはその総トン数および船種をパラメータとした推定式により算定する方法である。

したがって、港湾区域内のふ頭を利用する全船舶の諸元は全て明らかなものという前提で算出方法も組み立てられている。ただし、荷役時の補機ディーゼルおよびボイ

ラーの負荷割合など、総トン数および船種以外の把握しにくいパラメータについては表中に示すように設定例の記載があり、これらを使用するが多い。

特に地方自治体が発表する排出量の算定においては、これらのパラメータは、過去の排出量との整合性を取る為に、大きな変更が加えられることなく、使用されている。

表 3.1-1 NOx マニュアルによる算定方式の要約

	入力が必要なパラメータ	左欄より推定されるパラメータ
運航関連の諸数値	隻数	
	運航時間	
	停泊時間(荷役時間)	(参考例として、一般貨物船の平均停泊時間および荷役時間比の記載がある)
	平均負荷	(参考例として、港湾区域内の運航パターンおよび停泊時の平均負荷率の記載がある)
船舶の諸元	総トン数	主機の馬力数 補機の馬力数
	船種	馬力数および平均負荷率から、燃料消費量および NOx 排出量

以下では NOx マニュアルを用いた計算例を 9～11 ページに具体的に示した。ここでは、代表例として 10,000～50,000 総トンの外航コンテナ船が 1 年間に排出する排ガス量の排出算定方法を示した。

このように、NOx マニュアル方式は港湾域内のふ頭を利用する船舶からの排出量を算出する際には充分活用できるが、複雑かつパラメータが多いため、東京湾全体や日本船体の排出量を算定するには適しているとは言えない。

ア. 運航パターンの設定など

外航コンテナ船の運航パターンは表 3.1-2に示すように仮定した。

表 3.1-2 コンテナ船の運航パターン設定例

年間接岸時間	年間航海数を 25 回とし、1 回の航海につき 14 時間接岸を行うことと仮定し、年間接岸時間は、14 時間 × 25 回 = 350 時間とした。
年間航行時間	年間航海数を 25 回とし、1 回の航海時間を 13.5 日 (324 時間) と仮定し、年間航行時間は、324 時間 × 25 回 = 8,100 時間とした。
航行パターン	年間航行時間の 1 割を部分負荷 (負荷率 : 50%) とし、残りの 9 割を定格負荷 (負荷率 : 85%) とした。 航行時間は、部分負荷航行 : 8,100 時間 × 0.1 = 810 時間、 定格負荷航行 : 8,100 時間 × 0.9 = 7,290 時間とした。
使用燃料	主機 補機とも Residual Fuel Oil (C 重油) を使用燃料とした。
荷役時間	接岸時は全て荷役を行うこととし、350 時間とした。
D/G 負荷率*	42% とした。
D/G 稼働台数*	2 基とした。
主機定格出力*	$P = 1.9X^{0.97}$ X : フルコンテナ船の総トン数
D/G 定格出力*	$P = 2.2X^{0.60}$ X : フルコンテナ船の総トン数
D/G 搭載基数*	2 基

* NOx マニュアルの設定をそのまま用いた。

D/G : Diesel Generator 補助ディーゼル発電機(停泊中は主機ディーゼル機関を停止し、船内所用電力などのために小型のディーゼル発動機を使用するが多い)

イ. 年間燃料消費量

年間燃料消費量は以下のように計算した。

i. 接岸時の燃料消費量

接岸時の燃料消費量に下記の算定式を使用した。

$$W = 0.17 \times P^{0.98} (A^{0.98} \times T \times d)$$

W : 燃料使用量 (kg/年)

A : 荷役時の補機負荷率 0.42

T : 荷役時間 (時) 350 時間

d : 荷役時の補機稼働機関数 (基) 2 基

P : 補機の定格出力 (PS/基) NOx マニュアルに基づき、
下記の算定式により試算した。

$$P = 2.2X^{0.60}$$

X : フルコンテナ船の総トン数

ii. 航行時の燃料消費量

航行時の燃料消費量は下記の算定式を使用した。

$$W = 0.21 \times \{ (P \times A_1)^{0.95} \times T_1 \} + \{ (P \times A_2)^{0.95} \times T_2 \}$$

W：燃料使用量（kg/年）

T₁：部分負荷時の航行時間（時） 810 時間

A₁：部分負荷時の負荷率・・・ 0.50

T₂：定格負荷時の航行時間（時） 7,290 時間

A₂：定格負荷時の負荷率・・・ 0.85

P：主機の定格出力（PS/基）・・・ NOx マニュアルに基づき、下記の算定式により試算した。

$$P = 1.9X^{0.97}$$

X：フルコンテナ船の総トン数

ウ. NOx 年間排出量

NOx 年間排出量は以下のように計算した。

i. 接岸時の NOx 年間排出量

接岸時の NOx 年間排出量に下記の算定式を使用した。

$$N = 1.49 \times P^{1.14} (A^{1.14} \times T \times d) \times 10^{-3}$$

N：接岸時の NOx 排出量（Nm³/年）

A：荷役時の補機負荷率・・・ 0.42

T：荷役時間（時）・・・ 350 時間

d：荷役時の補機稼働機関数（基） 2 基

P：補機の定格出力（PS/基）・・・ NOx マニュアルに基づき、下記の算定式により試算した。

$$P = 2.2X^{0.60}$$

X：フルコンテナ船の総トン数

ii. 航行時の NOx 年間排出量

航行時の NOx 年間排出量は下記の算定式を使用した。

$$N = 1.49 \times \{ (P \times A_1)^{1.14} \times T_1 \times 10^{-3} \} + \{ (P \times A_2)^{1.14} \times T_2 \times 10^{-3} \}$$

N：航行時の NOx 排出量（Nm³/年）

T₁：部分負荷時の航行時間（時） 810 時間

A₁：部分負荷時の負荷率・・・ 0.50

T₂：定格負荷時の航行時間（時） 7,290 時間

A₂：定格負荷時の負荷率・・・ 0.85

P：主機の定格出力（PS/基）・・・ NOx マニュアルに基づき、下記の算定式により試算した。

$$P = 1.9X^{0.97}$$

X：フルコンテナ船の総トン数

iii. NO_x の重量換算

上記i.及びii.において試算したNO_xは体積(Nm³/年)で示されることから下記の算定式により重量に換算した。

なお、NO_xは全てNO₂として換算した。

$$NW = \{ (N_1 + N_2) / 22.4 \} \times 46 \times 10^{-3}$$

NW : NO_x 総排出量 : NO₂ 換算値 (t/年)

N₁ : 接岸時のNO_x 排出量 (Nm³/年)

N₂ : 航行時のNO_x 排出量 (Nm³/年)

エ. SO_x 年間排出量

SO_x 年間排出量はNO_x マニュアルに基づいて以下のように計算した。

SO_x 年間排出量は下記の算出式を使用し燃料中のS分を求め、これらが燃焼によりSO_xとして排出されるものとした。

なお、SO_xは全てSO₂として排出されるものとした。

$$S = W \times s \times 2 \times 10^{-3}$$

S : SO_x 排出量 : SO₂ 換算値 (t/年)

W : 燃料総使用量 (kg/年)

s : 燃料中の硫黄分 (重量%) 3

オ. CO₂ 年間排出量

CO₂ 年間排出量はIPCC Guidelines(IPCC Draft Guideline for National Greenhouse Gas Inventories)に基づいて以下のように計算した。

CO₂ 排出量は下記の算出式を使用し燃料中のC分を求め、これらが燃焼によりCO₂として排出されるものとした。

$$C = 40,190 \times W \times 21.1 \times (44/12) \times 10^{-9}$$

C : CO₂ 総排出量 (t/年)

W : 燃料総使用量 (kg/年)

(2) 燃料消費量からの排出量算定方法(IPCC など)

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change;気候変動に関する政府間パネル)が定めた地球温暖化物質の算定マニュアル^{*1}などで用いられている方法であって、燃料がどういった負荷で燃焼しているかといった燃焼状況に関わらず、燃料種類ごとに平均的な排出係数を用いるものである。日本全体あるいは世界全体の排出量も算定する際に用いられることが多い。燃料消費量の代わりに熱量が用いられることもあり、これは燃料種類ごとの低位発熱量はほぼ一定と見なせるためである。

IPCC は各国の地球温暖化ガスの排出量を毎年提出することを求めており、その排出計算方法に以下のような排出係数を用いることを推奨している。

*1;IPCC(1996) : Revised 1996 IPCC Guideline for national greenhouse gas inventories reference manual

表 3.1-3 IPCC のマニュアル内における燃料消費量当たりの排出係数

	単位 ; g/MJ				
	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NM VOC
Ocean going ship MFO 使用時	0.007	0.002	1.8	0.18	0.052

(3) 輸送トンからの排出量計算方法

この方法はこの自動車など移動発生源からの排出量算定を行う場合に輸送トンキロ当たりの排出量をモデル化し、これに統計データである輸送トンキロを乗じて排出量を算定する方式である。輸送効率を示す一つの指標として輸送トンキロ当たりの CO₂ 発生量がよく用いられる。燃料が燃焼する際に発生する CO₂ 量はほぼ一定であることから、以下の関係式が成立する。

輸送トンキロ当たりの CO₂ 発生量

$$= \text{係数} \times \text{輸送トンキロ当たりの燃料消費量}$$

日本国内における輸送トンキロ当たりの CO₂ 発生量は交通機関ごとに表 3.1-4 のようにまとめられており、貨物自動車の平均と比較して 8 分の 1 程度となっている。一方、モーダルシフトなどの検討において内航海運の CO₂ 排出量原単位は 37 t/10⁶ トンキロ、鉄道の CO₂ 排出量原単位は 25 t/10⁶ トンキロとなっており、鉄道の輸送トンマイル当たりの燃料消費量は、内航海運のその 2/3 程度となっている。鉄道輸送においては、1986 年前後で大きな改善が見られるが、これは JR の地方主要路線の電化が完成し、貨物輸送におけるディーゼル車両の使用が減少したためである。その後も、チョッパ制御モーター、VF インバータ制御車両および電気回生制御技術などが、貨物輸送車両に対しても導入されており、高い効率を上げているものと推測される。

図 3.1-1 には、内航船舶明細書に記載の一昼夜当たりの燃料消費量、航海速力、および積載重量から算出したトンマイル当たりの燃料消費量を示した。

図中 0.01 kg-Fuel/トンマイルを CO₂ 排出量に換算すると 50 t/10⁶ トンキロに相当し、499 総トン程度の小型船舶の場合には運輸省発表の数値(表 3.1-4)を裏付ける結果となっている。

次に外航海運のトンマイル当たりの燃料消費量を図 3.1-2 に示した。これは運航業者へのアンケート調査をもとにしており、輸送トンマイル、燃料消費量とも実績値から算出した。

外航海運では、自動車運搬船を除くと 0.005 kg-Fuel/トンマイル以下となっており、内航海運や鉄道と比較しても輸送トン当たりの CO₂ 発生量は少ない。船種による違いをみると、タンカーが最も低くコンテナや PCC 船(Pure Car Carrier)はその数倍以上悪くなっていることがわかる。

これは、タンカーが液体燃料のため船倉内のデッドスペースが少なく、さらに経済

スピードで運航されるのに対して、コンテナ、PCC 船については速度を優先して運航されていること、PCC 船については船倉内のデッドスペースが大きいこと、を反映しているものと考えられる。

さらに船舶温室効果ガス排出量等総合調査(環境庁, 1995)においては、表 3.1-5に示すように、旅客も含めてトンキロ当たりの燃料消費量を算出している例もある。ここでは、旅客1人を60kgとして換算し、人キロ当たりの燃料消費量をトンキロ当たりの燃料消費量として扱っている。計算結果では、旅客における燃料消費量は2桁以上も大きい。これは、表最下欄に示すように平均輸送距離が小さく、近海フェリーなど短距離の輸送が多いことが起因していると考えられる。

表 3.1-4 各交通機関における輸送トン当たりのCO₂発生量

単位 : t-CO₂/10⁶トンキロ

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
自動車	344	330	325	319	316	308	315	305	294	293	301	311	318	317	312
鉄道	31	33	34	34	33	32	25	25	25	24	24	25	25	25	25
航空(国内線)	1,980	1,986	1,930	1,872	1,880	1,804	1,708	1,637	1,526	1,455	1,475	1,537	1,610	1,597	1,603
内航海運	37	37	33	32	33	35	34	34	35	36	35	35	35	36	37

運輸関係エネルギー要覧 運輸省運輸政策局より作成

表 3.1-5内航旅客および内航貨物の輸送トン当たりの燃料消費量比較例

	旅客		貨物		合計	
輸送量 A	6,061	10 ⁶ 人キロ	-	-	-	-
A × 60	364	10 ⁶ トンキロ	233,835	10 ⁶ トンキロ	234,199	10 ⁶ トンキロ
エネルギー消費量	2567	10 ¹⁰ kcal	2,810	10 ¹⁰ kcal	5,377	10 ¹⁰ kcal
トンキロ当たりの燃料消費量	70,588	kcal/トンキロ	120	kcal/トンキロ	230	kcal/トンキロ
輸送量	157.3	10 ⁶ 人	528,841	10 ³ トン	528,850	10 ³ トン
平均輸送距離	39	km	442	km	442	km

表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

1993年ベース

環境庁の船舶温室効果ガス排出量等総合調査(1995)より作成。

輸送量は運輸関係エネルギー要覧および「'95数字でみる日本の海運・造船」による。

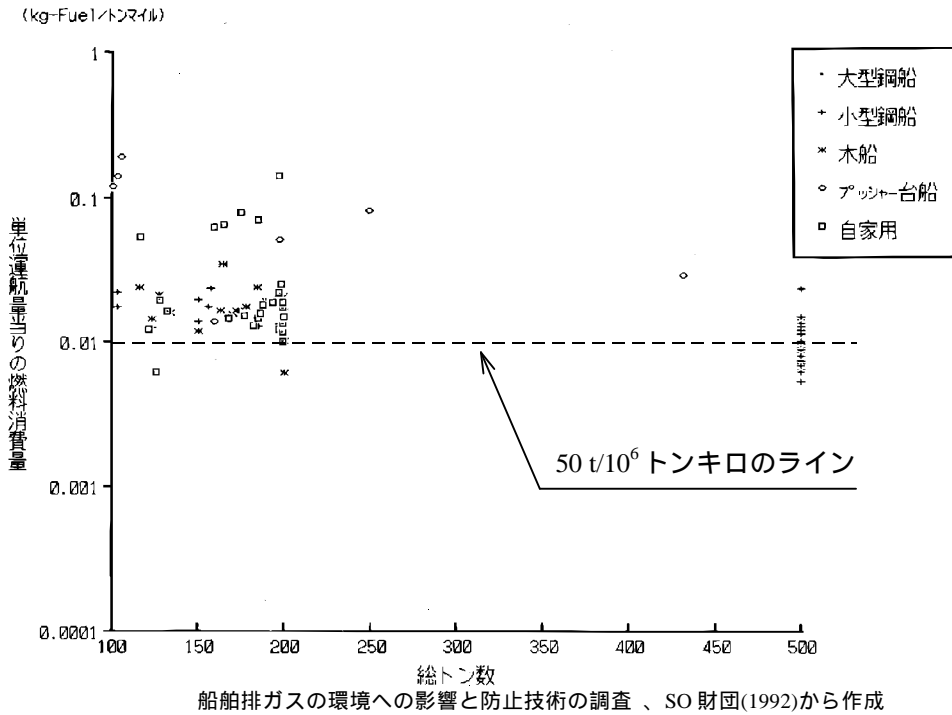


図 3.1-1 内航船舶明細書から算出した輸送トンマイル当たりの燃料消費量

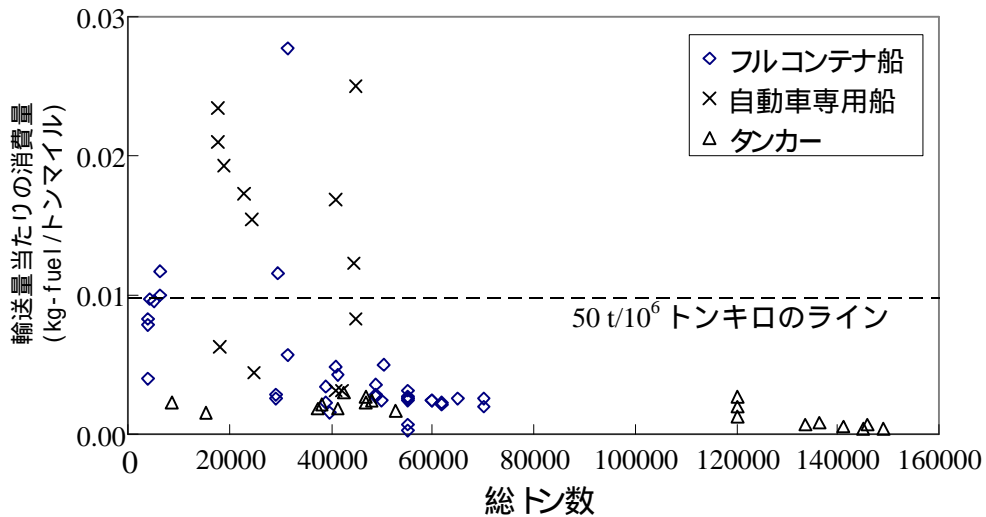


図 3.1-2 外航海運における輸送トンマイル当たりの燃料消費量

(4) 航行船舶からの排出量算定方法

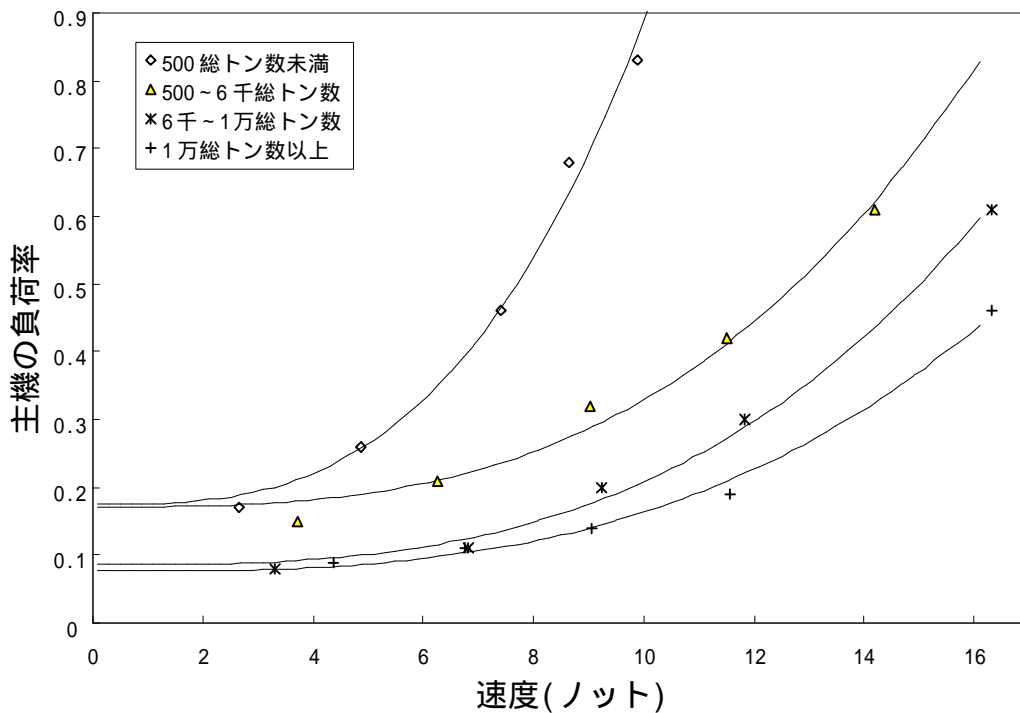
港湾内など部分負荷で航行している際のNO_x排出量については以下の方法で算出している例がある。

船舶機関における主機の負荷設定については「負荷率が船速の3乗に比例する」ことが一般的であることから、各総トン数階級ごとに関係式を求める。

船速と主機の負荷率のデータについては東京都の「船舶に係る大気汚染物質排出実態調査」結果を用いた（図 3.1-3参照）。

実際の航行速度と で求めた主機負荷についての関係式から航路ごとの負荷パターンを推定し、船種・総トン数階級別のNO_x排出量を求める。

航路ごとの利用隻数を乗じ、地区別の航行時のNO_x排出量を算出する。



船舶に係る大気汚染物質排出実態調査 東京都(1992)より作成

図 3.1-3 総トン数階級別の速度と主機の負荷の関係

各総トン数階級別の回帰曲線は以下に示すとおりである。

500 総トン数未満	$PR = 7.11 \times 10^{-4} \times V^3 + 0.175$
500 ~ 6,000 総トン数未満	$PR = 1.58 \times 10^{-4} \times V^3 + 0.171$
6,000 ~ 10,000 総トン数未満	$PR = 1.23 \times 10^{-4} \times V^3 + 0.085$
10,000 総トン数以上	$PR = 8.71 \times 10^{-5} \times V^3 + 0.076$

ここで PR : 主機の負荷率
V : 対地速度(ノット)

NO_x マニュアルでは船舶の主機ディーゼルの負荷から NO_x 排出量を次の式により算定することができる。また、IMO 対応機関では各排出ポイントでの出力当たりの排出量から算出できる。

$$N = 1.49 \times (P \times A)^{1.14} \times t \times 10^{-3}$$

ここで N : 窒素酸化物排出量(Nm³)
P : 定格出力(PS)
A : 負荷率
t : 時間(時)

(5) 停泊船舶からの排出量算定方法

港湾域など、ローカルな排出量を算出する場合には、各埠頭もしくは錨地における機関類の負荷もしくは燃料使用量を推定することが必要となる。表 3.1-6では一般的な貨物の荷役形態を示した。

タンカーでは、荷揚げ時には船側の動力が、荷積み時には陸側の動力が主として使われ、その燃料消費量が大きく違うことが予想される。

PCC、RORO、フェリー船では、荷揚げ、荷積み時ともにその燃料消費量は大きく変わらないことが予想されるが、船倉内のファンを高負荷で駆動すること、一部のフェリーではリーファーへの電力供給が行われることから、停泊中の燃料消費量は比較的多い。

コンテナ船の場合は積み込まれるリーファーの割合が多くなると船側の電力消費量(=燃料消費量)が増加することが予想される。

石炭運搬船や砂利運搬船のような専用船舶ではセルフアンローダーのような船舶側施設を用いた場合が燃料消費量が多くなる。

このように、船種や積み荷に関係なく一律の負荷率を設定することは平均的な総排出量算定には大きな影響を与えないが、埠頭ごとのリジョナルな排出量の濃淡を再現する場合には適当とは言えない。

表 3.1-6 貨物船の一般的な荷役形態

船種区分	船種	荷揚げ時の形態		荷積み時の形態		備考
		船舶側	陸側の施設(動力源)	船舶側	陸側の施設(動力源)	
タンカー	原油タンカー LNG タンカー	補機ディーゼルまたはボイラーによって駆動されるカーゴポンプにより、連続荷揚げを行う	・タンクへの移送ポンプ (電力)	_____	・タンクからふ頭までの移送ポンプ (電力) ・カーゴポンプ (電力)	
	プロダクトタンカー LPG タンカー	補機ディーゼルまたはボイラーによって駆動されるカーゴポンプにより、連続荷揚げを行う	・タンクへの移送ポンプ (電力)	_____	・タンクからふ頭までの移送ポンプ (電力) ・カーゴポンプ (電力)	小型タンカーでは、主機による駆動が行われる
コンテナ	フルコンテナ セミコンテナ	_____	・ガントリークレーン (電力) ・ストラドルキャリア (ディーゼル) ・トランスファー クレーン (ディーゼル)	_____	・ガントリークレーン (電力) ・ストラドルキャリア (ディーゼル) ・トランスファー クレーン (ディーゼル)	リーファーへの電力供給は行われる。特に荷積み時には、消費電力が多い
RORO (Roll-On Roll-Off)	自動車専用船 (PCC ; Pure Car Carrier)	・荷室内換気用の大型ファン	_____	・荷室内換気用の大型ファン	_____	荷揚げ、荷積み用の車輛が自走する
	RORO 船	・荷室内換気用の大型ファン	_____	・荷室内換気用の大型ファン	_____	貨物が搭載されたトレーラーが自走する
一般貨物	石炭専用船 穀物船 砂利専用船 石灰石専用船 鉾石船	・一部の専用ふ頭ではセルフアンローダー	・陸側の専用アンローダー (電力) ・バケットクレーン等 (電力)	・一部の専用ふ頭ではセルフローダー	・陸側の専用ローダー (電力) ・バケットクレーン等 (電力)	
	鋼材運搬船	大型外航船は船上クレーンも稼働 (小型船舶は陸側の機器のみ)	・ガントリークレーン (電力) ・フォークリフト (ディーゼル) ・クレーン車 (ディーゼル)	大型外航船は船上クレーンも稼働 (小型船舶は陸側の機器のみ)	・ガントリークレーン (電力) ・フォークリフト (ディーゼル) ・クレーン車 (ディーゼル)	
	セメント船	小型のセルフアンローダーを持つ場合もある	・専用のアンローダー (電力)	小型の移送ローダーを持つ場合もある	・専用のローダー (電力)	
フェリー	カーフェリー	・車室内換気用の大型ファン ・荷室の電源	_____	・車室内換気用の大型ファン ・荷室の電源	_____	車輛が自走する

運航業者などへの聞き取りにより作成

(6) 排出量算定方法の比較

国内の環境影響評価書などにおいて地域からの排出量を算定する場合には、NO_x の排出係数および燃料消費量の係数は前節で使用した NO_x マニュアルに記載の算出方法を用いることが多い。しかし、メーカーの発表するカタログ値等は IMO 規制に向けた値となっており、あるテストサイクル下での排出率を示したものとなっている。これらの排出係数の考え方について表 3.1-7にまとめた。

それぞれの算定方法には適した算定範囲がある。例えば、グローバルな排出量を出す場合には C 欄に示した係数を使うことが前提となるが、メーカーによる測定データが多く収集整理されているのは A 欄の排出値である。また、国内では環境庁を中心に B 欄の排出値の整理が行われている。

表 3.1-7 船舶で用いられる NO_x 排出係数の考え方の相違

	A	B	C
主な提案例	IMO 規制値	環境庁窒素酸化物総量規制マニュアル	SO 財団(1992)など
排出量単位	出力当たりの排出量 (g/kWh)	時間当たりの排出量 (Nm ³ /h)	燃料消費当たりの排出量 (g/kg-Fuel)
パラメータ	定格回転数(rpm)	定格ではなく発生馬力(PS)	マクロな燃料消費量 (g/h)
他の排出係数での使われかた	自動車排ガス規制 (10.15 モードで g/km など)	固定発生源からの排出量算定	IPCC における排出係数、米国の固定発生源排出規制など
機関単体の排出量推定	(機関の大きさに重点をおいた係数であるため機関単体の排出量推定には適している)	(定格 1 万 ps 機関の部分負荷時と、定格 3000PS 機関の定格時の排出量が同じに計算される)	× (機関の規模ごとには整理されていない)
地域の排出量推定	(地域における運航モードが、設定されたモードと違う場合に推定が困難)	(テストモードの影響がなく、仮想的な負荷状態における局所的な排出を推定することが可能)	(地域の運航モードから燃料消費量を推定する必要がある)
地球規模の排出量推定	× (燃料消費量など統計値との合致が困難)	× (統計値との合致が困難)	(燃料使用量は正確に把握可能)

本調査では、船舶に係わる排出量の範囲について表 3.1-8に示すように解した。日本国内はいわゆる内航を主とした船舶運航に伴う排出量であって、これには漁業およびプレジャーボートを含めた。

次に日本周辺については日本国内に併せて外国貿易に関わる船舶からの排出量が加算される。外貿に関わる船舶からの排出範囲を厳密に定義することは難しい。例えば、それをバンカーオイルの日本からの積み込み量から算定した場合、その評価は外国で積み込まれた燃料消費量に対して過小評価となる。逆に、国内で積み込まれた燃料の一部は外洋や目的地の周辺近くにおいても使用されているため、全量が日本周辺で使用されていないことを考慮すると、積み込み燃料による評価は過大となる。本調査においては、日本周辺を海岸から 200 海里(排他的経済水域)までと定義し、外航船については同海域内航行時に伴う排出を日本周辺における排出と考えた。

さらに世界全体については、外貿だけでなく、各国の内航やレジャー、漁業についても可能な限り推定を行った。

国内の排出量および世界全体の排出量については、燃料消費量の総量が統計量として入手可能であることから、主に表 3.1-7の C 欄の方法を中心に排出量を考慮した。また、燃料総量そのものを推定する必要があるタグボート、プレジャーボートおよび日本周辺の排出量については燃料消費量の算定そのものに B 欄の考え方をを用い、排出量算定には C 欄の排出係数を用いることとした。

表3.1-8 今回の計算範囲について

日本国内における 燃料消費量	日本周辺における 燃料消費量	世界における 燃料消費量
内航に従事する船舶に 関係する排出量 (タグボート、フェリー、 中継貨物、客船を含む)	左欄の合計値	世界各国の内貿合計 (OECD および非 OECD 諸国の統計値合計)
漁業 (ガソリン使用の船外機 を含む)		世界各国の漁業合計 (日本の消費量より推計)
プレジャーボート		世界各国のプレジャーボ ート合計 (日本の消費量より推計)
-	外国貿易に従事する船舶 に付随する排出量 (日本国内の港に停泊時の 排出量および沿岸から 200 海里以内の航行時に おける排出量)	世界全体の外貿 (地理的な排出範囲を想 定しないので、世界各国 のバンカー総消費量)

3.1.2 各種排ガスの排出量算定の考え方

(1) NO_x

NO_x は、燃料中の N 分が酸素と結びつく Fuel NO_x と、燃焼空気中の O₂ が高温高圧下で N₂ と結びつく Thermal NO_x との両者により構成される。ディーゼル機関においては、上死点手前 10° 前後より燃料噴射が開始されるが、直ちに燃焼は始まらない。これを着火遅れと呼ぶ。その後の急激な燃焼時に熱発生率がもっとも高くなり、局所的に高圧な燃焼雰囲気もできると言われている。この第一期燃焼期と呼ばれる時期に NO_x 発生がもっと生じやすい。一般に燃焼温度が高いほど、酸素濃度が高いほど、また高温での滞留時間が長いほど Thermal NO_x が多く生成する。

従って、負荷割合、機関の種類、機関の規模などにより NO_x の排出ガス濃度は大きく影響を受ける。一般には大型機関ほど低速であることから、サイクル当たりの Thermal NO_x が生成する時間が長いため、排出濃度も大きい。また、燃料の着火性は以下のような機構により NO_x 排出濃度に大きな影響を与えられている。一般的には MDO に対して MFO は、あるいは A 重油に対して C 重油は低質であり着火性に劣るので NO_x 濃度にも差が生じる。

このように NO_x については燃焼状態によりその排出濃度は大きな影響を受けるため、これまで見てきたように機関の規模や定格回転数など、機械工学的なパラメータを用いた排出量算定式が用いられる。

燃料の着火性悪い

着火遅れが大きくなる

第一期燃焼(予混合燃焼)量が増加

P_{max}、最高燃焼温度上昇

NO_xの生成量増

(2) SO_x、CO₂

NO_xの排出機構について述べてきたが、調査対象となっている他の汚染物質(CO₂、SO_x、CO、HC)についても基本的には同じ考え方が用いられる。ただし、CO₂とSO₂は燃料中の炭素分および硫黄分がほぼ100%排出される*と考えられるため、機関の大きさや負荷などには関係なく、燃料消費量に一律の排出係数を乗じることで排出量が算定できる。例えば、燃料中の硫黄分については、日本に寄港する船舶の場合、内航で1%程度、外航で3%が平均的な硫黄分とされている。本調査では資料収集および次節で述べる実船計測の測定結果をまとめ、これらの排出係数を検証することを考えた。

*COは未燃分であるが、排ガス全体の中に占める割合(COモル濃度/CO₂モル濃度)は0.1%にも満たないのが、通常である。

(3) HC、PM、CH₄、CO、N₂OおよびNMVOC

上記大気汚染物質については、他の汚染物質と比較して、測定データなどの基礎データが少なく、使用状況による区分で排出係数を仮定することは困難と考えられる。本調査においては自動車機関などの文献値を使用して、データを補完することを考えた。特に、PMについては、測定法などによりその定義が様々である。最近の研究調査では、人間の健康に被害を与える2.5 μ以下の粒子を分別測定したり、凝縮性ダストと呼ばれるダスト測定方法もあるが、船舶排ガスに関しての情報が極端に少ないことから、本調査においては従来のJIS Z8808に定められたばいじん測定法によるPMと定義する。

3.1.3 各種調査による排出係数および排出量調査の比較

(1) 排出係数の比較

3.1.2 で述べたように、NO_x の排出には燃焼状態が大きく影響し、その排出量推定に関してはこれまでにいくつかの係数が提案されてきた。ここでは、各種調査におけるNO_x 排出係数の比較検討を行うとともに、燃料当たりの排出量を算定する際に重要となる燃料消費量の推定式についても比較検討を行う。

ア. NO_x 排出算定式の検討

図 3.1-4に各調査におけるNO_x 排出量の推定式および機関個別の排出データの比較を示す。全体としてみると右下がりの傾向にあり、大型の機関ほど(図中左に行くほど)排出率が大きいことがわかる。IMO のNO_x 規制は図 3.1-4に赤線で示したように、運輸省案の下限値のカーブをもとに作成されている。

表 3.1-9 機関の回転数をパラメータとするNO_x 排出量算定式

		NO _x 算出式(g/kWh)	サンプル数 (N)	相関係数 r	備考
1	船用機関学会の 測定データ (1994年)	近似式では表現されていない 個別のデータ			テストベッドでの値 A重油を対象 部分負荷を含む
2	日本、運輸省案 (1993年)	$67 \times n^{-0.2}$ (max)、 $45 \times n^{-0.2}$ (min)の範囲内	不明	不明	一部部分負荷 A重油のみ
3	IMO 規制案 (1993年)	9.8 (n > 2,000) $45 \times n^{-0.2}$ (130 < n < 2,000) 17 (n < 130)	不明	不明	ISO8178 サイクルでの重み付け後の値 A重油を対象
4	Lloyd's の 実測データ (1990年)	中速機関 13.8 低速機関 18.7	中速 56 基 低速 29 基	(単純平均)	近似式の形では整理されていない実航海時のデータ MDO および MFO を含む
5	EUROMOT の 測定データ (1993年)	近似式では表現されていない			MDO を対象

n ; 機関の定格回転数 (rpm)

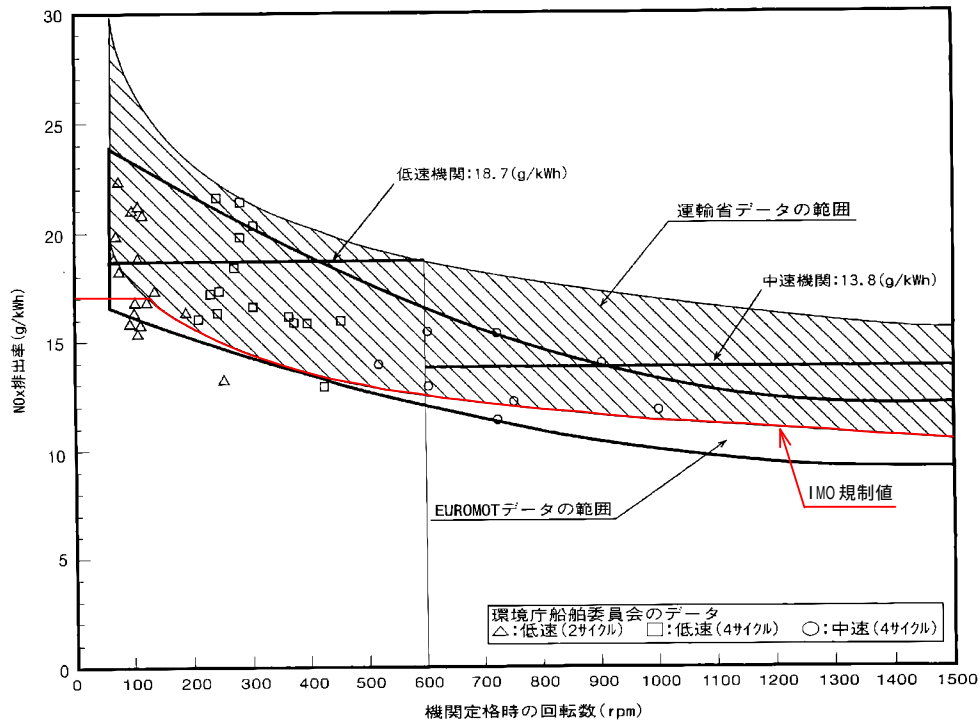


図 3.1-4 機関の回転数をパラメータとする NOx 排出量算定式の比較

i. 軸出力をパラメータとした排出量算定式の比較

一方、NOx マニュアルなどで用いられる軸出力をパラメータとした算定式を比較した結果を表 3.1-10および図 3.1-5に示した。

軸出力に基づく算定方法ではある地点で稼働している機関の時間ごとの出力が与えられれば定格出力(機関の規模)が未知であっても排出量の算出が可能である。逆に、定格 1,000kW の機関の 50% 負荷時の排出量と定格 500 kW の機関の 100% 負荷時の NOx 排出量は全く同量と計算される。

現在 NOx マニュアルで用いられている NOx 排出係数は、昭和 60 年に環境庁が中心となって構成された船舶ばい煙問題研究会が実施した「船舶からのばい煙量算定手法調査報告書」のデータがもとになっている。

表 3.1-10 機関出力をパラメータとする NOx 算定式

		NOx 算出式 (Nm ³ /h)	サン プル 数 (n)	相関係 数 r	備考
1	特殊発生源(船舶等)調査 (昭和52年、環境庁)	$1.825 \times PS^{1.12} \times 10^{-3}$	100	0.9617	部分負荷時の測定データを含む実船測定
2	船舶からのばい煙量算定手法調査報告書 (昭和60年、船舶ばい煙問題研究会)	$1.49 \times PS^{1.14} \times 10^{-3}$	218	0.916	測定時の条件等は不明
3	NOx マニュアル(1993年改定、環境庁)	同上	-	-	個別データの記載なし
4	船舶に係る大気汚染物質排出実態調査 (1990年、東京都)	$3.092 \times PS^{1.086} \times 10^{-3}$	29	0.961	部分負荷時の測定データを含む実船測定

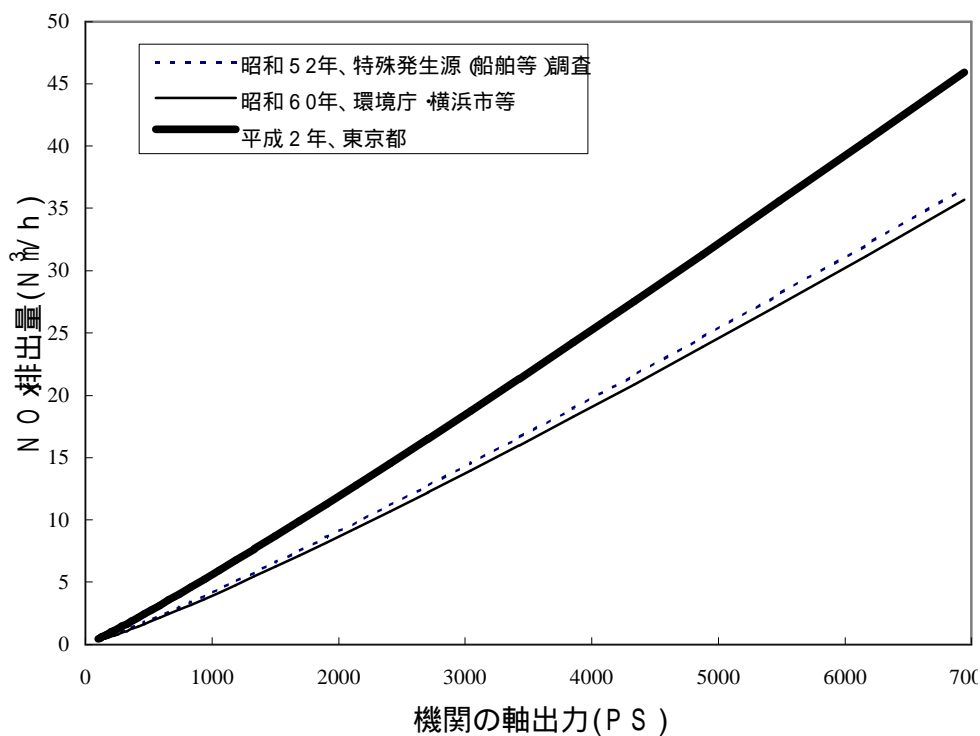


図 3.1-5 機関出力をパラメータとする NOx 算定式の比較

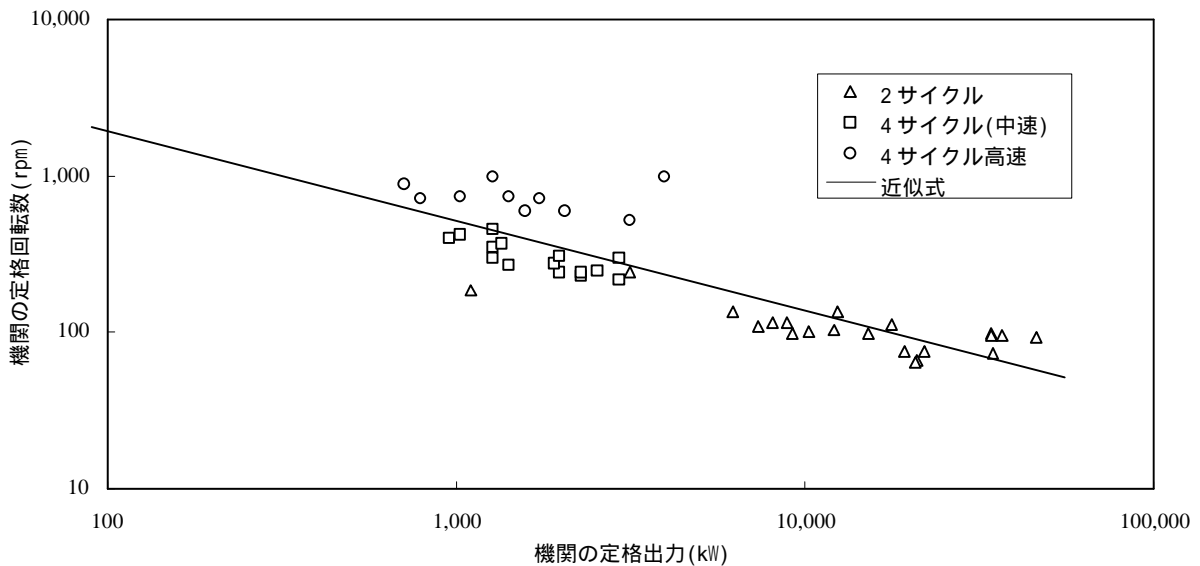
ii. 機関定格回転数をパラメータとする NO_x 算定式の比較

IMO の NO_x 規制値は、機関の規模を現すパラメータとして機関の定格回転数を用いている。

機関の定格回転数と定格出力の関係を図 3.1-6 に示した。データは日本船用機関学会が国内船用機関メーカーを対象に 1994 年度に実施したアンケート結果(日本船用機関学会(1995):船舶大気汚染抑制検討委員会の成果報告予稿集に記載のデータ)を整理したものである。

同関係式からある定格回転数における機関の定格馬力を算出でき、定格馬力時の NO_x 排出量は表 3.1-5 に示す算定式を用いて求めることが可能である。NO_x マニュアル方式の排出量と IMO の規制値の比較を図 3.1-7 に示す。200 rpm 時の計算過程を図中に示した。

NO_x マニュアル算定法による NO_x 排出量は、IMO により規制された NO_x 排出量よりさらに低いことが読み取れる。本結果を踏まえて、本調査では、最新の排出データをメーカー各社から提供頂き、NO_x マニュアルの設定値より高い新たな NO_x 排出係数を設定する。



$$n = 2.599 \times P^{-0.568} \times 10^4$$

n ; 機関の定格回転数 (rpm)
P ; 機関の定格出力 (kW)

図 3.1-6 船用ディーゼル機関における定格時の回転数と定格出力の関係

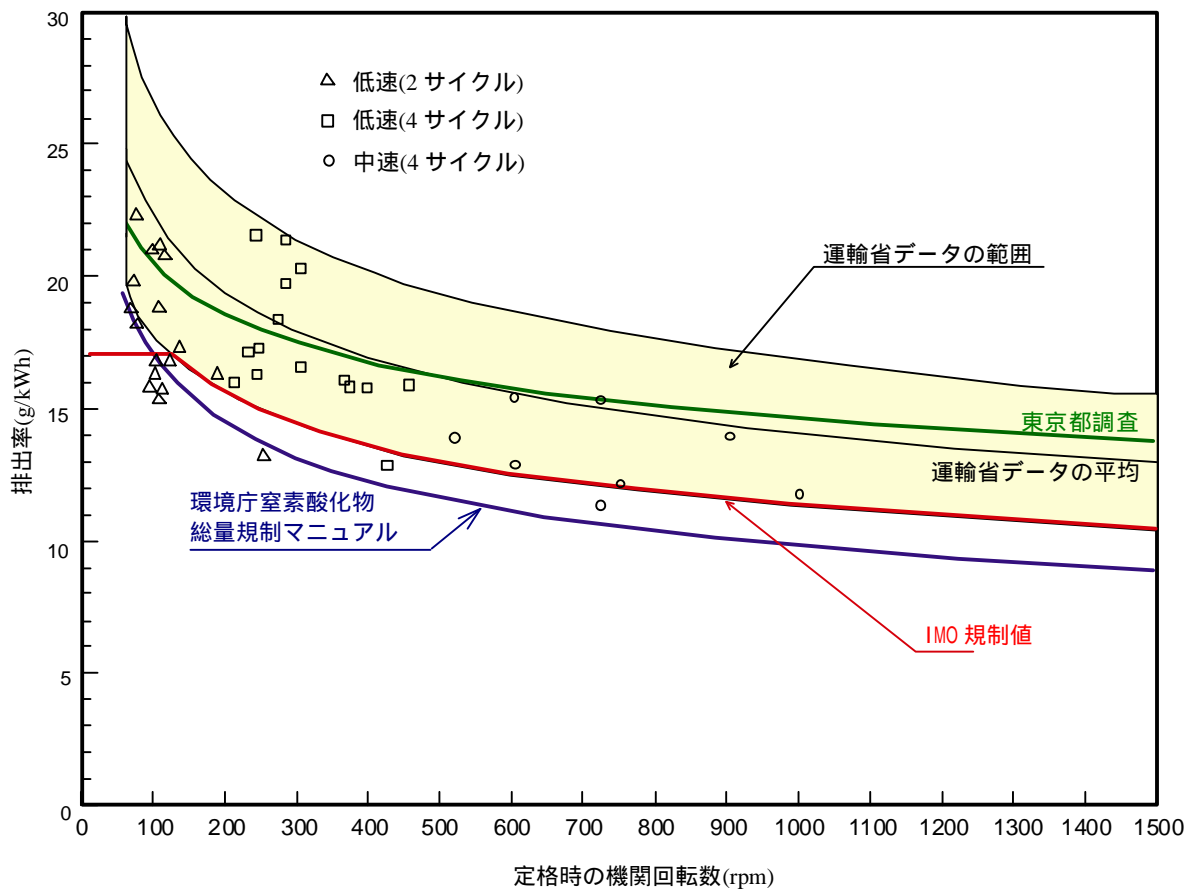


図 3.1-7 NOx マニュアルと IMO 規制値の比較

図中青線で表示した窒素酸化物総量規制マニュアルカーブの計算例

定格回転数 200rpm の場合

図 3.1-6 中の定格回転数と定格出力の関係式 $200 = 2.599 \times P^{0.568} \times 10^4$ より

定格馬力 $P=5,265 \text{ kW}=7,159 \text{ PS}$ と算出できる。

25%、50%、75%、100%の各負荷ポイントにおける NOx 排出量などは下表のとおりに計算できる。なお、NOx 排出量(Nm³/h)は、NOx マニュアルの排出算定式 $N = 1.49 \times (PA)^{1.14} \times 10^{-3}$ を用いた。E3 サイクルの重み付けをした出力は 3,620 kW、NOx 排出量は 50,027 g/h である。

NOx 排出率は $50,027 \text{ g} \div 3,620 \text{ kWh}=13.8 \text{ g/kWh}$ と計算される。

負荷率		100%	75%	50%	25%	合計
出力(kW)	A	5,265	3,949	2,633	1,316	-
出力(PS)		7,159	5,369	3,580	1,790	-
NO 排出量(Nm ³ /h)		37	27	17	8	-
g/h	B	75,898	54,676	24,810	5,108	-
E3の重み係数	C	0.2	0.5	0.15	0.15	-
	A × B	1,053	1,975	395	197	3,620
	B × C	15,180	27,338	5,166	2,344	50,027

イ. 燃料消費率の算定式の検討

船用機関の定格馬力と時間当りの燃料消費量(kg/h)について、NO_x マニュアルの算定式と最新の実測データとの整合性を検討した。

定格出力と定格時の燃料消費量の関係を図 3.1-8に示した。NO_x マニュアルに記載の算定式は日本船用機関学会が収集した最新データとほぼ一致している。これらのことから、機関の馬力当たりの燃料消費量については従来の見解に基づいて計算を行ってよいと考えられる。

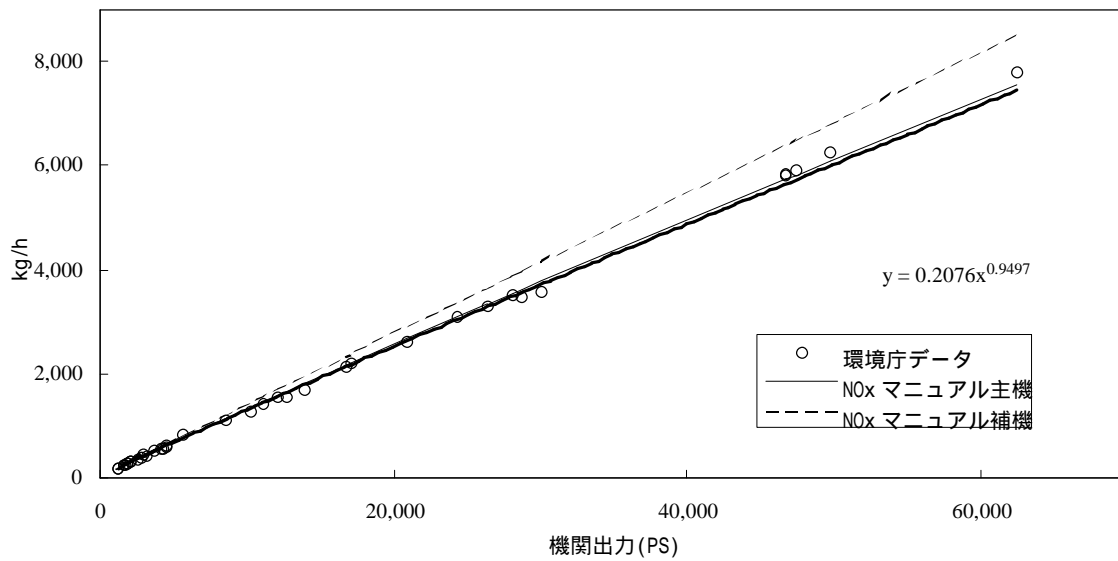


図 3.1-8 船用機関における馬力(PS)と燃料消費量(kg/h)の傾向

(2) 排出量の比較

表 3.1-11に横浜港における排出量を、表 3.1-12に東京湾における排出量の数値を、最近の調査について示した。また各調査における負荷率などの設定と、排出係数の設定とを表 3.1-12に附記した。東京湾における陸上からの排出量は SO_x で 60,800 t(1989年)、NO_x で 186,100t(1991年)である。東京湾においては、両物質とも陸上からの排出量に対して 10%以上の寄与のあることが推定される。

SO_x 排出量は東京湾を対象とした各調査ではほぼ一定の幅の中で推移しているが、停泊中と航行中の割合は各調査ごとで大きな違いがある。これは、表 3.1-12に示すように航行中と停泊中における負荷設定の違いにより生じる燃料消費量の差異および硫黄含有率の推定の相違によるものである。

一方、NO_x 排出量は調査によって 2 倍以上の差が見られ、種々のパラメータの設定により、排出量が大きく影響されていることが推定される。特に、従来調査では、荷役形態に応じた負荷設定を行わず船型または船種ごとに一律の設定を行っていることが大きく影響している。

表 3.1-11中 4 番で示した最新の横浜市による調査では非常に細かい積み上げを行っているが、排出係数に NO_x マニュアルの数値を用いているため、NO_x、SO_x 排出量ともにやや過小評価である。仮に NO_x を IMO ベース(70 g/kg-fuel)で計算すると、おおよそ 1.6 倍の数値となり 4,500t 程度と推定される。

表 3.1-11 横浜港の停泊時の排出量の比較

	調査名称	調査主体	対象年	NO _x 排出量 (t/年)	SO ₂ 排出量 (t/年)
1	東京湾地域 NO _x 調査報告書 (1993年3月)	通産省 (関東通商産業局)	1989年	3,005	4,201
2	船舶から排出される大気汚染物質の削減方策について中間報告書 (1995年3月)	環境庁 (大気保全局)	1991年	7,300	3,950
3	船舶排ガスの環境への影響と防止技術の調査 (1992年3月)	SO 財団	1989年	4,221	1,973
4	横浜市における船舶ばい煙対策に関する報告書 (1996年7月)	横浜市 (環境保全局)	1995年	2,788	3,753
5	船舶からの排出ガスに係わる国際規制対応のための調査研究報告書 (1992年3月)	運輸省 (政策局)	1989年	-*	-*

*東京湾内をメッシュに分けて計算しているため、港湾ごとの排出量は集計されていない

表 3.1-12 東京湾における大気汚染物質排出量の調査ごとの比較

	調査名称	NO _x 排出量 (t/年)	SO ₂ 排出量 (t/年)	負荷等の設定	排出係数の設定
1	東京湾地域 NO _x 調査報告書 (1993 年 3 月)	18,091 航行時 8,236 停泊中 9,855	18,833 航行時 14,262 停泊中 4,570	おおむね NO _x マニュアルの設定 100,000 総トン以上のタンカーは全てボイラー主機船。 補機ディーゼルの負荷は、0.4 前後で船種ごとに設定。 停泊時間比および停泊時間は、神奈川県の実態調査により設定、 大型貨物で 54(36)、大型タンカー 30(18)、大型フルコンテナ 30(18) 航行中は、湾内の 3 次メッシュ毎に、港湾技研のレーダー調査 から平均航行速度を設定、船型船種ごとに設定、通過距離を一 律 1128m。	NO _x マニュアルどおり 硫黄分は、船種ごとに設定主機デ ーゼル 0.9~2.0%、補機デー ゼル 0.8~2.0%、ボイラー補機 2.2~2.3 %
2	船舶から排出される大気汚 染物質の削減方策について 中間報告書 (1995 年 3 月)	30,400 航行時 11,600 停泊中 18,800	19,700 航行時 8,800 停泊中 10,900	全船舶ディーゼル主機船、定格出力は NO _x マニュアル 補機ディーゼルの負荷は、0.4~0.6 で船型ごとに設定。 停泊時間比および停泊時間は、川崎港統計年報により、船種に よらず船型クラスで設定、10,000 総トンでは、39(27) 航路帯ごとに、船型クラスで主機の負荷率および航行速度を設定	NO _x マニュアルどおり 硫黄分は、2.0%を一律に設定
3	船舶排ガスの環境への影響 と防止技術の調査 (1992 年 3 月)	27,143 航行時 12,539 停泊中 14,604	18,958 航行時 9,078 停泊中 9,880	LNG タンカー以外はディーゼル主機船 補機ディーゼルの負荷は、一律 0.4、ボイラーはアンケート調査 による燃料消費量から設定 停泊時間比および停泊時間は、大型貨物で 36(18)、タンカー 12(18)、フルコンテナ 12(18) 航路帯ごとに道路公団のレーダー調査より速度を設定、湾内 での平均負荷は、船型クラスごとに設定、航行時の燃料消費量は 150g/PSh で一定。	NO _x ディーゼル 70 g/kg-Fuel、ボイ ラー 8 g/kg-Fuel に設定(独自の件等 結果の上で IMO と同一) 硫黄分は C 重油および MFO 3.0 %、 MDO 1.0 %、A 重油 0.5%
4	横浜市における船舶ばい煙対 策に関する報告書 (1996 年 7 月)	- (横浜港のみ 計算)	- (横浜港のみ 計算)	民間埠頭およびコンテナ埠頭について、各埠頭ごとの利用時間、 荷役時間、燃料消費量を荷揚げ時、荷積み時別にアンケート調 査し、積み上げ方式。他の公共埠頭は、平均的な積み上げから 設定。 タグボートについても、燃料消費量から推定。 レーダー調査から、航路帯・船種ごとに平均速度を設定し、3 乗 則から、負荷率を設定。	NO _x マニュアルどおり 硫黄分は MFO 2.7 %、MDO 1.0 %、 C 重油 2.3%、A 重油 0.5 %
5	船舶からの排出ガスに係わ る国際規制対応のための調 査研究報告書 (1992 年 3 月)	26,800 航行時 16,500 停泊中 10,300	17,600 航行時 9,400 停泊中 8,200	湾内のメッシュ(5km×5km)ごとに、通過船舶数、停泊船舶数を、 貨物船、タンカー、客船の 3 種類で設定。 停泊中は船種ごとの燃料消費量から算出 航行時の主機負荷率は、50%で一律	主機ディーゼルに関しては実測値 に基づく回帰式、補機ディーゼルは 70 g/kg-Fuel、ボイラーは 8 g/kg-Fuel 硫黄分は、A 重油 1%、他は全て 3%

3.2 排出係数に関する実態調査

3.2.1 船用機関製造業者の実地調査

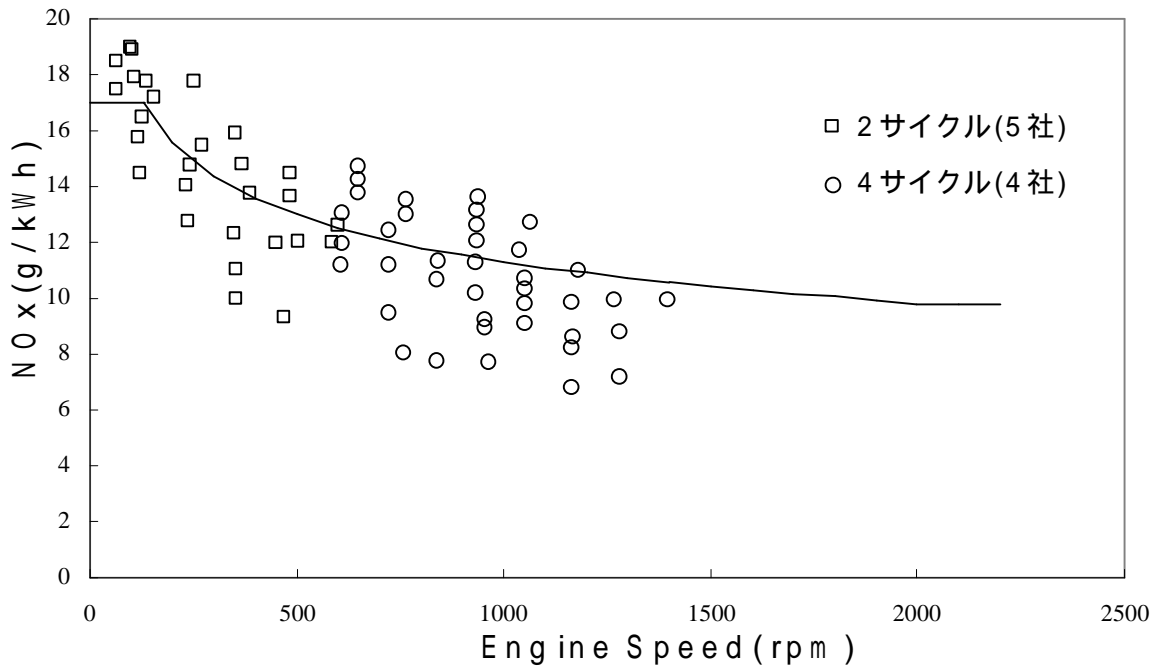
IMO 規制に対応するために、船用メーカーでは機関の NO_x 濃度の測定データを計測しており、NO_x 排出率を計算している。このため、E3 モードの測定点として定められた、25%、50%、75%、100%の各負荷点における NO_x 排出濃度および燃料消費量を計測している。

しかし、グローバルな排出量を考慮する場合には、E3 サイクルでの重み付けを行うと部分負荷時の影響が大きすぎることも考えられ、通常の航海出力付近での NO_x 排出量をベースにすることがより実態にあうと考えられた。

そこで、メーカーの 2 サイクル 31 機種、4 サイクル 34 機種のテストベッドにおける測定値のうち 100%および 75%負荷における NO_x 排出量のみを図 3.2-1に示した。定格回転数では 68~1420 rpm、ボアでは 180 ~ 7800 までの広範囲な機関を対象とした。対象となっている機関は一部 IMO 規制に合致するが、既存の機関データも含んでいる。測定点の数値の NO_x 濃度については、Technical Code(=ISO 8178 Part1)に記載の NO_x 濃度補正式を用い大気条件の補正を行った。

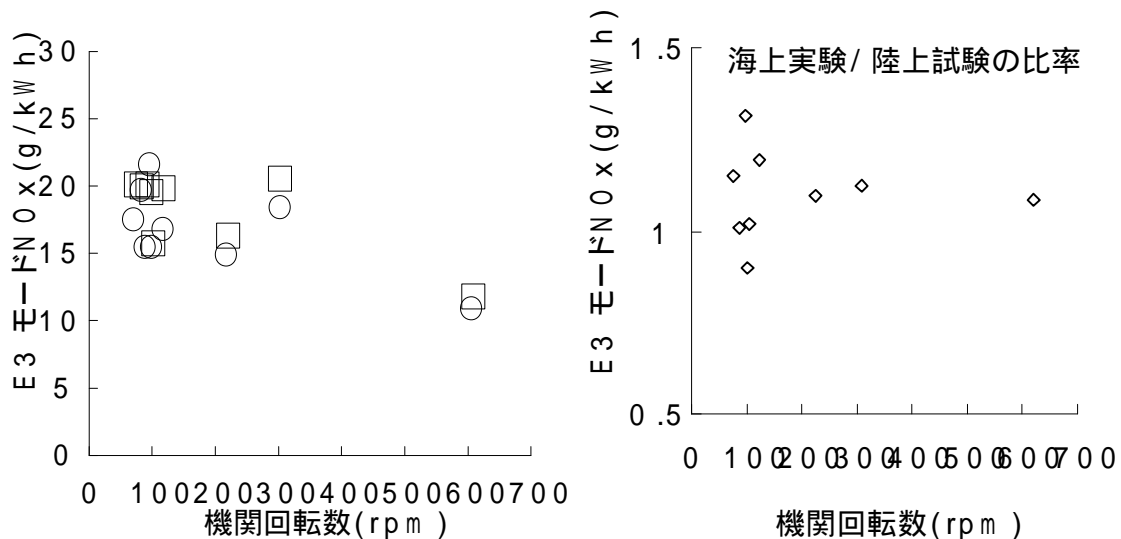
メーカー測定値はおおよそ IMO の規制値の曲線上に分布しており、高負荷域においては、IMO 規制値を近似値として用いることが妥当であると思われた。ただし、これらの値はテストベッドでの A 重油での測定値であることに注意する必要がある。海上でのデータの蓄積はメーカー側にも少なく、過去においても Lloyd's や(財)日本造船研究協会が調査を行っている程度である。

(財)日本造船研究協会では、平成 6 年度から平成 8 年度の 3 ヶ年にわたり SR 224 研究部会として実船排気ガス測定を実施している。同調査における陸上と海上の NO_x 排出係数の差異を図 3.2-2に示した。SR224 のデータは全般に今回収集のデータより高い値が多く、20 g/kWh 以上と IMO 規制値を超えるものも少なくない。また、陸上と海上との比率を見ると、平均的には 10%以上海上での排出率が高くなっていることが、読み取れる。報文中でも NO_x 補正後の値でも、E3 モード下での陸上と海上の差異は 8.6%程度残るとしており、テストベッドでの値をそのままグローバルな排出係数に当てはめることは、過小評価となる危険性があると考えた。また、燃料の違いも存在し、IMO の議論では燃料の違いにより最大 15%の誤差を認めることで議論が進んでいる。そこで、本調査では収集したテストベッドの値を 10%増加させた値を海上における NO_x 排出係数とした。



船用メーカーが測定したテストベットにおけるNOx排出量(補正後)を100%負荷および75%負荷における回転数でプロットしたもの。

図 3.2-1 NOx 排出量データ(100%および75%負荷のみ)



が陸上での測定を が海上での測定を示す。
日本船用機関学会(1998)：実船排気ガス測定、日本船用機関学会誌, Vol. 33, No. 5 より作成

図 3.2-2陸上と海上のNOx 排出量データ(SR224 における試験結果)

表 3.2-1では100%負荷時および75%負荷時における燃料消費量当たりのNO_x排出量を示した。これによって小型の4サイクル機関では排出係数が小さくなっていること、およびテストサイクルによって大幅に排出係数が異なることがわかる。したがって、排出量算定において船型や船種ごとに排出係数を選定することが重要となる。

表 3.2-1 燃料消費量当たりのNO_x排出データ

単位 ; g-NO_x/kg-Fuel

	サンプル数	単純平均	最高値	最低値
2サイクル機関 (高負荷時)	57	89.5	95.8	68.8
2サイクル機関 (E3モード時)	57	88.2	89.5	69.1
2サイクル機関 (50%以下)	57	68.3	80.2	54.3
4サイクル機関 (高負荷時)	63	56.4	75.6	46.3
4サイクル機関 (E3モード時)	62	55.8	80.3	49.6
4サイクル機関 (50%以下)	62	50.2	55.6	47.8

2サイクルは31種類、4サイクルは34種類
NO_x補正は行っている。

また、表 3.2-1の数値は陸上での測定であり、既に述べたように、海上における排出率の増加を見込まなければいけない。次に機関の回転数および重み付けのカテゴリーで、整理を行った。その結果を表 3.2-2に示した。ここで、適用の欄は、その機関が主機として使用されるか、補機として使用されるかで、重み付けが異なることを示している。また、回転数は、3.4章で実際に船型ごとにNO_x排出係数を設定する場合に、小型船、大型船、特大船に、これらの回転数カテゴリーの主機が搭載されるものと仮定した。実際のNO_x排出率については、表 3.2-1に示したNO_x排出率に10%の増加を見込み、計算を行った。最終的な計算結果としては、前回のSO財団の調査の設定値70g/kg-Fuelに比較すると1割以上全体に増加傾向が見られるが、個々のカテゴリーの差異は、最高でも12%程度と小さくなった。

表 3.2-2 仮想的な機関毎に見た海上での NOx 排出率

単位 ; g-NOx/kg-Fuel

機関の種類	重み付け	適用	回転数	NOx排出率
2サイクル機関	高負荷時のみ	主機	80rpm未満	93
2サイクル機関	高負荷時のみ	主機	80-100rpm	90
2サイクル機関	高負荷時のみ	主機	100rpm以上	88
2サイクル機関	E3モード時	補機	100rpm以上	84
4サイクル機関	高負荷時のみ	主機	400rpm未満	87
4サイクル機関	高負荷時のみ	主機	400-1200rpm	86
4サイクル機関	高負荷時のみ	主機	1200rpm以上	84
4サイクル機関	E3モード時	補機	1200rpm以上	83

高負荷時のみは、75%および100%負荷を1:1で重み付けをした。

E3モード時はIMO規制値の算定と同等の重み付けをした。

3.2.2 燃料消費量当たりの排出係数の比較

過去の調査における燃料消費量当たりの排出係数の比較を表 3.2-3に示した。表のうち、IPCC 以外の調査においては CH₄ と NMVOC の区別を行っていない。両者の合計値(THC; Total Hydro Carbons)として示している。測定方法としては、THCの方が容易であるが、地球温暖化指数や、光化学反応における反応性が、CH₄と NMVOC とで大きく違うため、近年は両者を区別して取り扱う場合が多い。

NO_x について細かく見ると、IMO の report を基にしている 70 g/kg-Fuel と、Lloyd's の実測値に基づく 80 g/kg-Fuel 以上の数値のグループに分かれている。IPCC のガイドラインも 1996 年の revised 版では、NO_x の排出係数を変更している。平成 2 年度の SO 財団の調査においては、4 Cycle で 70.6 g/kg-Fuel、2 Cycle で 96.7 g/kg-Fuel と単純平均を出した上で、ボイラー主機船を含めて 70 g/kg-Fuel という係数を設定している。

一方、CO と PM については設定値に二倍以上の開きがあり、NO_x に比較して情報量の少なさを反映しているものと思われる。

CO₂ についても船用燃料の熱量推定値の違いによる差が見られる程度で、3,150 g/kg-Fuel 前後の値を用いて大きな誤差は生じないと考えられる。

SO₂ については、燃料油中の硫黄分がすべて SO₂ に転換すると仮定すると、硫黄含有率を s % として、SO_x 排出量は 20s g/kg-Fuel と計算できる。

$$\text{燃料 1 kg 中の硫黄(g)} = 1000 \times s \div 100 = 10s$$

硫黄の分子量 32、酸素の分子量 16 より、SO₂ 分子量は 64 と計算される。

$$\text{硫黄含有量から計算される SO}_2 \text{ 量 } 10s \times 64 \div 32 = 20s$$

しかし、表 3.2-3に示すように、IPCC などでは、21s g/kg-Fuel と表現されている場合が多い。これは、ロイドが実測した実測値をもとに計算された関係式であり、その理由として測定前の低負荷運転時に排気系内に残留蓄積していた SO₂ が、測定時の高負荷運転(85%MCR)時に排出されたためによると説明されている。しかし本調査のように、ocean going や年間を通じての排出量においては、蓄積した SO₂ は平均的に排出されると考えられるので、理論値である 20s がグローバルな排出値としては適当であると考えられた。

表 3.2-3 燃料消費量当たりの排出係数の比較

単位:g/kg-Fuel

		NOx	CH ₄	NM VOC	CO	N ₂ O	SO ₂	PM	CO ₂
1	IPCC/OECD(1994)	87	n/a	n/a	1.9	0.08	-	-	3,212
2	IPCC/OECD(1996)	70	n/a	n/a	7.4	0.08	-	-	3,212
3	IMO (1989)	70		3	1.5	-	60 20	2.5	3,110
4	SO 財団 (1992)	全体	70	3	1.5	-	20s	2.5	3,110
		4 cycle	70.6	-	-	-	-	-	-
		2 cycle	96.7	-	-	-	-	-	-
5	Lloyd's (1993)	Low Speed	84	2.5	9	-	21s	-	3,165
		High Speed	59	2.7	8	-	21s	-	3,250
6	日本船用 機関学会 (1995)	全機種平均	66.8	3	-	-	21s	2.5	3,110
		4 cycle	58.5	3	-	-	21s	2.5	3,110
		2 cycle	83.9	3	-	-	21s	2.5	3,110
7	CIMAC (1998)	High Speed	70	3	9	-	20s	1.5	3,200
		Medium Speed	57	2.4	7.4	-	20s	1.2	3,200
		Low Speed	87	2.4	7.4	-	20s	1.2	3,200
8	本調査	4 cycle	56	-	-	-	-	-	-
		2 cycle	90	-	-	-	-	-	-

-は記載がないことを示す。

N/A は、無視できる程度に小さいことを示す。

s:燃料中の硫黄含有率(%)

IPCC(1994) ; Greenhouse Gas Inventory Reference Manual のうち Ocean Going Ships を示した。

IPCC(1996) ; Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual のうち、Ocean Going Ships を示した。

IMO (1989); MEPC 29/18.1989 Prevention of Air Pollution from Ships, Including Fuel Oil Quality のうち Diesel Ships を示した。

SO 財団(1992);船舶排ガスの環境への影響と防止技術の調査

Lloyd's (1993); Lloyd's Register Marine Exhaust Research Programme: Steady state operation

日本船用機関学会(1995);船舶大気汚染抑制検討委員会の成果報告より、4 サイクル 39 機関、2 サイクル 19 機関の測定値の単純平均値

CIMAC(1998); Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Ships, Carlo Trozzi *et al*, CIMAC Congress 1998

3.2.3 実船計測

(1) 調査の概要

測定分析装置の設置が容易な船舶として、船倉内および機関室へのアクセスの利便さ、外洋において航海すること、陸上からのメンテナンスを受ける容易さなどを考慮して、表 3.2-4に示すように2サイクル、4サイクルを搭載する2隻のフェリーを対象とした。

各船舶では通常の運航時において排気ガスを連続測定するとともに、JIS Z8808 法によるばいじんの測定を行った。

表 3.2-4 実船計測対象船舶

	4 サイクル	2 サイクル
総トン数	約 12,000 総トン	約 7,000 総トン
搭載主機	17,100PS(@400rpm) × 2 基 570 × 620 mm	14,600 PS(@141rpm) × 1 基 500 × 1,620 mm
駆動方式	CPP(減速機付き)	CPP
燃料	C 重油(180cSt 級)	C 重油(180cSt 級)
航海速力	約 23 kt	約 20 kt
測定期間	1998 年 12/15 ~ 12/20	1999 年 1/19 ~ 1/24

(2) 測定機器

ア. 測定項目

NO_x (NO 及び NO₂) , SO₂ , CO₂ , CO , THC , PM , 排ガス量

イ. 排ガスサンプリング位置

両船舶とも排気ガスエコノマイザーの上流側より採取した。採取点においてはピトー管により流速の測定を行い、管の直径方向での変化が少ないことを確認した。定常時の平均的な流速は、15 ~ 20m/sec 程度である。

ウ. 連続ガス濃度測定機器

機関部からの情報として、軸回転数、燃料ラック位置、燃料消費量、排ガス温度、掃気圧、ペイロードなどを連続記録した。また、大気条件として気温、湿度などを連続記録する。燃料性状については、別途、動粘度、密度、比重、CCAI、硫黄分、

灰分、水分、沈殿物などを分析した。

連続ガス測定機器は、内燃機関排ガス、煙道排ガス、その他排気ガスや大気汚染物質の放出量の監視などを目的とした各種検査、各種試験でのサンプルガス測定など多くの分野で幅広く使用されており、バッチサンプリングと比較した場合、その安定性、大量データ採取の際の取り扱いの容易さなどは高く評価されている、このため、JIS B7981(SO₂)、B7982(NO_x)、B7983(O₂)、ISO 8808-1を始め、多くの測定標準方法に認定されている。

今回の測定においては以下に示す船舶排ガスの特性に対応できる機種を選定した。

細かいすす(ばいじん)が多く含まれている。 前処理を充分施す必要がある

排気温度が比較的高く、絶対湿度が高い。 前処理を充分施す必要がある

測定機器の設置場所に振動が多い。 防振対策を充分施す必要がある

ボイラー排ガスと比較して酸素濃度が高い。 酸素の干渉の少ないもの

各測定項目で用いた測定機器及び測定原理は以下のとおりである。以下に各測定原理について述べる。

測定項目	機器名	測定原理
CO ₂	VIA510-CO2	NDIR(Non -dispersive Infra Red analyzer)
O ₂	MPA510-O2	磁気圧式(paramagnetic detector)
CO	VIA510-CO	NDIR
NO _x	CLA510SS-NO _x	CLD(Chemiluminescent detector)
SO ₂	VIA510-SO2	NDIR
THC	FIA510-THC	HFID(Heated flame ionization detector)

i. NDIR(Non -dispersive Infra Red analyzer)について

CO₂計、CO計およびSO₂計については、NDIR(非分散型赤外線分析計)を同一の原理として用いており、各分析形の違いは対象ガスによる測定周波数の違いのみである。一般に分子は、赤外線領域の光を受けるとその分子固有の振動および回転スペクトルによって決まる特定の波長域を選択的に吸収することが知られている。その吸収量は圧力一定のガス体では濃度に比例する関係を示すことが

知られている。

赤外線分析計は、この原理に基づいて測定成分による吸収による圧力変化を利用することによってその成分の濃度変化を連続的に測定するものである。次図のように光源から放出される赤外線は回転するチョッパーにより断続光となって測定対象排ガスが通過する「試料セル」および N_2 ガスなど赤外線吸収の無いガスがあらかじめ封入された「基準セル」の各測定セルを通過したのち、検出セルに入る。検出セルには測定対象ガス成分が封入されており、チョッパーの間隙光によって内部では圧力振動が生じている。検出セルには薄膜が中心に設けられており、その膜の振動量を電極間容量の変化によって電気出力として検出する。この部分の原理はコンデンサーマイクと全く同一のものである。したがって、セル自身の微振動を拾うと正確な信号を取り出すことが困難となる。

試料セルを通過する赤外線が対象ガスによって吸収されると検出セルに入射する赤外線光量が減少する。したがって、検出セル内右側の圧力の変化のみが減少し、膜の振動量が減少し、対象成分の濃度変化のみを知ることができる。連続運転による検出セル内の温度上昇は検出セルが薄膜により接合されていることにより補償されている。

図中のグラフに示すように、試料ガス中に吸収波長域が測定成分の波長域と一部重なるような成分が含まれるような場合には、干渉フィルターセルにあらかじめ干渉成分を封入したり、回転セクタ後ろにソリッドフィルタを設けることによって重なり合う波長域の赤外線をあらかじめ取り除くなど、その影響を受けないような工夫がなされている。

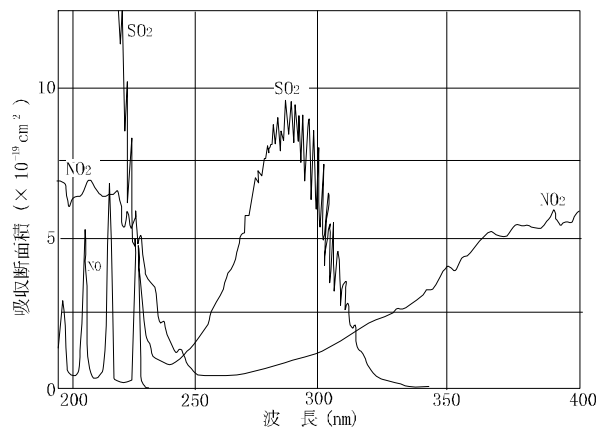
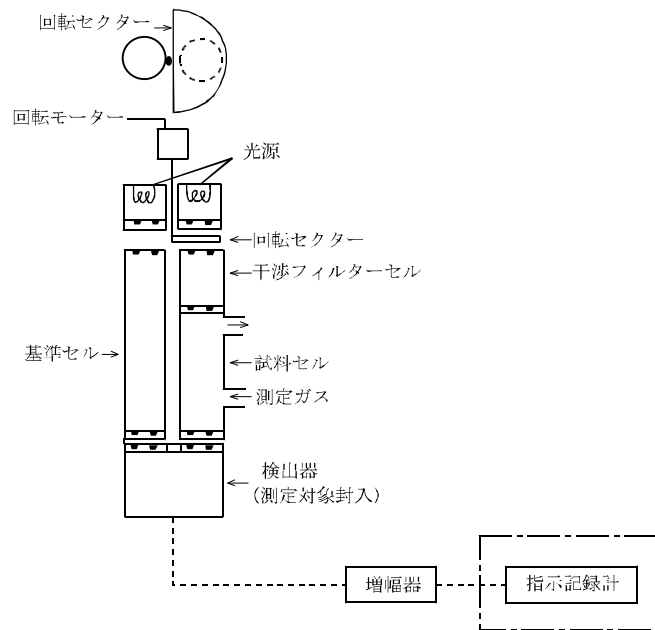


図 3.2-3 NDIR の測定原理

排ガス中には妨害成分が多く含まれることから、CO、CO₂計に用いられている赤外線分析計は、さらに複雑な機構を用いている。基本原理は標準形と同様だが、この方式は下図に示すように複数個の検出セルが同一光学系に並べて配置されている。

つまり、MAIN側（測定用）検出器とCOMP側（補償用）検出器とから構成され、MAIN側には、対象ガス+H₂Oなどの干渉ガスが、COMP側には干渉ガスのみが封入されている。

MAIN側では測定成分A+妨害成分Bの信号を取り出し、COMP側では妨害成分Bの信号を取り出す。これを最終的に演算して測定成分が取り出される。

これによって

- (1) 測定ガス中の成分ガスによる干渉影響
- (2) 外部からの振動などの外乱影響
- (3) 光源部、セル部の劣化などによるドリフト

など、計器の不安定要因の影響を大幅に軽減できるようになっている。

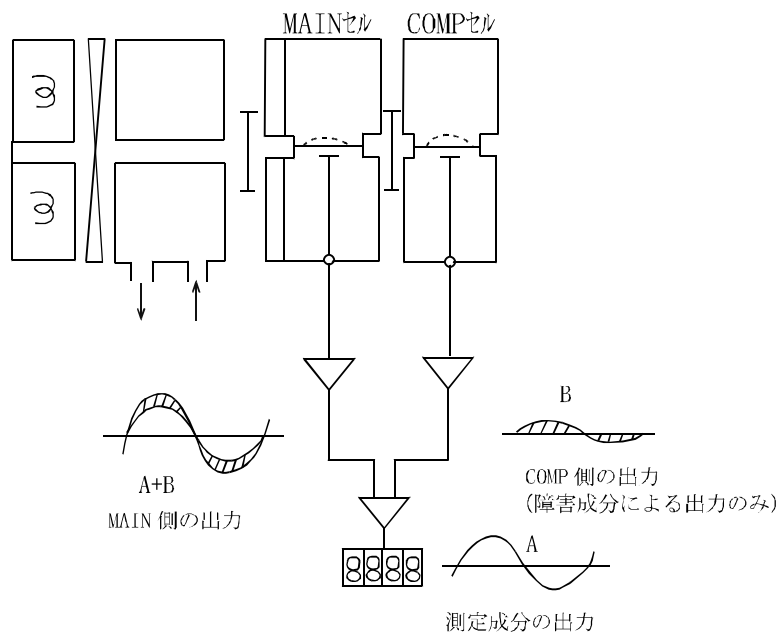
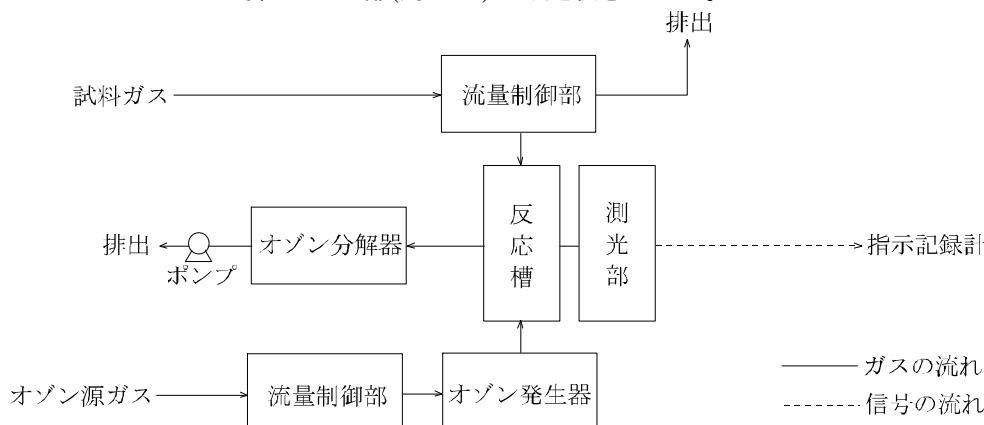


図 3.2-4 干渉成分が多い場合に用いられる複合セル式 NDIR の測定原理

ii. CLD(ケミルミ法)

本測定では、NO_x計はCLD法を原理として用いている。一酸化窒素はオゾンと反応して化学発光を起こすことが一般に知られている。NOを含んだ試料ガスとオゾンガスを容器(リアクタ)内で混合すると次の反応が起こる。NO₂に酸化される時、その一部(約10%)が励起状態にある。



NO₂* : 励起状態の NO₂ 分子

図 3.2-5 CLD (ケミカル法) の原理

この励起状態の NO₂ 分子が基底状態に戻るときに励起エネルギーを光(波長 590 ~ 875 μ m)として放出する。この励起光をフォトマル(光電子増倍管)で増幅変換して濃度を求める。NO 濃度で 0 ~ 数%程度まで励起電流との間に直線関係があることから検出感度が高い。このため、反応セルの大きさも数 cm³ 程度の容積で充分である。また、NDIR と異なり測定光学系に可動部がないことから振動にも強いと言われている。



燃焼排ガス中にはオゾンと結合して化学発光を生じさせる成分は含まれていないが、CO₂ は発生した励起エネルギーを奪う性格(クエンチング;消光作用)があることから、負の誤差を与える。それ故、今回は CO₂ との衝突確率を少なくするためにセル内の圧力を下げたセミ減圧方式による測定機を用いた。本測定においても、減圧状態を生じされるために流路途中に設けられたキャピラリが粉じんにより詰まるというトラブルが一度発生した。

iii. HFID

水素炎中に炭化水素が導入されると、ジェットノズル先端で燃焼している高温のエネルギーによって複雑なイオン化が生じる。

炎をはさんで対向した電極を設けてその間に直流電圧を印加すれば、炭化水素の炭素数に比例した微少なイオン電流が流れる。この方法はこの電流を高抵抗を介して、電圧に変換し全炭化水素量を測定する方法である。

水素炎イオン化法による炭化水素濃度の測定は試料ガス中の CO , CO₂、 H₂O , NO , NO₂ 等の無機ガスは指示に影響を与えないが、 O₂ (酸素) の濃度変化は指示に影響を与える。この影響のしかたは複雑で様々な因子で変化し、一般に酸素干渉と言われている。各種流量、燃料組成、燃料組成の比、デテクタの構造(酸素の有無)等によって変化する。

iv. 磁気圧法

不均一磁界中に常磁性の気体が存在すると常磁性体は磁界の強い方に引きつけられてその部分の圧力が上昇する。O₂ ガスは他のガスに比較して常磁性が非常に強いことを利用したものである。

圧力上昇 P は次の式によって示さる。

$$\Delta P = \frac{1}{2} H^2 X C$$

H : 磁界の強さ

X : 常磁性体の磁化率

C : 常磁性体の濃度

非磁性の気体(窒素)を使って磁界外に圧力上昇を取り出し、電磁石を交番励磁し、圧力変化をコンデンサーマイクロホンで電気信号に変換する。出力は酸素濃度に対してリニアとなる。

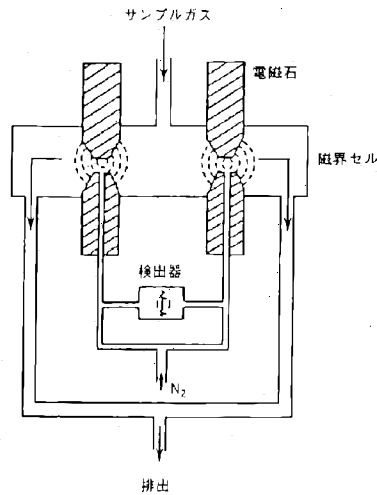


図 3.2-6 磁気圧法の原理

エ. ばいじんの測定 (Z8808 方式による Hot Filter 法)

JIS Z8808 の対象となるダストは排ガス中に含まれる固体粒子であって付着水分を除いたものである。この場合、結合水分など、この規格に基づく測定によって秤量されるものはダストとみなすとある。

i. 測定方法の概要

ばいじん測定方法の概要を次図に示す。

JIS の規定により選定したダクトの測定位置(通常中心点)に測定孔を設置し、測定孔を含むダクトの断面内に規定に従って測定点を定める。測定孔からダスト試料採取装置の吸引ノズルをダクト内部に挿入し、その先端を測定点に一致させ、排ガスの流速と等しい速度で排ガスを吸引(以下、等速吸引という)し、ダスト捕集器によりろ過捕集したダスト量および同時に吸引したガス量からダスト濃度を算出する。ろ過のためのフィルターはあらかじめ秤量してあり、補集後の秤量との差からダスト量は算出できる。通常補集量は、0.02～0.05g 程度であって、これ以上補集するとフィルターの詰まりや破損が生じることが多い。

この測定において、普通形吸引ノズルを用いてダスト試料を採取する場合はダスト試料採取条件の決定および全断面の平均ダスト濃度の計算のため、あらかじめ各測定点における等速吸引ガス流量を求める必要がある。そのため、各測定点における排ガスの温度、水分量、静圧、単位体積当たりの質量および排ガスの流速などの測定が必要である。

また平衡形吸引ノズルを用いてダスト試料を採取する場合には、あらかじめ排ガスの流速がわかっていなくても等速吸引が可能でありことから排ガスの流速は測定する必要がなく、ダスト濃度を算出することができる。今回は、等速吸引を行うために平衡形吸引ノズルを用いる方法を用いた。

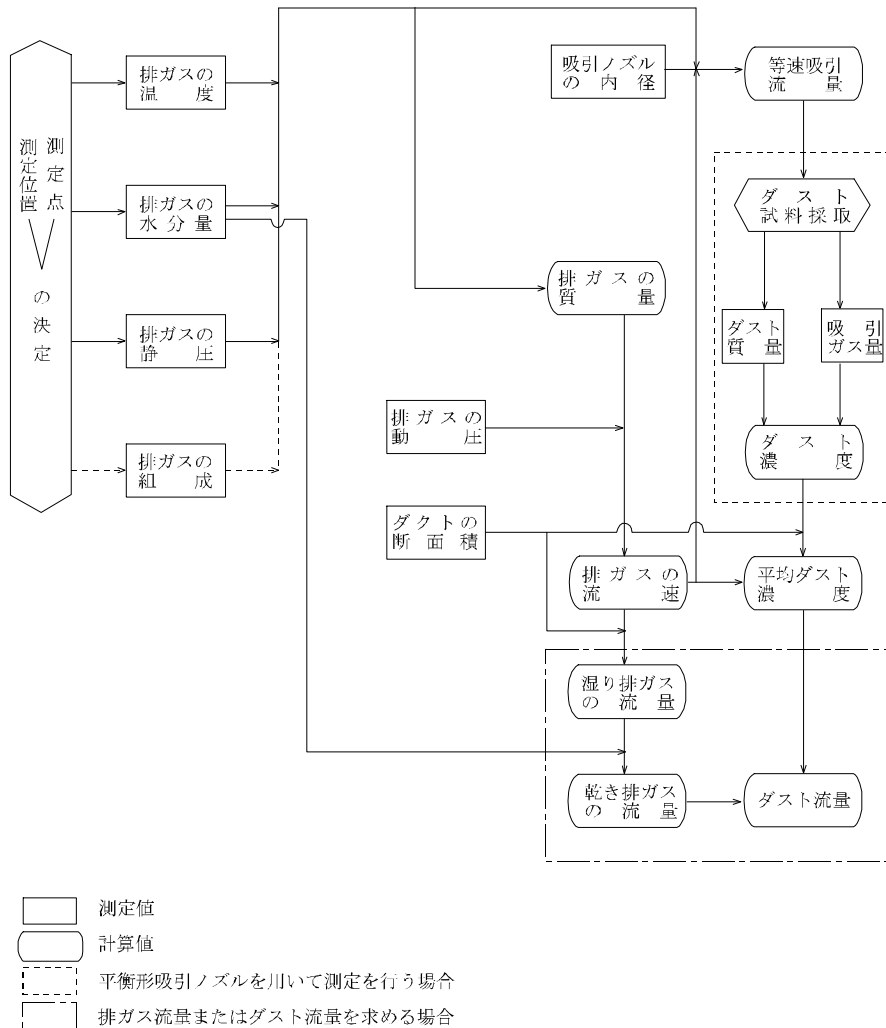


図 3.2-7 ばいじん測定方法の原理

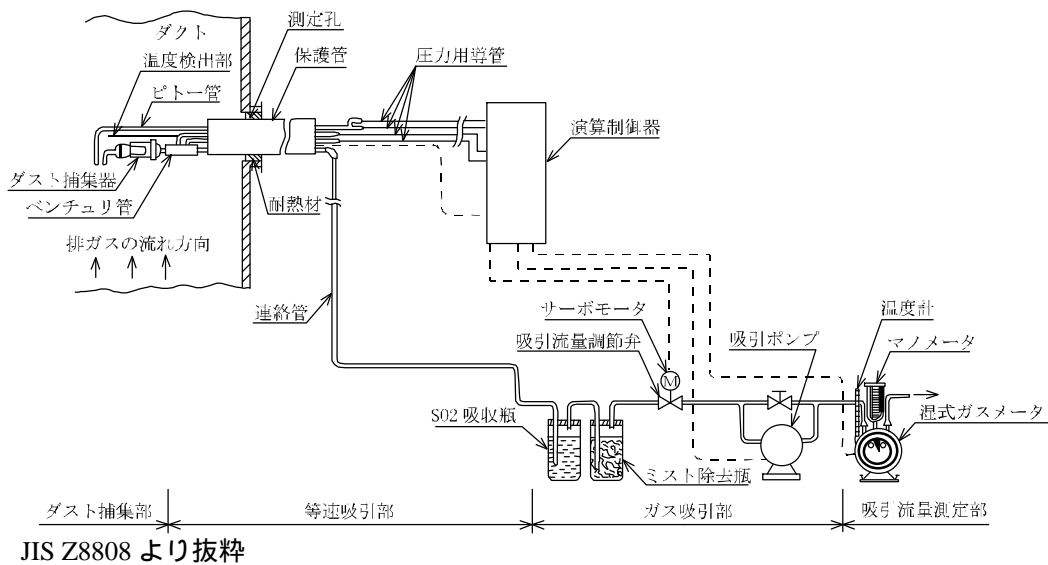


図 3.2-8 ばいじん測定方法の概要

ii. 等速吸引について

ダクト中に吸引ノズルを挿入して排ガス中のダストを採取するには、吸引ノズルを排ガスの流れに直面させ、その測定点の排ガス流速と吸引ガス流速とを等しくする必要があります。下図に示すように、この等速吸引が正しく行われないと、例えば、吸引速度がダクトを流れる排ガスの流速より大であると、排ガス流線が曲げられ、ダストは慣性によりそのまま流れて吸引口には入らないで通過してしまう。したがって吸引ガス流速が排ガス流速よりも大であると、測定結果は真のダスト濃度より小になる。逆に吸引速度が小であると測定ダスト濃度は大になる。

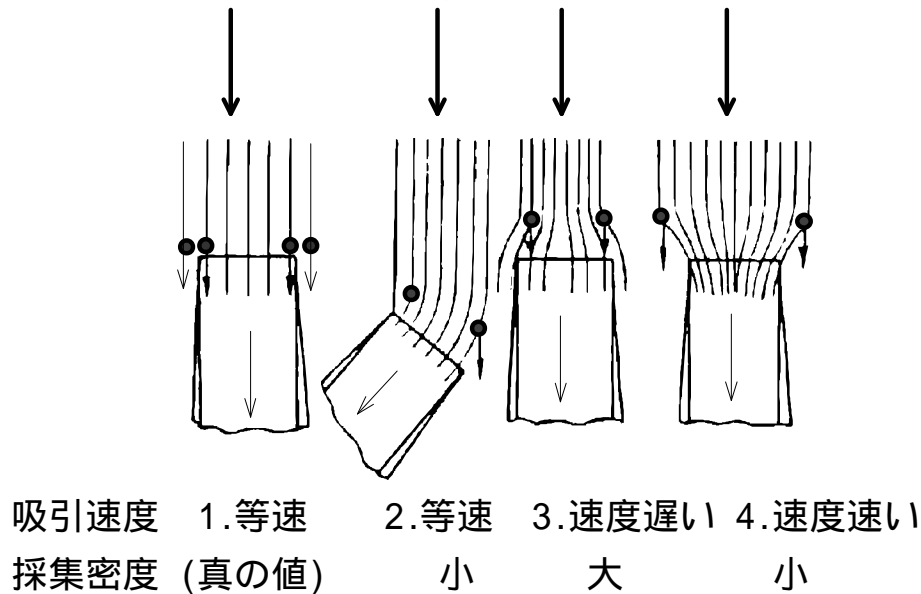


図 3.2-9 等速吸引の模式図

粒子の非等速吸引時におけるサンプリングの誤差については Watson の式

(Watson,1954)が知られている。

非等速吸引による粒子サンプリングの誤差(Watson の式)

$$\frac{C_n}{C_{ref}} = \frac{v}{v_n} - \frac{0.5}{0.5 + P} \left(\frac{v}{v_n} - 1 \right)$$

$$P = \frac{d_p r_p v}{18rm}$$

C_n	観測されるダスト濃度(mg/m ³)
C_{ref}	本来のダスト濃度(mg/m ³)
v	測定点における流速(cm/sec) 本測定の場合、2,500 cm/sec 程度
v_n	ノズルの吸引速度(cm/sec)
d_p	ダスト粒子の平均直径(cm) 通常は 8 μ m 程度
r_p	粒子の平均密度(g/cm ³)
μ	ガスの動粘性係数(g/cm/sec;旧単位系ではポアズ)
r	吸引ノズルの直径(cm) 通常 2,4,6 mm より選択

H.H.Watson, Am. Ind. Hyg. Assoc., Quart, 15, 21 (1954)より作成

下図は、非等速吸引による影響について Watson の式による計算値と石炭専焼の場合の実測値を示したもので、両者はよく一致している。吸引流速が遅い場合の方が誤差が大きいがわかる。吸引ノズルの流速が測定点における排ガス流速より 5%小さい場合および 10%大きい場合で、ダスト濃度の誤差は大体 $\pm 5\%$ 以内となる。

したがって、JIS では吸引ノズルから吸引するガスの流速は測定点における排ガスの流速に対して相対誤差 $-5 \sim +10\%$ 以内とすると規定している。また、測定点における排ガスの流れ方向と吸引ノズルの方向との偏りは 10 度以下と規定されている。本実験では、流速線に対して上記の条件を保つように留意し、ピトー管および採集ノズルの取り付け角を調整した。また、秒速 20 m/sec 程度の流量を確保できるようにポンプの容量とノズルチップの径について検討調整した。

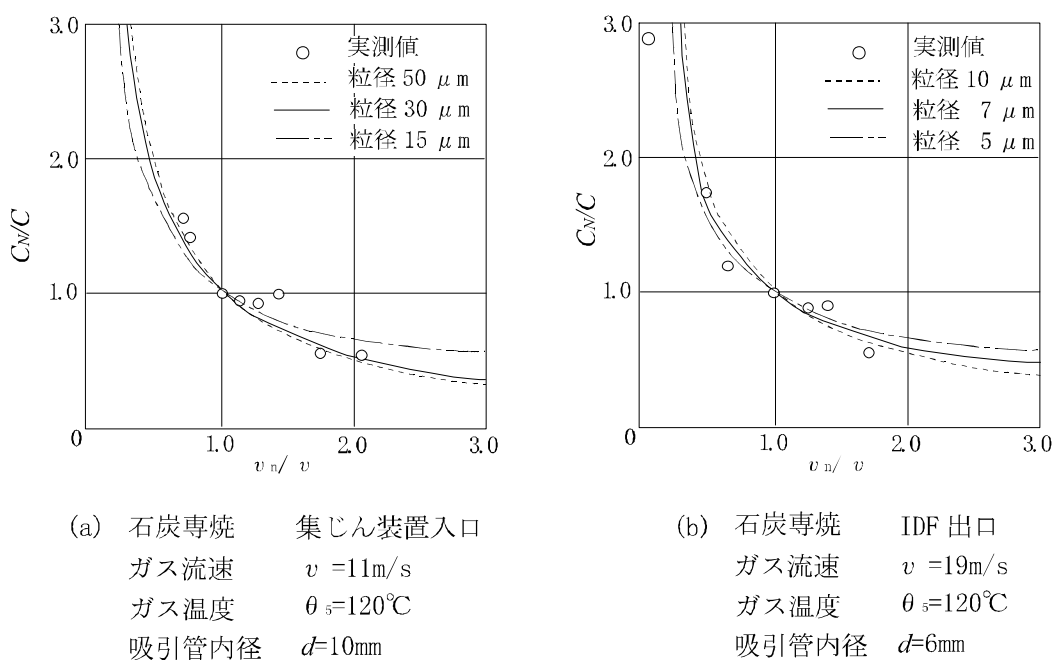


図 3.2-10 非等速吸引による影響

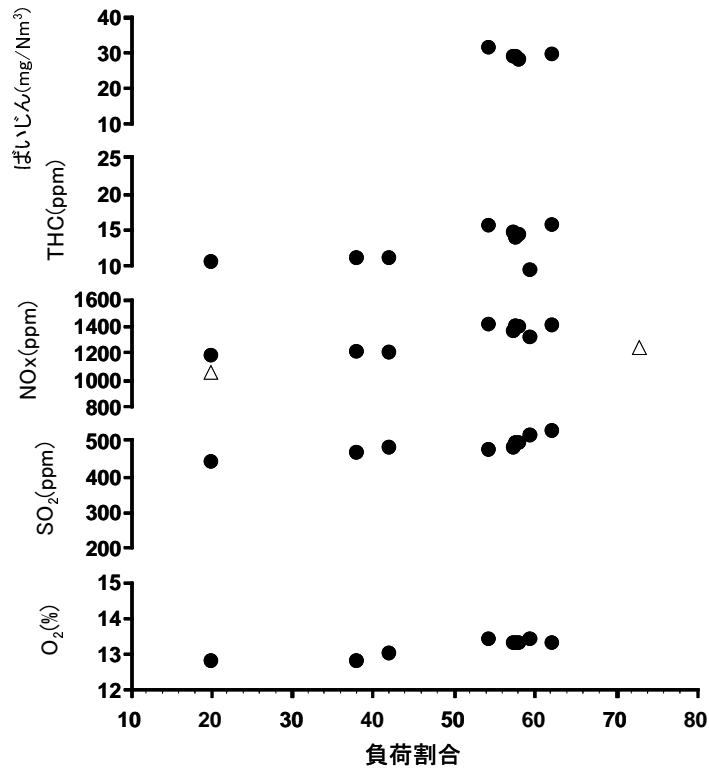
(3) 実測値

対象船舶で使用されている燃料性状は表 3.2-5に示すとおりである。180cSt 級の C 重油としては平均的な性状であると言える。4 サイクル機関の測定結果を図 3.2-11に、定常負荷における排ガスの性状を表 3.2-6に示した。全体に数値は安定しており、測定値は信頼できるものと考えられる。SO₂ 濃度については、計測開始時には理論上の値を示すものの、数時間後には負荷変動がないにもかかわらず減少傾向が見られ、配管の清掃を行った後に再び理論値相当へ回復するなど、配管途中での減耗の可能性が考えられた。

本 4 サイクル機関は、平成 6 年に定電位電解法による簡易測定機を使った NO_x 濃度の測定を行っている。前回測定値を図 3.2-11に参考として で同時に示した。前回測定値は今回と比較してやや低めとなっているが、酸素濃度など他のガス濃度が不明のため、NO_x 測定法の原理の違いに起因する現象と断定することはできなかった。ただし、両者とも NO_x 濃度は負荷に従い微増する傾向を示した。

表 3.2-5 使用燃料性状

項目	単位	4サイクル	2サイクル
		出光	昭和シェル
密度	-	0.9614	0.9484
反応	-	中性	中性
流動点		+2.5	-12.5
引火点		104.0	108.0
発熱量	MJ/kg	43.1	43.6
硫黄分	%	2.63	1.79
残炭	wt%	11.4	8.24
水分	V%	0.00	0.00
動粘度	cSt@50	176	180
灰分	wt%	0.02	0.02
窒素分	wt%	0.186	0.245
真発熱量	kcal/kg	9740	9839
コンラドソン 残留炭素分	wt%	9.94	10.12
窒素分	wt%	0.36	0.65
Va	ppm	63	85
Na	ppm	46	15
Si	ppm	<5	<5
Al	ppm	<5	<5
アスファルテン	wt%	4.54	4.31
炭素分	wt%	86.8	87.2
水素分	wt%	10.7	10.8



が今回の測定結果を、 が平成 6 年の調査を示す。
 ガス濃度はすべて 13%O₂換算値

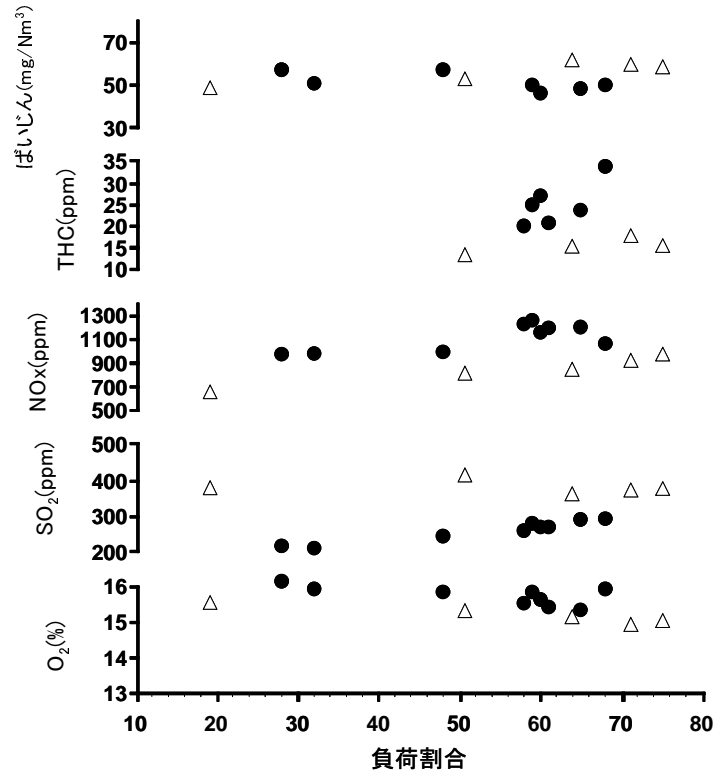
図 3.2-11 4 サイクル機関の海上における汚染物質濃度

表 3.2-6 定常状態におけるガス性状 (4 サイクル機関)

月日	負荷率	O ₂	CO	CO ₂	NO _x	SO ₂	THC	ばいじん
	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	mg/Nm ³
12/15	57.4	13.3	73	5.3	1360	480	14.5	28.9
12/16	58.1	13.3	72	5.3	1390	493	14.2	28.0
12/17	62.2	13.3	73	5.4	1406	526	15.6	29.4
12/18	54.3	13.4	72	5.2	1410	473	15.5	31.4
12/19	57.7	13.3	71	5.3	1396	492	13.8	28.8
12/20	59.5	13.4	66	5.2	1315	513	9.3	-

また、2 サイクル機関については、平成 5 年に同一船舶で測定が行われており、両者の比較を図 3.2-12に、定常状態における排出濃度を表 3.2-7に示した。4 サイクルと同様に定常状態における各排ガス濃度は安定していた。前回の調査に対し今回の測定では、SO_x 濃度が低めである一方、NO_x と THC についてはやや高めであり、ばいじん濃度については大きな差異が見られなかった。これは今回使用している燃料油の硫黄含有率が前回 2.26%に対して 1.79%とやや低いこと、など使用燃料の差が影響していると考えられた。2 サイクル機関と 4 サイクル機関の比較では、4 サイクル機関の NO_x

が若干高い傾向を示した。しかし、定格出力当たりの排出率は4サイクルで14g/kWh、2サイクルで15g/kWh程度と大きな差異は見られなかった。



が今回の測定結果を、 が平成5年の調査を示す。
 ガス濃度はすべて13%O₂換算値

図 3.2-12 2サイクル機関の海上における汚染物質濃度

表 3.2-7 定常状態におけるガス性状 (2サイクル機関)

月日	負荷率	O ₂	CO	CO ₂	NOx	SO ₂	THC	ばいじん
	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	mg/Nm ³
1/19	61	15.4	51	4.3	1186	268	20.6	-
1/20	58	15.5	48	4.3	1215	258	19.8	-
1/21	65	15.3	52	4.1	1190	289	23.5	47.9
1/22	60	15.6	49	4.2	1150	268	26.8	46.0
1/23	59	15.8	53	4.3	1250	278	24.8	49.9
1/24	68	15.9	47	4.2	1056	291	33.6	49.9

3.3 船舶用燃料に関する調査

本節では、船舶に用いられる燃料の性状、使用量などに関する整理検討を行う。

内航船舶は大量輸送を低コストで実施するため、最も廉価な燃料を用いている。課税の対象範囲である A 重油、B 重油、C 重油が主に使われ、ごく一部として灯油、軽油、ガソリンが使用されている。

一方、課税対象とならない外航貿易に従事する船舶に供給される燃料はバンカーオイルと呼ばれている。バンカーオイルは二つの種類に大別され、軽油、A 重油相当の燃料を MDO(Marine Diesel Oil)または MDF(Marine Diesel Fuel)、B 重油、C 重油相当の燃料を MFO(Marine Fuel Oil)と呼ぶことが一般的である。灯油、ガソリン相当の燃料はバンカーオイルとして扱われない。

本章では、3.1 で述べたように、以下の 3 つのカテゴリーにおいて、船舶に用いられる燃料消費量およびその内訳を他の統計資料なども使用しながら検討する。

なお、先に述べたように、周辺海域は沿岸から 200 海里までとした。過去の調査においても、1993 年に運輸省が行った調査^{*1} や 1996 年に環境庁が行った調査^{*2} においても、周辺海域を 200 海里としており、200 海里が周辺海域の定義として妥当であると考えられる。

*1;船舶による日本沿岸域の大気汚染に関する調査研究事業、(日本海難防止協会,1993)

*2;船舶温室ガス排出量等総合調査、1996 年 3 月、日本システム開発研究所

表 3.3-1 各燃料消費量の定義

日本国内における燃料消費量	日本周辺における燃料消費量	世界における燃料消費量
内航に従事する船舶に係する排出量 (タグボート、フェリー、中継貨物、客船を含む)	左欄の合計値	世界各国の内貿合計 (OECD および非 OECD 諸国の統計値合計)
漁業 (ガソリン使用の船外機を含む)		世界各国の漁業合計 (日本の消費量より推計)
プレジャーボート		世界各国のプレジャーボート合計 (日本の消費量より推計)
-	外国貿易に従事する船舶に付随する排出量 (国内港湾に停泊時の排出量および沿岸から 200 海里以内を航行中における排出量)	世界全体の外貿 (地理的な排出範囲を想定しないので、世界各国のバンカー総消費量)

表 3.3-2に本調査で使用する主な統計資料とその調査対象範囲について示した。

日本国内では燃料消費量、貨物輸送量などについてほぼ同じ統計量を扱う資料が 2 種類ある。例えば、内航船の燃料使用量に関しては、通産省エネルギー需給統計年報と運輸省がまとめる日本内航統計年報があり、両者からクロスチェックを行うことも可能である。

しかし、客船、貨物船、ハーバータグボート、漁船などについては統計ごとにその扱いが様々である。また全国規模の統計データでは、船型、船種ごとの内訳が作成されていない場合も多い。

一方、世界各国での統計資料は統計資料成立過程で熱量換算などいくつかの換算係数を乗じているため、国内統計と誤差を生じている場合がある。また、漁業については農水業として一括で取り扱っており、内航についても運輸部門一括で取り扱う資料も多い。

表 3.3-2本調査で用いる主な統計資料とその対象カテゴリー

統計名称			エネルギー需給統計年報(通産省)	内航船舶輸送統計年報(運輸省)	港湾統計(運輸省)	港湾統計(各港湾管理者)	貨物地域流動調査(運輸省)	船舶離着岸用引船現況調査(運輸省港湾局)	漁業センサス(水産庁)	Energy Statistics of OECD Countries (OECD)	Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries	Energy Statistics Yearbook, United Nations			
船舶排出量に関する記載統計量			年間燃料消費量(灯油、ガソリン、軽油、ABC重油別)	年間燃料消費量(ABC重油別) 貨物輸送実績(重量トン実績) トンキロ輸送実績(輸送距離ごとの集計あり)	入港隻数、入港総トン数、仕向け地ごとの荷積み荷卸量	入港隻数、入港総トン数(船種、船型に区別が全国版より細かい)	貨物種類ごとの全国O-Dデータ(内航のみ)。	重要港湾に属するタグボートの隻数、馬力数、年間稼働日数、操船隻数。	総トンクラスごとの、隻数、馬力数、年間出漁日数	燃料消費量 OECD加盟諸国のみ	燃料消費量 OECD非加盟国	燃料消費量 バンカーオイルのみ			
大区分	中区分	小区分													
内買に関わる船舶	貨物	一般貨物	}	}	(入港隻数については、油送、一般の区別なし)	(当該港のみ)		×	×	}	}	}			
		油送船			水運業全体の消費量	(入港隻数については、油送、一般の区別なし)	(当該港のみ)	×	×				内航海運として集計	内航海運として集計	
	フェリー	×			(入港隻数は自航として区別アリ)	(当該港のみ)	×	×						内航海運は運輸部門に含まれる	
外買に関わる船舶	貨物	一般貨物	}	}	(入港隻数は、油送、一般、コンテナの区別なし)	(当該港のみ)	×	×	×	}	}	}			
		油送船			バンカー全体の消費量	(入港隻数は、油送、一般、コンテナの区別なし)	(当該港のみ)	×	×				×	バンカーオイルとして集計	バンカーオイルとして集計
	コンテナ	×			(油送、一般、コンテナの区別なし)	(当該港のみ)	×	×	×						
	フェリー	×				(当該港のみ)	×	×	×						
その他の船舶	漁船	ガソリン機関	×	×	×	×	×	×	(隻数などは統計値があるが、出漁日数などはディーゼル主機船舶のみ)	×	×	(農業に含まれる)			
		ディーゼル機関	×	(避難、荷役のためなどで、漁港以外に入港した場合のみ)	×	×	×	×	×	×	×	×			
	プレジャーボート	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
	ハーバータグ	×	×	×	×	×	(燃料消費量の統計値はない)	×	(内航海運としてカウント)	(内航海運としてカウント)	(運輸部門に含まれる)				

凡例

対象カテゴリーで使用された全使用量が、特定できる記載がされているもの
 対象カテゴリーで使用された全使用分が含まれた使用量が記載されているもの
 対象カテゴリーで使用された使用分のうち、一部が含まれた使用量の記載があるもの
 × 対象カテゴリーで使用された使用分が、調査対象になっていないもの

3.3.1 日本国内における船舶用燃料消費量

(1) 近年の水運業、漁業による燃料消費量の動向

日本国内における内航水運業及び漁業による燃料消費量について、エネルギー生産・需給統計年報に記載の消費量データを表 3.3-3及び図 3.3-1に示した。エネルギー生産・需給統計年報は通商産業大臣官房が実際の燃料の売買量をもとにまとめているものである。石油を取り扱う事業所のうち、大型事業所である甲種については全事業所に対するアンケートから、小型事業所である乙種については抜き取りアンケートから、毎月の燃料の出し入れを把握している。

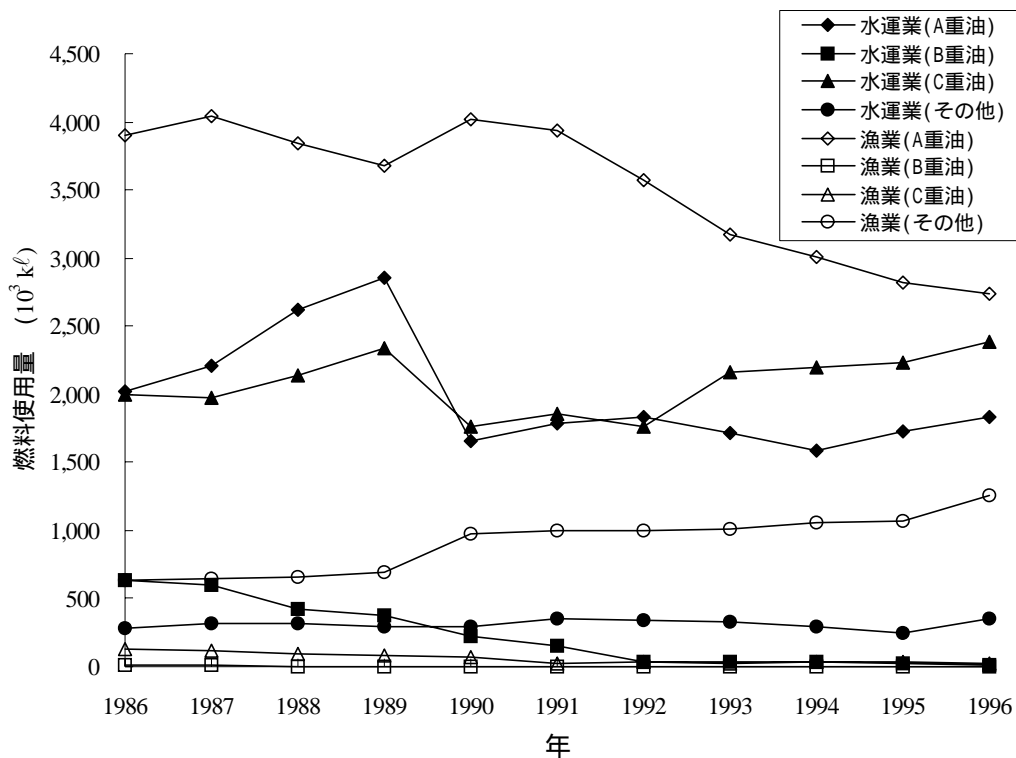
燃料消費量の傾向は横ばいもしくは微増傾向となっている。また、燃料種毎の消費割合ではA重油とC重油で全体の大部分を占めており、特にここ数年においてはB重油はほとんど使われていない。

表 3.3-3 内航水運及び漁業による年間燃料消費量

単位：kℓ

年度	水 運 業						漁 業					
	灯 油	軽 油	A重油	B重油	C重油	潤滑油	灯 油	軽 油	A重油	B重油	C重油	潤滑油
1986	22,729	123,993	2,022,314	639,587	2,001,100	135,775	97,913	497,998	3,905,933	10,288	125,188	40,572
1987	19,676	148,562	2,210,348	601,047	1,972,898	154,550	104,983	497,129	4,043,582	7,349	117,645	39,569
1988	24,852	147,813	2,622,431	422,669	2,138,500	143,897	108,630	517,565	3,841,389	5,559	98,017	35,402
1989	21,219	133,796	2,860,653	372,662	2,336,340	140,504	101,628	557,957	3,681,270	4,299	77,572	34,415
1990	9,482	180,312	1,661,203	224,418	1,758,830	102,247	87,577	849,880	4,017,514	2,485	64,658	40,027
1991	5,907	243,910	1,791,757	158,124	1,852,437	105,914	86,371	872,429	3,932,650	1,902	25,948	36,787
1992	4,942	228,944	1,836,059	37,442	1,767,981	111,743	87,082	878,655	3,570,790	1,023	35,971	32,059
1993	5,602	225,986	1,720,515	39,720	2,157,910	95,892	119,751	866,235	3,171,162	1,061	28,004	27,162
1994	4,628	200,095	1,584,091	34,956	2,193,727	88,425	111,019	926,118	3,012,041	4,655	29,704	26,176
1995	6,316	153,024	1,723,482	26,215	2,229,381	82,796	119,253	929,443	2,822,617	1,546	31,097	25,235
1996	6,670	239,348	1,834,444	12,729	2,388,788	108,278	155,688	1,076,805	2,735,125	1,120	18,581	24,688

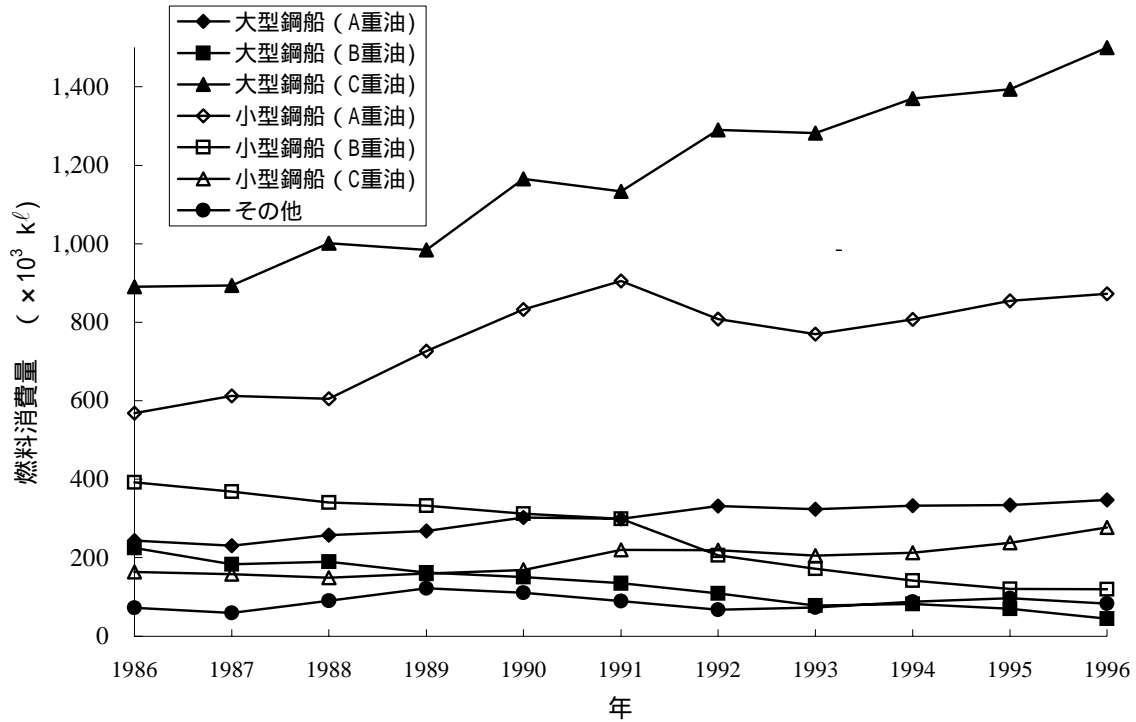
エネルギー生産・需給統計年報（石油・石炭・コークス）通商産業大臣官房調査統計部編より作成。
水運業には、フェリーなどの旅客運送を含む。



通商産業大臣官房エネルギー生産・需給統計年報より作成。「その他」には、軽油、灯油、潤滑油を含む。

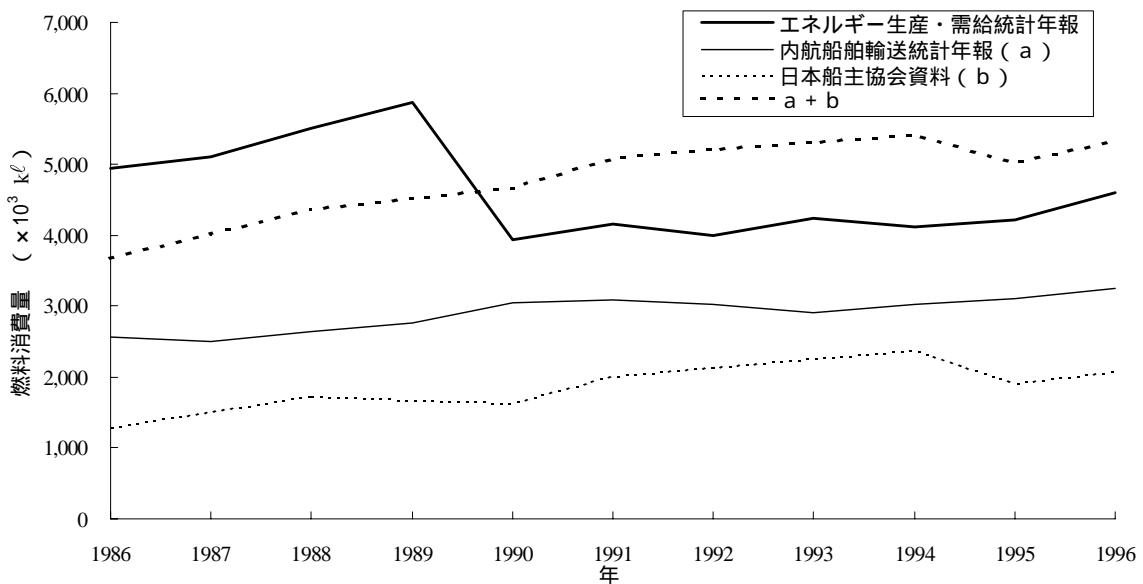
図 3.3-1 内航水運業及び漁業による燃料消費量の年変化

その他、内航水運業による燃料消費量が記載されている資料としては、運輸省運輸政策局情報管理部が編集している内航船舶輸送統計年報と日本船主協会資料による旅客船舶の消費量データとが存在する。図 3.3-2に内航船舶輸送統計年報による船種ごとの燃料消費量を示した。同資料は、内航海運業に定められた「内航運輸業者」及び「内航運輸業の用に供」される「自家用船舶」へのアンケートにより集計されている。内航船舶輸送統計年報は抽出率がやや低いため、燃料消費量で過去に行われた全量調査との比較において、11%程度の統計学的誤差があるものと記載されている。さらに日本船主協会資料に示されたフェリーなどの旅客船舶への燃料消費量を足しあわせた内航水運の総燃料消費量を図 3.3-3に示した。総燃料消費量はエネルギー生産・需給統計年報の消費量と比較して1980年代後半については異なった動きを示しているが、近年はほぼ同等の傾向を示していた。



凡例中の「その他」には木船、プッシャーバージ・台船が含まれる。

図 3.3-2 内航海運による燃料消費量(内航船舶輸送統計年報)



通商産業大臣官房調査統計部編 エネルギー生産・需給統計年報(石油・石炭・コークス)、日本船主協会資料及び運輸省運輸政策局編 内航船舶輸送統計年報より作成。
 エネルギー生産・需給統計年報には、フェリーなどの旅客業及び港湾施設への供給を含む。内航船舶輸送統計年報は、内航貨物輸送に従事する業者の燃料消費量のみを対象とする。
 エネルギー生産・需給統計年報の調査対象となる販売業者は1990年、1992年、1996年に指定替えが行なわれている。

図 3.3-3 両統計による内航海運の燃料消費量の年変化の比較

(2) 船舶排ガス排出量の試算に用いる日本国内の燃料消費量

本調査では日本国内における消費を内貿(貨物船等、旅客船、タグボートによる航行)、漁業(漁船等による航行)、レジャー(プレジャーボートによる航行)による消費分と定めた。各消費分に係る検討を以下に示した。

ア. 内貿(貨物船等)

内貿に用いられる貨物船等による消費分については、エネルギー生産・需給統計年報、内航船舶輸送統計年報、運輸関係エネルギー要覧に示されている日本船主協会資料等の統計資料掲載データより把握する以外に、船舶による物流データに輸送距離、燃料消費率を掛け合わせて算出することも可能である。先の統計資料掲載データは地域別、あるいは船種・船型毎の使用割合を詳細に特定することは困難である。そこで本調査では船舶による物流データからの燃料消費量算定を検討することとした。

船舶による物流データは毎年、港湾統計(年報)により報告される。この港湾統計のデータをもとに、各輸送品目について地域間の荷動きをとりまとめたものが貨物地域流動調査である。本調査では、船舶による物流データとして、この貨物地域流動調査(運輸省運輸政策局情報管理部編, 1998)中に示された 32 品目、全国 54 地域(47 都道府県+北海道7地区)間のO-Dデータ(府県相互間輸送トン数データ)を用いることとした。貨物地域流動調査で取り扱われている品目と輸送トン数を表 3.3-4に示した。

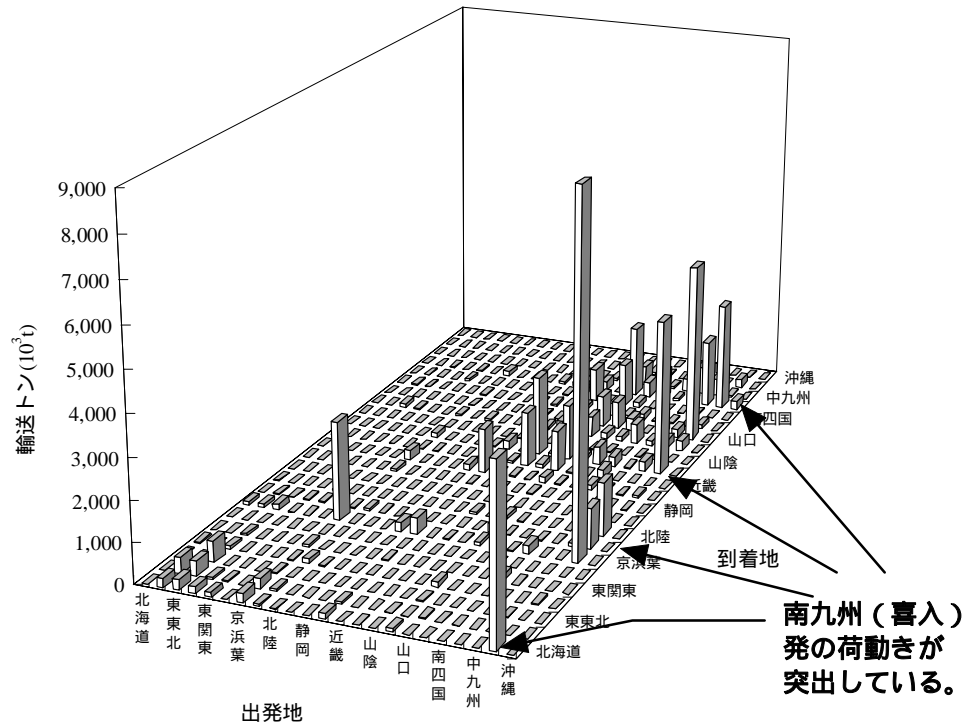
参考として図 3.3-4 ~ 図 3.3-8には原油(貨物地域流動調査では[その他の非金属鉱]として分類)、石油製品、鉄鋼、セメント、砂利・砂・石材のO-Dデータを示した。原油については南九州(喜入)発の荷動きが大部分を占めていた。石油製品については京浜葉地区間の荷動きが多く、原油に比べて近距離間での輸送が多い傾向にあった。鉄鋼については京浜葉から北九州地区までの範囲で主な輸送がなされており、セメントに関しては北海道、東北、瀬戸内、北九州に係る荷動きが主となっていた。砂利・砂・石材の荷動きは京浜葉間、阪神間で多く、近距離間での輸送が顕著であった。

表 3.3-4 品目別貨物輸送量(全国輸送量：1996年)

単位：10³t

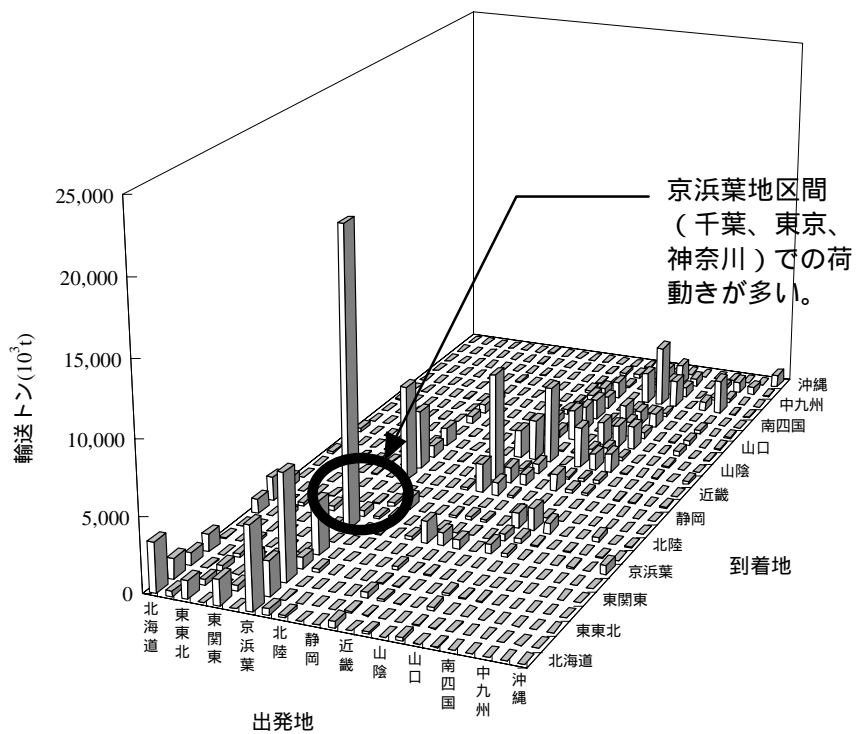
品目	輸送トン数	品目	輸送トン数
農水産品		化学工業品	
穀物	5,908	セメント	57,804
野菜・果物	632	その他の窯業品	1,836
その他の農産品	401	石油製品	166,309
畜産品	354	石炭製品	5,908
水産品	1,694	化学薬品	28,491
林産品		化学肥料	2,283
木材	4,679	その他の化学工業品	3,188
薪炭	3	軽工業品	
鉱産品		紙・パルプ	7,398
石炭	15,535	繊維工業品	107
金属鉱	4,812	食料工業品	4,317
砂・砂利・石材	76,848	雑工業品	
石灰石	49,338	日用品	982
その他の非金属鉱	61,842	その他の製造工業品	1,123
金属・機械工業品		特種品	
鉄鋼	63,408	金属くず	4,982
非鉄金属	1,895	動植物性飼肥料	3,277
金属製品	1,160	その他の特種品	14,994
機械	50,451	その他	286

貨物地域流動調査(運輸省運輸政策局情報管理部編, 1998)より作成



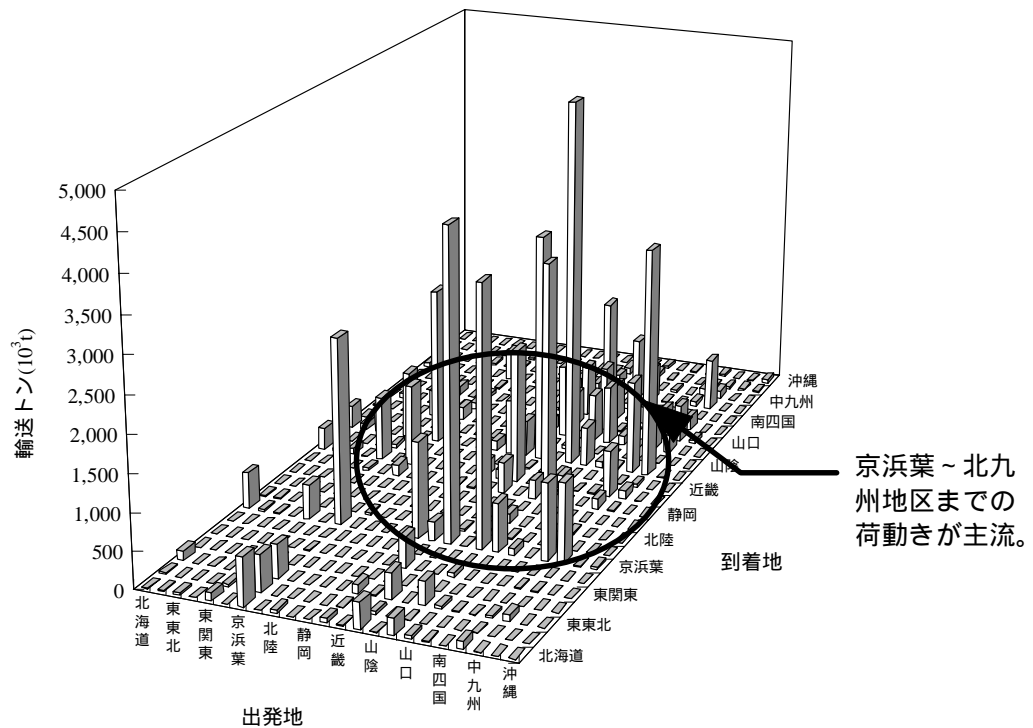
平成8年度 貨物地域流動調査(運輸省、1998)をもとに23地域別に表示。

図 3.3-4 船舶により輸送された原油の荷動き(1996年)



平成8年度 貨物地域流動調査(運輸省、1998)をもとに23地域別に表示。

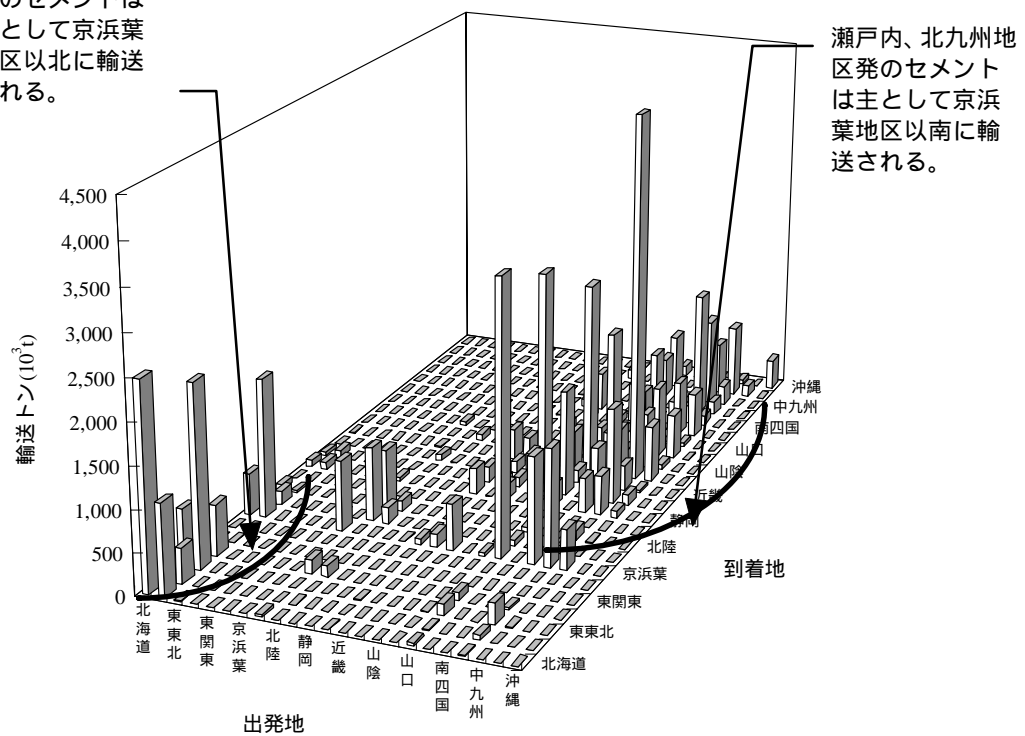
図 3.3-5 船舶により輸送された石油製品の荷動き(1996年)



平成 8 年度 貨物地域流動調査(運輸省、1998)をもとに 23 地域別に表示。

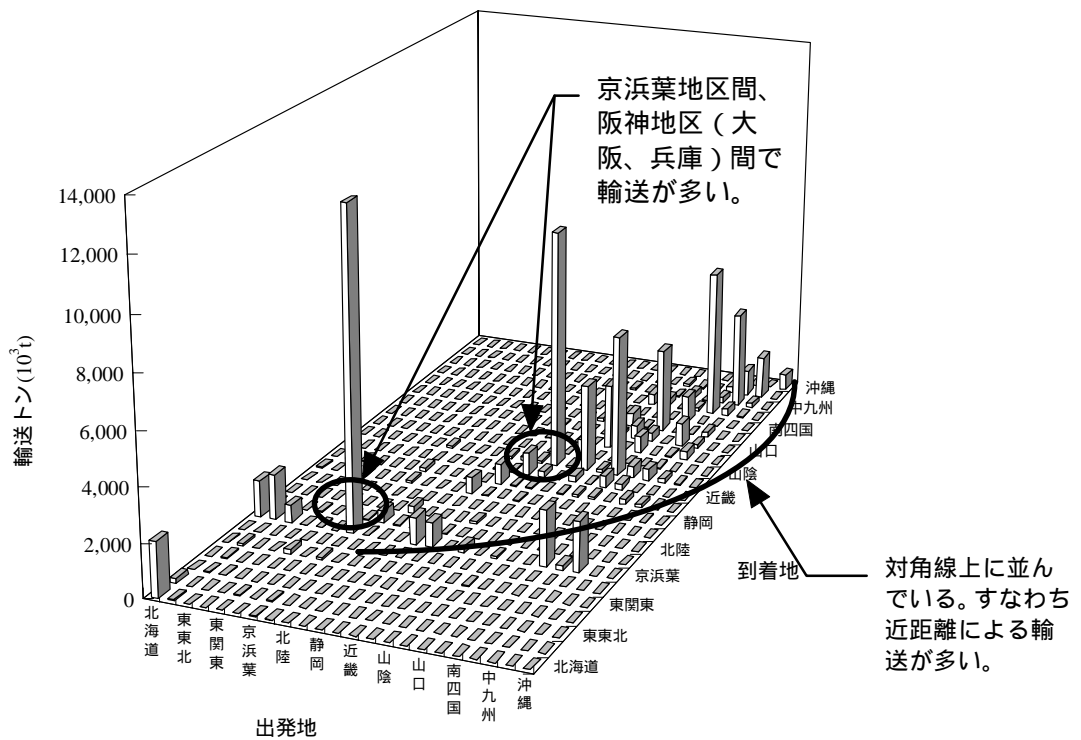
図 3.3-6 船舶により輸送された鉄鋼の荷動き(1996 年)

北海道、東北地区
発のセメントは
主として京浜葉
地区以北に輸送
される。



平成 8 年度 貨物地域流動調査(運輸省、1998)をもとに 23 地域別に表示。

図 3.3-7 船舶により輸送されたセメントの荷動き(1996 年)



平成 8 年度 貨物地域流動調査(運輸省、1998)をもとに 23 地域別に表示。

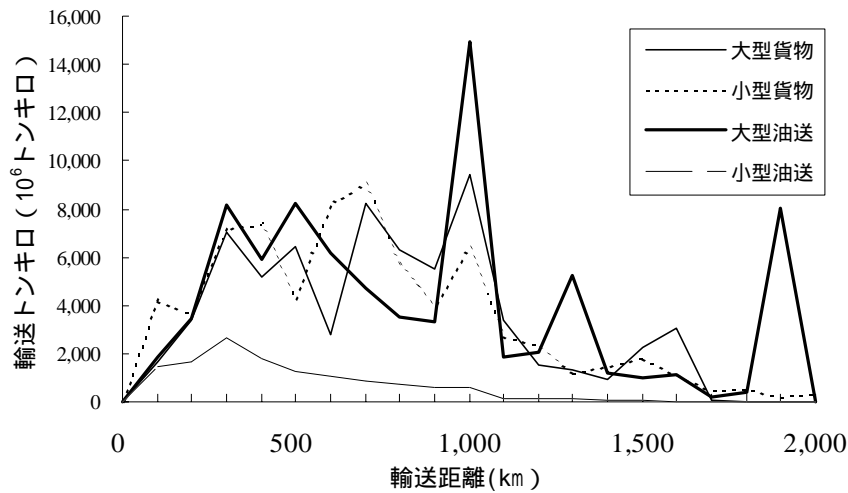
図 3.3-8 船舶により輸送された砂利・砂・石材の荷動き(1996 年)

輸送距離は内航距離表((社)日本海運集会所編、1996)に掲載されている起算港別航海距離(離岸距離約 20 マイル以内を航行した場合の目安となる距離)を用いた。起算港は各地域において移出入輸送トン数が多い代表的な港とした。

船種区分は貨物船、油送船とした。貨物船の船型は大型貨物船(500 総トン以上)と小型貨物船(500 総トン未満)に区分することとした。図 3.3-9には内航船舶輸送統計年報より作成した船型別輸送距離別の輸送トンキロ数を示した。図 3.3-9にみられるように貨物船の場合、大型貨物船と小型貨物船において、輸送トンキロ数の分布に差は認められなかった。したがって貨物船については O-D データより得られた各品目の輸送トンキロ数を大型貨物船、小型船ともに同率で配分することとした。各船型の燃料消費率(ℓ /トンキロ)は内航船舶輸送統計記載の大型鋼船、小型鋼船実測値をもとに設定した。

原油、石油製品を運ぶ油送船の輸送トンキロ数は、図 3.3-9にみられるように船型、輸送距離により大きな差が認められる。そこで本調査では輸送距離 250km 未満の荷動きについては小型油送船(500 総トン以上)、輸送距離 250km 以上の荷動きについては 500 総トン以上の油送船に輸送トンキロ数を配分することとした。さらに原油については全荷動きのうち輸送トンキロレベルで約 74%が喜入港発着のものであり、

この荷動きについては数万トンクラスの油送船が用いられている可能性が高いため、大型油送船よりも燃料消費率の良い特大船による輸送として取り扱った。石油製品については輸送距離 1,000km 以上の航行の場合、特大船が用いられることとした。各船型の燃料消費率(ℓ /トンキロ)は内航船舶輸送統計記載の実測値を参考に設定した。表 3.3-5に O-D データより得られた輸送トンキロ数の船種・船型別の配分方法を示した。



内航船舶輸送統計年報(運輸省, 1996)より作成

図 3.3-9 内航船における輸送距離別の輸送トンキロ数

表 3.3-5 O-D データより得られた輸送トンキロ数の船種・船型別の配分方法

船種	品目	船型 括弧内の数字は燃料消費率(ℓ /輸送トンキロ)		
		特大 (0.008)	大型 (0.013)	小型 (0.015)
油送船	原油	喜入港発着の荷動き	航行距離 250km 以上の荷動き(喜入港発着分を除く)	航行距離 250km 未満の荷動き
	石油製品	航行距離 1,000km 以上の荷動き	航行距離 250km 以上 1,000km 未満の荷動き	航行距離 250km 未満の荷動き
貨物船	その他の貨物	-	航行距離、経路に係らず O-D データより得られた輸送トンキロ数を大型船・小型船に等分	

燃料消費量は最終的に燃料種類別に重量ベースで算出した。例としてに特大の油
 送船による原油の輸送(喜入発着の荷動き)において消費された燃料量の計算過程を
 示した。喜入発着の原油輸送トンキロ数は、表 3.3-6に示すように輸送距離と輸送ト
 ンを掛け合わせることにより 28.2(10⁹輸送トンキロ)と計算された。

表 3.3-6 喜入発着の原油の荷動き

輸送地区	輸送距離 (10 ³ キロ)	輸送トン (10 ⁶ トン)	輸送トンキロ (10 ⁹ トンキロ)
室蘭	2.0	4.3	8.4
秋田	1.6	0.0	0.1
千葉	1.2	0.0	0.0
神奈川	1.2	8.7	10.1
新潟	1.4	1.0	1.4
富山	1.4	1.3	1.8
愛知	0.9	0.0	0.0
三重	0.9	0.0	0.0
大阪	0.7	3.8	2.8
兵庫	0.7	0.0	0.0
岡山	0.6	0.1	0.0
広島	0.6	0.1	0.0
山口	0.5	4.1	1.9
香川	0.6	0.0	0.0
愛媛	0.6	0.1	0.0
徳島	0.7	0.0	0.0
高知	0.5	0.0	0.0
福岡	0.5	2.5	1.4
佐賀	0.4	0.0	0.0
長崎	0.3	0.1	0.0
沖縄	0.7	0.0	0.0
全国計	-	26.3	28.2

貨物地域流動調査(運輸省運輸政策局情報管理部編, 1998)
 内航距離表((社)日本海運集会所編, 1996)より作成

求めた輸送トンキロから燃料消費量を算出する過程を表 3.3-7に示した。輸送トン
 キロ数、28.2(10⁹輸送トンキロ)に燃料消費率 0.008(ℓ / 輸送トンキロ)を掛け合わせて
 求めた燃料消費量は 226(10³kℓ)となった。ここで内航船舶輸送統計年報より算出した、
 大型鋼船の燃料種類使用割合(体積ベース; A 重油: 19%、B 重油: 1%、C 重油: 81%)
 を用い、先の 226(10³kℓ)を A 重油: 43(10³kℓ)、B 重油: 2(10³kℓ)、C 重油: 183(10³kℓ)
 に振り分けた。この値に各燃料種類の比重(トン/kℓ)、A 重油: 0.88、B 重油: 0.92、
 C 重油: 0.98 を掛け合わせ、重量ベースの燃料種類別燃料消費量、A 重油: 38(10³
 トン)、B 重油: 2(10³トン)、C 重油: 179(10³トン)を算出した。

表 3.3-7 喜入発着の原油輸送により消費された各種重油量の計算例

項目	(単位)	値
ODデータより算出された輸送トンキロ	(10^9 輸送トンキロ) A	28.2
燃料消費率	(ℓ /輸送トンキロ) B	0.008
燃料消費量	($10^3k\ell$) C(=A×B)	226
燃料種類別使用割合	D	19% (A重油) 1% (B重油) 81% (C重油)
燃料種類別燃料消費量	($10^3k\ell$) E(=C×D)	43 (A重油) 2 (B重油) 183 (B重油)
比重	(トン/ $k\ell$) F	0.88 (A重油) 0.92 (B重油) 0.98 (B重油)
燃料種類別燃料消費量	(10^3 トン) G(=E×F)	38 (A重油) 2 (B重油) 179 (B重油)

同様の方法で算出した貨物船、油送船の燃料消費量を表 3.3-8に示した。

表 3.3-8 貨物流動調査結果より算出した貨物船、油送船の燃料消費量(1996年)

単位： 10^3t

船型区分		燃料消費量			計
		A重油	B重油	C重油	
貨物船	大型	181	32	879	1,092
	小型	780	149	279	1,209
油送船	特大	38	2	179	219
	大型	42	3	195	240
	小型	306	20	105	432
計		1,347	207	1,638	3,191

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。
各燃料の比重(トン/ $k\ell$)はA重油0.88、B重油0.92、C重油0.98とした。

イ. 内貿(旅客船)

内貿中の旅客船消費分については運輸関係エネルギー要覧(運輸省, 1998)に示されている内航旅客船分のエネルギー消費実績(社)日本船主協会資料より)を参考とした(表 3.3-9参照)。

表 3.3-9 旅客船の燃料消費量(1996年)

単位： 10^3t

船型区分	燃料消費量				計
	軽油	A重油	B重油	C重油	
旅客船	186	311	17	1,460	1,974

運輸関係エネルギー要覧(運輸省, 1998)に示されている1996年度の値を使用。

ウ. 内貿（タグボート）

表 3.3-10に示すように、運輸省港湾局技術課刊行の船舶離着岸用引船現況及び稼働実績一覧表によると、日本全国におけるハーバータグの所属隻数は合計 712 隻であるが、同調査においては燃料使用量は把握されていない。

また、表 3.3-11に示すようにタグボートはごく低負荷で航行する時間割合が多く、運航モードの平均燃料消費率を算定することは困難と考えられた。

表 3.3-10 全国のタグボート隻数(1996年)

単位：隻

港種類	全隻	公共	民間
特定重要港湾	326	16	310
うち横浜川崎	34		34
重要港湾	330	9	321
地方港湾	56	0	56
合計	712	25	687

船舶離着岸用引船現況及び稼働実績一覧表、運輸省港湾局技術課（1997）

そこで、横浜川崎港における運航実績データを全国に適用した。同資料によると、平成9年度において両港で操業するタグボート 34 隻の年間運航時間は 79,787 時間、40,864 隻である。また、燃料消費量は 14,820 kl である(横浜川崎曳船組合聞き取り)。全国での操船隻数 298,450 隻で外挿すると、国内の燃料消費量は、 $108 \times 10^3 \text{kl} = 95 \times 10^3 \text{t}$ と、計算される。

表 3.3-11 横浜港におけるタグボートの負荷状況

定格出力に対する出力割合の区分	0.15	0.2	0.5	0.9	1
時間割合	45.0%	16.9%	15.4%	12.0%	10.7%

定格出力に対する割合は概ねの数値、使用時間割合は実測値
メーカー資料より作成

エ. 漁業

軽油、重油については、エネルギー需給統計年報に漁業による燃料消費量の集計が存在する（表 3.3-3参照）。まずこの数値の妥当性について検討する。

動力付き漁船の使用実態は水産庁が調査を行っている第 9 次漁業センサスにより明らかにできる。同資料によると、ディーゼル主機船舶の回答数は、146,584 隻と漁船統計に登録の数値(188,256 隻)よりやや少ない。これは、センサス調査では、遊漁船、官公庁船舶など漁業操業に関与しない船舶を対象としてないためである。表 3.3-12に示すように、各船舶の平均主機馬力および年間の出漁日数がセンサスによって把握しうる。表 3.3-13に示すように、平均負荷率および一日当たりの操業時間を仮定し、1993 年の年間消費量は約 $3,000 \times 10^6 \text{ t/年}$ と計算される。同年のエネルギー需給統計によると、漁業による燃料消費量は約 $3,700 \times 10^6 \text{ t/年}$ とされており、センサスのデータによる積み上げ値よりも 2 割程度多い（表 3.3-14）。これは、センサスのデータでは遊漁船による消費量が計算されていないことが大きく影響していると考えられる。

以上のことから、本調査においては、国内の漁業による燃料消費量はエネルギー需給統計年報の値を使用することが妥当であると解する。

表 3.3-12 漁船規模ごとの平均主機馬力および出漁日数（ディーゼル動力船舶のみ）

	隻数	平均主 機馬力	出漁日数							平均出 漁日数
			漁船馬 力	-29 (15)	30-89 (60)	90-149 (120)	150-199 (175)	200-249 (225)	250-299 (275)	
合計	146,584		2,971	25,320	36,763	31,664	25,900	15,601	8,365	
トン数階級										
-1 未満	10,902	18	531	3322	3,328	1,657	1,152	607	305	130
3 未満	51,705	33	1,273	11,686	14,558	9,658	7,599	4,573	2,358	153
4 未満	54,773	56	768	7,225	13,038	14,077	11,249	5,918	2,498	172
10 未満	16,154	94	237	1,970	3,781	3,587	3,337	2,095	1,147	180
15 未満	5,316	124	97	604	1,203	1,385	905	672	450	180
20 未満	4,322	169	59	437	700	951	1,021	744	410	196
30 未満	146	218		5	15	20	36	45	25	234
40 未満	121	268		6	23	47	26	14	5	187
50 未満	186	307	1	8	13	32	53	66	13	226
60 未満	264	368		6	11	22	64	96	65	256
70 未満	202	396	1	2	5	17	48	89	40	257
80 未満	153	450		2	5	10	24	83	29	262
90 未満	184	485		3	4	22	51	81	23	249
100 未満	138	509		2	5	12	53	36	30	249
150 未満	676	539	1	18	37	76	157	219	168	250
200 未満	210	583	2	12	18	40	35	36	67	236
350 未満	546	808		6	9	25	53	179	274	286
500 未満	561	853	1	4	9	20	36	44	447	304
1,000 未満	9	1,621		1	1	3	1		3	212
3,000 未満	9	3,371				3		1	5	269
3,000 以上	7	3,359		1				3	3	266

第九次漁業センサス第1報(海面漁業の生産構造と就業構造に関する統計、農林水産省(1995)より作成。対象期間は、1992年11月1日～1993年10月31日である。

出漁日数区分における括弧内の値を各区分の代表値とし計算した。

表 3.3-13 ディーゼル主機漁船の総トン階級ごとの燃料消費量(1993 年)

	隻数	平均馬力	稼働 日数	稼働 時間	燃料 消費率	平均 負荷	1隻当たりの 燃料消費量	総燃料 消費量
	隻	漁船馬力	日/年	hr/日	g/PSh	-	kg/隻/年	10 ³ t/年
総トン数階級	A	B	C	D	E	F	$G=1.4*B*C*D*E*F/1000$	A*G
-1 未満	10,902	18	130	5	180	0.8	2,359	26
3 未満	51,705	33	153	5	180	0.8	5,058	262
4 未満	54,773	56	172	5	180	0.8	9,697	531
10 未満	16,154	94	180	6	180	0.8	20,390	329
15 未満	5,316	124	180	6	180	0.8	27,049	144
20 未満	4,322	169	196	6	180	0.8	40,081	173
30 未満	146	218	234	10	180	0.8	102,991	15
40 未満	121	268	187	10	180	0.8	101,394	12
50 未満	186	307	226	10	180	0.8	139,609	26
60 未満	264	368	256	10	180	0.8	189,803	50
70 未満	202	396	257	10	180	0.8	205,700	42
80 未満	153	450	262	10	175	0.8	231,414	35
90 未満	184	485	249	10	175	0.8	236,450	44
100 未満	138	509	249	10	175	0.8	248,722	34
150 未満	676	539	250	16	175	0.8	422,432	286
200 未満	210	583	236	16	175	0.8	430,370	90
350 未満	546	808	286	16	175	0.8	724,271	395
500 未満	561	853	304	16	175	0.8	811,795	455
1,000 未満	9	1,621	212	24	170	0.8	1,567,991	14
3,000 未満	9	3,371	269	24	170	0.8	4,150,692	37
3,000 以上	7	3,359	266	24	170	0.8	4,078,004	29
合計	146,584	-	-	-	-	-	13,746,270	3,030

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。ハッチのかかった欄は本調査による推定値。

表 3.3-14 漁業の燃料消費統計量と推定燃料消費量の比較(1993 年)

(エネルギー需給統計年報における数値と漁業センサスにおける実態からの推定値)

単位：10³t

種類	エネルギー需給統計年報		漁業センサスからの計算結果	
	消費量	漁船への適用等	消費量	漁船への適用等
灯油	96	動力源としては漁船ではほとんど使用されない	-	
軽油	728		1,148	10 総トン未満は 全て軽油を使用と仮定 遊漁船を算定していない
A重油	2,791		1,882	
B重油	1			
C重油	27			
潤滑油	27		-	
合計	3,669		3,030	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

ただしエネルギー生産・需給統計年報には漁船によるガソリンの消費が計上されていない。そこで、漁業によるガソリンの消費量については推定により算出した。まず水産庁より刊行の漁船統計表によって国内の漁船の隻数、総トン数、搭載主機の馬力数について整理を行うとともに、おおよその稼動状況を推定した。

表 3.3-15に示すように、漁船統計に記載された全登録漁船 354,689 隻のうち、ガソリン機関の割合は約 47%と半数近くを占めており、その平均馬力は 30 漁船馬力と小さい。ガソリン機関は、内水面漁業や採貝藻漁業など小規模な漁業に主に使われ、船外機など小型の船舶に搭載されることが多いと考えられる。ここでは、ガソリン機関は船外機のみで使用されていると仮定した。以下の仮定により、ガソリン船外機付きの漁船による燃料消費量は年間約 $398 \times 10^3 \text{ t}$ と見積もられる(表 3.3-16参照)。

以上の検討の結果得られた漁業における燃料消費量を表 3.3-17に示した。漁業の燃料消費分は農業、林業消費分合計の約半分との結果となった。

表 3.3-15 機関種別の漁船登録数と搭載馬力数

種類別	隻数		馬力		平均馬力
合計	354,689	(100%)	15,969,243	(100%)	45
ディーゼル	188,256	(53%)	10,955,206	(69%)	58
ガソリン	166,431	(47%)	5,013,892	(31%)	30
焼玉	2	(0%)	145	(0%)	73

馬力は漁船法馬力*で集計されている

漁船法馬力

漁船法施行規則第一条に定めるところの「推進機関の馬力数」であり、内燃機関の場合は、実測馬力とは異なり、以下の数式より算出される。おおよそ、定格馬力(PS)=1.4×漁船法馬力である。(漁船法施行規則附則より抜粋)

$$\text{内燃機関の馬力数} = CD^2N$$

ここで

C;機関の種類、ボア・ストローク比、シリンダ直径により定められた常数。

D;シリンダの直径(cm)

N;シリンダ数

表 3.3-16 ガソリン船外機による燃料消費量の算出方法

仮定	ガソリン機関、全て 0-4.9 総トン階級に属しており、稼動状況は少なく、平均負荷率も大きくない。
定格馬力	30 × 1.4=42 PS(定格馬力=1.4×漁船馬力より)
稼動状況	年間 120 日、5 時間/日、平均負荷率 50%、燃料消費率 190 g/PSh
計算過程	1 隻当たりの燃料消費量 $42 \times 120 \times 5 \times 0.5 \times 190 = 2,394 \text{ kg/year/隻}$ 年間総消費量 $2,394 \times 166,431 = 398 \times 10^3 \text{ t}$

表 3.3-17 漁業の燃料消費量 (1996 年)

単位:10³t

	燃料消費量						計
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油	
漁業使用分	398	125	894	2,407	1	18	3,842
農業、林業使用分 (参考値)	不明	2,770	1,916	2,662	0	43	7,391

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

オ. レジャー

1996 年度に運輸省・水産庁・建設省により実施されたプレジャーボート全国実態調査結果によれば、実態調査にて確認できたプレジャーボート総数は 20.8 万隻であり、そのうちクルーザーヨットが 1.3 万隻、ディンギーヨットが 1.2 万隻、大型モーターボートが 3.6 万隻、小型モーターボートが 14.7 万隻とのことである。そこで本調査では日本のプレジャーボート隻数を 20 万隻とし、さらに定格出力、年間稼働時間、平均稼働率を以下のように設定し燃料消費量を算出した。

平均的な定格出力：50 PS

年間の稼働日数：25 日(2 週間に約 1 日)

(社)日本マリナー協会「マリナー利用者の実態調査報告書」

(昭和 51 年 3 月)によれば、モーターボート利用者の年間乗船日数は平均 26 日とされている。

年間稼働時間：25 日 × 2 時間 = 50 時間/年

平均負荷率：80%

平均燃料消費量：180 g/PS_h として

年間の 1 隻あたりの燃料消費量は、360 kg/年/隻

プレジャーボート全体による燃料消費量

= 20 万隻 × 360kg/年/隻 = 72 (10³t/年)

以上により算出した内貿、漁業、レジャーとして船舶が使用した日本国内の燃料消費量をまとめ表 3.3-18に示した。

表 3.3-18 日本国内における燃料種類別燃料消費量（推定値：1996年）

単位：10³t

産業・船型区分		燃料種類						計	
		ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油		
水運業	貨物船 [†]	大型	-	-	-	181	32	879	1,092
		小型	-	-	-	780	149	279	1,209
		小計	-	-	-	961	181	1,159	2,301
	油送船 [†]	特大	-	-	-	38	2	179	219
		大型	-	-	-	42	3	195	240
		小型	-	-	-	306	20	105	432
		小計	-	-	-	386	25	479	890
	旅客 ^{**}		-	-	186	311	17	1,460	1,974
	タグボート ^{****}		-	-	-	95	-	-	95
	その他 ^{***}		-	5	13	-	-	-	18
	計		-	5	199	1,752	224	3,098	5,278
漁業 ^{***}		398 ^{****}	125	894	2,407	1	18	3,842	
レジャー ^{****}		72	-	-	-	-	-	72	
合計		470	130	1,092	4,159	225	3,116	9,193	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

- * 貨物流動調査（運輸省運輸政策局情報管理部編）のO-Dデータを基に試算した値。
- ** 運輸関係エネルギー要覧（運輸省運輸政策局情報管理部編）より抜粋した値。
- *** エネルギー生産・需給統計年報（通商産業大臣官房調査統計部編）より抜粋した値。
- **** 燃料消費率、稼働率等々をもとに積み上げにより算出した値。

3.3.2 日本周辺における燃料消費量

本調査では日本周辺海域を排他的経済水域（200海里以内の水域）と定め、日本と輸出入を行なっている外航船舶が同水域内で消費する燃料の量を試算した。この試算値に前述した国内の燃料消費量を加えたものを日本周辺海域における燃料消費量と考えた。

排他的経済水域内における外航船舶の燃料消費量は排他的経済水域を航行した外航船舶数×200海里×燃料消費率（t/隻）により算出した。排他的経済水域を航行した外航船舶数は平成8年度版港湾統計（年報）に示されている日本国内に入港した外航船舶数を基準とした。入港した外航船舶の船型は主要な港（東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港）の港湾統計に示された船型別入港船舶数割合をもとに配分した。表3.3-19に船種別入港船舶数を、表3.3-20には東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港に入港した1万トン以上の外国商船の船型別入港隻数を示した。

表 3.3-19 国内に入港した外航船舶の船型別隻数（1996年）

単位：隻

船型区分		10,000総トン以上 (33,865)	6,000総トン以上～10,000総トン未満 (7,909)	3,000総トン以上～6,000総トン未満 (4,317)	500総トン以上～3,000総トン未満 (1,754)	500総トン未満 (228)	合計
外航商船	コンテナ (20,582)	27,592	6,663	12,554	7,028	0	53,837
	自動車輸送船（PCC） (17,709)	4,451	908	933	232	0	6,524
	タンカー (17,678)	3,010	213	1,965	1,835	2,264	9,286
	その他の貨物 (6,426)	7,501	2,666	6,557	16,533	10,717	43,974
	貨客船 (4,038)	2	2	5	12	0	21
	客船 (23,428)	250	9	28	8	0	295
小計		42,807	10,459	22,042	25,647	12,981	113,936
外航自航		83	627	97	125	0	932
外航総計		42,890	11,086	22,139	25,772	12,981	114,868

注：括弧内の数字は各区分における平均総トン数を示す。自航とは自動車輸送船のことである。

表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.3-20 東京・横浜・名古屋・大阪・神戸港に入港した外国商船の船型別隻数
(1996年：1万総トン以上)

単位：隻

船型区分			60,000総トン以上	30,000総トン以上～60,000総トン未満	10,000総トン以上～30,000総トン未満	合計
			(86,281)	(41,573)	(20,797)	
外航商船	コンテナ	(31,605)	365	5,206	6,887	12,458
	自動車輸送船(PCC)	(20,611)	0	114	1,862	1,976
	タンカー	(44,545)	278	238	806	1,322
	その他の貨物	(24,006)	205	254	2,821	3,280
	貨客船	(12,798)	0	0	1	1
	客船	(23,616)	1	6	95	102
	小計		849	5,818	12,472	19,139

注：括弧内の数字は各区分における平均総トン数を示す。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

排他的経済水域を航行する船舶からの排出量は以下の方法で求めた。ここで用いた式は日本船用機関学会が1995年に船舶大気汚染抑制検討委員会の成果報告予稿集内でまとめたアンケート結果に基づくものである。また、総トン数の階級は上記の隻数のクラスから便宜的に用いたものである。

港湾統計の総トン階級ごとの平均総トン数から定格主機出力を以下の式により算定した。

コンテナ、貨物船、PCC、客船(同式は、NO_x マニュアルでも使用されている)

$$\text{主機出力(PS)} = 67.45 \times (\text{総トン数})^{0.50}$$

タンカー

$$\text{主機出力(PS)} = 133.0 \times (\text{総トン数})^{0.40}$$

主機出力より定格時の燃料消費量は以下の式より算出した。

2 サイクル

$$\text{定格時の燃料消費量(kg/h/隻)} = 0.1801 \times (\text{主機定格出力})^{0.9605}$$

4 サイクル

$$\text{定格時の燃料消費量(kg/h/隻)} = 0.1335 \times (\text{主機定格出力})^{1.0002}$$

実際の航行時には機関出力当たりの燃料消費量(燃料消費率 SFC:g/PSH)は負荷の割合によって異なることが予想されるが、上式は機関の規模のみをパラメータにしており、負荷割合は考慮していない。しかし、巡航状態での負荷割合は 0.75 ~ 0.85 と MCR に近い状態であることから、燃料消費率(SFC)も定格時の燃焼消費率とほぼ同等であることが期待できる。そこで、巡航時の燃料消費量も、上記と同じ式を用いた。また、負荷率は全ての船舶において一律の 0.8 を用いた。従って、航行時の燃料消費量は以下のように算定される。

2 サイクル

$$\text{航行時の燃料消費量(kg/h/隻)}=0.1801 \times (\text{主機定格出力} \times 0.8)^{0.9605}$$

4 サイクル

$$\text{航行時の燃料消費量(kg/h/隻)}=0.1335 \times (\text{主機定格出力} \times 0.8)^{1.0002}$$

各カテゴリにおける搭載主機の 4 サイクルと 2 サイクルの隻数割合は、上記調査のアンケート結果等から、表 3.3-21 のように設定した。

表 3.3-21 総隻数に占める 4 サイクル主機船の隻数割合

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	0	0	0	0	1.0
	自動車輸送船 (PCC)	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0
	その他の貨物	0.3	0.5	0.5	0.5	1.0
	貨客船	0.25	0.25	0.25	0.25	1.0
	客船	0.25	0.25	0.25	0.25	1.0
	タンカー	0	0	0.5	0.5	1.0
外航自航		0.8	0.8	0.8	0.8	1.0

船舶の巡航速度については、貨物船全体では10～15ノットが多いこと、タンカーなどの速度が遅いことがアンケート調査などによって知られている。タンカーなどは、運航上、積み荷状態により巡航速度が大きく異なることも予想されるが、ここでは聞き取り調査を参考に以下のように設定した。

表 3.3-22 各船舶の巡航速度

単位：ノット

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	20	18	17	16	10
	自動車輸送船（PCC）	20	18	17	16	10
	その他の貨物	16	16	15	16	10
	貨客船	20	18	17	16	10
	客船	20	18	17	16	10
	タンカー	13	13	13	13	10
外航自航		20	18	18	10	10

巡航速度 V 、時間当たりの燃料消費量 F_h から、排他的経済水域を航行する外航船舶の燃料消費量率はそれぞれ以下のように求められた。

$$F_{200\text{mile}} = 200 \div V \times F_h$$

なお、表 3.3-20に示したように、5大港については10,000総トン以上の船舶について更に細かい区分による集計が可能である。大型船舶は平均総トン数の設定で燃料消費量が大きく変化する。また、コンテナ、タンカーなど大型船の入港が多いことが想定される。そこで、5大港を利用する大型船については、表 3.3-20に示した総トン数階級ごとの平均総トン数を設定し、表 3.3-25に示す燃料消費量を用いた。このとき、平均総トン数以外の主機定格出力、航行速度などの推定式については10000総トン以上と同じ数値を用いた。

表 3.3-23 排他的経済水域内の航行時間

単位：h

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	20	22	24	25	42
	自動車輸送船（PCC）	20	22	24	25	42
	その他の貨物	25	25	27	25	42
	貨客船	20	22	24	25	42
	客船	20	22	24	25	42
	タンカー	31	31	31	31	42
外航自航		20	22	22	42	42

表 3.3-24 排他的経済水域内の燃料消費量(F_{200mile})

単位：kg/隻

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	26,666	13,723	10,966	7,938	0
	自動車輸送船（PCC）	21,901	14,205	11,239	8,377	0
	その他の貨物	29,643	15,803	12,265	7,460	4,371
	貨客船	17,444	15,274	10,186	6,474	0
	客船	23,424	13,876	11,462	7,100	0
	タンカー	29,736	15,284	12,274	7,467	4,934
外航自航		17,153	13,902	10,957	8,682	0

表 3.3-25 大型船の排他的経済水域内の燃料消費量(F_{200mile})

単位：kg/隻

		60,000総トン以上	30,000総トン以上～60,000総トン未満	10,000総トン以上～30,000総トン未満
外航商船	コンテナ	34,023	27,530	20,250
	自動車輸送船（PCC）	-	26,646	19,314
	その他の貨物	50,937	32,777	23,408
	貨客船	-	-	15,769
	客船	36,061	31,560	20,166
	タンカー	43,797	29,419	22,843
外航自航		-	-	-

「-」は対象船舶がないことを示す。

以上より算出した排他的経済水域内における燃料消費量を表 3.3-26に示した。

表 3.3-26 外航船舶の排他的経済水域内航行時における燃料消費量

単位：10³t

燃料消費量		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満	合計
外航商船	コンテナ	699	91	138	56	0	984
	自動車輸送船（PCC）	93	13	10	2	0	119
	その他の貨物	210	42	80	123	47	503
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	6	0	0	0	0	6
	タンカー	90	3	24	14	11	139
	総計	1,097	150	253	195	58	1,751
外航自航	1	9	1	1	0	12	
外航総計	1,097	159	254	196	58	1,765	

注:表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

次に停泊時の燃料消費量は以下のように推定した。排他的経済水域内の航行時間が20~40時間程度かかることを考慮すると、最大で48時間程度の停泊時間に補機により消費される燃料は航行時と比較して一桁程度少ないと考えられる。先に3.1で紹介したように、荷積み、荷揚げ、非荷役時と細かく設定する方法は、荷役時間や荷役状況を全国的設定することができない以上、実施は困難と考えられた。そこで、以下のように、停泊時間全体でおおよその仮定を用いた。

停泊時間は過去の調査結果などを参考に表 3.3-27に示すように設定した。

表 3.3-27 外航船舶の停泊時間

単位：h

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	16	16	12	12	12
	自動車輸送船（PCC）	36	24	34	24	24
	その他の貨物	40	20	16	16	12
	貨客船	30	24	24	24	24
	客船	30	24	24	24	24
	タンカー	24	20	12	12	12
外航自航	12	12	12	12	12	

数値は沖待ち時の停泊時間を含む。

補機類の燃料消費量は以下のように設定した。ここでは、荷役、非荷役時間の設定は行わず、一律に以下の負荷があると仮定した。

表 3.3-28 外航船の停泊時における補機類の負荷割合

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
補機ディーゼルの負荷	コンテナ	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	それ以外	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
補機ボイラーの負荷	タンカー	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1
	それ以外	1	0.4	0.4	0.4	0.4

各補機類の燃料消費量を表 3.3-29および表 3.3-30に示した。

表 3.3-29 外航船舶の停泊時における燃料消費量(D/G ディーゼル+ボイラー)

単位 : kg/h/隻

		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
外航商船	コンテナ	140 53%	92 39%	81 34%	51 38%	-
	自動車輸送船 (PCC)	148 57%	101 43%	87 38%	56 43%	-
	その他の貨物	155 58%	100 43%	85 38%	53 41%	34 26%
	貨客船	129 53%	105 45%	83 37%	49 39%	-
	客船	154 58%	100 43%	88 39%	52 40%	-
	タンカー	215 50%	104 41%	91 36%	71 26%	55 16%
外航自航		100 49%	65 49%	62 41%	53 46%	-

%の数値は D/G の割合を示す。

「-」は対象船舶のないことを示す

表 3.3-30 大型船停泊時における燃料消費量(D/G ディーゼル+ボイラー)

単位 : kg/隻

		60,000総トン以上	30,000総トン以上～60,000総トン未満	10,000総トン以上～30,000総トン未満
外航商船	コンテナ	244 53%	216 49%	182 44%
	自動車輸送船 (PCC)	-	210 48%	177 43%
	その他の貨物	268 56%	208 48%	174 42%
	貨客船	-	-	160 39%
	客船	250 54%	231 51%	181 43%
	タンカー	281 61%	209 51%	176 45%
外航自航		-	-	-

%の数値は D/G の割合を示す。

「-」は対象船舶がないことを示す。

航行時と同様に隻数を乗じることで外航船舶の停泊時の燃料消費量は以下の
ように推定できる。

表 3.3-31 外航船舶の停泊時における燃料消費量

単位 : 10³t

燃料消費量		10,000総トン 以上	6,000総ト ン以上～ 10,000総ト ン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外航商船	コンテナ	73	10	12	4	0	100
	自動車輸送船 (PCC)	26	2	3	0	0	31
	その他の貨物	50	5	9	14	4	83
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	1	0	0	0	0	1
	タンカー	16	0	2	2	1	21
	総計	166	18	26	20	6	236
外航自航		0	0	0	0	0	1
外航総計		166	18	26	20	6	237

注:表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある

停泊時、航行時を合計した外航船舶全体の消費量を、表 3.3-32に示した。排他的経済水域内における消費量 $2,002 \times 10^3$ t は、日本国内におけるバンカーオイルの積み出し量、約 $4,776 \times 10^3$ t に対して、40%程度の値となる。この割合は片道の燃料を全て国内で積み込むと仮定した場合にはやや過小評価と思われるが、コンテナ船やタンカーなど定期運航を行う大型の船舶については燃料を外地で積み込む場合が多いこと、を反映しているものと解する。また、同様に計算を行っている過去調査の比較を表 3.3-33に示した。他の調査との比較では、航行距離を一律 200 海里とした本調査および環境庁の調査では、航行中の排出量が少なく見積もられるため、総燃料消費量も少なく計算されていることがわかる。今後は、航路帯についての情報を収集した上で、航路長の設定を厳密に行う必要があると思われる。

なお、停泊時の燃料消費量は全体の 10%程度と全体に占める割合が少ない。停泊中のおよそ 4 割程度の燃料は本来、ボイラーで燃焼されているが、計算の簡便化のため、以降の計算では、これらの停泊中の燃料はすべてディーゼル機関で消費されているものと仮定した。

表 3.3-32 外航船舶の燃料消費量(停泊時+航行時)

単位 : 10³t

燃料消費量		10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満	合計
外航商船	コンテナ	772	101	150	60	0	1,083
	自動車輸送船(PCC)	119	15	13	2	0	150
	その他の貨物	260	47	89	137	51	585
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	7	0	0	0	0	7
	タンカー	105	4	26	15	13	163
	総計	1,264	168	279	215	64	1,989
外航自航		2	9	1	1	0	13
外航総計		1,265	177	280	216	64	2,002

注:表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある

表 3.3-33 排他的経済水域内の燃料消費量に関する比較

	燃料消費量(10 ³ t)	対象年度	備考
本調査	2,002	1996年	航路長は一律200海里、航行速度は船型、船種で異なる。
船舶からの排出ガスに係わる国際規制対応のための調査研究報告書	6,524	1985年	実航路を設定しているため、平均航行距離が200海里より長い。航行速度は、13ktで一律設定。
船舶温室効果ガス排出量等総合調査	1,282	1993年	元の数値は熱量である。船種を分けていない、1万総トン以上を一つのカテゴリーとして扱っている。

3.3.3 世界全体における燃料消費量

(1) 近年の OECD 諸国における燃料消費量の動向

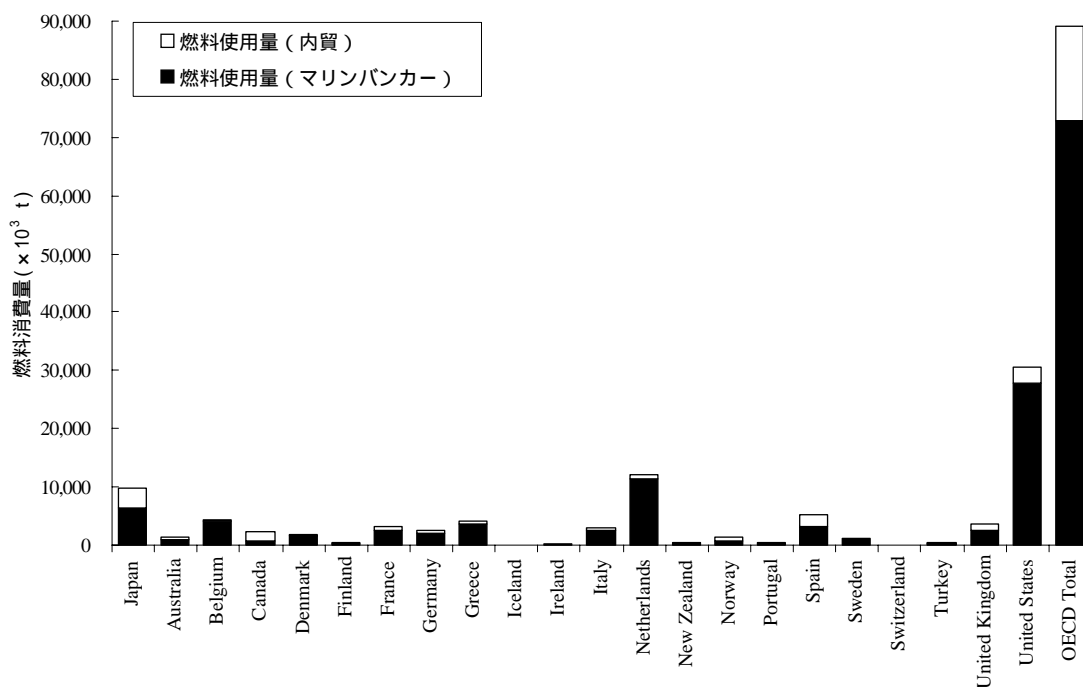
OECD 諸国の燃料消費量については OECD/IEA (1997) による統計資料 Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995 により把握可能である。同資料には内貿 (Internal navigation) とマリンバンカー (Intl. Marine Bunkers) について燃料種類別に消費量が示されている。表 3.3-34 に OECD 諸国全体における燃料消費量 (1995 年) を示した。図 3.3-10 には 1995 年における国別の割合を示した。

表 3.3-34 OECD 諸国における燃料種類別燃料消費量 (1995 年)

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿 (Internal navigation)	8.5	4.7	2.9	16.1
マリンバンカー (Intl. Marine Bunkers)	16.6	56.3	記載なし	72.9

単位 10⁶t

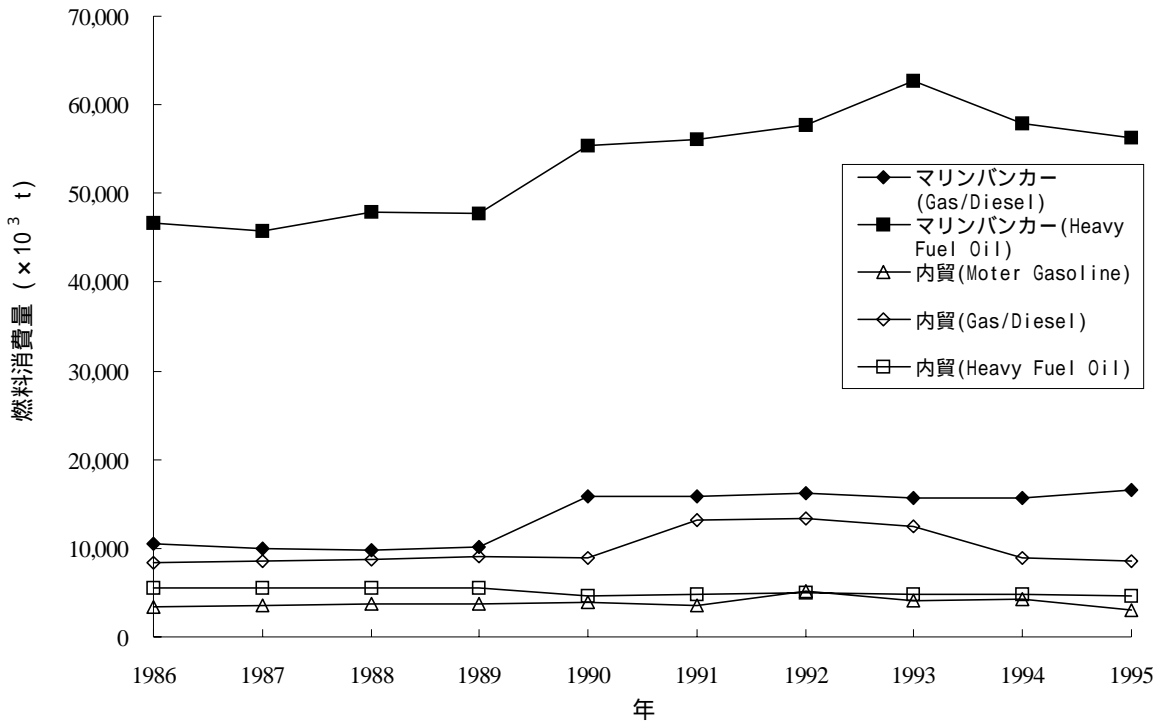
出典：Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA,1997)
 内航 (Internal Navigation) には旅客 (フェリーなど) を含むが、漁業 (Fishery) を含まない。
 Gas/Diesel Oil は MDO、Heavy Fuel Oil は MFO に相当する。



Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995, OECD 編より作成
 内航 (Internal Navigation) には旅客 (フェリーなど) を含むが、漁業 (Fishery) を含まない。

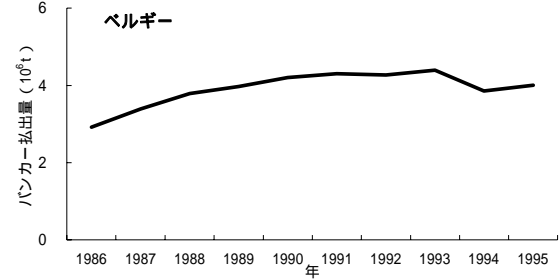
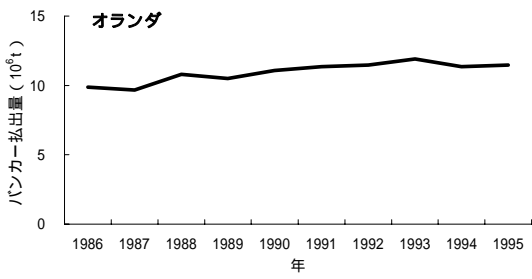
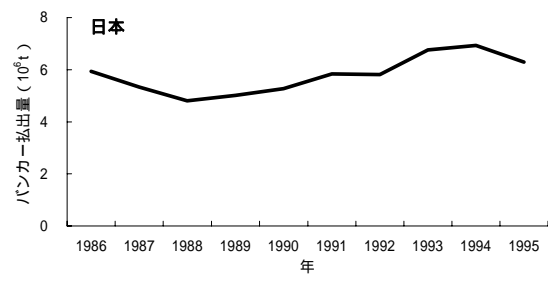
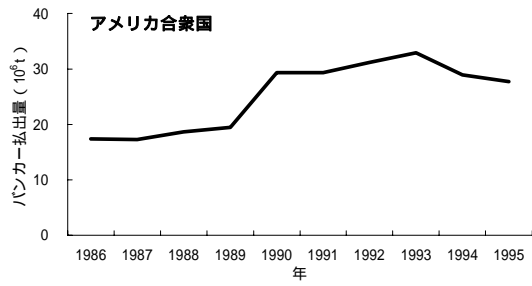
図 3.3-10 OECD 諸国における国別燃料消費量 (1995 年ベース)

図 3.3-11には OECD 諸国全体における燃料消費量の経年変化を示した。内航分の燃料消費量については横ばい状態、マリンバンカー払出量については Gas/Diesel、Heavy Fuel Oil とともに微増傾向が認められた。図 3.3-12には OECD 諸国のうちマリンバンカー払出量が多い国について経年変化を示した。アメリカ合衆国の払出量が近年増加しており、その他の国については横ばいあるいは僅かに増加していた。



Energy Statistics of OECD Countries (OECD/IEA) より作成
 内貿 (Internal Navigation) には旅客 (フェリーなど) を含むが、漁業 (Fishery) を含まない。

図 3.3-11 OECD 諸国における船舶による燃料消費量の年変化



Energy Statistics of OECD Countries (OECD/IEA, 1997) を基に、
1987-1995 年の払出平均量上位 4 カ国について作成

図 3.3-12 OECD 主要各国におけるマリンバンカー払出量の経年変化

(2) 近年の非 OECD 諸国における燃料消費量の動向

非 OECD 諸国の燃料消費量に関する資料としては OECD/IEA (1997) による統計資料 Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995 がある。表 3.3-35 に 1995 年における非 OECD 諸国の燃料消費量を示した。

表 3.3-35 非 OECD 諸国における内貿及びマリンバンカー消費量

単位: 10⁶ toe(tonnes of Oil Equivalent)

地域	主要国	内貿	マリンバンカー
アフリカ			8.30
	アルジェリア	0.52	0.37
	エジプト		2.43
	モロッコ	0.15	0.01
	ナイジェリア	-	0.22
	南アフリカ		3.13
中南米			7.99
	アルゼンチン	0.01	0.56
	ブラジル	0.84	2.39
	チリ	0.35	0.37
	コロンビア	0.16	0.15
	アンチル	-	1.67
	パナマ	-	1.02
	ベネズエラ		0.64
アジア			22.42
	台湾	0.28	2.35
	香港	0.77	2.22
	インド	0.59	0.53
	インドネシア	1.34	0.09
	大韓民国	3.32	4.55
	マレーシア	0.02	0.17
	フィリピン	0.41	0.12
	シンガポール	-	11.05
	スリランカ	-	0.33
	タイ	0.30	0.91
	ヨーロッパ (Non-OECD)		
ブルガリア		0.01	0.27
クロアチア		0.03	0.03
ジブラルタル		-	0.83
ポーランド		0.05	0.19
中東			14.74
	イラン	-	1.91
	サウジアラビア	-	1.86
	アラブ首長国連邦	-	10.34
中国		1.19	2.61
旧ソ連		3.58	0.09
	エストニア	0.00	0.09
	ラトビア	0.15	
	ロシア	3.41	
Non-OECD 計		13.9	57.56

Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA, 1997) より作成
空白は記載が無いことを示す。"- "は欄が無いことを示す

同資料では、内貿（Internal navigation）とマリンバンカー（Intl. Marine Bunkers）の消費量は石油製品総計（Petroleum products）として示されており、燃料種類別には区分されていない。後述する各大気汚染物質排出量の試算のためには非 OECD 諸国についても燃料種類別に消費量を推定する必要がある。そこで本報告書では OECD 諸国の内貿とマリンバンカーに占める各燃料種類の割合（表 3.3-34より算出）を用い、Non-OECD 諸国の燃料消費量を燃料種類別に配分することとした。単位系 Toe と Tonne(t)の変換には OECD/IEA(1997)の定める係数（Toe/Tonne: Motor Gasoline=1.070, Gas/Diesel Oil=1.035, Heavy Fuel Oil=0.960）を用いた。表 3.3-36に推定した非 OECD 諸国の燃料種類別消費量を示した。

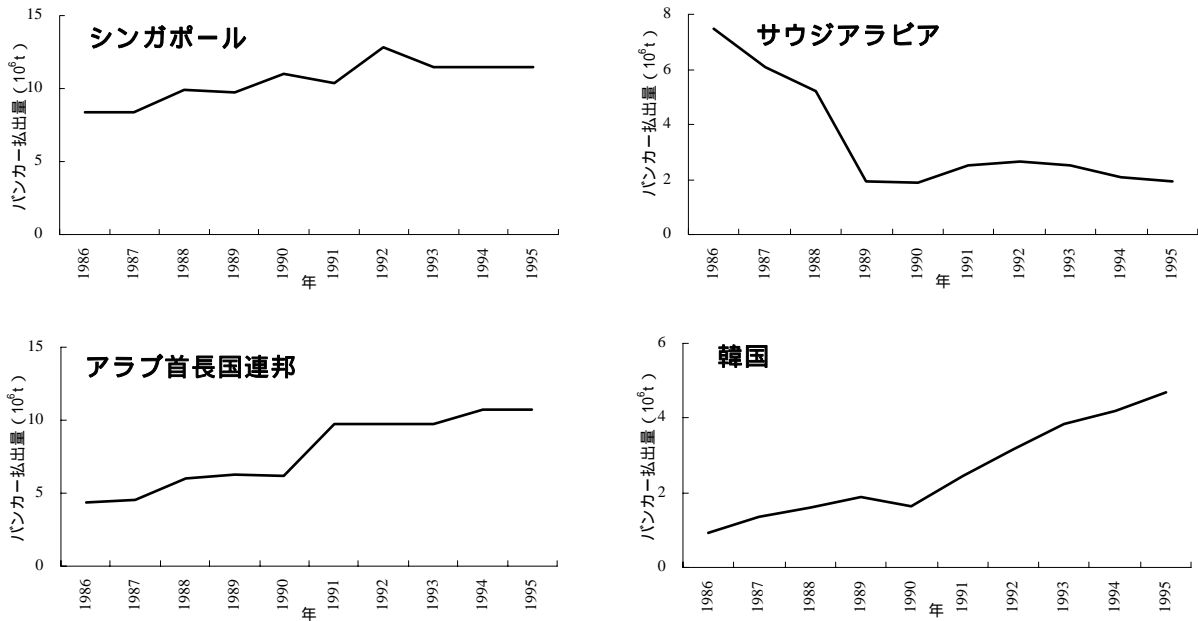
表 3.3-36 非 OECD 諸国における燃料種類別消費量（推定値：1995 年）

単位 10⁶t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿 (Internal navigation)	7.2	3.9	2.5	13.6
マリンバンカー (Intl. Marine Bunkers)	13.4	45.5	-	58.9

注)内航については表 3.3-35の合計値 13.9 (10⁶toe) を基に配分した。マリンバンカーについては Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA,1997) に示された Non-OECD の合計値 58.9 (10⁶t) を基に配分した。Gas/Diesel Oil は MDO、Heavy Fuel Oil は MFO に相当する。

図 3.3-13には非 OECD 諸国のうちマリンバンカー払出量が多い国について経年変化を示した。サウジアラビアの払出量は 1980 年代後半から著しく減少している。シンガポール、アラブ首長国連邦、韓国の払出量は近年増加傾向にあり、特にアラブ首長国連邦、韓国は現在、1980 年代後半の 2 倍以上の払出量となっている。



Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995
 (OECD/IEA,1997) を基に、1987-1995 年の払出平均量上位 4 カ国について作成

図 3.3-13 非 OECD 主要各国におけるマリンバンカー払出量の経年変化

(3) 船舶排ガス排出量の試算に用いる世界全体の燃料消費量

ア. 内貿、マリンバンカー

表 3.3-37に OECD 諸国と非 OECD 諸国の燃料消費量合計値を示した。世界全体の内貿に使用された燃料消費量については統計資料はないため、OECD 諸国と非 OECD 諸国の合計値を用いることとした。マリンバンカー払出量については国際連合(United Nations、以下 UN)が刊行する統計資料 1995 Energy Statistics Yearbook(UN, 1997)に数値が示されている。UN 資料中のバンカー量と今回算出したバンカー量 (OECD 諸国 + 非 OECD 諸国) とを比較すると、各燃料種類の割合 (Gas/Diesel Oil : Heavy Fuel Oil) は似通っているが、バンカー量自体は UN 資料に示されている量の方が少なかった。この差異の主たる原因は、両統計資料においてアメリカ合衆国等の数値が大きく異なっていることである (例えばアメリカ合衆国における 1995 年の Gas/Diesel Oil は OECD 資料では 6,469 (10³t)、UN 資料では 1,890 (10³t))。

本調査では安全サイドに立ち、より燃料消費量の多い OECD 諸国 + 非 OECD 諸国の合計値を世界全体のバンカー払出量とみなすこととした。

表 3.3-37 世界全体における燃料種類別燃料消費量（推定値：1995年）

単位：10⁶t

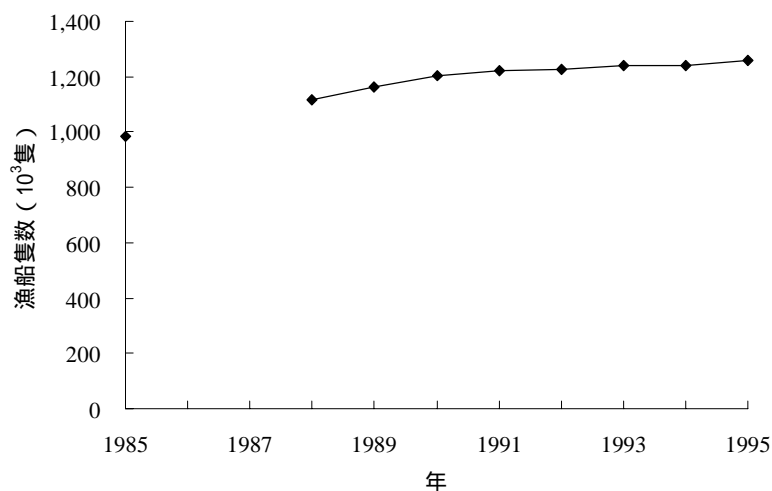
	Gas/Diesel Oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿 (Internal navigation)	15.7	8.6	5.4	29.7
マリンバンカー (Intl. Marine Bunkers)	30.0	101.8	-	131.8
参考値；UN資料*におけるバンカー量 (Bunkers)	23.4	87.5	-	110.9

Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA, 1997) および Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA, 1997) より作成。
 1995 Energy Statistics Yearbook (UN, 1997) より引用。Heavy Fuel Oil のバンカー量については UN 資料中の Residual Fuel Oil として区分されているバンカー量を示した。
 Gas/Diesel Oil は MDO、Heavy Fuel Oil は MFO に相当する。

イ. 漁業

世界においては漁業による燃料消費量を示す統計資料は存在しない。OECD 諸国と非 OECD 諸国については OECD 資料によって一部、農林水産業 (Agriculture) 消費分のみ把握可能であるが、この消費量から漁業消費分のみを分離することは不可能である。そこで本調査では漁船数を用い次式により世界全体の漁業による燃料消費量を推定することとした。

$$\text{世界の漁業による燃料消費量} = \frac{\text{日本の漁業による燃料消費量}}{\text{日本の漁船数}} \times \text{世界の漁船数}$$



FAO (1998): Bulletin of fishery statistics 35 Fishery fleet statistics 1970, 1975, 1980, 1985, 1989-1995 より作成。

図 3.3-14 近年における世界の漁船隻数の変化 (1986、87年については統計データなし)

表 3.3-38に推定した世界の漁業による燃料消費分を示した。参考として OECD 資料に示された日本と OECD 諸国全体及び非 OECD 諸国（一部の国についてはデータ未掲載）における農林水産業の燃料消費量についても示した。Gas/Diesel Oil、Heavy Fuel Oil、Motor Gasoline の合計値でみた農林水産業消費分に占める漁業の割合は日本が 49%、世界が 12%であった。日本が世界でも有数の漁業国であることを考慮すると、世界の農林水産業消費分に占める漁業消費分の割合が日本よりも低いことは実態に即しているものと考えられた。したがって本調査では今回の試算が概ね妥当であるとみなし、世界の漁業による燃料消費分の合計を 12.86×10^6 トンとし以降の排出量計算に用いることとした。

表 3.3-38 漁業による燃料消費量の推定結果(1995 年)

		漁船数* (10 ³ 隻)	燃料消費量(10 ⁶ t)			
			Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
漁業	日本	361	3.26	0.03	0.40	3.69 (49%)
	世界	1,258	11.37	0.10	1.39	12.86 (12%)
農林水産業	日本**		7.51	0.08	-	7.59
	世界	OECD諸国**	39.30	1.28	2.86	43.44
		非OECD諸国***	66.57			66.57
		計	-			110.01

注) 農林水産業消費分として Gas/Diesel Oil、Heavy Fuel Oil、Motor Gasoline 消費量を示した。括弧内の数字は農林水産業消費分に占める漁業の割合である。

Gas/Diesel Oil は MDO、Heavy Fuel Oil は MFO に相当する。

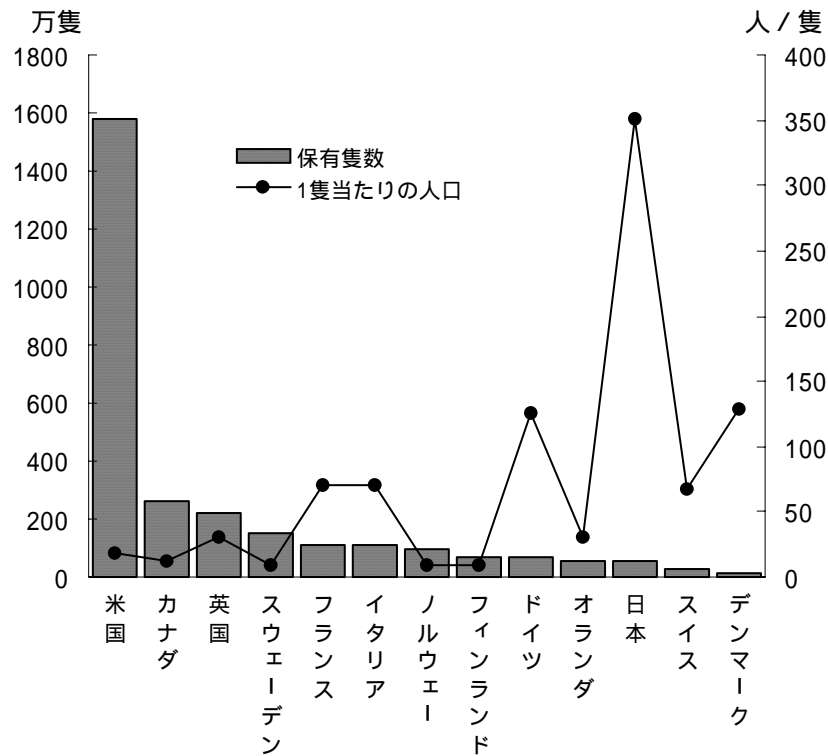
* 出典：Bulletin of fishery statistics 1995(FAO,1997)

** 出典：Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA,1997)

***出典：Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995 (OECD/IEA,1997)

ウ. レジャー

世界におけるレジャーによる燃料消費量についても統計資料は存在しない。したがって日本国内同様、プレジャーボートの隻数等を用いて推定することとした。図 3.3-15に世界各国の舟艇隻数(1995年)を示した。この舟艇隻数を参考とし、本調査では世界全体のプレジャーボート隻数を 2500 万隻と設定した。



((社)日本舟艇工業会広報誌マリナーレポート 1997年9・10月号より転載)

図 3.3-15 世界各国の舟艇の普及状況 (1995年)

その他、定格出力、年間稼働時間、平均稼働率を以下のように設定した。

平均的な定格出力	50 PS
年間の稼働時間	25日(2週間に約1日)×2時間=50時間/年
平均負荷率	定格出力の80%
平均燃料消費量	180 g/PSh
年間の燃料消費量	50 PS × 50 時間 × 0.8 × 180/1000 = 360 kg/年/隻

これらの条件のもとに、世界全体のプレジャーボートによる燃料消費量を 2500 万隻 × 360kg/年/隻=9.00 (10⁶t/年) と試算した。

以上により算出した内航、漁業、レジャー及びマリンバンカーとして船舶が使用した世界全体の燃料消費量を表 3.3-39に示した。項目別にみると最も燃料消費分が多いのがマリンバンカー払出分であり全消費量の 70%以上を占めていた。内貿は全体の 16%と少なかった。燃料種類別にみると Heavy Fuel Oil が最も多く全体の 61%を占めていた。

表 3.3-39 世界全体における燃料種類別燃料消費量（推定値：1995 年）

単位 10⁶t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	15.7	8.6	5.4	29.7
漁業	11.4	0.1	1.4	12.9
レジャー	-	-	9.0	9.0
マリンバンカー	30.0	101.8	-	131.8
計	57.1	110.5	15.8	183.4

Gas/Diesel Oil は MDO、Heavy Fuel Oil は MFO に相当する。

3.3.4 船用燃料性状に関する調査

(1) 船用燃料の現状

MFO の名称で呼ばれる燃料の範囲は非常に幅広く、常温ではほとんど固体に近いような残さ油までが対象である。こういった低質燃料も実際にディーゼル燃料として用いられ、一般的には 50 での動粘度により 180 cSt(センチストークス)級や 380 cSt 級といった名称が用いられることが多い。実際の内航船で使用される燃料は、通常の陸上の区分と同等で、A 重油、B 重油、C 重油という区分けで JIS の規格がそのまま当てはまる。

内航向けの重油燃料の性状は他の石油製品の需要に大きく左右される。これは国内流通の重油全体に占める船舶用需要の割合が 15～20%程度であり、燃料供給業者にとって大きな需要対象となっていないためである。

外航船に用いられるボンド重油(保税扱いの MDO と MFO)は、価格面の競争によりほとんど輸入品である。昭和シェルへの聞き取りによると、全国で積み込まれる全燃料のうち MDO では 99%以上が、MFO では 9 割程度が輸入品と言われている。

(2) 燃料中の硫黄含有率

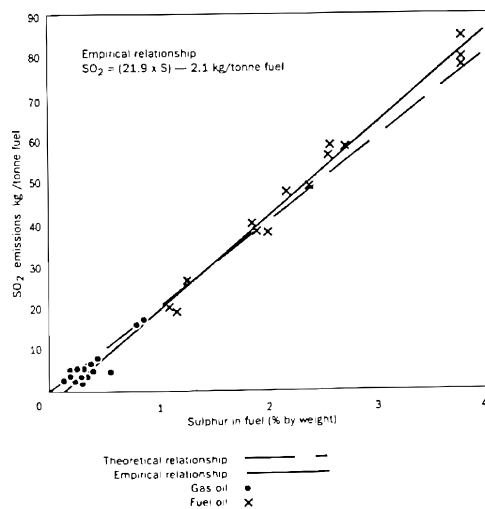
日本郵船の分析結果によると、世界的に見て MDO(日本国内における軽油、A 重油相当)の硫黄含有率は 0.05 ~ 1.24 wt%の間にあり、MFO(日本国内における B 重油、C 重油相当)の硫黄含有率は 0.46 ~ 5.31 wt%の間にある。日本からのバンカーオイル積み出しの平均的な硫黄含有率についての網羅的な統計は存在しないが、一般に MDO で 1 wt%程度、MFO で 2.7wt%程度と推定されている。一例として、MFO に関するシップ・アンド・オーシャン財団の調査結果を表 3.3-40に示す。また運輸省が 20 隻を対象に行なった実船調査では MDO で平均 0.80 wt%、MFO で平均 2.66 wt%とされている。

国産 A 重油の硫黄含有率は最大 1.0 wt%程度であり平均 0.5 wt%程度と考えられ、一方、内航向け C 重油の硫黄含有率は日本内航海運組合総連合会の調査によると平均 2.3 wt%程度である。本調査では、燃料中の硫黄分は、MFO で平均 3.5 wt%程度、C 重油で 2.5wt%程度、A 重油で 0.5 wt%程度および MDO で 1.0 wt%程度とした。

船舶の主機での燃焼された燃料中の硫黄分は、Lloyd's 社の調査や造船業基盤整備事業協会の調査あるいは東京都の調査等により、ほぼ 100% SO₂ に酸化されて排気ガス中に存在していることが知られている(図 3.3-16参照)。ごく微量の硫黄含有物質は未燃状態のままいわゆる SOF* として排出されているが、可溶有機分の濃度は他の未燃炭素成分や窒素分も併せて最大で 300ppm 程度と言われている(低速 2 サイクルの場合 MAN B&W 資料)。

* SOF

Soluble Organic Fractionの略称で、排気ガス中の粒子状の物質のうち有機溶媒に溶解する成分を指す。



Lloyd's(1996)より作成

図 3.3-16燃料中硫黄分の SO₂ への転換率

表 3.3-40 動粘度別に見た日本積み出しの MFO 性状

動粘度区分 cSt (at50)	サンプル数	密度 g/ml	平均動粘度 cSt (at50)	硫黄含有率 wt%
-20	1	0.931	16	1.94
21-60	2	0.931	38	2.63
61-100	8	0.953	79	2.72
101-150	14	0.954	139	2.63
151-175	94	0.968	167	2.61
176-200	33	0.966	134	2.71
201-250	39	0.970	218	2.51
251-300	59	0.974	277	2.72
301-350	74	0.976	330	2.87
350	74	0.976	371	2.83
平均		0.970	246	2.72
標準偏差		0.012	94	0.52

Fuel Quality Statistics Vol.10(2), VERITAS Petroleum Services, 1990 より
July 1989 ~ June 1990の測定結果

(3) 燃料中の窒素含有率

原油の窒素含有率は平均 0.1 重量%で、ほとんどの産地では 0.2 重量%以下で高沸点留分での割合は増加する。燃料の MFO の原材料となる残さ油に含まれる窒素含有率については、表 3.3-42に示すような値がある。また、国内で精製された重油分に含まれる硫黄含有率と窒素含有率の関係を調べた調査例として図 3.3-17に示すような関係がある。

船用ディーゼル機関から排出される NO_x は、空気中の窒素と酸素がシリンダー内の高圧高温雰囲気下で結合する Thermal NO_x と燃料中の窒素含有物質が酸化される際に生じる Fuel Nox とに大別される。Thermal NO_x は燃焼雰囲気内の温度が約 1,500 以上で活発に生成されると言われている。一方、Fuel NO_x が燃焼雰囲気内の温度にあまり左右されず、1,500 よりかなり低い温度でも生成すると言われている。

燃料中の窒素の NO_x への転換率については、燃料中の硫黄とは異なり必ずしも 100%酸化されているとは限らず確定した数値がない。表 3.3-41に示すようにかなり大きな幅を持っており、低回転の大型 2 サイクル機関においてはほぼ 100%に近いといわれている一方で、4 サイクル機関では燃焼状態により大きく変化するという意見もある。例えば、小型高速機関においては約 25%の転換率を示唆する実験結果や、転換率 80%とするデータもある。

0.1 重量%程度の窒素含有率の MFO(C 重油程度)の Fuel NO_x は、転換率 100%という前提では約 60 ppm(13%O₂換算値)あるいは 0.56 g/kwh 程度の上乗せと計算される。

表 3.3-41 燃料中の窒素の Fuel NO_x への転換率

機関の熱効率%(軸出力において)	燃料中の窒素のNO _x への転換率
30以下	0%
30 ~ 40	0 ~ 100%
40以上	100%

CIMAC Report, No. 12, 1991

表 3.3-42 各種原油の常圧蒸留残さ油と減圧蒸留残さ油中の窒素含有率

原油名	常圧蒸留残さ油中の窒素含有率 wt%	常圧蒸留残さ油中の窒素含有率 wt%
Arabian Light	0.14	0.30
Arabian Heavy	0.23	0.40
Brent/Ninian	0.20	0.45
Brega(Libya)	0.21	0.51
Ekofisk	0.32	0.62
Forties	0.20	0.43
Iranian Light	0.31	0.55
Iranian Heavy	0.41	0.77
Kirkuk (Iran)	0.24	0.46
Kuwait	0.23	0.40
Maya (Mexico)	0.55	0.76
Oman	0.20	0.40
Statfjord	0.07	0.21
Tia Juana Pesado (Venez.)	0.45	0.79

淡井信幸他(1994),陸船中・大型ディーゼル機関用燃料油より

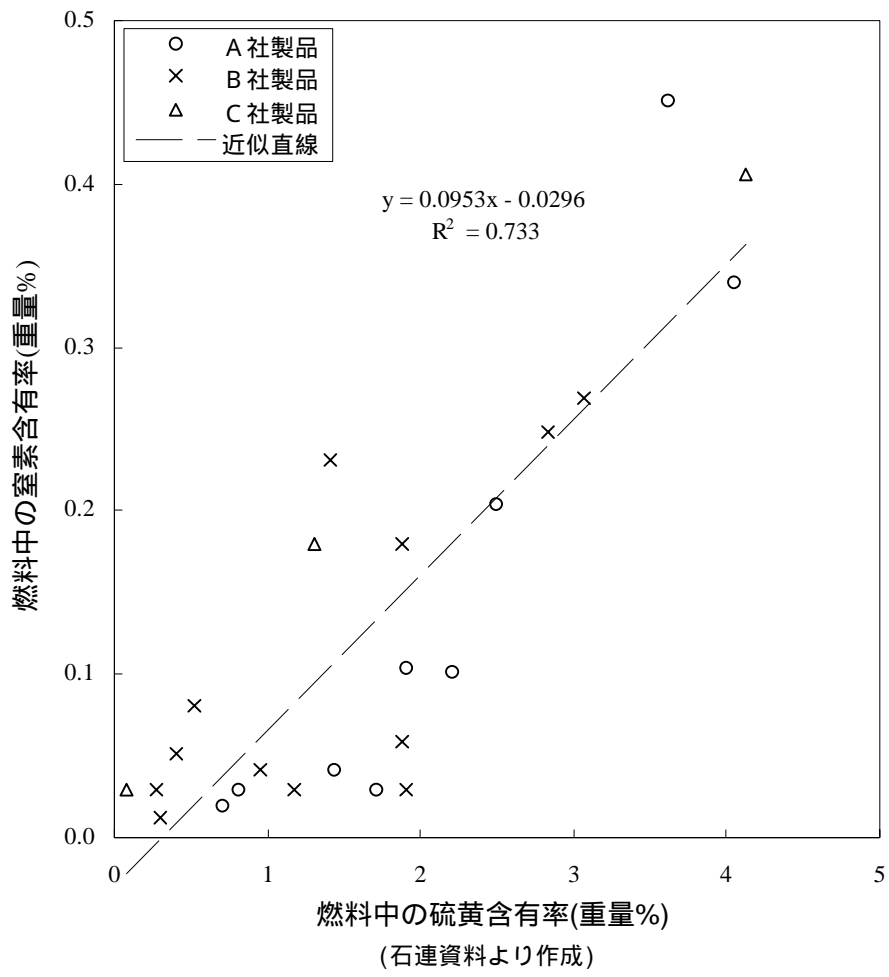


図 3.3-17 重油中の硫黄含有率と窒素含有率の関係

3.4 船舶排ガスの排出量

3.4.1 排出量算定方式

これまで検討した結果から、本調査における大気汚染物質排出量算定は以下のような3つのカテゴリーで計算した。各カテゴリーにおいて、燃料消費量を算定し、それぞれの排出係数を乗じることで、排出量の推定を行う。

表 3.4-1 各燃料消費量の定義

日本国内における 燃料消費量	日本周辺における 燃料消費量	世界における 燃料消費量
内航に従事する船舶に関する排出量 (タグボート、フェリー、中継貨物、客船を含む)	左欄の合計値	世界各国の内貿合計 (OECD および非 OECD 諸国の統計値合計)
漁業 (ガソリン使用の船外機を含む)		世界各国の漁業合計 (日本の消費量より推計)
プレジャーボート		世界各国のプレジャーボート合計 (日本の消費量より推計)
-	外国貿易に従事する船舶に付随する排出量 (日本国内の港湾に停泊時の排出量および沿岸から 200 海里以内を航海時における排出量)	世界全体の外貿 (地理的な排出範囲を想定しないので、世界各国のバンカー総消費量)

3.4.2 船舶用燃料消費量

3つのカテゴリーの燃料消費量について、国内の消費量を表 3.4-2に、日本周辺の消費量を表 3.4-3に世界の消費量を表 3.4-4に再掲した。消費量算定方法などについては、3.3章に示すとおりである。

表 3.4-2 日本国内における燃料種類別燃料消費量（推定値：1996年）

単位：10³t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別						合計
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油	
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	181	32	879	1,092
		小型	-	-	-	780	149	279	1,209
		小計	-	-	-	961	181	1,159	2,301
	油送船	特大	-	-	-	38	2	179	219
		大型	-	-	-	42	3	195	240
		小型	-	-	-	306	20	105	432
		小計	-	-	-	386	25	479	890
		旅客	-	-	186	311	17	1,460	1,974
		タグボート	-	-	-	95	-	-	95
		その他	-	5	13	-	-	-	18
		計	-	5	199	1,752	224	3,098	5,278
	漁業	398	125	894	2,407	1	18	3,842	
	レジャー	72	-	-	-	-	-	72	
	合計	470	130	1,092	4,159	225	3,116	9,193	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-3 日本周辺における外航船舶からの燃料消費量

単位：10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
		外 航 貨 物	コンテナ	772	101	150	60
自動車輸送船 (PCC)	119		15	13	2	0	150
その他の貨物	260		47	89	137	51	585
貨客船	0		0	0	0	0	0
客船	7		0	0	0	0	7
タンカー	105		4	26	15	13	163
貨物総計	1,264		168	279	215	64	1,989
外航自航	2	9	1	1	0	13	
外航総計	1,265	177	280	216	64	2,002	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-4 世界全体における燃料種類別燃料消費量（推定値：1995 年）

単位：10⁶t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	15.7	8.6	5.4	29.7
漁業	11.4	0.1	1.4	12.9
レジャー	-	-	9.0	9.0
マリンバンカー	30.0	101.8	-	131.8
計	57.1	110.5	15.8	183.4

注：表中数値は小数点第 2 位以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

3.4.3 排出係数

(1) CO₂

各カテゴリーにおける CO₂ 排出係数は以下に示すとおりである。CO₂ は燃料中の炭素が、ほぼ完全燃焼して放出されるため、船種、船型に係わらず、燃料種ごとに一定である。ここでは、密度、熱量及び液体燃料の熱量当たりの炭素発生量から算出した。

表 3.4-5 日本国内における CO₂ 排出係数

単位：g/kg-Fuel

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
内	貨物船	大型	3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
		小型	3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
航	油送船	特大	3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
		大型	3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
		小型	3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
貨	旅客		3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
	タグボート		3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
	その他		3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
物	漁業		3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999
	レジャー		3,204	3,161	3,186	3,066	3,079	2,999

表 3.4-6 日本周辺における外航船舶の CO₂ 排出係数

単位 ; g/kg-Fuel

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満
外 航 貨 物	コンテナ	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
	自動車輸送船 (PCC)	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
	その他の貨物	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
	貨客船	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
	客船	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
	タンカー	2,999	3,016	3,033	3,049	3,066
外航自航		2,999	3,016	3,033	3,049	3,066

表 3.4-7 世界全体における CO₂ 排出係数

単位 ; g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	3066	2999	3185
漁業	3066	2999	3185
レジャー	-	-	3185
マリンバンカー	3066	2999	3185

(2) NO_x

各カテゴリーにおける NO_x 排出係数は以下に示すとおりである。

国内の NO_x 排出量については、各カテゴリーごとの平均馬力を総トン数から算出し、馬力から定格回転数を算出した(26 ページ参照)。

次に定格回転数が 34 ページの表 3.2-2 のどのカテゴリーに入るかを判定し、NO_x 排出率を 2 サイクル、4 サイクル機関ごとに算出した。さらに 76 ページの表 3.3-21 に示した 4 サイクル機関と 2 サイクル機関の比率で、NO_x 排出係数の相加平均を行い、排出率を設定する。

同様に、日本周辺の排出率についても同じ手法を用いた。ただし、周辺海域では主機、補機の燃料消費量割合が明らかになっているので、補機の排出係数についても一律に 10%の重み付けを行い、残りの 90%について 2 サイクル、4 サイクルの主機の隻数割合で重み付けを行った。

また、世界の NO_x 排出係数については、平均的な総トン数や機関規模の推定が困難であること、特にマリンバンカーについては、国内にも増して高負荷時に運転される時間割合が多くなり、結果として高負荷での燃料消費量が多くなること、などを考慮し、外航における最も大規模な船舶の排出係数を全てのカテゴリーで用いた。漁業やタンカーなどについては過大評価となる可能性もあるが、日本周辺の設定値の範囲は 84 ~ 87 g/kg-Fuel であり、誤差は 5%以内と少なく、今回のような設定でも実際の計算上は問題が少ないと考えられた。

また、ガソリンについては、IPCC などの数値を参考に設定した。

表 3.4-8 日本国内における NOx 排出係数

単位：g/kg-Fuel

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	86	86	90
		小型	-	-	-	84	84	88
	油送船	特大	-	-	-	89	89	93
		大型	-	-	-	86	86	90
		小型	-	-	-	84	84	88
	旅客		-	-	76	84	84	88
	タグボート		-	-	-	84	-	-
	その他		-	70	76	-	-	-
	漁業		70	70	76	84	84	84
	レジャー		72	-	-	-	-	-

注 排出係数は平均総トン数から算出される主機の定格馬力および定格回転数より求めた。

表 3.4-9 日本周辺における外航船舶の NOx 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満
		外 航 貨 物	コンテナ	87	86	86
自動車輸送船 (PCC)	87		86	86	84	84
その他の貨物	86		86	86	84	84
貨客船	86		86	86	84	84
客船	86		86	86	84	84
タンカー	84		84	78	78	78
外航自航		86	86	86	84	84

注 排出係数は平均総トン数から算出される主機の定格馬力および定格回転数より求めた。

表 3.4-10 世界全体における NOx 排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	87	87	76
漁業	87	87	76
レジャー	-	-	70
マリンバンカー	87	87	-

(3) SO_x

各カテゴリーにおける SO_x 排出係数は以下に示すとおりである。SO_x はすべて SO₂ 換算として扱う。また、硫黄中の酸化物が全て放出されるので、船種、船型に係わらず、燃料種ごとに一定である。燃料中の性状で述べたように、実測値に基づく推定では、21s(s は硫黄の wt%)とされている IPCC の値もあるが、ここでは理論値に基づき、20s(s は硫黄の wt%)を採用した。

硫黄含有率については、国内で供給される燃料については表 3.4-11に示すように設定した。また、日本周辺で消費される燃料についても、日本積み出しの燃料が多いこと、荷役時の消費量が含まれていることが想定されるため、硫黄含有率について表 3.4-11に示すように国内流通と同等の含有率設定を用い、船型ごとに C 重油と A 重油の使用比率を設定した。

世界については、表 3.4-12に示すように硫黄含有率を設定した。

表 3.4-11 日本国内および日本周辺における硫黄含有率設定

	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油	MDO	MFO
平均硫黄分 (%)	0.015	0.1	0.5	0.5	2.5	0.5	2.5

表 3.4-12世界における硫黄含有率設定

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
平均硫黄分 (%)	1.0	3.5	0.5

表 3.4-13 日本国内における SO_x 排出係数

単位：g/kg-Fuel

産業・船種・船型区分		燃 料 種 別						
		ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油	
内	貨物船	大型	0	0	2	10	10	50
		小型	0	0	2	10	10	50
航	油送船	特大	0	0	2	10	10	50
		大型	0	0	2	10	10	50
		小型	0	0	2	10	10	50
貨	旅客		0	0	2	10	10	50
	タグボート		0	0	2	10	10	50
	その他		0	0	2	10	10	50
物	漁業		0	0	2	10	10	50
	レジャー		0	0	2	10	10	50

表 3.4-14 日本周辺における外航船舶の SO_x 排出係数

単位 ; g/kg-Fuel

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満
外 航 貨 物	コンテナ	20	15	15	15	10
	自動車輸送船 (PCC)	20	15	15	15	10
	その他の貨物	20	15	15	15	10
	貨客船	20	15	15	15	10
	客船	20	15	15	15	10
	タンカー	20	15	15	15	10
外航自航		20	15	15	15	10

表 3.4-15 世界全体における SO_x 排出係数

単位 ; g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	20	70	10
漁業	20	70	10
レジャー	-	-	10
マリンバンカー	20	70	10

(4) CH₄

各カテゴリーにおける CH₄ 排出係数は以下に示す値とした。燃焼状態により大きく影響することが予想されるが、排出データの蓄積が少ないことから、ディーゼル機関全体で一定とした。実船舶実験により、定常状態での THC の排出係数は 1.2~2.0 g/kg-Fuel 程度であった。また Lloyd's の調査結果においては、2.5g/kg-Fuel のうち、12%が CH₄ という数値が報告されているので、ここではディーゼル機関では、重油で 0.3 を採用した。また、ガソリン機関では CARB プレジャーボートの規制前における排出係数を用いた。

表 3.4-16 日本国内における CH₄ 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	燃 料 種 別					
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
全船舶	1.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

表 3.4-17 日本周辺における外航船舶の CH₄ 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	10,000総トン以上	6,000総トン以上~10,000総トン未満	3,000総トン以上~6,000総トン未満	500総トン以上~3,000総トン未満	500総トン未満
全船舶	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

表 3.4-18 世界全体における CH₄ 排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	0.3	0.3	1.7
漁業	0.3	0.3	1.7
レジャー	-	-	1.7
マリンバンカー	0.3	0.3	1.7

(5) CO

各カテゴリーにおける CO 排出係数は以下の値とした。燃焼状態により大きく影響することが予想されるが、排出データの蓄積が少ないことから、ディーゼル機関全体で一定とした。実船実験では、定常状態での CO の排出係数は 2 サイクル機関で 2.3、4 サイクル機関で 2.8g/kg-Fuel 程度であった。Lloyd's の調査結果においては、8~9 g/kg-Fuel 程度が、CIMAC では 7.4 程度が報告されている。実船計測においても、トランジェント時には、100 g/kg-Fuel 程度の値が観測されており、トランジェント時には大きな値になることが予想される。

ここでは、世界のバンカーについては、国内、日本周辺よりも定常状態が多いことが期待できるが、トランジェント時の割合は同等と考え、一律に 9g/kg-Fuel とした。

表 3.4-19 日本国内における CO 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	燃 料 種 別					
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
全船舶	9.5	9	9	9	9	9

表 3.4-20 日本周辺における外航船舶の CO 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	10,000総トン以上	6,000総トン以上~10,000総トン未満	3,000総トン以上~6,000総トン未満	500総トン以上~3,000総トン未満	500総トン未満
全船舶	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0

表 3.4-21 世界全体における CO 排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	9	9	9.5
漁業	9	9	9.5
レジャー	-	-	9.5
マリンバンカー	9	9	9.5

(6) N₂O

各カテゴリーにおける N₂O 排出係数は以下に示す値とした。燃焼状態により大きく影響することが予想されるが、排出データの蓄積が少ない。実験結果などによれば、ボイラーなど残留酸素濃度が低い燃焼においては、NO_x の 25% 程度を N₂O が占めるという結果もあるが、ディーゼルやガソリン機関のように酸素リッチの燃焼雰囲気下では、N₂O の占める割合はごく少ないと考えられた。また、4 サイクル主機実船実験において、試験的にバック採取した N₂O 濃度は、2～3ppm 程度と推定された。ここでは、4 サイクルガソリン機関と同等の排出係数を持つものと、仮定した。

表 3.4-22 日本国内における N₂O 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	燃 料 種 別					
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
全船舶	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

表 3.4-23 日本周辺における外航船舶の N₂O 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	10,000総トン以上	6,000総トン以上～10,000総トン未満	3,000総トン以上～6,000総トン未満	500総トン以上～3,000総トン未満	500総トン未満
全船舶	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

表 3.4-24 世界全体における N₂O 排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	0.08	0.08	0.08
漁業	0.08	0.08	0.08
レジャー	-	-	0.08
マリンバンカー	0.08	0.08	0.08

(7) NMVOC

各カテゴリーにおける NMVOC 排出係数は以下に示す値とした。燃焼状態により大きく影響することが予想されるが、排出データの蓄積が少ないことから、ガソリン機関については CARB が公表したプレジャーボートの規制前のデータ(燃料からの蒸散を含む)を採用した。CH₃の項で述べたように、ディーゼル機関については Lloyd's および実船舶実験において定常状態での THC の排出係数は 1.2~2.0 g/kg-Fuel 程度であること、88 %が NMVOC という数値がレポートされていることなどから、ディーゼル機関では 1.9 g/kg-Fuel を採用した。

表 3.4-25 日本国内における NMVOC 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	燃 料 種 別					
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
全船舶	34	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9

表 3.4-26 日本周辺における外航船舶の NMVOC 排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	10,000総トン以上	6,000総トン以上~10,000総トン未満	3,000総トン以上~6,000総トン未満	500総トン以上~3,000総トン未満	500総トン未満
全船舶	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9

表 3.4-27 世界全体における NMVOC 排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	1.9	1.9	34
漁業	1.9	1.9	34
レジャー	-	-	34
マリンバンカー	1.9	1.9	34

(8) PM

各カテゴリーにおけるPM排出係数は以下に示す値とした。燃焼状態により大きく影響することが予想されるが、実船計測結果によれば、定常状態における排出係数は、4サイクル機関で約0.9g/kg-Fuel、2サイクルで約1.3g/kg-Fuel程度であった。また、トランジェント時における排出係数は、2.5~4.2g/kg-Fuel程度の数値がみられた。しかし、排出データの蓄積が少ないことから、ディーゼル機関全体で1.3g/kg-Fuel一定とした。

表 3.4-28 日本国内におけるPM排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	燃 料 種 別					
	ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油
全船舶	2.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

表 3.4-29 日本周辺における外航船舶のPM排出係数

単位：g/kg-Fuel

船種	10,000総トン以上	6,000総トン以上~10,000総トン未満	3,000総トン以上~6,000総トン未満	500総トン以上~3,000総トン未満	500総トン未満
全船舶	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

表 3.4-30 世界全体におけるPM排出係数

単位：g/kg-Fuel

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline
内貿	1.3	1.3	2.5
漁業	1.3	1.3	2.5
レジャー	-	-	2.5
マリンバンカー	1.3	1.3	2.5

3.4.4 船舶排ガス排出量のまとめ

(1) CO₂

CO₂ についての計算結果を以下に示した。国内では 28,184 × 10³t、周辺海域全体で 34,206 × 10³t [(28,184+6,022) × 10³t]、世界全体で 556,781 × 10³t と計算された。

燃料消費量にほぼ比例しているため、国内においては、漁業において内航貨物とほぼ同等の排出量が見込まれる。世界では、外航に用いられるマリンバンカーからの排出量が 70%程度を占めている。

表 3.4-31 日本国内における CO₂ 排出量（推定値：1996 年）

単位：10³t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	555	99	2,636	3,290
		小型	-	-	-	2,391	459	837	3,687
		小計	0	0	0	2,946	557	3,473	6,976
	油送船	特大	-	-	-	116	6	537	660
		大型	-	-	-	129	9	585	723
		小型	-	-	-	938	62	315	1,315
		小計	0	0	0	1,183	77	1,437	2,697
	旅客		-	-	593	953	52	4,379	5,977
	タグボート		-	-	-	291	-	-	291
	その他		-	16	41	-	-	-	57
	計		0	16	634	5,374	687	9,289	15,999
	漁業		1,275	395	2,848	7,379	3	54	11,954
	レジャー		231	-	-	-	-	-	231
合計		1,506	411	3,482	12,753	690	9,343	28,184	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-32 日本周辺における外航船舶からの CO₂ 排出量

単位：10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
		外 航 貨 物	コンテナ	2,315	305	455	183
自動車輸送船 (PCC)	357		45	39	6	0	448
その他の貨物	780		142	270	418	156	1,765
貨客船	0		0	0	0	0	0
客船	21		0	0	0	0	21
タンカー	315		12	79	46	40	491
貨物総計	3,788		504	843	653	196	5,983
外航自航		6	27	3	3	0	39
外航総計		3,794	531	846	656	196	6,022

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-33 世界全体における CO₂ 排出量 (推定値: 1995 年)

単位: 10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	48,136	25,791	17,199	91,127
漁業	34,952	300	4,459	39,711
レジャー	-	-	28,665	28,665
マリンバンカー	91,980	305,298	-	397,278
計	175,069	331,390	50,323	556,781

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(2) NO_x

NO_x についての計算結果を以下に示した。国内では 771 × 10³t、周辺海域全体で 945 × 10³t [(771+174) × 10³t]、世界全体で 15,728 × 10³t と計算された。

国内においては、漁業が約 40%、内航貨物が 60%となっている。世界では、外航に用いられるマリンバンカーからの排出量が 70%程度を占めている。

表 3.4-34 日本国内における NO_x 排出量 (推定値: 1996 年)

指摘単位: 10³t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	16	3	79	98
		小型	-	-	-	66	13	25	103
		小計	-	-	-	81	15	104	200
	油送船	特大	-	-	-	3	0	17	20
		大型	-	-	-	4	0	18	21
		小型	-	-	-	26	2	9	37
		小計	-	-	-	33	2	44	78
		旅客	-	-	14	26	1	129	170
		タグボート	-	-	-	8	-	-	8
		その他	-	0	1	-	-	-	1
		計	-	0	15	148	19	276	459
		漁業	28	9	68	201	0	2	307
	レジャー	5	-	-	-	-	-	5	
	合計	33	9	83	349	19	278	771	

注: NO_x 排出量は NO₂ 換算値。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-35 日本周辺における外航船舶からの NOx 排出量

単位 ; 10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外 航 貨 物	コンテナ	69	9	13	5	0	96
	自動車輸送船 (PCC)	11	1	1	0	0	13
	その他の貨物	22	4	8	12	4	50
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	1	0	0	0	0	1
	タンカー	9	0	2	1	1	13
	貨物総計	112	14	24	18	5	173
外航自航	0	1	0	0	0	1	
外航総計	112	15	24	18	5	174	

注：NOx 排出量は NO₂ 換算値。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-36 世界全体における NOx 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	1,366	748	410	2,525
漁業	992	9	106	1,107
レジャー	-	-	630	630
マリンバンカー	2,610	8,857	-	11,467
計	4,968	9,614	1,147	15,728

注：NOx 排出量は NO₂ 換算値。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(3) SO_x

SO_x についての計算結果を以下に示した。国内では 202 × 10³t、周辺海域全体で 238 × 10³t [(202+36) × 10³t]、世界全体で 9,035 × 10³t と計算された。

表 3.4-37 日本国内における SO_x 排出量 (推定値: 1996 年)単位: 10³t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別						合計
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油	
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	2	0	44	46
		小型	-	-	-	8	1	14	23
		小計	0	0	0	10	2	58	69
	油送船	特大	-	-	-	0	0	9	9
		大型	-	-	-	0	0	10	10
		小型	-	-	-	3	0	5	9
		小計	0	0	0	4	0	24	28
		旅客	-	-	0	3	0	73	77
		タグボート	-	-	-	1	-	-	1
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	0	18	2	155	175
		漁業	0	0	2	24	0	1	27
		レジャー	0	-	-	-	-	-	0
	合計	0	0	2	42	2	156	202	

注: SO_x 排出量は SO₂ 換算値である。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-38 日本周辺における外航船舶からの SO_x 排出量単位: 10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上~10,000 総トン未満	3,000総トン 以上~6,000 総トン未満	500総トン以 上~3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外 航 貨 物	コンテナ	15	2	2	1	0	20
	自動車輸送船 (PCC)	2	0	0	0	0	3
	その他の貨物	5	1	1	2	1	10
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	0	0	0	0	0	0
	タンカー	2	0	0	0	0	3
	貨物総計	25	3	4	3	1	36
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	25	3	4	3	1	36	

注: SO_x 排出量は SO₂ 換算値である。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-39 世界全体における SO_x 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	314	602	54	970
漁業	228	7	14	249
レジャー	-	-	90	90
マリンバンカー	600	7,126	-	7,726
計	1,142	7,735	158	9,035

注：SO_x 排出量は SO₂ 換算値。表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(4) CH₄

CH₄ についての計算結果を以下に示した。国内では 3 × 10³t、周辺海域全体で 4 × 10³t [(3+1) × 10³t]、世界全体で 77 × 10³t と計算された。

表 3.4-40 日本国内における CH₄ 排出量（推定値：1996 年）

単位：10³t

産業・船種・船型区分		燃 料 種 別						合計	
		ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油	C重油		
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	0	0	0	0
		小型	-	-	-	0	0	0	0
		小計	0	0	0	0	0	0	1
	油送船	特大	-	-	-	0	0	0	0
		大型	-	-	-	0	0	0	0
		小型	-	-	-	0	0	0	0
		小計	0	0	0	0	0	0	0
		旅客	-	-	0	0	0	0	1
		タグボート	-	-	-	0	-	-	0
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	0	1	0	1	2
		漁業	1	0	0	1	0	0	2
		レジャー	0	-	-	-	-	-	0
	合計	1	0	0	1	0	1	3	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-41 日本周辺における外航船舶からの CH₄ 排出量

単位：10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外 航 貨 物	コンテナ	0	0	0	0	0	0
	自動車輸送船 (PCC)	0	0	0	0	0	0
	その他の貨物	0	0	0	0	0	0
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	0	0	0	0	0	0
	タンカー	0	0	0	0	0	0
	貨物総計	0	0	0	0	0	1
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	0	0	0	0	0	1	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-42 世界全体における CH₄ 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	5	3	9	16
漁業	3	0	2	6
レジャー	-	-	15	15
マリンバンカー	9	31	-	40
計	17	33	27	77

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(5) CO

CO についての計算結果を以下に示した。国内では 82×10^3 t、周辺海域全体で 100×10^3 t [$(82+18) \times 10^3$ t]、世界全体では $1,659 \times 10^3$ t と計算された。

表 3.4-43 日本国内における CO 排出量 (推定値: 1996 年)

単位: 10^3 t

産業・船種・船型区分			燃料種別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	2	0	8	10
		小型	-	-	-	7	1	3	11
		小計	0	0	0	9	2	10	21
	油送船	特大	-	-	-	0	0	2	2
		大型	-	-	-	0	0	2	2
		小型	-	-	-	3	0	1	4
		小計	0	0	0	3	0	4	8
		旅客	-	-	2	3	0	13	18
		タグボート	-	-	-	1	-	-	1
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	2	16	2	28	47
		漁業	4	0	8	22	0	0	34
		レジャー	1	-	-	-	-	-	1
	合計	4	0	10	37	2	28	82	

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-44 日本周辺における外航船舶からの CO 排出量

単位: 10^3 t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上~10,000 総トン未満	3,000総トン 以上~6,000 総トン未満	500総トン以 上~3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
		外 航 貨 物	コンテナ	7	1	1	1
自動車輸送船 (PCC)	1		0	0	0	0	1
その他の貨物	2		0	1	1	0	5
貨客船	0		0	0	0	0	0
客船	0		0	0	0	0	0
タンカー	1		0	0	0	0	1
貨物総計	11		2	3	2	1	18
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	11	2	3	2	1	18	

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-45 世界全体における CO 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	141	77	51	270
漁業	103	1	13	117
レジャー	-	-	86	86
マリンバンカー	270	916	-	1,186
計	514	995	150	1,659

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(6) N₂O

N₂O についての計算結果を以下に示した。国内では 97 × 10²t、周辺海域全体で 10.3 × 10²t [(9.7+1.6) × 10²t]、世界全体で 15 × 10³t と計算された。

表 3.4-46 日本国内における N₂O 排出量（推定値：1996 年）

単位：10²t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	0	0	1	1
		小型	-	-	-	1	0	0	1
		小計	0	0	0	1	0	1	2
	油送船	特大	-	-	-	0	0	0	0
		大型	-	-	-	0	0	0	0
		小型	-	-	-	0	0	0	0
		小計	0	0	0	0	0	0	1
		旅客	-	-	0	0	0	1	2
		タグボート	-	-	-	0	-	-	0
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	0	1	0	2	4
	漁業	0	3	1	2	0	0	5	
	レジャー	0	-	-	-	-	-	0	
	合計	0	3	1	3	0	2	10	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-47 日本周辺における外航船舶からの N₂O 排出量

単位 ; 10²t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外 航 貨 物	コンテナ	1	0	0	0	0	1
	自動車輸送船 (PCC)	0	0	0	0	0	0
	その他の貨物	0	0	0	0	0	0
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	0	0	0	0	0	0
	タンカー	0	0	0	0	0	0
	貨物総計	1	0	0	0	0	2
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	1	0	0	0	0	2	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-48 世界全体における N₂O 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	1	1	0	2
漁業	1	0	0	1
レジャー	-	-	1	1
マリンバンカー	2	8	-	11
計	5	9	1	15

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(7) NMVOC

NMVOC についての計算結果を以下に示した。国内では $33 \times 10^3\text{t}$ 、周辺海域全体で $37 \times 10^3\text{t}$ [(33+4) $\times 10^3\text{t}$]、世界全体では $856 \times 10^3\text{t}$ と計算された。

表 3.4-49 日本国内における NMVOC 排出量 (推定値: 1996 年)

単位: 10^3t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	0	0	2	2
		小型	-	-	-	2	0	1	2
		小計	0	0	0	2	0	2	5
	油送船	特大	-	-	-	0	0	0	0
		大型	-	-	-	0	0	0	0
		小型	-	-	-	1	0	0	1
		小計	0	0	0	1	0	1	2
		旅客	-	-	0	1	0	3	4
		タグボート	-	-	-	0	-	-	0
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	0	4	0	6	11
		漁業	14	0	2	5	0	0	20
	レジャー	2	-	-	-	-	-	2	
	合計	16	0	2	8	0	6	33	

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-50 日本周辺における外航船舶からの NMVOC 排出量

単位: 10^3t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上~10,000 総トン未満	3,000総トン 以上~6,000 総トン未満	500総トン以 上~3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
		外 航 貨 物	コンテナ	1	0	0	0
自動車輸送船 (PCC)	0		0	0	0	0	0
その他の貨物	0		0	0	0	0	1
貨客船	0		0	0	0	0	0
客船	0		0	0	0	0	0
タンカー	0		0	0	0	0	0
貨物総計	2		0	1	0	0	4
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	2	0	1	0	0	4	

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-51 世界全体における NMVOC 排出量 (推定値: 1995 年)

単位: 10^3t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	30	16	184	230
漁業	22	0	48	69
レジャー	-	-	306	306
マリンバンカー	57	193	-	250
計	108	210	537	856

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

(8) PM

PM についての計算結果を以下に示した。国内では $12.6 \times 10^3\text{t}$ 、周辺海域全体で $15.2 \times 10^3\text{t}$ [($12.6+2.6$) $\times 10^3\text{t}$]、世界全体で $257 \times 10^3\text{t}$ と計算された。

表 3.4-52 日本国内における PM 排出量 (推定値: 1996 年)

単位: 10^3t

産業・船種・船型区分			燃 料 種 別					合計	
			ガソリン	灯油	軽油	A重油	B重油		C重油
内 航 貨 物	貨物船	大型	-	-	-	0	0	1	1
		小型	-	-	-	1	0	0	2
		小計	0	0	0	1	0	2	3
	油送船	特大	-	-	-	0	0	0	0
		大型	-	-	-	0	0	0	0
		小型	-	-	-	0	0	0	1
		小計	0	0	0	1	0	1	1
		旅客	-	-	0	0	0	2	3
		タグボート	-	-	-	0	-	-	0
		その他	-	0	0	-	-	-	0
		計	0	0	0	2	0	4	7
		漁業	1	0	1	3	0	0	6
		レジャー	0	-	-	-	-	-	0
	合計	1	0	1	5	0	4	13	

注: 表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-53 日本周辺における外航船舶からの PM 排出量

単位：10³t

船種		10,000総 トン以上	6,000総トン 以上～10,000 総トン未満	3,000総トン 以上～6,000 総トン未満	500総トン以 上～3,000総 トン未満	500総トン 未満	合計
外 航 貨 物	コンテナ	1	0	0	0	0	1
	自動車輸送船 (PCC)	0	0	0	0	0	0
	その他の貨物	0	0	0	0	0	1
	貨客船	0	0	0	0	0	0
	客船	0	0	0	0	0	0
	タンカー	0	0	0	0	0	0
	貨物総計	2	0	0	0	0	3
外航自航	0	0	0	0	0	0	
外航総計	2	0	0	0	0	3	

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

表 3.4-54 世界全体における PM 排出量（推定値：1995 年）

単位：10³t

	Gas/Diesel oil	Heavy Fuel Oil	Motor Gasoline	計
内貿	20	11	14	45
漁業	15	0	4	18
レジャー	-	-	23	23
マリンバンカー	39	132	-	171
計	74	144	40	257

注：表中数値は小数点以下四捨五入のため、合計値が一致しない場合がある。

3.4.5 船舶からの排出量と陸上からの排出量との比較

表 3.4-55に船舶からの各種大気汚染物質の排出量の総括を示した。ここでは、排出量に関して陸上発生源との比較を行う。陸上発生源の排出量については、IPCCへ提出される日本国政府の公式の数値がある。表 3.4-57に同資料の数値を示した。しかし、同数値には、水運業および漁業の数値が含まれているため、これら排出量の分離が必要となる。

表中、1.エネルギー部門は、燃料の燃焼による排出量を算定している。エネルギー部門のうち、表中記号 1A3 で示される欄には内航による排出量が、表中記号 1A4 で示される欄には漁業およびレジャーの排出量が、一部含まれている。表ではこれらを分離して表最下段に示した。分離に際しては、IPCC の計算方法によると仮定し、SO_x 以外の物質については IPCC 規定の排出係数(表 3.4-56)を用いた。SO_x の硫黄含有率については、環境庁への聞き取りにより軽油 0.1%、重油類はすべて 0.5%とした。また、SO_x、NO_x については、1A4 分類からの船舶関連の排出量は 0 とした。

また、IPCC 以外の NO_x、SO_x、CO₂ 排出量に関する資料を表 3.4-58に示した。環境庁の発表する NO_x、SO_x の排出量は、総量規制の枠組み上、ばい煙発生施設および規制対象となっている移動発生源である自動車からの排出のみを想定しているため、やや低い数値となっている可能性が考えられた。一方、CO₂ については燃料消費量に一定の数値を乗じるため資料による数値の違いは非常に少なくなっている。

表 3.4-55 各種大気汚染物質排出量

単位:10³ t

	CO ₂	NO _x	SO _x	CH ₄	CO	N ₂ O	NM VOC	PM
日本国内	28,184	771	202	3	82	1.0	33	13
国内周辺	34,206	945	238	4	100	1.1	37	15
世界全体	556,781	15,728	9,035	77	1,659	15	856	257

国内は 1996 年、世界全体は 1995 年ベース
国内周辺は 200 海里以内での排出量を示す。

表 3.4-56 IPCC における船舶からの排出係数

	排出係数				単位
	軽油	A重油	B重油	C重油	
CO ₂	0.7839	0.7911	0.8047	0.8180	(Gg-C/10 ¹⁰ kcal)
NO _x	2.1				(g/MJ)
CH ₄	なし				
CO	0.046				(g/MJ)
N ₂ O	2				(mg/MJ)
NM VOC	0.052				(g/MJ)

表 3.4-57 IPCC に提出された日本国内からの各種大気汚染物質排出量

単位 : 10³t

項目	CO ₂ (1996)	NOx (1995)	SOx (1995)	CH ₄ (1995)	CO (1995)	N ₂ O (1995)	NMVOC (1995)
1 エネルギー	1,128,801	1,513	729	223	3,533	23	448
1A 燃料の燃焼	1,128,801	1,513	729	56	3,533	23	229
1A1 エネルギー産業部門	360,530	251	226	0	60	4	4
1A2 製造業・建設業部門	352,607	510	362	10	1,443	6	7
1A3 運輸部門（除く水運業）	235,920	615	55	46	2,003	14	218
1A4 民生・農林水産業部門（除く漁業）	162,562	137	85	0	28		0
1A5 その他	17,183						
1B 燃料の漏出				167			219
1B1 固体燃料				89			
1B2 石油及び天然ガス				79			219
2 工業プロセス	61,093			50		24	83
3 有機溶剤および他の製品の使用						1	1,343
4 農業				831	174	9	
4A 家畜の腸内発酵				339			
4B 家畜の糞尿管理				108		4	
4C 稲作				379			
4D 農業土壌							3
4F 農業廃棄物の焼却				6	174	1	
4G その他							
5 土地利用変化および森林		1		4	36	0	
5B 森林草地の転換		1		4	36	0	
6 廃棄物	21,677	64	48	374	39	5	0
6A 固形廃棄物の埋立				367			
6B 下水処理				6			
6C 廃棄物の焼却	21,677	64	48	0	39	5	0
6D その他	21,677						
7 その他					18		
小計	1,211,571	1,578	777	1,482	3,800	62	1,874
水運業	12,656	348	40		8	0.3	9
漁業	10,677				7		
小計	23,333	348	40		15	0	9
総計	1,234,904	1,926	817	1,482	3,815	63	1,883

環境庁提供資料より作成

CO₂のみ1996年、他の物質は1995年の排出量。NOx排出量はNO₂換算値、SOx排出量はSO₂換算値。

サバンの野焼きなど、国内においては排出量の無い欄を除いた。

表 3.4-58 IPCC 以外の調査に見る SO_x、NO_x、CO₂ の排出量

項目	文献	排出量	排出根拠
SO _x	アジア地域のエネルギー消費量構造と地球環境影響物質(SO _x 、NO _x 、CO ₂)排出量の動態分析、科学技術庁	1.1 × 10 ⁶ t/年 (1987 年)	固定発生源 大気汚染物質総合調査、環境庁) より。 ENERGY BALANCES OECD/IEA による燃料消費量と硫黄含有率の実績 (石油連盟調べ) より 移動発生源 燃料消費量と硫黄含有率の実績より
	外岡豊 温室効果ガスの排出実態と削減可能性」 (産業公害 Vol.28,NO.4)	1.2 × 10 ⁶ t/年 (非燃焼系発生源を除く) (1986 年度)	大気汚染物質総合調査(環境庁) 等より
NO _x	科学技術庁	1.9 × 10 ⁶ t/年 (1987 年)	固定発生源 燃料消費量にエネルギー消費部門別・燃料種類別 NO _x 排出係数を乗じる 移動発生源 自動車東京都調査の排出係数及び建設省道路は交通センサスより、自動車以外は、固定発生源と同じ
	外岡 豊	2.4 × 10 ⁶ t/年 (1986 年度)	大気汚染物質総合調査(環境庁) 等より
CO ₂	科学技術庁	997 × 10 ⁶ t/年 (1987 年)	ENERGY BALANCES(OECD/IEA)による燃料消費量と排出係数とより
	外岡豊	930 × 10 ⁶ t/年 (1986 年度)	
	環境庁 「環境白書」 (平成 8 年度版)	1,235 × 10 ⁶ t/年 (1996 年度)	総合エネルギー統計等より推計

NO_x 排出量は NO₂ 換算値、SO_x 排出量は SO₂ 換算値。

国内における陸上からの発生量を IPCC ベースとし、全排出量に占める船舶の寄与割合を計算した結果を表 3.4-59 に示した。日本国内における排出量寄与割合は、NO_x がもっとも高く、国内で 34%、日本周辺で 37 % 程度と推定された。次に、寄与割合が大きい SO_x については国内で 21%、日本周辺で 23 % 程度と推定された。CO₂ など他の地球温暖化物質では、その寄与割合は 3% 程度と小さくなっていた。

CO₂ ガスなどの低寄与割合の理由として、これらの物質に対する排出規制が地上発生源においても NO_x、SO_x ほど厳しくなっていないこと、CO、CH₄ など燃料の未燃焼物質として排出される物質については船用機関においては燃焼状態がよくトランジェント時の燃焼が比較的少ないことから排出係数が低く推定されていること、などが考えられ、全体として燃料消費量と比例する CO₂ 並みの寄与率となったと思われる。

もっとも寄与率の高い NO_x 排出量について、他の調査との比較を表 3.4-60 に示した。本調査の NO_x 排出量は従来の知見の範囲内の数値になっており、本調査の数値の妥当性は充分にあると考える。

また、NO_x 以外の大気汚染物質について他の計算例との比較を、表 3.4-61に示した。外岡の試算との比較によると、船舶については、燃料消費量である CO₂ の排出割合で 80%程度となっているが、日本周辺での燃料消費量がバンカー積み出し量より小さく設定されているためである。これに対して NO_x の排出量では 91%と 80%より高くなっている。他の物質については、割合がばらついており、設定根拠などの違いによる排出係数の違いが出たものと考えられる。

世界全体での排出量比較を表 3.4-62に示した。また、前回の SO 財団による船舶寄与率と今回の船舶寄与率の比較を表 3.4-63に示した。今回の試算でも前回の調査と同様に、CO₂ の排出寄与割合が 2%であるのに対して、NO_x や SO_x はそれより高い寄与率を世界においても示しており、陸上の排出源と比較して燃料消費量あたりの NO_x や Sox の排出量が高いつまり濃度が高いことが影響していることが考えられた。

表 3.4-59 陸上からの排出量との比較

単位:寄与割合を除き 10³ t

			CO ₂	NO _x	SO _x	CH ₄	CO	N ₂ O	NM VOC	PM
船舶 (10 ³ t)	国内	A	28,184	771	202	3	82	1.0	33	13
	日本周辺	B	34,206	945	238	4	100	1.1	37	15
陸上 (10 ³ t)		C	1,211,571	1,578	777	1,482	3,800	62	1,874	-
寄与 割合	国内	A/(A+C)	2%	33%	21%	0%	2%	2%	2%	-
	日本周辺	B/(B+C)	3%	37%	23%	0%	3%	2%	2%	-

陸上には、船舶以外の移動発生源、固定発生源、工業プロセスなどを含む
PMについては陸上排出源の計算数値がない

表 3.4-60 船舶からの NO_x 排出量の他の調査との比較

調査名	対象年度	対象地域	NO _x 排出量 (10 ³ t)	備考
本調査	1996年	日本国内	459	推定燃料消費量からの積み上げ
		日本周辺	633	
平成2年度SO財団	1986年	日本国内	295	燃料統計量から算出
日本海難防止協会 ^{*1}	1989年	日本周辺	535	推定燃料消費量からの積み上げ
環境庁	1995年	日本国内	289	推定燃料消費量からの積み上げ
		日本周辺	388	
		日本国内	472	外航は運輸関係エネルギー要覧よりの算出
		日本周辺	1,456	
		日本国内	351	外航はエネルギー需給統計年報よりの算出
		日本周辺	997	

注) 各調査ともに日本周辺は沿岸から200海里以内の海域として定義している。NO_x排出量は全てNO₂換算値。いずれも漁業レジャーを含まない。周辺海域には外航船を含む

*1:(社)日本海難防止協会(1993): 船舶による日本沿岸域の大気汚染に関する調査研究報告書

*2:環境庁(1996): 船舶温室効果ガス排出量等総合調査

表 3.4-61 他の調査との大気汚染物質の排出量の比較

		熱量 (Tcal)	排出量 (10 ³ t)						
			NOx	SOx	CO ₂	CH ₄	CO	NMVOC	
地上 発生源	固定発生源	2,754,431	834	642	849,316	32	1,250	18	
	移動発生源	船舶	22,026	51	37	6,458	0	29	15
		船舶以外	796,246	980	152	243,377	117	2,569	250
	計	818,272	1,032	189	249,835	117	2,598	264	
地上発生源 計		3,572,702	1,866	831	1,099,151	149	3,848	283	
参考：海上・上空	船舶	124,020	989	300	36,042	1	165	74	
	航空	75,855	117	1	20,428	5	118	45	
船舶計	A	146,046	1,040	337	42,500	1	194	89	
本調査	B		945	238	34,206	4	100	37	
	B/A		91%	71%	80%	448%	51%	42%	

外岡未発表、1992年度のデータより作成した。

小数点以下死者五入のため、比率および合計は必ずしも一致しない

表 3.4-62 世界における大気汚染物質排出量

単位 ; 10³t

	CO ₂	NOx	SOx
船舶	556,781	15,728	9,035
世界	23,881,000	101,430	143,565
	2%	13%	6%

NOx と SOx については、Oliver, J.G.J, et al (1996) Description of EDGER Version 2.0: a set of global emission inventories of greenhouse gases and ozone-depleting substances for all anthropogenic and most natural sources on a per country basis and on 1 deg x 1deg grid による 1996 年のデータ。CO₂ は BP Statiscal Review of World Energy 1997 による 1996 年データただし船舶を含む。

表 3.4-63 本調査と前回 SO 財団調査における船舶排ガス寄与率の比較

単位%

	CO ₂	NOx	SOx	CH ₄
国内前回	3	24	18	1
国内今回	2	33	21	0
世界前回	2	4	4	0
世界今回	2	13	6	-

前回は、CH₄ は HC として計算

4 船用機関からの大気汚染物質削減に関する調査

4.1 船舶からの大気汚染物質削減に関する今後の動向

4.1.1 我が国及び世界における船舶排ガスの規制動向

現在船舶に対して実施されている排ガス規制および規制案は、表 4.1-1 に集約される。

表 4.1-1 船舶排ガスに対する主な規制実施例の集約

		規制の実施	対象船舶	規制内容						
	IMO (国際海事機関)	1997年 MEPC において採択 現在各国で批准の手続きが進められている 発効は、最短で 2001 年 1 月、その場合 2000 年 1 月以降に建造される船舶に遡上適用	原則全船舶 (NOx については 130kW を越す船用ディーゼル機関が対象、非常用機関は対象外)	<ul style="list-style-type: none"> SOx は使用燃料中の硫黄含有率の最大含有量を 4.5 % 程度に制限(バルト海のみ 1.5%) NOx は機関の定格出力時の回転数に応じた排出上限値を設定 <table border="0"> <tr> <td>n<130 rpm</td> <td>17g/kWh</td> </tr> <tr> <td>130<n<2000 rpm</td> <td>45 × n^{-0.2}g/kWh</td> </tr> <tr> <td>n>2000 rpm</td> <td>9.84g/kWh</td> </tr> </table> 	n<130 rpm	17g/kWh	130<n<2000 rpm	45 × n ^{-0.2} g/kWh	n>2000 rpm	9.84g/kWh
n<130 rpm	17g/kWh									
130<n<2000 rpm	45 × n ^{-0.2} g/kWh									
n>2000 rpm	9.84g/kWh									
米	カリフォルニア州における規制事例 (サンフランシスコ地区)	1989 年から実施中	UPI の工場に寄港する 3 隻の鋼材専用船	<ul style="list-style-type: none"> 同海域内で、SCR の作動(設計値は 130ppm、15%O₂ 換算) 沿岸からサンフランシスコ湾内の工場まで、軽油の使用 						
国	カリフォルニア州における規制案 (EPA によるロサンゼルス地区への規制案)	1994 年にロサンゼルス地区のオゾンの環境基準値を達成するための対策の一部として提案後 1995 年 1 月廃案	ロサンゼルス港等、同地区にある港に寄港する全船舶(軍用艦は除く)	<ul style="list-style-type: none"> 港から 100mile 以内で発生する NOx に対し、\$10,000/US\$-NOx の排出課金を取る 搭載機関の NOx 対策の削減効果により 5 割、9 割と段階的に課金を免除する 						
日 本	神奈川県 公害防止条例	実施中	横浜、川崎港湾区域での 3,000 トン以上の全船舶	黒煙がリングルマン濃度 1 以上の排煙の放出を禁止						
	水産庁	実施中	漁船に搭載機関(融資対象となる要件)	現状では黒煙と燃費の要件のみ						
	建設省	実施中 (二次規制案も提案中)	公共工事に使用される建設機械	NOx 9.2、HC 1.30、CO 5.0 g/kWh など、汎用機関が適合しているため、一部荷役機械も自動的に適合している。EU オフロード規制値と合致している。						
ス イ ス	不明	実施中	ボーデン湖を航行する全船舶	NOx 7.5 g/HPH 等						
EU	不明	一部実施中	船舶を除く全てのオフロード機関	NOx 9.2、HC 1.30、CO 5.0 g/kWh など						

(1) IMO の規制動向

船舶の排ガスに関する規制に関する国際的な場での議論は国際海事機関(IMO; International Maritime Organization)内で一貫して行われてきた。第 29 回 MEPC において Norway から Prevention of Air Pollution from Ships, Including Fuel Oil Quality(資料番号 MEPC 29/18)が提出された。同レポートによると、全世界の NO_x、SO_x の総排出量(火山等天然起源のものは含まず OECD 等に資料による人工排出量)に対する外航船舶の寄与度はそれぞれ 7%、4%と計算され、航行の交錯する海域においては面積当たりの排出量は陸上と同等以上になる可能性もあるという結論が紹介されている。

その後の検討作業の結果、1997 年 9 月の MARPOL 条約締約国会議で MARPOL73/78 条約の 97 年新議定書によって「船舶からの 大気汚染防止に関する新附属書」として採択された。

* マルポール 73/78条約

正式名称「1973年の船舶による汚染防止のための国際条約に関する1978年の議定書」船舶が排出する油(ビルジ)や有害物質による海洋汚染防止を目的にロンドンで採択された。日本は83年に条約を締結しており現在締結国は70ヶ国である。

ア. NO_x 規制案

NO_x 排出量が図 4.1-1に示す規制値を超えないことが求められる。同図において、横軸は機関の定格回転数(定格出力時のクランク軸の回転数、単位は rpm)を示しており、機関の規模を数値化したものと説明されている。また、縦軸は排出率(Specific emissions ; 単位は g/kWh)である。NO_x 排出量は、本来全ての窒素酸化物の合計値であるが、主成分である NO、NO₂ の比率が推定困難であることから、全て NO₂ 換算値として規定されている。すべて 2000 年 1 月 1 日以降に建造される新造船に搭載される 130 kW 以上の全てのディーゼル機関は、この規制カーブを工場試験においては超えないことが要求される。

排出率の計算に用いる NO_x 排出量は定格出力時および部分負荷の数点で測定され、規定の重み付け操作(テストサイクル)を用いた数値が使用される。測定に使用されるテストサイクルや測定方法は別途 technical code で定められるが、排ガス量の推定に Carbon Balance 法を用いることにしている点等、従来の NO_x 測定技術よりも精査な測定が要求されている。

低速機関に対する 17 g/kWh を、テストサイクル全てのポイントで Be(燃料消費量;g.PSh)および排ガス中の NO_x ガス濃度および酸素濃度が変わらないと仮定すると、以下のような変換式でおおよその排出濃度が計算ができる。実際には、テストポイ

ントごとの数値が考慮される。

燃料消費率 Be を 204 g/kWh(150 g/PSh)とする。燃料 1kg 当たりの排出量(A)は、 NO_x 排出率(g/kWh)を、 Be で割り $0.04 \text{ Nm}^3/\text{kg-Fuel}$ と計算できる。

$$17 \text{ g/kwh} \div 204 \text{ g/kWh} \times 1000 = 83.3 \text{ g/kg-Fuel} \quad 0.04 \text{ Nm}^3/\text{kg-Fuel}$$

MDO(C:86.9%、H:12.6%、S:0.5%、N:0.05%)1kg 当たりの理論燃焼ガス量(乾き)は、 $10.4 \text{ Nm}^3/\text{kg-Fuel}$ 、空気比は、 $2.625 = \frac{0.21}{0.21 - 0.13}$ より、理論排ガス量(B)

は $27.3 \text{ Nm}^3/\text{kg-Fuel}$ 、 NO_x 濃度は A/B で計算される。

$$0.04 (\text{Nm}^3/\text{kg-Fuel}) \div 27.3 (\text{Nm}^3/\text{kg-Fuel}) \times 10^6 = 1,490 \text{ ppm}$$

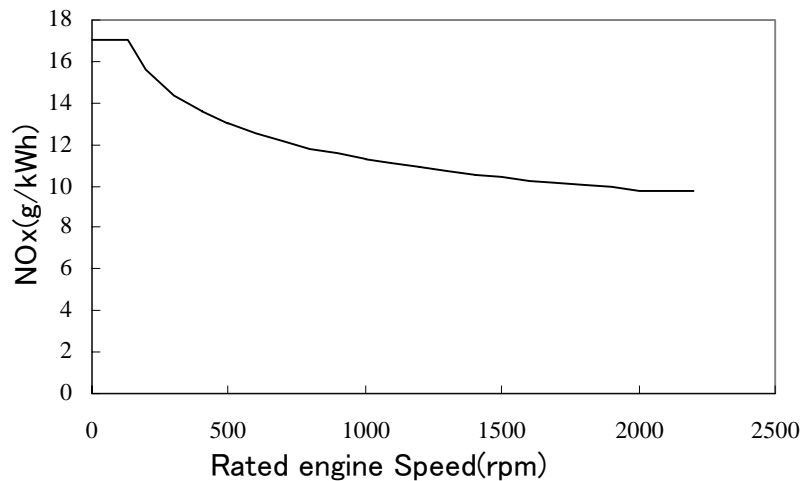


図4.1-1 IMO の NO_x 規制案

イ. SO_x 規制案

SO_x については、日本船籍の船舶では低質燃料によるトラブルを避ける目的で一般に 3% 以下程度の燃料の使用を自主的に管理しているために、今回のグローバル規制で燃料種の変更の必要が出てくる可能性はごく少ないと考えられた。

表 4.1-2 SO_x 規制案の内容

規制の種類	規制の具体的内容
グローバル規制	船舶の使用する燃料の硫黄分含有率は 4.5% を超えてはならない。
地域規制	IMO が定める SO_x control area では、燃料の硫黄分が 1.5% を超えないこと(MDO、国内では A 重油相当)、もしくは主機関および補機関からの SO_x の総排出量を 6.0 g/kWh 以下に低減する性能を持つか、主官庁が承認した排ガススクラバーなど清浄装置が用いられていること。 SO_x control area は、バルト海のみを指定する

(2) 米国カリフォルニア州の規制動向

ア. BAAQMD における SCR 船建造の経緯と運用

カリフォルニア州では、特定の民間埠頭を利用する専用船に対して排ガス規制が行政指導の一環として実施されたケースがある。これは、サンフランシスコ湾の奥にある Pittsburg の UPI 社工場に鋼材を運搬する船舶に対して 1989 年から NO_x および SO_x 対策が講じられた例である。

同工場はベイエリア大気質管理区(BAAQMD ; Bay Area Air Quality Management District)にあり、太平洋を横断して工場の専用埠頭を利用する船舶は同大気質管理区内にあるサンフランシスコ湾を航行する。同地域はオゾンの連邦環境基準値および州の環境基準値を超過していたことを背景に、大型の固定発生源に対しては Bubble concept という概念に基づいて個々のユニットでなく事業者の活動全体で規制に適合するよう指導が進んでいる。これによると新設排出源に対しては District 海域からの排出は固定発生源からの排出に併せてカウントするものとされていた(同 District Regulation 2)。

これに基づき上記工場が高炉増設を行うに際して、陸上固定発生源の排出予想量に、船舶を含むすべての輸送部門を加算することが求められ、全総量としての削減目標が与えられた。つまり、輸送船舶も規制対象とみなされた訳である。

総量規制に適合するためには、年間寄港回数および制限海域内での航行時間から逆算して、航行中における機関からの NO_x 排出濃度は 100 ~ 150 ppm(15%O₂)まで削減することが必要と考えられた。搭載主機である MAN B&W 社の MS50MC の平均的な排出濃度は 1,200 ~ 1,500 ppm(15%O₂)程度であることから、SCR(選択還元脱硝装置)、水エマルジョン、船舶の大型化による寄港回数の減少、等の複数の低減対策が、コストや低減率について比較検討され、最終的に SCR 設置がコスト高だが、将来的な排出量の余裕ができることから採用された。高炉増設時に就航した 2 隻および、その後就航した姉妹船 1 隻の建造時に、主機に対して SCR 装置が設置されている。

設計仕様では NO_x 排出濃度 1,600 ppm(15%O₂)を 130 ppm にまで削減する性能を持った SCR 装置が搭載された。ここで表 4.1-3に船舶の概要を示した。また、SO_x 対策との関係で対策区域内では燃料油としてガスオイル(国内では軽油相当)が使用されている。

なお、SCR はサンフランシスコ湾への出入港時の数時間に限定して適用され(米国西海岸の沿岸から 6 mile 以内)、太平洋横断中の海洋航行においては未処理の排ガス放出が認められている。

表 4.1-3 SCR 搭載船の概要

船名	M/V Pacific Success	M/V Pittsburg	M/V Delta Pride
建造年月	Dec. 1989	Feb. 1990	June 1991
トン数、船種	30,000 DWT バルクキャリア(バラ積み船)		
建造造船所	Hyundai Heavy Industries Co. LTD		
主機関	MAN B&W 6S50MC-7900 kW (HHI 製)		

- SCR 装置は適正動作温度が 300～400 であることから、排気ガスは機関 静圧管 SCR 反応器 過給機と流れるようになる。2 サイクル機関はもともと排気温度がボイラーや 4 サイクル機関に比較して低いため排気、過給気系の外に設置できない。さらに、運転時には SCR 反応器までの排気管は加熱されている。
- 外洋航走では SCR を用いないため、機関 静圧管 過給機へ配管の切り替えを行っている。
- 過給機のマッチングは、SCR 内部及び導管の圧力損失を考慮したものとなっている。
- SCR 用アンモニアには液状アンモニアを使用し、加熱装置付きエバポレータでガス化している。アンモニアタンクは安全性を考慮して上甲板の集合煙突部に設けられている。
- アンモニア供給量は、NO_x 削減率の保持とアンモニアスリップが多くならないように、負荷と NO_x の排出濃度レベルの関係をプログラムされたコンピュータにより、過給機出口の NO_x レベルを常時観測の上、最適化するようコントロールされている。設計では、供給量は 6～7g/BHP、残留アンモニア濃度は最大で 10 ppm 程度とされている。
- 触媒の外寸は 2.5m×7.6m であり、メーカーは Haidor Topsoe A/S Denmark である。SV 値は不明。馬力当りの容量は約 2.5m³/1,000 BHP。

イ. EPA による船舶規制案(FIPs)

カリフォルニア州はその主な大都市圏全てにおいて O₃(オゾン)の連邦環境基準値を超過している。それに加え同州ロサンゼルス郡は NO₂ の連邦環境基準値を超過している米国内で唯一の地域でもある。EPA は同地区を米国内で唯一の O₃「極度」汚染地域(extreme area)として指定しており、行政当局は、何度か同地区に対して船舶排ガス規制の導入を試みてきた。例えば、カリフォルニア州レベルにおいては 1988 年大気浄化法(California Clean Air Act ; CCAA)を立法化を受け、同州の大気資源局(California Air Resources Board ; CARB)が、1991 年 10 月カリフォルニア州の船舶排出規制案として規制構想を公表している。実際の策定は有名な環境保護団体であるシエラクラブが行っている。これは当時として大変厳しい規制案であり、外航船に対

して SCR の使用を前提に NO_x 濃度を 130 ppm まで削減することを求めるものであったが、現在は廃案となっている。

また、連邦レベルでは EPA(U.S. Environmental Protection Agency)は、カリフォルニア州ロサンゼルス地区等のみに適用される特別な規制案(FIPs: Federal Implementation Plans)について 1995 年から審議検討を行ってきた。

同規制案は NRPM(Notice of Proposed Rulemaking)と呼ばれる周知文章として Federal Register(日本でいう官報)に掲載された正式な政府法案である。同 NRPM 内では 1994 年 7 月の公聴会および意見書の受付等を経て、最終 FIPs を作成・発効するかどうかの決定、もしくは再検討、廃案にするかの決定を、1995 年 1 月までに CARB が行うことになっていた。

しかし、公聴会等では、港湾労働者、港湾関連機関、Coast Guard、運航業者のいずれからも反対意見が出された。ある特定地区に対して規制を行った場合には、コンテナ船等の貨物船は荷役港を変更することで規制を回避しうる。この場合、地区内の港湾が衰退するだけでなく、トレーラー等によるコンテナの移入が増えて、全体として排出量の削減につながらないことが、指摘された。

その後いくつかの港では、代替案として、港湾内の荷役の効率化及び新型荷役機械の導入により、主にコンテナ埠頭からの排出量を削減すること、大型コンテナ埠頭への連絡道路を都市部から離して付け替えること、大気汚染状態によっては航路を陸側から海側へ自主的に取ること、等を、低減対策の代案として提出した。特に港湾施設の改良については、大型荷役機械のディーゼル機関からガソリン機関への切り替えが盛り込まれたようである。

最終的に、CARB はこれら代替案及び他の固定発生源及び移動発生源対策により、削減目標が達成されるとして FIPs から船舶に関する項目を削除することを、1996 年 3 月に正式決定した。

FIPs に記載されていた船舶に関する規制の内容は、対象海域内で船舶から大気中に放出される NO_x に対して \$10,000/US ton-NO_x の課金を徴収するものであった(表 4.1-4 参照)。これは他の排出源に対して提案されている課金と同様と説明されていた。

廃案になったこの規制では 10,000 kW 程度の主機関を搭載した船舶の場合には約 \$ 16,000 の課金を毎寄港ごとに支払うことになっていた。ただし、その課金は 2 段階に分けて免除されていた。なお、表中のカテゴリーのうち、30%の削減率は IMO で審議中の削減率をそのまま用いているため、IMO の一次規制に合致するものは無条件で 50%減のカテゴリーに入ることになる。

表 4.1-4 EPA 提案 FIPs における船舶 NOx 規制(排出課金)の段階制

削減率	対策のための方策	排出課金
30%未満	-	\$10,000/US _t -NO _x の100%
30%以上 80%未満	<ul style="list-style-type: none"> ・ タイミングリタード ・ 機関の改良 ・ EGR ・ 水エマルジョン ・ 簡易脱硝(選択無還元脱硝) 	\$10,000/US _t -NO _x の50% (ベースの5割減)
80%以上	<ul style="list-style-type: none"> ・ SCRを備えたディーゼル機関 ・ 蒸気タービン機関 ・ ガスタービン機関 ・ ガスエンジン機関 ・ 同等の削減率が達成できる機関 	\$10,000/US _t -NO _x の10% (ベースの9割減)

(3) 神奈川県条例

第 25 条(船舶からの排煙の排出の制限)

3000 トン以上の船舶については、横浜、川崎において、リングルマン濃度 1 以上の排煙を大気中に放出してはならない。

*リングルマン指数は、白紙上に黒い部分が全体の 0、20、40、60、80、100%となるような格子状のリングルマン黒線図を事前に作成し、現場での排煙の濃さを目視比較して 0~5 度までの 6 階級に分類しようというものである

(4) スイス(ボーデン湖)

スイスのボーデン湖では、1993 年から、水道水用水源の確保を目的として、航行する船舶に対して排気規制が実施されている。The Motor Ship の記事(Exhaust controls await international law, Mar,1993)によれば、二次規制まで既に行われた模様である。NO_x については 200 HP まで単一の規制値となっており、メーカー側ではガソリンエンジンへの転換などで対応している。

表 4.1-5 ボーデン湖船用エンジン排気規制

出力 (HP)	CO (g/HP-h)	HC (g/HP-h)	NO _x (g/HP-h)	Smoke (BSZ)
10	81	6.1	7.5	NA=3.5/TC=2.5
30	40	3.0	7.5	NA=3.5/TC=2.5
50	28	2.1	7.5	NA=3.5/TC=2.5
100	18	1.4	7.5	NA=3.5/TC=2.5
200	15	1.0	7.5	NA=3.5/TC=2.5

NA ; 自然吸気
 TC ; ターボ付き
 BSZ; ボッシュインデックス

(5) 漁船用エネルギー環境対応機関(水産庁)

水産庁では、沿岸漁業改善資金として対象の漁船や機器用具を新規購入する経営者に対して低利の貸し出しを行っている。経営等改善資金の対象項目として漁船用エネルギー環境対応機関が定められており、対応機関を搭載した漁船を購入する際主機関1台につき600万円まで7年以内の償還期間(無利子)で貸し付けられる。水産庁の担当官への聞き取りによれば、将来的にはNO_x排出率についても追加の方向にはあるが、今回のIMO規制の発効期限である2000年1月1日に向けて適用条件の見直し作業は行わない予定とのことだった。

(6) その他

ア. 荷役車輛などに対する規制対応オフロードディーゼル機関の導入

コンテナ専用ふ頭では、陸上のバックヤードにおいて荷役車輛(ストラドルキャリア、トランスファクレーン等)を用いており、これらには大型軽油ディーゼルエンジンが用いられている。これらの平均的なNO_x排出量は、カリフォルニア州のオフロード排出係数などよりおよそ11g/kWhと推定される。

国内では三菱重工と東洋運搬機(TCM)がストラドルキャリアを、三井造船がトランスファクレーンを製造販売している。ストラドルキャリアには、4サイクルディーゼル汎用機関で6,000~16,000cc程度のものが一基、トランスファクレーンには同等の機関が1基または2基搭載されている。現在、三菱重工は三菱自動車工業製、東洋運搬機はいすゞ自動車製、三井造船はキャタピラー社と日産ディーゼル製の汎用機関を用いている。

国内では、建設省が「建設機関に関する技術指針」(1991年10月)を定めて、1992年1月から排出ガス対策型建設機械指定制度をスタートさせている。これは、次項で述べるEUなどのオフロード機関の規制に沿ったものであり、建設省の直轄工事では表4.1-6に示す数値をクリアした機関を搭載した建設機関のみが用いられるようになっている。そのため、汎用機関全種に同様の対策を施したメーカーもあって、1995年秋頃からは、指定制度に合致したディーゼル機関を搭載したストラドルキャリアが出荷されている。

表 4.1-6 排出ガス対策型建設機械指定制度

単位 ;g/kWh

	適用時期	出力区分	CO	HC	NOx	PM
第一段階	1996/4/1	7.5-15 ¹	5.7	2.40	12.4	-
	1997/4/1	15-30 ²	5.7	1.90	10.5	-
	1998/4/1	30-260 ³	5.0	1.30	9.2	-
第二段階 (提案中)	2003/4/1.	8-19			8	0.80
		19-37			8	0.80
		37-75			7	0.40
		75-130			8	0.30

排出率 ISO8178 C1 サイクルで測定・換算したもの

1 トンネル内の作業機械に適用

2 一般建設機械(バックホー、トラクタータイプのローダー、ブルドーザー)

3 全ての建設機械

第二段階の NOx 以外の規制値は未発表。

イ. EU、CARB のオフロード機関に対する規制の導入

1995年9月12日にEUは、オフロード機関に対する規制案を提出し、1997年にEU指令 Directive 97/68/EEC として正式に承認された。規制案は、2段階に別れており、第一段階目は一部1999年1月より適用される。ただし、EUは加盟各国に対して、国内法の整備や機関の技術的対応の為に最高2年までの猶予期間を認めており、実際の適用時期は加盟各国により異なる。

対象範囲は、前項の建設機械、飛行場や港湾内で用いられる荷役機械などが対象範囲となるが、船舶に搭載されるディーゼル機関はIMOの規制が適用されるため規制対象機関となっていない。しかし、今後IMOのNOx二次規制の議論において、同程度の数値が検討されることも予想される。

同様にCARBもオフロード機関に対して規制の導入を検討中であり、表4.1-8に示すような規制値が検討されている。このうち7kW以下の小型機関に対する規制値については、1998年の8月27日に3EPA、CARB、メーカーとの間で正式に合意に達している。今後は、さらに大型機関へ規制の範囲が拡大するとともに、将来的にはEUの規制との統合も検討されている。また、Blue Engine 認証制度としてメーカーがボランタリーに対応する推奨値も同時に発表されている。

ただし、こちらも37kW以上の船舶用機関は対象外となっている。

表 4.1-7 EU のオフロードディーゼル機関に対する規制

単位 :g/kWh

	適用時期	CO	HC	NO _x	PM
130-560kW	1999年1月	5.0	1.3	9.2	0.54
75-130kW	1999年1月	5.0	1.3	9.2	0.70
35-75kW	1999年4月	6.5	1.3	9.2	0.85
130-560kW	2002年1月	3.5	1.0	6.0	0.2
75-130kW	2003年1月	5.0	1.0	6.0	0.3
35-75kW	2004年1月	5.0	1.3	7.0	0.4
18-35kW	2001年1月	5.5	1.5	8.0	0.8

排出率 ISO8178 C1 サイクルで測定・換算したもの

表 4.1-8 EPA、CARB のディーゼル機関に対する規制案

単位 :g/kWh

	適用時期	NO _x	HC	NMHC+NO _x	CO	PM
-8kW	2000年	-	-	10.5	8.0	1.00
	2005年	-	-	7.5	8.0	0.80
8-19kW	2000年	-	-	9.5	6.6	0.80
	2005年	-	-	7.5	6.6	0.80
19-37kW	1999年	-	-	9.5	5.5	0.80
	2004年	-	-	7.5	5.5	0.60
37-75kW	1998年	9.2	-	-	-	-
	2004年	-	-	7.5	5.0	0.40
	2008年	-	-	4.7	5.0	-*
75-130kW	1997年	9.2	-	-	-	-
	2003年	-	-	6.6	5.0	0.30
	2007年	-	-	4.0	5.0	-*
130-225kW	1996年	9.2	1.3	-	11.4	0.54
	2003年	-	-	6.6	3.5	0.20
	2006年	-	-	4.0	3.5	-*
225-450kW	1996年	9.2	1.3	-	11.4	0.54
	2001年	-	-	6.4	3.5	0.20
	2006年	-	-	4.0	3.5	-*
450-560kW	1996年	9.2	1.3	-	11.4	0.54
	2002年	-	-	6.4	3.5	0.20
	2006年	-	-	4.0	3.5	-*
560kW-	2000年	9.2	1.3	-	11.4	0.54
	2006年	-	-	6.4	3.5	0.20

排出率 ISO8178 C1 サイクルで測定・換算したもの

* で示した PM 規制値については 2001 年の再検討時に提案・採択される。

表 4.1-9 EPA、CARB のディーゼル機関に対する推奨値

単位 :g/kWh

	NMHC + NO _x	PM
-8kW	4.6	0.48
8-19kW	4.5	0.48
19-37kW	4.5	0.36
37-75kW	4.7	0.24
75-130kW	4.0	0.18
130-560kW	4.0	0.12
560kW-	3.8	0.12

排出率 ISO8178 C1 サイクルで測定・換算したもの

4.1.2 規制以外の船舶排ガスに関する取り組み

北欧諸国の船主は自らの企業姿勢あるいは開発技術を内外に示すために、自主的に低硫黄燃料を使用するとともに SCR 船等の低 NO_x 排出船を新造する動きがある。

MS Aurora はスウェーデン船籍のフェリーでスウェーデンとデンマークの間を就航している。同船は 1992 年 4 月に 2.5MW の中速 4 サイクルディーゼル機関(Wartsila 製)に尿素水を使用した SCR を過給機の後に設置している。SCR 装置は 1996 年までに 8,000 時間以上稼動しており、平均 NO_x 削減率は 97%に達するとされている。

船舶用の SCR 装置は反応温度の問題から機関と過給機の間設置される例が多かった。しかし、この方式では過給機とのマッチングが取りにくいとともに、触媒の研究が進んだこともあって、最近では過給機の下流に設置される場合が増えているようである。

同様に、Swedish SCA では、大型の尿素水 SCR を搭載した貨物船を同社の製紙工場へ 1999 年春頃から導入する予定としており(SCA Graphic Paper の HP より)、90%程度の脱硝率で計算すると、現在製紙工場本体から排出される年間 NO_x 総量より多くの削減量が見込めるとしている。

また、Denmark デンマークの North East Shipbuilders 社の Superflex シリーズと呼ばれるフェリー船(全長 95 m、載貨重量 1,330t、定員 303 人)は電気推進機として 4 基の全方向スラスタを搭載しているが、その電源には甲板上に置かれた 10 台の可搬型ディーゼル発電ユニット(定格出力 275 kW)を用いており、固定された推進機関も発電機関も設置していない。

低速で航行する際は、稼動するユニット台数を少なくすることで個々の発電ユニットはたえず適正な負荷範囲で稼動されている。また、各ユニットは車両甲板上に設置されているため、別個に取り外しが可能でメンテナンス性も向上したとされている。

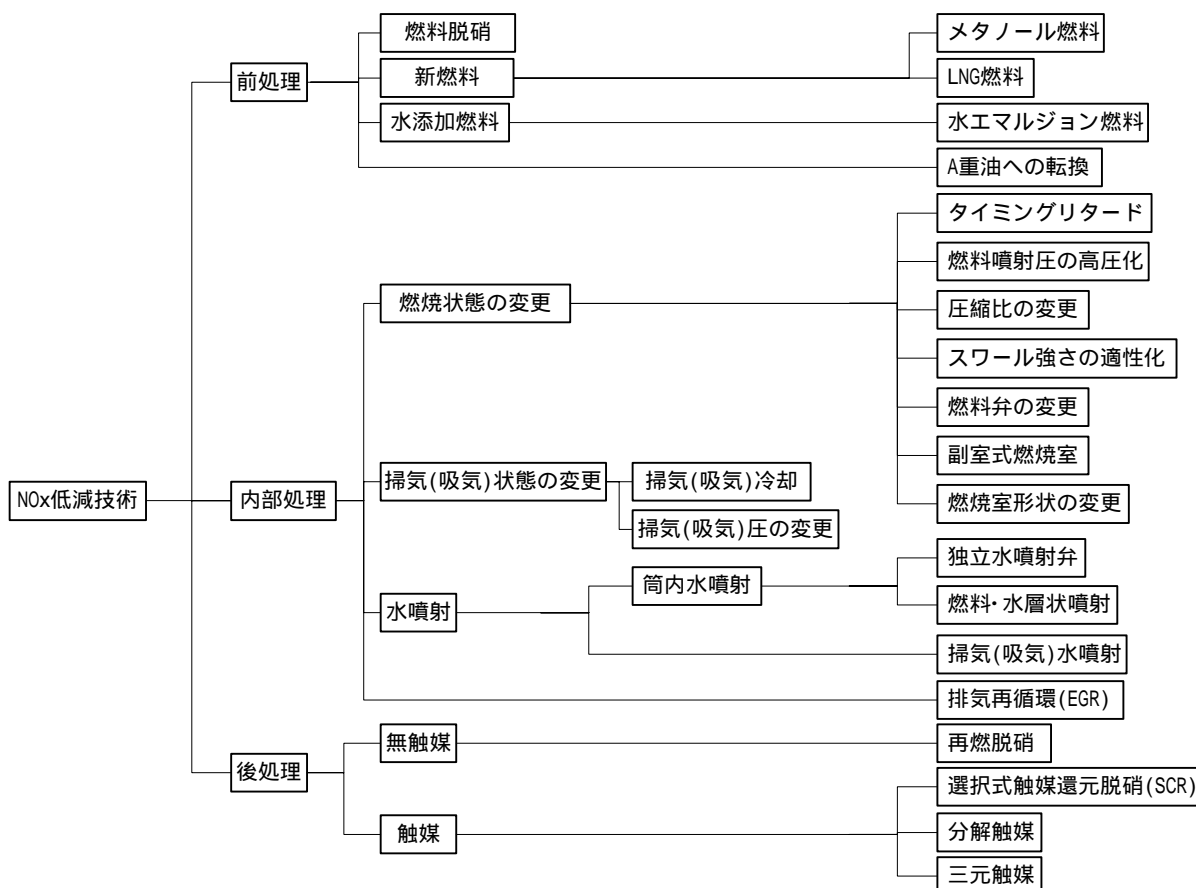
4.2 排ガス排出量削減対策技術の調査

4.2.1 船用機関からの大気汚染物質対策技術

ディーゼル機関から排出される NO_x 低減技術の開発は、既に厳しい規制を課せられている軽油を燃料とする車輻用機関を中心に進められてきた。しかし、最近では重油を燃料とする固定型機関についても実用化が進んでいる。また、船用機関についても、IMO 規制のスケジュールに合わせて実用化に向けた対応が進められているところである。

これまでの規制は、NO_x と黒煙とをターゲットに進められており、対応技術も NO_x に関するものが最も多い。NO_x は、燃料中の N 分が燃焼雰囲気下で NO_x に参加される Fuel NO_x と、燃焼空気内の N₂ が高温高圧下で O₂ と化合して生じる Thermal NO_x とに大別される。

低減技術として、良質燃料や水エマルジョン燃料を用いる前処理技術、Thermal NO_x が最も生成しやすい予混合燃焼期の燃焼を制御することで低 NO_x 化を図る内部処理、排ガス中に含まれる NO_x ガスを後から取り除く後処理に大別される。



船舶から排出される大気汚染物質の削減方策について中間報告、環境庁、1995年3月より作成

図 4.2-1 船用機関に対する NO_x 低減技術

(1) NO_x 対策技術の評価

NO_x 低減技術の評価について表 4.2-1および表 4.2-2に示した。IMO の一次規制によりも厳しい削減率を考慮した場合には以下の低減技術が有効であると考えられた。

● 前処理

A 重油転換は、コストを考慮しない場合は、燃料切り替え時の操作以外には、技術上の課題もほとんどなく、主機、補機いずれにも適用が可能で、かつ部分負荷時にもある程度の効果が期待できる。しかし、その低減率割合は他の技術と比較して大きくないので、既存船舶への適用または港湾区域内のみでの適用などが有効であると考えられた。

水エマルジョン燃料では 20～30 %程度の NO_x 低減が可能となる。陸上固定発生源での実績もあるとともに、船用機関の海上試験も行われていることから技術開発の熟度は高いと言える。水タンクの設置や造水及び乳化剤費用等のコストの上昇は避けられないが、主機補機共に適用可能な有望な低減方策である。

● 内部処理

タイミングリタードを含む燃焼改善技術によって IMO 規制値よりさらに 10～20 %程度の削減が見込まれる。ただし、低減率が高くなるにしたがって装置改善等のコストと燃費の悪化に伴うコストの増加とを無視することができない。

水層状噴射技術に代表される水利用技術も低減率が高く、陸上では一部実用化されており、主機、補機いずれにも適用可能な有望な低減方策である。

● 後処理

SCR は NO_x 低減効率が極めて大きく最高 90 %まで低減可能と言われている。尿素水を用いた SCR 技術は国内でも実例があり、北欧諸国でも多くの実績を持っている。イニシャルコスト及びランニングコストの増大、設備スペースの確保や低負荷時での使用上の制約など、船舶に搭載するには大きな課題があるが、高効率な脱硝を確実に実施することが可能な技術である。

また、IMO 規制に対する各メーカーの対応状況を表 4.2-3および表 4.2-4に示した。機関の承認段階に入っている 4 サイクル機関に比較して、2 サイクル機関では IMO 規制への対応にやや対応が遅れが見られた。

聞き取りの結果、いずれの技術も、各メーカーとも部分負荷時における削減効果やその際の問題点の抽出などについての対応が遅れていることが明らかになった。特に

燃焼改善技術については、制御が困難であるとの意見が多かった。現在の対応技術がMCR 近くの高負荷時を対象に開発が行われているために、開発が遅れていると考えられ、この点トランジェント時やアイドリング時のNOx 対策に力点が置かれている自動車用ディーゼル機関の低減技術との差が見られる。

表 4.2-1 NOx 低減技術の評価

低減方策		NOx 低減レベル(低減率%)				コスト		開発状況
		10~20	20~30	30~80	80~	イニシャル	ランニング	
燃料 転換	a. A 重油							
	b. メタノール							
	c. 水エマルジョン							
	d. LNG 燃料							
燃 焼 改 善 技 術	e. タイミングリタード、 燃料噴射圧の変更など					or		
	f. 多口噴射							
	g 燃料・水層状噴射							
	h. EGR							
i. 選択接触還元脱硝(SCR)								

メーカーへの聞き取りにより作成。

NOx 低減レベルは、
低減率 10~20%、
20~30%、
30~80%、
80%以上
の4段階に分けた。

コストは、イニシャルコストとランニングコストとに分け、平均的な値としてまとめた。

イニシャルコスト
:100 円/kW 未満または改造の必要なし
:100~数千円/kW
:数万円/kW

ランニングコスト
:0.5 円/kW 日未満
:0.5~30 円/kW 日
:30 円/kW 日以上

燃料転換と SCR についてはC重油を使用した場合との比較

開発状況は、以下の3段階に分けた。

:現状で充分搭載可能な技術
:技術的には可能なもの
:実験レベル

表 4.2-2 NOx 低減技術の評価(詳細)

低減方策		開発状況
燃料 転換	a. A 重油	IMO の検査においても、A 重油で測定等が行われるので問題はない。メーカーは開発試験も含めて A 重油で対応。ただし、効果は必ずしも明瞭ではない。
	b. メタノール	実機試験レベルの技術で、陸用・船用機関での実績はない。
	c. 水エマルジョン	陸上のコジェネ等で少数の実績があり、海上試験も開始された。B&W が二次規制で採用の予定(日立造船では高圧下でのミキシングを計画)
	d. LNG 燃料	陸上機関では実用化されているが、コストが非常に高い。
燃焼 改善 技術	e. タイミングリタード、燃料噴射圧の変更など	IMO 一次規制で多くのメーカーが採用している。4 サイクル機関メーカーではほぼ IMO 対応が済んでおり、マージンをどれだけ見込むかといった実装上の問題に進んでいるのに対して、低速 2 サイクルメーカーではまだライセンサーとライセンサー間との調整が済んでいないなど、対応に遅れが見られる。
	f. 多口噴射	単筒機による実験レベルである。三井造船は現在ペンディング
	g. 燃料・水層状噴射	陸上の固定発電用機関で実用化されはじめた。船用機関でも実船試験を終了しており、技術開発は終了している。
	h. EGR	EGR 用に A 重油の気筒を作るなど工夫することで dirty な排ガスの船舶でも適用の可能性はある。
i. 選択式接触還元脱硝(SCR)	船用では国内で 2 例あり、A 重油と軽油 4 サイクルのみである。50% ~ 60% の削減率が必要な場合に採用か? 掃気弁の工夫で排ガスエネルギーの高い排気だけを分離するなどのアイデアがある。	

表 4.2-3 IMO の NOx 一次規制に対する低減方策に関する聞き取り調査等の結果

種類	メーカー	方策の内容
2 サイ クル	B&W	Low NOx Atmizer (噴射弁の改良)
	Sulzer	タイミングリタード、圧縮比の変更
	三菱(UEC)	噴射チップの改良、少量のタイミングリタード
	MAN	排気弁の改良、圧縮比の増加
4 サイ クル	ダイハツ	新規の機関の開発 噴射圧、圧縮比等の調整に加えて、機械強度、冷却系の強化を図ることで実用化しつつあり、一部の機関では認証段階に入っている
	新潟鐵工	
	ヤンマー	
	阪神内燃機	

表 4.2-4 NOx 二次規制への対応技術に関する聞き取り調査結果

	回答対象の 船用機関	想定される二次規制レベルへの対応		部分負荷時の NOx 対策の考え方
		技術的内容	対応時期	
A	4サイクル機関	・ 燃焼改善技術 (具体的な内容は未定)	2002年以降	・ 低負荷時では燃料噴射率の制御が難しいため、機械的な制御をする現機関では対応が困難である。
B	2サイクル低速	・ 水噴霧または水エマルジョン	二次規制の実施に合わせて出荷対応する	・ 主機関での低負荷での使用割合は少ないので現時点では考慮していない。 ・ 将来的には水噴射
C	2サイクル低速	・ 主に水エマルジョン ・ (タイミングリタードと燃料弁仕様の変更)	コストを考慮しなければ現在でも可能	・ 低負荷時では水エマルジョン、SCRでも効果が小さく、対応が困難である。
D	4サイクル低速	・ 燃焼改善技術 ・ 水エマルジョン燃料 ・ SCR等で対応	2000年一次規制対応以降か?	・ 燃焼改善技術は全負荷領域で効果がある。 ・ SCRはコスト的に困難なので、VITやその発展形を検討中である。
E	4サイクル中速	・ 水エマルジョン ・ 水噴射	耐久性の確認ができた時点。現時点では不明。	・ 低NOx化は全負荷領域を守備範囲にしている。 ・ 低負荷時では水エマルジョン、水噴射は困難である。
F	2サイクル低速 4サイクル中速	主機、補機ともに ・ 燃料水層状噴射 ・ (場合によっては独立水噴射)	現状でも可能 (コストはかかる)	・ タイミングリタードは低負荷領域においても効果がある。 ・ 燃料水層状噴射、SCRは低負荷時は困難なため、独立水噴射で対応する。
G	4サイクル中速	具体的な対応技術は未定	未定	・ 燃料弁開閉時期の調整、タイミングリタードで可能と考える。
H	4サイクル	主機、補機ともに ・ タイミングリタードと燃料噴射系の適性化 ・ 圧縮比、給気圧力等の適性化 ・ (水エマルジョンの付加)	時期は未定	・ タイミングリタードなどは全領域でNOxを低減する。 ・ 水噴射、SCRは低負荷時は困難である。
I	4サイクル低速 4サイクル中速	・ 燃料噴射ノズルの変更 ・ 給気スワールの改善 ・ 燃焼室形状の変更 ・ 燃料噴射率の変更 ・ 更なるタイミングリタード	IMOの審議経過により対応(2005年以降)	・ 全領域でほぼ同一のNOx低下率と考えている。
K	2サイクル低速 4サイクル中速	・ 4サイクル中速はタイミングリタード ・ 2サイクル低速はタイミングリタードと機関調整	時期は未定	・ 低負荷領域においては高負荷時の効果をそのまま適用できない面があると思えるが工夫をし対応する必要があると考えている。

(2) 他の大気汚染物質に関する対策技術

聞き取りの中では、IMO 規制以降の規制の方向性として CO₂ 排出量の抑制が求められるのではないか、という意見が多くを占めた。

CO₂ 排出を抑えることは燃費の向上にほかならない。船舶の推進機関自体については、第一次石油危機時の燃料価格の急騰を契機に蒸気タービン機関からディーゼル機関への転換、さらにはディーゼル機関自体の高圧縮比などの技術改善が図られてきた。熱効率を例にとると、1975 年では 40% 程度であったものが現在では 54% 程度にまで技術進歩が進んでおり、システムとしてのディーゼル機関はほぼ完成形に近いとまで言われている。

機関単体の一層の熱効率の改善のためには複合サイクル機関、セラミックディーゼルエンジン等の高効率機関の技術開発が進行中ではあるが、船用機関に重要である信頼性を含めての実用化までにはさらに時間を要すると考えられる。

推進機関の効率改善は今後も基礎的な技術として重要な課題であって、技術開発は継続されなければならない。しかし、現在、実現性が高く省エネルギー効果も大きいとされる技術方策は、プロペラ効率の改善、船体の軽量化および船型の改善・大型化である。

プロペラの改善効果では二重反転プロペラによって省エネルギー効果が 10~20% ありとされ、プロペラの後ろに小さなフィンをつける PBCF (Propeller Boss Cap Fin) は、4% 程度の省エネルギー効果があるとされている。

船体の軽量化については、船舶の上部構造をアルミ材等で軽量化をした場合にはインシヤルコストは高いものの、現在の燃料価格レベルであってもライフサイクルで見れば採算はとれるとの結論が出されており (「船舶の軽量化に関する調査・研究委員会」 SO 財団主催)、普及が望まれるところである。

従来型船舶における省エネルギー効果が大きい手段として、大型化・減速運転が多く提案されており (燃料消費はスピードの 3 乗に比例)、NO_x 排出量についても効果があると考えられる。しかし、景気低迷による船腹過剰化、陸上トラック輸送との競合などにより原油タンカーのようなスケールメリットによる輸送原単位の量的改善志向は薄れつつあり、減速運転などの実施は困難と考えられた。

他方、推進抵抗を低減した新形式船の開発は今後も省エネルギーの観点から大いに期待すべき技術分野である。

SO_x 対策については、ランニングコストを除くと、燃料転換が大きな効果がある。今後は IMO の特別海域のように、ある海域を限定して低硫黄燃料の使用を求められることも考えられるため、燃料切り替えの無人化や低硫黄燃料タンクの増量などの検討が必要となろう。

他の大気汚染物質については排出の実態も把握できていないところであるが、将来的に脱硝装置を使ったり、メタノール燃料を使用した場合の N₂O および CH₄ の増加、またタイミングリタードなど、燃焼状態の改変による PM 排出量の増加などが懸念される。

4.2.2 船舶以外の輸送機関における対策技術など

(1) 陸上輸送機関との排出量比較

ア. NO_x 排出量

平成 10 年規制に適合している最近のガソリン機関(51 機関)およびディーゼル機関(51 機関)について、以下の方法で機関単体からの NO_x 排出量を算出した。ガソリン機関については 3 元触媒後の排出量となる。ここでの計算は便宜的に規制値を用いているが、図 4.2-3 に示すように、実際の排出量は規制値よりも 2 割程度少ない自動車が多く出荷されている。

船舶における NO_x 排出量(IMO 規制値高速機関で 9.8 g/kWh)と比較すると、3 元触媒が導入されていることもあってガソリン車では 1 桁程度、ディーゼル機関では 2 割程度小さい値を示す機関が多い。

ガソリン車の場合

10・15 モード時における距離当たりの NO_x 排出量 $E_{\text{eng}}(\text{g/km})$ 、および燃料消費量 $F_{\text{mode}}(\text{g/km})$ を、各車の運輸省審査値から収集した。

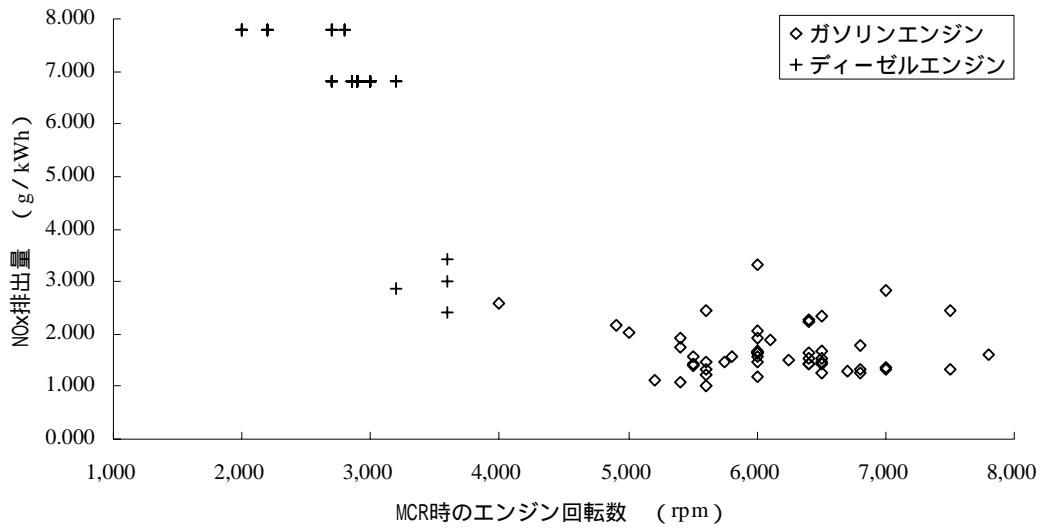
機関の出力曲線などから、MCR 時の回転数 $r(\text{rpm})$ 、軸出力 $P(\text{kW})$ 、およびその時の燃料消費量 $F_{\text{mcr}}(\text{g/kWh})$ を求める。

10・15 モード時における NO_x 排出量 $E(\text{g/kWh})$ を、以下の数式で計算する。

$$E = E_{\text{eng}}/F_{\text{mode}} \times F_{\text{mcr}}$$

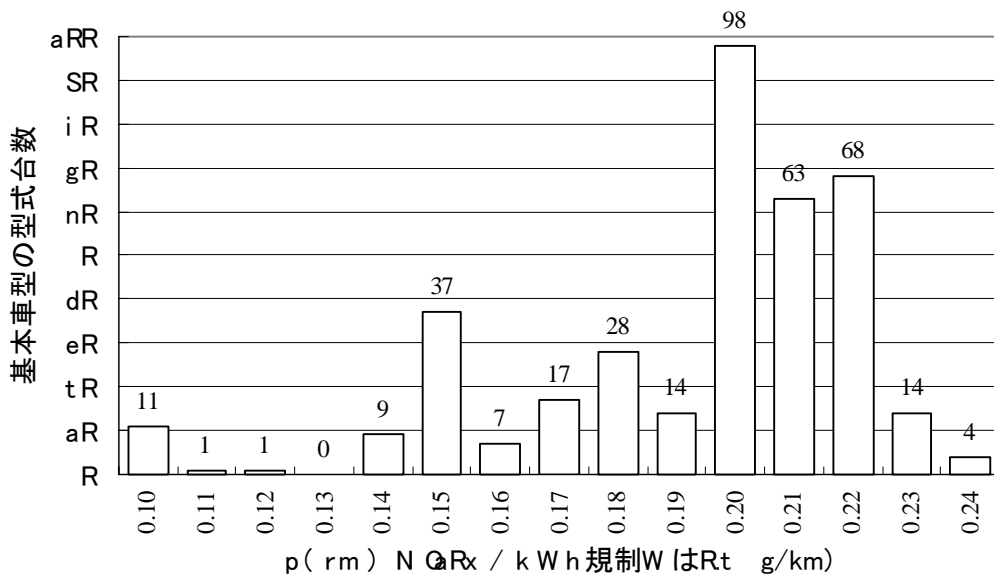
ディーゼル車の場合

ディーゼル 13 モードにおける NO_x 排出量 E (g/kWh)を、各車の運輸省審査値から収集した。機関の出力曲線などから、MCR 時の回転数 r(rpm)をプロットした。



各メーカー資料および運輸省審査値などより作成。
NO_x 排出量は規制値を表示した。モード当たりの燃料消費量および機関単体の燃料消費量は運輸省審査値より計算した。

図 4.2-2 自動車用内燃機関からの NO_x 排出量

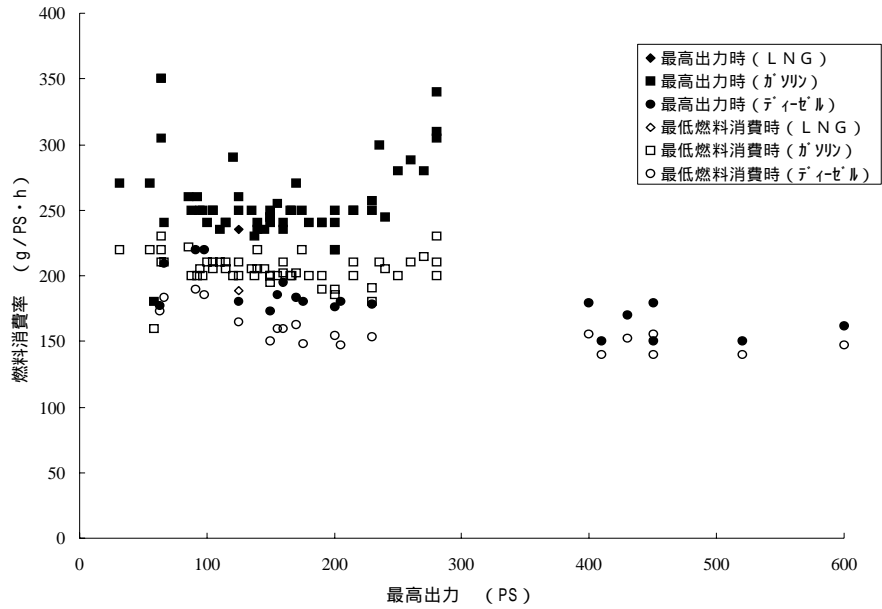


7 都県市首脳会議大気保全専門部会資料より作成

図 4.2-3 ガソリン自動車(規制値 0.25g/km)を対象に実測された NO_x 排出値

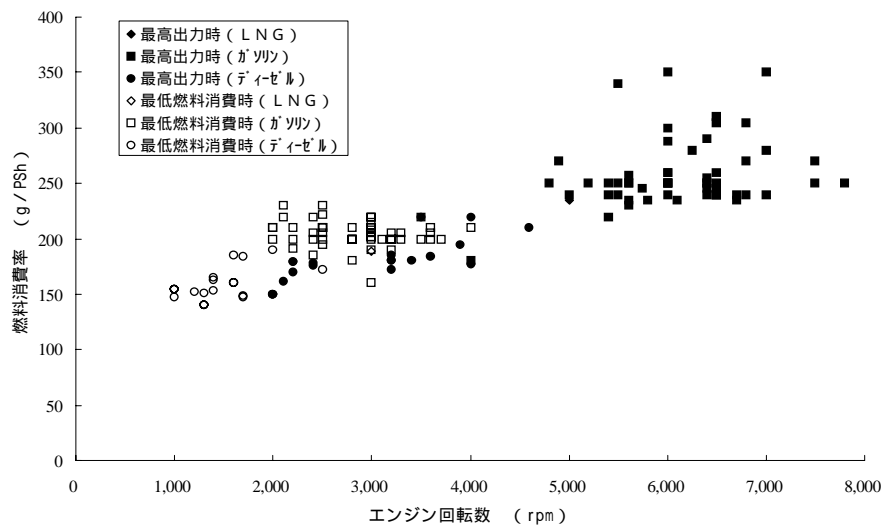
イ. 燃料消費量

国内で出荷されている最近の自動車用機関の単体の燃料消費量を、カタログ値などから収集し、図 4.2-5および図 4.2-4に示した。大型ディーゼル車では、機関単体の燃料消費量は常用回転域では船用機関並みに向上しているものもある。



各メーカー資料より作成

図 4.2-4 自動車用機関単体の最高出力と燃料消費率の関係



各メーカー資料より作成

図 4.2-5 自動車用機関単体の回転数と燃料消費率の関係

4.2.3 大気汚染物質削減に関する今後の動向

既に述べてきたように、カリフォルニア州においては SCR 搭載船舶や FIPs などの非常に厳しい規制が何度か提案されてきた。特にカリフォルニア州ロサンゼルス郡は「O₃ 極度汚染地域(extreme area)」として指定されており、その対策として同地区内においてのみ適用される厳しい規制が提案されてきたことに注意する必要がある。同地区の汚染状況の特殊性を考慮すると、同程度の規制値が米国内の他の地域に提案される可能性は少ないと考えられる。例えば、米国内にはマサチューセッツ州やニュージャージー州など、東海岸にも O₃ 環境基準値が未達成の地域(Severe-17 地区)があるが、同地区内においては船舶からの排出量推定値が陸上排出源に比較して少ないためか船舶に対する FIPs は今までのところ提案されていない。

逆に、国内においては、大きな港湾地域を抱えかつ NO_x 環境基準値が達成されていない地域において、EPA の FIPs を参考にした地域規制や専用ふ頭を抱える事業者への行政指導が今後提案されることも予想される。この場合、荷役時も含めた港湾区域内などにおいて NO_x 排出量の削減が求められることとなる。

リージョナルな規制に船舶単体で対応する場合には、従来以上に部分負荷時に有効な低減対策が重要になってくるものと考えられる。今回の聞き取り調査においても、IMO 一次規制程度の低減率に対してはほぼ全域にわたり同等の低減率が期待できるとするメーカーが多かったが、低減率が大きくなるにつれて負荷全域での効果は期待できないとする回答が多かった。また、SCR のように、低負荷時には排ガス温度の低下から、原理的に反応速度が遅くなる技術もあることから、今後さらに調査研究を進める必要があると考えられた。

また、主機に関しては全運転時間で削減率の高い低減技術を使用する必要がないことから、低減率を航海中に調整可能な技術が必要と考えられた。例えば、水利用技術などは装置のオンオフが比較的簡便にできることから有効と考えられる。同様に VIT に代表される噴射調整機構や、さらに包括的に燃焼制御を行う電子燃焼制御技術も将来的には有望と考えられた。ただし、この場合には、実際に低減技術が機能しているかを確認するためのモニター機構および監視制度の開発も必要となると予想される。

さらに、船舶単体への規制だけでなく、大型専用ふ頭における荷役時の陸電利用や、港湾における荷役機械やプレジャーボートなどの中小規模機関に対する規制のごとく新たな形の規制も考えられ、荷役システムや港湾システム全体の再検討も今後は必要になると思われた。

5 今後の船舶における対策技術の提言

今回の調査により国内においては全排出量に対する船舶の NO_x 排出寄与割合は大きく、燃料消費量と直接結びつく CO₂ ガスを含めた地球温暖化物質の排出寄与割合は少ないことがわかった。しかし大都市港湾域など局所的な寄与割合を考えると、寄与割合が高くなること、これに対応するための新たな規制が提案されること、も予想される。しかし、排出係数、排出実態に関する情報収集は充分とはいえず、今後いくつかの課題が残った。

- 環境庁の窒素酸化物総量規制マニュアルに定められた方式で計算される NO_x 排出量は、IMO 規制値による排出量と比較した場合、同等以下となり、両者の整合性が欠けていると考えられた。今後 IPCC など、国際間での排出量の比較のためにも、排出係数の統合化が望まれる。
- メーカーは IMO 規制に対応する技術を中心に技術開発を行っているが、米国カリフォルニア州での動向に見られるように、今後は地域規制が提案されることも予測される。これに対応するために、部分負荷時に効果のある低減技術の開発が望まれる。
- 将来的な地域規制 NO_x 規制に対応する低減技術として、A 重油への燃料転換、水利用技術、タイミングリタードを含む燃焼改善技術および SCR(選択接触還元脱硝)技術が、有効であると考えられた。
- NO_x 以外の汚染物質についての排出データを更に収集する必要があると思われた。特に N₂O については、大型ディーゼル機関におけるデータが少なく、今後観測・測定体制を整える必要がある。
- CO₂ 排出量に直結する燃料消費量については多くの統計資料があるが、運航実態についてのデータ蓄積が不十分である。今回の調査においては、漁業、レジャーボート、ハーバータグなどについて運航実態からの検討を行い成果を上げたが、一般船舶の港湾域における停泊時の燃料消費量、航路帯の実態などの情報をさらに集約する必要があると考えられた。
- 世界規模では、内航海運、漁業、レジャーなどについての情報集約が不十分であり、インドネシア、中国、マレーシアなど内航海運が今後活発になるであろう途上国への国際間の協力も含めて基礎データの収集が望まれる。

船舶排ガス用語

- SO_x : 硫黄酸化物(Sulfur Oxides)。燃料中の硫黄分が燃焼によって酸化されることにより生成し酸性雨の原因となる。ディーゼル機関から排出される時点ではSO₂ガスであるが、空気中で酸化されたり水分と結合しながら数百 km を移流し、酸性雨の原因物質となる。
- NO_x : 窒素酸化物(Nitrogen Oxides)。主として燃焼中の高温における反応によって生成(Thermal NO_x)し光化学スモッグ及び酸性雨の原因となる。化学的に不安定で影響の地域的範囲が比較的狭いため、地域的(Regional)大気環境問題の原因物質である。
- NO_x には原子状の O、N によって生成する Thermal NO_x と燃料中の窒素酸化物とにより生成する Fuel NO_x とがある。Thermal NO_x は温度が高いほど、また酸素分圧が高いほど生成量が多い。高圧縮比で回転数の遅い船用機関では、生成量が原理的に多くなる。
- CO₂ : 二酸化炭素(Carbon dioxide)。主として化石燃料の燃焼により炭素が酸化して生じる。一酸化炭素(CO)は、排気管から排出される時にはほとんど二酸化炭素となる。地球温暖化問題の主要原因物質であり、各国の排出量削減目標が設定されている。
- N₂O : 亜酸化窒素 (Nitrous oxide)。赤外線吸収が大きく、温室効果によって地球温暖化に寄与するとされている。また光分解により酸素原子と反応してNOを生成し、オゾン層破壊の原因となるとも言われている物質である。
- HC : 炭化水素(Hydrocarbons)。メタン(CH₄)からベンゼン(C₆H₆)、ブタン(C₄H₁₀)にいたる水素と炭素で構成される化学的排出物の総称である。HC の成分であるCH₃には温室効果があり、CH₃以外のNMVOCはオゾンの光化学生成に大きく関係する。船用ディーゼル機関では、負荷変動時や起動時など十分燃焼が進まない場合に多く生成される。
- PM : 微粒子物質(Particulate Matter)。燃料や潤滑オイルの不完全燃焼によって炭素の集まりとして生成されるもの、または灰や未燃物質などの微粒子固体物質の総称である。粒子状のため拡散範囲が狭いので、地域的大気環境問題の原因物質である。ディーゼル機関の排出濃度には燃料中の灰分や残留炭素分が影響を及ぼしているといわれている。

- VOC : 揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds)。HC の項を参照。
- NM VOC : 非メタン系の揮発性有機化合物(Non-Methane Volatile Organic Compounds)。HC の項を参照。
- 灰分 : 重油や潤滑油中の不燃焼分の量をいう。試料を燃焼させて生じる炭素物質をさらに加熱灰化して得られる残分を灰分とする。一般には、原油中にもともと含まれる金属化合物および精製中に触媒から混入した金属化合物である。
- 残留炭素分 : 燃料を空気に接触させない状態で蒸し焼きにした場合の未燃のコークス状の残さ物を試料燃料油量に対する重量%で表示したもの。残留炭素分の増加は C/H 比(炭素と水素の比)の増大に伴う燃焼性の低下につながり、燃焼室や排気系統への堆積物の増加、すすの増大等に影響を及ぼすといわれている。
- バンカー油 (Bunker oil)。外航船舶の燃料用に供給される免税重油のこと。輸出扱いのため関税、石油税等の国内諸税が無税となる。
- IMO : 国際海事機関 (International Maritime Organization)。
- MEPC : 海洋環境保護委員会 (Marine Environment Protection Committee)。IMO 機構を構成する委員会の一つで、海洋環境を対象としている。
- MARPOL 条約 : 「1973 年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する 78 年の議定書」の略称。船舶による海洋汚染防止を目的に締結された。本文と付属書からなる。
- COP3 : 地球温暖化防止京都会議、国際連合枠組条約第 3 回締約国会議 (The 3rd Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change)
- IPCC : 気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change)
- ISO : 国際標準化機構 (International Organization for Standardization)
- CIMAC : 国際燃焼機関学会 (International Council on Combustion Engines)
- IEA : 国際エネルギー機関 (International Energy Agency)
- EPA : 米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency)

- UNEP : 国連環境計画 (United Nations Environment Programme)
- WCP : 世界気候計画 (World Climate Programme)
- WHO : 世界気象機関 (World Meteorological Organization)
- CCAI : Calculated Carbon Aromaticity Index。着火性の良否を表す指標の一つ。芳香族含有量と着火性との関連に着目した指標である。着火性の良否を示す値はセタン価であるが、最近では低質重油の着火性は CCAI を用いることが多い。
- NDIR : 非分散型赤外線分析計(Non-dispersive infrared analyzer)。または、赤外線吸収スペクトル分析計ともいう。CO₂、CO、SO₂ 計など測定原理。一般に分子は赤外線領域の特定の波長域を選択的に吸収し、その吸収量は圧力一定のガス体ではその分子の濃度に比例することを利用して濃度を計測する。試料ガスの流量変動の影響を受けにくく、日常の保守、管理が容易である。
- CLD : 化学発光分析計(Chemiluminescent detector)。NO_x 計の測定原理。一酸化窒素(NO)がオゾンで酸化される時に発する光を光電子増倍管で検出する。二酸化窒素(NO₂)はコンバーターに通して NO に還元した後で測定する。
- HFID : THC 計の測定原理。加熱型水素炎イオン化型分析計(Heated flame ionization detector)。水素炎中に炭化水素(HC)が導入されると複雑なイオンが生じる。炎をはさんで対向した電極を設け、その間に直流高電圧を架けると炭化水素の炭素数に比例した微少なイオン電流が流れるので、これを電圧に変換して測定し、全炭化水素量を測定する。
- 磁気圧法 : O₂ 計の測定原理。不均一磁界中に常磁性の気体が存在すると、常磁性体は磁界の強い方に引きつけられその部分の圧力が上昇する。O₂ ガスは他のガスに比較して常磁性が非常に強いため、このことを利用した測定方法が用いられている。
- SCR : 選択接触還元法(Selective catalytic reduction)。アンモニア等の還元剤を用いて排ガス中の NO_x を選択的に N₂ および H₂O まで還元する脱硝方法。
- トンキロ : 何トンの貨物を何 km 運んだか〔運んだ貨物の量×輸送距離〕、または何トンの船が何 km 動いたか〔船のトン数×船の動いた距離〕を表す単位。トンマイルを使用する場合もある。

- O-D データ : Origin and destination data。出発地(Origin)、目的地(destination)別の旅客や貨物の輸送量に関する統計データ。本調査では海運による貨物輸送量を知るため貨物地域流動調査データを用いた。
- D/G : Diesel Generator。補助発電機。停泊中の船内電力をまかなうために駆動される小型のディーゼル機関。
- HFO : Heavy Fuel Oil。OECD 資料では MFO に相当する残渣燃料を HFO と称している。
- PCC 船 : Pure Car Carrier。自動車専用船。輸出入増大に伴い広く使われている。
- MDO : Marine Diesel Oil。溜出油燃料。MDF とも称する。国内での A 重油、OECD 資料、UN 資料の Gas/Diesel Oil に相当する燃料である。
- MFO : Marine Fuel Oil。残渣燃料。国内での C 重油、OECD 資料の HFO、UN 資料の Residual Fuel Oil に相当する低質燃料である。
- MDF : Marine Diesel Fuel。溜出油燃料。MDO とも称する。国内での A 重油、OECD 資料、UN 資料の Gas/Diesel Oil に相当する燃料である。
- SOF : Soluble Organic Fraction の略称で、排ガス中の粒子状の物質のうち有機溶媒に溶解する成分を指す。発ガン性やぜん息との因果関係が考えられている。
- CARB : California Air Resources Board。カリフォルニア州大気資源局
- 三元触媒 : 酸化性成分 (O₂、NO_x) に還元性成分 (CO、HC、H₂) を化学量論的に当量状態で反応させることで、H₂O、N₂、CO₂ へと同時に処理する触媒。Ti と Va が触媒本体として使用される。自動車用ガソリン機関の低 NO_x、低 VOC 対策技術として広く用いられている。
- Carbon Balance 法 : 排気ガスの流量を算定する方法の一つ。大気中の CO₂ 濃度と乾き排気ガス中の CO₂ 濃度の差を生じさせているのが全て燃焼ガスであるという仮定にたって空気過剰係数を算出する。
- 酸素換算濃度 : NO_x など排出濃度を規制する場合に、周辺空気で希釈されると見かけ上の濃度が低くなる。これを補正するために平均的な残留酸素濃度に変換して濃度を定める。ディーゼル排ガスの場合酸素濃度 13% に換算することが多い。

- SV 値 : Space Velocity 値(h^{-1})。空間速度 SCR(選択還元脱硝装置)の反応器の性能を示す値。値が小さいほど脱硝効率が高いことを示す。一般に液体燃料では $4000 \sim 6000 \text{ h}^{-1}$ 程度である。
- FIPs : Federal Implementation Plans。米国 EPA がある特定の地域内にも適用するために、作成した特別な規制案。実際の適用には、対象地区が含まれる州の承認が必要である。
- EGR : Exhaust gas recirculation。排気再循環。ガソリンやディーゼル機関において排気の一部を再び給気に戻す技術。燃焼雰囲気中の酸素濃度が少なくなることから、 NO_x が減少する。
- VIT : Valuable Injection Timing 燃料噴射時期進角装置。燃料消費量改善のために高負荷時において噴射時期を上死点近くに進ませる装置。
- 10.15 モード : 国内においてガソリン自動車からの排出量測定に用いられるテストモード。市街地走行をシミュレートしており、アイドリング、渋滞走行も含んでいる。シャーシダイナモ上での測定が必要で測定が複雑。
- 13 モード : 国内においてディーゼル自動車からの排出量測定に用いられるテストモード。シャーシダイナモ上での測定が必要で測定が複雑。
- E3 モード : ISO 8178(内燃機関に関する国際測定標準)に定められた船用機関用のテストサイクル。25%,50%,75%,100%の各ポイントでの重み付けは 0.2,0.5,0.15,0.15 である。
- チョッパ制御モーター : サイリスタにより電流を毎秒 300 回前後断続的にオン・オフを繰り返し、必要な電力を無駄なく使用できるようにしたモーター。
- VF コンバーター : 架線から取り込んだ直流電流をインバータより交流に変え、交流モーターで制御できるものにしたもので、これによって主抵抗器が不要になり、電気エネルギーの抵抗ロスが少なくなった。

参考文献

a. 統計資料など

- 通商産業大臣官房調査統計部編(1987)：昭和 61 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1988)：昭和 62 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1989)：昭和 63 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1990)：平成元年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1991)：平成 2 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1992)：平成 3 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1993)：平成 4 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1994)：平成 5 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1995)：平成 6 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1996)：平成 7 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 通商産業大臣官房調査統計部編(1997)：平成 8 年 エネルギー生産・需給統計年報
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1987)：内航船舶輸送統計年報 昭和 61 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1988)：内航船舶輸送統計年報 昭和 62 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1989)：内航船舶輸送統計年報 昭和 63 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1990)：内航船舶輸送統計年報 平成元年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1991)：内航船舶輸送統計年報 平成 2 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1992)：内航船舶輸送統計年報 平成 3 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1993)：内航船舶輸送統計年報 平成 4 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1994)：内航船舶輸送統計年報 平成 5 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1995)：内航船舶輸送統計年報 平成 6 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1996)：内航船舶輸送統計年報 平成 7 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1997)：内航船舶輸送統計年報 平成 8 年度
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1999)：平成 10 年版 運輸関係エネルギー要覧
- 運輸省運輸政策局情報管理部編(1998)：平成 8 年度 貨物地域流動調査 旅客地域流動調査
- 運輸省港湾局・水産庁・建設省河川局(1997)：プレジャーボート全国実態調査結果
- (社)日本マリナー協会(1976)：マリナー利用者の実態調査報告書
- (財)日本海事広報協会(1993)：日本の港湾
- 水産庁(1996)：漁船統計表 総合報告 第 49 号
- 農林水産省(1995)：第九次漁業センサス第 1 報
- 横浜市港湾局(1997)：平成 8 年 横浜港湾統計年報
- 東京都港湾局(1997)：平成 8 年 東京港湾統計年報
- 大阪市港湾局(1997)：平成 8 年 大阪港湾統計年報

- 名古屋市港湾局(1997)：平成8年 名古屋港湾統計年報
- 神戸市港湾局(1997)：平成8年 神戸港湾統計年報
- (社)日本海運集会所(1996)：内航距離表(航海距離図表付)
- FAO(1998)：Bulletin of fishery statistics 35 Fishery fleet statistics 1970, 1975, 1980, 1985, 1989-1995
- OECD/IEA(1997)：Energy Statistics of OECD Countries 1994-1995
- OECD/IEA(1997)：Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995
- United Nations(1997)：1995 Energy Statistics Yearbook

b.報告書、報文など

- (社)日本海難防止協会(1993)：船舶による日本沿岸域の大気汚染に関する調査研究報告書
- (社)日本海難防止協会(1992)：船舶からの排出ガスに係わる国際規制対応のため調査研究報告書
- 通産省関東商業産業局(1993)：東京湾地域 NOx 調査報告書
- 環境庁(1995)：船舶からの排出される大気汚染物質の削減手法について 中間報告
- 環境庁(1995)：窒素酸化物総量規制マニュアル[増補改訂版]
- 環境庁(1996)：船舶温室効果ガス排出量等総合調査
- 環境庁(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
- 環境庁(1997)：環境白書
- 環境庁(1992)：地球温暖化防止対策ハンドブック交通編
- 日本船用機関学会(1998)：実船排気ガス測定、日本船用機関学会誌, Vol. 33, No. 5
- 日本船用工業会(1996)：米国におけるモーターボートなど舟艇の排ガス規制について
- 日本船用機関学会(1995)：船舶大気汚染抑制検討委員会の成果報告予稿集
- (財)運輸経済研究センター(1995)：運輸部門からのCO2排出抑制(CO2排出抑制ガイドライン等の導入)調査報告書
- IMO MEPC(1997)：Technical code on emission of nitrogen oxides from marine diesel engines, IMO/MP/CONF 3/4 ANNEX
- IPCC(1996)：Revised 1996 IPCC Guideline for national greenhouse gas inventories reference manual
- CIMAC(1991)：CIMAC Report No.12, 1991
- Lloyd's Register of Shipping(1992)：Marine exhaust emissions research program ;Phase 1
- 淡井信幸 他(1994)：陸船中・大型ディーゼル機関用燃料油